

FÜHRER FÜR FORSCHUNGSREISENDE.

Anleitung zu Beobachtungen
über Gegenstände der physischen Geographie
und Geologie

von

Ferdinand Freiherr von Richthofen.

Digitale Version von
Wolfgang Griem 2020
(Version 1.0)
Bearbeitete und kommentierte Version



BERLIN.

VERLAG VON ROBERT OPPENHEIM.

1886.

www.geovirtual2.cl

Digitale Version von 2020

Der historische Text von Ferdinand von Richthofen wurde digitalisiert, zur OCR vorbereitet und mit ABBYY Fine Reder in ASCII umgewandelt. Die Abbildungen wurden mit Corel Draw, Photo Paint (v.19) nachbearbeitet, insbesondere wurde der Graustufen-Verlauf optimiert, aber es wurden auch störende Elemente eliminiert.

Der Text wurde der heutigen Rechtschreibung teilweise angepaßt, es wurden erläuternde Fußnoten eingefügt. Teilweise wurde eine re-organisation des Textes vorgenommen.

Hilfsmittel:

Digital:

Kamera Pentax KR3 II und HP Scanjet G3110
Bearbeitung der Dateien: Corel Photo Paint (V. 19)
OCR Vorbereitung und OCR: ABBYY Fine Reader (v. 14)
Für PDF (original und OCR): PDF Exchange Editor
Texte: Microsoft Word



Wolfgang Griem
Februar, 2020 – www.geovirtual2.cl
(Copiapó, Chile)

Bulcane. Unter Bulcanen versteht man Berge, an welchen Eruptionseruptionen wahrgenommen werden. Die Oeffnung (an dem Gipfel oder an der Seite Bulcane, durch welche die Communication des vulkanischen Herdes mit stattfindet, heißt der Krater, und die festen oder feurigflüssigen welche ausgeworfen werden und aus dem Krater fließen, Berg ist jedoch, soweit es sich nicht um das Studium der handelt, Nebensache, und vor Allem muß man sich Gebirge sich nicht über das Niveau der See zu ebenso gut von unterseeischen Bergen, Vulkan können. Nehmen wir auf den Begriff des obige erweiterte Rücksicht, so umfasst die obige erweiterte Definition also nicht auch alle Krater im engeren Sinne, sondern auch alle diejenigen Krater oder wässerigen Kanäle, welche nur gasförmige oder wässerige Flüssigkeiten von die hoher Temperatur nach oben führen, also auch die Solfataren, die Gas- und Schlammvulkane und namentlich auch alle warmen Quellen, deren Zusam-

Vorwort.

Im Jahr 1874 hatte mein Freund, der jetzige Geheime Admiralitätsrat und Direktor der deutschen Seewarte Herr Dr. G. Neumayer, die Vertreter verschiedener Wissenschaften zur Abfassung des im folgenden Jahr erschienenen und seitdem vielbenutzten Werkes „Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen“ vereinigt. Ich selbst hatte darin die Abteilung „Geologie“ übernommen. Als vor einigen Jahren der Herr Verleger den Wunsch aussprach, diesen Teil für sich allein in besonderem Abdruck erscheinen zu lassen, erklärte ich mich gern zu einer Neugestaltung desselben bereit. Stoff und Darstellung erweiterten sich während der Arbeit schnell: aus den wenigen Blättern des ersten Aufsatzes ist ein Buch geworden. Ich habe mich darin bestrebt, dem Forschungsreisenden eine Anleitung zu Beobachtungen auf denjenigen Gebieten der physischen Geographie und der Geologie zu geben, welche in ihrer Vereinigung die Grundlage für die Morphologie der Erdoberfläche zu bilden geeignet sind.

Verschiedene Rücksichten haben diese Beschränkung veranlaßt. Einerseits ist das Erscheinen einer zweiten Auflage von Neumayers „Anleitung“ in Aussicht genommen. Es ist zu erwarten, daß die schon in der ersten gesonderten Abschnitte dort eine dem jetzigen Standpunkt entsprechende Behandlung finden werden. Die auf Messung und Herstellung

von Karten bezügliche Arbeit des Reisenden ist daher hier in gedrängter Kürze angedeutet worden, während von einer Anleitung zu Beobachtungen über Erdbeben gänzlich Abstand genommen wurde. Andererseits konnte hinsichtlich allgemeiner Belehrung in fundamentalen Wissenschaftszweigen, insbesondere der Petrographie, der Formationslehre und den auf die Atmosphäre und die Ozeane bezüglichen Teilen der physischen Geographie, auf treffliche Darstellungen in leicht zugänglichen Lehrbüchern und faßlichen Kompendien verwiesen werden. Dagegen sind solche Gegenstände, welche der Reisende dort weniger berücksichtigt findet und doch fort-dauernd zu beobachten Gelegenheit hat, insbesondere die stetigen Veränderungen der Erdoberfläche durch von außen wirkende Kräfte, sowie die Formen der Küsten und der Bodenplastik, mit größerer Ausführlichkeit behandelt worden.

Das Buch ist zunächst dazu bestimmt, denjenigen Reisenden, dessen wissenschaftliche Vorbildung die Gebiete der physischen Geographie und der Geologie in geringerem Maße umfaßt, sowie Solche, welche als Missionare, Kaufleute oder in anderen Beschäftigungszweigen dauernd in wenig erforschten Ländern leben, zu nutzbringenden Beobachtungen anzuleiten. Doch ist dieser Zweck zuweilen überschritten worden. Manche auf eigener Erfahrung, Beobachtung und Verarbeitung beruhende Ausführung wird, wie ich hoffe, auch dem Fachgenossen Gesichtspunkte zur Berücksichtigung und weiteren Entwicklung bieten. Das Bestreben, durch systematische Einteilung der Formgebilde der Erdoberfläche in Kategorien und Typen, wie sie sich im Verlauf der akademischen Vorlesungen des Verfassers allmählich herangebildet hat, und durch Einführung charakteristischer Bezeichnungen den schwer übersehbaren und aus Beschreibungen allein kaum verständlichen Stoff zu gliedern, ist bei der Behandlung vielfach maßgebend gewesen. Manches konnte nur in Umrissen angedeutet werden. Wenn ich mir auch wohl bewußt bin, daß solche Versuche bei dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse nur mangelhaft sein können, so dürfte doch die Erkennung einer nach richtigen Grundsätzen ausgesonder-ten Kategorie geeignet sein, dem Forscher in manchem Fall einen Anhalt für die Richtung seiner Beobachtungen zu geben.

Die einzelnen Kapitel sind in verschiedenen Ferienabschnitten zwischen anderen Arbeiten geschrieben worden. Dies möge es entschuldigen, wenn zuweilen ein bereits erwähnter

Gegenstand später, noch einmal in Angriff genommen, und die einheitliche Anordnung dadurch beeinträchtigt worden ist. Um die Veröffentlichung nicht zu verzögern, ist das letzte Kapitel mit geringer Erweiterung der ursprünglichen Fassung hinzugefügt worden.

Von Literaturangaben ist im Allgemeinen abgesehen worden, da eine quellenmäßige Bearbeitung des Stoffes nicht im Plan des Werkes lag. Nur hier und da ist, gänzlich ohne bestimmte Auswahl, auf einzelne neuere Bücher oder Abhandlungen verwiesen worden.

Ich wage mich der Hoffnung hinzugeben, daß bei dem Aufschwung, welchen jetzt, an dem Ende des letzten Zeitalters der Entdeckungen, die wissenschaftlichen Forschungsreisen bereits nehmen und noch mehr in nächster Zukunft, nicht am wenigsten von deutscher Seite, zu nehmen versprechen, der vorliegende Versuch dazu beitragen möge, die Arbeiten auf fremdem, und vielleicht auch auf heimischem Boden in eine Bahn zu lenken, welche tieferes Verständnis und regeres Interesse für die Gestaltung der Erdoberfläche herbeizuführen geeignet erscheint. Denn nur wenn die Formen und Erscheinungen, welche sie bietet, nicht einfach als solche erfaßt und dargestellt, sondern als Resultate von Kräftewirkungen begriffen werden, läßt sich ein sicheres Fundament gewinnen, mit dessen Hilfe die Beobachtungen über das Verhältnis nicht allein der Pflanzen und Tiere, sondern auch des Menschen, seiner Ansiedelungen, seiner Industrien und seines Verkehrslebens zu der umgebenden Natur in wissenschaftlichem Sinn, d. h. in ihrem Kausalitätsverhältnis zu derselben, verstanden werden können.

Leipzig im Januar 1886.

Der Verfasser.



Inhaltsverzeichnis.

Seite Vorwort	02
Inhalt	05
Erste Abteilung:	13
Einleitender Teil	00
Vorbemerkungen	00
Erstes Kapitel: Reisevorbereitung und Reismethoden [§1]	16
1. Vorkenntnisse und literarische Hilfsmittel [§2]	16
2. Ausrüstung für wissenschaftliche Arbeit [§5]	19
3. Methoden des Reisens [§7]	25
4. Wahl des Reiseweges [§8]	26
5. Sammeln geologischer Gegenstände [§9]	27
6. Wie und was man aufzeichnen und kartieren muß [§10]	30
7. Allgemeine praktische Winke [§12]	32
Zweites Kapitel: Messung und Zeichnung [§13]	38
1. Messung in der Horizontale [§13]	41
2. Zusammenstellung der Karte [§16]	44
3. Messung in der Vertikale [§17]	44
Drittes Kapitel: Klimatische und biologische Beobachtungen	49
A. Beobachtungen über klimatische Faktoren [§19]	49
1. Instrumente für meteorologische Beobachtungen [§20]	50
2. Temperaturbeobachtungen [§21]	51
3. Feuchtigkeit der Luft, Bewölkung und Niederschläge [§26]	55
4. Luftdruck und Luftströmungen [§27]	56
5. Anzeichen einer Änderung des Klimas [§28]	59
B. Beobachtungen über biologische Faktoren [§29]	59
Zweite Abteilung:	
Beobachtungen über äußerlich umgestaltende Vorgänge [§36]	65
Viertes Kapitel: Beobachtungen über Veränderungen, Fels und Erdboden [§37]	67
1. Unmittelbare Einwirkung der Sonnenbestrahlung [§38]	67

2. Mechanische Wirkungen des im Erdboden gefrierenden Wassers [§41]	70
3. Verwitterung [§42]	71
a. Angreifbarkeit verschiedener Gesteine durch äußere Einflüsse [§43]	73
b. Regionale Verschiedenheit der Zersetzungsvorgänge [§47]	79
c. Tiefenzersetzung [§48]	80
Fünftes Kapitel: Beobachtungen über Bodenwasser und Quellen [§49]	82
1. Grundwasser und Brunnen [§50]	82
2. Quellen [§54]	86
Sechstes Kapitel: Die mechanische Arbeit der fließenden Gewässer [§63]	94
A. Normale Ausbildungsformen der Abflußbrinnen [§64]	96
B. Einfluß auf mechanische Arbeit des fließenden Wassers [§68]	104
1. Einfluß des Gefälles [§69]	106
2. Einfluß der Wassermasse [§70]	107
3. Einfluß der Vegetation [§71]	109
4. Einfluß der Wetterseite [§72]	110
C. Einflüsse auf die Erosion, Lagerung und Beschaffenheit des Gesteins	111
1. Erosion in lockerem Schutt und Gestein [§73]	111
2. Erosion in horizontal lagerndem Gestein [§74]	112
3.4. 5. Erosion in geneigten Schichten [§77]	116
6. Erosion auf Abrasionsflächen [§80]	120
7. Einfluß übergreifender Lagerung auf die Erosion [§81]	121
8. Einfluß der Gesteinszerklüftung [§82]	123
D. Sedimentalablagerung durch fließende Gewässer	124
1. Ablagerung in bewegtem Wasser [§83]	124
2. Ablagerung in Seen [§84]	126
3. Hochflutseen [§85]	128
4. Ablagerungen in Ästuarien [§86]	128
5. Deltabildung [§87]	129
E. Wandelungen der fließenden Gewässer, veränderter Zustände [§88]	131
1. Schichtenfaltung [§89]	132
2. Tektonische Verschiebungen [§90]	134

3. Stauende Aufschüttungswälle [§91]	135
4. Änderung des Klimas [§92]	136
5. Ursachen der Stufenbildungen in Flußtätern [§93]	137
6. Änderung der Geoidfläche [§94]	142
7. Zerklüftung und Höhlenbildung [§95]	143
Siebentes Kapitel: Beobachtungen an Eis und Gletschern	145
1. Eis der Gewässer	145
a. Bodeneis [§96]	145
b. Eis der stehenden Gewässer [§97]	146
c. Eis der fließenden Gewässer [§98]	146
d. Meereis [§99]	147
2. Eis der Gebirgsgletscher [§100]	148
a. Morphographische Beobachtungen [§101]	149
b. Bewegungserscheinungen [§102]	151
c. Physikalische Beschaffenheit des Gletschereises, Mechanismen	153
3. Eisdecken und Gletscher der Polarländer [§104]	156
4. Kennzeichen früherer Vergletscherung	160
a. Mechanische Arbeit der bestehenden Gletscher [§105]	160
b. Frühere Vergletscherung	160
c. Landschaftliche Formen vergletscherte Gebiete [§106]	162
5. Mechanische Wirkung des Gletschereises in der Glazialzeit	165
a. Methoden der Untersuchung [§107]	165
b. Sichergestellte mechanische Leistungen der Gletscher [§108]	166
c. Unterschiede der Arbeit Gletscher vom Wasser [§109]	167
d. Bewegung der Gletscher über große Gebiete [§110]	167
e. Abräumungsarbeit [§111]	169
f. Korrasionsarbeit [§112]	170
g. Fjordbildung [§113]	176
Achtes Kapitel: Beobachtungen an den stehenden Gewässern des Festlandes [§114]	177
A. Einteilung der Seebecken	178
a. Schuttlandbecken [§115]	178

b. Abdämmungsbecken [§116]	179
c. Abgliederungsbecken [§117]	181
d. Ausräumungsbecken [§118]	182
e. Explosionsbecken [§119]	183
f. Einbruchsbecken [§120]	184
g. Tektonische Becken [§121]	185
h. Becken der kontinentalen Gliederung [§122]	186
B. Regionale Gruppierung der Seen [§124]	190
C. Änderungen in Seebecken [§132]	194
Neuntes Kapitel: Beobachtungen an Meeresküsten [§133]	197
A. Gestalt der Meeresküsten [§134]	198
a. Küstentypen nach der Gestalt des Vertikalprofils [§135]	198
b. Beziehungen der Küstenlinien zur Plastik der Kontinente [§136]	200
c. Einzelgliederung der Küsten [§137]	204
d. Beziehungen von Küsten und Inseln [§145]	211
e. Praktischer Wert der Küsten. Seehäfen [§146]	212
B. Klimatische Eigentümlichkeiten der Küsten [§147]	215
C. Bewegungserscheinungen des Meeres [§149]	218
D. Mechanische Wirkung der Brandung	224
1. Umgestaltung von Felsküsten [§153]	224
2. Aufbereitung und Transport der Zerstörungsprodukte [§154]	229
3. Wandern des lockeren Materials der Küste entlang [§155]	231
4. Funktionen der vorgeschobenen Küstenwälle [§156]	232
5. Wirkung der Meereswellen und Strömungen an Flußmündungen [§157]	232
6. Küstenablagerungen durch Meeresströmungen [§158]	233
7. Umlagerung der Strandbildungen durch Wind [§159]	234
E. Wirkung der Brandungswelle bei negativer Strandverschiebung [§160]	235
F. Abrasionsflächen, Brandungswirkung bei pos. Strandverschiebung [§161]	236
G. Kennzeichen der Strandverschiebung (Hebung und Senkung) [§167]	243
H. Mechanische Wirkungen der Meeresströmungen [§170]	249
I. Wirkungen der Erdbebenfluten [§171]	250

Zehntes Kapitel: Beobachtungen bei Seefahrten [§172]	251
A. Beobachtungen an Inseln [§173]	252
a. Einteilung der Inseln [§174]	253
b. Koralleninseln und Korallenbauten überhaupt [§179]	259
c. Beobachtungen an vulkanischen Inseln [§187]	272
B. Gestalt und Beschaffenheit des Meeresbodens [§188]	273
Sedimentbildung auf dem Meeresboden [§189]	275
Elfte Kapitel: Atmosphärische Strömungen auf dem Festland [§191]	283
1. Arten des vom Winde transportierten Materials [§192]	284
2. Äolische Ablation und Korrasion [§194]	286
3. Umlagerung und Aufbereitung [§195]	289
4. Ablagerung des Staubes [§196]	292
<u>Dritte Abteilung:</u>	
Beobachtungen über Erdboden, Gesteine und Gebirgsbau [§197]	296
Zwölftes Kapitel: Beobachtungen über den lockeren Erdboden [§198]	298
A. Faktoren der Bodenbildung	298
a. Primäre Bodenbildner [§199]	299
b. Sekundäre Bodenbildner [§200]	299
c. Doppeltwirkende Bodenbildner [§201]	300
B. Regional und isotopisch verbreitete Bodenarten	301
a. Typen des Eluvialbodens	301
1. Zerfallenes Gestein [§202]	301
2. Tief zersetztes Gestein [§203]	302
3. Eluvialboden der Tafelländer [§204]	302
4. Gehänge-Lehm [§205]	302
5. Laterit [§206]	303
6. Vegetationsboden: Humus, Moor und Torf [§207]	305
7. Lösungsrückstände [§208]	307
b. Typen des Aufschüttungsbodens [§209]	307
8. Grobe Sedimente der Gewässer	307
9. Fein-erdige Sedimente der Gewässer [§210]	309

10. Chemische Absätze aus Süßwasser [§211]	310
11. Marine Bodenarten [§212]	310
12. Glazialschutt [§213]	310
13. Vulkanische Bodenarten [§214]	311
14. Löß und äolische Aufschüttungen überhaupt [§215]	311
Der Tonboden im Allgemeinen [§219]	317
C. Umänderungen des Bodens [§220]	318
D. Aufeinanderfolge verschiedener Bodenarten, organische Reste in ihnen [§221]	322
E. Typen der Erdräume nach dem Gesichtspunkt der Bodenbildung [§222]	324
Die Wüsten [§224]	328
Dreizehntes Kapitel: Beobachtungen über Gesteine [§225]	331
1. Die kristallinen Schiefer [§226]	333
a. Die kristallinen Schiefer des archaischen Zeitalters, Urgebirge [§227]	335
b. Die metamorphischen Gesteine [§228]	336
c. Beobachtungen über kristallinische Schiefer im Allgemeinen [§229]	339
2. Die sekundären Sedimentgesteine, oder das Flözgebirge [§230]	341
a. Beobachtungen über Gesteinscharakter [§231]	342
b. Beobachtungen über Schichtenverband [§232]	343
c. Beobachtungen über das geologische Alter [§233]	245
3. Die Eruptivgesteine oder Erstarrungsgesteine [§234]	346
Granitische Gesteine [§237]	352
Porphyrische Gesteine [§238]	355
Vierzehntes Kapitel: Beobachtungen über Vulkane [§239]	357
1. Haupttypen der jungeruptiven Gesteine [§240]	359
a. Rhyolithe [§241]	361
b. Trachyte [§242]	362
c. Andesite [§243]	362
d. Propylite [§244]	363
e. Basalte [§245]	365
Vulkanische Trümmergesteine [§246]	365
2. Verbreitung und Tektonik [§247]	366

3. Altersfolge der jungeruptiven Gesteine [§248]	369
4. Untersuchung eines Vulkans [§249]	372
5. Allgemeine Beobachtungen in vulkanischen Gegenden [§250]	378
a. Dämpfe und heiße Quellen	378
b. Zersetzungsprodukte [§251]	380
c. Anordnung der Ausbruchsmassen [§252]	381
Fünfzehntes Kapitel: Beobachtungen über den Bauder Gebirge [§254]	383
A. Lagerungsformen des Schichtgebirges	383
1. Ursprüngliche Lagerungsformen [§255]	383
2. Einseitige Neigung der Schichten [§256]	385
3. Bruch und Absenkung [§256]	387
4. Bruch und seitliche Schiebung [§258]	392
5. Schichtenfaltung [§259]	393
6. Bruch und Überschiebung [§260]	395
B. Relative Ablagerungszeiten des Schichtgebirges [§261]	397
C. Die Zerklüftung des Gesteins [§262]	402
Sechzehntes Kapitel: Die Hauptformen der Bodenplastik [§267]	408
A. Die Hohlformen des Festlandes [§268]	410
1. Die Landsenken [§270]	412
2. Die tektonischen Täler [§271]	413
3. Die Skulpturtäler [§272]	417
Art der Anordnung der Täler [§273]	419
B. Kategorien der Oberflächenformen [§274]	420
I. Tektonische Gebirge [§275]	422
a. Bruchgebirge oder Schollengebirge	422
1. Schollenrandgebirge	423
2. Flexurgebirge	424
3. Horstgebirge	425
b. Faltungsgebirge [§276]	426
1. Homöomorphe [§277]	427
2. Heteromorphe [§278]	428

II. Rumpfgebirge oder Abrasionsgebirge [§279]	431
III. Ausbruchsgebirge [§280]	436
IV. Aufschüttungsgebirge [§281]	436
V. Flachböden [§282]	437
a. Abrasionsplatten	437
b. Marines Flachland	437
c. Schichtungstafelland	437
d. Übergusstafelland	439
e. Stromflachland	439
f. Flachböden der atmosphärischen Aufschüttung	439
VI. Erosionsgebirge [§283]	440
C. Elemente des äußeren Gebirgsbaues [§285]	441
1. Der Gebirgsfuß [§286]	442
2. Die Kämme der Gebirge [§287]	443
3. Die Wasserscheide [§288]	447
4. Die Gebirgspässe [§289]	452
5. Die Paß-Übergänge [§290]	453
Siebzehntes Kapitel: Beobachtungen über nutzbare Mineralien [§291]	456
1. Steinkohlenlagerstätten [§292]	456
2. Erzlagerstätten im festen Gestein [§293]	459
3. Erzlagerstätten im Schwemmland [§294]	464
4. Andere nutzbare Produkte des Mineralreichs [§295]	466



[p.2]

Erste Abteilung.

Einleitender Teil.

Das Erste, was sich dem Blick des Forschungsreisenden in fremdem Lande darbietet, ist die scheinbar unwandelbare Erdoberfläche in ihrer endlosen Mannigfaltigkeit der Gestaltung. Sie bildet den Boden, auf welchem er selbst sich bewegt; auf ihr fließen die Gewässer; über sie hinweg strömt die Atmosphäre; sie ist, nebst dem von ihr getragenen Wasser, der Schauplatz aller, der biologischen Welt angehörigen, im Gegensatz zu ihrer eigenen Stabilität einem leicht erkennbaren Wechsel unterworfenen Faktoren. Der Pflanze dient sie zur Anheftung; das Tier ist auf sie angewiesen; der Mensch gründet auf ihr seine Wohnstätte. Das Verständnis ihrer Formen und ihrer Beschaffenheit ist daher die Grundlage für jedwede weitergehende geographische Erkenntnis. Der Forschungsreisende, auch wenn seine Ziele wesentlich auf anderen Gebieten liegen, sollte es daher als seine Fundamentalaufgabe betrachten, in so weiter Ausdehnung als seine Befähigung und die ihm gebotene Gelegenheit es gestatten, Material für die wahre Kenntnis des seiner Beobachtung sich darbietenden Teiles der Erdoberfläche zu sammeln. Er wird bald gewahr werden, in wie hohem Maße der Wert seiner anderweitigen Untersuchungen dadurch erhöht wird; wie jede Tatsache, möge sie sich auf die Vegetation, auf die Verbreitung der Tiere, auf die Beschäftigungen, die Ansiedelungen und den Verkehr der Menschen beziehen, in den Bodenverhältnissen ihre ursächliche Begründung zum Teil oder gänzlich findet.

Zunächst fesseln den Blick die allgemeinsten äußeren Umrißformen des Bodens. Mit gespannter Aufmerksamkeit verfolgt der Seefahrer, welcher sich der Küste nähert, die allmähliche Entwicklung der Linien und Gestalten des Landes; und wer, nachdem er festen Boden erreicht hat, seinen Blick über die ihn umgebenden Einzelheiten hinaus auf das Allgemeine zu richten vermag, der sucht die Verteilung von Berg und Tal innerhalb des Gesichtsfeldes in einem plastischen Gesamtbild zu erfassen. Er mißt mit dem Auge die Höhe und Steilheit der Gehänge, die Weite der Einsenkungen und Verebnungen. So erhält er einen Rahmen, in dessen einzelnen Teilen die Gegenstände anderer Beobachtungen sich gruppieren und eine örtliche Lage nach den Richtungen der Horizontale und der Vertikale annehmen. Deutlicher gestaltet sich das Bild, und noch reiner waltet darin das Element der Plastik, wenn man einen Höhepunkt besteigt und von ihm die umgebende Landschaft überschaute. Wer das erste Gebiet verläßt und sich nach einem anderen hin bewegt, der erhält eine Reihe von neuen Bildern, welche sich an einander schließen. Dem offenen und geübten Auge verketteten sie sich zu einem einzigen zusammenhängenden Ganzen, welches die Bodenformen in einer bald weiteren, bald engeren, von dem Reiseweg in ihrer Länge durchschnittenen Zone darstellt. Mit dem Anwachsen des Beobachtungsfeldes tritt eine Vermehrung der Gestaltungs-momente ein. Gewisse Formen kehren wieder; andere verschwinden; neue erscheinen.

Schon in diesem Stadium elementarster Beobachtung geht das Interesse über die Gestalt des Bodens hinaus; denn es knüpft sich an sie unmittelbar die Frage nach den Ursachen, welche der Verschiedenheit in den Formen zu Grunde liegen mögen. Wer zum Beispiel an einer Meeresbucht in einer von Bergen umschlossenen flachen Gestadlandschaft landet, oder wer auf einem Tafelland von Sandstein wandert, welches von Wasserrissen tief eingeschnitten ist, während Kuppen vulkanischen Gesteins der ebenen Fläche aufgesetzt sind, der erkennt sofort das Bestehen einer Reihe gestaltender Faktoren. Versucht man sie zu zergliedern, so zeigt es sich leicht, daß sie in drei Gruppen zerfallen. Die erste derselben bezieht sich auf die stoffliche Zusammensetzung. Der lockere Boden, welcher den tiefsten Teil der Talweitung in der flachen Bucht ausfüllt, steht mit dessen Gestalt in ebenso nahem Zusammenhang, wie das feste, vielleicht in Falten aufgebogene Schichtgestein, aus dem die umgebenden Berge bestehen, mit deren äußeren Formen. In ähnlicher Weise werden im anderen Fall die ebenflächigen Sandsteinschichten und das massige vulkanische Gestein die Beziehungen zu zwei verschiedenen Typen der Plastik erkennen lassen; selbst der Härtewechsel der einzelnen Schichten des Sandsteins prägt sich äußerlich deutlich aus.

Die zweite Gruppe der Faktoren besteht in den Agentien, welche von außen umgestaltend wirken. Man erkennt, daß Sand von derselben Beschaffenheit, wie derjenige welcher den Boden der flachen Bucht bildet, noch fortdauernd von der brandenden Meereswelle ausgeworfen und entweder durch Vegetation festgehalten, oder vom Wind verweht wird. Wo hingegen an den die Bucht begrenzenden Vorsprüngen das unverhüllte Gestein in das Meer abfällt, nimmt man die Zerstörung wahr, welche die brandende Flut unablässig an ihm ausübt. Untersucht man die Gehänge, welche sich aus dem Talboden erheben, so zeigen sie sich von Furchen verschiedener Gestalt durchzogen, an deren Vertiefung und Erweiterung das fließende Wasser fortdauernd arbeitet. Die Felsgesteine sind an der Außenfläche und entlang den sie durchsetzenden Kluftflächen angewittert, vielleicht auch in einen für die Vegetation günstigen Lehmboden umgewandelt, der zum Teil nach dem ebenen Grund hinabgeführt wird und den Talboden stellenweise bedeckt. Wie sich somit hier in dem steten Fortwirken verschiedenartiger dynamischer Vorgänge eine der Ursachen der wechselnden Oberflächenformen zu erkennen gibt, so wird sich dem anderen Reisenden insbesondere die zerstörende Gewalt des fließenden Wassers als ein Agens einprägen, welches im Stande war, in das Tafelland tiefe Furchen einzugraben und dadurch dem Verkehr, der sonst ungehindert stattfinden könnte, schwer überwindliche Schranken zu setzen.

Die Frage nach der Entstehung der Massen selbst, welche die betreffenden Teile der Erdoberfläche zusammensetzen und die beobachteten Umgestaltungen durch äußerlich wirkende Kräfte erfahren haben, führt zur gesonderten Betrachtung der dritten Gruppe von Faktoren. Diese sind die fundamentalsten, indem sie das genetische Moment betreffen. Auch sie sind dynamischer Art und berühren sich mit den vorher genannten oft in solcher Weise, daß beide nicht getrennt werden können. Der Beobachter an der Meeresbucht fragt nach der Entstehung der umgrenzenden Berge. Nur der innere Bau vermag sie zu lehren; aus der Faltung der Schichten lassen sich Kräfte erkennen, welche nicht von außen wirkten, sondern ihren Sitz innerhalb der Erdrinde selbst hatten. Er fragt weiter nach der Entstehung

der tiefen Einsenkung zwischen den Bergen, welche jetzt halb von trockenliegendem lockerem Erdreich, halb vom Meer ausgefüllt ist, und erkennt die Ursache entweder in einer Versenkung eines Teiles der Erdrinde, welcher innere Kräfte zu Grunde liegen, oder in der Wirkung äußerer zerstörender Agentien, oder in der Verbindung von Kraftäußerungen von beiderlei Art. Die Forschung ist bemüht, sie zu sondern und zu erkennen, wie einerseits der rohe Block

hervorgebracht, andererseits dessen Ausmeisselung und Umgestaltung vollzogen wurde. Der Wanderer auf dem Tafelland überzeugt sich leicht, daß die Sandsteinschichten, aus denen es besteht, den Charakter der aus Wasser abgesetzten Sedimente tragen, und findet den Beweis dafür in eingeschlossenen organischen Besten. Aus Erfahrung oder durch Belehrung weiß er, daß die Kuppen von vulkanischem Gestein nur durch das Emporsteigen von flüssigem Magma aus tieferen Regionen nach der Oberfläche entstanden sein können. Aber es werfen sich weitere Fragen auf; wodurch ist das Tafelland trocken gelegt? durch Rückzug des Meeres oder durch Aufsteigen eines Teiles der Erdrinde? weshalb haben die Schichten in diesem Fall ihre Horizontalität bewahrt, während sie in den Bergen an der Meeresbucht zusammengefaltet sind? wodurch wurde die Aufspaltung bewirkt, welche den Ausbruchsgesteinen die Wege anwies? läßt sich ein Zusammenhang dieser Gesteine mit anderen erkennen, welche in benachbarten oder weiter entfernten Regionen emporgestiegen sind? bestehen Beziehungen zwischen ihnen und den Abbrüchen und Abstufungen des Tafellandes, oder mit anderen Wechsellinien der Bodenformen?

Was der forschende Geist mit dem Versuch der Lösung dieser und zahlreicher anderer sich aufdrängender Fragen erstrebt, ist das morphologische Verständnis der Erdscholle, über welche die Beobachtung sich erstreckt. Die Unterlage ergibt sich durch die morphographische Kenntnis, d. h. durch die Festsetzung der reinen Gestalt, welche auf der Landkarte zur Darstellung gebracht wird. So wichtig und schwierig sie ist, sollte sie doch nur das Mittel zur Erreichung höherer Ziele sein. Zu diesen führt die Untersuchung nach den Gesichtspunkten der stofflichen Zusammensetzung, der fortdauernden Umgestaltung und der primären Entstehung. Physische Geographie und Geologie teilen sich in diese Aufgaben. Im Allgemeinen fallen der letzteren diejenigen Beobachtungen zu, welche sich auf die innere Zusammensetzung aus verschiedenartigen Gesteinen, auf den inneren Bau der Gebirge und die Entstehung dieses inneren Baues beziehen; die physische Geographie untersucht die äußeren Umgestaltungen durch die mechanischen Wirkungen des bewegten Wassers, der bewegten Luft und des bewegten Eises, sowie die daraus und aus der Verwitterung und Lösung hervorgegangenen Gebilde und Gestalten. Vielfach mit einander verflochten und verwebt sind beiderlei Aufgaben. Ihre Sonderung hat lediglich theoretischen Wert und richtet sich in der Praxis bei Vertiefung der Studien nach der Art der Vorbildung des Einzelnen; Vollkommeneres vermag Derjenige zu leisten, welcher im Stande ist, die verschiedenen Aufgaben mit einander zu verbinden.

Es ist der Zweck dieses Buches, eine vielfach auf des Verfassers eigene Erfahrungen gegründete Anleitung zu solchen Beobachtungen zu geben, "welche geeignet erscheinen, zu einem morphologischen Verständnis der Erdoberfläche zu führen. Sie ist in erster Linie für Den bestimmt, welcher, mit mäßiger Vorbildung in der Geologie und physischen Geographie, die ihm dargebotene Gelegenheit einer Reise nach fremden Ländern oder eines längeren Aufenthaltes in unzulänglich bekannten Gegenden, zur Vermehrung der Kenntnisse über dieselben nach den durch die genannten Wissenschaften vorgesteckten Zielen zu benutzen bestrebt ist. Ist auch dadurch eine elementare Behandlungsweise geboten, so findet doch vielleicht auch der Vorgeschriftene manchen brauchbaren Wink. Es erschien zweckmäßig, die auf die Kartenaufnahmen, sowie auf meteorologische und biologische Beobachtungen bezüglichen Aufgaben hier nur in einleitender Form und in soweit heranzuziehen, als sie unmittelbare Beziehung zur Morphologie der Erdoberfläche haben, da diese Gegenstände in dem Werk (Neumayers „Anleitung“), welchem das vorliegende Buch entsprungen ist, umständliche Behandlung finden. Aus demselben Grund ist hier auf die Erdbebenforschung nicht eingegangen worden.

Erstes Kapitel.

Reisevorbereitung und Reismethoden

[§1] Der Erfolg einer Forschungsreise hängt in erster Linie von dem Unternehmungsgeist des Reisenden, von seiner natürlichen Veranlagung zu Beobachtungen und von der erworbenen Befähigung zu deren Verwertung ab. Sein wichtigstes Instrument ist das Auge. Vorkenntnisse weisen diesem die Bahnen des Gebrauches an, Übung führt zu der richtigen und zweckmäßigen Art seiner Anwendung. Künstliche Instrumente, soweit sie nicht für die astronomische Festlegung von Ortslagen und die Beobachtung meteorologischer Elemente dienen, sollten wesentlich dazu bestimmt sein, das Auge zu unterstützen und den Wahrnehmungen durch die Anwendung von Maße und Zahl eine festere Gestalt zu geben. Aber man sollte sich dessen wohl bewußt sein, daß die Instrumente, mit den genannten Ausnahmen, für Denjenigen, welcher nicht eine durch Übung geschärfte Beobachtungsgabe besitzt, von beschränktem Nutzen sind. Von größerer Wichtigkeit ist die Aneignung von Vorkenntnissen. Wer dieselben nicht besitzt, wird sich bei der Rückkehr von einer Reise mit Bedauern bewußt werden, daß er die fruchtbarsten Gesichtspunkte nicht berücksichtigt hat. Nur in geringem Grad können sie durch eine Anleitung, wie die vorliegende, ersetzt werden. Von hoher Bedeutung ist die materielle Ausrüstung. Der Mangel eines einzigen scheinbar geringfügigen Gegenstandes kann den Reisenden vollkommen lahm legen und ihm die Gelegenheit zu den wichtigsten Forschungen abschneiden. Die Ausrüstung wird daher zu einem der wesentlichsten wissenschaftlichen Hilfsmittel und soll aus diesem Grund hier ebenfalls erörtert werden.



1. Vorkenntnisse und literarische Hilfsmittel.

[§2] Je umfassender und vollkommener die wissenschaftliche S Vorbildung eines Reisenden ist, desto höher können selbstverständlich, bei gleichem Maße von Beobachtungsgabe, seine Leistungen sein, und desto mehr werden dieselben durch praktische Erfahrung und Übung gesteigert werden. Indessen sollte auch Derjenige, welcher sich auf den Gebieten der Geologie und physischen Geographie geringere Kenntnisse angeeignet hat und das Schwergewicht seiner Untersuchungen in andere Gebiete der Wissenschaft verlegt, oder auch nur eine topographische Rekognoszierung beabsichtigt, vor den scheinbaren Schwierigkeiten nicht zurückschrecken; denn manche elementare Beobachtungen und nutzbare Wahrnehmungen lassen sich mit einem verhältnismäßig geringen Grad von Vorkenntnissen ausführen. Mit offenem Auge für die Erscheinungen, bei gleichzeitiger fleißiger Anwendung von Maße und Zahl, vermag Jeder die geographische Kenntnis im weitesten Sinn durch Vermehrung des Tatsachenschatzes zu fördern, sowie durch verständiges und planmäßiges Sammeln von Gesteinsstücken Bausteine zur geologischen Länderkunde zu liefern.

Die Erlernung der Methoden astronomischer Ortsbestimmungen ist dann unumgänglich notwendig, wenn der Reisende sich in Länder begibt, wo Arbeiten dieser Art, selbst in der unvollkommenen Ausführung, mit der er sich in der Regel begnügen muß, für die Construction der Karte erforderlich sind, was z. B. noch immer für große Teile von Afrika gilt. In diesem Fall kann er nicht genug Sorgfalt darauf wenden, sich unter bewährter Anleitung mit dem Gebrauch der Instrumente und den Methoden der Beobachtung und Berechnung völlig vertraut zu machen. Auch sollte man möglichst gute Instrumente mitnehmen, um relativ zuverlässige Resultate zu erzielen. Wo hingegen die Notwendigkeit nicht vorliegt, sollte man sich dieser Arbeit gänzlich entschlagen, um die Kräfte auf andere Aufgaben zu konzentrieren. Da gerade für die Ausführung astronomischer Ortsbestimmungen besondere Anleitungen in größerer Zahl geschrieben worden sind, ist in dem vorliegenden Buch auf diesen wichtigen Gegenstand keine Rücksicht genommen worden. (S. auch § 13.)

Die Erlernung der Aufnahme von Karten des Reiseweges oder von topographischen Skizzen einzelner Gegenden ist Jedem zu empfehlen. Es gehört dazu die Kunst der graphischen Darstellung der Bodenplastik (§ 18), welche man sich autodidaktisch aneignen kann. Nur in den Ländern, von denen Generalstabskarten in großem Maßstab existieren, kann man von dieser Arbeit absehen.

Das Studium der Geologie in ihren verschiedenen Zweigen, der Gesteinskunde, der Versteinerungskunde, der Lehre von den Lagerungsverhältnissen der Gesteine und der dynamischen Geologie, ist, ebenso wie dasjenige der physischen Geographie in ihren Unterabteilungen der Festlandskunde oder Orologie, der Ozeanologie und der Klimatologie, in unserer Zeit außerordentlich umfassend geworden, und es ist dem Einzelnen kaum möglich, in dem gesamten Bereich dieser Wissenschaftszweige so weit heimisch zu werden, daß er in jedem von ihnen durch eigene Forschung vertiefend zu wirken, oder auch nur der großen Fülle von Arbeiten mehr als in den allgemeinsten Zügen zu folgen vermag. Hinsichtlich der Aneignung von Kenntnissen auf diesen Gebieten bedarf es kaum eines Winkes für Denjenigen, welchem sich die Gelegenheit dazu auf Universitäten darbietet. Wer sich auf ihnen zu einem Forschungsreisenden heranzubilden wünscht, sollte sich eine möglichst breite Grundlage aneignen. Wer sich aber einem der genannten Zweige speziell zu widmen beabsichtigt, dem kann, neben dieser Verallgemeinerung des Studiums, nicht genug anempfohlen werden, diejenigen Disziplinen zu erlernen, welche die methodische Basis des betreffenden Wissenschaftszweiges bilden. Wie der Anthropologe und Ethnologe in der Anatomie und Physiologie und mindestens in den Grundlagen der allgemeinen Geologie und der allgemeinen Sprachwissenschaft zu Hause sein sollte, so bedarf der Paläontologe des Studiums der Zoologie und Botanik, der Geologe und Petrograph desjenigen der Physik und Chemie. Wer sich der physischen Geographie widmet, sollte sich ebenfalls die Kenntnis der beiden letztgenannten Wissenschaften aneignen, um die Geologie zu verstehen und in den Gebieten der Geophysik, der Meteorologie und der Ozeanologie heimisch werden zu können. Je allgemeiner dies beherzigt wird, desto mehr ist zu hoffen, daß die physische Geographie durch wissenschaftliche Reisende einen Schatz vertiefter und exakter Beobachtungen erhalten wird, um die mannigfaltigen in ihr sich anbietenden Probleme auf breiter Vergleichungsgrundlage lösen zu können und zu einer gesicherten Basis der biologischen Geographie und der Anthropogeographie im weitesten Sinn heranzuwachsen.

Wer in der glücklichen Lage ist, sich die hier bezeichnete Ausbildung angeeignet zu haben, kennt seine Aufgaben; allerdings nach beendigter Studienzeit zunächst nur gewissermaßen virtuell; zu ihrer aktuellen Erfassung und dem Auffinden neuer Probleme gelangt auch er erst durch die praktische Ausübung der Beobachtung. Die Mehrzahl der Forschungsreisenden und Derjenigen,

welche in wenig erforschten Ländern leben, befindet sich nicht in dieser Lage. Ihre Aufgabe ist es, die Vorbildung zu ergänzen oder überhaupt nachzuholen. Dies ist in manchen Gebieten nicht schwierig. So bedeutende geistige Kraft dazu gehört, um in der Meteorologie und Klimatologie Neues zu schaffen, kann man sich doch den Bestand der Kenntnisse und Auffassungen leicht so weit aneignen, um ein Verständnis für die atmosphärischen Vorgänge, und dadurch ein Interesse für die eigenen meteorologischen Beobachtungen zu gewinnen. Während hierzu, ebenso wie für die Ozeanographie und die Probleme der Geophysik, das Studium von Büchern hinreichend ist, gilt dies nur zum Teil für die Geologie. Für jeden Forschungsreisenden, welcher zur morphologischen Kenntnis eines Landes etwas beizutragen wünscht, ist die Bekanntschaft mit den verbreitetsten Gesteinen und den Altersstufen der Erde, ebenso wie das Verständnis der gebräuchlichsten geologischen Ausdrücke, unbedingt erforderlich. Das letztere kann man sich durch das aufmerksame Lesen leichtfasslich geschriebener Bücher, in denen die natürlichen Verhältnisse bildlich dargestellt sind, erwerben. Die Gesteine aber und die richtige Anwendung ihrer Namen vermag man nur an charakteristischen Handstücken in Sammlungen zu erlernen; unter kundiger Anleitung und durch fleißiges Studium kann man sich die wichtigsten derselben ohne große Schwierigkeit einprägen. Auch ist es zweckmäßig, eine eigene, auf das Wichtigste beschränkte Sammlung anzulegen und an deren Hand die betreffenden, allgemein verständlichen Werke mit Sorgfalt zu lesen. Wer sich des ABC in der Geologie unkundig erweist, indem er beispielsweise (wie dies nicht selten in Reisewerken geschieht) einen Sandstein oder Trachyt, weil sie körnig sind, als Granit beschreibt, oder jeden versteinungsreichen Kalkstein als Muschelkalk bezeichnet, oder jede kesselförmige Vertiefung einen Krater nennt, der kann höchstens durch Sammeln etwas leisten; aber seine aufgezeichneten Beobachtungen werden verlorene Mühe sein.

[§3] Die Leichtigkeit, mit der man sich einen großen Teil des Wissenswürdigen in der Geologie aneignen kann, führt zu einer gefährlichen Klippe, an welcher Viele scheitern. Sie besteht in der Versuchung, welche die Geologie zu weitgehenden theoretischen Schlußfolgerungen bietet. Der Laie ist zu denselben am meisten geneigt, und kaum minder sind es Diejenigen, welche entweder ausschließlich im Feld, oder ausschließlich im Studierzimmer (besonders am Tisch des chemischen Laboratoriums) gearbeitet haben. Die Vorsicht wächst mit der Kenntnis und Erfahrung, und die Schlußfolgerungen von höheren Gesichtspunkten aus sollten denen überlassen bleiben, welche neben einer ausgedehnten Übung im Feld die Fähigkeit zu gründlichem Arbeiten im Studierzimmer erlangt haben. Je reiner sich die Beobachtung von der Theorie hält, desto wertvoller ist sie. Dies kann nicht genug beherzigt werden. Nur wer vollkommene Vorbildung besitzt, vermag nach dem leuchtenden Vorgang von Alexander von Humboldt, Leopold von Buch, Sir Charles Lyell und Eduard Suess von dem gesicherten Boden der Einzelbeobachtung aus sich zu großen und allgemeinen Gesichtspunkten zu erheben. Auch die gründliche Kenntnis in anderen Naturwissenschaften kann einen groß angelegten Geist zu weittragenden und sehr wichtigen Schlußfolgerungen auf den Gebieten der physischen Geographie und Geologie berechtigen, wenn er diese als Nebenzweige des Studiums hinreichend beherrscht. Dies zeigen die Musterreisewerke von Charles Darwin, William Hooker und Alfred Russell Wallace. Als ein Vorbild für Diejenigen, welche keine Gelegenheit haben, den Mangel einer ausreichenden wissenschaftlichen Vorbildung in der Heimat nachzuholen, aber doch den dauernden Aufenthalt in einem wenig bekannten Land zu dessen gründlicher Erforschung zu benützen bestrebt sind, kann Franz Junghuhn hingestellt werden, welcher als Arzt nach Java kam und sich durch selbsterworbene Kenntnisse und ausgezeichnete Beobachtung zu einem hohen Rang unter den Koryphäen auf dem Gebiet der physischen Geographie aufgeschwungen hat.

[§4] Als geeignete Werke zur allgemeinen Vorbildung können empfohlen werden:

Hann, Höchstetter und Pokorny, Allgemeine Erdkunde. Vierte Auflage. Prag und Leipzig 1884, 1885 (kleine Handausgabe, besonders die zwei ersten Abteilungen).

H. Credner, Elemente der Geologie, 5. Auflage, Leipzig 1883.

Al. Supan, physische Geographie, Leipzig 1884.

Diese Werke tragen den neuesten Standpunkten Rechnung und sind ausreichend*). Wer die Literatur über einige der in den nachfolgenden Kapiteln behandelten Gegenstände kennen lernen will, um in deren Studium tiefer einzudringen, findet die reichhaltigste Zusammenstellung, neben eingehender Erörterung der betreffenden Gegenstände selbst, in

S. Günther, Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie, 2 Bände, Stuttgart 1884 und 1885.

Einige wenige speziellere Werke werden weiterhin an den geeigneten Stellen genannt werden. Hier mögen noch solche Bücher Erwähnung finden, welche besonders dazu bestimmt sind, dem Reisenden Anleitung zur Forschung zu geben: Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, herausgegeben von G. Neumayer. Die erste Auflage dieses von mehreren Gelehrten verfaßten Werkes erschien in Berlin bei Robert Oppenheim 1875. Eine zweite Auflage soll im Jahre 1887 erscheinen.

Kaltbrunner, der Beobachter, (deutsche Ausgabe von Kaltbrunner) Zürich 1882, ein Werk, welches wegen seiner einheitlichen, die verschiedensten Beobachtungssphären gleichmäßig berücksichtigenden Durchführung und seiner vielfachen praktischen Anleitung zu rühmen ist.

Hints to travellers, by H. H. Godwin-Austen, J. K. Laughton and D. W. Freshfield. Fifth edition, London Stanford 1883. In diesem kleinen Buch ist der Schwerpunkt auf eine Anleitung zur Vermessung und astronomischen Ortsbestimmung gelegt, welche zwei Dritteile des Ganzen einnimmt und wegen ihrer praktischen Gesichtspunkte sehr zu empfehlen ist. Die Beobachtungswissenschaften sind gänzlich unzureichend behandelt. Dagegen findet der Reisende beherzigenswerte "Winke über Heilmittel und Ausrüstung.

Archibald Geikie, Outlines of Field-geology, 2d- ed. London 1879. Dieses kleine elementar geschriebene Werk des berühmten Directors der geologischen Aufnahmen in Großbritannien ist zwar zunächst für dieses Land bestimmt, kann aber auch für weitere Zwecke gute Dienste leisten.

2. Ausrüstung für wissenschaftliche Arbeit.

[§5] Die Ausrüstung für eine wissenschaftliche Reise richtet sich nach den Zwecken derselben und kann daher sehr verschieden an Art und Umfang sein. Der Reisende sollte sich seiner Ziele

klar bewußt sein. Wenn in diesen geodätische Operationen und Ortsbestimmungen eine wesentliche Stelle einnehmen, so sind eine Anzahl umfangreicher, zum Teil schwer zu transportierender und kostbarer Instrumente erforderlich. Da die betreffenden Arbeiten in dem vorliegenden Buch keine Stelle finden, so bleiben auch jene unberücksichtigt. Es kommt hier nur auf diejenige Ausrüstung an, welcher der Reisende für die in den nachfolgenden Kapiteln erörterten Beobachtungen notwendig bedarf. Sie besteht aus wenigen, leicht zu beschaffenden Gegenständen. Hammer, Compass und Aneroid sind das Handwerkszeug, ohne welches geologische Arbeit nicht ausgeführt werden kann. Nächst einem Notizbuch ist außer ihnen nicht viel notwendig.

Der Hammer muß besonders für den Zweck gefertigt sein. Von seiner Beschaffenheit hängt viel ab. Mit einem schlechten hat man doppelte Arbeit, erhält unvollkommene Handstücke und unterläßt oft das Sammeln; er nutzt sich leicht ab, wird dann beinahe unbrauchbar, und man hat viel Verdruß. Der dazu verwendete Stahl muß die größte Härte besitzen, welche sich ohne zu große damit verbundene Sprödigkeit erreichen läßt. Seiner Herstellung sind nur einzelne, besonders geschickte Stahlschmiede fähig, und gute Hämmer sind eine Seltenheit. Von nicht geringer Wichtigkeit ist die Form des Hammers, und in dieser Hinsicht gehen die Ansichten weit auseinander. Es gibt eine Berliner, Wiener, schweizerische, italienische, englische, indische, kalifornische etc. Form, und jede Schule hält die ihr eigentümliche für die beste. Nachdem ich mich periodisch verschiedener Hämmer bedient habe, bin ich bei dem von Prof. J. D. Whitney bei den geologischen Aufnahmearbeiten in Kalifornien eingeführten stehen geblieben, da er den wirksamsten Schlag und die genaueste Arbeit gestattet. Als Regeln haben zu gelten: ein Ende ist scharf, das andere stumpf; die Schneide des Keilendes ist dem Stiel parallel; das stumpfe Ende ist parallelipedisch (nicht abgestutzt- pyramidal, wie in den meisten Fällen); die Endflächen desselben (also auch der Querschnitt des Hammers am stumpfen Ende) ist ein Rechteck, dessen längere Seiten dem Stiel parallel sind; als das günstigste Größenverhältnis fand ich 25 und 28 mm für die vier Seiten des Rechtecks, und 108 mm für die ganze Länge des Hammers; das Centrum der Durchbohrung für den Stiel muß mit dem Schwerpunkt zusammenfallen, und dieselbe muß oben weiter sein als unten, damit, wenn das obere Ende des Stieles verkeilt ist (mit hölzer-

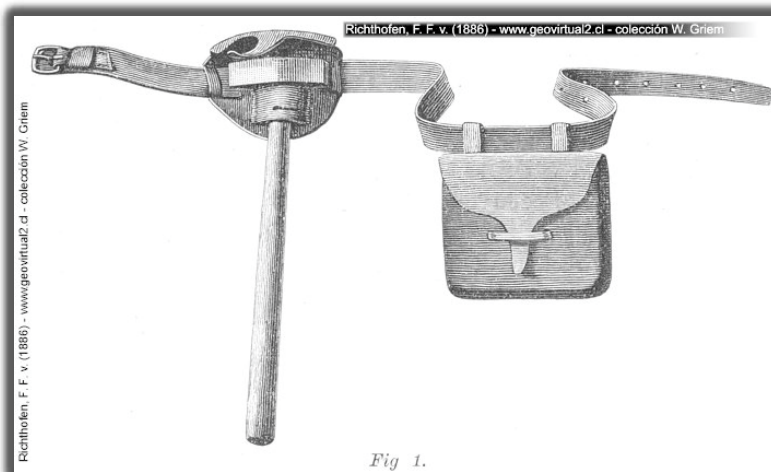


Abb. 1: Hammer mit Tasche

nem f oder mit Widerhaken versehenem eisernem Keil), der Hammer bei dem Gebrauch nicht herausfliege; der Stiel muß ungefähr 40 cm lang, vom zähesten und härtesten Holz gearbeitet (z. B. amerikanischem Hickory Holz), und am Ende so abgerundet sein, daß er zu sicherem Schlag bequem in der Hand ruht. Es ist gut, einige Reservestiele und Keile mit sich zu führen.

Man trägt den Hammer entweder in einem ledernen Futteral, das an einem Leibriemen auf der linken Seite des Körpers angebracht ist (s. Fig. 1), oder an der Seite der ledernen Umhängetasche. — Der hier beschriebene Hammer ist besonders dann zu empfehlen, wenn man nicht mehr als einen für eine längere Reise mitzunehmen in der Lage ist. Hat man mehr Raum und Gewicht zur Verfügung, so tut man gut, Hämmer von verschiedener Größe bei sich zu führen: einen

kleinen für beschwerliche Bergbesteigungen und für solche Gegenden, in denen man selten in den Fall kommt, den Hammer überhaupt zu gebrauchen; einen großen und schweren zum Zweck des Zertrümmerns von Gesteinsblöcken, besonders bei dem Sammeln von Versteinerungen zu verwenden; er ist zweckmäßig an beiden Enden abgestumpft. Auch ist oft ein Hammer von längerer Form und mit einer rechtwinklig zum Stiel stehenden Schneide dienlich, besonders zum Schürfen in Boden und Schutt.

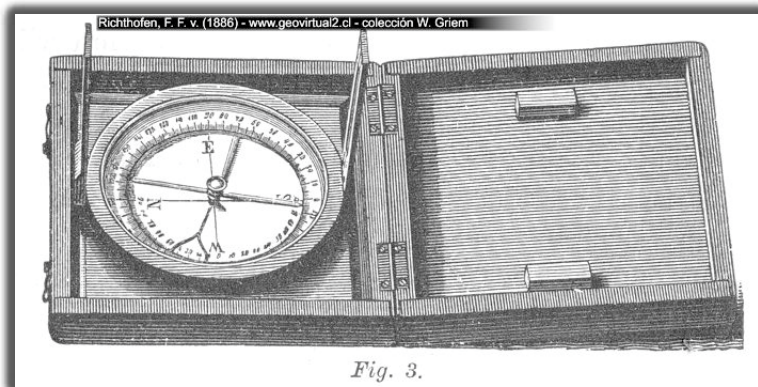
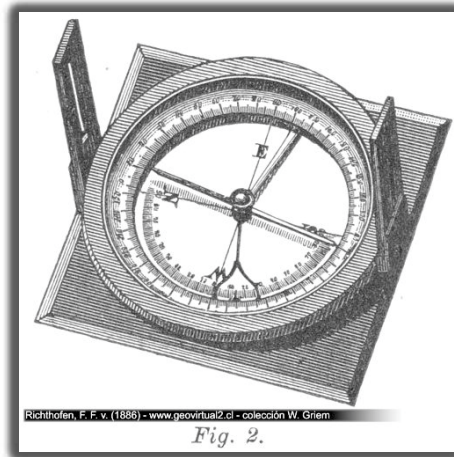
Der Kompaß sollte so eingerichtet sein, daß er zu verschiedenen Zwecken dient, und in Anbetracht seiner Wichtigkeit von vorzüglichster Construction sein. Erst bei einem Durchmesser des Teilungskreises von mindestens 6 bis 7 cm kann die wünschenswerte Genauigkeit der Gradteilung und Ablesung erreicht werden. Uhrförmige Instrumente sind nur ein unvollkommener Notbehelf. Das runde Gehäuse sollte auf einer quadratischen Messingplatte so befestigt sein, daß die N-S -Linie einer Seite parallel ist, und das ganze Instrument in einem genau gearbeiteten Holzkasten liegen, so daß bei dem Aufklappen desselben eine 15 bis 16 cm lange Seite der N-S- Linie des Teilungskreises parallel ist. Man hat dann nur diese Seite derjenigen Linie parallel zu halten, deren Abweichung von dem magnetischen Meridian bestimmt werden soll, und kann das Resultat unmittelbar mit großer Schärfe an der Stellung der Nadel ablesen. Die letztere sollte stets stabförmig, und der Kreis in 360 Grade geteilt sein. Doch ist auch eine Teilung jedes Quadranten in 90 Grad, wobei die Nullpunkte mit den Polen zusammenfallen, praktisch. Früher teilte man den geologischen Compass in die bergmännisch gebräuchlichen 24 oder zweimal 12 „Stunden“ ein; dies ist heute zum Teil noch gebräuchlich, muß aber als ganz ungenügend bezeichnet werden, da die Able-sungen auf einen Grad genau geschehen müssen.

Die angegebene Methode der Ablesung ist besonders bei Streichrichtungen anstehender Schichtgesteine oder eines Ganges anzu-

wenden. Sie ist ungenügend, wo die Richtungslinie von dem Standpunkt des Beobachters nach einem entfernten Gegenstand, z. B. dem Gipfel eines Berges, bestimmt werden soll. Dazu muß an dem Compass eine Azimutvorrichtung angebracht sein.

Ein einfaches Visier zum Aufklappen, bestehend in einem senkrecht stehenden, mit einem Schlitz versehenen Stäbchen am Südpol, und einem ebenso gestellten, mit einem Faden, am Nordpol der Gradeinteilung, ist vollkommen zweckentsprechend. Am Boden kann eine Vorrichtung zum Aufschrauben auf ein Stativ angebracht sein.

In England wendet man häufig den sogenannten prismatischen Kompaß an. Die Nadel trägt ein rundes Kartenblatt mit Gradeinteilung, und letztere wird, vergrößert, durch ein Prisma abgelesen. Da jedoch die Ablesung nur durch letzteres geschehen kann, und die Nadel mit ihrer



Belastung sehr langsam schwingt, so sind diese Instrumente besonders dann brauchbar, wenn man den Kompaß fest und in einer für diese Art des Ablesens bequemen Lage aufstellen kann; da dies sehr häufig nicht möglich ist, so beeinträchtigt man auf Reisen leicht die Genauigkeit, welche die Methode zu erhöhen bestimmt ist.

An jedem geologischen Kompaß befindet sich ein Klinometer, um den Winkel zu bestimmen, den eine geneigte Linie oder Fläche mit dem Horizont bildet. Die Genauigkeit der Bestimmung wird um so grösser sein, je länger die gerade Linie des Instrumentes ist, welche man in die zu bestimmende Neigung zu bringen vermag. Fällt der Nullpunkt des Klinometers mit dem W- oder O-Punkt des Kompasses zusammen, so kann man die sechszöllige Seite des geöffneten Kästchens (s. Fig. 3) zum Anlegen auf einer geneigten Schichtfläche benutzen und sehr befriedigende Resultate erhalten. Will man aber die Neigung einer im Profil gesehenen sanften Böschung, oder der Gehänge eines vulkanischen Kegels messen, so hält man die untere Langseite des Kastens so, daß sie mit der Profillinie zusammenfällt, und wird, wenn man das Mittel aus zwei oder drei Ablesungen nimmt, das Resultat bis auf einen halben Grad genau bekommen können.

Der mit Azimut-Vorrichtung und Klinometer versehene Compass wird am zweckmäßigsten in einer am Leibgurt verschiebbaren Ledertasche auf der rechten Seite getragen. (S. Fig. 1.) Man tut gut, zur Reserve, wie zum Gebrauch bei solchen Gelegenheiten, wo geringere Genauigkeit erforderlich ist, einen gewöhnlichen uhrförmigen geologischen Compass mitzunehmen.

Das nächst wichtigste Instrument ist das A n e r o i d, um, außer jenen Höhenbestimmungen, die für das Relief der Gegend wichtig sind, auch fortdauernd kleine Höhendifferenzen zu beobachten, und dadurch die Mächtigkeit von Schichtengruppen, die Erhebung einer Schotterterrasse über die Talsohle, oder alter Küstenränder über dem Meer, die Tiefe von Schluchten, die Höhe, bis zu welcher Gletscher oder Lavaströme herabreichen, das Gefälle von Gebirgsbächen, und vieles Andere, das sich der Beobachtung ohne Unterlaß bietet, sogleich zu bestimmen. Den besten Dienst tut ein kleines Instrument in Gestalt einer Uhr, das man an einer um den Hals geschlungenen Schnur, in einer etwas höher als die Uhr angebrachten Westentasche trägt. Dort ist es Störungen am wenigsten ausgesetzt und bewahrt am gleichmäßigsten die Temperatur; zugleich auch hat man es stets bequem zur Hand. Der Reisende sollte aber niemals ohne zwei andere kontrollierende Aneroide sein. Der Gang eines jeden muß auf das genaueste bekannt und in Tabellen niedergelegt sein. *1) Erfährt ein Instrument einen Stoß, wie es bei längeren Reisen unvermeidlich vorkommt, so vergleicht man es sofort mit den anderen und notiert, falls es seinen Gang verändert hat, die von nun an bis auf weiteres konstant bleibende Abweichung.

[*1]: Mit sehr dankenswerter Zuvorkommenheit hat in wiederholten Fällen die Direktion der Deutschen Seewarte in Hamburg die Prüfung und die Feststellung des Ganges von Aneroiden übernommen. Beides ist bei Beginn und bei Abschluß einer Reise auszuführen; außerdem ist der Stand der Aneroide mit einem Normalbarometer so häufig als möglich zu vergleichen.

Da man zuweilen bei zwei Aneroiden eine größere Differenz im beiderseitigen Stand beobachtet als sie vorher hatten, ohne die Veranlassung zu kennen, und ohne daher zu wissen, welches von beiden seinen Gang geändert hat, so ist ein drittes Instrument erforderlich, dessen Vergleichung sofort zeigt, wo und wie groß der Fehler ist. Sind auch Unfälle dieser Art bei sorgfältiger Behandlung selten, so sind sie doch nicht zu vermeiden (z. B. bei einem Fall, dem Umstürzen des Wagens, dem Abwerfen des Gepäckes durch Lasttiere etc.). Ein einziges Aneroid ist deshalb gänzlich wertlos. Die Mitnahme eines zweiten bietet einige Garantie; aber nur wenn ihrer drei sind, kann man die Fehler ganz eliminieren. — Die Reserve-Aneroide packt man mitten in Wäsche hinein,

wo sie recht gut geschützt sind. — Am besten ist es natürlich, ein Quecksilberbarometer zur Vergleichung bei der Hand zu haben. Bei langen geologischen Landreisen außerhalb Europa ist jedoch ein solches Instrument oft schwierig zu transportieren; man muß stets auf seinen Verlust gefaßt sein, und daher auch neben demselben noch die Dreizahl der Aneroide beibehalten. — An Stelle des Quecksilberbarometers empfiehlt es sich, ein Kochthermometer mitzunehmen, um es häufiger und in verschiedenen Meereshöhen mit den Aneroiden zu vergleichen.

Reist man in Gegenden, wo meteorologische Stationen bestehen, so wird man von Zeit zu Zeit Normalinstrumente zur Vergleichung benutzen können. Sind erstere nicht vorhanden, so sollte man ein Stationsbarometer mitnehmen, welches man an der Hauptstation oder an Bord des Schiffes zurückläßt. Wo es irgend zulässig ist, sorgt man für dessen beständige Ablesung, um eine Basis zur Berechnung der Höhenmessungen zu erlangen.

Der Gebrauch des Aneroids wird wesentlich vervollständigt durch ein Horizontglas, eine ungefähr 20 cm lange Röhre, an deren einem Ende sich ein kleines rundes Visier befindet, während am anderen in der Mitte der Öffnung ein Faden gespannt ist. Durch eine prismatische Vorrichtung sieht man, wenn das Instrument genau horizontal steht, und der Faden ebenso gerichtet ist, eine in einer kleinen Libelle befindliche Luftblase, sobald sie in der Mitte steht, von einem zweiten am Prisma angebrachten Faden durchschnitten. Der erste Faden bezeichnet alsdann den Horizont. Beobachtet man nun von einem Punkt, dessen Höhe das Aneroid anzeigt, den Horizont ringsum, so lassen sich manche hypsometrisch oder geologisch interessante Niveauverhältnisse sofort erkennen. Bei einem mehrgipfeligen Gebirge z. B. kann man, wenn man einen Gipfel bestiegen hat, die Höhe der anderen annähernd durch Schätzung bestimmen, wenn man beobachtet wo die Horizontlinie sie schneidet. [*1]

[*1] Das Horizontglas (handlevel) ist ein in den Vereinigten Staaten viel benutztes Instrument. In Deutschland kennt man es wenig. Nach dem Muster des meinigen, welches aus Boston stammt ist eines recht gut von der Firma Bonsak in Berlin gearbeitet worden. Ein Azimuth-kompass nach dem oben beschriebenen, ebenfalls aus Amerika stammenden Muster, wurde von Linke in Freiberg angefertigt.

Betreffs der Instrumente zur Messung von Temperatur und Feuchtigkeit ist Näheres in § 20 angegeben.

Der Reisende braucht notwendig eine aus starkem Leder fest genähte Tasche, die an einem über die Schulter geschlungenen Riemen an der Seite getragen und nicht, gleich anderen Sachen, den Trägern oder Führern übergeben wird. Er findet sich von Diesen häufig isoliert und muß Fundstücke von Gesteinen wenigstens eine Weile selbst zu transportieren bereit sein, außerdem aber die Instrumente, ein Skizzenbuch und Notizbuch stets zur Hand haben. Auch darf es nie an einer Quantität weichen Packpapiers fehlen, um vorkommenden Falls eine Menge von Steinen hineinzuwickeln. Hinsichtlich der Form der Notizbücher hat Jeder seine Liebhaberei; doch sollte man ein möglichst einfaches Buch stets in der Rocktasche bei sich tragen, um es jederzeit zu rohen Aufzeichnungen und flüchtigen Bemerkungen zur Hand zu haben. Ein Format von ungefähr 18 X 11 cm ist für das Einzeichnen von Skizzen zweckdienlich.

Den kleinen, höchst unbedeutend erscheinenden, und doch sehr beherzigenswerten Wink möchte ich hinzufügen, daß der Reisende stets einen guten langen Bleistift an einer Schnur befestigt um den Hals trage, weit genug herabhängend, um ihn mit Bequemlichkeit zu gebrauchen. Fortdauerndes ist das Wesen genauer Aufnahmen, und vielfache Erfahrung hat mir gezeigt, daß man mehr als doppelt soviel notiert, wenn man den Bleistift bei der Hand hat. Ist die Mühe, ihn anderswo hervorzuholen, noch so gering, so ist dies doch hinreichend, um oft einen Aufschub

und dadurch eine Vernachlässigung der Notiz zu veranlassen. Ein einziges Wort, kaum leserlich in das Rohbuch eingeschrieben, ist häufig hinreichend, um am Abend im Tagebuch zu einer längeren Beschreibung ausgesponnen zu werden, deren Abwesenheit man später sehr empfinden würde.

Ans dem vermittelt der angegebenen einfachen Utensilien § 6. gesammelten Material von Gesteinsproben, sowie von vorläufig auf-gezeichneten Beobachtungen, wird am Abend jedes Tages das Tagebuch mit Gewissenhaftigkeit und Ausführlichkeit mittelst Feder und Tinte geschrieben; zugleich werden die kartographischen, geologischen und landschaftlichen Skizzen mit mehr Sorgfalt ausgeführt. Das Tagebuch sollte in Großoktav- oder Quartformat sein. Bei Einzeichnungen wird es Jedem zu statten kommen, farbige Stifte mit sich zu führen, um sie für Unterscheidungen von Gesteinen, Bodenarten, Terrainstufen, Kulturland etc. sofort anzuwenden. Auch ein Farbenkasten ist erforderlich, um Bezeichnungen ähnlicher Art gleich auf der Karte aufzutragen.

Dies ist Alles, was der Reisende zum Zweck der Forschungen auf geologischem und physisch-geographischem Gebiet notwendig braucht. Je nach Bedürfnis wird Mancher noch mehr mit sich führen. Wer darauf ausgeht, an Orten, von denen das Vorkommen von Versteinerungen bekannt ist, größere Sammlungen anzulegen, der wird eine Keilhaue, einen schweren Hammer, einige Meißel und andere Instrumente mitnehmen. Wer beabsichtigt, an Ort und Stelle Untersuchungen von Mineralien und Erzen auszuführen, der belastet sich vielleicht mit einem Lötrohrapparat, Mikroskop und Reagenzkasten, wird aber davon wenig Gebrauch machen können, wenn er nicht an einzelnen Orten einen längeren Aufenthalt nimmt. Will man geologische Karten anfertigen und muß man die topographische Grundlage dazu selbst konstruieren, so hat man Alles mitzunehmen, was dazu gehört (s. § 14 ff.).

Ein wichtiger Teil der allgemeinen Ausrüstung, der aber nach den Bedürfnissen sehr verschieden sein wird, betrifft Karten und Bücher. Von Karten sollte der Reisende, der nur einigermaßen geographisch und geologisch zu beobachten gedenkt, das Beste, was von dem betreffenden Lande existiert, fortwährend bei sich führen, um Einzeichnungen zu machen und sich über den weiteren Verlauf der Flüsse und Gebirge, welche er sieht, zu orientieren. Die Bücher teilen sich in zwei Klassen. Denn einerseits besitzt der Reisende eine Bibliothek, die er an Bord, oder an Orten, wo er sich länger aufhält, mit Muße studiert. Hier wird der Laie seine Lehrbücher, der Geograph und Geologe von Fach seine spezielleren Nachschlagewerke haben. Auf Reisen im Inneren eines Landes aber sollte man sich möglichst beschränken. Existieren bereits wissenschaftliche Arbeiten über dasselbe, so sollte man sie mit sich führen, denn sie regen außerordentlich an. Außerdem aber genügen kurze Compendien, in denen man zeitweise sein Gedächtnis auffrischen kann. Zum Studium ist in der Regel keine Zeit; und der Laie mühe sich nicht damit ab, unterwegs nach Beschreibungen Gebirgsarten kennen lernen oder bestimmen zu wollen. Er würde sicher auf Irrwege geraten. Wer vorher die gewöhnlichen Gebirgsarten nicht zu unterscheiden weiß, der kann es unter solchen Verhältnissen aus dem besten Buch nicht lernen, und handelt weit richtiger, keine Namen anzuwenden.

Nicht unwesentlich ist die Mitnahme von Zeichenpapier. Abgesehen von Skizzenbüchern empfiehlt es sich, Rollenpapier von einer für Aquarellmalerei geeigneten Art auf Leinwand aufziehen zu lassen, so daß man Blätter von beliebiger Größe abschneiden kann. Ich pflegte vor jeder längeren Reise eine größere Anzahl derartiger Blätter zurecht zu stellen und mittelst eines Liniennetzes in Quadrate von je 1 engl. Zoll Seitenlänge zu teilen. Dies gestattete, bei der Kartenzeichnung den einheitlichen Maßstab von 1 engl. Zoll = 6 nautische Meilen (60 auf 1 Äquatorgrad) anzuwenden. Da es jetzt Croquirpapier mit Millimeteerteilung ebenfalls in Rollen gibt, so würde es zweckmäßig sein, auch dieses auf Leinwand gezogen mit sich zu führen. Auf der Reise

fehlt es zum Zeichnen, und selbst zum Schreiben, häufig an einer geeigneten Unterlage. Ich pflegte als solche einen sehr festen Pappdeckel (57 X 38 cm) mit Blechrahmen zum Schutz gegen Wind, wie sie in England für Landschaftszeichner angefertigt werden, beständig bei meinem Gepäck zu haben. Derselbe hat mir sehr gute Dienste getan. Die Kartenblätter hatten dieselbe Größe.)

3. Methoden des Reisens.

[§7] Derjenige, welchem geologische und physisch-geographische Forschungen Hauptzweck sind, reist unter allen Umständen am besten allein, oder höchstens (natürlich abgesehen von der einheimischen Dienerschaft) mit einem Begleiter, welcher nicht einem bestimmten Zweig der Wissenschaft nachgeht, sondern vielmehr in einer untergebenen Stellung dazu da ist, spezielle Aufsicht über Leute und Gepäck zu führen, gelegentlich den Packzug auf einem von dem Reisenden abweichenden Weg zu führen, die Küche mit Wildbret versorgt zu halten, die Neugier der Eingeborenen zu befriedigen während der Reisende seine Arbeiten ausführt, und welcher sich zugleich für geologische Hilfsarbeiten, wie das Sammeln von Versteinerungen, das Schlagen von Formatstücken u. s. w., anleiten läßt. Jeder Reisende, welcher selbständigen Zielen nachgeht, sei er Botaniker oder Entomologe, oder Ethnograph, oder Kaufmann, hindert den Geologen und wird von ihm gehindert, da Jeder anderer Bedingungen für die Orte, an denen ihm ein Aufenthalt wünschenswert erscheint, bedarf. Selbst ein geistig ebenbürtiger, dem Willen des Reisenden sich unterordnender Gesellschafter ist kaum anzuraten, da man dann nicht die nötige Zeit auf Ausarbeitungen zu verwenden im Stande ist. Der Geologe aber hat beim Reisen nicht einen Augenblick Zeit, müßig zu sein. — Diese Vorschriften gelten für den Fachmann in rigorosster Weise und haben allerdings weit weniger Anwendung für Den, welcher Geologie und physische Geographie als Nebenbeschäftigung treibt. Doch gilt für alle Naturforscher die Empfehlung, allein oder in sehr kleinen Gesellschaften zu reisen. Botaniker und Zoologe kommen gut zusammen aus, da das Verbleiben an Standquartieren in der freien Natur für sie wichtiger ist, als das stete Vorwärtsgen. Auch der Ethnograph und der Nationalökonom mögen zusammen gehen, da Beide ihr Material an bevölkerten Ortschaften finden. Je vielseitiger die Zwecke großer Expeditionen mit zahlreichem Personal sind, desto ungünstiger gestaltet sich in der Regel das Verhältnis der aufgewendeten Mittel zu dem zu erwartenden Erfolg. Man hindert sich gegenseitig, man hält einander auf und reist einander fort. Viel Zeit wird vergeudet, und sehr selten hat ein Mitglied Gelegenheit, seine Kräfte zur vollen Geltung zu bringen. Solche Expeditionen werden in Hindernissen geboren und wachsen in ihnen fort; nur wenige sind mit großem Erfolg gekrönt gewesen.

Der Forscher auf den Gebieten der physischen Geographie und Geologie muß, wo immer er mitten in einem Beobachtungsfeld ist, möglichst viel zu Fuß gehen. Unter den Beförderungsmitteln ist der Gebrauch des Wagens wenig zu empfehlen, da man dadurch an die Fahrstraßen gebunden ist, welche das geologisch interessante Bergland gewöhnlich vermeiden. Tragstühle sind nur Dem anzuraten, welcher sie als Dekoration benutzt und daneben her geht; denn die Bewegung derselben hat eine erschlaffende Wirkung und lähmt die Beobachtung. Am zweckmäßigsten ist das Reisen zu Pferd oder Maultier, da man damit am wenigsten an bequeme Wege gebunden ist, und ein Mittel zu Seitenausflügen stets zur Hand hat. Stromfahrten sind

unbefriedigend, da man vom Boot zu wenig Aussicht hat und im besten Fall den Gebirgsbau entlang einer Linie kennen lernt. Bei der Fahrt stromaufwärts kann man viel zu Fuß gehen, aber stromabwärts eilt man im Flug an den interessantesten Stellen vorbei, und gerade in Felsengen, wo die Aufschlüsse am reichsten sind, hat man selten Gelegenheit, an den für die Beobachtung zweckmäßigsten Orten anzulegen. Ist man an ihnen vorbei, so ist die Gelegenheit sie zu sehen unwiederbringlich verloren.

Das Reiten auf Kamelen ist in einigen Gegenden, die Beförderung auf Elefanten in anderen Ländern nicht zu vermeiden. Wo auf weite Strecken ein Wechsel nicht eintritt, wie in Steppen und Wüsten, oder wo endlose Vegetation jede Möglichkeit eines Aufschlusses verschließt, sind beide Methoden als Transportmittel zweckdienlich. Wenn aber das Auge einen der Beobachtung werthen Gegenstand erspäht, verläßt man den hohen Sitz auf dem Thier mit ungleich größerem Widerstreben, bedeutenderer Schwierigkeit und längerem Aufenthalt, als wenn man sich des Pferdes oder Maultieres bedient. Man sollte, wo immer sich Aufschlüsse darzubieten scheinen, selbst in den Ländern des Kameels und des Elefanten, so viel als möglich wandern.

4. Wahl des Reiseweges.

[§8] Außerordentlich viel hängt von den Linien ab, denen entlang man ein Land bereist. Die Hauptverkehrswege, auf welchen das Fortkommen am bequemsten ist, führen in der Regel so, daß man einen Begriff von der Plastik und inneren Struktur der Gegend nicht bekommt. Wer diese erkennen will, muß geologische Aufschlüsse aufsuchen, das heißt diejenigen Stellen, an denen man die an der Zusammensetzung teilnehmenden Gesteine beobachten kann. Die Erlangung einer großen Zahl von Aufschlüssen hängt häufig von dem Willen des Reisenden und der Geschicklichkeit in der Wahl seiner Wege ab. Vor Allem muß er sich nicht an die weiten Talflächen halten, nicht mehr als notwendig der Richtung der Gebirge parallel reisen, sondern möglichst oft quer über dieselben hinweggehen, oder vom Tal aus Ausflüge nach den Kämmen unternehmen. Bekommt man mehrere Querschnitte desselben Gebirges, so ergänzt einer den anderen, und man wird sich bald ein annähernd richtiges Bild von dem Gesamtbau desselben machen, während die innere Struktur ganz verborgen bleibt, wenn man die Gesteine von seinem Fuß noch so genau kennt, der Rest aber unbekannt ist. Die Mühe und Kosten der angegebenen Art der Bereisung sind viel bedeutender, als wenn man auf bequemen Straßen in den Tälern herumfährt; aber man wird reichlich belohnt, nicht nur durch die geologischen Aufschlüsse und die vermehrte Gelegenheit zur Beobachtung der umgestaltenden Arbeit der von außen wirkenden Agentien, sondern auch durch den Genuß, welcher in Gebirgswanderungen liegt, den Überblick des Landes, den man von den Höhen erhält, und der zur Kartenzeichnung wichtiges Material gibt, die Bereicherung der Kenntnis der hypsometrischen Verhältnisse der Gegend, und die Gelegenheit zum botanischen und zoologischen Sammeln. Ein Reisender, der die Gebirge nicht besucht, mag wohl die Leute kennen lernen, aber mit der Natur des Landes bleibt er unbekannt. Je mehr dies beherzigt worden ist, desto mehr haben berühmt gewordene Landreisen zur Bereicherung der naturwissenschaftlichen Kenntnis beigetragen. Sobald man einmal die Anordnung und die Streichrichtungen der Gebirge eines Landes kennen gelernt hat, sollte man daher keine Mühe scheuen, um wiederholte Wanderungen in großer Ausdehnung quer gegen dieselben auszuführen. Aber auch wo die Gelegenheit dazu nicht vorhanden und man auf große

Ebenen angewiesen ist, fehlt es nicht an Beobachtungsmaterial. Die Resultate häufen sich langsamer; aber um so weiter sind die Gesichtspunkte, von denen aus man dieselben nach Beendigung einer Reise überblickt. So geringen Wert man oft im Augenblick auf Beobachtungen in solchen Gegenden zu legen geneigt ist, sollte man doch auch in ihnen niemals ermüdet stille stehen. Jede Lücke macht sich bei der Rückkehr in empfindlicher Weise bemerkbar. [*1]

[*1]: S. auch über geologische Aufschlüsse unten § 197.

5. Sammeln geologischer Gegenstände.

[§9] Die Gegenstände, welche gesammelt werden sollten, lassen sich von praktischem Gesichtspunkt einteilen in: Gesteine, Erden, Versteinerungen und Mineralien.

Die Sammlung von Gesteinen oder Gebirgsarten ist die wichtigste, um einen allgemeinen Überblick des Baues der betreffenden Gegend möglich zu machen. Die Art ihrer Anlegung richtet sich ganz nach dem Grad der geologischen Ausbildung, welche der Reisende besitzt. Als das Vollkommenste kann man eine Reihenfolge guter Handstücke von regelrechtem Format betrachten, die ein namhafter Geologe nach eigener Auswahl selbst geschlagen hat, und die ihm dann als Grundlage einer Ausarbeitung dienen, in welcher er das, was in der Sammlung fehlt, durch deutliche Beschreibungen ergänzt. Unter regelrechtem Format versteht man Stücke von ungefähr 10—12 cm Länge, 7—9 cm Breite und 1—2 cm Dicke; gute Handstücke müssen allseitig einen frisch geschlagenen Bruch haben. Wer Specialuntersuchungen eines kleinen Gebietes ausführt, bemühe sich, auch in Bezug auf äußere Ausstattung das Vollendeste zu leisten und jede Beobachtung durch Musterstücke zu belegen. Von dem reisenden Geologen jedoch ist nicht zu verlangen, daß er dieses Ziel in einer auch nur annähernd vollkommenen Weise erreiche; und so sehr es anzuerkennen ist, wenn er dort, wo er Zeit dazu hat, auch einige Mühe auf äußeres Ansehen verwendet, so würde es doch ganz fehlerhaft sein, zu sehr darauf zu achten, und manche Stücke deshalb nicht mitzunehmen, weil sie den genannten Anforderungen nicht entsprechen. Eine kleine vorspringende Ecke, die man gelegentlich von einem Fels abgeschlagen und mitgenommen hat, ist nachher oft Mehr wert, als ein Dutzend mühsam in die regelrechte Form gebrachter Stücke. Der Dilettant, vorausgesetzt, daß er geologische Untersuchungen zu einer Hauptbeschäftigung auf seiner Reise wählt, ist in der eigentümlichen Lage, daß er Mehr sammeln muß als der Geologe von Fach, deshalb, weil er die Nomenklatur und Beschreibung nicht so beherrscht wie Dieser, und seine Angaben erst durch Belegstücke Zuverlässigkeit erlangen. Um sich nicht zu sehr zu belasten, sollte er, beispielsweise bei dem Übergang über ein Gebirge, mit Sorgfalt kleine, frisch gebrochene Scheiben oder Würfel der einzelnen Gesteine sammeln, denen er begegnet, sie sofort numerieren und in Papier wickeln, und entsprechende Nummern mit Bemerkungen über die Art des Auftretens an Ort und Stelle in das Rohbuch eintragen. Damit ist aber nicht gesagt, daß er, wie es Viele tun, hin und wieder ein beliebiges Stück Stein von der Straße aufheben und nach Hause bringen solle; das würde nur nutzlosen Ballast ergeben. Sondern jedes Bruchstück muß von anstehendem Gestein genommen, vom Fels selbst losgeschlagen sein; der Reisende muß wissen, weshalb er es mitgenommen hat, und es muß durchaus wenigstens Eine frische Bruchfläche haben. Neben dieser kleinen, unter allen Umständen leicht zu transportierenden Sammlung, welche den Weg des Reisenden illustriert, sollte er dann eine zweite von guten Handstücken anlegen, zu der er den längeren Aufenthalt an interessanten und geographisch gut bestimmten Lokalitäten, ebenso wie eine kurze gelegentliche Rast am Wege, benützt. *)

*) Ich habe mich selbst, bei meinen Reisen in China, fortdauernd dieser zwei neben einander hergehenden Methoden bedient. Denn wenn man zum Beispiel mit Maultieren über ein Gebirge reist, so hat man keine Zeit zum Stehenbleiben, sondern muß rastlos vorwärts gehen. Das Mitnehmen eines kleinen Belegstückes erscheint oft im Augenblick selbst als überflüssig. Hat man es jedoch gesichert, so bewahrt man es wie Gold, und manches unscheinbare Fragment bewährt sich später als das wichtigste Material zur Vergleichung. Keines aber ist nutzlos, wenn es richtig gesammelt ist.

Was die Erden betrifft, so empfiehlt es sich zunächst, die Anschwemmungen von Flüssen zu sammeln. Die Dammerde ist durch Kultur verändert; man tut daher besser, die Proben von Steilabbrüchen an Flußufern wenigstens 2 Fuß unter der Oberfläche zu entnehmen. Dasselbe sollte man dort tun, wo der Boden von tiefen Schluchten durchfurcht ist. Außerdem sollte man alle technisch verwendeten Erden, Töpfertone, Porzellantone, Pfeifentone und die aus ihnen gewonnenen Produkte sammeln. Ferner die Polierschiefer, überhaupt kieselige Erden, und die Absätze aus heißen Quellen, die dann zum Teil auf Infusorien zu untersuchen sind. Bei Porzellantonen kommt es darauf an, die verschiedenen angewendeten Arten von Material vollständig zu haben. In vulkanischen Gegenden ist Aufmerksamkeit auf die verschiedenen Tuffe und die Schlammabsätze zu verwenden. Wer in den Tropen reist, der sollte nicht versäumen, den Laterit (§ 206) recht gründlich zu studieren und Proben desselben von verschiedenen Orten mitzunehmen. Erweist sich eine Erde als Zersetzungsprodukt von anstehendem Gestein, so ist es gut, dieses, sowie auch Übergangsstufen beizulegen. — Zur Aufbewahrung von Erden empfehlen sich die Büchsen von verzinntem Eisenblech, in welchen man stets einen Teil der Provisionen mit sich führt. Bei solchen Erden, die eine Struktur haben, wie der Löß, sollte man solide Stücke von der Gestalt der Büchse schneiden und sie, in ihrer natürlichen Lage, hineintun.

Wenn die Gesteinssammlung für den allgemeinen Überblick besonders wichtig ist, so ist es diejenige von Versteinerungen zur genauen Bestimmung der Formationen. Kein Reisender sollte unterlassen, auf sie ein ganz besonderes Augenmerk zu richten. Selbst wenn er gar keine Gesteine sammelt, darf er keine Gelegenheit vorübergehen lassen, um Fossilien in möglichster Reichhaltigkeit mitzubringen. Denn wenn man das Glück hat, eine noch unerforschte Gegend zu betreten, so bleibt sie, wenn sie nicht vielleicht aus vulkanischen Gesteinen oder Schwemmland besteht, unverständlich, so lange man nicht im Stande ist, durch die Bestimmung des geologischen Alters einzelner Formationen Licht über das Ganze zu verbreiten. Wer diese erste Aufgabe löst, dem wird der Dank des Fachmannes die darauf gewendete Mühe reichlich lohnen. Das Auffinden von Versteinerungen erfordert allerdings Übung, und es lassen sich nicht bestimmte Regeln angeben. Nur einige wenige Fälle mögen hier erwähnt werden:

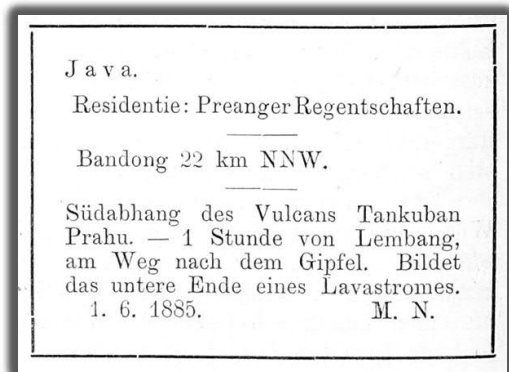
Alle mit kristallinen Schiefen wechsellagernden Gesteine sind im Allgemeinen als versteinungslos zu betrachten. Gelingt es, darin etwas zu finden, so wird der Wert um so grösser sein. — Reiner Kalkstein ist gewöhnlich arm an deutlichen Versteinerungen, und sind sie vorhanden, so ist es schwer sie zu sammeln. Sie sind aber stets wichtig und in hervorragendem Grade zu beachten. Insbesondere kommen in reinen Kalksteinen Brachiopoden, Cephalopoden, Crinoideen, Korallen und Foraminiferen vor. Vor Allem sind solche Steinbrüche zu berücksichtigen, in denen Kalkstein zum Brennen gewonnen wird. Die Abänderungen, welche man dazu verwendet, sind häufig voll Versteinerungen, welche, sonst schwer zu erhalten, durch die Steinbrucharbeit bloßgelegt werden. Wird der Kalkstein bituminös oder mergelig, oder geht er in Mergelschiefer oder in tonige Schiefer mit Kalkknauern über, so wird man in der Regel einige und zuweilen eine reiche Ausbeute haben. Dies gilt auch für den Fall, daß Kalkstein und Schiefer Wechsellagern. — In reinen Quarzsandsteinen oder dickbankigen roten tonigen Sandsteinen wird man meist vergebens nach Versteinerungen suchen. Werden sie aber mit dem Tongehalt

dünnschichtig, mit glimmerigen Absonderungsflächen, so stellen sich häufig Reste von Zweischalern und Pflanzen ein. Weit günstiger ist der Übergang in tonigsandige Schiefer und reine Schiefertone einerseits, und Kalksandsteine andererseits. — Wo Kohlenflöze vorkommen, da gibt es fast immer etwas zu sammeln; gewöhnlich sind es Abdrücke von Pflanzen in den begleitenden Kohlschiefern, bei deren Sammlung besondere Vorsicht in der Konservierung notwendig ist. Oft auch kommen tierische Versteinerungen in den Schichten über oder unter der Kohle vor. Hier ist das Sammeln besonders wichtig, um festzustellen, welchem Alter die Kohle angehört. — Tuffschichten, seien sie untermeerisch oder in Süßwasser abgelagert, der Tertiärperiode angehörig oder von höherem Alter, enthalten fast stets stellenweise größere Anhäufungen von Versteinerungen.

Man kann von Versteinerungen niemals zu viel sammeln. Wo sie in Masse vorkommen, sollte man die am besten erhaltenen Stücke aussuchen, wo es nur wenige gibt, die unvollkommenen Exemplare nicht verachten; denn ein kleines Bruchstück kann oft einen Anhalt von größerem Wert geben, als von einem anderen Ort eine Sammlung der besten Exemplare.

Mineralien hat der Reisende, welcher nicht Fachmann ist, selten Gelegenheit zu sammeln. Die unscheinbaren, welche zuweilen großen Wert haben würden, fallen ihm nicht auf, und berücksichtigt er die schön kristallisierten, so kann es ihm leicht geschehen, daß er sich aus Unkenntnis mit Sachen von geringem Wert beschwert. Allerdings gibt es Ausnahmen. Besonders werden schön kristallisierte Erze, die man in Bergwerksgegenden zuweilen bekommt, in der Regel geschätzt werden. Nutzbare Mineralien, wie Kohle, Eisenerze, Graphit u. s. w., sind mit Aufmerksamkeit und vorsichtiger Auswahl zu sammeln.

Einzelne speziellere Winke zum Sammeln werden sich im Weiteren ergeben. Es erübrigt an dieser Stelle noch auf die fernere Behandlung hinzuweisen. Vor Allem ist zu bemerken, daß ein Gesteinsstück vollkommen wertlos ist, wenn man den Ort, von dem es stammt, nicht ganz genau kennt, bei Versteinerungen aber mindestens die Gegend ihres Ursprungs angegeben sein muß, und jedes genauere Detail erwünscht ist. Die Versteinerungen verschiedener Schichtenkomplexe oder verschiedener Teile desselben Komplexes müssen sorgfältig auseinander gehalten werden. Zu jedem Stück, sowie man es in Papier wickelt, sollte sofort, wenn es möglich ist, die Lokalität, oder wenn diese schwer definierbar ist, Stunde und Tag des Sammelns, oder wenigstens eine die Reihenfolge an dem betreffenden Tag bezeichnende Nummer geschrieben werden. Kommt man Abends in das Quartier oder Lager, so wird zu jedem Gesteinsstück ein Zettel geschrieben, auf dem man oben das Land oder die Provinz, darunter die Richtung und Entfernung des Fundortes von einem auf der Karte verzeichneten Ort, und dann das Detail der Lokalität selbst angibt. Jede weitere Bemerkung ist später von Nutzen. Unten wird das Datum des Tages vermerkt, an dem das Stück gesammelt wurde, damit man sofort das Tagebuch um Information nachschlagen kann, und endlich der Namenszug des Sammlers; also z. B.:



J a v a.
Residentie: Preanger Regentschaften.
Bandong 22 km NNW.
Südabhang des Vulcans Tankuban Prahū. — 1 Stunde von Lembang, am Weg nach dem Gipfel. Bildet das untere Ende eines Lavastromes.
1. 6. 1885. M. N.

Da sich der Zettel zerreibt, wenn er auf den Stein zu liegen kommt, so wird er in das erste zum Einwickeln des Gesteins verwendete Blatt Papier eingeschlagen. Drei halbe Bogen weichen Papiers sind bei einem gewöhnlichen Handstück zum Verpacken hinreichend. Die so eingewickelten Gesteinsstücke müssen nun so untergebracht werden, daß sie fest liegen [*1]. Bei Expeditionen, bei welchen Mehrere beteiligt sind, ist es wünschenswert, die Proben zu numerieren und

in Registern fortlaufend einzutragen. Der Einzelne braucht sich dieser Mühe nicht zu unterziehen.

[*1]: Die Gesteine sind nun zum Versenden bereit. Sind deren genug vorhanden, so werden sie in eine Kiste gepackt, in welcher unten eine dünne Lage von Heu ist. Die einzelnen Päckchen werden dann, wie beim Packen von Büchern, in Reihen aufrecht nebeneinandergestellt und fest eingezwängt. Je fester sie liegen, desto besser werden sie die Erschütterungen überstehen, denen sie weiterhin unterworfen sind. Zartere Gegenstände werden mit Baumwolle belegt, ehe sie in ein Papier gewickelt werden, und gesondert in Schachteln, verzinnete Blechbüchsen und Kistchen gepackt.

Sollte es dem Reisenden einmal geschehen, daß er die hier angegebenen Regeln vernachlässigt und bei einigen Stücken nicht mehr genau den Fundort weiß, so sollte er sie, mit Ausnahme der Versteinerungen, ohne Weiteres wegwerfen, da sie nutzlos sind.

6. Wie und was man aufzeichnen und kartieren muß.

[§10] Die erste Vorschrift für Jeden, der eine Sammlung genauen § 10. Beobachtungsmaterials für weitere Bearbeitung mitzubringen wünscht, ist, daß Alles sofort und genau schriftlich niedergelegt werden muß. Es darf nichts für den nächsten Tag verschoben werden. Bei Tage werden während des Reisens flüchtige Notizen über alles Bemerkenswerte, Ablesungen von Instrumenten, Schätzungen von Höhen, Entfernungen und andere Zahlenwerte, Wegskizzen, Umrißlinien der Berge u. s. w. in ein Rohbuch eingetragen, welches leicht zur Hand sein muß. Der Reisende sollte es sich zur festen Regel machen, daß er, wenn nicht außergewöhnliche Umstände hindernd eintreten, Abends nicht zur Ruhe gehen darf, ohne das Einzelne in ausgearbeiteter Form (so daß es auch in seinem Todesfall für Andere benutzbar bleibt) in das Tagebuch, resp. in die Bücher für Registrierung der Instrumentablesungen eingetragen, sowie Skizzen, besonders geologische Profile, sorgfältiger ausgeführt zu haben. Legen schon diese Aufgaben nach einem ermüdenden Tagemarsch oft-mals eine nicht geringe Überwindung auf, so ist eine noch größere Energie erforderlich, wenn derselbe Reisende auch eine topographische und geologische Karte aufnimmt. Die während des Tages gemachten Wegskizzen müssen an demselben Abend zu einem Ganzen zusammengestellt werden. Es sind diese notwendigen, täglich einige Stunden erfordernden Arbeiten, welche die Gesellschaft eines Mannes von gleicher Bildungsstufe so bedenklich erscheinen lassen, da die Zeit der Unterhaltung der für die Arbeit erforderlichen entzogen wird. Zu leicht verschiebt man die letztere auf den nächsten Tag; aber an diesem läßt sich die verdoppelte Aufgabe gewöhnlich nicht mehr bewältigen. Strenge gegen sich selbst ist wesentlich für den Erfolg einer Forschungsreise.

Unterhaltung muß in ausgiebigem Maße mit den Eingeborenen gepflogen werden. Wenn man sich Monate lang in dem Gebiet einer und derselben Sprache bewegt, so kann man sich diese hinreichend aneignen. Wechselt sie häufiger, so muß man sich des schwerfälligen Mittels eines Dolmetschers bedienen. Man kann nicht genug Erkundigungen einziehen und sollte die Ergebnisse sofort notieren; aber keine Antwort sollte man für glaubwürdig halten, wenn sie nicht von wenigstens zwei Individuen unabhängig in gleichbedeutendem Sinne gegeben worden ist.

Verkehrswege, Namen und Lage ferner Ortschaften, Entfernungen, Verzweigungen von Flüssen, Namen von Gebirgen, Bevölkerungsverhältnisse, Bestellung der Felder, Preise der Lebensmittel, Herstammung der Lebensbedürfnisse, Produkte der umliegenden Gegenden, das sind einige der Gegenstände, über welche man sich täglich erkundigen sollte. Nichts darf dafür zu geringfügig erscheinen. Man wird oft finden, daß die vergleichende Zusammenstellung der Ergebnisse nach Gegenden zu interessanten Betrachtungen Anlaß gibt. Besonders wird sich bei geschickter Fragestellung die Karte leicht vervollständigen lassen.

[§11] Für die Zwecke der geologischen Karte dienen besonders Erkundigungen nach nutzbaren Mineralien; die Herstammungsorte derjenigen, welche man zu sehen bekommt, sind den Leuten in der Regel bekannt. Auch manche indirekte Beobachtungen, die stets notiert werden müssen, lassen sich für die Vervollständigung dieser Karte verwerten. Ein wichtiger Gegenstand für dieselben sind z. B. alle Werke von Menschenhand, in denen Steine angewandt werden. In einer Gebirgsgegend könnte man aus dem Material, womit die Mauern und Häuser in Dörfern und Städten gebaut sind, eine fragmentarische geologische Karte konstruieren; denn wo die Verkehrsmittel unvollkommen sind, verwendet man zu diesen einfachen Bauwerken meist nur Material aus der unmittelbaren Nachbarschaft. Oft führt ihre Beobachtung zur unerwarteten Entdeckung einer Formation, die man vorher nicht anstehend sah, z. B. von Basalt; oder man findet an ihnen das Wiederauftreten eines längst bekannten Gebildes, z. B. eines oolithischen Kalksteins, dessen genaue Einreihung als Formationsglied man vorher kennen gelernt hat. Zu monumentalen Bauten wird das Gestein oft weiter herbeigeführt, und indem man die Lage des Steinbruches, welcher es liefert, erforscht, erweitert sich die Kenntnis von der Verbreitung der betreffenden Formation. Auch die Gerölle in Bächen müssen untersucht werden, da sie manchen Fingerzeig für den Bau des Gebirges geben, aus dem sie stammen. Große Vorsicht ist an solchen Orten notwendig, wo Seeschiffe anlegen. Begierig, einen Wink über das, was er zu erwarten hat, zu erhalten, untersucht der Geologe beim ersten Landen sofort die zu Uferbauten verwendeten oder lose umherliegenden Gesteine. Sie zeigen oft eine auffallende Musterkarte, aber bei näherer Untersuchung ergibt es sich, daß sie Schiffsballast sind, welcher aus verschiedenen Gegenden hergebracht wurde. Selbst der Schluß, daß Ballast, der eben ausgeladen wird, eine Andeutung der an dem Ausgangspunkt des Schiffes auftretenden Formationen geben könnte, ist falsch; denn dort nahm man vielleicht solchen ein, welcher schon mehrere Male seinen Ablagerungsort wechselte.

Die fortdauernde Anfertigung von Skizzen und Zeichnungen kann nicht genug empfohlen werden. Wer des Zeichnens nicht mächtig ist, darf sich diesen Mangel als Vorwand nicht vorhalten, denn auch die unvollkommene Ausführung ist eine Stütze für das Gedächtnis. Die rohesten Umrißlinien einer Landschaft oder eines Gebirgsrückens rufen nach Jahren ein ganzes Bild zurück. Man hat sich besonders davor zu hüten, die Gegenstände an Ort und Stelle als einer besonderen Aufzeichnung nicht wert zu erachten; sie wachsen an Bedeutung in dem Maße als man sich von ihnen entfernt. Gebirgsprofile, auffallende Formen von Bergen, Flußufern, Abstürzen, Häusern, Ornamenten, Werkzeugen. — Alles sollte in Skizzen niedergelegt werden. Den größten Wert für den Reisenden selbst haben seine Handzeichnungen, weil er in ihnen im Stande ist dasjenige hervorzuheben, was er als das Charakteristische seinem Gedächtnis einzuprägen wünscht. Wer durch langsames Reisen in einem kleinen Gebiet Muße zu genauerem Zeichnen hat, sollte sich der Camera lucida bedienen. Sehr verdienstlich ist es, aus schwer erreichbaren Gegenden photographische Bilder mitzubringen. Die Brauchbarkeit derselben wird allerdings sehr von dem Verständnis abhängen, mit welchem Gegenstand und Standpunkt ausgewählt

Die Camera lucida ist ein optisches Hilfsinstrument beim Zeichnen. Mit Hilfe eines Prismas können die zu zeichnenden Objekte oder Landschaften direkt mit der Zeichenebene verbunden, sichtbar gemacht werden.

sind. Seitdem es möglich geworden ist, mit Trockenplatten und kleinen Apparaten zu arbeiten, ist der Reisende der Mühe eigener technischer Behandlung fast gänzlich enthoben.

7. Allgemeine praktische Winke.

[§12] Zum Schluß mögen hier einige allgemeine Andeutungen über verschiedene Gegenstände des praktischen Reiselebens Platz finden. Die Meisten haben, wenn sie zum ersten Mal eine Forschungsreise antreten, wenig Begriff von dem was erforderlich ist, und schaffen sich mit großem Eifer und Kostenaufwand eine Menge von Dingen an, welche sich nachher als überflüssig und unpraktisch erweisen. Abgesehen davon, daß die Ersparung an den Kosten der persönlichen Ausrüstung für Manchen von Bedeutung sein dürfte, leitet mich bei diesen auf eigene Erfahrung gegründeten Winken die Überzeugung, daß der Erfolg geologischer Forschungs Expeditionen zum großen Teil von dem persönlichen Wohlbefinden und der Gesundheit des Reisenden abhängt, Beides aber in hohem Maße durch Äußerlichkeiten bedingt wird, welche geringfügig erscheinen und doch von großem Einfluß auf die Bereicherung der Wissenschaft sein können. Zwar haben solche Winke deshalb einen beschränkten Wert, weil die gleichen Regeln nicht für alle Fälle gelten; sie werden stets individuell gefärbt sein, je nach den Erfahrungen Desjenigen, welcher sie gibt. Doch darf der Verfasser wohl zur Rechtfertigung hinzufügen, daß es ihm vergönnt gewesen ist, auf jahrelangen Wanderungen ohne Unterbrechung tätig sein zu können und von Ländern mit verderblichem Klima ohne die geringste Schädigung der Gesundheit zurückzukehren.

Im Allgemeinen kann man als Kegel hinstellen, daß alle Erzeugnisse höherer Technik (wissenschaftliche Instrumente, optische Gläser, Uhren, Gewehre), Alles was zur Herstellung von künstlerischen und technischen Arbeiten bestimmt ist (wie der gesamte, zum Zeichnen aller Art, zum Aquarelliren und Photographieren erforderliche Apparat), endlich auch Karten und wissenschaftliche Bücher, durchaus in der Heimat zu beschaffen ist. Die geringste Versäumnis in rechtzeitiger Besorgung macht sich sehr fühlbar. Dagegen sollten diejenigen Gegenstände, welche Lebensbedürfnisse betreffen, wie Kleider, Wäsche, Nahrungsmittel, auch Schreibmaterial, im Wesentlichen der Beschaffung an überseeischen Handelsplätzen, falls man solche überhaupt berührt, wenigstens zum größten Teil vorbehalten bleiben, da alles dies daselbst zweckentsprechender als in deutschen Städten, das heißt den klimatischen Anforderungen angemessener, und oft in reichster Auswahl, zu haben ist. Besonders gilt dies für diejenigen Orte, wo der englische Einfluß herrschend ist. Der deutsche Reisende tut daher gut, sich vollständig für seine wissenschaftliche Tätigkeit auszurüsten, dagegen sich betreffs der persönlichen Aussteuer im Heimalande tunlichst zu beschränken, falls er nicht, was hier selbstverständlich ausgeschlossen ist, unmittelbar nach ganz unwirtlichen Gegenden sich begibt. Wer von englischen Häfen ausgeht, findet schon in London und Liverpool eine Fülle praktischer Reiseutensilien, da man dort die Bedürfnisse in anderen Ländern und Klimaten kennt, und man hat nur der Gefahr zu reichlicher und zu luxuriöser Anschaffung auszuweichen. [*1] Multum non multa gilt auch hier; man sollte nicht zu Vieles anschaffen; aber jedes Einzelne einfach, bequem und dauerhaft.

[*1]: In neuerer Zeit hat sich auch die Firma R. Beinhauer Söhne in Hamburg die Anfertigung praktischer Ausrüstungsgegenstände angelegen sein lassen und auf der mit dem Hamburger Geographentag (1885) verbundenen Ausstellung ein anerkanntes Zeugnis der erreichten Erfolge gegeben.

Was, im Einzelnen, zunächst die Kleidung betrifft, so bedarf es für die kühleren Teile der gemäßigten Zonen keiner besonderen Vorschrift. Wer in die Tropen und nach warmen Ländern überhaupt reist, wird gut tun, sich an dem ersten tropischen Ort, an dem das Schiff anlegt, den nötigsten Bedarf für die Seefahrt zu beschaffen und an dem Endpunkt der letzteren das Weitere zu besorgen. Für die Oberkleider sind mittelfarbene wollene oder halbwollene Stoffe am zweckmäßigsten. Sie müssen leicht sitzen. Für die Beinkleider sind sogenannte Knickerbockers (weite Kniehosen) und Gamaschen zu empfehlen; der Rock sollte joppenartig mit großen Taschen, die Weste mit flügelartigen Ansätzen nach unten versehen sein, in denen sich zwei größere Taschen für Notizbuch, Schießbedarf u. dergl. befinden. Das Wichtigste für den Geologen sind bequeme und sehr feste Stiefeln. Mängel an diesen können die schaffenslustige Tatkraft auf Wochen lahm legen. Unübertroffen für den Reisegebrauch sind niedrige und hohe Stiefeln aus braunem Rindleder, welche von der britischen Militärverwaltung für Polizeisoldaten der Kolonien geliefert werden. Da sie den Bedarf der Letzteren übersteigen, kann man sie zuweilen käuflich erwerben. Zur inneren Fußbekleidung empfiehlt sich ein sehr dünner baumwollener Strumpf mit einem leichten von grober Wolle darüber. Eine dünne Unterjacke (India-gauze) ist in heißem Klima der Gesundheit und Reinlichkeit wegen erforderlich, eine wärmere in kälterem Klima ratsam. Auf das Dringendste ist der sehr häufige Wechsel der Unterkleider zu empfehlen, nicht nur aus den oben genannten Rücksichten, sondern auch weil in dicht bevölkerten Gegenden, wo, wie in China, die Insektenplage in Kleidern allgemein ist, dies, neben möglichst häufigem Baden, den einzigen und zugleich absoluten Schutz dagegen gewährt.

Das viel empfohlene und zu hygienischem Prinzip erhobene Woll- und Flanell-Hemd ist bei Seefahrten, bei nordischen Reisen und bei Wanderungen im Hochgebirge von großem Nutzen. In den Tropen und bei jeder mit intensiver Transpiration verbundenen Reise in warmen Ländern kann es nicht empfohlen werden. Reinlichkeit ist zur Erhaltung des Wohlbefindens und der Gesundheit die erste Pflicht. Ein reichlicher Vorrat von dünnen weißen Unterjacken und ein kleinerer von bunten baumwollenen Hemden wird den Bedürfnissen des Gebildeten am besten entsprechen. Betreffs der Kopfbedeckung sind die örtlichen Gewohnheiten maßgebend und müssen strenge innegehalten werden. Sie sind bei trockenem und feuchtem Klima verschieden.

Das häufig angeführte Prinzip, sich betreffs der nächtlichen Lagerstätte jeden Komforts zu entschlagen, erscheint nicht minder unnötig. Diejenige des Verfassers bestand in China und Japan aus einer Unterlage von vier Decken von langhaarigen mongolischen Ziegenfellen, jede etwas über 2 Meter lang und 1 Meter breit. Dieselben sind von sehr geringem Gewicht und können auch durch andere langhaarige Felle ersetzt werden. War es kalt, so wurde die Fellseite nach oben gekehrt; war es warm, so diente die Lederseite als Lager. Darüber war ein Leintuch gebreitet. Eine ebenso überzogene lederne Roßhaarrolle diente als Kopfkissen. Auch die bunte wollene Decke war weiß bezogen. Bei größerer Kälte wurde der Plaid und eines der Felle darüber ausgebreitet. Am Morgen wurde das gesamte Bett zusammengerollt und mit zwei starken Sattelriemen zugeschnürt. Unter dem Bett wurde eine amerikanische gummierte Decke von 3 Meter Länge und 2 Meter Breite ausgebreitet. Sie leistete hinreichend Schutz bei Nässe, Schmutz oder Staub. Ein dünnes aber festes Mosquitonetz vervollständigte im Sommer die Lagerstätte. Es fiel auf die Gummidecke herab und wurde durch Bindfaden gehalten. Wo es Mosquitos gibt, wird man selten Gegenstände vermissen, an denen sich die Fäden befestigen lassen. Ein Bohrer und einige mit Schrauben versehene Messinghaken oder Baumschrauben ermöglichen die leichte Ausführung. Ich glaubte dies hier anführen zu dürfen, da ich ein praktischeres Reisebett nicht gesehen habe. In tropischen Wäldern bedarf man anstatt der Felle eines zusammenlegbaren leichten Gestelles aus festem Holz, auf dem ein starkes Leintuch an den vier Ecken befestigt

ist. Man kann noch vier senkrechte Stäbe anbringen um das Mosquitonetz aufzuhängen. Eine Hängematte entbehrt des letzteren Vorteils, kann aber zuweilen sehr gute Dienste tun.

Die Versorgung mit Lebensmitteln richtet sich nach den Besonderheiten jedes Landes. Man sollte von dem Grundsatz ausgehen, daß der Mensch, um tüchtige Arbeit zu liefern, vor Allem gut und kräftig leben muß. Dazu ist in allen Ländern nicht europäischer Zivilisation die einheimische Kost durchaus unzureichend. Man bequemt sich ihr nur auf Kosten der eigenen Kräfte und, da manche Lebensmittel unverdaulich und uns direkt schädlich sind, auf Kosten der Gesundheit an. Die Kost sollte sich der heimischen soviel als möglich nähern. Fast jedes Land gewährt stark mehlhaltige Nahrungsmittel. Diese braucht man daher in der Regel nicht mit sich zu führen; doch sind englische Crackers und Cakes ein angenehmer und für kleine Zwischenmahlzeiten nützlicher Luxus; ebenso Hafergrütze (scotch oatmeal), welche den Vorteil schneller Zubereitung gewährt. Betreffs der Fleischnahrung ist man oft auf das ungewisse Ergebnis der Jagd angewiesen, und Gemüse sind in manchen Ländern kaum zu haben. Ich habe oft durch Monate einmal täglich am Abend eine kräftige Suppe von Liebig's Fleischextrakt und (in getrocknetem Zustand) komprimierten gemischten Gemüsen („Julienne“), wie sie von Chollet in Paris für die französische Marine hergestellt wurden) und jetzt auch in Deutschland gemacht werden (wobei ein Päckchen von 5 Rationen für 2 Mann berechnet wurde), als Hauptmahlzeit genossen und mich dabei, trotz anstrengender Fußwanderung vom Morgen bis zum Abend und mehrstündiger Arbeiten in dem ersten Teil der Nacht, sehr wohl und leistungsfähig befunden. Ich halte diese beiden Substanzen, welche unter allen Nahrungsmitteln am wenigsten Gewicht und Raum beanspruchen, für die Grundlage einer kräftigen und gesunden Reisekost. Mit Zuhilfenahme desjenigen, was, einschließlich der Jagd, fast jedes Land liefert, kann man mit einer geringen Quantität von ihnen Kontinente durchwandern. Präserviertes Fleisch erscheint fade und kraftlos; dazu nimmt es sehr viel Raum und Gewicht ein. Nach manchen Versuchen habe ich es schließlich ganz weggelassen. Dagegen wird Erbswurst von Allen, die sie auf Reisen verwendet haben, sehr empfohlen. Auch ist unter den Konserven der Neuzeit die getrocknete Eissubstanz zu nennen. Unter den Getränken nehmen Cacao in irgend welcher Form und Tee den ersten Rang ein. Beides sollte man mit sich führen, ersteren am besten in der Form gepreßter Kuchen, wie sie in der britischen Marine verwendet werden. Kaffee ist überflüssig, aber ein angenehmer Luxus. Man füllt den in den Ausgangsstationen frischgebrannten Kaffee stark gepreßt in verzinnnte Büchsen, die mit Papier verklebt werden; in diesem Zustand hält er sich durch Monate recht gut. Ein nützliches Getränk für die Reise ist Cognac. Man sollte aber nur bei der abendlichen Ankunft auf der Station eine kleine Ration desselben mit einigen Tropfen „Bitters“ nehmen. Dies ist förderlich für die Kräftigung und die Gesundheit. Eine oder zwei Flaschen guten Portweins leisten treffliche Dienste als Medizin bei Magenbeschwerden und sind für solche Fälle sorgsam aufzubewahren. Außerdem sollte man, abgesehen von Bootfahrten, bei denen man überhaupt betreffs der Art und Menge der Lebensmittel unbeschränkt ist, keinen Wein bei sich führen. Ist er vorhanden, so hat man stets Verlangen darnach; ist er nicht da, so entbehrt man ihn nie. Mit Zucker, präservierter Butter, kondensierter Milch und anderen nicht absolut notwendigen, aber angenehmen Nahrungsmitteln wird sich Jeder je nach persönlichem Bedürfnis und verfügbarem Transportgewicht versehen.

Der Hausrat besteht aus wenigen Stücken Kochgeschirr und den Gerätschaften für die Mahlzeit. Für letztere wird nach den üblichen spartanischen Prinzipien in der Regel verzinnnes Eisenblech empfohlen, welches schwer reinzuhalten und für Säuren empfindlich ist. Ich habe stets Porzellan und Glas mit mir geführt. Die Gegenstände konnten in besonders hergerichtete Abteilungen eines Kastens leicht, und doch sehr fest zwischen Filzscheiben hineingeschoben werden. Trotz mehrfachen Abwerfens des Gepäckes durch störrische Maultiere, wobei einmal der Kasten

einen Abhang hinuntergeschleudert wurde und an den Felsen zerschellte, habe ich an diesen Gegenständen nie eine Einbuße erfahren. Natürlich muß es bestes, festes Porzellan und dickes Glas sein. Von größter Wichtigkeit für abendliche Arbeit ist die Sorge für Beleuchtung. Ein Leuchter mit Windschutz und ein ausreichender Vorrat von hell und sparsam brennenden dicken Stearinkerzen war trotz des Gewichtes einer der wesentlichsten Teile meiner Ausrüstung. Eine fest gebaute kleine Laterne ist ebenfalls notwendig.

Wo besondere Gerätschaften erforderlich sind, wie bei Reisen durch die Wüste oder im nordamerikanischen Great Basin, bedarf es keiner Ratschläge, da die landesübliche Sitte die Vorschriften selbst gibt. — Zu empfehlen ist ein guter, fester Sattel, und zwar ein Bocksattel, welcher die Luft auf dem Rücken des Pferdes frei durchstreichen läßt. Vorn sollte ein Horn sein, mit Pistolenhalter und kleinen, überzuhängenden Satteltaschen, während zwei große Satteltaschen hinten aufgelegt werden können. Zweckmäßig sind die mexikanischen Sättel, wie sie in Kalifornien üblich sind. Bei großer Kälte, wie bei Winterreisen in der Mongolei, läßt man sich in den Steigbügel eine Pelzumkleidung für den Fuß anbringen. — Einiges Handwerkszeug, insbesondere ein Beil, eine kleine Säge, eine Zange, einige Nägel und einzuschraubende Haken sollten ebenso wenig wie Bindfaden, Stricke, Riemen zum Schnüren, Schuhriemen, Schuhnägel und kleine Ausbesserungsmaterialien für allerlei Zwecke, fehlen. Man muß im Stande sein, sich einen Stall in kürzester Zeit in eine wohnliche, zu behaglichem Arbeiten geeignete Behausung, oft für mehrtägige Benutzung, umzugestalten. Betreffs der Größe und Art eines Zeltes sind die klimatischen und anderen Verhältnisse maßgebend.

Die Bewaffnung richtet sich nach den Reisezwecken und nach dem Lande. Jedes Gewehr muß von bester Construction sein. Eine gute Doppelflinte zur Jagd, ein Revolver zur Verteidigung und eine Büchse werden hinreichend sein. Hat man Gefahren zu bestehen, so ist eine Magazinbüchse zu empfehlen, welche die Sicherheit bei räuberischem Überfall wesentlich erhöht. Zur Jagd ist ein Hinterlader ohne Magazin wegen der meistens größeren Trefffähigkeit mehr zu empfehlen. In menschenarmen Gegenden hat man, wo Gefahren drohen, den Revolver stets in einem Gurt umgeschnallt oder am Sattel bereit zu halten. In volkreichen Ländern, wie in China, läßt man ihn besser im Koffer, da seine Verwendung zur Verteidigung sofort das eigene Leben kosten würde.

Von Medicinen genügt dem Einzelreisenden eine kleine Anzahl wirksamer Mittel. Chinin sollte niemals fehlen, und am Abend nach dem leichtesten Fieberfall eine starke Messerspitze voll genommen werden; dies muß an drei weiteren Abenden, auch wenn kein weiterer Anfall erfolgt, mit abnehmender Dosis wiederholt werden. Gegen Anfälle von Diarrhöe ist das wirksamste Mittel Chlorodyn [*1], welches in allen englischen und überseeischen Apotheken zu haben ist. Rhabarber ist auf Reisen am zweckmäßigsten gegen die entgegengesetzten Beschwerden. Etwas Ipecacuanha als Brechmittel, Englisch Pflaster, Hirschtalg, Arnica und braunes Pflaster vervollständigen die kleine Apotheke. Bei Magen- und Darmbeschwerden, die nächst dem Fieber am leichtesten eintreten, ist sofort strengste Diät einzuführen; am besten nährt man sich alsdann von Reis, welcher mehrere Stunden ruhig gekocht hat, und dem man allmählich Fleischextrakt zusetzt. Ein verwundetes Glied ist sogleich durch längere Zeit in kaltes Wasser, womöglich einen Strahl desselben, zu halten.

Chlorodyn war eine übliche Reisemedizin, eine Mischung aus Opium, Cannabis und Chloroform

Auf Reisen in heißen Ländern ist die erste und wichtigste Gesundheitsregel, kein natürliches Wasser zu trinken. Es sollte stets abgekocht sein. Ein Zusatz von Tee macht es auch im Zustand der Tageswärme genießbar. Flußwasser reinigt man vorher durch Alaun. Natürliches Wasser

kann schnell die schlimmsten Krankheiten herbeiführen. Wo Gefahr vor Malaria ist, sollte man möglichst hoch über dem Boden schlafen und nicht vor Sonnenaufgang ins Freie gehen.

Für manche Länder gibt es eine Reihe besonderer Ausrüstungsgegenstände, die nicht im Einzelnen genannt werden können; dahin gehören die Schutzvorrichtungen und mechanischen Hilfsmittel bei Reisen in Eis und Schnee, oder in der Wüste.

Auch die Art der Gegenstände, welche man als Geschenke, als Tausch- oder Zahlungsmittel anwendet, sind in jedem Land verschieden. Der Effekt der Geschenke ist ganz unberechenbar. Im siamesischen Hinterland fühlte sich ein Häuptling, dem ich ein Bernsteinarmband gab, beeinträchtigt gegen einen Untergebenen, welcher eine Schachtel mit Zündhölzern erhielt. Nützlich fand ich überall Bilder, besonders von militärischen Gegenständen, Dampfschiffen u. dergl. Von großem Dienst waren in China und Japan einige Jahrgänge der Illustrierten Zeitung, welche ich stets bei mir führte, da oftmals die Menge durch deren von meinem Dolmetscher ausgeführte Demonstration allein davon abgehalten werden konnte, mich bei der Arbeit zu belästigen. Blieben dann einige Blätter als Geschenke zurück, so war das höchste Maße von Befriedigung erreicht.

Wo Silber das Zahlungsmittel bildet, wie in China, und der Reisende ein großes Gewicht desselben mit sich führen muß, empfiehlt es sich, dasselbe in Winkel aller Gepäckstücke zu verteilen und nur einen gewissen Vorrat stets zur Hand zu haben.

Die Behältnisse für das Reisegepäck teilen sich in zwei Kategorien. Die einen braucht man, um sich nach dem Land, welches man bereisen will, oder nach der Ausgangsstation hin zu begeben; die anderen bei Ausführung der eigentlichen Forschungsreise. Bei Seefahrten, sowie bei Reisen nach tropischen oder feuchten Gegenden sind Behältnisse von Leder, mit Ausnahme kleiner, in täglichem Gebrauch befindlicher Gegenstände, zu vermeiden. Sie schimmeln, werden hart und brüchig und unterliegen dem Insekten-Fraß. Für die Seereise sind verschleißbare Kasten aus Pappeholz zu empfehlen, die mit Segeltuch überzogen, mit Eisen oder Messing beschlagen und dann lackiert sind. Die Gegenstände werden in einen Einsatz von Zinkblech verpackt und dieser verlötet. Dies sind zugleich ausgezeichnete Behältnisse für Alles, was man an der Station zurückläßt. In jeder Beziehung empfehlenswert sind gewisse Kasten von dick lackiertem starkem Eisenblech, welche ausschließlich in England gut angefertigt werden.

Die Behältnisse für die Forschungsreise selbst richten sich ganz nach den Gewohnheiten des Landes. Falls nicht besondere Vorschriften gegeben sind, sollte die Beschaffung derselben bis zur Ankunft in jenem verschoben werden. Selbst wo Menschenkraft zum Transport verwendet wird, sind die Methoden sehr verschieden, je nachdem der Träger, wie in Afrika, die Last auf den Rücken nimmt, oder, wie in China und Japan, an den beiden Enden eines auf der Schulter ruhenden Stabes verteilt. Ein Maultier in der Wüste von Arizona bedarf wegen der verschiedenen Art des Aufbindens ganz anderer Gepäckstücke, als in dem praktischeren China. Im Allgemeinen gilt nur die Regel, daß große Gepäckstücke immer eine Last und oft ein Hindernis sind, zu kleine Verteilung aber unbequem ist. Eine gewisse Mittelgröße ist daher am zweckdienlichsten. Wer Canton berührt, sollte nicht verfehlen, sich mit einer Anzahl der dort üblichen schwarzlackierten Kasten von sehr dünnem Holz zu versehen, welche innen und außen mit Schweinsleder überzogen sind. Sie verbinden Leichtigkeit, Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Bequemlichkeit in höherem Grad als irgend welche andere gleichzeitig gegen Nässe schützende Behältnisse, die mir bekannt geworden sind. Sie eignen sich für den Transport durch Lastträger, Lasttiere und Wagen, und sind bequem bei Seefahrten und Eisenbahnfahrten. — Die meisten Behältnisse sollten verschließbar sein. Der Reisende hat hinsichtlich der Vorräte die Rolle einer sorgsam Hausfrau zu

spielen. Ist dem einheimischen Diener Freiheit in der Verwendung gelassen, so wird man z. B. in den Fall kommen, den für ein Jahr berechneten Vorrat eines so wichtigen Artikels, wie Seife, in einer Woche verbraucht zu sehen.

Der Erfolg einer Reise hängt in vielen Ländern von der Art des Umganges mit den Eingeborenen ab. Dafür gibt es keine Regeln. Alles beruht auf persönlichem Takt. Ruhige, feste Entschiedenheit, Freundlichkeit und Milde, aber auch blitzschnelles energisches Handeln im ersten Moment wirklicher Gefahr sind überall die besten Mittel. Ein glücklicher Scherz wandelt manchmal die feindselige Stimmung einer drohenden Menge magisch um. Legt sich die Gefahr nicht, so darf man sie niemals anwachsen lassen. Sie muß im Keim unterdrückt werden. In einer Menschenmenge darf man keinen Augenblick Furcht zeigen, sondern muß sich langsam und mit Würde hindurchbewegen. So lange die Überraschung dauert, kann man die Scheu erhalten. Die wirkliche Gefahr in einem feindlichen Menschenknäuel beginnt erst wenn Überraschung und Scheu vorüber sind, und dazu muß man es, wenn möglich, nicht kommen lassen. Oft ist, was man für feindliche Stimmung hält, nur Neugier. Dann ist es am besten, sich frei und frank unter die Menschen zu begeben und ihre Neugier zu befriedigen. Aber unter keinen Umständen darf man Vertraulichkeit einreißen lassen; zu leicht bewährt sich das englische Spruchwort: „Familiarity breeds contempt.“

Geschäftliche Angelegenheiten mit Eingeborenen sollten immer unter fester, beiderseits bindender Form abgemacht werden. Schriftliche Contracte, z. B. wo es auf Beförderung von Personen und Gepäck ankommt, ersparen oft viel Verdruß. Der Eingeborene hat vor ihnen die größte Hochachtung, auch wenn er das Dokument nicht lesen kann.

[p. 42]

Zweites Kapitel.

Messung und Zeichnung.

[§13] An jedem Ort in freiem Land sehen wir einen Teil der Erdoberfläche vor unseren Augen ausgebreitet. Die Gegenstände, welche wir erblicken, stellen sich uns in erster Linie in räumlicher Beziehung zu ihr dar. Um ein Verständnis des Erdraumes und des Verhältnisses der Einzelerrscheinungen zu ihm zu gewinnen, suchen wir in verkleinertem Maßstab ein möglichst genaues Abbild der Bodenformen herzustellen. Es ist als die Landkarte bekannt. Nur für einen kleinen Bruchteil der Erdoberfläche ist das Ziel einer vollkommenen Abbildung in einer den höchsten Anforderungen unserer Zeit entsprechenden Weise erreicht. Weit umfangreicher sind diejenigen Gebiete, deren Aufzeichnung nur in allgemeinen Zügen niedergelegt ist. Der Grad der Mangelhaftigkeit und Lückenhaftigkeit nimmt zu bis zu einem Zustand völliger Unbekanntschaft, in welchem sich immer noch weite Länderstrecken befinden. Sowie der Reisende diejenigen Länder verläßt, von welchen auf Veranlassung der Regierungen der am höchsten zivilisierten Staaten Kartenbilder von hoher Vollendung angefertigt worden sind, gelangt er daher in Teile der Erdoberfläche, in welchen es mit dem vorhandenen Material noch in geringem Grad oder gar nicht möglich ist, die Erscheinungen in räumliche Beziehung zu den Einzelformen derselben zu bringen. Es erwächst ihm, um seinen Wahrnehmungen einen größeren Wert zu verleihen, die Aufgabe, das Kartenbild nach Maßgabe seiner Kräfte und der ihm zu Gebote stehenden Zeit so weit auszugestalten, daß es Anderen, welche das Urbild nicht gesehen haben, möglich wird, eine Vorstellung desselben zu gewinnen. Es bieten sich ihm dazu zwei Wege. Durch Messung und Zeichnung kann er die reine Gestalt zur Darstellung bringen; durch Beschreibung der Formen vermag er dieser einen belebteren Ausdruck zu geben. Nur auf den ersten Teil soll hier eingegangen werden. Für die Beschreibung lassen sich allgemeine Vorschriften kaum geben. Lebendige Anschauung der Natur findet selbst den richtigen Ausdruck. Eine wissenschaftliche Bezeichnungsweise wird sich späteren Abschnitten dieses Buches für die einzelnen Objekte, die sich dem Reisenden darbieten, entnehmen lassen. Es sei betreffs der allgemeinen Bodenformen besonders auf die Ausführungen des sechzehnten Kapitels hingewiesen und schon hier vor der kritiklosen Anwendung mancher uralter und allzu gebräuchlich gewordener, aber mit unvollkommenen Vorstellungen verbundener Ausdrücke, wie Hochebene, Massengebirge u. s. w. gewarnt.

Die Fassung der Aufgaben, welche der Reisende sich stellen kann, ist in keinem Bereich derselben dehnbarer, als in demjenigen der für den Entwurf der Kartenbilder erforderlichen Messungen. Auf einer Seite beschränken sich die meisten Touristen auf eine einfache Erzählung ihrer Reise, welcher sie topographische Angaben ohne Anspruch auf Genauigkeit einflechten. Auf der anderen Seite verlegen Manche ihre ganze Aufgabe in möglichst genaue Messung; und in Anleitungen für Forschungsreisende jeglichen Schlags wird nicht selten dem Reisenden das Mitnehmen einer Fülle exaktester Instrumente empfohlen und deren Anwendung als das erstrebenswerteste Ziel hingestellt. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es eine große Anzahl von Mittelstufen. Welche derselben die richtige sei, welcher Rang also den Messungen unter den

verschiedenen Beschäftigungen anzuweisen sei, das muß jeder Reisende durch sorgsames und klares Abwägen seiner Befähigung und Vorbildung, wie seiner Ziele und Zwecke, selbst entscheiden.

Das Ideal topographischer Aufnahmen besteht in der durch exakte Basismessung und zahlreiche astronomische Ortsbestimmungen gestützten Herstellung eines trigonometrischen Netzes von festen Beobachtungsstationen, in der Messung der Höhen durch Präzisionsnivellement und trigonometrische Methoden, und in der genauen Einzeichnung der gesamten Topographie und Plastik in das festgelegte Netz. Diese Arbeiten gehören zu den erhabensten wissenschaftlichen Leistungen unserer Zeit; sie erfordern die höchste technische Vollendung der Instrumente, eine vertiefte wissenschaftliche Ausbildung und können nur durch die vereinigten Kräfte Vieler ausgeführt werden, wie es insbesondere durch die sogenannten Gradmessungsarbeiten in bewunderungswürdiger Weise geschieht.

Es ist ein sehr großer Abstand zwischen diesen vollkommensten geodätischen Operationen und der höchsten Stufe der messenden Arbeit, welche der Forschungsreisende auszuführen vermag; und wiederum ist der Grad der letzteren sehr verschieden, je nachdem sie den Hauptzweck oder den Nebenzweck einer Reise bildet. Wenn man diejenigen Stufen der messenden Arbeit, von denen hier allein die Rede sein kann, in Betracht zieht, so ist dieselbe zwar von hoher, unter Umständen, ihres grundlegenden Charakters wegen, von höchster Wichtigkeit. Aber sie ist im Allgemeinen die geringere und leichtere Aufgabe; Beobachtung und Forschung sind die höhere und schwierigere. Es bedarf geringerer geistiger Kraft und geringerer Vorbildung, um gut zu messen, als um wissenschaftlich und richtig zu beobachten. Daher ist in unserer Zeit die Zahl der messenden Reisenden sehr groß, verhältnismäßig gering dagegen die Zahl derjenigen, welche durch Forschung wirkliche Bereicherung für die Wissenschaft bringen. Die gesamte geographische Wissenschaft ist von der Entdeckung durch die Messung zur Forschung vorgeschritten. Während des Zeitalters der Messungen dauerten die Entdeckungen fort. Wir sind jetzt in das Zeitalter der Forschungs-Geographie eingetreten; und doch sind ihr die vollendeten Messungen und diejenigen Entdeckungen, welche die schwierigsten waren, nämlich die im Inneren der Kontinente, Vorbehalten geblieben. Der Trieb der Forschung aber, als der höchsten der drei Potenzen, leitet Messung und Entdeckung. Dieses in den Aufgaben der gesamten Wissenschaft erkennbare Verhältnis reflektiert sich in denen des Reisenden. Kühner Unternehmungsgeist und richtiger Takt sind die vornehmsten Eigenschaften des Entdeckers; mit ihnen vermag er die höchsten Palmen zu erringen. Einseitige, aber gründliche Ausbildung befähigt zur Anwendung der Messung auf Reisen und zur Festlegung der mathematischen Grundlinien des Kartenbildes. Hohe Verdienste erwirbt sich derjenige Reisende, welcher sich der Messung ausschließlich, oder doch in erster Linie, widmet und sie mit der größtmöglichen Genauigkeit ausführt. Das höchste Verdienst für den ruhigen Fortschritt der Wissenschaft erringt Derjenige, welcher, dem Geist der heutigen Geographie entsprechend, die Messung der Forschung dienstbar macht. Er wird zugleich im höchsten Maße die Ausnutzung der Entdeckungen für die praktischen Interessen der Menschheit vorbereiten.

Astronomische Ortsbestimmungen. — Derartige Erwägungen werden zum Teil für den Einzelnen, welcher sich auf Reisen begibt, bei der Entscheidung über die Rangabstufungen, welche er seinen verschiedenen Aufgaben geben will, und über den Grad, in welchem er die Messung unter dieselben aufnehmen will, maßgebend sein müssen. Es kommt jedoch auch darauf an, in wie weit die kartographische Grundlage des von ihm zu besuchenden Landes festgelegt ist. Er wird danach vor Allem zu entscheiden haben, ob er astronomische Ortsbestimmungen zu machen hat, oder ob es genügt, seine Aufnahmen in das bestehende Netz derselben einzutragen.

Unerläßlich sind astronomische Ortsbestimmungen für Denjenigen, welcher sich in ein unbekanntes Land begibt. Als Regel sollte man sich dabei setzen, lieber wenige und genaue, als zahlreiche und oberflächliche Längenbestimmungen auszuführen, dagegen die geographische Breite möglichst oft festzulegen. Eine Anleitung dazu liegt, wie erwähnt, nicht im Plan dieses Buches, da sie an vielen Stellen, häufig über die an einen Reisenden zu stellenden Anforderungen hinaus, gegeben ist.

Sind in dem zu besuchenden Land die Längen und Breiten einzelner Punkte schon früher festgelegt worden, ist aber das Kartenbild unvollkommen, so kann Derjenige, welcher Neigung dazu besitzt, die alten Bestimmungen kontrollieren und dazu noch andere Punkte astronomisch festlegen. Dies ist unbedingt dort anzuraten, wo das vorhandene Netz große Lücken aufweist. Sind diese gering, so wird die angedeutete Arbeit zwar als verdienstlich und dankenswert anerkannt werden; aber sie sollte nur von Demjenigen ausgeführt werden, welcher sie sich als erstes Ziel setzt und durch die Genauigkeit seiner Beobachtungen die früheren wirklich zu berichtigen vermag. Für Denjenigen, dessen Zweck naturwissenschaftliche Forschung ist, ist zu bemerken: 1) daß man sich mit einer Anzahl von Instrumenten beschwert, welche durch Anschaffung und Transport bedeutende, den übrigen Reisezwecken zu entziehende Kosten verursachen, außerdem durch die auf sie zu verwendende Vorsicht lästig werden und unter Umständen wegen ihres mysteriösen Charakters die Reise gefährden können; 2) daß die Operationen viel Zeit erfordern und man ihnen häufig die Nachtruhe opfern muß, so daß die auf die sonstigen Beobachtungen zu verwendende Zeit und Arbeitskraft erheblich beeinträchtigt werden; 3) daß bei flüchtiger Bereisung Genauigkeit nur innerhalb gewisser, zuweilen nicht unbedeutender Fehlergrenzen erzielt wird, und bei der sich mehrenden Zahl der Forschungsreisen die Möglichkeit zu gewärtigen ist, daß die mühsam errungenen Zahlenwerte bald durch genauere ersetzt und daher einfach beseitigt werden. Als durchaus überflüssig für den, der ein Land in irgend welcher Beziehung in großen Zügen zu erforschen gedenkt, muß die Anwendung exakter geodätischer Methoden hingestellt werden, wie genaue Basismessung, Triangulierung und Nivellement. Nur wo es sich darum handelt, sehr kleine Gebiete, z. B. Stätten alter Kultur, mit Präzision aufzunehmen, sind sie erforderlich. Sie fallen daher außerhalb des Rahmens dieses Buches.

Jeder Reisende, welcher die Erforschung eines Landes nach den Gesichtspunkten der physischen Geographie und Geologie erstrebt, oder sich andere naturwissenschaftliche Beobachtungen zur obersten Aufgabe setzt, sollte es sich zur ersten Regel machen, diesen Zwecken den besten Teil seiner Kraft zu widmen und, wenn es nicht unbedingt anders erforderlich ist, sich mit einer allgemeinen Kartenaufnahme zu begnügen. Dieser aber muß er mit voller Aufmerksamkeit und ohne Unterbrechung einen Teil seiner Tätigkeit zuwenden. Ihm wird die Erdoberfläche selbst ein naturwissenschaftliches Objekt, die Bestimmung ihrer Gestalt ein Teil seiner Aufgabe. Durch die verständnisvolle Darstellung dieser Gestalt wird er eine höhere Leistung vollbringen, als wenn er einzelne additional Punkte in einem schon bestehenden Netz noch so sorgfältig festlegt, oder einzelne Linien mühselig und genau abmißt. [*1]

[*1] Die Interessen erfolgreicher Reisender sondern sich in der Regel nach Gruppen. Manche haben wesentliche Dienste dadurch geleistet, daß sie ihre ganze Aufgabe in der möglichst exakten Bestimmung einzelner Punkte erblickten, ohne sich um die geographische Bedeutung dieser Punkte, oder die Natur des zwischengelegenen Landes zu kümmern. Da sie in der Nacht arbeiten, verschlafen sie oft am Tage den Reiseweg. Ihre Karten bestehen zuweilen nur aus genau festgelegten Punkten, welche durch gerade, den Reiseweg darstellende Linien verbunden sind. Höchstens werden die Unebenheiten des Landes durch zwei, den Linien zu beiden Seiten entlang laufende Bergrauhen angedeutet. Durch die Construction dieser toten Skelettkarte geben sie außerordentlich wertvolles Material für Denjenigen, welcher die Erdoberfläche von

naturwissenschaftlichem Standpunkt betrachtet und sie in allen Einzelheiten und Charakterzügen des Reliefs darstellen möchte, aber für die genaue Festlegung der Punkte gewöhnlich viel zu wenig Interesse hat. Ein drittes Extrem bilden diejenigen Reisenden, deren Interesse in dem Menschen und seiner Kultur aufgeht. Sie haben häufig keinen Sinn für die mathematische Aufgabe und geringes Verständnis für die Formen der Erdoberfläche.

Es kommt in einem neuen oder wenig bekannten Land vor Allem darauf an, die Plastik in ihren allgemeinen Zügen zu kennen. Als das weitaus wichtigste Instrument für Denjenigen, welcher sich dieses Ziel setzt, bezeichnen wir das Auge, das heißt denjenigen Forscherblick, welcher das Unwesentliche auszuscheiden, das Wesentliche aber zu einem Ganzen zusammenzufügen versteht. Für ihn sollen die künstlichen Instrumente nicht die Hauptsache, die Beobachtung mittelst derselben nicht Selbstzweck sein. Sie sollen erst in zweiter Linie stehen und dem Auge dazu verhelfen, die geometrischen und stereometrischen Wahrnehmungen, d. h. die Entfernungen, die Winkelabstände, die Erhöhungen und Vertiefungen, die Neigungen des Bodens durch Zahlen auszudrücken und die graphische Darstellung mittelst Zirkel und Lineal zu ermöglichen. Das Bild soll vor Allem wahr sein; dies ist viel nötiger, als daß sofort einzelne Details auf Kosten des allgemeinen Bildes mathematisch genau zurechtgerückt seien.

Die Bestimmungen der Bodengestalt haben nach den horizontalen und vertikalen Komponenten zu geschehen. Als Maßeinheit muß jetzt der Meter benutzt werden, obgleich seine Anwendung in vielen Fällen un bequem erscheinen mag.

Meter: Dies ist eine sehr Gute Idee von Richthofen. In anderen alten Büchern können oftmals die verschiedenen Meilen nicht mehr nachvollzogen werden. Der Meter wurde um 1800 etwas genauer definiert um 1889 wurde er in fast allen Ländern akzeptiert

1. Messung in der Horizontale.

[§14] Der Reiseweg ist die Grundlinie, an welche die Darstellung der weiteren Umgebung anzuschließen ist. Das erste Problem ist, aus seiner Länge und Gestalt zwischen einem Anfangspunkt und einem Endpunkt die Entfernung dieser beiden Punkte und die Kompaßrichtung ihrer Verbindungslinie zu bestimmen.

Sind die beiden Endpunkte nach geographischer Länge und Breite bestimmt, so ist auch die durchschnittliche Richtung des Reiseweges bekannt, und dieser ist mit den aufgezeichneten Windungen und Biegungen zwischen die beiden Punkte einzutragen. Diese Operation ist so oft vorzunehmen, als man einen astronomisch festgelegten Punkt erreicht, oder die Lage eines Ortes selbst in dieser Weise bestimmt. Indessen kommt es auch darauf an, die Länge des einzelnen Tagemarsches und einzelner Strecken desselben zu berechnen. Dies zu tun ist wesentlich Sache der Übung. Auf einer Ebene kann vermittelt des Pedometers oder Schrittzählers ein befriedigender Grad von Genauigkeit erreicht werden, wenn man die mittlere Länge der eigenen Schritte, oder besser von 100 derselben, kennt. Sie läßt sich z. B. ziemlich genau aus der Zahl der Umdrehungen eines Wagenrades berechnen. Wenn man den Umkreis eines Rades genau kennt, kann man dieses eine gewisse Strecke weit rollen und aus der Zahl der Umdrehungen die Länge der Strecke finden. Schreitet man diese ab, so läßt sich daraus wiederum die mittlere Schrittlänge ableiten. Doch ist der Pedometer nur bei ruhigem und gleichmäßigem Wandern auf ebenem Boden anzuwenden. Steigt letzterer an, so werden die Schritte kürzer; fällt er ab, so werden sie länger. Da die Verkürzung im ersteren Fall grösser ist als die Verlängerung im zweiten, so wird bei einem Paß Übergang von gleichmäßigem An- und Abstieg das Mittel aus der Gesamtzahl der Schritte das Normalmaß der letzteren nicht erreichen. Der Pedometer versagt daher seinen Dienst überall bei geneigtem Boden. Aber auch in der Ebene muß in Betracht gezogen werden,

daß er jede stärkere Bewegung markiert und dieselbe als Schritt bezeichnet. Bei Reisen zu Wagen ist die Anbringung eines Hodometers an die Achse eines Rades zweckmäßig. Man kann die Anzahl der Umdrehungen unmittelbar ablesen. Aber gerade in unerforschten Gegenden kommt man selten in den Fall, diese Instrumente anwenden zu können.

Der Reisende muß sich daher, in Ermangelung eines unter allen Umständen anzuwendenden Meßinstrumentes, darauf einüben, die Zeit in Wegelänge umzusetzen. Dies gelingt bald für die Fußwanderung, wenn man die Versuche auf einer nach Kilometern gradierten, bald ebenen, bald ansteigenden Poststraße, und dann in einem Gebirge, von dem genaue Karten vorhanden sind, auf Pfaden, deren Länge gemessen werden kann, anstellt. Man gelangt dazu, unter Eliminierung der stets nach der Uhr zu bestimmenden Aufenthaltszeiten, die Länge des in einer gegebenen Anzahl von Stunden zurückgelegten Weges mit Berücksichtigung der eventuellen Steigungen desselben überraschend sicher abzuschätzen.

Bei Reisen mit Kamelen oder mit einem Zug gepackter Maultiere, welche einen sehr gleichmäßigen Gang haben, kommt man ebenfalls bald zu benutzbaren Resultaten. Schwieriger ist dies, wenn man zu Pferde ohne Begleitung von Packtieren reist. Aber auch dann bringt die Übung eine wachsende Genauigkeit. Wer dem Gegenstand fortdauernd Aufmerksamkeit widmet, wird nach einigen Monaten die Länge des täglich zurückgelegten Weges mit Hilfe der Uhr ziemlich genau bestimmen können.

Die Gestalt des Weges läßt sich nur mittelst des Kompasses oder des (hier wegen seiner umständlicheren Handhabung nicht in Betracht gezogenen) Theodoliten festlegen. Wo immer man mit dem Auge nach einem entfernteren, noch zu erreichenden Punkt des Weges hin, oder nach einem früher berührten Punkt desselben zurück, blicken kann, muß man die Richtung mit dem Azimut-Kompaß genau bestimmen; ebenso hat man, wo der Weg, wie es auf ebenem Boden häufig der Fall ist, auf eine größere Strecke gesehen werden kann, die Mittelrichtung desselben festzusetzen. Die zur Erreichung eines¹ vorher gepeilten Punktes erforderliche Zeit wird genau notiert. Alle kleineren Abweichungen müssen besonders aufgezeichnet werden. In sehr vielen Fällen kann man überhaupt einen größeren Überblick nicht erlangen und ist ganz darauf angewiesen, die kleinen Krümmungen einzeln zu bestimmen und aneinander zu setzen. Dazu würde die Anwendung des Azimut-Kompasses zu umständlich sein. Man muß daher beim Reiten wie beim Wandern in solchem Fall einen Taschenkompaß und eine Uhr fortdauernd zur Hand haben und auf den Blättern eines Papierblockes oder im Rohbuch provisorische Aufzeichnungen mit Angabe von Zeit und Richtung machen. Es ist unvermeidlich, dabei viele kleine Fehler zu begehen; aber da die Zeichnung auf der Beobachtung von solchen Instrumenten beruht, welche die Gefahr eines konstanten zu Viel oder zu Wenig in einer oder der anderen Richtung an sich nicht involvieren, so kompensieren sich die Fehler in auffälliger Weise. Ebenso kompensieren sich die Fehler einzelner Tage, und es gewährt dem Geübten, wenn er am Ende eines mehrtägigen, schwierig niederzulegenden Weges an einem astronomisch bestimmten Ort ankommt, stets aufs Neue eine freudige Überraschung, zu sehen, wie nahe der aus den Reiseskizzen sich ergebende Endpunkt des Weges mit diesem Ort zusammenfällt. Zuweilen sind die Krümmungen so zahlreich und klein, daß man sie nicht einzeln aufzeichnen kann. Aber man lernt bald von einer bestimmten Wegstrecke den Bruchteil abziehen, um welchen sie durch die Krümmungen vermehrt wurde. Wo Baumwuchs oder die Nähe der beiderseitigen Wände eines gewundenen Flußtales die Peilung größerer Wegstrecken gänzlich hindern, genügt es, einen Taschenkompaß vor sich hin zu halten und kontinuierlich zu beobachten. Auch gewöhnt man sich daran, mit Berücksichtigung der Tageszeit die Richtung des Schattens als Anhalt zu benutzen und daraus annähernd richtige Mittelwerte abzuleiten.

Jede Zeichnung, auch die kleinste, ist mit dem Datum und, wo möglich, mit der Tagesstunde zu bezeichnen. Arbeitet man mit losen Blättern, so sind diese außerdem zu numerieren. Auch das Geringste muß aufbewahrt werden. Bei Aufzeichnung des Weges hält man das Blatt vor sich in der Richtung des letzteren und beginnt die Einzeichnung am unteren Rand. Wo die Zeichnung abbricht, um auf einem anderen Blatt fortgesetzt zu werden, wird der Punkt des Aneinanderstoßens auf beiden Blättern angegeben.

Sehr wichtig ist es, die Wegzeichnung vom ersten Aufbruch an zu beginnen. Es ist mir selbst geschehen, daß ich von der Voraussetzung ausging, die Umgebung einer von europäischen Kaufleuten bewohnten Hafenstadt müsse aufgenommen sein, und die Wegzeichnung erst am zweiten Tage begann, nachher aber zu meinem Verdruß erkennen mußte, daß der Anfangspunkt meiner Karte nur mit der Möglichkeit eines nicht unbedeutenden Fehlers angesetzt werden konnte.

[§15] Das zweite Problem besteht in der Einzeichnung der weiteren Umgebung von der Weglinie aus. So weit das Auge reicht, ist die Gegend in die Karte aufzunehmen. Dies geschieht mittelst kombinierter Kompaß Peilungen. Wenn sich von einem Ort a eine Rundschau auf Gebirge bietet, so stellt man den Theodolit oder den Azimutkompaß auf und beobachtet die Richtungslinien aller bemerkenswerten Gegenstände, wie Berggipfel, tiefe Einschartungen im Gebirge, Anfangs- und Endpunkt eines Gebirges, den Durchbruch eines Flusses durch dasselbe, größere Ortschaften, auffallende Bauwerke etc. Am besten ist es, mit wenigen Strichen die Grenzlinien des Gesichtsfeldes rings herum, oder in dem Teil, welcher die bemerkenswertesten Gegenstände enthält, aufzuzeichnen und die letzteren mit Nummern oder Ziffern, oder mit den den Ortschaften und Gipfeln zukommenden Namen zu bezeichnen, und bei jedem die Kompaßrichtung und zugleich die geschätzte Entfernung, bei Bergen auch die geschätzte Höhe, einzutragen. Man geht dabei von einem Punkt des Kompasses aus und beobachtet von ihm aus in dem ganzen Umkreis des Horizontes. An einem Ort b, der vom ersten 10 km entfernt sei, beobachtet man wieder, vielleicht indem man sich auf eine benachbarte Anhöhe begibt, die eine freie Aussicht gewährt. Abermals werden die Begrenzungslinien des Horizontes gezeichnet und für die einzelnen Gegenstände des früheren Gesichtskreises, soweit sie noch sichtbar sind, die früheren Zeichen angewandt, neu in Sicht kommende mit neuen Bezeichnungen belegt. Wiederum trägt man die Entfernungen nach Schätzung ein. Die beiden Peilungslinien für denselben Gegenstand, z. B. einen Berggipfel, ergeben seine Lage an ihrem Schnittpunkt. Es können auch zwischen a und b vereinzelt Peilungen nach besonders auffälligen Punkten eingeschoben werden, und wenn man über b hinaus ist, hat man noch immer von einzelnen Aussichtspunkten, wo sich neue Panoramen bieten, die Richtungslinien nach den früher gepeilten Gegenständen zu nehmen, so lange dieselben in Sicht sind. Selbstverständlich wächst die Sicherheit der Lokalisierung eines Gegenstandes mit der Anzahl und gegenseitigen Entfernung der Richtungslinien, die von dem Reiseweg aus genommen werden.

Dies ist indessen nicht genügend. Aus einzeln festgelegten Berggipfeln würde man die Gebirge nachträglich unrichtig konstruieren. Daher sollte man neben den Profilzeichnungen auch von Zeit zu Zeit kleine planimetrische Landkartenskizzen entwerfen, indem man, am besten mit Buntstift, die Gebirge und Täler so aufzeichnet, wie man sie von seinem Standpunkt aus auffaßt. Diese Auffassung ist, wenn sie sich über die unmittelbare Nähe hinauswagt, Irrtümern sehr ausgesetzt. Aber durch neue Aufzeichnungen von anderen Punkten aus können diese oft bis zu einem gewissen Grad berichtigt werden.

2. Zusammenstellung der Karte.

[§16] An jedem Abend wird die während des Tages zurückgelegte Weglinie nebst der ganzen umgebenden Landschaft aus den einzelnen Skizzen zusammengestellt. Die Kompaßrichtungen werden, nach Eliminierung des Deviationsfehlers, sorgsam eingetragen. Mit Hilfe der unterwegs angefertigten Skizzen kann man die Gebirge entwerfen.

Je geübter der Blick ist, desto grösser wird die Scheu, die Karte sogleich in größter Vollständigkeit zu zeichnen, da man dann die Fehler kennt, denen man leicht anheimfällt. Allein man sollte davor nicht zurückschrecken. Der Reisende darf sich bewußt sein, daß er allein den Schlüssel für das Verständnis einer zum ersten Mal von ihm mit forschendem Blick durchwanderten Gegend hat, daß er allein die Fortsetzung der Gebirge, die er überschreitet, mit einigem Grad von Wahrscheinlichkeit anzugeben und damit Verständnis in das Kartenbild zu bringen vermag. Er ist dazu am meisten befähigt, so lange er sich an Ort und Stelle befindet, und wird es desto weniger, je längere Zeit seit seiner Anwesenheit verflissen ist. Nach der Heimkehr vermag er die Notizen allein zum Entwurf eines plastischen Bildes kaum mehr zu verwerten; und noch weniger vermögen dies Andere zu tun, in deren Hände die Aufzeichnungen gelangen. Manche haben auf Grund exakter und guter Beobachtung nach ihrer Rückkehr Karten ihrer Reisewege konstruiert, auf welchen nur diese, kaum mit Berücksichtigung der allernächsten Umgebung, angegeben sind, die weitere Umgebung aber gänzlich vernachlässigt, und ein Versuch zur Vervollständigung der Karte überhaupt nicht gemacht worden ist. Solche Karten vermögen nur durch beigefügte Höhenmessungen eine entfernte Idee von dem mehr oder weniger bergigen Charakter des Landes, aber niemals einen Begriff von der Anordnung der Gebirge in demselben zu geben. Nur durch zeitweilig ausgeführte Ortsbestimmungen wird ihr Wert zuweilen erhöht; das wiegt aber jenen anderen Nachtheil nicht auf. Wer einmal den Versuch macht, die Karten unterwegs, und zwar allabendlich, zu konstruieren, der wird von selbst dazu getrieben werden, Alles ein-zutragen, was in seinen Gesichtskreis getreten ist, und, da dann die Begier zu wissen, was jenseits desselben liegt, außerordentlich intensiv ist, sich veranlaßt fühlen, Erkundigungen darüber einzuziehen und deren Ergebnisse ebenfalls einzutragen. Die Zeichnung der Karte selbst leitet täglich zu Fragestellungen, die man sonst nicht tun und deren Unterlassung man später bereuen würde. Es ist nun nicht zu leugnen, daß der Geologe einen ungemein großen Vorteil betreffs der Vervollständigung der Karte vor Demjenigen voraus hat, der auf die Beobachtung der äußeren Formen allein angewiesen ist. Die Lagerung und das Streichen der Schichten geben ihm eine Fülle von Anhaltspunkten für Kombinationen, die der Andere scheuen muß. Wenn er ein Gebirge von steil überschobenen, einander vollkommen parallelen Falten verquert, so weiß er, daß dasselbe mit sehr überwiegender Wahrscheinlichkeit weithin fortsetzt, auch wenn es sich in der Plastik nur wenig hervorhebt, und er wird die Wahrheit seiner Vermutung durch Fragestellung leicht ergründen. Kommt er dann an eine Verwerfung von tausenden von Metern, an welche ein Tafelland grenzt, so schließt er, daß die dadurch bedingte Grenze von zwei verschiedenen Formen des Reliefs gradlinig fortsetzt. Sind beide Beobachtungen bei der Wanderung in einem tief und eng eingeschnittenen Flußtal gemacht, so wird der Topograph nur eine fortlaufende Rinne verzeichnen können, ohne ahnen zu können, wie sich der Gebirgsbau jenseits der sichtbaren Einfassung entwickelt, während der Geologe sich von selbst getrieben fühlt, Faltungsgebirge und Tafelland als solche scharf zu charakterisieren und Tatsachen zu sammeln, welche es ihm ermöglichen, die weitere seitliche Ausdehnung beider Typen festzustellen und in die Karte einzutragen. In Ermangelung der Fähigkeit zur Vervollständigung der Karte über den Reise weg hinaus

wird der Topograph leicht das Schwergewicht auf einzelne exaktere Bestimmungen legen; der Geologe wird mehr das große Ganze ins Auge fassen und leichter im Stande sein, aus flüchtiger Begehung ein Charakterbild des Landes in der Karte wiederzugeben.

Es bedarf kaum des Hinweises, daß der Reisende auf die Karte möglichst Vieles eintragen sollte; zunächst alle Ortschaften mit ihren Namen, dann das Kulturland, das Waldland, das öde Land und andere Gegenstände, welche in verschiedenen Erdräumen von sehr verschiedener Art sein können. Die Namen von Ortschaften, Bergen und Flüssen sind zunächst genau nach dem Gehör niederzuschreiben, wobei man sich des Lepsius'schen Standard-Alphabetes, oder auch eines selbstgewählten bedienen kann. Wo die Eingeborenen eine besondere Schrift haben, sollte man ein besonderes Verzeichnis von Namen anlegen, welche man von Jenen niederschreiben läßt. Eine Bezeichnung deutet die Beziehung eines jeden derselben zu seinem Ort auf der Karte an. Dies ist vor Allem nötig in China, dann in den Ländern der arabischen Schrift. Wünschenswert ist es auch bei Malaien und Siamesen.

3. Messungen in der Vertikale.

[§17] Hinsichtlich der Höhen ist der Reisende bei noch so flüchtiger Fortbewegung in der glücklichen Lage, Meßinstrumente zur Erlangung positiver Zahlenwerte benützen zu können. Die Messungen sind teils solche, welche die Festsetzung der relativen Höhenunterschiede einer meist größeren Zahl nahe bei einander gelegener Punkte bezwecken, teils solche, welche die Bestimmung der absoluten Höhe einzelner ausgewählter Punkte, d. h. ihrer Erhebung über die Meeresfläche, zum Ziel haben. Für die ersteren wählt man bestimmte Ausgangsorte, welche als Nullpunkt dienen. Es kann dazu die tägliche Aufbruchsstation für die am Tage entlang dem Reisesweg zu machenden Beobachtungen verwendet werden; oder eine Zentralstation in einem Tal, welche als Basis für die umliegenden Höhen benutzt wird; oder ein entfernterer Ort, an welchem die zur Vergleichung heranzuziehenden Barometerbeobachtungen ausgeführt werden. An Meeresküsten fallen absolute und relative Höhen zusammen. Die Gesamtheit der relativen Höhen einer Gegend kann nur durch das Auge erfaßt werden. Meßinstrumente ergeben zwar allein zuverlässige Resultate, haben aber den Nachtheil, daß diese sich nur auf Punkte beziehen.

Die genauesten Höhenmessungen werden mittelst des Präzisions-Nivellements ausgeführt. Mit diesen hat sich der Reisende nicht abzugeben.

Demnächst sind als die wirksamsten Instrumente, jedoch nur zur Bestimmung relativer Höhen von Bergen, diejenigen zu bezeichnen, mittelst welcher man den Elevationswinkel messen kann. Universalinstrumente und Theodolite werden dazu verwendet. Sie gewähren den großen Vorteil, daß man mit ihnen Berge messen kann, ohne sie zu besteigen. Dennoch soll hier nicht darauf eingegangen werden, weil sie nur dann mit Genauigkeit angewandt werden können, wenn man zugleich exakte Messungen in der Horizontale ausführt, diese aber hier ausgeschlossen wurden. So ungern man den Theodoliten zuweilen vermissen wird, belastet doch das Instrument, ebenso wie die Arbeit, Denjenigen, der in naturwissenschaftlichen Zwecken reist, zum Nachtheil seiner eigentlichen Tätigkeit.

Es bleiben dann von Instrumenten zum Messen von Höhen nur noch der Quecksilberbarometer, das Aneroid und der Kochthermometer übrig. Einiges über dieselben ist oben (§ 5) gesagt

worden. Am richtigsten ist es, wie dort bemerkt wurde, neben einem an der Hauptstation verbleibenden Quecksilberbarometer drei gute, auf einem Observatorium unter der Luftpumpe geprüfte Aneroide mit sich zu führen, von denen man nur eines in Uhrgestalt in der Westentasche bei sich trägt, während die anderen sich, lediglich zum Zweck zeitweiliger Vergleichung, bei dem Gepäck befinden. Jedes Aneroid sollte mit einem Thermometer versehen sein, der die Temperatur des Instrumentes angibt. Macht man eine mehrtägige Rast, so werden die Instrumente neben einander aufgehängt und vergleichend abgelesen.

Der Stand des Aneroids wird an jedem Nachtquartier sogleich beim Eintreffen, am späten Abend, am frühen Morgen und im Moment des Aufbruches notiert. Unterwegs wird es an jedem bemerkenswerten Ort, insbesondere bei Flußübergängen, auf Paßhöhen und auf Berggipfeln abgelesen. Man notiert dazu die Temperatur des Instrumentes, die Temperatur der Luft, sowie hin und wieder den Stand des Psychrometers, dazu auch Windrichtung, Niederschläge etc. Die genaue Ausrechnung der Höhen verschiebt man bis zur Rückkehr von der Reise; doch berechnet man sich gern unterwegs annähernd die relativen Höhenunterschiede. Für geologische Zwecke werden diese wichtig.

Besteigt man einen höheren Berg, so ist es gut, mehrere Aneroide mit sich zu führen und ihren Stand in wenigstens zwei verschiedenen Höhen mit demjenigen des Kochthermometers zu vergleichen. [*1] Außerdem ist das (in § 5 angeführte) Horizontglas dabei ein wichtiges Instrument. Überragt der zu besteigende Berg die umgebenden Gipfel, so kann man während der Besteigung die letzteren mit Hilfe dieses Glases messen, indem man das Aneroid abliest, wenn man sich auf gleicher Höhe mit dem einen oder dem anderen Gipfel befindet.

[*1]: Es ist zu beachten, daß bei schneller Änderung der Höhenlagen, wie sie sich bei der Besteigung eines steilen Berges vollzieht, das Aneroid einer gewissen Zeit bedarf, um den dem Höhenunterschied entsprechenden Stand einzunehmen. Diesen Trägheitsfaktor muß man bei den einzelnen Instrumenten genau kennen; seine Vernachlässigung verursacht nicht unerhebliche Fehler.

Kann man nun auch ziemlich befriedigende Werte für die relativen Höhenunterschiede erhalten, so geben doch die Barometer in allen Formen nur approximative Werte für die absoluten Höhen. Sie werden um so brauchbarer, je näher die Vergleichsstation sich befindet (vorausgesetzt, daß man deren absolute Höhe kennt), und je länger die Zeit, durch welche die Beobachtungen fortgesetzt worden sind. Daher ist der täglichen mehrmaligen Ablesung an solchen Stationen, wo der Reisende eine längere Rast macht, besonderer Fleiß zuzuwenden. Solche Stationen werden für die Höhenbestimmungen um so wichtiger, wenn man von ihnen aus verschiedene Ausflüge unternimmt.

Einen Quecksilberbarometer stets mit sich zu führen, kann als äußerst nützlich bezeichnet werden. Aber obgleich er nur wenig Raum einnimmt, ist er doch das lästigste aller Instrumente, sobald man ihn selbst zu tragen hat. Auch wenn man einen zuverlässigen Träger dafür bekommen kann, belästigt er durch die fortdauernde Sorge, die man ihm widmen muß. Ist er in der Lederkapsel eingeschlossen, so reizt er die Neugier der Leute, und ein Moment mangelnder Beaufsichtigung reicht zuweilen für seinen Ruin hin. Am zweckmäßigsten fand ich es, besonders in volkreichen Gegenden und in europäischen Gasthäusern, den Barometer frei aufzuhängen, da dann der Anblick die erste Neugier befriedigt. In fremde Länder sollte ein Barometer von Keinem mitgeführt werden, der nicht im Stande ist, ihn wiederherzustellen, sei es, daß eine neue Röhre zu füllen und einzusetzen, oder bei einem Gefäß-Barometer der Lederabschluß, der in tropischen Gegenden leicht dem Insektenfraß unterliegt, zu reparieren sei. Jedenfalls muß man eine Anzahl Reserveröhren und ein Gefäß mit Quecksilber mit sich führen. [*2]

[*2]: Eine ausführliche Anleitung zur Ausführung und Berechnung der Beobachtungen mittelst der hier genannten Instrumente gibt das Werk von P. Schreiber: Handbuch der barometrischen Höhenmessungen, Weimar 1877. Eine kurze Zusammenstellung von Tabellen geben Max Kunze's meteorologische und hypsometrische Tafeln, Dresden 1875.

Der Hauptnutzen der Höhenmess-Instrumente bei Forschungsreisen besteht in der approximativen, bei längerem Aufenthalt zu einiger Genauigkeit sich steigernden Bestimmung der absoluten Höhen des Reiseweges in seinen einzelnen Teilen. Besteigt der Reisende einzelne hervorragende Berge, so wird er auch deren Höhe finden. Aber für eine orographische Kenntnis kann er seine Karten nur dann nützlich machen, wenn er möglichst große Sorgfalt auf das Schätzen von Höhen nach dem Augenmaße verwendet. Übung darin gehört zu den wesentlichen Erfordernissen. Man kann sie sich erwerben, wenn man sich daran gewöhnt, jede Anhöhe, ehe man sie besteigt, in einzelnen Abstufungen zu schätzen und dann die Richtigkeit der Schätzungen durch das Aneroid zu kontrollieren. Ist man auch erheblichen Irrtümern ausgesetzt, so fördert es doch die richtige Anschauung eines Landes weit mehr, wenn man beispielsweise ein den Weg in einer gewissen Strecke begleitendes Gebirge zu 2500 Meter relativer Höhe der Gipfel und 1500 der Pässe, trotz eines möglichen Fehlers von 300 Meter im ersten und von 200 Meter im zweiten Fall, angibt, als wenn man aus Scheu vor dem Aufzeichnen des nicht Gemessenen nur der Existenz eines Gebirges erwähnt und den Beschauer der Karte in der Ungewißheit läßt, ob dasselbe 400 oder 4000 Meter hoch ist.

[§18] Jeder Reisende hat sich bei seiner Vorbereitung mit den konventionellen Methoden der Zeichnung der Gebirge in der Horizontalprojektion bekannt zu machen und dieselben praktisch zu lernen. Sie haben den Zweck, das Gebirge in allen seinen Formen plastisch wiederzugeben. Man denkt sich dasselbe entweder von der Seite oder von oben beleuchtet. Die seitliche Beleuchtung läßt die Schattenseite dunkel, die Lichtseite hell hervortreten. Sie zeigt besonders im Hochgebirge die Verzweigungen der Kämme und Rücken mit großer Schärfe und gewährt dem Laien das anschaulichste Bild. Diese Methode ist zwar bei der Anfertigung von Gebirgskarten der Schweiz, welche mit Recht als Meisterwerke bewundert werden, benutzt worden, ist aber nicht zu empfehlen, weil sie der Richtigkeit entbehrt; denn auf der beleuchteten Seite treten die Wechsel in der Neigung der Gehänge bis zur Unkenntlichkeit zurück, und auch auf der Schattenseite zeichnen sie sich nicht hinlänglich, weil schon schwach geneigte Gehänge den Schattenton erhalten müssen. Diejenigen Methoden, welche von der senkrechten Beleuchtung ausgehen, sollten bei Karten, welche auf wissenschaftlichen Character Anspruch machen, allein angewendet werden. Die Ebene bleibt weiß, und es werden dunklere Töne angewendet, je grösser der Neigungswinkel ist.

Die Technik der Darstellung beruht auf der Konstruktion wirklich gemessener, oder auch nur idealer Isohypsen, das heißt der Linien gleicher Meereshöhe, oder, was dasselbe ist, der Durchschnittslinien ideeller horizontal ebenen mit den äußeren Begrenzungsflächen des Reliefs. Die Abstände der Isohypsen können je nach dem Maßstab der Karte sehr verschieden gewählt werden. Sie nähern sich einander bei steilen und entfernen sich von einander bei schwächer geneigten Gehängen. In je geringeren Vertikalabständen die Isohypsen angelegt werden, desto vollkommener wird das plastische Bild, und wenn die Abstände sehr klein genommen werden, läßt sich ein sehr genaues Abbild der Natur mit allen Einzelheiten der Plastik herstellen.

Es gilt nun, dieses selbe Bild durch Abtönen einer Farbe, wozu man Braun (am besten Sepia coloré) zu wählen pflegt, herzustellen. Um die Abtönungen zu entwickeln, kann man sich die Zeichnung eines mit Gehängen der verschiedensten Neigungen versehenen Felsbügels mit Isohypsen von 1 Meter Vertikalabstand in brauner Farbe konstruieren. Betrachtet man dann den

zwischen einem Vertikalabstand von 50 Meter enthaltenen Raum, so wird der steile Abhang dunkel, der sanfte hell erscheinen; die gleiche Farbenmenge ist dort auf einen schmalen hier auf einen breiten Raum verteilt, Der Gesamteffekt dieser Farben ist mit dem Pinsel wiederzugeben.

Der gleiche Effekt wie durch die dichtgedrängten Isohypsen wird durch die bekannte Lehmann'sche Strichmanier erreicht, deren Einführung jener anderen Methode vorangegangen ist. Sie ist vollkommener als die Technik des Pinsels und setzt gerade deshalb ein sehr genaues Bild voraus. Zuweilen kommt es dem Reisenden auf genaue Wiedergabe kleinerer Verhältnisse an, z. B. der Nebenvulkane auf einem größeren Hauptvulkan; dann ist sie mit Vorteil anzuwenden. Im übrigen ist die Tuschmanier am zweckmäßigsten. Sie kann ersetzt werden durch braunen Stift oder weichen und schwarzen Bleistift (wobei die Fixierung durch Milch oder verdünnten Milchkaffee nicht zu vergessen ist). Man ahmt mit dem Stift die Isohypsenzeichnung nach, ohne bestimmte Zahlenwerte durch die Linien ausdrücken zu wollen. [*1]

[*1] Die Methoden der Kartenzeichnung sind in dem Kaltbrunnnerschen Buch (s. oben S. 13) umständlich behandelt.

Es ist auf der Reise nicht möglich, ein Gebirge in seinen Details richtig zu zeichnen. Aber die Zeichnung muß wahr sein, sie muß den Charakter des Gebirges wiedergeben. Tief eingerissene Schluchten müssen sich von breiten Tälern, scharfe Kämme und zackige Gipfel von gerundeten Formen, schroffe Felsabstürze von sanften Gehängen unterscheiden. Die zu schematische Durchführung eines erkannten Charakterzuges ist ein geringerer Fehler, als charakterlose Bergzeichnung.

[p. 60]

Drittes Kapitel.

Klimatische und biologische Beobachtungen.

Es ist nicht der Zweck dieses Buches, ausführliche Anleitung für die Beobachtungen auf meteorologischem, noch weniger für solche auf biologischem Gebiet zu geben. Dieselben sollen nur so weit herangezogen werden, als sie für die Forschungen auf den Gebieten der Geologie und der physischen Geographie des Erdbodens von Wichtigkeit sein können.

A. Beobachtungen über klimatische Faktoren.

[§19] Kein Reisender, der sich überhaupt Aufzeichnungen angelegen sein läßt, versäumt, Bemerkungen über die tägliche Witterung in seinem Tagebuch niederzulegen. Sie geben zuweilen einigen Anhalt für die Nachfolger, aber eine wissenschaftliche Anwendbarkeit erhalten sie erst, wenn sie in Zahlen ausgedrückt werden. Zwar ist selbst dann ihr, Nutzen für generelle Ableitungen meist gering. Dennoch sollte kein Reisender es unterlassen, außer dem, was er zu den Höhenmessungen braucht, täglich auf die Ablesung einiger Instrumente die dazu erforderliche geringe Zeit zu verwenden. Auch für Denjenigen welcher sich den Erdboden als Gegenstand naturwissenschaftlicher Untersuchung gesetzt hat, hat die Kenntnis örtlicher klimatischer Verhältnisse eine unmittelbare hohe Bedeutung; denn dieselben stehen in kausalem Zusammenhang mit einer Reihe fortdauernd vor sich gehender äußerer Umgestaltungen und tragen daher zu deren Verständnis bei. Andererseits wirkt die Gestalt und Zusammensetzung der Erdoberfläche als ein ursächliches Moment auf einzelne klimatische Erscheinungen zurück. Der Forschungsreisende vermag daher oftmals die Ursachen örtlicher Abweichungen aufzufinden. Dazu kommt noch ein für die physische Geographie eminent wichtiges Moment. Viele Eigentümlichkeiten der Oberflächenbeschaffenheit eines Landes lassen sich nur aus dem ehemaligen Obwalten klimatischer Verhältnisse erklären, welche den heutigen nicht entsprechen. Man muß daher die letzteren und ihren Zusammenhang mit den ihnen zu Grunde liegenden Bedingungen erkennen, um beurteilen zu können, durch welchen Unterschied in den Zuständen die abweichenden Verhältnisse der Vorzeit bedingt sein konnten.

Angesichts dieser Bedeutung des Klimas, welche für die Forschungsbereiche des Botanikers, des Zoologen und des Ethnographen noch höher ist, muß der Reisende es sich zur Aufgabe machen, einen Einblick in den jährlichen Witterungsgang in einzelnen Gegenden zu erhalten. Dazu helfen ihm Beobachtung und Erkundung. Die eigene Beobachtung ist in der Regel beschränkt. Meist bezieht sie sich an jedem einzelnen Ort auf einen Moment, und dieser fällt oft auf eine ungünstige Tageszeit. Aber selbst damit werden Bausteine geliefert, wenn auch diminutiv und in vielen

Fällen kaum weiter zu verwerten. Berühren verschiedene Reisende zu verschiedenen Zeiten dieselbe Gegend, so mehren sich die Bausteine und es wächst ihre Verwertbarkeit, um so mehr, wenn die Beobachtungsreihen sich bei dem Einen oder dem Anderen auf Wochen oder Monate erstrecken, und Andere zu anderer Jahreszeit dieselben ergänzen. Zuweilen bietet sich dem Reisenden Gelegenheit, an einem Ort, nach welchem er nach längerer Abwesenheit zurückzukehren gedenkt, einer geeigneten Persönlichkeit einzelne Instrumente nach vorher erteilter Instruktion über die Art ihres Gebrauches zu überlassen und dadurch die Reihe der eigenen Beobachtungen zu vervollständigen.

Die Erkundung ergibt oft wertvolles Material. Manchmal findet es sich, besonders auf Missionsstationen, daß man Beobachtungsjournale antrifft, welche sich auf längere Zeiträume erstrecken und vorher nicht bekannt geworden sind. Intelligente Landleute können über alle Phasen der Feldbestellung, die Zeit des Eintretens des Regens und der trockenen Zeit, sowie über besonders verheerende Regengüsse Aufschluß geben. Manchen Wink erhält man durch die Information über die Perioden im wechselnden Stand der Flüsse und Seen. Auch volkstümliche Gewohnheiten, ebenso wie das Aussetzen und die Wiedereröffnung des Verkehrs, können Fingerzeige für weiter daran zu knüpfende Fragen geben.

Es soll nun in Kürze auf die Beobachtungen eingegangen werden, welche der Reisende selbst anstellen kann. [*1]

[*1]: Das Studium der Meteorologie und Klimatologie ist gegenwärtig durch eine Anzahl kleinerer Kompendien und größerer Handbücher erleichtert. Mit Rücksicht auf exakte Behandlung und faßliche Darstellung sind dem Forschungsreisenden zur Vorbereitung besonders die beiden Werke von J. Hann zu empfehlen:

Die Erde als Weltkörper. Prag und Leipzig, 1884 (Abdruck aus dem in § 4 genannten Werk); Handbuch der Klimatologie, Stuttgart 1883. Als populäres, kleines Kompendium ist H. Klein, Allgemeine Witterungskunde (Leipzig 1882) zu nennen.

1. Instrumente für meteorologische Beobachtungen.

[§20] Der Reisende sollte die folgenden Instrumente mit sich führen:

1. Eine Anzahl Schleuderthermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur. Sie werden an einer Schnur im Kreise herumgeschwungen, bis der Stand sich nicht mehr ändert.
2. Einige gute feste Thermometer ohne Schleudervorrichtung, zur Beobachtung von Luft- und Wasser-Temperaturen. Sie brauchen auch für die Tropen nicht über 50 bis 60° C. hinauszugehen. Das Quecksilber-Gefäß sollte plattgedrückt oder zylindrisch sein, um durch Darbietung einer großen Oberfläche die rasche Annahme der Temperatur zu gestatten. Für sehr kalte Gegenden, in denen das Quecksilber gefriert, sind Alkoholthermometer erforderlich. Für die Messung der Temperatur heißer Quellen sollte man zwei bis auf 100° C. graduierte Thermometer haben.
3. Ein Casella'sches Maximum- und Minimum-Thermometer.
4. Ein Thermometer mit geschwärzter Kugel (Solarthermometer) zur Bestimmung der Insolation. Es muß über 100° C. hinaus geteilt sein.

5. Ein Psychrometer, d. h. ein Paar nach sorgfältiger Prüfung genau übereinstimmende, gut konstruierte Thermometer, von denen eines eine Umhüllung von Baumwollzeug mit lang herabhängenden, zopfartig zusammengeflochtenen Fäden hat.

6. Ein Thermometer für Flußwassertemperaturen. Es muß fest in einer Messinghülse eingeschlossen sein, deren unterer Teil, in welchem die Kugel sich befindet, bei dem Heraufziehen des Instrumentes an Bord eines Schiffes etwas Wasser zurückbehalten kann, da sich die der Luft ausgesetzte Kugel schnell abkühlen würde. Man kann mit diesem Instrument hinreichend genaue Resultate erhalten.

7. Ein Quecksilberbarometer und wenigstens drei Aneroide nach früherer Vorschrift (s. § 5).

Sämtliche Thermometer sind sorgfältig zu behandeln, da der gänzliche Verlust derselben sehr empfindlich ist. Auf Ersatz guter Instrumente kann man, nachdem man einmal die Heimat verlassen hat, selbst an überseeischen Handelsplätzen nicht rechnen. Auf je längere Zeit die ganze Reise angelegt ist, desto grösser sollte die Zahl der Thermometer sein, welche man mitnimmt. Zum Zweck der Aufbewahrung läßt man für jedes derselben ein röhrenförmiges Säckchen von Parchend anfertigen und schiebt den mit diesem umhüllten Thermometer in eine ebenfalls röhrenförmige Blechkapsel.

Parchend ist ein Mischgewebe aus Leinen und Kamelhaar

In dieser einfachen Verpackung leiden die Instrumente nicht leicht Schaden.

Sämtliche Thermometer sollten zum Aufhängen eingerichtet sein. Um dies überall tun zu können, hat man einige Baumschrauben stets zur Hand.

2. Temperaturbeobachtungen.

[§21] Temperatur der Luft. — Die Beobachtung der Lufttemperatur an einem bestimmten Ort hat zum Zweck die Ermittlung des täglichen und des jährlichen Wärmeganges, sowie der Mitteltemperatur des Ortes für Monate, Jahreszeiten und Jahre. Fragmente dafür vermag der Reisende zu liefern, wenn er an einem Ort längeren Aufenthalt nimmt. In solchem Fall sind die Instrumente besonders sorgsam aufzuhängen, einige Fuß über dem Boden, in freier Luft, und doch ebenso vor Regen wie vor direkter und indirekter Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt. Wo dieser letztere Schutz nicht erreicht werden kann, ist man auf die Beobachtung mittelst des Schleuderthermometers angewiesen. Man notiert den Stand des Thermometers um 7 Uhr früh, um 2 Uhr und 9 Uhr nachmittags, außerdem das tägliche Maximum und Minimum; auch sucht man die Stunden zu ermitteln, wann diese eintreten.

[§22] Insolation. — Der direkte Effekt der Sonnenstrahlen auf feste Körper gehört wegen des Einflusses der Erwärmung der Erdoberfläche auf diejenige der Luft zu den wichtigsten thermischen Faktoren. Man kann bei der Beobachtung nach zwei Richtungen vorgehen. Einmal setzt man ein und denselben Körper den Sonnenstrahlen an verschiedenen Orten, in verschiedenen Jahreszeiten und in verschiedenen Meereshöhen aus. Dann kann man an demselben Ort gleichzeitig verschiedene Körper auf ihre Erwärmungsfähigkeit durch die Sonne untersuchen.

Für die ersteren Beobachtungen dient das unter 4 (§ 20) angeführte Thermometer mit geschwärzter Kugel. Größere Genauigkeit wird erzielt, wenn die Thermometerkugel sich in einer

größeren Hohlglaskugel befindet. Auch bringt man jetzt über dem Quecksilberfaden einen Stift an, welcher den Maximalstand während des Tages anzeigt. Das Instrument wird am zweckmäßigsten in horizontaler Lage über einer Rasendecke angebracht.

Der Effekt der Insolation auf verschiedene Körper ist meist schwierig zu beobachten. Der Reisende kann sich damit begnügen, die Oberflächentemperatur verschiedener an einer Örtlichkeit vorkommender, in gleicher Weise von der Sonne beschienener Bodenarten zu bestimmen. Besonders sind dunkle, metallreiche und metallarme Bodenarten (Magneisensand, vulkanischer Tuff, Humus) mit hellfarbigen (Muschelsand, Quarz, Kalksteinboden) zu vergleichen. Schwieriger ist dies bei festem Gestein durchzuführen; doch kann die Anwendung einer einheitlichen Methode zu Ergebnissen leiten. Poröse Bodenarten (Löß, Ackererde, feinerdige Tuffe) sollten mit dichteren verglichen werden. Salzgehalt, Mischung mit organischen Stoffen, glatte oder rauhe Oberfläche dürften ebenfalls von Einfluß sein (s. auch § 38).

[§23] Wärmeausstrahlung. — Die aufgenommene Wärme wird von der Oberfläche des Bodens wieder ausgestrahlt. Dies ist besonders in der Nacht zu beobachten, weil dann die Quelle der einstrahlenden Wärme fehlt. Einen gewissen extremen Wert findet man durch Vergleichung eines in sternenklarer Nacht der Ausstrahlung ausgesetzten Minimum-Thermometers mit einem anderen, welcher normal, d. h. unter einer schützenden Decke, aufgestellt ist. Der erstere wird, wenn der Boden mit Vegetation bedeckt ist, horizontal auf niedrigem Rasen angebracht und dabei von Stützen so gehalten, daß er sich in der Höhe der Grasspitzen befindet. Aus der Differenz der beiden Ablesungen ergibt sich die Größe der Wärmeausstrahlung. Man kann die letztere ebenso auf pflanzenleerem Boden, auf festem Gestein und auf Schnee beobachten und dabei die verschiedenen Bodenarten ebenso vergleichen, wie betreffs der Insolation. Man hat gefunden, daß derjenige Boden, welcher die Wärme am leichtesten annimmt, sie auch durch Strahlung am leichtesten abgibt. Eine Vervollständigung der bestehenden Beobachtungsreihen ist erwünscht, besonders in Steppen und Wüsten. Von den Erscheinungen, welche in Folge der mechanischen Wirkungen kräftiger Insolation und starker Wärmeausstrahlung eintreten, wird in einem späteren Abschnitt (§38—§40) die Rede sein.

[§24] Bodentemperatur. — Abgesehen von dem unmittelbaren Effekt der Sonnenbestrahlung auf die Oberfläche von Bodenarten von verschiedener Farbe und Beschaffenheit (§ 22) kann die Temperatur der oberen Erdschichten mit Rücksicht auf Vegetationsbedeckung oder Kahlheit, auf Feuchtigkeitsgehalt oder Trockenheit, auf heiteren oder bewölkten Himmel untersucht werden. Die Beobachtung kann dann auf die Frage gerichtet werden, bis zu welcher Tiefe die tägliche Periode von Erwärmung und Abkühlung unter verschiedenen äußeren Bedingungen bemerkbar ist. Die Auffindung derjenigen Tiefe, in welcher auch die jährlichen Temperaturschwankungen aufhören und die invariable Erdschicht erreicht wird, setzt lange und umständliche Beobachtungen voraus und kann nur von Denen erwartet werden, welche, bei mehrjährigem Aufenthalt an einem Ort, Gelegenheit zur Anstellung von Temperaturbeobachtungen in verschiedenen Tiefen haben.

Da die Temperatur der invariablen Erdschicht der mittleren Jahrestemperatur des betreffenden Ortes entspricht, und diese daher aus jener abgeleitet werden kann, so ist schon ein annähernd richtiges Resultat von Interesse. Ein solches kann in den Tropen erreicht werden, wo in trockenem Boden schon in Tiefen von 2/2 bis 1 m keine merkbaren Schwankungen mehr stattfinden. Messungen in dieser Tiefe sollten in einer bestimmten Gegend in größerem Umfang ausgeführt, und dafür eine Reihe von Orten gewählt werden, die sich unter verschiedenen Verhältnissen der Pflanzenbedeckung, in verschiedenen Meereshöhen und unter verschiedenen Bedingungen des Niederschlages befinden.

In außer-tropischen Gegenden sollte der Reisende es nicht versäumen, die Temperatur des Wassers sehr tiefer Brunnen zu messen, dazu aber nicht versäumen, diese Tiefe selbst festzustellen. Auch Quelltemperaturen können von Wert sein, z. B. dort, wo eine wasserundurchlassende Schicht unter lockerem Erdreich ungefähr in der Tiefe der invariablen Temperatur liegt, und Sickerwasser an ihr hervorquellen (§ 56). Ihre Temperatur sollte an mehreren Stellen festgestellt werden. Wo mehrere undurchlässige Schichten vorhanden sind und Quellen zwischen je zweien derselben hervorkommen, würden deren Temperaturverhältnisse erhöhtes Interesse haben.

Wo in tropischen Gebieten so verschiedene Bodenarten, wie Latent (§ 206), Regur (§ 217), Sand, fette Alluvien und lockere Schottermassen neben einander an der Oberfläche herrschen, sollte ihr Effekt auf die Tiefe der invariablen Erdschicht untersucht werden.

[§25] Änderung der Temperatur mit der Meereshöhe.

— Je höher man ansteigt, desto mehr nimmt die Insolation zu, weil die Sonnenstrahlen eine geringere Luftsäule durchdringen, daher weniger Wärme abgegeben haben, und insbesondere die feuchteren Luftschichten, welche die Wärme der Sonnenstrahlen am meisten absorbieren, in der Tiefe bleiben. Das Solarthermometer muß, um in großen Höhen noch brauchbar zu sein, bis über den Kochpunkt hinaus geteilt sein; denn so hohe Temperaturen kann die geschwärzte Kugel dort annehmen. Die Unterschiede der Temperatur unmittelbar über dem erhitzten Boden von derjenigen der freien Luft betragen häufig 30 bis 60° und sind in großer Höhe bis beinahe 80° beobachtet worden. Auch die Temperatur des der Sonne ausgesetzten Erdbodens, und zwar (wie in den in §§ 22 und 24 angegebenen Fällen) gesondert nach Farbe, mineralischem Charakter und Feuchtigkeitsgrad, sollte an hochgelegenen Punkten häufiger gemessen werden. Diese Untersuchungen haben zunächst für die biologischen Wissenschaften Wert; denn die starke Insolation und Bodenerwärmung verursachen das ungemein schnelle Emporkommen, die Blütenpracht und den Artenreichtum in hohen Bergregionen, im Unterschied gegen die Polargegenden, wo bei gleicher Durchschnittstemperatur und weit längeren Sommertagen doch wegen der Kälte des Bodens die Vegetation spärlicher und artenärmer ist. Besonders ist die Intensität der durch das Spektrum am meisten gebrochenen, sogenannten chemischen Sonnenstrahlen nach Bunsen und Anderen auf Bergeshöhen erheblich bedeutender als im Meeresniveau. Auch darüber sind erweiterte Untersuchungen wünschenswert. Doch werden sie erst bei Vereinfachung der dazu erforderlichen Instrumente und Methoden in den Bereich des Reisenden fallen können.

Der starken Erwärmung steht auch hier eine starke Ausstrahlung gegenüber. Je nach der Länge von Tag und Nacht wird der eine oder der andere Einfluß vorwalten. Die Ausstrahlung sollte gemessen und mit derjenigen an tieferen Stationen verglichen werden. Die Methoden sind die vorher beschriebenen. Bei Schneebedeckung kann man den Thermometer unmittelbar auf den Schnee legen oder in denselben eindrücken; oder man kann ein wollenes Tuch über ihn ausbreiten und den Thermometer auf dieses legen.

Eine dritte Reihe von Beobachtungen bezieht sich auf die Temperatur der Luft. Sie wird bei Tage am besten im Schatten genommen, kann aber auch am Schleuderthermometer annähernd richtig abgelesen werden. Einen Wert erhält die Bestimmung erst dann, wenn sie mit gleichzeitigen Beobachtungen in höheren und tieferen Lagen verglichen werden kann. Wenn man auch im Allgemeinen festsetzen konnte, daß die Abnahme der Temperatur bei je 100 m Anstieg in einem großen Mittel 0.58° C. (mit Schwankungen von 0.30 bis 0.80°) beträgt, so sind doch so viele örtliche Besonderheiten und Abweichungen gefunden worden, daß die Vermehrung sicherer Beobachtungsreihen sehr erwünscht ist. Es ist dabei zu notieren, welchen Feuchtigkeitsgehalt die

Luft in den einzelnen Höhen hat, ob die Bewegung der Luft am Gehänge hinauf oder hinab stattfindet, ob die allgemeine Luftströmung auf das Gebirge zu oder von ihm hinweg stattfindet. Die relative Höhe der Temperatur an der unteren Ausgangsstation (mit Bezug auf die Erhebung über dem Meer) kommt wesentlich in Betracht, ferner der Grad der Pflanzenbekleidung; selbst die geographische Breite scheint ein nicht unwesentlicher Faktor zu sein. Von größter Bedeutung aber ist die Gestalt des ansteigenden Grundes und des ganzen Gebirges: ob sich dasselbe isoliert, oder als Kamm erhebt, oder in Flächenausbreitungen allmählich ansteigt, oder ob mehrere Bodenformen mit einander wechseln. Die Temperaturabnahme ist langsam, wo flächenartige Ausbreitungen vorwalten. Sie beträgt hier (soweit die Beobachtungen reichen) im Mittel 0.40° für 100 m Erhebung, geht aber im Sommer bis weit unter diese Größe herab; denn da in dieser Jahreszeit der Boden eine Wärmequelle für die auflagernden Luftmassen bildet, besitzen diese über einer Hochfläche mehr Wärme, als an einem isolierten Berggipfel, wo die Wärmequelle wenig ausgedehnt ist und ein fortdauerndes Umspülen durch kalte Luftschichten stattfindet. Wenn bei einem Anstieg steilere Gehänge mit flachen Talausbreitungen wechseln, ist daher die Wärmeabnahme im Sommer an ersteren schneller als über letzteren. Umgekehrt ist es im Winter, da dann der Boden der Hochflächen bei Nacht schneller erkaltet, als die freie Atmosphäre. Die Luftwärme ist dann über Hochflächen niedriger, als auf Berggipfeln oder (in gleicher Höhe) in der freien Atmosphäre.

Wenn hochgelegene flache Landstriche überhaupt im Winter abnorm starker Abkühlung ausgesetzt sind, so wird diese Wirkung gesteigert, wenn ein solcher Landstrich beckenartig von Bergen umgeben wird, gleichviel ob er sehr klein oder sehr ausgedehnt sei, und es ereignet sich dann, daß die Temperatur, wenn man von dem Boden des Beckens nach den Bändern hinaufsteigt, mit der Höhe zunimmt. Dies scheint daher zu kommen, daß die erkältete Luft an den Gehängen hinabfließt, sich am Boden des Beckens sammelt und hier stagniert (Hann). Man kennt die Erscheinung in kleinen kesselartigen Becken, wo die Verminderung der Zeitdauer der Sonnenbestrahlung in demselben Sinn erkältend wirkt; dann in abgeschlossenen Alpentälern, welche oft in einem großen Gebiet kalt sind, während Abhänge und Gipfel höhere Temperatur haben; ferner in großen bergumschlossenen Ebenen, wie der Po-Ebene; endlich in weiter ausgedehnten Gebieten, wie im nordöstlichen Sibirien, wo wenigstens eine Beobachtungsreihe das Bestehen höherer Wärmegrade auf den Bergen zu erweisen scheint.

Es wäre von Interesse, zur Kenntnis dieser erst seit wenigen Jahren genauer untersuchten Erscheinung weiteres Material aus verschiedenen Gegenden der Erde beizubringen. Der Reisende vermag dies vermittelt Thermometerbeobachtungen nicht zu tun, falls ihm nicht solche von mehreren Stationen in verschiedener Höhe zu Gebote stehen; aber er kann aus Tatsachen auf das Obwalten der angegebenen Verhältnisse schließen. Es hängt mit der Ansammlung kalter Luft in den Tälern und Becken zusammen, daß in den meisten Alpentälern die Bewohner die Gehänge, oft mehrere hundert Fuß über den Talsohlen, zur Anlage ihrer Gehöfte und Dörfer aufgesucht haben; daß in der Tiefe kalte Nebel lagern, während die Luft auf den Höhen trocken und warm ist; daß im Talgrund der Frost die Vegetation im Herbst schon zerstört, wenn sie in höheren Lagen noch ohne Schädigung fortbesteht. Wo es bei dem Anbau von Nutzpflanzen von geringen Temperaturdifferenzen oder der Neigung zu Frösten im Frühjahr und Herbst abhängt, ob sie überhaupt noch kultiviert werden können oder nicht, beschränkt sich daher ihre Pflanzung auf die Hügelabhänge; so bei dem Weinstock im Rheintal und bei dem Kaffeebaum im südlichen Brasilien. Zu ähnlichen Beobachtungen werden sicherlich viele andere Gegenden Anlaß bieten. Das Erscheinen von Reif und Frost in den Tiefgründen, während man sich in frostfreien Höhen befindet (wie es z. B. im westlichen Randgebiet des Great Basin in Nord-Amerika häufig der Fall ist) sollte stets notiert werden. Besonders wenn flache Talgründe mit Schnee bedeckt werden,

sind sie zur Ansammlung stagnierender kalter Bodenluft geneigt. Aber erforderlich scheint die Schneedecke nicht zu sein. Die großen geschlossenen Becken in Inner-Asien, sowohl die kleineren auf dem tibetischen Hochland, wie das große Tarymbecken in seiner Gesamtheit, ferner diejenigen des eranischen Hochlandes, bis zu den Seen Urmia und Wan, diejenigen Klein-Asiens und viele andere sind für die Beobachtung gleichzeitiger Temperaturen in ihrem Boden und an ihren Umrandungen zu empfehlen. Diejenigen, welche im Winter abnorm kalt sind, werden vermutlich im Sommer abnorm hohe Temperaturen zeigen.

3. Feuchtigkeit der Luft, Bewölkung und Niederschläge.

[§26] Der Wasserdampf in der Luft und seine Kondensation sind klimatische Faktoren von unmittelbarer Bedeutung für das morphologische Verständnis der festen Erdoberfläche. Zu den Gegenständen, welche sich der Beobachtung darbieten, gehört die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft, aus der sich, mit Rücksichtnahme auf die Temperatur, der Taupunkt und die relative Feuchtigkeit ergeben; ferner der Grad und die Menge der Bewölkung, und sämtliche andere Arten des Niederschlags.

Bekanntlich kann die Luft um so mehr Wasserdampf enthalten, je höher ihre Temperatur ist. Sie kann an Wasserdampf 1/100 ihres Gewichts bei 0°, 1/80 bei 15°, 1/40 bei 30°, 1/20 bei 45° aufnehmen. Enthält sie dieses Quantum, so ist sie bei der betreffenden Temperatur gesättigt. Die Dämpfe üben dann einen allseitigen Druck aus, der der höchste bei der bestimmten Temperatur erreichbare ist. Steigt die Temperatur, so nimmt der Druck des Dampfes zu, aber es kann auch neuer Dampf aufgenommen werden; sinkt sie, so vermag der Raum nicht mehr so viel Dampf zu fassen wie vorher; ein Teil verdichtet sich zu Wasser, und der übrig bleibende Dampf übt einen geringeren Druck nach allen Seiten hin aus. Taupunkt ist die Temperatur, bei welcher der Wasserdampf bei Sättigung des Raumes auf dem Maximum seines Druckes oder seiner Spannkraft steht. Die geringste Erniedrigung der Wärme verursacht Niederschlag.

Der Taupunkt kann auf Daniell's Hygrometer direkt abgelesen werden. Die Temperatur der Luft, die auf ihren Feuchtigkeitsgehalt zu untersuchen ist, sei 16°, der Taupunkt sei bei 12° gefunden worden. Bei 12° kann die Luft nur 10.5 gr Wasserdampf auf 1 cbm enthalten, bei 16° hingegen 13.5 gr. Es ergibt sich also eine absolute Feuchtigkeit von 10.5 gr m 1 cbm, eine relative von $10.5/13.5 = 0.78$ Prozent derjenigen Menge, welche die Luft bei 16° enthalten kann. Die Menge des Wasserdampfes, welche Luft von jeder einzelnen Temperatur im Maximum enthalten kann, kann aus Tabellen entnommen werden. [*1] Die relative Feuchtigkeit ist daher leicht zu berechnen.

[*1]: Z. B. die in der Anmerkung S. 57 genannten meteorologischen Tafeln von Kunze.

Ein bequemeres Instrument auf der Reise ist das unter Nr. 5 (§ 20) genannte Thermometerpaar, von denen die Kugel des einen mit Baumwollzeug umhüllt ist und befeuchtet wird (Augusts Psychrometer). Die Beobachtung geschieht an einem schattigen Platz im Freien bei mäßig bewegter Luft. Die an beiden Instrumenten abgelesenen Werte werden aufgeschrieben. Absolute und relative Feuchtigkeit werden aus Tabellen entnommen.

Feuchtigkeitsbestimmungen sollten besonders in den großen Zentralgebieten der Kontinente zu verschiedenen Zeiten des Jahres ausgeführt werden; ferner dort, wo die Windrichtungen in größeren Perioden mit einander wechseln, dann bei Windwechsel überhaupt. Von Interesse sind

die Schwankungen von Ort zu Ort in den Tälern und auf den Kämmen oder Gipfeln höherer Gebirge, so wie die großen Unterschiede an den entgegengesetzten Flanken solcher Gebirge, welche quer gegen eine herrschende Windrichtung ansteigen. Winde, die in Wüsten hinein und aus ihnen heraus wehen, ferner Winde von besonderer Art, wie Föhn, Khamsin etc. (s. § 27), sind ebenfalls besonders zu berücksichtigen.

Die Kondensation des Wasserdampfes in ihren verschiedenen Formen: Wolken, Nebel, Tau, Regen, Schnee, Hagel, sollte stets beobachtet und in ihrer Erscheinungsart im Tagebuch beschrieben werden. Bei der Bewölkung müssen die bekannten Kategorien unterschieden, und der Gesamtbetrag nach Zehnteln der Himmelseinteilung geschätzt werden. Besonders geben die hohen Cirruswolken nach Gestalt und Zugrichtung ein anziehendes und wichtiges Objekt der Beobachtung. — Bei den Nebeln sind die in den Tälern lagernden von den an Berggehängen oder um Berggipfel sich bildenden zu unterscheiden. In den Tropen sollte die Zeit ihres täglichen Erscheinens in verschiedenen Höhenstufen notiert werden. — Tau und Reif sind besonders in solchen Gegenden, wo es nicht regnet, wichtige Faktoren für die Vegetation. — Regen und Schnee sollten nach ihrer Quantität gemessen werden. Man kann einen Casella'schen Regenmesser mitnehmen, oder sich einen auf der Station konstruieren. Nur auf dieser läßt sich die Messung mit einiger Sorgfalt ausführen. Über die Regenperioden, ihre Dauer, die Zeitpunkte ihres Eintretens und Aufhörens wird sich durch geeignete Fragestellung einiges Tatsächliche erlangen lassen. Angaben über die Verstärkung der Regen mit der Annäherung an ein Gebirge, sowie an den Bergsgehängen hinauf, Feststellung der Höhe, in welcher der größte Regenfall stattfindet, überhaupt vergleichende Beobachtungen dieser Art, sind sehr erwünscht, werden aber selten mit Genauigkeit geliefert werden können. — Bezüglich des Schneefalles handelt es sich, neben der Gesamtmenge, um die Höhe, bis zu welcher herab er überhaupt vorkommt, und um die Untere Schneegrenze in den einzelnen Jahreszeiten.

Verschiedene Winke, auf welche hier nicht ausführlich eingegangen werden kann, werden sich den meteorologischen Lehrbüchern und Hann's Klimatologie entnehmen lassen.

4. Luftdruck und Luftströmungen.

[§27] Von den Beobachtungen über den Luftdruck mittelst Barometer und Aneroid ist schon bei den Höhenmessungen (§ 17) gesprochen worden. Für den Reisenden dienen sie lediglich zu letzterem Zweck. Nur wenn auf einer Station die Beobachtungen durch eine längere Periode mit großer Regelmäßigkeit fortgesetzt werden, kann ein Beitrag zur bessern Übersicht allgemeiner Verhältnisse geliefert werden. Wenige werden (vielleicht durch Regenzeit festgehalten) so an die Station gebannt sein, daß ihnen die Muße bleibt, um täglich vom frühesten Morgen bis zum späten Abend in zweistündigen Perioden den Gang des Barometers zu beobachten, wie es eigentlich geschehen müßte. Um so mehr sollte man dies dann zu tun suchen, wenn außergewöhnliche Witterungserscheinungen eintreten, und die Beobachtungen bis nach deren Ende fortsetzen.

Wind und Richtung des Wolkenzuges, d. h. untere und obere Luftströmungen, sollten hingegen den Gegenstand steter sorgfältiger Aufzeichnung bilden. Auch schwache Bewegungen sind

dabei nicht zu vernachlässigen. Es genügt, die Richtung nach den acht Hauptstrichen des Kompasses (der „Windrose“) zu bestimmen und eine Zwischenrichtung nur dann zu notieren, wenn sie entschieden ausgesprochen ist. Für den unteren Wind muß auch die Stärke nach Schätzung angegeben werden, wobei man sich einer Skala von 1 (ein sanfter Windhauch) bis 10 (Orkan) bedient. — Auf See wird eine zwölftheilige Skala angewandt. Der Seemann ist an die Schätzung nach derselben, da sich nach ihr die Segelführung richtet, sehr gewöhnt, und der Reisende tut gut, dessen Ziffern, wie sie in den Schiffsjournalen niedergelegt werden, anzunehmen. Große Übung ist zu eigener ziffernmäßiger Schätzung erforderlich.

Mit den Windgesetzen muß der Reisende genau vertraut sein, um die Bedeutung und den Zweck seiner Beobachtungen für allgemeinere Probleme zu kennen. Er wird dadurch angeleitet werden, mittelst zweckentsprechender Erkundungen seine Beobachtungen zu ergänzen. Ist ihm der Wert der Kenntnis der oberen Luftströmungen klar geworden, so wird er mit Interesse nicht nur den Gang der hohen Cirruswolken, sondern auch die Richtung, in welcher der Rauch von hohen Vulkanen getrieben wird, verfolgen. Die Drehung des Windes, die damit verbundenen Änderungen in der Bewölkung und in der Witterung fesseln auf der Reise unausgesetzt die Aufmerksamkeit. Wo dieselbe Reihe von Phänomenen sich in regelmäßiger Folge mehrfach wiederholt, sollte man bestrebt sein, die dynamischen Vorgänge, welche ihr zu Grunde liegen, zu erkennen und alles darauf bezügliche Material zu sammeln.

Wie ausgedehnte Kontinentalgebiete großenteils ihr besonderes System von Luftströmungen haben, so ist oft eine Region von geringem Areal ein Herd von Abweichungen. Es bildet sich in einer solchen Region und um sie herum ein besonderes Schema von meist periodischen Winden aus, welches nur dann geschwächt oder ganz zurückgedrängt wird, wenn die Winde des allgemeineren Systems mit größerer Stärke wehen. Dies ist der Fall bei isolierten Herden abnormer Erhitzung oder Erkältung, ferner bei einzeln aufsteigenden hohen Bergen, insbesondere Vulkanen. Es gehören hierher auch die Land- und See-Winde an den Küsten, auf die wir später zurückkommen (§ 148); ferner die Berg- und Talwinde in Gebirgen. Die letzteren wirken bei Sonnenschein aufsaugend auf ihre Umgebung, wie eine Barometerdepression; die Luft strömt in den Tälern hinauf und in der Niederung horizontal nach dem Gebirge zu. Umgekehrt ist ihre Bewegung in der Nacht. In besonderen Fällen kann auch am Tage die Luft abwärts wehen; dies ist der Fall, wenn die Berggehänge kälter sind als die umgebende Luft. [*1]

[*1]: Bei Reisen in solchen Gebirgen, welche, wie die Alpen oder Karpaten, häufigem Witterungswechsel unterworfen sind, bietet sich dem Reisenden in den Erscheinungen von Berg- und Thalwind ein selten trügendes Wetterzeichen. Sowie am Tage die Luft in den Tälern abwärts, oder bei Nacht aufwärts strömt, ist ein Wetterwechsel zu erwarten.

Andere Stellen, an denen ein abnormes Eingreifen in eine allgemeinere Luftzirkulation stattfindet, zeichnen sich dadurch aus, daß das Aufsteigen der Luft während des Tages Wolkenbildung, Gewitter und Regen veranlaßt, wie dies in manchen tropischen Gegenden täglich zu beobachten ist, während die herabsinkende Luft trocken ist und sich erst am Talgrund neu mit Feuchtigkeit beladet. Derartige Erscheinungen sollten sorgfältig beobachtet und auf ihre Ursachen geprüft werden.

Eine interessante Klasse von abnormen Luftströmungen, welchen der Reisende zuweilen begegnen kann, sind die Sturzwinde. Sie sind Luftcascaden, von einem höheren nach einem tieferen Niveau gerichtet, und wie eine Wasserflut nach diesem herabstürzend. Als ihre Ursache hat man eine hohe Differenz in der Stärke des Luftdrucks an dem Ort, von dem der Wind kommt, und der

Stelle, nach der er strömt, und in den mit? solcher Differenz allgemeiner verbundenen Luftbewegungen erkannt. Die Heftigkeit des Sturzes scheint mit der scharfen Sonderung von Strömungsrinnen (wie die Quertäler der Gebirge sie bieten) und der Steilheit des Gefälles zuzunehmen. Die physische Beschaffenheit der Sturzwinde aber ist sehr verschieden. Im Allgemeinen kann man kalte und heiße unterscheiden. Kalte Sturzwinde ereignen sich dort, wo kalte Luft bei hohem barometrischem Druck auf dem Boden eines Sammelbeckens lagert, und eine Scharte in der Umrandung einen Ausweg nach einem tieferen und erheblich wärmeren Boden gewährt, in welchem, zu Folge eines in der Nähe befindlichen barometrischen Minimums, eine jenes Reservoir gleichsam anzapfende Bewegungsrichtung herrscht. Etwas weniger kalt, aber nicht minder heftig ist der Sturzwind, wenn die Luft nicht durch eine Scharte, sondern über einen niederen Paß entweicht.

Wie Hann gefunden hat, kühlt sich die Luft beim Ansteigen auf geneigter Bodenfläche um ungefähr 0.40° bis 0.50° C auf 100 m Erhebung ab, dagegen erwärmt sie sich um beinahe 1° C auf dieselbe Höhendifferenz wenn sie herabsteigt. Sie kann daher noch relativ kalt an dem unteren Ort ankommen. Die Bora und der Mistral des Mittelmeeres sind die bekanntesten der hierher gehörigen Winde. Doch sind sie auch sonst vielfach vorhanden. Ein seit den Reisewerken des 13. Jahrhunderts häufig erwähnter Fall, der noch näherer Untersuchung bedarf, ist an der Südseite des Alakul-Sees, wo die Ebene sich stark erhitzt. Einen ähnlichen Fall kennt man bei den Vulkanen von Ecuador während der regenfreien Monate. In der Ursache wohl nur wenig davon verschieden sind die eiskalten Winde, welche cascadenartig von den Pässen des Stanowoi-Gebirges in den gegen das Ochotzkische Meer geöffneten Schluchten herabstürzen. Analoge Erscheinungen werden wahrscheinlich in den gegen die erhitzten Ebenen Zentral-Asiens geöffneten Gebirgsschluchten nicht selten zu finden sein.

Hat die Luft ein hohes Gebirge zu übersteigen, so ist der Unterschied der Abkühlung beim Ansteigen und der Erwärmung beim Absteigen so groß, daß sie außerordentlich heiß und relativ sehr trocken werden kann, besonders wenn sie nicht aus einem kalten Sammelgebiet, sondern aus einer wärmeren Gegend jenseits des Gebirges kommt und, indem sie beim Übersteigen desselben starken Regen verursacht, auch noch die dadurch frei werdende Wärme aufnimmt. Hierher gehören die Föhnwinde oder heißen und trockenen Sturzwinde, mit deren Wesen sich der Reisende gut bekannt machen sollte [*1]. Denn sie erweisen sich als eine sehr verbreitete und wichtige klimatische Erscheinung. Selbst in den Tropen gibt es analoge Winde, die man jedoch noch nicht in die Föhnwinde einzuschließen pflegt.

[*1]: Eine klare Darstellung findet sich in Hann's Klimatologie.

Eingehender Untersuchung bedürfen noch örtliche Winde einer anderen Klasse, nämlich die furchtbar trockenen und heißen, mit Staub beladenen Winde, welche man in Ägypten als Khamsin oder Samum, im südlichen Mittelmeer als Scirocco, bezeichnet, und die man von Madeira bis Mesopotamien kennt. Ihr Ursprung wird aus den Wüsten von Nord-Afrika und Arabien hergeleitet; doch läßt sich ein Grund für das Herausstürzen der Luft aus diesen hoch erhitzten Gebieten nicht erkennen; und es bleibt die Frage offen, ob er nicht ein mit Vehemenz aus der Höhe herabstürzender Wind ist. Die Fortführung der Untersuchungen über die Herstammung des meist roten Staubes, welchen dieser Wind ablagert und insbesondere der darin erhaltenen Organismen, dürfte darüber Aufschluß zu geben im Stande sein (s. § 193). Auf Madeira ist der dem Scirocco entsprechende Wind als Leste bekannt. Er kommt aus östlichen Richtungen und führt roten Staub, welcher der Sahara nicht entstammen kann. Obgleich ein Meer von 600 km Breite die Insel von Afrika trennt, ist der Wind äußerst trocken (bis 20 % relat. Feuchtigkeit). Er

kann auch aus diesem Grund nicht ein von der Wüste direkt herüberwehender Wind sein, sondern dürfte aus der Höhe kommen und den heißen Sturzwinden entsprechen.

Als einer anderen örtlichen Erscheinung sei der Ablenkung großer, insbesondere periodischer Windströmungen durch das Relief der Oberfläche, durch Gebirge, Talebenen und langgezogene Meerbusen, gedacht. Dies läßt sich zwar nur aus längeren Beobachtungsreihen sicher erkennen; aber Derjenige, welcher sich überhaupt der Beobachtung der Luftströmungen mit Interesse hingibt, wird sich stets bemühen, soviel Material als möglich zur Vervollständigung und Vergleichen herbeizuziehen. Insbesondere sollte die Aufmerksamkeit darauf gerichtet sein, in wie weit sich die einzelnen Erscheinungen auf cyclonale Bewegungen zurückführen lassen und diese z. B. bei dem Eintritt der Regenzeit in den Tropen eine Rolle spielen.

5. Anzeichen einer Änderung des Klimas.

[§28] Dem wissenschaftlichen Erforscher der Bodenplastik sind, wie wir andeuteten, die meteorologischen Beobachtungen nicht Selbstzweck, sondern nur Mittel zu dem Zweck, die Bodenformen und den Bodencharakter ursächlich zu verstehen und den wichtigsten bei der letzten Ausgestaltung tätig gewesenem örtlichen Faktor kennen zu lernen. Selten reichen die heutigen klimatischen Zustände vollständig zur Erklärung hin. Fast überall zeigt es sich deutlich, daß früher andere Bedingungen geherrscht haben. Hier ist die Wassermasse, welche ein Fluß gegenwärtig führt, gänzlich unzulänglich für den Absatz der mächtigen Kies- und Schotter-Ablagerungen, die er einst in seinem Bett zusammengehäuft hat; dort finden sich entwickelte Stromsysteme, wo äolische Sedimente besonderer Art auf frühere Abflußlosigkeit hindeuten. An einer anderen Stelle besteht der Boden, dessen Oberfläche jetzt mit Kornfeldern bedeckt ist, aus Gletscherschutt. Ein See, der sich jetzt entleert, ist früher abgeschlossen gewesen; ein anderer hat ehemals Abfluß gehabt und ihn später verloren. Es gehört zu den anziehendsten Aufgaben der physischen Geographie, diese wechselnden Zustände, welche in kurz vergangenen Zeiten der Erdgeschichte stattgefunden haben, für jeden einzelnen Erdraum zu studieren. Keine andere baut sich auf dem Weg der Argumentation auf einem so breiten Fundament von Beobachtungen auf. Neben den äußeren Formen und dem Boden Charakter ist die Verbreitung der Pflanzen und Tiere heranzuziehen; auch historische Urkunden geben oft wichtige Belege. Je eingehender in dieser Beziehung eine Gegend untersucht wird, desto mehr erkennt man in ihr eine Reihe von Phasen, welche durch verschiedene klimatische Zustände ausgezeichnet waren; desto klarer wird es, daß die Gesamtheit der Erscheinungen, welche den Charakter eines Erdraums bestimmen, sich nur aus der Entwicklung in der Zeit erklären und verstehen läßt.

An dieser Stelle mag es genügen, dahin gerichtete Untersuchungen dem Reisenden anzuempfehlen. Beinahe in jedem der nachfolgenden Abschnitte wird sich Gelegenheit bieten, auf die Methoden hinzuweisen, wie jene in jedem einzelnen Fall anzustellen sind.

B. Beobachtungen über biologische Faktoren.

[§29] Die biologische Geographie, d. h. die Geographie der Pflanzen und Tiere, läßt sich von zweierlei Gesichtspunkten behandeln. Einerseits kann die heutige Verbreitung dieser

Organismen ihren Gegenstand bilden; andererseits können die Kausalbeziehungen der Existenz und Verbreitung derselben zu einer Reihe dynamischer und genetischer Faktoren den obersten Gesichtspunkt der Betrachtung bilden. Die Verkettung ist eine wechselseitige, besonders bei den Pflanzen, indem diese ebenso von Bodenart, Bodenformen, Klima und vormaligen Änderungen und Entwicklungen der physischen Verhältnisse abhängen, als sie, umgekehrt, Einfluß auf dieselben Faktoren ausüben.

Derjenige Reisende, dessen Hauptaufgabe in Studien auf den Gebieten der Zoologie oder Botanik liegt, sollte stets beiderlei Gesichtspunkte und Methoden der Forschung im Auge behalten. Er wird dann derjenigen Beobachtungen nicht entbehren können, zu welchen dieses Buch Anleitung zu geben bestimmt ist. Dagegen darf Der, welchem die Erdoberfläche an sich Zweck naturwissenschaftlicher Erforschung ist, nicht vernachlässigen, die biologischen Faktoren bis zu einem gewissen Grad in den Kreis seiner Untersuchungen zu ziehen. Denn nur aus der Gesamtheit der Erscheinungen in ihrem ursächlichen Zusammenhang kann das Einzelne richtig beurteilt werden.

In vorzüglicher Weise hat der unerreichte Meister in der Pflanzengeographie, A. Grisebach, eine Anleitung gegeben für die mit einem bescheidenen Maße botanischer Kenntnis auszuführenden Beobachtungen über die Vegetationsformen, welche vermöge der verschiedenartigen Gestaltung der Vegetationsorgane die Physiognomie der Landschaft bestimmen, über die Vegetationsformationen, welche aus der Art der Anordnung der Vegetationsformen hervorgehen, über die Vegetationsregionen, welche nach der Vertikale angeordnet sind, und über die räumlichen Grenzlinien der einzelnen Pflanzenformen. [*1] Dies sind Beobachtungsgegenstände, welche sich dem Auge des Reisenden fortdauernd darbieten. Was er lernen muß, ist einerseits, sich nicht durch das Übermaß örtlicher Einzelheiten beirren zu lassen, sondern den Blick für die Erfassung des Allgemeinen zu schärfen; andererseits, die richtigen Ausdrücke für die Darstellung des Beobachteten anzuwenden. Der genannte Aufsatz gibt eine Zusammenstellung solcher Ausdrücke, welche für Den, der nicht Botaniker von Fach ist, als erschöpfend bezeichnet werden kann. Wie sich mittelst derselben, als Farbentönen, ein künstlerisches, die Natur wiedergebendes Bild herstellen läßt, kann man aus desselben Meisters klassischem Werk: „Die Vegetation der Erde“ (2 Bände, Leipzig 1872) [*2] kennen lernen. Wo Vorbild und Anleitung zugleich in so ausgezeichnete Weise vorhanden sind, kann es hier nicht Aufgabe sein, denselben Gegenstand eingehend zu behandeln. Nur einige kurze Bemerkungen mögen im Folgenden Platz finden.

[*1]: Neumayer's „Anleitung“ (1. Auflage) S. 333—358. — Für das Sammeln von Pflanzen und Tieren, und zum Theil auch für Beobachtungen über dieselben finden sich vortreffliche Anweisungen in den Abhandlungen von G. Schweinfurth, A. Günther, Ed. v. Martens, K. Möbius, A. Gerstäcker, G. Hartlaub und R. Hartmann (ebenda S. 374—504).

[*2]: Daneben ist das auf dem Boden neuerer Anschauungen stehende Werk von A. Engler: Versuch einer Entwicklungsgeschichte der Pflanzenwelt, 2 Bände, Leipzig 1879 und 1882, angelegentlichst zum Studium zu empfehlen. Aus dem Werk von A. K. Wallace, die geographische Verbreitung der Tiere (deutsch von A. B. Meyer, Dresden 1876) lassen sich viele Gesichtspunkte der Forschung über die geographischen Momente in der organischen Welt überhaupt entnehmen.

Es gilt zuerst, das Tatsächliche festzusetzen: die charakteristischen Vegetationsformen und die Art ihrer Gruppierung zu Vegetationsformationen; dann die Verbreitung Beider nach der Horizontale und der Vertikale, nach dem Neigungswinkel und der Himmelsrichtung der Gehänge,

sowie nach Boden und Gestein, Quellenreichtum oder Trockenheit des Bodens und anderen Gesichtspunkten. Zu dem Tatsächlichen gehört auch das Sammeln der Pflanzen zum Zweck der Bestimmung der Arten. Weitere Gesichtspunkte für die Ergründung der Wanderung der Pflanzen und der Ursachen ihrer heutigen geographischen Verbreitung lassen sich erst nach Feststellung der Arten und der Bedingungen und Grenzen ihres Vorkommens gewinnen.

Worauf hier die Aufmerksamkeit noch insbesondere gelenkt werden möge, sind Beobachtungen über die Wechselbeziehungen zwischen Pflanze, Klima und Boden.

Die Abhängigkeit der Pflanze von Klima und Boden ist § 30. Gegenstand der Untersuchung des Botanikers und hat große Bedeutung für die biologische Geographie. Die einschlägigen Beobachtungen sollen hier nicht erörtert werden. Wichtiger ist für unseren Zweck die Wirkung, welche die Pflanzenbekleidung auf das Klima ausübt. Es wurde ihrer zum Teil schon gedacht. Pflanzenleerer Boden, ein Grastepich und ein dichter Laubwald beeinflussen es in sehr verschiedener Weise. Je dichter und mächtiger die Vegetation, desto geringer ist die Wirkung der Insolation auf den Boden, daher auch desto geringer die Verdunstung von diesem aus. Ebenso verhält es sich mit der Ausstrahlung; daher findet am Tage geringere Erhitzung, bei Nacht geringere Abkühlung statt. Kahler Boden stellt Extreme dar; grasbewachsener zeigt sie in gemilderter Form. Die Feuchtigkeit verschwindet schnell auf kahlen Flächen; sie wird in Wäldern zurückgehalten, kann sich in Bächen sammeln und in den Boden dringen, um in Quellen wieder zum Vorschein zu kommen. In den Kräutern, Sträuchern und Bäumen eines Waldes steigt die Feuchtigkeit durch vegetative Prozesse in die Höhe und verdunstet von den Blattflächen. Die Luft über weiten Waldflächen ist daher konstanter mit Feuchtigkeit beladen und wird im Aufsteigen zu häufigerem Regen Anlaß geben. Sie ist zugleich bis zu einiger Höhe, wie der Wald selbst in den tieferen Teilen, ein Hemmnis für die von außen kommenden Luftströmungen. Diese werden dadurch zum Ansteigen gezwungen, und darin liegt ein weiterer Grund für vermehrte Regenbildung.

Alle diese Wirkungen der Vegetation und des Fehlens der Pflanzenbedeckung auf das Klima üben wiederum Einfluß auf die Vegetation selbst, fördernd oder hemmend. Wo daher dichter Pflanzenwuchs besteht, wirkt er durch seine Existenz auf sich selbst begünstigend zurück, und umgekehrt. Hierüber lassen sich allerwärts Beobachtungen anstellen.

Die Einwirkung des Pflanzenwuchses auf den Boden macht sich in mehrfacher Beziehung geltend. Die erste ist rein mechanisch, indem sie ihn vor Zerstörung schützt. Selbst an stark geneigten Gehängen setzt die Waldvegetation dem rieselnden Wasser tausend Hindernisse entgegen und zwingt es in das gelockerte Erdreich einzudringen; nur ein Teil fließt in Kanälen hinab, wird aber durch die Wurzeln an einer kräftigen Erosion gehindert. In kahlen Landstrichen sind die Regen seltener aber heftiger; die Gewässer rinnen ungehindert hinab und können ihre volle erosive Kraft zur Geltung bringen. Überall, wo waldbedeckte Strecken an kahles Land grenzen, läßt sich dies beobachten, im Kleinen und Einzelnen, ebenso wie im Großen und Ganzen.

[§31] Einwirkung der Vegetation auf Felsboden. — Der Pflanzenwuchs wirkt chemisch und mechanisch auf die Auflockerung des festen Gesteins hin; um so mehr, je mehr er durch Feuchtigkeit und Wärme selbst begünstigt wird, und diese beiden Agentien die Arbeit der Pflanzenwurzeln unterstützen können. Die Schurfflechten setzen sich an kahle glatte Felswände an und machen deren Oberfläche rauh und rissig, den Wohnplatz für etwas größere und höhere Pflanzen bereitend. Diese dringen tiefer ein. Es folgen wieder höhere Pflanzen, die ihre holzigen Wurzeln in die Klüfte hinein treiben und das Gestein sprengen. Wir kommen hierauf in einem anderen Abschnitt (§ 42) zurück. Bemerkenswert ist auch bei diesen Vorgängen, daß die Vegetation, welche unter geeigneten klimatischen Bedingungen den für sie passenden zersetzten Felsboden

vorfindet, nicht nur die ihr zusagenden Zustände einer von Extremen fernbleibenden Bodentemperatur und der Ansammlung von Feuchtigkeit begünstigt, sondern auch auf die Bodenbildung fördernd zurückwirkt.

Von großem Interesse würde es sein, die Rolle der Vegetation bei der Bildung verschiedenartiger Zersetzungsprodukte, wie des Lehmes und des Laterites, kennen zu lernen.

[§31] Verwesungsboden. Die abgestorbene Pflanze und die abfallenden Blätter geben dem Boden Mehr zurück, als sie von ihm empfangen, nämlich die aus Bestandteilen der Luft gebildeten organischen Substanzen, zu denen noch die durch sie ernährten, jährlich absterbenden Tiere kommen. Diese Stoffe verwesen, indem sie vermittelt des der Luft entnommenen Sauerstoffes Gase (Kohlensäure, Ammoniak, zuweilen Salpetersäure) entwickeln; nur die festen Verwesungsstoffe oder Humusstoffe bleiben zurück. Sie werden dem Boden einverleibt und erhöhen seine für die Vegetation günstigen Eigenschaften, indem der Humus die Fähigkeit hat, Stickstoff aus der Atmosphäre zu absorbieren und aus ihm Ammoniak zu bilden, von dem er eine große Menge zu binden vermag. Der Humus zersetzt sich weiter; es bilden sich eine Reihe von Verwesungssäuren, welche zum Teil Salze bilden, die für die Pflanzenernährung wichtig sind. Doch wiederholt sich die Humusbildung fortdauernd. Für dieselbe sind genügender Luftzutritt, mäßige Feuchtigkeit und Wärme erforderlich. Ist der Luftzutritt gehemmt, wie unter Wasser, daher auch im Untergrund, so wird die Entwicklung der Kohlensäure gehindert; es bleiben kohlenstoffreiche Körper zurück. Dieser Prozeß ist die Vermoderung; er liegt der Bildung von Torf, Braunkohle und Steinkohle zu Grunde (s. § 207).

Der Humusbildung sollte stets Aufmerksamkeit geschenkt werden. In warmen Gegenden ist sie geringer als in kühlen, weil die Zersetzung schneller vorschreitet. In heißen trockenen Ländern bildet sich wenig Humus. Es ist nicht bekannt, welche Umstände es veranlassen, daß die russische Schwarzerde und der Regur (§ 217) in der Oberflächenschicht humusreich sind, während andere Steppen nur wenig davon enthalten. Es ist zu beachten, ob die verschiedene Verteilung des Regens nach Jahreszeiten zu Grunde liegt. In nordischen Gegenden, wo das Wasser wenig verdunstet, waltet die Neigung zur Vertorfung vor.

Die günstigen Wirkungen einer mäßigen Waldbedeckung auf das Klima in höheren gemäßigten Breiten hängen mit der Humusbildung an Ramm en; denn der Humus, der hier oft mehrere Fuß mächtig ist, hat eine hohe spezifische Wärme und große Kapazität für Wasseraufnahme. Sind jedoch dort die Wälder zu dicht und umfangreich, so befördern sie im Übermaße das Zurückhalten der Feuchtigkeit im Boden.

[§33] Bodenbildung unter dem Schutz der Vegetation. — Der Pflanzenwuchs kann in rein mechanischer Weise die Bildung des Bodens begünstigen. Abgesehen von dem Schutz, den er diesem vor den Angriffen durch Wasser und Wind gewährt, kann er die Anhäufung lockerer Erde direkt befördern und dadurch eine Wirkung von sehr großer Tragweite ausüben. Es geschieht dies überall, wo durch die transportierende Kraft von Wasser oder Luft feste Massen zwischen Pflanzen abgelagert und durch diese vor weiterer Fortführung bewahrt werden.

An Meeresküsten fällt den Mangrove-Gebüschern diese Aufgabe zu. Die von den horizontalen Ästen niedersteigenden Wurzeln bilden einen Wald von kleinen Stämmen in dem von der Ebbe trocken gelegten und von der Flut bedeckten Bereich. Das strömende Wasser wird gehemmt und läßt die schwebenden Teile sinken; der Boden erhöht sich bis über das Flutniveau. Die Mangrove-Pflanzen sterben ab. Inzwischen haben sie ihren Bereich seewärts erweitert. Wo Strömungen die in das Meer geführten Sedimente großer Flüsse der Küste entlang führen, wie z. B. die Guyana-Strömung diejenigen des Amazonas und anderer Flüsse entlang der Küste von Guyana,

befördert die Mangrove-Vegetation das Vorrücken der Küste durch das Festhalten und die Verfestigung der Sedimente in nicht geringem Grad (s. § 143, 7). Ähnliches läßt sich wahrscheinlich häufig beobachten.

Die ausgedehnten Deltas, oder die von Schlamminseln unterbrochenen seichten Ästuar großer Ströme sind oft in den Tropen mit waldigem Dschungel, in kälteren Gegenden mit Schilfwuchs bedeckt. Bei Überschwemmungen wird der Boden durch Absatz von Schlamm und Sand erhöht. Da nun in großen Deltas das Hinabsinken des Bodens eine häufige Erscheinung ist (s. § 87), so können die Absätze dieser Bewegung das Gleichgewicht halten, so daß die Deltavegetation immer in ähnlichen Verhältnissen bleibt.

Ein ähnliches Wachsen des Bodens mittelst Zuführung fester Massen durch Wasser findet allenthalben in Schilfsümpfen statt, besonders an den Ufern der Flachseen in Zentralgebieten, wo das Schilf große Strecken bedeckt, und dann in den Überschwemmungsgebieten der Flüsse überhaupt.

In allen diesen Fällen sollte der Charakter des Bodens, wo sich durch Brunnengrabungen oder sonstige natürliche und künstliche Einschnitte Gelegenheit dazu bietet, untersucht werden.

Bestand und Struktur desselben, sowie die Tiefe, bis zu welcher der durch Hilfe der Vegetation gewachsene Boden hinabreicht, sind von Interesse. Da die Vegetation sich immer auf der äußersten Oberfläche hält, und diese im Lauf der Zeit aufwärts gerückt ist, muß ebenso das Niveau der tiefsten Wurzeln aufwärts vorgeschritten sein. Der Boden muß daher in seiner ganzen Mächtigkeit von Wurzelkanälen durchzogen und beinahe ungeschichtet sein, mithin eine Lößähnliche Struktur besitzen. Es wird aber wegen der Verschiedenheit der transportierenden Kraft doch ein Unterschied von der des Löß bestehen; insbesondere werden immerhin Spuren von Schichtung vorhanden sein, und hin und wieder wird sich eine stärkere Anschwemmung an einer Zwischenschicht gröberer Sedimente erkennen lassen. Die Ablagerungen im Delta des Ganges bewahren die angegebene Struktur bis zur Tiefe von mehreren hundert Fuß. Es fehlt an Material zu umfassenden vergleichenden Betrachtungen.

Wenn nicht Wasser, sondern die bewegte Luft das zuführende Medium ist, bildet sich äolischer Boden, welcher unter günstigen Verhältnissen die Eigenschaften des Löß annimmt. Der Vorgang ist in § 196 ausführlicher behandelt. Lehrreich und praktisch wichtig würde der Einfluß sein, welchen die Vegetation auf Dünen ausgeübt hat. Sie nimmt ihnen zuerst ihre Beweglichkeit und veranlaßt die Ablagerung einer Decke fruchtbaren Bodens.

[§34] Periodische Änderung der Vegetationsformationen. — Derselbe Erdraum trägt nicht beständig dieselbe Vegetation. Wir sehen hier ab von der Wanderung der Arten, die sich der unmittelbaren Beobachtung entzieht und erst durch vergleichende Studien erschlossen werden kann, und beschäftigen uns nur mit der Änderung des allgemeinen Typus der Vegetation, wovon als Beispiel angeführt werden mag, daß die Tundren der arktischen Gebiete von Europa und Asien weit jenseits der jetzigen Baumgrenze durch die Existenz vermoderter Wurzelstöcke von Bäumen ihre ehemalige Bewaldung bekunden. Es sind drei, in eigener, inniger Wechselwirkung stehende Faktoren, welche (abgesehen von Änderungen des Reliefs) eine vollkommene Änderung der Pflanzenbekleidung herbeiführen können: das Klima, der Boden und die menschliche Ansiedelung. Die ersten beiden können die Wirkung unabhängig von dem dritten Faktor, oder in ihrer Korrelation mit diesem vollziehen.

Der Nachweis solcher Änderungen wird sich am sichersten für die jüngsten Zeiten ausführen lassen, soweit historische Berichte oder Überlieferungen vorliegen, oder die Reste-

menschlicher Industrie die ehemalige Besiedelung jetzt unbewohnbarer Gegenden dartun. Daher sind alle darauf hinielenden Daten sorgfältig zu sammeln. Sie lassen sich ferner aus den Überresten gewinnen, welche von früherer Vegetation jetzt noch vorhanden sind. Wie die Baumreste in den Tundren, so wird ein Torfmoor in einer jetzt waldlosen, vielleicht in Steppe umgewandelten Gegend die frühere Bewaldung bekunden. Durch das Sammeln der Reste von Hölzern und Blättern, können einige Vertreter der verschwundenen Flora direkt wieder gewonnen werden. Tierreste können Aufschluß darüber geben, welche Lebensbedingungen (z. B. Wald oder Steppe) einst vorhanden gewesen sind.

Andere Indizien lassen sich aus der Beschaffenheit der nach einander abgelagerten Bodenarten gewinnen. Gletscherschutt wird auf ein kaltes Klima mit arktischer Vegetation hindeuten, große Schottermassen auf mächtig strömendes, von Regenreichtum oder schmelzendem Eis herstammendes Wasser, Lößboden auf ein Steppenklima (§ 215), Laterit auf ein feuchtes tropisches Klima mit Waldreichtum. In diesen Fragen, welche in § 211 weiter ausgeführt sind, wird exakte Beobachtung geringfügiger Umstände Gelegenheit zu weittragenden Schlußfolgerungen gewähren.

Diejenigen Anhaltspunkte, welche sich aus dem Studium der Spezies im Thier- und Pflanzenreich gewinnen lassen, und welche z. B. von Wallace („die geographische Verbreitung der Tiere“, und „Island Life“, London 1880) in geistvoller Weise verwertet worden sind, müssen dem Botaniker und Zoologen von Fach überlassen bleiben. Der Reisende kann für ihre Anwendung nur durch fleißiges Sammeln jetzt lebender Arten, sowie von Resten in jugendlichen Ablagerungen beitragen.

Es wird sich in späteren Abschnitten dieses Buches häufig Gelegenheit bieten, auf Gegenstände aus diesem anziehenden Bereich der Beobachtungen zurückzukommen, besonders was die Einwirkung des Menschen auf das Klima, die Vegetation und den Bodencharakter betrifft (s. u. a. § 220).

[§35] Beziehungen zwischen Tierwelt und Boden. — Wenn wir hier von der Tierwelt des Meeres absehen, so erscheint der Einfluß der Tiere auf größere Gestaltungen und Veränderungen des Bodens gering. Eine weitgreifende Bedeutung hat Darwin für die Regenwürmer nachgewiesen, durch deren Körper die erdigen Bestandteile der Kulturschicht feuchter Länder hindurchgehen und in einer für die Vegetation günstigen Weise umgestaltet werden. Das Studium seines Werkes über den Gegenstand ist zum Anhalt für weitere Beobachtungen in verschiedenen Ländern zu empfehlen. Welche Änderungen Boden und Vegetation erleiden, wenn die Regenwürmer vernichtet werden, sollte man dort beobachten können, wo die Grasflächen periodisch verbrannt werden, insbesondere wenn an ein solches Gebiet, vielleicht durch einen Fluß getrennt, ein anderes grenzt, auf welches diese Sitte nicht angewandt wird. Insektenfraß kann herrschende Vegetationstypen vernichten und damit die Bedingungen der Insolation, der Feuchtigkeit und der Bodenbildung ändern. Das Ausschließen der Wiederkäuer durch die Tsetse-Fliege in einem großen Teil von Afrika muß einen ähnlichen komplizierten Einfluß auf derartige Zustände zur Folge haben. Und so dürften sich noch manche Einzelfälle von Beziehungen finden lassen.



Zweite Abteilung.

Beobachtungen über äußerlich umgestaltende Vorgänge.

[§36] Zwei große Gruppen von Kräften wirken gegen einander und mit einander in der Gestaltung der Erdoberfläche. Die Kraftäußerungen der einen Gruppe werden durch Vorgänge im Erdinneren hervorgerufen. Sie bestehen teils in dem Emporquellen von feurig flüssigem und der Aufschüttung von festem, aus den Erdtiefen stammendem Material, teils in Verschiebungen innerhalb der Erdrinde, und sind darauf gerichtet, Ungleichheiten in den größeren Zügen der Bodenplastik hervorzurufen. Wir werden sie in der dritten Abteilung betrachten. Die Kräfte der zweiten Gruppe haben ihren Urgrund außerhalb der Erde und äußern sich in den direkten Wirkungen der Wärme und in der mechanischen Arbeit des bewegten Wassers und der bewegten Luft. Sie sind bestrebt, die Ungleichheiten in der Plastik zu nivellieren, die Erhöhungen abzutragen und die Vertiefungen auszufüllen. Auf dem Weg zu diesem Ziel aber vermehren sie in erster Linie die Unebenheiten, indem sie jenes durch das Einreißen von Rinnen vorbereiten. Daher schaffen sie, mit den Kräften der ersten Gruppe vereint, den Formenreichtum der Erdoberfläche. Niemals erreichen sie das Endziel der Nivellierung, indem jene ihr stetig oder periodisch entgegenarbeiten.

Abgesehen von der Bewegung, welche die kosmische Anziehung der Himmelskörper in der flüssigen Hülle des Planeten verursacht, haben die von außen wirkenden Kräfte ihren Urgrund in den Ätherschwingungen der Sonnenstrahlen, welche durch Umsetzung in Molekülschwingungen von verhältnismäßig großer Amplitude die Erwärmung des Erdbodens, des Wassers und der Atmosphäre hervorbringen. Durch die örtliche Ungleichheit dieses Effektes entstehen Luftströmungen, welche die Wärme nach anderen Regionen verbreiten, das Meer in Bewegung setzen und die von der Atmosphäre aufgenommenen Wasserdämpfe emporheben und forttragen, bis sie als Wasser oder Eis niedergeschlagen werden. Die gewaltigen dynamischen Wirkungen, welche die bewegte Luft, die Meeresströmungen, das fließende Wasser der Festländer und das langsam fortschreitende Gletschereis ausüben, gehen somit aus der Umsetzung der Kraft der Wärmestrahlen der Sonne und aus der Anziehung des Erdkörpers, d. h. der Schwere, hervor.

Mit dem Niederschlag der kondensierten Dämpfe beginnt der für die äußere Umgestaltung des Festen wichtige Teil im Kreislauf des Wassers. Letzteres tritt nun in verschiedene Funktionen ein. Ein Teil verdunstet. Ein anderer Teil dringt in den Boden und kann schon im Anfang seines Weges durch Gefrieren eine bedeutende mechanische Wirkung ausüben; die allgemeineren Funktionen dieses zweiten Teiles spalten sich in:

1) Zersetzungs Vorgänge, welche unter Mitwirkung anderer, aus der Atmosphäre, der Vegetation und dem Boden selbst entnommener Bestandteile geschehen; —

2) unterirdisches Fortströmen und wiedererscheinen in Gestalt von Quellen; auf dem Weg wird teils eine mechanische Arbeit der Erosion, teils eine chemische der Zersetzung und Auflösung vollbracht; —

3) unterirdisches Eindringen nach den Erdtiefen. Ein dritter Teil des niedergefallenen Wassers fließt auf der Erdoberfläche fort, sammelt sich in Strömen und übt hauptsächlich mechanische Wirkungen der Erosion, des Transportes von festem Material und der Ablagerung desselben aus.

Derjenige Teil des Wassers endlich, welcher in Gestalt von Schnee und Eis niederfällt, nimmt entweder nach geschehener Schmelzung sofort an den erwähnten Vorgängen teil, oder er hat, wenn die Temperatur dauernd zu niedrig für die Schmelzung ist, erst ein Zwischenstadium zu durchlaufen, indem er sich ansammelt, zu Eis verdichtet und in Gestalt von Gletschern nach wärmeren Abschmelzungsregionen oder nach dem Meer langsam hinabströmt.

Die verschiedenen Modifikationen der mechanischen Arbeit, in welche die von der Sonne empfangene Wärme umgesetzt wird, behandeln wir nicht, wie es in einem Lehrbuch geschehen würde, in systematischer Reihenfolge. Es erscheint zweckmäßiger, an die Beobachtungsobjekte anzuknüpfen, welche sich dem Reisenden einzeln darbieten können. Gestein und Erdboden, Quellen, fließende und stehende Gewässer, die Gletscher der Gebirge und der Polarregionen, die Meeresküste, das offene Meer, die vom Winde gefegten Kontinentalgebiete — dies sind die Schauplätze, auf welchen er die Natur bei der Arbeit in ihrer Werkstätte belauschen kann. Jeder, welcher seinen Blick übt, vermag von ihnen verwertbares Material heimzubringen.

[p. 91]



Viertes Kapitel.

Beobachtungen über Veränderungen an Fels und Erdboden.

[§37] Wenn auch die festen Gesteine das Wesentliche im Aufbau der Kontinente sind, so bieten sie sich doch nur ausnahmsweise unmittelbar der Beobachtung dar. In ihrem weit überwiegen- den Teil besteht die Erdoberfläche, stofflich betrachtet, aus lockerem Material, dem Erdboden, wenn er auch oft den Fels nur in einer äußerst dünnen Schicht bedeckt. In ihm wurzeln die Pflan- zen, auf ihm leben Tier und Mensch. Er bietet sich der Beobachtung unmittelbar dar und ist ein sehr wichtiges, gewöhnlich viel zu wenig berücksichtigtes Objekt derselben, weil er einen we- sentlichen Teil der Lebens- und Existenzbedingungen gibt.

Der lockere Erdboden ist aus festem Gestein entstanden. Wo uns dieses entgegentritt, ist es selten in frischem Zustand. Fast immer sehen wir es an der Oberfläche angewittert, oft bis in große Tiefen zersetzt. Wir werden es an dieser Stelle nicht für sich betrachten, sondern die Ver- änderungen, welche Fels und Erdboden erleiden, nach den Agentien erörtern, durch welche sie hervorgebracht werden. Die einzelnen Arten von Erdboden und Gestein sind im zwölften und dreizehnten Kapitel behandelt.

1. Unmittelbare Einwirkung der Sonnenbestrahlung.

[§38] Ein gleiches Maß von Insolation (von deren Messung in § 22 die Rede war), erwärmt ver- schiedene Gesteine und Erdarten in verschiedenem Grad. Untersuchungen darüber sind zu- nächst deshalb wichtig, weil die Erwärmung der Luft zum Teil davon abhängt, und der Einfluß auf den Charakter der Vegetation und auf die Dauer der Bedeckung durch Schnee bedeutend sein kann; dann aber auch wegen der mechanischen Wirkungen, welche die Erhitzung selbst auf die Gesteine ausübt.

Die Erwärmungsfähigkeit des Bodens ist abhängig

1) von der spezifischen Wärme der Bodenart, d. h. von dem Maße von Wärmezufuhr, dessen eine Gewichtseinheit der Bodenart bedarf, um um eine bestimmte Anzahl von Temperaturgra- den erwärmt zu werden;

2) von der Farbe;

3) von dem Verbrauch von Wärme durch Leistung von Arbeit im Boden;

4) von der Wärmeleitung. Im Allgemeinen steht in geradem Verhältnis zu ihr das Wärmeausstrahlungsvermögen; d. h., in demselben Grad als ein Boden die ihm dargebotene Wärme aufnimmt, strahlt er dieselbe zurück, wenn ihm die Wärmequelle entzogen wird.

Am auffallendsten ist der Einfluß der Farbe. Dunkle Gesteine und Erden erwärmen sich stärker als helle; Humus, dunkle vulkanische Tuffe und Basalt stärker als Sand, Granitgruß und Kalkstein. Die Früchte reifen auf ersteren schneller als auf letzteren. Die Messungen hierüber sind ebenso sparsam wie die Fälle der praktischen Anwendung. Der Reisende hat Gelegenheit, extreme Fälle zu beobachten und den Effekt zu prüfen. Die sommerliche Schneefreiheit der hochgelegenen Gebirgsflächen Armeniens wird der dunklen Farbe der Tuffe zugeschrieben, ebenso wie die schnelle Entwicklung der Vegetation nach Entfernung der Schneedecke. Im Winter verhindert diese die starke Abkühlung. Dagegen sind auf den Basaltplatten in Oregon die Kontraste der Erhitzung und Erkältung außerordentlich groß. Es wäre zu untersuchen, ob dunkle vulkanische Tuffe im Allgemeinen ein Hinaufrücken der Schneegrenze verursachen, sowie ein Hinaufsteigen von Pflanzen, welche auf heller gefärbtem Boden ihre obere Grenze in geringerer Meereshöhe erreichen.

Noch wichtiger ist der Einfluß der spezifischen Wärme. Dieselbe beträgt bei den Bodenarten im Allgemeinen 0,20 bis 0,25, wenn diejenige des Wassers = 1 gesetzt wird; d. h., um eine Gewichtseinheit trockenen Bodens von einer gegebenen Temperatur um eine bestimmte Zahl von Thermometergraden zu erwärmen, ist nur $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ derjenigen Wärme erforderlich, welche die Temperatur derselben Gewichtseinheit Wasser um denselben Betrag erhöhen würde. Nasser dunkler Boden erwärmt sich daher in der Sonne nicht so rasch, als trockener heller, obgleich er größere Wärmemengen absorbiert.

Es kommt dazu der Wärmeverbrauch durch Arbeitsleistung, wesentlich zur Verdunstung des Wassers; die hierzu erforderliche Wärme wird dem Boden entzogen; dies kann in solchem Maße geschehen, daß die Temperatur eines sehr wasserhaltigen Bodens um mehrere Grade niedriger wird, als die der umgebenden Luft.

Untersuchungen über diese Einflüsse lassen sich teils direkt durch Messung der Temperatur verschiedener unter gleichen Insolationsbedingungen stehender Bodenarten ausführen, teils dadurch daß man trockenen und feuchten Boden derselben Art auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann die Zeit beobachtet, welche der eine oder der andere braucht, um sich bis auf einen gewissen Temperaturgrad abzukühlen. Dies dürfte für die Erkenntnis mancher örtlicher klimatischer Eigentümlichkeiten wichtig sein. Während lockerer Wüstensand sich schnell erhitzt und abkühlt, werden benachbarte Berieselungsoasen oder feuchte Gründe sich ganz anders verhalten. Zu empfehlen ist die Untersuchung, ob starker Salzgehalt im Boden mit leichtem Schneefall Kältemischungen erzeugt.

Der in § 30 angedeutete Einfluß der Vegetationsbedeckung auf die Erwärmung wäre beispielsweise von Interesse bei den für Bodenbildung wichtigen Vegetationsformationen der Steppen, der Tundren, der Moore u. s. w. Es könnten die Messungen von Becquerel ausgedehnt werden, welcher bei einer von 0° bis -12° C. schwankenden Lufttemperatur in der Tiefe von 0,50 Meter die Temperatur des Bodens unter einer Rasendecke nicht unter 0° , unter kahlem Boden hingegen bis -5° C fand. Man hat zu diesem Zweck einige Thermometer mit Angabe von Maximum und Minimum an verschiedenartigen Stellen für einige Tage einzugraben.

[§39] Eine andere Wirkung der Insolation und Ausstrahlung besteht in der Ausdehnung und Zusammenziehung der Gesteine. Je geringer die Wärmekapazität der Bestandteile, also je schneller und stärker sie die Wärme der Sonnenstrahlen aufnehmen, desto mehr werden sie sich bei gleicher Bestrahlungsintensität ausdehnen. Da sie aber andererseits die Wärme am schnellsten durch Ausstrahlung verlieren, so ziehen sie sich auch um so rascher zusammen. Bei demselben Gestein wird die beiderseitige Wirkung durch dunklere Färbung und rauhe Oberfläche vermehrt. Durch oftmalige Wiederholung des Wechsels wird der Zusammenhalt der Teile gelockert; es bilden sich Risse und Sprünge, und das Gestein zerfällt. Man hat diese Erscheinung als Desquamation (Abschuppung) bezeichnet. Sie sollte in Hochgebirgsregionen, wo Insolation und Ausstrahlung sehr intensiv sind, und in den Kontinentalgebieten der gemäßigten Zone, insbesondere in Zentral-Asien und im Great Basin, am verbreitetsten vorkommen.

Beobachtungen hierüber liegen besonders aus Steinwüsten heißer Zonen vor. Fraas sah auf dem Kalkplateau östlich vom Nil durch die Wirkung der Sonne am Morgen von einem Feuerstein eine halbzöllige, kreisrunde Schale abspringen und hörte einen Ton dabei. Feuersteine mit glatt abgesprungenen Schalen sind dort vielfach vorhanden. Livingstone hörte am Nyassa-See in der Nacht das Zerspringen der am Tage erhitzten Steine. Wetzstein sah und hörte das Zerspringen der erhitzten Basalte bei der Abkühlung in früher Morgenstunde, östlich von Damaskus. Zittel schreibt dieser mechanischen Wirkung, welche in Folge der Insolation eintritt, die Bildung der als Hammada bekannten Form der Wüste zu. Es ist zu beobachten, ob diese Erscheinung mehr bei Nacht, oder nach erneutem Beginn der Insolation eintritt; bei welchen Gesteinen sie besonders bemerkbar ist; welcher Art bei einzelnen derselben die Sprungflächen sind; ob nicht bei einigen mehr eine feine Abschuppung, bei anderen ein schaliges Abspringen vorkommt; ob und in welchem Grad der Sand eine Verfeinerung durch denselben Vorgang erfährt und für > die Fortführung durchwind vorbereitet wird. Zusammengesetzte Felsarten, besonders solche, bei denen hellere und dunklere Bestandteile mit einander wechseln, sollten stärker gelockert werden, als homogene und gleichfarbige; dunkelgefärbte mehr als helle.

[§40] Hierher gehören auch Beobachtungen über die Art der Bildung einer harten, glänzenden Kruste, meist von schwärzlicher, brauner oder grauer Farbe, mit welcher man nackte Felsen auf der der Sonne ausgesetzten Seite in trockenen Ländern häufig überzogen findet. Es scheint, daß sie durch starke Zurückstrahlung der Wärme das Gestein vor weiterer Abschuppung schützt. Es wäre zu untersuchen, welche Gesteine zu dieser Rindenbildung neigen, und welche Unterschiede dabei in der Art der Erscheinung stattfinden; wie die Rinde zusammengesetzt ist und woher die dunkle Färbung rührt; ob die seltene Befeuchtung des durchglühten Gesteins und das sofortige Austrocknen hierbei ursächlich mitwirken; ferner, welche Rolle das Salz spielt; ob die Nähe des Meeres, oder in den Zentralgebieten der Kontinente der Gehalt des Staubes an verschiedenen Salzen von Einfluß ist; ob die Exposition der Felsen gegen die Sonne oder gegen die Winde verschiedener Richtungen eine Bedeutung für die Krustenbildung hat. In manchen Fällen dürfte eine Mitwirkung des Blitzschlages nicht ausgeschlossen sein; die Art derselben ist besonders zu untersuchen. — Beispiele der Krustenbildung sind in Mexico und Arizona häufig. In Ägypten sind Skulpturen aus der ältesten Zeit in Granit und Syenit scharf erhalten; dagegen verwittern Marmor und Nummulitenkalk in kurzer Zeit. Auch bei diesen bildet sich eine dunkle, härtere Rinde, während das Innere weich und mürbe ist. Fraas vermutet, daß das von dem Winde mitgeführte Salz eine wesentliche Rolle bei diesem Verwitterungsprozeß spielt.

2. Mechanische Wirkungen des im Erdboden und in Gesteinsklüften gefrierenden Wassers.

[§41] Dasjenige Wasser, welches unter hohen Breiten oder in Gebirgshöhen den Erdboden durch mehrere Monate des Jahres oder permanent in gefrorenem Zustand erfüllt, übt wahrscheinlich wenig oder gar keine mechanische Wirkung aus, sondern versetzt die betreffenden Bodenschichten in einen passiven Zustand. Anders ist es, wo ein wechselndes Tauen und Gefrieren eintritt. Wenn das Regenwasser in den Boden eindringt, so erfüllt es alle Räume zwischen den festen Bestandteilen. Ebenso sickert das beim Schmelzen des Schnees frei werdende Wasser in die Fugen des Gesteins und erfüllt auch die latenten Klüfte. Da sich nun 1 Raumteil Wasser von 0° beim Gefrieren zu 1.09 Raumteilen Eis ausdehnt, so treibt die molekulare Gewalt der Kristallisation die festen Massen auseinander. Je häufiger ein Auftauen und Wiedergefrieren stattfindet, desto mehr summiert sich die Wirkung, welche bei jedesmaligem Gefrieren durch Volumenvergrößerung und bei jedesmaligem Auftauen durch Zusammensinken hervorgebracht wird. Die größte Arbeit wird dort verrichtet, wo in der Nacht starke Ausstrahlung die Eisbildung befördert, während am Tage die Insolation stark genug ist, um das Eis zum Schmelzen zu bringen, und wo eine stetig erneute Zufuhr von Wasser stattfindet. Diese Umstände vereinigen sich am meisten in gewissen Zeiten des Jahres auf großen Bergeshöhen, vorausgesetzt, daß ein heiterer Himmel das Eintreten der Extreme befördert. Bei der Schneeschmelze insbesondere ist unterhalb der jedesmaligen Schneegrenze der Boden von Feuchtigkeit durchtränkt und wird durch die tägliche Wiederkehr des genannten doppelten Vorganges mehr und mehr gelockert; Bruchstücke solcher Gesteine, welche, wie die Schiefer und tonigen Sandsteine, das Wasser leicht aufnehmen, zerfallen in wachsendem Maße und werden in kleine Fragmente aufgelöst. Am augenfälligsten äußert sich die Wirkung in der Auflockerung festen, von sichtbaren Klüften nicht durchsetzten Gesteins. Es erscheinen Fugen, die sich zu Spalten erweitern. Scharfkantige Fragmente lösen sich los. Wo sie liegen bleiben oder durch Herabgleiten sich anhäufen, kann der Vorgang in größere Tiefe nicht fortschreiten, da dort die Temperaturextreme der täglichen Periode nicht hinreichend zur Geltung kommen. Daher ist die Wirkung am stärksten an kahlen, steil geneigten Felsgehängen. Glatte, senkrechte Wände sind hingegen dem Vorgang nicht günstig, weil sich an ihnen kein Wasser sammelt; gänzlich aufgehoben wird er durch eine Decke von Schnee oder Eis. Die allgemeine Zerstörung kann auch indirekt befördert werden, zumal dort, wo die tieferen Teile eines Steilgehanges in Folge ihres Gesteinscharakters und ihrer Wasserführung der Bildung des Spaltenfrostes mehr unterliegen als die höheren. Dann schreitet in den ersteren die Zerstörung fort, und die letzteren stürzen nach, so daß klippige Formen entstehen. Durch die mannigfaltige Art der Wirkung werden im Hochgebirge jene wilden Felsgräte, und scharfen Bergfirsten geschaffen, welche für die oberen Gletscherregionen der Alpen charakteristisch sind.

Dieses gewaltig zertrümmernde Agens ersetzt die Zerstörung durch Verwitterung dort, wo die chemische Zersetzung wegen der niedrigen Temperatur langsam fortschreitet, und wirkt oft schneller und großartiger als diese. Die losgelösten Trümmer gelangen in Gebirgen mit starkem Niederschlag entweder auf die Gletscher, welche sie auf ihren Rücken in Gestalt von Seitenmoränen und Mittelmoränen nach den tieferen Teilen der Täler tragen; oder sie häufen sich an und werden nach und nach von den strömenden Gewässern fortgeführt.

Der Vorgang ist im Allgemeinen bekannt, aber hinsichtlich seiner Wirkungsweise bei verschiedenen Gesteinen wenig untersucht; auch fehlen ziffermäßige Untersuchungen über das Maße der Zerstörung. Wenn man auch den Spaltenfrost als das stärkste Agens, welches die höchsten und schroffsten Alpengebirge in ihren obersten Teilen abträgt, zu betrachten gewohnt ist, so fehlt doch jeglicher Anhalt zur Schätzung des Betrages, um welchen die Erniedrigung in

einzelnen Gebirgsregionen stattfindet. Von Interesse wäre die Beobachtung in solchen Gegenden, wo wegen zu geringen Niederschlages keine Gletscher gebildet werden und Wildbäche fehlen. Dort sollte der Schutt sich so lange anhäufen, bis er die Felsmassen, von denen er stammt, in eine schützende Decke einhüllt und ein weiteres Fortschreiten des Vorganges nicht gestattet. Hier würden auch Untersuchungen über die Neigungswinkel von Schutthalden je nach dem Gestein, aus welchem sie bestehen, anzustellen sein.

Hierher gehören auch Untersuchungen über den Haarfrost, jene feinen kristallinen Eissäulen, welche sich besonders bei stark ausstrahlendem Boden unter der Oberflächenschicht bilden und diese emporheben. Nicht nur die Teilchen von feinem Grus, auch größere Gesteinsfragmente erhalten in kalten Nächten diese Unterlage. Schmilzt diese, so gelangen sie, falls der Boden geneigt ist, in ein etwas tieferes Niveau, und so werden sie weiter und weiter den Abhang hinab getragen, während von oben her neue Oberflächenteile die gleiche Wanderung antreten. In solchen Gegenden, wo, wie in Tibet, die Regengüsse meist nicht stark genug sind um den Schutt fortzuräumen, muß dieses Agens eine Bedeutung für die Umlagerung und die Oberflächengestaltung der Schutthalten haben. Anderwärts wird seine Wichtigkeit in der Auflockerung des Bodens und seiner Aufbereitung für die Bedürfnisse der Vegetation bestehen.

3. Verwitterung.

[§42] Auch wo Felsgestein ohne fremdartige Bodenbedeckung ansteht, zeigt es selten seine natürliche Beschaffenheit an der Oberfläche. Ist durch einen Steinbruch, den Stollen eines Bergbaues oder den Tunnel einer Eisenbahn das Innere bloßgelegt, so erkennt man in der Regel eine äußere Lage von größerer oder geringerer Dicke, welche sich durch andere Färbung und Textur von dem frischen Gestein unterscheidet und offenbar durch Umänderung daraus entstanden ist. Ist das Gestein von Klüften durchsetzt, so ist es zu beiden Seiten einer jeden derselben in ähnlicher Weise wie an der Oberfläche verändert. Dasselbe Verhalten, wie es an großen Felsmassen wahrzunehmen ist, läßt sich an den meisten Geröllblöcken erkennen, welche durch längere Zeit im Boden oder an der Oberfläche gelegen haben, oder an den ehemals frisch gewesenen Bruchsteinen in altem Gemäuer.

Der Vorgang derjenigen inneren Umwandlung, deren verschiedene Erscheinungsformen man als „Verwitterung“ zusammenfaßt, ist also überall dort eingetreten, wo atmosphärische Agentien durch längere Zeit Zugang gehabt haben. Die wichtigste Rolle spielt das Wasser, teils unmittelbar durch seine Lösungsfähigkeit, teils mittelbar als Träger der die chemische Zersetzung am kräftigsten ausführenden Stoffe, unter denen Kohlensäure, verschiedene Humussäuren, Ammoniak und Salpeter saure Salze die hervorragendsten sind. Diese Substanzen werden teils der Atmosphäre entnommen, teils (und die Humussäuren ausschließlich) durch die vegetativen Vorgänge geliefert. Daher sind diese ein die Zersetzung in hohem Grade begünstigender Faktor. In manchen Fällen leiten sie allein dieselbe ein. Werden durch feuchte Luftströme die kaum sichtbaren Sporen von Schurfflechten an Felswände getrieben und von deren kleinsten Unebenheiten festgehalten (s. § 31), so klammern sich die mit Hilfe der Feuchtigkeit entwickelten kleinen Pflänzchen fest und arbeiten mittelst der von ihnen selbst erzeugten Kohlensäure an der Zersetzung des Gesteins. Nackte Felsflächen, besonders diejenigen von Kalkstein, sind in diesem ersten Stadium pflanzlicher Ansiedlung oft wie von feinem Staub bedeckt. Die Oberfläche wird rissig,

mürbe und rauh, dadurch zugänglicher für die Atmosphärlinien und für die Einwirkung wechselnder Temperaturen; sie erlangt die Fähigkeit, Gase zu absorbieren und Regenwasser zurückzuhalten. Anspruchsvollere Pflanzen vermögen sich anzusiedeln. Ihre vegetativen Funktionen sind mächtiger als die der ersten Flechtenkolonie; sie treiben ihre Wurzeln in etwas größere Tiefe, bringen die Kohlensäure in diese hinab und locken zugleich tierische Wesen an, deren Lebensfunktionen und schließlich Verwesung zur Steigerung des Zerstörungswerkes beitragen. Durch die wachsende Ausdehnung und Intensität des Vorganges siedelt sich allmählich ein Pflanzengarten an. Den Krautgewächsen folgen Sträucher und Bäume, welche mit ihren Wurzeln in die Fugen des Gesteins dringen und dessen Teile unwiderstehlich auseinander treiben, so daß nun die Zersetzungsprozesse in weit erhöhter Kraft zu größerer Tiefe hinab reichen können.

Die Umänderungen, welche die Gesteine hierdurch erleiden, /sind teils chemisch, teils mechanisch. Einige unter den chemischen Vorgängen sind sehr einfach. Aber in ihrer Gesamtheit bilden sie eine lange, außerordentlich verwickelte Reihe von Erscheinungen, indem die zuerst entstandenen Salze ihre Bestandteile mit den chemischen Verbindungen verschiedener Mineralien austauschen und dadurch selbst wieder zersetzend wirken; ähnlich kann die Rolle der auf zweiter Stufe entstandenen Salze sein, und so kann eine Kette verschiedener Assoziationen und Dissoziationen den Endzustand herbeiführen, daß nämlich die im Wasser löslichen Salze ausgelaugt werden, während diejenigen Substanzen Zurückbleiben, welche die doppelte Eigenschaft besitzen, am schwersten löslich zu sein und zugleich der Überführung in neue Verbindungen mit den sich ihnen anbietenden Säuren und Basen den größten Widerstand zu leisten.[*1]

[*1]: Die Darstellung der chemischen Vorgänge im Einzelnen würde hier, auch bei Beschränkung auf das Wesentlichste, zu weit führen. Auch können sie nur ausnahmsweise einen Gegenstand eingehender Untersuchung auf Reisen bilden. Am ausführlichsten sind sie von Gustav Bischoff, dem eigentlichen Begründer dieses Forschungszweiges, in seinem grundlegenden Werk: Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie, (2. Aufl., Bonn 1863—1866) behandelt worden. Für die Orientierung zur Beobachtung auf Reisen ist das treffliche, dem praktischen Gesichtspunkt Rechnung tragende kleine Werk Fels und Erdboden, Lehre von der Entstehung und Natur des Erdbodens, von Ferdinand Senft, München 1876, oder der kurz zusammenfassende Abschnitt in Credner's „Elemente der Geologie“ zu empfehlen.

Die mechanische Umwandlung besteht, so lange die schwer löslichen Zerstörungsprodukte an ihrer Stelle bleiben, im Allgemeinen in einer Auflockerung des Gefüges und in einer Verminderung des Volumens, welche sich bei vollkommen löslichen und zugleich von Beimengungen reinen Gesteinen zu einer gänzlichen Fortführung steigern kann. Nur ausnahmsweise hat der Fortgang der Verwitterung eine wiedereintretende Verfestigung, oder eine Zunahme des Volumens zur Folge.

Ein wesentlicher Faktor, der nicht nur für den Grad, sondern auch für den Gang der Zersetzung von hohem Einfluß ist, ist die Wärme. Sie wirkt teils direkt, indem die Wirkung der gleichen Agentien bei erhöhter Temperatur in außerordentlichem Maße zunimmt, teils indirekt, indem sie eine der Bedingungen für den größeren oder geringeren Reichtum des pflanzlichen Lebens ist. Außerdem wirken Wechsel der Temperatur um den Gefrierpunkt nach der in § 41 dargestellten Weise lockernd auf die Zersetzungsrinde. Die Verwitterung wird in der Tat in hohem Grade zu einem klimatischen Phänomen. In feuchten und heißen Regionen vollzieht sie sich leicht und schnell; in heißen und trockenen Gegenden scheint sie eine geringe Rolle zu spielen; und wo hohe Kältegrade herrschen, vermag sie selbst ein Überfluß an Wasser sie nur in unbedeutendem Maße hervorzubringen. Unter den stets mit Feuchtigkeit beladenen Moospolstern in Finnland

oder im nördlichsten Ural bietet der Granit unzersetzten Flächen. Es liegen nur Beobachtungen allgemeinsten Art über diesen Einfluß des Klimas vor.

Die Verwitterung des Gesteins gehört zu den wichtigsten Vorgängen in der Natur. Öde Flächen werden dadurch zu einem Wohnsitz für Pflanzen und Tiere umgewandelt, und es wird das Material vorbereitet, durch dessen Umlagerung vermittelt der Atmosphäre (s. § 196) und des Wassers (s. § 83—87) die Länderflächen der Nomaden und die blühendsten Stätten der Kultur geschaffen werden. Auf demselben Weg wurden zum Teil die Trümmersmassen gebildet, aus welchen die klastischen Gesteine aufgebaut sind, während wir einen Teil der in Lösung fortgeführten Substanzen in den durch Vermittlung der tierischen und pflanzlichen Tätigkeit im Meer entstandenen Kalksteinen wiederfinden. Das Gebiet der Zersetzungserscheinungen der Gesteine gehört zu denen, welche in großartigster Weise die kausalen Wechselbeziehungen der verschiedenen Erscheinungen in der Natur zur Anschauung bringen.

Die Beobachtungen, welche der Reisende über Verwitterungserscheinungen anzustellen vermag, lassen sich, abgesehen von den grundlegenden Untersuchungen über die chemische Natur der Vorgänge, die in befriedigender Weise nur im Laboratorium ausgeführt werden können, unter verschiedenen Gesichtspunkten zusammenfassen.

Wir betrachten:

- a) das Verhalten verschiedener Gesteine, wenn sie den gleichen Vorgängen ausgesetzt sind; —
- b) das Verhalten desselben Gesteins, wenn die Agentien wechseln; also wesentlich unter verschiedenen Breiten und unter verschiedenen klimatischen Bedingungen überhaupt; —
- c) das Verhalten der Gesteine unter Umständen, welche eine kumulierende Zersetzung ermöglichen.

a) Angreifbarkeit verschiedener Gesteine durch gleichartige äußere Einflüsse.

[§43] Die Gesteine werden durch Wasser, welches mit verschiedenen Substanzen beladen sein kann, zum Teil gelöst, zum Teil in ihrem chemischen Bestand verändert. Der Lösung unterliegen am leichtesten Steinsalz und Gips, nebst einigen minder wichtigen Gesteinsarten; dann zunächst die kohlen-sauren Salze, unter denen der kohlen-saure Kalk weitaus die größte und wichtigste Verbreitung hat und teils große Gesteinsmassen mit geringer fremdartiger Beimengung zusammensetzt, teils einen an Menge sehr schwankenden Bestandteil anderer Gesteine bildet.

Einer Veränderung durch Zersetzung unterliegen die an dem Bau der äußeren Erdrinde am meisten beteiligten Silicatgesteine. Der Grad, in welchem sie statthaben kann, hängt in erster Linie von dem Einfluß ab, welchen kohlen-säurehaltiges Wasser auf die Gesteine ausübt, und von dem Grad des Zutrittes, welchen sie demselben gestatten. In letzterer Beziehung zeigt es sich, daß grobkörnige Gesteine leichter verwittern als feinkörnige oder dichte von derselben Art, und daß Zerklüftung und Schieferung ebenfalls fördernd auf den Vorgang wirken. Dies ist unabhängig von der Zusammensetzung, welche ihrerseits die Art der Einwirkung des mit zersetzenden Bestandteilen beladenen Wassers wesentlich bestimmt. Im Allgemeinen werden alle Mineralien, welche kieselsaure Kalkerde enthalten, leichter zersetzt als diejenigen, welche kieselsaure Alkalien enthalten.

Einen beinahe vollkommenen Widerstand gegen die Lösung und Zersetzung leisten unter den massenhaft auftretenden Gesteinen und unter den verbreitetsten Mineralien vor allen anderen

Quarz und die wasserhaltige kieselsaure Tonerde, welche selbst der letzte Zersetzungsrückstand fast aller Silicate ist. Wir teilen demnach die Gesteine in unzersetzbare, lösliche, und die große Klasse der mehr oder weniger zersetzbaren.

[§44] 1) Unter den im geringsten Maße der Lösung unterworfenen, als unzersetzbar zu bezeichnenden Gesteinen und Gesteinsbestandteilen spielt der Quarz die erste Rolle. Gänge von Quarz in Granit bleiben als „Teufelsmauern“ stehen und durchziehen in scharfer Begrenzung ganze Landschaften. Mechanisch zerstörende Kräfte, wie Sonnenwirkung, Frostwirkung und die sprengende Kraft der Wurzeln der in atmosphärisch herzuwehtem Erdreich (§ 218) sich ansiedelnden Pflanzen, verwandeln sie zuweilen in ein Trümmerhaufwerk. Eine ähnliche Bolle wie die Quarzmassen spielen in viel großartigerer Weise reine Quarzite, welche als Gebirge in den schroffsten Formen stehen geblieben sind, wo rings herum alles Gestein längst bis auf ein tieferes Niveau der Zersetzung unterlegen ist. Unreine Quarzite hingegen zerfallen, ebenso wie Sandsteine, nicht selten an ihrer Oberfläche in ein Haufwerk von Sandkörnern, welche Wüstencharakter annehmen können. Mechanische Zerstörung durch Pflanzenwurzeln und Frost ist dabei allerdings häufig in vorwaltender Weise betheilt. Sand- und Quarzkiesel verdanken ihre Erhaltung nicht nur ihrer Unlöslichkeit, sondern auch ihrer Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Zerstörung. Die Körner des Quarzsandes können zwar noch abgeschliffen werden, erleiden auch vielleicht zuweilen eine weitere Zerspaltung, sind aber, abgesehen von einigen seltenen Mineralien, beinahe die beständigsten alter Gebilde (s. § 195).

So leicht Tone und viele Tongesteine der mechanischen Zerstörung unterliegen, gehören doch auch diese zu den unzersetzbaren Mineralmassen. Wasserhaltiges Tonerdesilikat, woraus sie wesentlich bestehen, ist gegen Kohlensäure und Sauerstoff unempfindlich und im Wasser nicht löslich. Bei reinen Tonschiefen und Schiefertönen, welche in der Hauptsache aus Ton mit Glimmerschüppchen und etwas Quarzstaub zusammengesetzt sind, ist diese Eigenschaft ein wichtiges Moment für die Bolle, welche sie an solchen Stellen, wo die Verwitterung das vorherrschend zerstörende Agens ist, in der Plastik spielen. Es ist derselben bei der Beobachtung der regionalen Zersetzung (§ 47) Rechnung zu tragen. In der Regel enthalten die genannten Gesteine jedoch noch andere Gemengteile, wie Eisenkies und ein wenig Kalk, wodurch sie dann einer immerhin nur geringen Umwandlung unterliegen. Die Unveränderlichkeit der nicht zu festen Gesteinen erhärteten Tone ist ebenfalls ein bedeutsames, für manche Landschaften (z. B. diejenigen des Hochflächen-Laterites § 206) verhängnisvolles, im allgemeinen aber außerordentlich nutzbringendes Moment, indem schon eine geringe Ansammlung derselben zu einem chemisch beinahe unwandelbaren Träger der Vegetation wird (s. § 219).

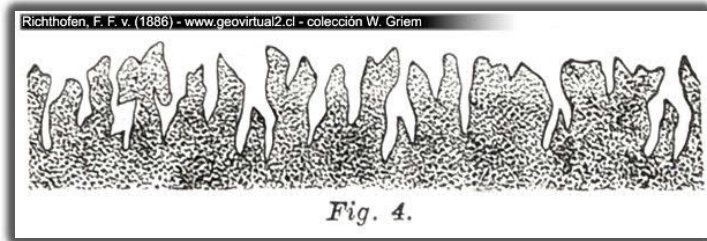
Zu den am wenigsten veränderlichen gesteinsbildenden Stoffen ist endlich das Eisenoxyd, wesentlich in seiner kristallinen Form, dem Eisenglanz, zu rechnen. Dasselbe hat als Färbemittel des Laterites der Tropen, vieler Sandsteine und Schiefer, eine wichtige Funktion.

[§45] 2) Unter den löslichen Gesteinen steht der Kalkstein weitaus an Bedeutung voran. Reiner Kalkstein hat keine Verwitterungsrinde. Aber indem kohlenensäurehaltiges Wasser den kohlen-sauren Kalk löst, werden große Anhäufungen desselben vollkommen hinweggeführt, wobei die Wirkung teils von der Oberfläche gegen die Tiefe fortschreitet, teils von den in Kalksteinen häufigen Klüften aus geschieht. Indessen ist das Gestein niemals vollkommen rein, sondern enthält tonige Bestandteile, fast immer mit einer Beimengung von oxydiertem Eisen. Diese bleiben bei der Auflösung als Rückstand übrig. Wo das Wasser abfließt, werden sie von ihm leicht entfernt. Wo sie nicht entweichen können, werden sie angehäuft und bilden einen eisenhaltigen Ton, dessen sporadische Ansammlungen für den Oberflächencharakter der Kalksteinländer zu einer typischen Erscheinung wird. Die schroffen Formen der Kalksteinfelsen, die Kahlheit der Flächen an

solchen Stellen wo der Wald vernichtet ist, die bleichen, vollkommen nackten Wände, ihr Wechsel mit anderen vertieften Stellen, wo auf dem tonigen Boden eine um so üppigere Vegetation gedeiht — Alles dies sind Folgen der Löslichkeit des Kalksteins und der Ausscheidung seiner nicht löslichen Verunreinigungen. Beobachtungen hierüber lassen sich in jedem Kalksteingebirge in großer Mannigfaltigkeit ausführen. Besonders sollten häufige Berechnungen über den Betrag der stattgehabten Wegführung von Material angestellt werden.

Zu den bekannteren Formen, welche die Oberfläche des Kalksteins durch die Auflösung annimmt, gehören die Karrenfelder oder Schratten, wie sie nach ihrer Bezeichnung bei den Alpenbewohnern genannt worden sind. Sie entstehen dort, wo der Schnee lange liegen bleibt und allmählich taut, besonders an sanften Gehängen in der Nähe der Schneelinie und auf Gipfelflächen; in den Alpen meist in Höhen von 1900 bis 2600 Meter. Das abfließende Wasser gräbt sich durch Lösung des Gesteins Rinnen, die sich vertiefen und am Grund erweitern. Zwischen ihnen bleiben Riffe stehen, die immer schärfer und schmaler werden und die in Fig. 4 im Profildurchschnitt dargestellte Form annehmen. Die Rinnen und Löcher sind meist 1—2 m, doch auch 4—

10 m tief. Das Wasser fließt von ihnen aus durch Klüfte ab. Es sollte untersucht werden, ob die Formen der Karren auf verschiedener Lösungsfähigkeit einzelner Teile derselben Gesteinsschicht beruhen. Da viele Kalksteine aus einem Wechsel von größeren



Stöcken kalkabsondernder Tiere und Pflanzen und von Detritusansammlungen (s. § 185) gebildet worden sind, so ist ein Mangel an Homogenität, auch wo er äußerlich nicht erkannt werden kann, wahrscheinlich. — Ähnliche Formen, wie sie in Karrenfeldern ausgebildet sind, zeigen sich auf Abrasionsflächen (§ 161), welche durch Kalkstein geschnitten sind. Auch hier gräbt sich das abfließende Wasser der Brandungswelle scharf geschnittene Bahnen, die aber geringere Tiefe haben.

Fließt das Wasser durch die Klüfte des Kalksteins ab, so erweitert es diese durch Lösung an gewissen Stellen. Dies ist einer der Faktoren der häufigen Entstehung von Höhlen im Kalkstein und der mit diesen gemeinsam die Karstlandschaft charakterisierenden Dolinen.

Die weggeführte Masse des Kalksteins läßt sich, wenn auch nur ungenau, aus der Masse des Residuums, bei Kenntnis des Prozentgehaltes des Kalksteins an unlöslichen Substanzen, berechnen. In der Bleiregion von Wisconsin fand Whitney eine 30 Fuß mächtige Ablagerung ungeschichteter roter Tone mit Hornstein und Bleiglanz, welche sich als der Rückstand mehrerer hundert Fuß Kalkstein ergab. In den Ozark-Mountains von Missouri fand Pumpelly eine 20 bis 120 Fuß mächtige Masse unlöslicher Residualstoffe. Da der Kalkstein 2 bis 9 Prozent derselben enthält, so müssen 400 bis 2400 Fuß Kalkstein hinweggeführt sein, um diese Masse zurückzulassen. Derartige Schlußfolgerungen und Berechnungen sind zwar dem Geübteren zu überlassen; aber in vielen Gegenden werden oberflächliche Schätzungen genügen, um Gesichtspunkte von Interesse zu ergeben und manches rätselhafte Phänomen der Oberflächengestaltung, darunter vielleicht die Existenz mancher Seebecken, zu erklären.

Raphael Pumpelly, 1837 – 1923
amerikanischer Geologe, nach
ihm wurde das Mineral Pumpellyit
benannt.

Weit leichter löslich als Kalkstein, aber wegen ihrer geringeren Verbreitung viel weniger wichtig in dieser Beziehung sind Gips und vor Allem Steinsalz. Die soliden Massen des letzteren sind von wasserundurchlassendem Ton umhüllt. Wo aber durch Gebirgsstörungen diese Hülle zerrissen

und dem Wasser Zugang in solcher Weise gegeben wird, daß es hindurchfließt, muß die Wegführung schnell vor sich gehen und ein Einbrechen der darüber befindlichen Massen veranlassen. Manche Kesselbildungen in Faltungsgebirgen (z. B. in den Salzburger Alpen) dürften darauf zurückzuführen sein. Mit größerer Bestimmtheit lassen sich in vielen Fällen ähnliche Bildungen durch die Auslaugung der viel verbreiteter auftretenden Gipsmassen erklären.

Unter günstigen Umständen kann man aus der Bestimmung des Gehaltes der einem Gebirge oder Gebirgstheil entströmenden Gewässer an kohlensaurem und schwefelsaurem Kalk berechnen, wie viel von beiden Substanzen jährlich entführt wird.

[§46] 3) Die große Mehrzahl der die Erdoberfläche zusammensetzenden Gesteine unterliegt, wenn sie der Einwirkung der Atmosphären, insbesondere des kohlensäurehaltigen Wassers, ausgesetzt sind, einer chemischen Zersetzung. Vor Allem sind es die in den Mineralbestand derselben in großer Menge eintretenden Doppelsilicate, welche zerstört werden, und von diesen sind weitaus die wichtigsten die Feldspat und Glimmer-Arten. Am deutlichsten sind die Vorgänge bei den gemengten kristallinen Silicatgesteinen. Jedes derselben enthält unter seinen Bestandteilen wenigstens zweierlei Silikate, welche der Verwitterung nicht in gleichem Maße unterliegen. Es wird genügen, hier auf die morphologische Bedeutung der Verwitterung in einigen häufig anzutreffenden Fällen hinzuweisen. Der Reisende wird daraus einen Anhalt für andere Fälle entnehmen können.

Eruptiver Granit zeichnet sich unter allen Gesteinen durch seine Verwitterungsformen aus. In der Regel ist er in großen flach konvexen Schalen abgesondert, und indem noch zwei zu der Schalenfläche senkrechte und zu einander rechtwinklige Kluftrichtungen hinzukommen, entsteht eine parallelipedische Absonderung, wie sie in großen Granit-Steinbrüchen deutlich zu erkennen ist. Das Wasser dringt in diese Klüfte ein, verwendet in den oberen Teufen seine Kohlensäure zur Zersetzung der feldspatigen und der glimmerigen Gemengteile, und hat daher in größeren Tiefen keine Kohlensäure übrig, um auch dort den Prozeß einzuleiten. Indem nun jeder parallelipedische Block von allen Seiten in Angriff genommen wird, bilden sich von außen nach innen konzentrische Verwitterungsrinden, bei denen die Intensität der Verwitterung von außen nach innen stufenweise abnimmt, bis zu einem unverwitterten Kern, welcher häufig noch die Mitte jedes Blockes einnimmt. Da die Blöcke von verschiedener Größe sind, ist bei manchem die Zersetzung bis zu dem innersten Kern vorgeschritten, während bei anderen, benachbarten, noch ein großer unveränderter Teil vorhanden ist. Granite, welche einen Plagioklas als Hauptgemengteil enthalten, verwittern schneller als solche, bei denen Orthoklas vorherrscht; diejenigen mit schwarzem Glimmer unterliegen ihm leichter als diejenigen mit weißem Glimmer; auch ist ihr das gröbere Korn des Gefüges günstig; feinkörnige Granite verwittern langsamer. Wo die Lagerstätten durch Erosion nicht zerstört sind, bleibt das Gefüge des Granites vollkommen erhalten, der Quarz ist unverändert, aber das Gestein ist schneidbar geworden, und jede Schnittfläche zeigt die deutliche Gestalt der Feldspatkristalle. Wenn ein Stollen in solchem erdigem Gestein getrieben wird, so läßt er sich leicht ausarbeiten, trifft aber hin und wieder auf einen nicht angegriffenen festen Granitkern, der mit Pulver gesprengt werden muß. Dieser Fall findet sich häufig bei dem kalifornischen Goldbergbau.

Befinden sich solche zersetzte Granitmassen hingegen auf der Höhe eines Gebirges, so entführt das fließende Wasser die feinkörnigen und mürben Zersetzungsprodukte, und es bleiben die festen Granitblöcke liegen. Die schwächer zersetzte Rinde, welche sie noch umgibt, da sie für die Fortführung durch Wasser zu große Festigkeit bot, wird durch Spaltenfrost abgeblättert oder durch Regengüsse nach und nach entfernt und in ein mit größeren Resten vermischtes Haufwerk zersetzter Trümmernmassen, den sogenannten Granitgrus, aufgelöst. Die rundlichen Blöcke sind

aufeinander getürmt und berühren sich manchmal nur an einzelnen Punkten. So kommt es, daß man oft nur Granitgrus und phantastische Haufen übereinandergestürzter, angewitterter und durch Flechtenüberzug grau gefärbter Blöcke sieht.

Für ein geübtes Auge sind solche Formen hinreichend, um sofort den Character des eruptiven Granits zu erkennen. Der Sammler muß sich oft mit verwittertem Material begnügen; denn es ist unmöglich, von den Blöcken ein Handstück der allein noch frischen inneren Teile zu gewinnen. In Deutschland sind diese Granitformen auf dem Brocken, im Thüringer Wald, im Riesengebirge und im bayerisch-böhmischen Wald bekannt. Wie im Fall des Brocken, so wird man auch in anderen Ländern häufig religiösen oder abergläubischen Cultus mit Gebirgen von eruptivem Granit verbunden finden. Die heiligen Opferberge des höchsten Altertums in China bestehen aus Granit. Die Höhlen, welche durch die lose aufgehäuften Riesenblöcke gebildet werden und durch das Ausräumen des weichen Granitgrus leicht erweitert werden können, sind von Einsiedlern und Anachoreten aufgesucht worden. In christlichen, ebenso wie in buddhistischen Ländern wurden Klöster an solchen Stellen errichtet.

Jede Vermehrung hierauf bezüglicher Tatsachen ist von Interesse. Besondere Beobachtungen hinsichtlich der Zersetzung des Granits können auf das verschiedene Verhalten verschiedener Abänderungen des Gesteins und auf den Einfluß des Klimas auf den Vorgang gerichtet werden. In sehr trockenen Regionen, wie am Sinai und im nördlichen Afrika, scheinen andere Bergformen aus den Verwitterungsvorgängen zu entstehen. Wo Syenit und Tonalit (z. B. in der kalifornischen Sierra Nevada) in großen eruptiven Massen auftreten, haben sie häufig die für den Granit charakteristische flachschalig-gewölbte Absonderung und nehmen dann durch Verwitterung Formen an, welche den beschriebenen ganz ähnlich sind.

Gneisgranit und Gneis verhalten sich verschieden vom eruptiven Granit, da sie nicht, gleich diesem, eine von regelmäßigen Klüften durchsetzte und im übrigen gleichartige Gesteinsmasse bilden. Werden die Zersetzungsprodukte nicht entfernt, so dringt die Zerstörung in große Tiefe vor. Werden jene fortgespült, so bleiben, bei steiler Schichtenstellung, wilde zackige Gräte zurück, welche wahrscheinlich durch den verschiedenen Grad des Vorschreitens der Zersetzung in den auch ihrer Zusammensetzung und Textur nach verschiedenen Teilen einer und derselben Gneismasse verursacht werden. Hierüber, sowie über den etwa vorhandenen Einfluß der Gesteinszerklüftung können Beobachtungen von Interesse sein.

Durch Verwitterung des Gneis entsteht bei gemäßigttem Klima als letztes Produkt ein ockergelber, an Glimmerschuppen sehr reicher Tonboden, in welchem eine Menge unzersetzte Gneistrümmer und aus Quarzgängen entstammende Quarzstücke liegen.

Schließen wir an den Granit die anderen kieselsäurereichen Eruptivgesteine, so sind zunächst die Quarzporphyre wegen ihrer dichten Grundmasse für die Agentien schwer angreifbar; zuerst werden die Feldspatkristalle zersetzt, und zwar, wie es scheint, um so leichter je grösser sie sind; von ihnen aus wird die Grundmasse angegriffen. Der wesentlichste Unterschied vom Granit aber besteht in der Form und Verteilung der Angriffsflächen. Porphyergebirge pflegen in ihren einzelnen Teilen verschiedenartig zerklüftet zu sein. Dazu sind sie in der Regel von sehr zahlreichen Gängen durchzogen, und der Character des Gesteins wechselt meist beträchtlich. Jede Varietät von Quarzporphyr oder Porphyrit hat einen etwas anderen Gang der Verwitterung, je nach Härte, Dichtigkeit des Gefüges und mineralischer Zusammensetzung. Häufig ist die Zerklüftung säulenförmig, und diese Säulen stehen bald senkrecht, bald unter den verschiedensten Winkeln. Dann sind die Angriffsflächen sehr groß, indem das Wasser leicht in die die Säulen trennenden Fugen eindringt und jede Säule mit einer Verwitterungsrinde umgibt. Sind die Säulen, wie es oft

vorkommt, radial angeordnet, so lösen sich die äußeren Teile der Säulenbündel in ungeheure Trümmermassen auf. Dies rührt wahrscheinlich daher, daß die inneren, dünneren Teile der Säulen schneller der gänzlichen Zersetzung unterliegen als die äußeren, und daher diese den Halt verlieren. Außerdem kommt plattenförmige, sehr unregelmäßig vertikale und manche andere Form der Absonderung vor. Porphyrgebirge sind daher die regellosesten in der Gestaltung. Zuweilen starren sie in einer Unzahl dünner Nadeln auf, dann wieder findet man breite, domförmige Massen; an Abhängen bilden sich Formen übereinander gelagerter Wollsäcke neben scharfkantigen, festgezeichneten Vorsprüngen.

Bei Rhyolith und Trachyt, wo sie frei aufragen, hängt der Gang der Verwitterung größtenteils von dem Vorhandensein eines zelligen Gefüges oder dem Fehlen desselben ab. In Gegenden, wo die Temperatur unter den Gefrierpunkt sinkt, wirkt das gefrierende Wasser bei frischem Gestein ähnlich wie bei angewittertem Granit. In dem nordamerikanischen Great Basin, dem größten Verbreitungsgebiet des Rhyoliths, sind dessen zahnartig aufragende, frische Gesteinsmassen in ihrem unteren Teil in Rhyolithgrus gehüllt, und dieser verfällt dann einer sehr langsamen Verwitterung, deren Endprodukt ein hellfarbiger, mit Quarzkörnern und Kieselmehl gemengter Ton ist. Die Größe der Feldspatkristalle scheint auch hier von Einfluß auf die Schnelligkeit der Zersetzung zu sein. Verglaste, dichte Gesteine widerstehen der Zersetzung sehr hartnäckig, wenn nicht die Angriffsfläche, wie im Bimsstein und manchem Perlstein, eine außerordentlich große ist.

Die basischen Eruptivgesteine zeigen ebenfalls ein sehr verschiedenes Verhalten. Es gibt unter ihnen scheinbar nahe verwandte Gesteine, von denen das eine immer in scharf markierten, kantigen Formen erscheint und an der Oberfläche mit einer dünnen, bestimmt abgegrenzten, weißlichen oder gelblichen Verwitterungsrinde bedeckt ist, während ein anderes nur in rundlichen Blöcken und rundlichen Formen überhaupt auftritt und neben einer braunen intensiven Verwitterungsrinde eine tief reichende angewitterte Zone durch schwach bräunliche Färbung bei noch unverändertem Gefüge erkennen läßt. Auf derartige Gegenstände, welche von Bedeutung für das Verständnis der Plastik und der Bodenbildung sind, ist die Aufmerksamkeit noch lange nicht hinreichend gerichtet worden. Es empfiehlt sich, beim Sammeln von Gesteinsproben die zu jedem Gestein gehörige Verwitterungsrinde und die sonstigen, mit Bestimmtheit von ihnen abzuleitenden Zersetzungsprodukte mit zu sammeln. Sind zugleich genaue Beobachtungen über das gegenseitige Verhalten an Ort und Stelle niedergeschrieben, so kann dann das Material unter dem Mikroskop und im Laboratorium mit Nutzen untersucht werden. Nur Weniges kann als leitend für die Zersetzungserscheinungen der basischen Eruptivgesteine angenommen werden. Je dichter, homogener und freier von Einschlüssen die Grundmasse ist, desto weniger ist sie für die Zersetzungs Vorgänge empfänglich; je mehr sie größere ausgeschiedene Kristalle enthält, je zerklüfteter, zelliger oder blasiger das Gestein, desto leichter tritt die Veränderung ein. Dies ist aber nicht absolut bestimmend. Denn ein anderer entscheidender Umstand ist der Kalkgehalt der an der Zusammensetzung teilnehmenden Mineralien. Manche Diorite verdanken wahrscheinlich dem Zurücktreten desselben ihre geringe Zersetzbarkeit. Wo sie leichter eintritt, zersetzt sich gewöhnlich der Feldspat zuerst, so daß an der äußeren Fläche die Hornblende oder der Augit hoch hervortreten und diese Mineralien nebst feinen Körnern von Titaneisen in dem letzten Produkt der Zersetzung Zurückbleiben. Dieses ist in der Regel eine rostbraune bis rotbraune tonige Masse.

Die kristallinen Schiefer unterliegen der Zersetzung in sehr verschiedenem Grad. Im Allgemeinen tritt sie um so leichter ein, je grösser der Antheil ist, welchen Doppelsilicate an der Zusammensetzung haben. Besonders ist der Gehalt an Feldspaten entscheidend. Daher sind die

Gneise am leichtesten angreifbar. Glimmerschiefer, Tonschiefer und Chloritschiefer sind hingegen sehr widerstandsfähig.

Unter den klastischen Gesteinen stehen durch ihre hochgradige Zersetzbarkeit oben an alle Tuffgesteine, welche ursprünglich aus zusammengehäuften Zertrümmerungsprodukten von unzersetzten Eruptivgesteinen bestehen. Die bei vulkanischen Ausbrüchen auf dem Festland zerstäubten Lavamassen, die losen Auswürflinge der Vulkane, die viel massenhafter auftretenden, ihrer Entstehungsweise nach nicht ganz verstandenen, submarin gebildeten Anhäufungen von Trümmermassen — dies Alles sind Tuffbildungen, welche das gemeinsame Merkmal haben, daß sie den zersetzenden Agentien eine unendlich große Fläche darbieten. Dies gilt besonders von den losen Auswürflingen der Vulkane, während die submarin gebildeten Tuffe in verschiedenem Grad, manchmal sehr innig, zu festem Gestein verbunden sind. Tufflandschaften gehören, wegen der außerordentlich großen Verwitterbarkeit, in der Regel zu den fruchtbarsten Gegenden.

Überhaupt sind alle diejenigen klastischen Gesteine, welche aus der Zertrümmerung von Eruptivgesteinen und feldspathhaltigen kristallinen Schiefem hervorgegangen sind, an sich in demselben Grad zersetzbar wie diese selbst; aber die Angriffsfläche ist bei ihnen viel grösser. Diejenigen hingegen, welche, wie die meisten Sandsteine und Schiefertone, aus wiederholt aufgearbeitetem Material bestehen, sind widerstandsfähiger, weil sie selbst aus Rückständen von Zersetzungsprozessen zusammengesetzt sind.

b) Regionale Verschiedenheit der Zersetzungs Vorgänge.

[§47] Da Feuchtigkeit, Wärme und Vegetation von größtem Einfluß auf die Intensität der Zersetzungs Vorgänge sind, so wird diese naturgemäß in warmen und kalten Gegenden, in solchen mit reichlichem und geringem Regenfall verschieden sein, und es ist vorauszusetzen, daß eine mehr oder weniger dichte Vegetation sie in hohem Grad beeinflussen wird. Wenn sich auch somit vermuten läßt, daß den Wärmezonen der Erde, ebenso wie den Gebieten der Regenverteilung und den von verschiedenen Vegetationsformationen bedeckten Erdräumen, eine regionale Verteilung in der Intensität der Zersetzungs Vorgänge entsprechen wird, so ist doch die vergleichende Betrachtung dieser Erscheinungen noch wenig gepflegt worden. Nur im Allgemeinen ist bekannt, daß an den Felsen der Hochgebirge und in hochnordischen Regionen die Zersetzung der Felsarten langsam von statten geht, während man in wärmeren Gegenden meilenweit über dem vollkommen verfaulten Ausgehenden wohl erkennbarer Gneise und kristallinischer Schiefer reisen kann, ohne ein einziges Handstück frischen Gesteins schlagen zu können. Allerdings tritt, was den Betrag der Zerstörung überhaupt betrifft, die mechanische Zertrümmerung der Gesteine durch Spaltenfrost in kalten Gegenden vollkommen kompensierend ein; ihre Gesamtwirkungen sind wahrscheinlich, wenn man gleiche Areale, in denen der eine und der andere Vorgang charakteristisch auftreten, mit einander vergleicht, noch bedeutender, als diejenigen der chemischen Zersetzung.

Ein wichtigeres Feld der Beobachtung bietet sich dem Reisenden in der regionalen Differenzierung der Art der Zersetzungsprodukte, welcher natürlich nur ein ähnlicher Unterschied in den chemischen Prozessen zu Grunde liegen kann. In unseren Gegenden zeichnet sich als das allverbreitete Endprodukt ein gelbgefärbter, strukturloser, knetbarer Lehm, welcher durch mannigfaltige Beimengungen verschiedenen Charakter annehmen kann. Auf ursprünglicher Lagerstätte bekleidet er die Gehänge, wo er durch Wasser an den schwächer geneigten oder vertieften

Stellen zusammengespült ist; aber er bildet auch den wesentlichsten Bestandteil des gesamten Schwemmlandes. Gelb und braun sind auch die vorherrschenden Farben des zersetzten Gesteins in den vorhergehenden Stadien der Umänderung. In den feuchten und vegetationsbedeckten Ländern der Tropen hingegen haben die Zersetzungsprodukte eine rote Farbe. Sie entsteht durch die reichliche Beimengung von Eisenoxyd, während die braune Farbe des Lehms durch Eisenoxydhydrat veranlaßt wird. In dem Abschnitt über die Bodenarten, und speziell über den Latent (§ 206), soll hierauf ausführlicher eingegangen werden.

c) Tiefenzersetzung (oder Kumulative Zersetzung).

[§48] Wenn freistehende Felsen verwittern, so wird durch jeden Regen ein Teil der lose gewordenen Bestandteile fortgeführt; es bieten sich den Agentien fortdauernd neue Angriffsflächen. Daher üben sie eine erhebliche Gesamtwirkung; aber dieselbe ist nicht zu erkennen, da die Produkte der Zersetzung nicht mehr an Ort und Stelle vorhanden sind.

Ganz anders ist es, wenn auf flachem oder wellig-hügeligem Boden die Zersetzung nach der Tiefe fortschreitet, aber kein fließendes Wasser die Zerstörungsprodukte entführt. Dann bleiben diese an Ort und Stelle; die Gesteine werden verändert, behalten aber ihre Struktur, soweit sie nicht aufgelöst werden. Stark befeuchtete Waldgebirge, besonders in den Tropen, sind diesem Vorgang günstig; wie weit er vorgeschritten ist, wird auch wesentlich von der Länge der Zeit abhängen, während welcher er wirken konnte. Kälte und Trockenheit sind ungünstig, auch wenn erstere mit viel Feuchtigkeit und letztere mit viel Wärme verbunden ist.

Bei Rio fand Darwin Granit und Gneis bis zu 100 Fuß Tiefe hochgradig zersetzt; im Inneren von Brasilien sind diese Gesteine bis in noch größere Tiefen vollständig weich. Bei den archaischen Schiefen im südöstlichen Teil der Vereinigten Staaten reicht die Verwitterung 200 Fuß tief. Die durch sie gelockerte Binde der kristallinen Schiefer und des Granites der kalifornischen Sierra Nevada ist durch den Bergbau stellenweise in derselben Mächtigkeit aufgeschlossen. Ähnliches wird von den ältesten Gesteinen an manchen Orten der indischen Halbinsel berichtet. Im nordöstlichen China sind Gneis, Gneisgranit und eruptiver Granit über weite Gebiete mehrere Hundert Fuß tief zersetzt und mit dem Messer schneidbar; nur die Quarzgänge sind unzersetzt. Der geologische Bau der südamerikanischen Anden ist dort, wo reichlich Regen fällt, schwer zu untersuchen, weil die Gesteine in weiten Gebieten nur aus dem lockeren Verwitterungserdreich, in das sie verwandelt sind, erkannt werden können. Dort dürfte die Tiefe des zersetzten Gesteins stellenweise hunderte von Metern betragen.

Aus der dem Grade nach außerordentlich schwankenden Zersetzungsfähigkeit der einzelnen Gesteine ergibt sich die notwendige Folgerung, daß, wenn in solchen Gegenden durch Zeiträume, welche zuweilen nach Hunderttausenden von Jahren bemessen werden können, eine Fortführung der Zersetzungsrückstände nicht stattgefunden hat, der Grad, in welchem ihr die einzelnen Gesteine unterlegen sind, ein sehr verschiedener sein wird; und zwar wird er sich keineswegs nach der Härte richten. Denkt man sich alles durch Verwitterung gelockerte Material entfernt, so wird eine solche Gegend eine äußerst unregelmäßige Oberfläche bieten. Weiche Tongesteine, Phyllite, Glimmerschiefer und Quarzite würden wegen ihrer Resistenz gegen Kohlensäure aufragende Massen bilden. Die härtesten Feldspatgesteine hingegen, wie Granit und Gneis, würden durch Vertiefungen von mehreren Hundert Fuß bezeichnet sein; nur einzelne harte Kerne derselben würden teils aufragen, teils in den Senkungen zerstreut sein. Gänge von festem

Eruptivgestein würden als tiefe kanalartige Rinnen erscheinen; Gänge von Quarz und anderem widerstandsfähigem Gestein hingegen als scharfgeschnittene Leisten und Mauern, oder, wenn sie netzartig angeordnet sind, als Umrandungen vertiefter Zellen aufragen. Kalkstein würde nur noch in Resten vorhanden sein; seine Stelle würde durch ein verhältnismäßig geringes Residuum von toniger Substanz eingenommen werden. Die Oberfläche würde also derjenigen, welche durch Erosion hervorgebracht wird, keineswegs entsprechen, sondern ein davon außerordentlich verschiedenes Bild darbieten. Statt Talsystemen würden wir unregelmäßige Depressionen sehen. Die petrographische Karte würde sich in dem neuen Relief in den geringsten Unterschieden widerspiegeln. [*1]

[*1]: Auf diese Tatsachen hat zuerst Alfred Selwyn (Geol. Mag. IV., 1877, p. 93) gelegentlich hingewiesen. Ausführliche Behandlung und Anwendung auf Gesichtspunkte von großer Tragweite erfuhren sie durch Raphael Pumpelly (Am. Journ. Sc., ser. 3, vol. XVII 1879 p. 138 ff.).

Es ist gut, sich dies zu vergegenwärtigen; denn der Reisende kommt in Fälle, wo er verschiedene Stadien dieser Vorgänge beobachten kann. Wir werden an anderen Stellen auf Oberflächenformen hinweisen können, welche durch ihre Eigentümlichkeit jener unregelmäßigen und scheinbar widersinnigen Grundfläche der kumulativen Zersetzung zu entsprechen scheinen. Das Problem ist aber noch nirgends eingehend studiert worden. Es wurde zunächst darauf ankommen, ihm dort, wo die Zersetzungsmassen noch vorhanden sind, Aufmerksamkeit zu widmen. Das Verhältnis, welches in dieser Beziehung die Itakolumite und andere Gesteine zum Gneis in Brasilien haben, wurde z. B. sehr lehrreich sein. Auch die feuchten Waldgegenden in Afrika dürften zum Teil für Aufschlüsse geeignet sein.

d) Rückstände der Zersetzung.

Dieser Gegenstand kann hier übergangen werden, da im zwölften Kapitel ausführlicher die Rede von ihm sein wird.



Fünftes Kapitel.

Beobachtungen über Bodenwasser und Quellen.

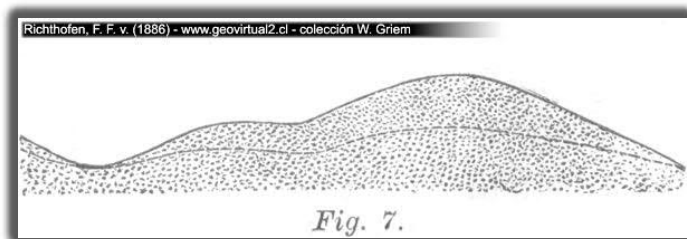
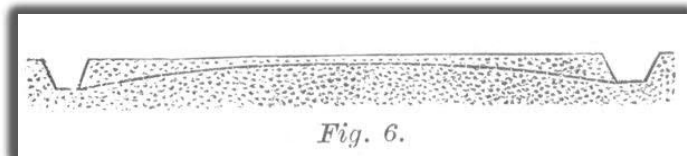
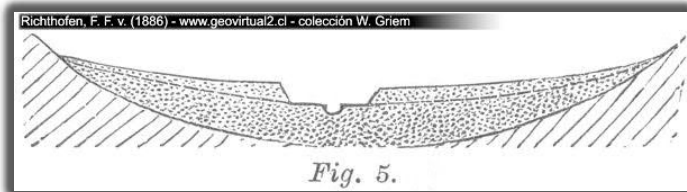
[§49] Alles Wasser hat das Bestreben, der Schwere folgend nach der Tiefe zu dringen; und nur insoweit sich ihm dafür keine Wege bieten, oder es die vorhandenen nicht schnell genug zu benutzen vermag, fließt es an der Oberfläche, oder sammelt sich in Becken. Jedes Gestein vermag in Folge seiner Porosität und Kapillarität Wasser aufzunehmen, wenn auch manches in sehr geringem Maße und nur unter hohem Druck. Einen leichteren Weg bieten die Risse und Klüfte, welche bei Kalksteinen durch Lösung hinreichend erweitert sein können, um ganze Ströme aufzunehmen. Am meisten permeabel ist lockerer Aufschüttungsboden, wie Gebirgsschutt, loser Kies, Sand, vulkanischer Tuff und Löß.

1. Grundwasser und Brunnen.

[§50] Grundwasser. — Das in den Boden dringende Wasser folgt in der Bewegung nach abwärts den sich ihm anbietenden Kanälen, in der durch sie vorgeschriebenen Richtung, bis es einem Hindernis begegnet, d. h. bis es entweder auf eine in der Tiefe ruhende Wasserschicht stößt und zu deren Erhöhung beiträgt, oder bis es an ein Gestein gelangt, dessen Permeabilität so gering ist, das es nur einem kleinen Teil des andringenden Wassers weiteren Durchgang nach der Tiefe zu gestatten vermag. Es breitet sich dann auf der Oberfläche dieses Gesteins aus, wenn sie horizontal ist, oder bewegt sich auf ihr nach abwärts, wenn sie geneigt ist, und kann dann die Erdoberfläche an einer Stelle, welche tiefer liegt als das Einströmungsniveau, wieder erreichen. Besonders wasserdicht sind durchfeuchtete plastische Tone und tonige, nicht von Klüften durchsetzte Schichtgesteine; ferner der Lettenbesteg, welcher sehr häufig die Verwerfungsclüfte ausfüllt und die zu beiden Seiten derselben anstehenden Gesteine voneinander trennt, oder eine Gangmasse, besonders auf der Liegendseite, von dem Gebirgsgestein scheidet. Ist die wasserundurchlassende Schicht, wie es am Boden alter See-Ausfüllungen häufig vorkommt, trogförmig gekrümmt, so sammelt sich das Wasser an und bildet eine Art See im Boden, den man als Grundwassersee bezeichnen kann. Die Oberfläche desselben wird nicht eben sein, weil die Wasserteilchen in der freien Bewegung gehindert sind, sondern dort, wo das Wasser zufließt, am höchsten sein, den tiefsten Stand aber an den Stellen erreichen, wo dasselbe zu entweichen vermag. Denkt man sich durch den tiefsten Teil einer solchen Mulde einen Kanal gezogen, welcher die undurchlassende Schicht durchschneidet, also einen Kanal von solcher Art wie Flüsse sich ihn häufig graben, so kann das Grundwasser nicht stagnieren, sondern wird zu beiden Seiten des Kanals an der Grenze der wasserundurchlassenden Massen gegen die wasserdichte Schicht herausströmen; es ist die einfachste Form der Quellen.

I. Herstammung des Grundwassers. — Grundwasserseen, d. h. stagnierende, oder langsam sich fortschiebende, weit ausgebreitete und nach oben nicht wasserdicht abgeschlossene Ansammlungen von Wasser im Boden, gehören wesentlich den Alluvialtälern der Flüsse, dem Schwemmland und Aufschüttungsboden überhaupt, an. Sie sind in Kulturländern von hoher Wichtigkeit, finden sich aber auch in Steppen und Wüsten, falls der lockere Boden zu einer Tiefe hinabreicht, in welcher seine starke Erhitzung an der Oberfläche nur noch einen indirekten und unbedeutenden Einfluß auf die Verdunstung ausübt. In Talausfüllungen und den großen Niederungen der Ströme kann das Grundwasser einen dreifachen Ursprung haben; denn es stammt teils unmittelbar von dem auf der Ebene selbst niederfallenden Regen, teils ist es von den Gehängen der Umrandung herabgespült und im lockeren Boden versunken, teils kann es, unter gewissen Umständen, von den Strömen her infiltriert sein. Letzteres ist aber nur dann möglich, wenn die Verdunstung durch den erhitzten, porösen Boden hindurch in die Atmosphäre den Niederschlag übersteigt. Dieser Bedingung entsprechen z. B. regenlose Sandgebiete, oder nur periodisch durch Regen benetzte Länder von lockerem Steppenboden, welche von größeren Strömen durchzogen werden; dann nimmt die Wassermasse der letzteren in der Richtung der Strömung allmählich ab. Ist hingegen der Niederschlag grösser als die Verdunstung, und findet bedeutendes Zuströmen von den benachbarten Gehängen her statt, so wird das Grundwasser in deren Nähe ein höheres Niveau haben als in der Mitte des Tales; daher wird ein langsames Fortschieben gegen diese hin stattfinden. Der Hauptstrom kann dann in der Regel kein Wasser in den angrenzenden Boden sickern lassen, aber sein höherer oder niederer Wasserstand wird doch das Grundwasserniveau im Boden bis auf eine gewisse Entfernung beeinflussen, und bei hohem Stand kann er sogar etwas Wasser dorthin entsenden.

Das Grundwasser speist in bewohnten und kultivierten Ländern die Mehrzahl der Brunnen und kann, wie in China, wo in manchen Gegenden jedes Feld seinen Brunnen hat, zur Berieselung der Äcker und Gärten verwendet werden. Die Brunnen sind gleichsam künstliche Quellen, durch welche der im Boden befindliche See angezapft wird. Daher bieten sie das Mittel für dessen Untersuchung. Das Wasserniveau sämtlicher Brunnen zeigt dasjenige des Grundwassers an. Die Gestalt der Oberfläche des letzteren richtet sich bei gleichmäßigem Regenfall wesentlich



nach der des Bodens. Mit diesem steigt sie in einem Flußtal von dem Strom gegen die Gehänge allmählich an. (Fig. 5.) Zwischen zwei Einschnitten in einem Flachland bildet sie eine konvexe Wölbung, deren Scheitel als eine unterirdische Wasserscheide zu bezeichnen ist. (Fig. 6.) Ist der Boden wellig, wie bei Sanddünen, so wiederholt die Wasserfläche die Form desselben in abgeschwächtem Maße. (Fig. 7.) Am Meeresstrand steigt daher die Grundwasserschicht landeinwärts an, und es findet von hier aus ein beständiges Abfließen nach dem Meer, keineswegs ein

Eindringen des Meerwassers nach dem Lande statt. Dies beweisen die Süßwasserbrunnen an jedem sandigen oder schlammigen Strand, ebenso wie im Kalksand der Korallenriffe.

Von dem Grundwasser ist die Bodenfeuchtigkeit zu trennen, ein für die Vegetation und hygienische Verhältnisse wichtiges Moment. Sie beruht auf der Kapillarität, der Porosität, dem hygroskopischen Verhalten und der verschiedenen mineralischen Zusammensetzung der Bodenarten. Diese haben die Fähigkeit, das Wasser aus der Grundwasserschicht aufzusaugen, wie man an einem Blumentopf wahrnimmt, der in einem mit Wasser gefüllten Untersatz steht. Man wird daher für die Oberfläche der Bodenfeuchtigkeit ganz andere Kurven bekommen, als für diejenige des Grundwassers; dieselben werden oft große Unregelmäßigkeit zeigen. Zufällige Beimengungen des Bodens, wie mineralische Salze oder Humus, werden darauf großen Einfluß ausüben.

Gegenstände der Beobachtung sind: Die durch Bohrungen oder Brunnenmessungen zu eruiende Gestalt der Wasserfläche, die Temperatur des Wassers, und eventuell die Änderungen beider Faktoren nach Jahreszeiten; ferner der Gehalt des Wassers an mineralischen Salzen, welcher oft schon durch den Geschmack oder durch den Niederschlag beim Kochen erkennbar ist. Bei volkreichen Städten kommt auch der Gehalt an organischen Bestandteilen in Betracht, welche mit dem Wasser in den Boden dringen und je nach dem Steigen oder Fallen des Grundwassers, und wahrscheinlich auch je nach den Hindernissen, die sich der permanenten Fortschiebung desselben darbieten, die Ursache epidemischer Krankheiten werden können. Der Stand des Grundwassers kann von großer Bedeutung für die Vegetation werden, wo es monatelang nicht regnet, und die Pflanzen auf das im Boden befindliche Wasser angewiesen sind. Besonders sollte auch untersucht werden, ob und in welchem Maße verschiedene Bodenarten die Höhe des Grundwassers beeinflussen und örtliche Unterschiede veranlassen.

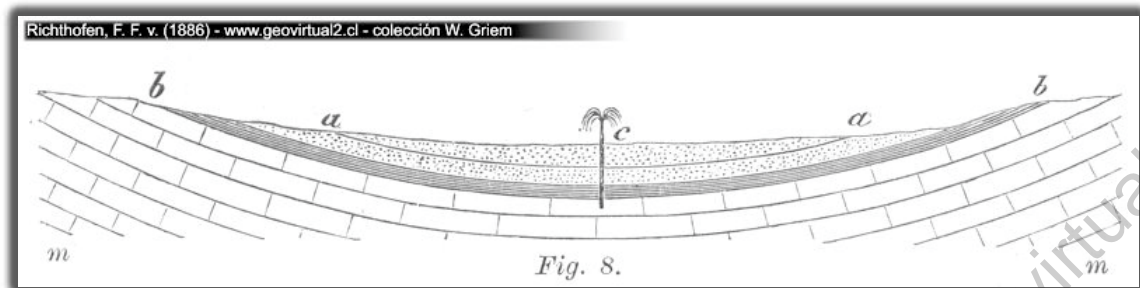
In manchen ausgedehnten Erdräumen ist das Grundwasser reich an schwefelsauren und kohlen-sauren Alkalien, zu denen häufig noch Chloralkalien treten. Man erkennt die Anwesenheit dieser Salze am Geschmack des Brunnenwassers, oft auch an dem der Quellen. Dem Auge machen sie sich dadurch bemerkbar, daß sie auf der Oberfläche des Bodens bei der Verdunstung kristallinisch ausblühen und einen weißen Überzug bilden. Wenn Regen den Boden so stark durchfeuchtet, daß eine Wasserverbindung von der Oberfläche bis zum Niveau des Grundwassers stattfindet, so verteilen sich die gelösten Stoffe durch Diffusion bis zur Oberfläche, wo das verdunstende Wasser eine Zeitlang durch anderes, kapillarisch aufsteigendes Wasser von unten ersetzt wird und feine Salze zurückläßt. Noch grösser ist die Konzentration, wenn sich in der feuchten Jahreszeit abflußlose Wasserlachen bilden. Bei der Verkleinerung umgeben sie sich mit einer Zone von Salzausblühungen, und wenn sie ganz verdunsten, lassen sie einen weißen Überzug zurück, der zum Teil vom Wind hinweggenommen und über größere Länderräume als feiner Salzstaub verteilt wird.

Die Ursache dieses Salzgehaltes kann verschieden sein und sollte in jedem einzelnen Fall, wenn es möglich ist, festgestellt werden. Man kann es mit einem alten Meeresboden zu tun haben, welcher wegen zu geringer Neigung, oder wegen zu geringen Regenfalls, oder in Folge von stehengebliebenen Ansammlungen von Meerwasser nicht ausgelaugt wurde. Chlornatrium wird dann der Hauptbestandteil der Salze sein. Ferner werden derartige Verhältnisse in allen Gegenden hervorgerufen, wo ein Abfluß nach dem Meer nicht stattfindet. Dann werden die durch das Wasser von den höheren nach den tieferen Teilen getragenen, teils aus marinen Sedimenten durch Lösung entführten, teils von der Verwitterung der Gesteine herkommenden Salze, ebenso wie diejenigen, welche durch die Atmosphäre herzugeweht werden, in dem Boden angesammelt und durch Regen größtenteils in das allgemeine Reservoir des Grundwassers gebracht. Dies ist der Fall in den unten 123) zu betrachtenden Zentralgebieten der Kontinente.

Sind später solche Gegenden in den Bereich des Abflusses nach dem Meer gelangt, so bilden die losen Ausfüllungsmassen, insbesondere die Niederschläge aus den zentralen Salzseen, eine erst in langen Perioden zu erschöpfende Vorratskammer der verschiedensten Salze. Solche Länder leiden, wo nicht frische Quellen aus dem Gestein sprudeln, immer an schlechtem, alkalienreichem und salzigem Trinkwasser. Endlich werden ähnliche Verhältnisse überall hervorgerufen, wo die Verdunstung den Niederschlag überwiegt, und der Boden fortdauernd das infiltrierte Wasser der Flüsse aufsaugt, indem er die ihm von diesen gebrachten Salze zurückhält. Dies ist z. B. in der Gegend von Delhi der Fall, wo die Anlage von Schiffahrtskanälen das Niveau des Grundwassers, daher auch der Bodenfeuchtigkeit, höher gelegt und damit die Auswitterung der Salze nach Regengüssen begünstigt hat. — Bei Ning-yuen-fu am Gelben Fluß, in der chinesischen Nordwestprovinz Kansu, fürchtet man den Regen. Der Feldbau wird mit Hilfe von Kanälen betrieben, welche das Süßwasser des Stromes in gerade zureichender Menge über die Felder verteilen. Das Regenwasser dringt tiefer ein und lockt aus dem Grundwasser die Salze, welche man mühsam von der Oberfläche ausgelaugt hatte, in erneuter Auflage an diese heran. Ähnliche auf die natürliche Vegetation und die Kulturfähigkeit Licht verbreitende Beobachtungen werden sich in vielen Ländern mit salzhaltigem Grundwasser anstellen lassen.

[§53] Artesische Brunnen.— Unter ganz anderen Bedingungen als das Grundwasser, welches dem lockeren Erdreich der obersten Bodenschichten angehört, steht dasjenige Wasser, welches unter der obersten wasserundurchlassenden Schicht zirkuliert oder stagniert. Da jene Schicht immerhin kleinen Wassermengen allmählich den Durchlaß gewährt, so könnte auch ohne irgend einen anderen Zufluß das Erdreich unter ihr mit Wasser erfüllt sein. Doch wird selten ein vollkommener Abschluß stattfinden und vielmehr fast immer noch ein anderer Zufluß von Wasser möglich sein.

Dies ist besonders der Fall bei muldenförmiger Lagerung, wobei die gebogenen Schichten frei zu Tage austreichen. Ist die Mulde kesselförmig geschlossen, so wird das Wasser in der Tiefe zurückgehalten, und da die dasselbe aufnehmenden Schichten damit erfüllt sind, so steht es unter dem hydrostatischen Druck einer Wassersäule, welche dem Vertikalabstand des betreffenden Wasserortes von dem Einfluß-Niveau entspricht. Solche Wasseransammlungen werden durch die artesischen Brunnen (Fig. 8) angezapft. Wenn das bei c gestoßene Bohrloch die wasserdichte Schicht aa durchstoßen hat, so kann ein erstes Aufsteigen erfolgen; wird es bis unter die zweite wasserundurchlassende Schicht bb fortgesetzt nach den wasserhaltenden Schichten mm, so wird ein noch größerer Wasserzudrang stattfinden. Das Wasser hat das Bestreben, bis zu derjenigen Höhe emporzusprudeln, welche dem hydrostatischen Druck entspricht, und es kann, in vertikalen Röhren aufgefangen, bis zu beträchtlicher Höhe über die Öffnung des Bohrlochs als künstliche Springquelle aufsteigen.

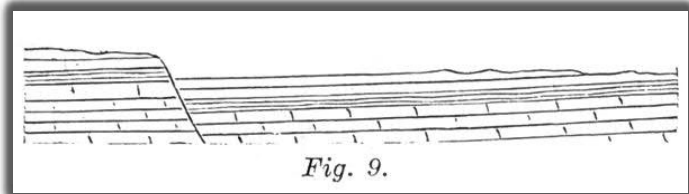


Durch den Vorgang der Franzosen in Algier, vermittelt artesischer Brunnen das Steppenland zu bewässern und anbaufähig zu machen, ist die Möglichkeit der Anlage solcher künstlicher wasserreicher Quellen eine wichtige Frage für viele Steppengegenden geworden. Die chinesische

Begierung wendet derselben betreffs der um das Westende der großen Mauer gelegenen Gebiete Aufmerksamkeit zu, und es dürfte sich dem Reisenden manchmal Gelegenheit bieten, die Möglichkeit der Erreichung von artesischem Wasser in Betracht zu ziehen. Es bedarf dazu einer eingehenden Untersuchung der betreffenden Gegend. Am günstigsten ist eine vollkommen beckenförmige Lagerung der Schichten, wie sie in dem Kreidebecken von Paris in normalster Form vorliegt. In weit größerem Maßstab findet ausgezeichnete beckenförmige Lagerung in dem großen Becken der Provinz Sz'-tshwan in China statt, und hier bestehen tausende von Bohrlöchern bis zu Tiefen von 2000 Fuß, aus denen man Salzsole gewinnt, während andere Bohrlöcher, welche die Tiefe von 3000 Fuß erreichen, mit großer Gewalt ausströmendes Leuchtgas liefern, welches zum Versieden des Salzes verwendet wird.

Auch wo tafelförmig gelagerte Schichten unter geringen Winkeln gleichförmig nach einer Richtung einfallen, sind die Bedingungen zum Eindringen des Wassers in durchlässige Schichten, welche zwischen wasserdichten lagern, gegeben. Das Aufsaugungsgebiet kann in diesem Fall einen großen Umfang erreichen. Selbst wo das Einfallen regelmäßig auf große Strecken fortsetzt, wird man an solchen Stellen, welche zwischen Aufsaugungsgebiet und Ausflußgebiet des Wassers liegen, das letztere in Bohrlöchern gewinnen können. Aber der Wasserreichtum ist grösser und die Kraft des Empordringens stärker, wo das in der Tiefe eingeschlossene Wasser nicht zu entweichen vermag. Dies kann dadurch eintreten, daß die tafelförmige Lagerung der Schichten im Fortstreichen eine Unterbrechung durch Aufbiegung, oder durch eine Verwerfung erleidet. (Fig. 9.) Die Oasen Dakhel, Farafreh und Khargeh verdanken ihre Existenz einem derartigen tiefen Reservoir, welches durch Brunnen angezapft wird.

In alter Zeit konnte man jeden Brunnen durch einen an einem langen Strick befestigten Stein verschließen, welcher in die Öffnung, mit der die wasserundurchlassende Schicht



durchbohrt war, eingelassen wurde. Das Aufsaugungsgebiet dieser Schicht sucht Zittel weit im Süden, wo dieselbe unter regenreicherem Klima zu Tage ausgehen muß. In diesem Fall scheint durch eine weiter nördlich stattfindende Aufbiegung der Schichten das Wasser festgehalten zu werden. Der andere Fall, daß eine Verwerfungskluft das unterirdische Wasserbehältnis abschließt, scheint bei einigen durch künstliche Bohrung erwirkten Springquellen von Salzwasser vorzuliegen.

Bei allen artesischen Brunnen, die in große Tiefe hinabgehen, ist die Messung der Wärme, welche der jener Tiefe eigentümlichen Temperatur entsprechen sollte, zu bestimmen; ebenso der Gehalt des Wassers an gelösten Bestandteilen, und die Menge des in einer gewissen Zeit ausströmenden Wassers.

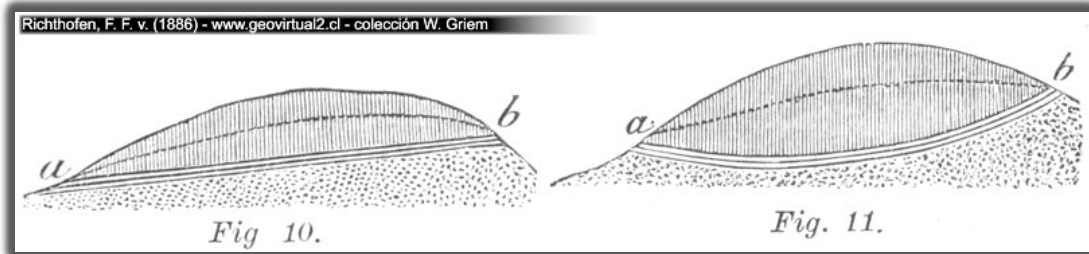
2. Quellen.

[§54] Quellen entstehen überall, wo das in Fels und Erdreich eingedrungene Wasser, entweder einfach der Schwere folgend, oder durch hydrostatischen Druck aufwärts getrieben, wieder an die Oberfläche kommt und ausströmt. Der Weg von der Einsickerungsregion zu der Stelle des Austretens kann kurz und einfach, oder lang und zuweilen sehr verwickelt sein.

[§55] Sickerwässer. — Wo eine Vertiefung im Boden die Grundwasserschicht nicht erreicht, erhält sie keinen Zufluß; wo sie in dieselbe hinabgeht, bildet sich entweder ein Tümpel stagnierenden Wassers, welcher im Niveau des Grundwassers liegt und mit diesem steigt und fällt; oder dasselbe sickert, falls ein Abfluß vorhanden ist, beständig aus.

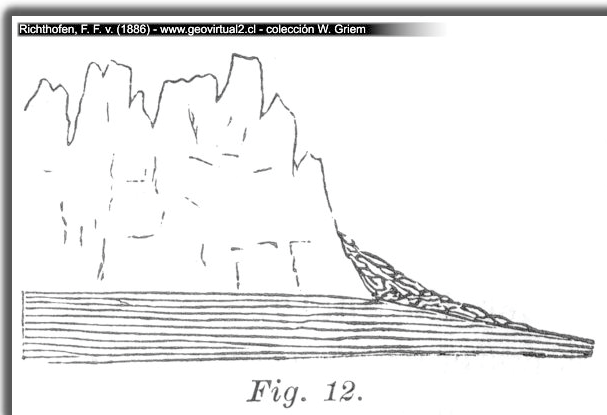
Daher rühren in Gegenden mit permeablem Gestein oder Erdreich die sumpfigen, moorigen und torfigen, mit reicher Baum-vegetation bestandenen Vertiefungen, während die Hügel trocken und kahl sind. In Gegenden mit sandigem und salzhaltigem Boden setzt sich aus den Sickerwässern bei starker Verdunstung eine Kruste von Salz, Gips und etwas Ton ab, welche das Einsickern des Wassers vollständig verhindern kann. In dieser Weise sind im nördlichen Afrika mehrere Oasen verschwunden. In den tunesischen Chotts fand man, daß ein Bohrloch von 30 m durch die Inkrustationsschicht hindurch das Süßwasser erreicht.

Da die Oberfläche des Grundwassers mit dem Regen steigt und fällt, so werden bei einer klimatischen Änderung die Sickerwässer solche Einsenkungen, die früher beständig befeuchtet wurden, nicht mehr erreichen, oder nach solchen aufsteigen, die ehemals trocken waren. Ersteres dürfte in entwaldeten Gegenden häufig wahrzunehmen sein.



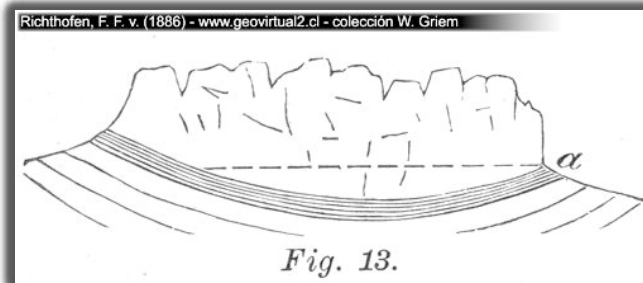
[§56] Grundwasserquellen. — Eine Ansammlung des Grundwassers zu beständig fließenden Quellen findet dort statt, wo eine wasserundurchlassende, unter lockeren Aufschüttungsmassen ruhende Schicht gegen ihre Einfallrichtung von einem Gehänge, einem Talrand, oder einem Einschnitt irgend welcher Art durch schnitten wird. An der durch den Punkt a (Fig. 10 und 11) [*1] bezeichneten Berührungslinie werden Quellen in großer Zahl ausbrechen, wie dies an Eisenbahndurchschnitten, bei den Auflagerungen von Löß auf Lehm und überhaupt in zahlreichen Fällen zu beobachten ist. Ein Teil des Wassers wird aber in Folge der Wölbung der Grundwasserschicht auch bei b zum Vorschein kommen.

[*1] Die Figuren 10 und 7 sind de Lapparent's Handbuch der Geologie entlehnt.



[§57] Oberflächen-Schichtquellen. — Setzen wir an Stelle § 57. des permeablen Bodens zerklüftetes Gestein, so nimmt dieses das Wasser in noch weit größerer Menge auf; der Vorgang aber ist derselbe, bis auf den Umstand daß Klüfte und Höhlungen im Gestein dem Wasser viel bestimmtere Wege anweisen. Es sammelt sich in wenigen Kanälen, während andere durch Ablagerung verstopft werden, und kommt in Gestalt einzelner starker Quellen (rechte Seite in Fig. 12) zum Vorschein. Diese Erscheinung ist häufig in den Kalkalpen, besonders in den Dolomitgebirgen von

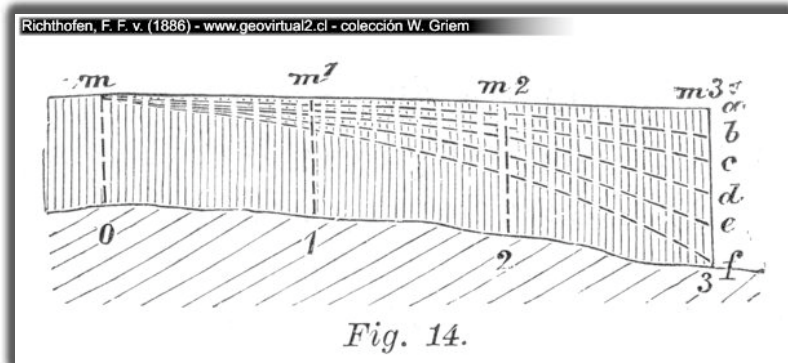
Südtirol, zu beobachten. Da der Kalkstein sehr viel Wasser in zahllosen feinen Fugen und Klüften festhält, so fließen solche Quellen oft gleichmäßig das ganze Jahr hindurch. Sie sollten wegen der großen Mächtigkeit des Kalksteins, die oft mehrere tausend Fuß beträgt, die Temperatur des inneren Gebirges laben. Doch ist hier häufig der erkältende Einfluß der Schuttmassen, unter denen viele Quellen hervorkommen, zu beobachten. Derselbe beruht auf der Verdunstung durch die von der Sonne erhitzten lockeren Anhäufungen und sollte daher im Sommer am stärksten sein.



Permanent Eisbildungen, welche sich in Gebirgen auch im Sommer erhalten, scheinen davon herzuführen. Dieser Umstand erhöht das Interesse der Temperaturbeobachtungen an Quellen, mahnt aber auch zur Vorsicht bei Schlußfolgerungen.

Wenn die Unterlage muldenförmig gestaltet ist, wie in Fig. 13, so wird dieselbe das eindringende Wasser wie eine Schüssel halten und nur den Überschuß über den niedrigsten Punkt des Randes, oder, wegen der nicht freien Communication, über mehrere niedrige Punkte des Randes entweichen lassen.

[§58] Mechanische Wirkungen der Grundwasserquellen. — Wenn das Grundwasser eine bis zu mehreren hundert Metern mächtige permeable Schuttmehäufung erfüllt, und auf einer geneigten Unterlage ruht, welche an einem den Ausfluß gestattenden tiefen Bodeneinschnitt endet, so wird eine zweifache Bewegung stattfinden. Am Boden bewegt sich das Wasser auf der schiefen Ebene hinab, während die ganze Wassersäule von oben nach unten sinkt, um den Verlust auszugleichen. Die letztere Bewegung ist gleichmäßig durch eine sehr große Masse verbreitet und kann nur außerordentlich langsam sein, so daß ihr mechanischer Effekt sehr unbedeutend sein und wesentlich auf der Fortführung löslicher Bestandteile beruhen wird. Bei der ersteren Bewegung findet ein Fließen des Wassers auf einer festen Unterlage statt. Auch dieses geschieht wegen der Hindernisse, welche jedes Bodenteilchen darbietet, sehr langsam. Der mechanische Effekt ist darauf gerichtet, die letzteren auf der Fläche hinab gegen den Ausgangspunkt hin zu bewegen. Er ist ebenfalls gering, weil die Transportkraft des Wassers sich an jeder einzelnen Stelle wegen der fortdauernden Hindernisse seiner Bewegung nur in minimalem Grade entwickeln kann. Allein sie wächst nach abwärts unablässig an. Denn bei 0 (in Fig. 14) beginnt nur das von m senkrecht nieder kommende Wasser zu fließen; bei 1 muß das Ganze auf dem Raum mm^1 bei 2 das auf mm^2 eingedrungene Wasser hinab befördert werden. Die auf der Unterfläche bewegte Wassermasse muß also in geradem Verhältnis zur Entfernung vom Scheitelpunkt zunehmen, d. h. sie wird in der doppelten Entfernung doppelt, in der dreifachen dreimal so groß sein als in der einfachen Entfernung. Da aber die erodierende und transportierende Kraft des fließenden Wassers in höherem Verhältnis zunimmt als die Wassermasse, so wird der mechanische Effekt in dem Punkt 2 mehr als doppelt so groß sein als in 1, und in 3 mehr als dreimal so groß als in 1. Dazu kommt, daß die näher an 3 gelegenen Teilchen einen leichten Ausweg finden, diejenigen



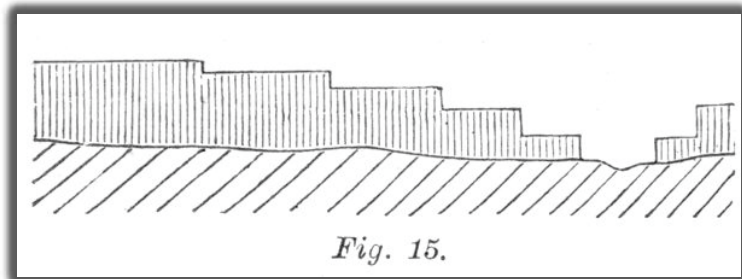
bei 2 und bei 1 in steigender Verlangsamung auch bei gleicher Kraft nachgeschoben werden können. Da nun in dem Maße, als feste Bestandteile an der Bodenfläche hinweggeführt werden, die ganze Masse der Schuttbildungen nachsinken wird, so wird nach einem ersten Stadium die Oberfläche ma nach mb verlegt werden, und so fort, bis sie die Gestalt mf hat.

Dieselbe Wirkung wird auch unabhängig von dem Vorhandensein einer wasserundurchlassenden Unterlage erreicht werden. Es wurde in § 51 dargestellt, daß eine Wasserscheide besteht, wenn nach zwei entgegengesetzten Richtungen eine Fortbewegung des Grundwassers nach Einschnitten des Bodens vor sich geht. Auch in diesem Fall (s. Fig. 6, S. 117) wird daher eine Abrundung des Bodens in Folge unterirdischer Fortbewegung der Teilchen in der Richtung des Abflusses eintreten müssen. Es dürften sich hierdurch die flachen Bodenwellen erklären, welche für die meisten aus Schwemmland bestehenden Gegenden, in denen Höhendifferenzen von einigen hundert Fuß zwischen den Sohlen der Wasserrinnen und den äußeren Wasserscheiden bestehen, charakteristisch sind. Die Oberflächenerosion ist sehr häufig nicht ausreichend, um die Entstehung der äußerst sanften Abrundungen zu erklären, weil das Wasser sich in Rinnen sammelt und weder auf breiten Flächen fließt, noch in Flächen abzutragen vermag. Das spülende Wasser, welches bei stärkeren Neigungen ein mächtiges Agens ist, ist bei flachen Neigungen zur Erklärung ebenfalls unzureichend.

Es müßte in solchen Fällen die Gestalt des Querschnittes der einzelnen Bodenwellen genau festgestellt und dann die Untersuchung darauf gerichtet werden, ob ein Verhältnis dieser Gestalt zur Breite der Wellen und zur Bodenart besteht, und in wie fern die äußere Kurve eine Funktion derjenigen der Oberfläche des Grundwassers ist.

Am deutlichsten ist der dargestellte Effekt bei denjenigen Bodenarten, welche die Neigung zu vertikaler Absonderung haben, vor allen bei dem Löß.

Wo immer diese Bodenart im Großen auftritt und durch bis auf den Untergrund hinabreichende Erosionsfurchen abgeschlossen ist, hat sie ihre ursprüngliche Oberflächen-gestalt, welche diejenige au-



ßerordentlich flacher Mulden ist nicht bewahrt. An ihre Stelle ist ein Abfallen in Terrassen gegen die Abflußrinnen hin getreten (Abb. 15.) An den Wasserscheiden ist die Ausbreitung in der Regel fast eben. Wenn man dann gegen die tief eingeschnittenen Abflußrinnen zu schreitet, stellen sich erst in weiten Abständen vereinzelt Terrassenabfälle von geringer Höhe ein; dann werden ihre Horizontalabstände immer kleiner, der vertikale Abfall zugleich immer grösser. Der labyrinthische Charakter der Lößlandschaften wird wesentlich dadurch hervorgebracht, daß die Terrassenbildungen sich in jeden Zufluß hinein, und von diesem wieder in dessen tributäre Abflußkanäle hinein, verzweigen, und jedes solches Rinnsal sein eigenes Terrassensystem hat. Diese Terrassen sind mit großer Wahrscheinlichkeit durch das Nachsinken des Löß in Folge der Fortführung löslicher Bestandteile und der mechanischen Erosion am Boden entstanden. Das beständige Fortschreiten des Vorganges läßt sich in dem Rückwärtswachsen der Schluchten und der Entstehung der „Lößbrunnen“ beobachten. Es bildet sich hier nicht eine gleichmäßige Oberflächenkurve wie bei anderen Bodenarten, da die große Konsistenz des Löß, verbunden mit seiner Neigung zu vertikaler Absonderung, nur ein Abstürzen in Terrassen durch Senkung entlang vertikalen Brüchen gestattet. [*1]

[*1]: Diese Erklärung der Löß Terrassen ist abweichend von derjenigen, welche ich bei früheren Gelegenheiten, insbesondere in „China“ Band I., zu geben versuchte. Ich habe sie selbst längst an deren Stelle gesetzt, weil mir die mechanische Unmöglichkeit, die Formen und Anordnung der Terrassen durch die Absonderung horizontaler Bänke zu erklären, klar wurde. Um die hier gegebene Erklärung zu prüfen, wird es zweckmäßig sein, Profile in Löß Ländern über Lößbrücken hinweg, oder von einem Lößbrücken zu einem anderen quer über das zwischenliegende Schluchten-system nach genauem Maße zu konstruieren. Auch auseinandergerissene Bauwerke, von denen zuweilen ein Teil viele Meter tief senkrecht hinab gesunken ist, erhärten den Beweis. Man könnte vielleicht an ihnen einen Anhalt gewinnen, um die Schnelligkeit des Vorganges annähernd zu bestimmen.

[§59] Quellen in Schichtgestein. — Als Tiefen-Schichtquellen können alle Quellen bezeichnet werden, welche dem unter der obersten undurchlassenden Schicht zirkulierenden Wasser ihre Entstehung verdanken. Sie entsprechen den Verhältnissen, welche die Anlage der artesischen Brunnen (§ 53) voraussetzt. Ist bei dem in Fig. 16 dargestellten Becken der linke Rand bedeutend höher als der rechte, so befindet sich das Wasser bei a unter einem hydrostatischen Druck, welcher dem Höhenunterschied von b und a entspricht, und wird in mächtigen Quellen aufsteigen. Dasselbe wird an einer Stelle in der Mitte des Beckens der Fall sein können, wenn eine Verwerfungskluft, wie in Fig. 17, das Schichtensystem durchsetzt, und das Wasser an ihr einen Ausgang gefunden hat. Manche Seen mögen in dieser Weise gespeist werden.

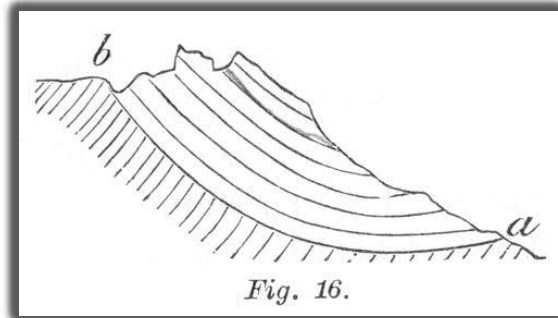


Fig. 16.

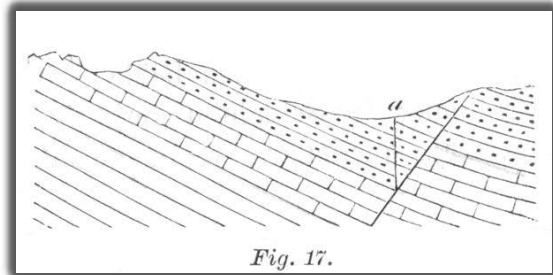
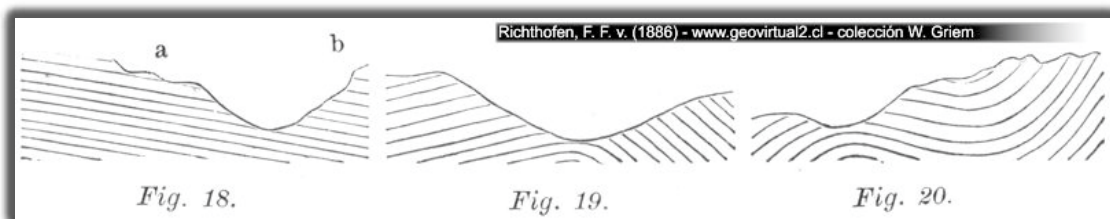
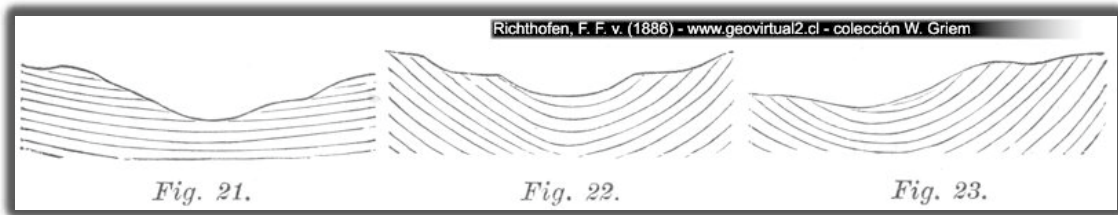


Fig. 17.



Dieser einfache Fall modifiziert sich in verschiedener Weise in Gebirgen, welche aus gefalteten Sedimentgesteinen bestehen. Bezüglich der in ihnen vorwaltenden Talformen (s. Cap. XVI) läßt sich leicht erkennen, daß im Allgemeinen, wenn nicht Klüfte oder Furchentäler die Regelmäßigkeit der Zirkulation beeinträchtigen, ein Tal in isoklinen Schichten (Fig. 18) eine quellenreiche und eine quellenarme Seite haben wird. Diese Ursache vereinigt sich mit dem Umstand des leichten Abrutschens der durch die Quellen erweichten Schichten, um, besonders bei steiler Schichtenstellung, die Vorzüge der Seite b gegen die Seite a bei Eisenbahnbauten hervortreten zu lassen, ein Umstand, dessen Vernachlässigung sich in einigen Fällen, z. B. an dem nördlichen Teile der Brennerbahn, in verhängnisvoller Weise fühlbar macht. Ein in antiklinen Schichten eingesenktes Tal (Fig. 19) ist quellenarm, wenn nicht, wie in Fig. 20, auf einer Seite eine Umbiegung in solcher Weise stattfindet, daß das Aufsaugungsniveau höher liegt als das Ausbeißen der

wasserführenden Schichten an der Talwand. In einem Tal mit synklinaler Schichtenstellung können beide Gehänge quellenreich sein, wenn die Neigung der Schichten geringer ist als diejenige der Gehänge (Fig. 21), quellenarm wenn sie die letztere übertrifft (Fig. 22).



Doch kann dann der oben dargestellte Fall eintreten, daß eine Seite höher liegt als die andere, und dann an dieser ein Ausfließen des Wassers stattfinden (Fig. 23). In Quertälern haben diese einfachen Gesetze wenig Anwendung. Sie öffnen jeder wasserhaltenden Schicht, welche sie durchschneiden, einen Ausweg; daher sind sie im Allgemeinen reicher an Quellen als Längstäler.

In Gebirgen, welche aus Eruptivgesteinen aufgebaut sind, bringen Einlagerungen von Tuffen, die sich meistens leicht mit Wasser vollsaugen, oft großen Quellenreichtum hervor. Wo Tuffe fehlen, können die Klüfte, welche solche Gesteine zu durchsetzen pflegen, in große Tiefe hinab reichen. Hier versinkt das Wasser bis es aufgehalten wird. Quellen mögen zum Teil dadurch hervorgerufen werden, daß das Wasser bis zu einem gewissen Niveau alle ihm zugänglichen Räume ausfüllt und der Überschuß hervorquillt. Oder die Klüfte mögen einen Ausweg für Wassermassen bilden, welche sich in der Tiefe, vielleicht in Folge der Stellung von benachbarten Sedimentgesteinen, unter hohem hydrostatischem Druck, befinden. Im ersteren Fall wird das Wasser kalt sein und der Ausfluß wird periodischen Schwankungen unterliegen; im zweiten werden kontinuierliche warme Quellen vorhanden sein. Letztere sind häufig an Eruptivgesteine gebunden, so daß deren Rolle als Vermittler einer Verbindung der Tiefe mit der Oberfläche ersichtlich wird.

Es ergibt sich hieraus der Unterschied zwischen absteigenden und aufsteigenden Quellen. Dazwischen liegen zahlreiche Mittelstufen. Zu den absteigenden Quellen sind auch die kalten Ströme zu rechnen, welche aus zerklüftetem Kalkgebirge hervorbrechen. Man hat zuweilen den einen oder anderen derselben als die unmittelbare Fortsetzung eines Stromes, welcher in einer Höhlung verschwand, erkennen können. Auch wo Wasser in zerklüfteten Kalkstein ein dringt, hat man mitunter sein wiedererscheinen deutlich nachgewiesen, wie insbesondere in dem Fall der Aachquellen, deren Ursprung aus versunkenem Donauwasser durch Knop festgestellt wurde. Aber häufig hat man die unterirdischen Verbindungen mit zu großer Sicherheit als bestehend angenommen, so in dem Fall der versinkenden arkadischen und der aus dem Gestein quellenden argivischen Ströme. Wo, wie hier, die eindringenden Ströme einen periodisch sehr wechselnden Stand haben, die hervorbrechenden dagegen eine gleichmäßige Wassermasse führen, wird vielmehr anzunehmen sein, daß der durchaus zerklüftete Kalkstein alles eindringende Wasser aufnimmt, und daß dadurch ein beständiges, ganze Gebirge umfassendes Reservoir gebildet wird, dessen Überschuß an verschiedenen Stellen abströmt.

[§60] Es sollte nie versäumt werden, die Temperatur des Quellwassers zu messen. Man nennt kalte Quellen diejenigen, deren Temperatur der mittleren Jahrestemperatur der Luft an dem betreffenden Ort entspricht oder geringer ist; als warme Quellen bezeichnet man solche, deren Temperatur höher ist. Absteigende Quellen werden in der Regel kalt sein; aber wenn ihr Wasser mächtige Gebirgsmassen durchströmt hat, wo sich die Temperaturzunahme nach dem Erdinneren geltend macht, können sie warm sein. Auf den komplizierten Wegen, welche das Wasser zwischen gebogenen Schichtmassen zurückzulegen vermag, kann es Tiefenregionen von

verschiedenen Wärmegraden durchströmen. Erscheint es an der Oberfläche als warme Quelle, so kommt es mit Wahrscheinlichkeit aus größerer Tiefe; erreicht es dieselbe als kalte Quelle, so ist dies kein Beweis, daß es sich nur in oberflächlichen Schächten bewegt hat. Es handelt sich hierbei gewöhnlich um Temperaturgrade, welche nur wenig um das Jahresmittel des betreffenden Ortes schwanken. Einen anderen Anhalt für die Grenze des Begriffes „warme Quelle“ oder Therme hat man in der Temperatur von 30^o C. angenommen, da dies ungefähr die obere Grenze der auf der Erde vorkommenden Jahresmittel der Lufttemperatur ist. Doch kann dies nicht als zweckmäßig angesehen werden.

Warme und heiße Quellen in vulkanischen Gegenden, welche ihre Temperatur der Berührung mit einer in geringer Tiefe liegenden Wärmequelle verdanken können, sollen später (§ 250) besonders besprochen werden. Wo sie sich in nicht vulkanischen Gegenden finden, kann man sie als natürliche artesischen Brunnen betrachten, indem das unter hohem hydrostatischem Druck befindliche Wasser einer in großer Tiefe gelegenen Region eine Öffnung nach der Oberfläche gefunden hat. In dem dadurch hervorgebrachten System kommunizierender Röhren mag ein Schenkel in den Schneeregionen eines benachbarten Hochgebirges liegen. Das hinabsteigende Wasser wird erhitzt und dringt mit Gewalt an die Oberfläche. Aus seiner Temperatur kann man auf die Tiefe schließen, aus der es kommt. Es ist zu untersuchen, ob die Nachbarschaft von Granit, Porphyr oder anderen Eruptivgesteinen auf die Bildung und Art des Ausgangsweges Licht wirft, oder ob, wenn diese fehlen, Verwerfungsspalten nachgewiesen werden können.

Die Bestimmung des Gehaltes des Quellwassers an mineralischen Bestandteilen ist zwar Gegenstand genauer chemischer Analyse im Laboratorium, und nur ausnahmsweise wird eine Quelle hinreichend wichtig erscheinen, um dem Reisenden die Mühe des Transportes einiger mit ihrem Wasser gefüllter Flaschen zu verlohnen. Aber zuweilen läßt sich ein Teil der Bestandteile leicht erkennen, und sie können von Interesse sein, wenn es sich um die Funktionen des in der Erde zirkulierenden Wassers bei Betrachtung größerer Regionen handelt. Das mit Kohlensäure und Sauerstoff beladene Wasser löst einzelne Gesteine (s. § 42, 45, 46), wie Steinsalz, Gips, Kalkstein, Dolomit, und zersetzt andere, darunter besonders die feldspathhaltigen Felsarten, und nimmt die löslichen Zersetzungsprodukte mit sich. Der größte Teil dieser Bestandteile wird von den Quellen den Flüssen und von diesen dem Meer zugeführt. Aber indem das Wasser einen Teil seiner freien Kohlensäure verliert, setzt es zuweilen schon am Austrittsort der Quelle einige Bestandteile ab, welche nur der Gehalt an dieser Säure ihm in Lösung fortzuführen gestattete. Dies ist vor allem der kohlen-saure Kalk, welcher oft in mächtigen Massen von Kalktuff abgesetzt und dann gewöhnlich mit kohlen-saurer Magnesia und anderen mineralischen Stoffen gemengt ist. Immerhin gibt er nur ein schwaches Bild der ungeheuren Menge fester Bestandteile, welche die Gewässer den Gesteinen in Lösung entziehen. Der Beobachtung bieten sich auch Absätze von Eisenerz, schwarze manganhaltige Inkrustationen und, bei heißen Quellen, Überzüge von Kieselerde dar.

Besondere Aufmerksamkeit ist dem Vorkommen von Salzsole zu schenken. Kommt sie in Quellen vor, oder wird sie durch Brunnen erbohrt? In welcher Tiefe erreichen sie diese? In welchem Gestein setzen die Bohrlöcher an, und wie ist das Liegende derselben nach sonstigen Aufschlüssen beschaffen? Wie lagert die ganze Formation, in welcher die Sole vorkommt? Füllt sie ein Becken aus? Sind es sandige und tonige Schichten? Kommt Gips vor? und in welcher Weise? Lassen die Verhältnisse darauf schließen, daß das Salz aus einem abgeschlossenen Meerwasserbecken niedergeschlagen wurde? Ist das gewonnene Salz rein?

Alle durch Sickerwässer und Quellen aus Boden und Gestein in Lösung entführten Bestandteile werden nach den Flüssen und durch diese in das Meer getragen. Die Methode, wie sich ihre Menge für größere Landstriche berechnen läßt, wird an einer anderen Stelle erwähnt werden.

[§62] Einfluß der inneren Wasserzirkulation auf Gebirgsformen. — Es wurden im Vorhergehenden einzelne Fälle äußerer Umgestaltung durch die Einwirkung des unterirdisch zirkulierenden Wassers teils ausgeführt, teils beiläufig angedeutet. Es gibt nur wenige Fälle, in denen das letztere eine örtliche Volumenvermehrung, daher ein Anschwellen des Bodens nachweislich zur Folge hat. Dies findet besonders bei der durch die Aufnahme von Wasser sich vollziehenden Umwandlung des Anhydrits in Gips statt, einen Vorgang, dem wahrscheinlich eine erhebliche Wichtigkeit zukommt, indem dadurch die tonigen Ablagerungen, welche die Salzstöcke begleiten, häufig zu einem dieselben dicht umgebenden Mantel eng zusammengefaltet worden sind. Andere Fälle, in denen eine Volumenvermehrung möglich ist, werden später zu erwähnen sein. Weit allgemeiner nachweisbar sind die auf Substanzentziehung beruhenden Funktionen des Wassers. Am deutlichsten ersichtlich sind sie dort, wo in Folge der Lösung (§ 45) Höhlungen gebildet werden, durch welche Ströme ihren Lauf nehmen können, oder wo durch das Nachstürzen des Daches solcher Hohlräume Vertiefungen an der Oberfläche entstehen. Dieselben können vielfach verschiedene Gestalt annehmen. Von großem Einfluß auf äußere Bodenformen ist wahrscheinlich auch das langsame Nachsinken von Schichtgesteinen, aus denen einzelne Bestandteile durch das zirkulierende Wasser entfernt werden. Der Prozeß vollzieht sich zuweilen ruckweise und ist dann mit kleineren Erdbeben verbunden. — Eine andere wichtige Folge, teils der intensiven Durchfeuchtung gewisser Gesteine, teils der Lockerung des Zusammenhaltes durch Stoffentziehung, sind Bergrutschungen und Bergstürze. Sie tragen wirksam zur Umgestaltung der Gebirge bei. Es ist ihnen besonders in regenreichen Gebirgen Beachtung zu widmen, und ihre nächste Ursache in jedem einzelnen Fall zu untersuchen.

[p. 133]

Sechstes Kapitel.

Beobachtungen über die mechanische Arbeit der fließenden Gewässer.

[§63] Das Wasser, welches durch Niederschläge, Schmelzen von Schnee und Eis, oder durch Quellen an eine Stelle der Erdoberfläche gekommen ist, dringt zum Teil in den Boden ein (§ 49), zum Teil verdunstet es. Der Überschuß, welcher gleich Null sein kann, häufig aber weitaus überwiegend ist, bewegt sich auf der Erdoberfläche fort, wo immer sich ihm die Möglichkeit bietet, dem Gesetz der Schwere gemäß von einem höheren nach einem niederen Ort zu gelangen. Die Wege sind in erster Linie durch die Konfiguration des Festen gegeben. Ist an einer Stelle der Ausweg durch eine Bodenerhöhung versperrt, so sammelt sich das Wasser zu einem See und setzt, wenn es nicht durch starke Verdunstung beständig in einem zu geringen Niveau gehalten wird, über den niedersten Teil der Umrandung seinen Lauf fort. Flüsse entstehen aus der Vereinigung verschiedener größerer und kleinerer Rinnsale. Sie erreichen ihr Ende im Meer, oder in einem abflußlosen See, oder durch Versiegen in gelockertem Boden. Der Reisende hat dort, wo genaue Karten noch nicht vorhanden sind, die Aufgabe, die Linien der Flußläufe und ihrer Verzweigungen graphisch niederzulegen. Außerdem bietet sich ihm überall, auch in den bekanntesten Ländern, Gelegenheit zu Beobachtungen über die Gestalt der Flußbetten, sowie der Hohlformen, in deren Boden diese gelegen sind. Man sollte sich daran gewöhnen, dieselben als das Produkt mechanischer Vorgänge zu betrachten, unter denen die Arbeit des fließenden Wassers eine hervorragende, mitunter die einzige Rolle spielt; denn das Verständnis eines Flusses und der von ihm durchströmten Täler kann nur durch das Erfassen seiner Entwicklungsgeschichte gewonnen werden. Einfachen Gesetzen unterliegt die Arbeit des strömenden Wassers; aber die Wirkungen gestalten sich verschieden, je nach dem Zusammentreffen einer Reihe von Umständen, welche teils in dem Betrag der Kraft und der Art ihres Ansatzes und ihrer Verteilung, teils in den Widerständen des Mediums und den in demselben sich vollziehenden Formänderungen beruhen.

Allgemeine Gesetze. — Jedes Teilchen eines nach dem Ozean fließenden Gewässers besitzt durch seine Lage über dem Meeresniveau eine potentielle Kraft, welcher theoretisch die Arbeit, die das Teilchen durch den freien Fall bis zur Meeresfläche leisten könnte, äquivalent ist. Diese Kraft stellt andererseits die Arbeit dar, welche die Sonnenstrahlen durch den Transport des Teilchens vom Ozean nach jener Höhe über demselben geleistet haben. Das Wasser fällt nicht frei zum Meer, sondern fließt auf einer geneigten Fläche nach demselben hinab. Wäre keine Reibung zu überwinden, so würde es im Durchschnitt mit stetig steigender Geschwindigkeit in seinem Bett hinabgleiten. Allein durch fortdauernde innere und äußere Reibung und gleichzeitige Verriehung äußerer Arbeit wird die Geschwindigkeit in Grenzen gehalten, welche überdies in Folge des verschiedenen Gefälles örtlich wechseln. Stürzt das Wasser über eine freie Wand, so kommt für diese Strecke das Gesetz des freien Falles zur Geltung; die ganze Arbeit wird am Fuß des Sturzes verrichtet. Erreicht es denselben Vertikalabstand auf langem Weg, so wird die Arbeit auf diesen verteilt. An jeder einzelnen Stelle besitzt das bewegte reine Wasser eine mechanische Kraft, welche dem Produkt seiner Masse und des Quadrates seiner Geschwindigkeit entspricht.

Ist der Widerstand eines im Wege befindlichen Körpers geringer als der seinem Querschnitt entsprechende Teil jener Kraft, so wird er fortbewegt, so weit bis er entweder gegen eine feste widerstehende Masse zu liegen kommt und dadurch seine Bewegung verliert, oder bis er an eine Stelle des Stromes gelangt, wo das Wasser in Folge der Verminderung seines Gefälles, daher auch seiner Geschwindigkeit, geringere mechanische Kraft hat, und der durch das Gewicht des Körpers geleistete Widerstand ihm zu groß wird. Dann bleibt jener liegen. Wird die Bewegung gleich Null, so sinken alle mitgeführten Stoffe, jedoch mit ungleicher Geschwindigkeit, zu Boden.

Außer dieser rein mechanischen Arbeit übt das Wasser auch noch eine erweichende und eine lösende Wirkung aus und vermindert dadurch die Widerstände, welche ihm die Teilchen der Gesteine entgegenzusetzen, so daß es dieselben leichter losreißen kann. Es wird darin durch die atmosphärische Einwirkung, den Frost und die Vegetation unterstützt.

Sowie das bewegte Wasser einzelne feste Teilchen in sich aufgenommen hat, wird zwar seine Kraft durch den Betrag der nun auf den Transport derselben zu leistenden Arbeit vermindert; aber doch werden gewisse Arten seiner Wirkung intensiver, einmal weil die lebendige Kraft der festen Mineralteilchen wegen ihrer größeren Masse diejenige gleicher Volumina des Wassers bei gleich schneller Bewegung übersteigt; sodann deshalb, weil der Stoß eines vom Wasser getragenen festen Körpers auf einen Punkt oder, einen kleinen Baum konzentriert werden kann, wie man an einem treibenden Balken ersieht, welcher trotz seiner geringeren Masse einen weit größeren mechanischen Effekt beim Anprall ergibt, als das gleiche Volumen Wasser; denn es kommt dabei die lebendige Kraft der ganzen Masse des Balkens zur Geltung, während die Wasserteilchen sich verschieben und viel Kraft in innerer Reibung verbrauchen. Dieselbe Wahrnehmung macht man bei schwimmenden Eisschollen, oder an einem fortbewegten Kiesel, welcher einen anderen, gegen den er stößt, fortschiebt, während das Wasser allein denselben nicht bewältigen würde. Aus dem gleichen Grund wirken feste Körper durch ihre Härte, und je nach dem Grad derselben mehr oder weniger, reibend und schleifend. Diese Wirkung kann das reine Wasser gar nicht, oder doch nur in äußerst minimalem Grad ausüben. Die festen Körperchen, insbesondere die Sandkörner, sind in die glatte, den Fels bespülende Fläche des Wassers gleichsam eingeknetet, und das Wasser übt dadurch die Wirkung einer Feile. Die Arbeit ist auch derjenigen des Sandstrahlgebläses oder der äolischen Korrasion (§ 194) zu vergleichen.

Die mechanische Arbeit läßt sich somit in vier Faktoren zerlegen. Sie sind:

1. Die Loslösung oder Ablation gelockerter fester Stoffe durch die Kraft des fließenden Wassers allein; sie äußert sich ebenso, wenn starker Regen auf geneigtes Ackerland fällt, und das mit erdigen Teilen beladene Wasser sich in Rinnsalen sammelt, wie bei angeschwellten Wildbächen, welche Felsblöcke fortreißen.
2. Der Transport der mechanisch suspendierten festen Stoffe.
3. Die Reibung der suspendierten Teile gegen die Wände des Kanals. Man bezeichnet sie als Korrasion. Es wird dadurch neues Material dem Fluß zum Transport überliefert.
4. Die Ablagerung alles festen Materials.

Durch diese verschiedenen, aber in jedem Fall mit einander verbundenen Arten der Tätigkeit wird das fließende Wasser zu einem der mächtigsten Faktoren in der Umgestaltung der Erdoberfläche. Man faßt den ersten und dritten Faktor auch als „Erosion“ zusammen und bezeichnet damit die Gesamtheit derjenigen Tätigkeit des Wassers, welche in der Entführung festen

Materials von höher gelegenen Orten gegen tiefere hin und der dadurch sich vollziehenden Vertiefung, Ausfurchung und Erweiterung der von ihm eingenommenen Kanäle besteht.

A. Normale Ausbildungsformen der Abflußrinnen.

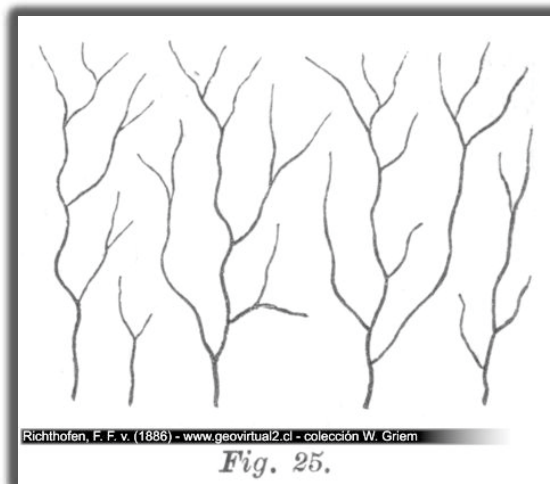
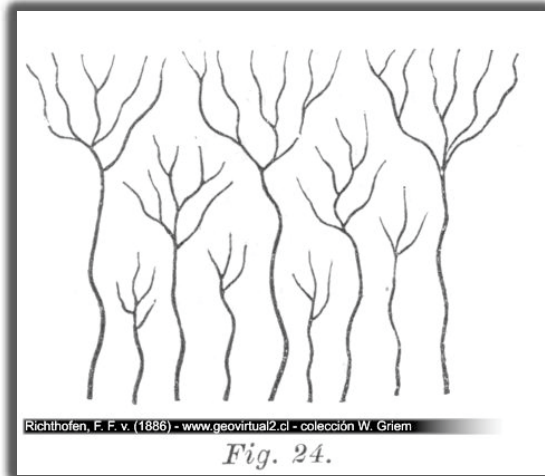
[§64] Die gestaltenden Wirkungen des fließenden Wassers lassen sich leicht an lockerem, homogenem, gleichförmig abfallendem Boden, über welchen ein gleichmäßiger Niederschlag stattfindet, erkennen, wie z. B. an den feinkörnigen Auswürflingen, welche den untersten Theil des Mantels eines vulkanischen Aschenkegels bilden, an den Wänden von Eisenbahneinschnitten in sandigem Lehm, oder an frisch aufgeworfenen, nicht zu steil abgeböschten Dämmen. Jedes Rinnsal, in dem das Wasser sich unter den angegebenen einfachen Verhältnissen sammelt und zerstörend hinabfließt, bildet sich zu einem normalen, stets die gleiche Grundform anstrebenden Erosionsschema aus, und ebenso läßt sich eine normale Anordnung der Erosionskanäle erkennen, welche jedoch, je nach dem Neigungswinkel des Gehänges, der gradlinigen oder (konvex oder konkav) gebogenen Form der Linie, in welcher eine Horizontalebene das Gehänge schneidet, und je nach dem feineren oder gröberem Korn des Erdreiches, manche unter gleichen Umständen ebenfalls wiederkehrende Besonderheit besitzt. Überall bietet sich Gelegenheit, diese elementare Ausbildung zu beobachten; doch ist dies noch keineswegs mit erwünschter Vollständigkeit geschehen. Wer die Erscheinungen der Erosion überhaupt zum Gegenstand des Studiums machen will, tut am besten, sich erst mit diesen Vorgängen unter den einfachsten Verhältnissen bekannt zu machen. Denn es sei gleich bemerkt, daß die unendliche Mannigfaltigkeit der Erosionsformen, welche wir in Gebirgstälern und in der Natur allenthalben beobachten, im Wesentlichen solche Abweichungen von dem Normalschema und der normalen Anordnung sind, welche durch eine Reihe von modifizierend eintretenden Umständen hervorgebracht werden.

[§65] Ursprüngliche Anordnung der Wasserrinnsale in der Horizontalprojektion. — Auf einer gleichförmigen schiefen Ebene, im feinerdigsten und homogensten Material, würde das in unendlich feiner Verteilung auffallende Wasser in dicht bei einander liegenden parallelen, nach unten sich vertiefenden Rinnen abfließen. Auf einem Kegelmantel würde es in radialen Linien ablaufen, und je weiter hinab, desto mehr Linien würden sich einschieben. Die von der Spitze herabkommenden würden tiefer geschnitten sein, als diejenigen, in welchen das Wasser nur einen Teil desselben Weges zurückgelegt hätte. Ist hingegen die gleichförmig abfallende Fläche trichterförmig oder amphitheatralisch gestaltet, so konvergieren sämtliche Rinnen gegen einen Punkt.

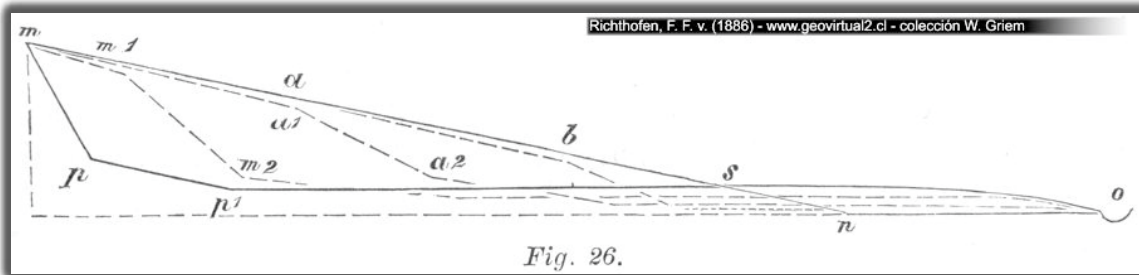
Jede Abweichung von völliger Gleichmäßigkeit, wie der Fall des Wassers in starken Regentropfen, örtliche Wechsel in der Menge des Niederschlages, oder das Vorkommen grober Körner in dem sonst homogenen Material, veranlaßt eine Differenzierung der Verteilung, indem einzelne Kanäle seitlich abgelenkt werden und sich mit anderen vereinigen. Je zahlreicher und stärker diese ablenkenden Einwirkungen, und je geringer die Kraft des Wassers zu ihrer Überwindung, desto mehr werden die Kanälchen zu einzelnen Haupttrinnen zusammentreten. Am Ebbestrand, wo Muscheln und Tange zerstreut im Sand liegen, kann man dies leicht beobachten. Denkt man sich einen solchen Ebbestrand dauernd aus dem Meer gehoben und durch gleichmäßigen Regen häufig benetzt, so werden sich die Abflußsysteme schärfer ausbilden. Die Menge des auf der

ganzen Fläche herabströmenden Wassers nimmt in geradem Verhältnis zu der Entfernung von dem oberen Rand gegen den unteren zu. Denken wir uns nun die Böschung vollkommen gleichmäßig und die Abweichungen von der homogenen Beschaffenheit des Materials, etwa in Gestalt kleiner Muschelschalen, ganz gleichmäßig verteilt, so wird am obersten Rand das herabströmende Wasser sehr geringe Kraft zur Überwindung der von denselben gebotenen Widerstände haben, daher vielfach abgelenkt werden. Die abgelenkten Kanälchen vereinigen sich gruppenweise zu etwas größeren Rinnen. Jede von diesen führt die Gesamtmasse des Wassers der Kanälchen, aus denen sie entstand. Ist dieselbe nun hinreichend, um die (gleichmäßig gedachten) Hindernisse zu überwinden, so werden die Rinnen wieder parallel hinabziehen. In welchem Abstand dieselben sich von einander befinden, wird von der Menge des auffallenden Wassers, dem Neigungswinkel der schiefen Ebene und der Größe des durch die Hindernisse gebotenen Widerstandes abhängen. In dem oberen Teil des zwischen je zwei Abzugsrinnen befindlichen Raumes bilden sich neue Sammelkanälchen; sie vereinigen sich zu Abzugsrinnen einer zweiten Ordnung, welche, da sie weiter hinab auf der schiefen Ebene ihren Anfang nehmen, an jedem Punkt weniger Wasser führen, als die Abzugskanäle erster Ordnung an dem derselben Isohypse entsprechenden Punkten. Noch geringere Wassermenge und geringere Länge werden die Abzugsrinnen einer dritten, wieder etwas weiter abwärts eingeschobenen Ordnung haben.

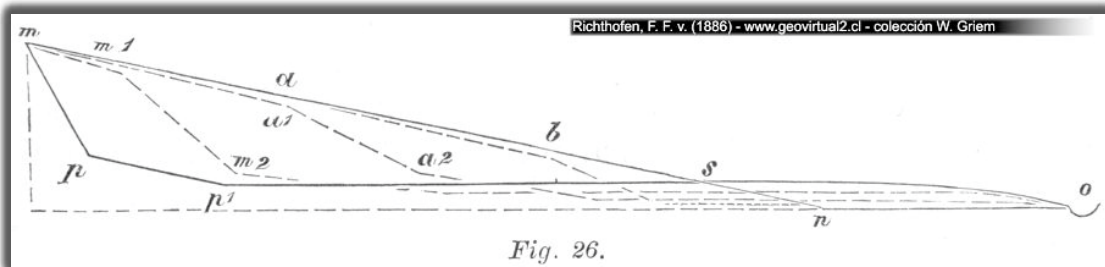
Dieses in Fig. 24 dargestellte einfache Schema ist der Grundtypus allen Wasserabflusses. Stets ist ein Sammelgebiet vorhanden, dessen Gewässer sich in einer Abzugsrinne vereinigen. Je grösser in der Natur die Gleichmäßigkeit von Böschung und Material, desto mehr nähert sich das natürliche Verhältnis in der ursprünglichen Anlage der Theorie; je ungleichmäßiger die Neigungswinkel, je wechselnder die Bodenarten nach ihrer Beschaffenheit, und je verschiedenartiger die Hindernisse sind, desto grösser sind die Abweichungen. Wenn auf dem gedachten Ebestrand noch einzelne größere, ebenfalls gleichmäßig verteilte Hindernisse hinzukommen, so werden die Kanäle zweiter und dritter Ordnung nach denen erster Größe abgelenkt werden, oder umgekehrt; aber wenn auch damit das System jedes Kanals komplizierter wird, so wird doch jedes Teilrinnal die ursprüngliche Zusammensetzung aus einem Sammelbecken und einer einfachen Rinne bewahren, wie dies, ebenfalls rein schematisch, in Je weiter wir uns die Fig. 25 zur Anschauung gebracht ist. schiefe Ebene in der Richtung des Fließens verlängert denken, und je größere Hindernisse wir den einzelnen Strömen entgegensetzen, mehr wird die Vereinigung zu seren Hauptströmen erfolgen; in jedem Raum zwischen je Rinnen wird sich immer wieder ein entsprechendes Abfluß-Schema in vielfacher Wiederholung ausbilden.



[§66] Plastische Ausgestaltung der Rinnsale. – Wenn $m n$ (Fig. 26) die Vertikalprojektion eines der ursprünglichen Wasserläufe auf der schiefen Abfallsebene über homogenem Material, ma die Strecke des Sammelbeckens, b der Einmündungspunkt von zwei größeren Zuströmungskä-



nälen und no eine dem Abfall vorgelagerte sanftgeneigte Talfläche darstellt, in welcher letzterer ein größerer Fluß bei o seinen Lauf nimmt, so rinnt in ma die geringste, in ab eine größere, in bn die größte Wassermasse, und in entsprechendem Maße ist die Kraft bis n verteilt, so lange das Gefälle gleichmäßig bleibt. In Folge dessen bildet sich ein nur wenig eingeschnittener, aber doch von oben nach unten an Breite und Tiefe zunehmender Kanal. Das fließende Wasser ist nun bestrebt, den gesamten Kanal zu einer senkrecht mit gleichmäßiger Breite niedergehenden Furche zu vertiefen und an der Herbeiführung dieser Gestalt so weit zu arbeiten, als seine Kraft ausreicht. Zunächst kann diese Kraft an keinem Punkt oberhalb n einen wirksamen Ansatz ausführen. Von diesem Punkt beginnt daher die Arbeit der Austiefung, und von ihm schreitet sie nach rückwärts fort. An einem beliebigen Punkt (x) Fig. 26 a kann man sich die Arbeit in sukzes-



sive Stadien zerlegt denken. Ist dort eine geringe Austiefung geschehen, so kann die gleichartige Arbeit in sich verringerndem Grade nach rückwärts ausgeführt werden, ebenso in jedem weiteren Stadium der bei x sich vollziehenden Austiefung. Es bildet sich die Rinne $b x' r$. So wie die erste Arbeit des Ausräumens von Material bei n einsetzt, beginnt dasselbe in Front von n wegen der plötzlich verminderten Tragkraft zu Boden zu sinken; erst fällt das gröbere nieder, weiterhin das feinere bildet sich ein Dejektionskegel (§ 83). Der Boden bei n wird also erhöht, mithin das Wasser hier gestaut, und der Ausflußpunkt nach n' verlegt, während gleichzeitig in einer rückwärts gelegenen Strecke, in Folge des Eingrabens, das Gefälle, und damit die Kraft des Flusses vermehrt worden ist. Es findet eine Zerlegung der ursprünglich gleichmäßig verteilten Kraft in eine Strecke der Steigerung und eine solche der Verminderung statt. Die größeren Sedimente beginnen nun schon niederzufallen, ehe sie n' erreichen, während der Dejektionskegel noch immer bei n' erhöht, vor Allem aber, durch Ablagerung des feineren Materials, peripherisch erweitert wird. Sowie das erste Stadium der Vertiefung des Bettes bis b hinaufgerückt ist, schreitet dieser Vorgang von b gegen a (Fig. 26) hin fort, aber mit einer dem Verhältnis der Wassermasse entsprechenden geringeren Intensität. Gleichzeitig schreitet noch von n aus der Punkt, in welchem die Ablagerungsstrecke und die Strecke vermehrten Gefälles sich berühren, zurück, und er kommt allmählich bei b^3 an. Der Wasserlauf zerfällt nun in mehrere Teile; sie sind:

- 1) ein ganz oberflächlicher Kanal m, a , welcher einer aus der größeren Zahl von Sammelkanälen ist;
- 2) ein sich allmählich vertiefender Kanal ab_1 , in welchem schwache Erosion stattfindet;
- 3) eine Strecke steilen Gefälles $b_1 b_2$, in welcher die Erosion am stärksten ist; dann folgt in der Regel
- 4) ein zwischen hohen Talwänden gelegener Teil, $b^{\circ} b_8$, in welchem weder Erosion noch Ablagerung stattfindet;
- 5) eine gegen den Ausgang des Tales gelegene Strecke, in welcher die gröberen Sedimente liegen bleiben;
- 6) der Dejektionskegel $n^1 o$ außerhalb des Berglaufes. Der letztere fehlt selbstverständlich, wenn ein Strom am Fuß des Gehänges hin fließt und Kraft genug hat, die empfangenen festen Stoffe fort zu transportieren.

Es ist klar, wie der Schauplatz der größten Kraftentfaltung allmählich von $b^1 b^2$ nach $a^1 a^2$ und über dieses hinaus in das Sammelbecken $m m_1$ hinein zurückschreitet, und gleichzeitig die verschiedenen, oben bezeichneten Strecken nach derselben Richtung hin verlegt oder ausgedehnt werden. Die Neigungswinkel der Sohlen werden in den oberen Teilen steiler, in den unteren flacher, und die Höhe der steilen Strecke nimmt zu. Damit kommt die Zerlegung des ursprünglichen Wasserlaufes in eine Strecke intensiver Arbeitsleistung und eine solche gänzlicher Unfähigkeit, den Boden tiefer auszunagen, vollkommen zur Geltung. Zwischen beiden ist eine neutrale Strecke, welche zuweilen sehr kurz ist, zuweilen aber eine beträchtliche Länge erreicht. Durch sie wird das aus dem Sammelbecken losgelöste Material hindurch transportiert. Schreitet die Erosion noch weiter zurück, so bekommt die Talsohle die Gestalt $m p^1 s$, während $s o$ den äußeren Dejektionskegel bezeichnet.

In Wirklichkeit hat die Linie des Endprofils nicht eine winkelige Gestalt, sondern diejenige einer Kurve. Sie bezeichnet die Grenzen der mechanischen Wirkung, welche das Gewässer bei gegebenem Maße allmählicher Zunahme der Wassermasse von oben nach unten und bei gegebenem Material zu leisten vermag. Ist sie hergestellt, so findet weder Erosion noch Ablagerung weiterhin statt. Ihre Gestalt ändert sich mit dem Material und mit der ursprünglichen Wassermasse und kann wegen der letzteren Abhängigkeit auch in demselben Flußbett Änderungen im Lauf der Zeit erleiden. Wie immer die Verhältnisse beschaffen und wie die Gehänge gestaltet sein mögen, der Fluß strebt stets, die durch die Gesamtsumme der Bedingungen geforderte Kurve, bei welcher seine Tätigkeit in vertikaler Richtung erlischt, herzustellen.

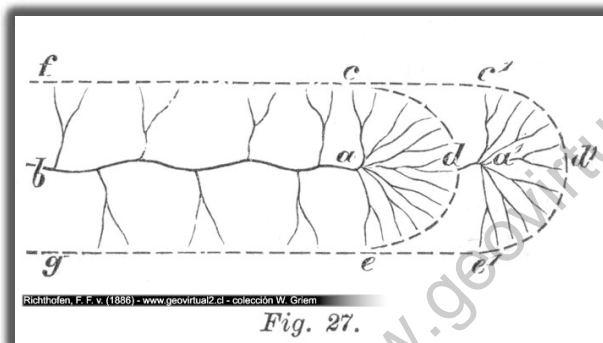
Die vertikale Erosion ist nur auf die Bildung einer Furche in der Breite der Wassersohle gerichtet. Diese klammartige Gestalt der Rinnen wird indessen nur in Ausnahmefällen streckenweise erreicht; denn die von atmosphärischen Agentien und Rieselwasser angegriffenen Ränder stürzen nach und streben demjenigen Teil, in welchem der Fluß sein Bett tiefer legt, im Querschnitt die Gestalt eines ∇ zu geben. In dem Bereich der Ablagerung hingegen übt das fließende Wasser eine seitlich erodierende und unterwaschende Arbeit aus; der Querschnitt nimmt diese Gestalt ∇ an. Im oberen Teil endlich gestaltet sich das Sammelbecken zu der Form eines halben und zuweilen mehr als halb umschlossenen Trichters. In einem gewissen, durch die Linie $m m^1 m^2$ bezeichneten Stadium fließen die Quellbäche auf sanft geneigtem Boden in konvergierenden Radien herab, ehe sie die amphitheatralischen Wände des Trichters (bei m_1) erreichen, deren steiles Einfallen bald allmählich, bald plötzlich einsetzt. Die Wassermasse jedes einzelnen ist

gering, aber in Folge des starken Gefalles lösen sie feste Teile ab und führen sie in die bei m^2 beginnende Rinne, wo sie sich zu einem kräftigen Strom von geringerem Gefälle, aber erheblich größerer Wassermasse sammeln. Hier wirken Loslösung und Korrasion zusammen, um die Rinne noch weiter zu vertiefen.

Ist auch dieses Grundschema bei Bodenstufen aus lockerem Erdreich am einfachsten und reinsten ausgebildet, so findet es sich doch überall, wenn auch in den aller verschiedensten Stadien der Entwicklung; an jedem Bergabhang beobachtet man das Rückschreiten der Erosion nach den Sammelbecken hin, die Vertiefung der Rinnen, die Bildung der Trichter, das Erhöhen und Verschieben der Ablagerungen in den Dejektionsgebieten. In jede größere Erosionsrinne münden kleinere von den Seiten her, und diese nehmen solche einer dritten Ordnung auf. In jeder Rinne, gleichviel von welcher Ordnung und Größe sie sei, waltet das Streben nach der Ausbildung derselben Grundform. Beispiele normalster Gestaltung in großem Maßstab findet man in vulkanischem Tuffland, wo das Wasser die erodierende Arbeit leicht ausführt und verhältnismäßig schnell die durch die Linie $m p p^1$ o dargestellte Form schafft. Steilwandige ringförmige Sammelbecken entleeren sich durch enge Abflußrinnen; durch diese ist das gesamte Gesteinsmaterial, welches einst die Hohlform ausfüllte, entführt worden. Einfache Beispiele anderer Art bieten sich in den Randgebieten von Tafelländern, welche steil gegen tieferes Land abstürzen. Hier sieht man besonders den mit $m a^1$ (Fig. 26) bezeichneten Teil weite Räume einnehmen. Die Bäche schleichen radial gegeneinander. Folgt man ihnen, so erreicht man bei jedem eine Stelle (a^1), wo er in die in das Gestein eingerissene Furche in Katarakten hinabstürzt. Der in der Gegend von a^2 aus den verschiedenen Zuflüssen sich vereinigende Bach hat geringeres Gefälle, aber braust noch in Stromschnellen nach größerer Tiefe. Gewöhnlich erreichte er die Region der Ablagerung schon weit vor dem Austritt aus der Enge. Das grobe Material bleibt dort liegen. Aber erst wenn er am Außenrand des Tafellandes anlangt, vermag er den Dejektionskegel fächerförmig auszubreiten.

[§67] Tendenzen der weiteren Ausbildung der Erosionsfurchen. — Bisher handelte es sich um die Vertiefung eines bestehenden Abflußkanals. Es zeigte sich, daß die Erosion, wenn ihr genügende Wassermasse zu Gebote steht, das Bestreben hat, ihre Arbeit bis zu den äußersten mechanisch möglichen Grenzen auszuführen, und zwar einerseits in der Richtung nach rückwärts, andererseits, unter besonderen Umständen, seitwärts. Beide Tendenzen sind von eingreifender Bedeutung für die Ausgestaltung der Gebirge, insbesondere wenn mehrere Erosionsrinnen neben einander angeordnet sind, und jede ihr Gebiet zu erweitern sucht. Dabei wird die Horizontalanordnung (§ 65) wesentlich sein; denn der Effekt ist verschieden, je nachdem mehrere Täler parallel auf einer schiefen Ebene herabkommen, oder dachförmig auseinanderstreben, oder sich radial von einem Gebirgsvorsprung herabziehen, oder gegen ein gemeinsames Becken gerichtet sind.

Das Fortarbeiten nach rückwärts in dem Sammeltrichter beruht einerseits auf der Steilheit seiner Wände, ferner auf dem Umstand, daß an seinem unteren Ende verhältnismäßig am meisten Wasser an einem Punkt zusammenströmt, endlich darauf, daß die Vertiefung der Erosionsrinne gegen diesen Punkt hin fortschreitet und ihn tiefer zu legen sucht. Das Verhältnis des Sammelpunktes ist in ganz schematischer Weise in Fig. 27 dargestellt. Von



der Umrandung des Trichters c d e stürzen eine Menge von Wasseradern konvergierend hinab und treten zu einer sich stetig verringernden Zahl scharf gesonderter Rinnen zusammen. Im Sturz lösen sie Schuttmassen los und tragen sie gemeinsam nach a, wo die größten Blöcke sich ansammeln, bis ein starker Wasserandrang sie zum Teil weiter führt. In der Wirklichkeit ist a nicht ein Punkt, sondern eine kurze oberste Stromstrecke, nach der die Einzelrinnen hinabkommen, jede von ihnen mit einer Umbiegung in der Richtung nach abwärts. Die Stromstrecke des Trichterbodens sollte eine Rinne mit steilem Gefall sein. Durch die Anhäufung grober Blöcke, oder durch die Absperrung mittelst eines Riegels von hartem Gestein kann sie in einen abschüssigen bis beinahe ebenen Talboden umgewandelt werden. Die Trichterwände haben verschiedene Gestalt. Das herabstürzende Wasser strebt sie unten steiler zu machen als oben. Aber wo sie aus Material bestehen, welches, wie lockere Tuffe, oder wie die zerklüfteten Bündtner Schiefer der Ostschweiz, nachgiebig und für das Eindringen von Wasser sehr zugänglich ist, kommt dieses an verschiedenen Stellen der Wände in Gestalt von Quellen hervor und verursacht ein Abstürzen der oberen Teile, daher auch eine scharfrandige Abgrenzung derselben gegen die Flächen der Berggehänge, in welche die Trichter eingesenkt sind. Überhaupt sind die Trichterwände ein Schauplatz intensiver Zerstörung durch verschiedene Agentien. Wo Spaltenfrost (§ 41) tätig ist, findet er hier besonders leichte Gelegenheit dazu.

Das Zurückweichen der Wände wird befördert, wenn der Trichterboden in Folge rückschreitender Vertiefung der Erosionsrinne selbst tiefer ausgenagt wird; und zwar geschieht das stärkste Zurückweichen in der Richtung gegen die Hinterwand, nach a al. Ist die Umrandung nach c¹ d¹ e¹ gekommen, so nimmt (Fig. 27) wiederum a¹ die verhältnismäßig größte Wassermasse auf, nämlich von dem ganzen Halbkreisbogen, während jeder Kanal, der zwischen a und mündet, nur einen kleinen Teil des Außenrandes entwässert, daher in der Kraft der rückschreitenden Erosion gegen den Boden des Sammeltrichters, der sich in der Richtung a¹ d¹ zu verlängern strebt, zurücksteht. Wie vorher in der Strecke a b, so wird jetzt in a¹ a eine Hauptwirkung darin bestehen, daß die Seitenbäche sich gleichzeitig mit dem Hauptkanal zu immer größerer Tiefe eingraben, und zwischen je zweien derselben immer schärfer sich zeichnende Zwischenrippen stehen bleiben. Das Rückschreiten der einzelnen Trichter, vor Allem des Haupttrichters, geschieht aus dem angeführten Grund in der Regel geradlinig; es kann aber auch durch hartes Gestein eine seitliche Ablenkung oder eine Gabelung entstehen. Es kann auch geschehen, daß der Haupttrichter in sehr festem Gestein, zwei einander gegenüberliegende Nebentrichter in sehr weichem und brüchigem liegen; dann können diese so schnell fortschreiten, daß jener zu einer sekundären Rolle herabsinkt.

Wenn die Rückwände der Sammeltrichter von zwei von einer Wasserscheide nach entgegengesetzten Richtungen fließenden Bächen aneinanderstoßen, so bildet sich zwischen ihnen ein Grat, welcher scharfkantig oder abgerundet sein kann. Die Ausbildung solcher Gräte ist die Tendenz an allen Wasserscheiden. Je grösser das Gefall, je stärker die Wasserzufuhr durch Regen, und je länger bei gleich hartem Gestein die Zeit, während welcher die Erosion rückwärts vorgeschritten ist, desto mehr werden scharfe Gräte den Charakter eines Gebirges bestimmen. In jedem der zwei gegenüberliegenden Sammeltrichter waltet das Bestreben, den Grat für sich zu erobern. Die Bedingungen dazu können ungleich sein. Ein geeignetes Beobachtungsobjekt für diesen Vorgang haben die mächtig gelagerten losen Aufschüttungsmassen der Bad Lands an den westlichen Zuflüssen des Missouri gegeben. Die normalen Verhältnisse zeigen sich hier in einfacher Gestalt. Es bilden sich, nach den vorzüglichen Beobachtungen von G. K. Gilbert, Abfluß-Systeme von beistehender Form (Fig. 28), wobei die geraden Linien wasserscheidende Gräte bezeichnen.

Die Hauptwasserscheide verläuft im Zickzack, indem sie sich jedem sekundären Rücken in winkelliger Ausbiegung zuwendet. Jeder Vereinigungspunkt derselben ist durch größere Höhe ausgezeichnet; zwischen je zweien ist eine sattelförmige Vertiefung. Dies erklärt sich durch die Art, wie die rückwärtige Verlängerung der Sammelbecken von den Punkten a , a^1 , a^2 u. s. w. stattfindet. Denn indem die Entfernungen a c , a^1 c , a^1 e , a^2 e kürzer sind als ab , ad , a^1 d , a^1 f , findet bei c und e die Erniedrigung früher statt und ist daher stärker als in b , d , f .

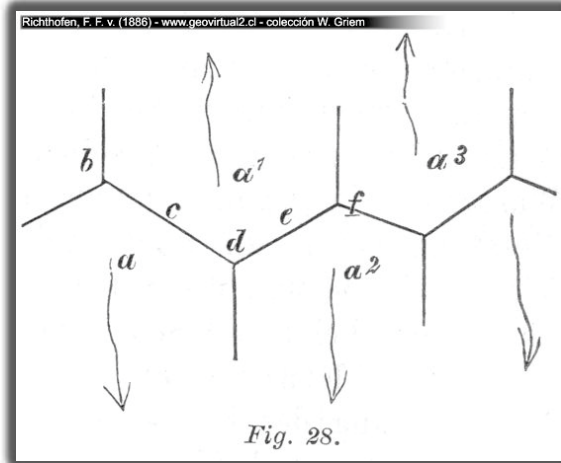


Fig. 28.

Haben a , a^1 , a^2 , a^3 gleiche Höhe und die betreffenden Bäche gleiches Gefälle, so wird die Erniedrigung des wasserscheidenden Rückens bis zu einem gewissen Grad fortschreiten; es wird aber an der Stelle desselben stets eine trennende Anschwellung bleiben, weil nach Ausbildung der beiderseitigen

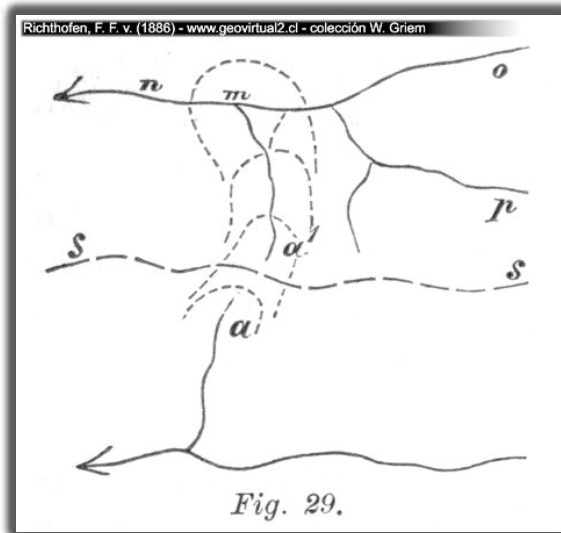


Fig. 29.

Normalkurven eine weitere Erosion nicht stattfinden kann. Liegt jedoch, wie es in Fig. 29 angenommen ist, a beträchtlich tiefer als a^1 wird dort die Erosion im Sammelbecken stärker, die Geschwindigkeit des Rückschreitens grösser sein. Die Wasserscheide wird daher von a gegen a^1 hin vorrücken. Liegt a , wenn es bei a^1 angekommen ist, immer noch beträchtlich tiefer als dieser Punkt, so schreitet die Wasserscheide weiter in derselben Richtung fort.

Es kann dann der Fall eintreten, der Punkt a bis nach m gelangt, wo der Bach von a^1 einen Fluß mündet, der in höherem Niveau fließt, als das der ganze System, welchem a ursprünglich angehört. Die neue Wasserscheide wird nun um m herumziehen. Das gesamte Flußgebiet o p m wird für dasjenige von a annectiert sein, und der Fluß, welcher vorher von o und p über n floß nunmehr bei n seinen Anfang nehmen. Der Fluß o n kann dem erobernden Strom die Arbeit erleichtern, wenn z.B. mit Glazialschotter (s. § 106), sein Bett bis über die noch bestehende Wasserscheide gegen a hinaus erhöht, dadurch nach diesem abfließt und sich nun in der neuen Richtung in die Gesteine der Wasserscheide und die Schotter tiefer eingräbt. In diesem Fall würde man bei n die Schotterauflage erkennen müssen.

Das Eingreifen der seitlichen Erosion in die Ausgestaltung der Flußtäler findet überall statt, wo die Kraft der Strömung an beiden Seiten des Kanals ungleich verteilt ist. Dies ist an jeder Stelle der Fall, wo dieser von der geraden Linie abgelenkt wird. Es bilden sich Kurven im Stromlauf. Die Strömung ist in der Nähe des konvexen Ufers am schnellsten und unterliegt an diesem selbst einer fortdauernden Brechung. Die Tätigkeit ist auf Loslösung und Korrasion gerichtet. An der konkaven Seite ist die Strömung langsamer; sie kann stillgestellt und durch wirbelnde Bewegung

rückläufig werden, daher findet hier häufig Ablagerung statt. Die mechanische Arbeit an Stromkurven ist am größten, bei Wildbächen: aber ehe bei ihnen die Korrasion eine bedeutende Aushöhlung der Felswand vollführt hat, ist der Kanal schon tiefer eingegraben; auch in der Längsrichtung wechseln die Stellen des Angriffes sehr häufig.

Denn wenn, wie in Fig. 30 der Strom gegen einen vorspringenden Fels stößt, so wird er an jeder Stelle der äußeren Kurve reflektiert; es entsteht eine wirbelnde Bewegung, welche durch Korrasion ein rundes Becken im Boden aushöhlen kann. Der Fluß verlegt seine rechte Einfassungswand seitlich und vorwärts, und nach denselben Richtungen schreitet die Beckenbildung fort.

Zu ungleich größeren Beträgen summiert sich der mechanische Effekt der seitlichen Erosion, wenn sie durch lange Zeit an derselben Stelle stattfinden kann. Dies ist dort der Fall, wo innerhalb des Gebirgslaufes der Fluß abgelagert (wie in der Strecke p2 s Fig. 26). Die Ablagerungen selbst zwingen ihn zum Einschlagen von Kurven, in denen er bald die eine, Hier kann er in gleich-bleibendem Niveau manchmal durch lange Zeiträume seine Zerstörungsarbeit an derselben Stelle einer Talwand ausführen und Bett in diese hinein legen, wie in Fig. 31.



Fig. 30.

Die Bedingungen Maße gegeben, je tiefer Rückens eingreift, der ihn nicht nur konzentriert sich selbst in steigendem Maße an der Linie, mit welcher er am tiefsten in die Tal wand einschneidet; sondern es bildet sich an dieser durch die Unterwaschung ein steileres Gefälle der an ihr hinabströmenden Gewässer, und zugleich konvergieren diese, in ähnlicher Weise wie in einem Sammeltrichter, von einem größeren Bogen gegen einen kleineren.

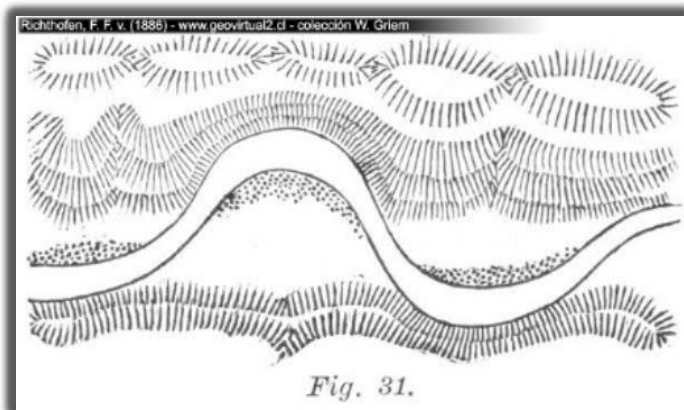


Fig. 31.

Es kann schließlich der ganze Rücken durchragt und der obere Teil des angrenzenden Flußtales, falls der Berührungspunkt höher liegt, oder dort Schotter-auffüllung stattfindet, in das erste Flußgebiet hineingezogen werden.

Diese in der Erosion allein begründeten Vorgänge, welche sich als der Kampf um die Wasserscheide bezeichnen lassen, gehören zu den häufigen Ursachen der großen Veränderungen, die sich in der Geschichte der Ströme vollziehen. Dem einen wird ein Teil seines Beckens entrissen, und die Gewässer des letzteren schwellen hinfort einen anderen Fluß, dessen mechanische Arbeit sie verstärken. Dem Reisenden bietet sich Gelegenheit, derartige Episoden in der Entwicklung der Ströme im kleinsten und im größten Maßstab, und unter dem Einfluß der verschiedensten Klimate zu studieren. Er sieht Bergländer, wo der Prozeß der Ausbildung der Erosionsfurchen noch in wenig entwickeltem, und andere, wo er in weit vorgeschrittenem Stadium sich

befindet. Im ersteren Fall wird sich die Tatsache des Rückschreitens der Erosion leicht aus der Beobachtung der Oberflächenformen ergeben. Im zweiten Fall die Geschichte des Kampfes der einzelnen Gewässer um die Wasserscheide und die von dem einen oder dem anderen errungenen Erfolge klarzustellen, wie es z. B. Albert Heim mit großem Scharfblick in vielen Fällen in der Schweiz getan hat, setzt größere Übung und Kombinationsgabe voraus. Es gilt hierbei, verlassene Wasserläufe aufzufinden, oder zu entdecken, wo ein Tal, das jetzt von einem kleinen Gewässer durchströmt wird, nur von einem großen und mächtigen Fluß ausgemeißelt werden konnte. In weiterer Folge haben diese Untersuchungen die Aufdeckung gewisser Phasen in der Geschichte der Kontinente zum Ziel. Im 16. Kapitel wird der Gegenstand bei der Erörterung der durchgreifenden Wasserscheiden noch einmal berührt werden.

Die Betrachtung beschränkte sich bis hierher auf normale Gestaltung und allgemeine Vorgänge; es sind nun die mannigfaltigen Modifikationen zu untersuchen, welche teils durch Unterschiede in dem erodierenden und ablagernden Medium, also der Kraft des Wassers, teils durch Unterschiede des zu bearbeitenden Materials hervorgerufen werden.

B. Einfluß der verschiedenen Kraft der Strömung auf die mechanische Arbeit des fließenden Wassers.

[§68] Der theoretische Satz, daß die Kraft eines Stromes durch das Produkt von Wassermasse und senkrechtem Gefälle bezeichnet wird, findet in der Wirklichkeit erhebliche Einschränkungen. Denn einerseits kann sie durch den Einfluß einer hinzutretenden stoßenden oder treibenden Kraft vermehrt, und selbst allein hervorgerufen werden. Ein fließendes Gewässer betritt jede einzelne Teilstrecke mit einer gewissen Geschwindigkeit. In Folge des Beharrungsvermögens strebt es dieselbe beizubehalten, auch wo das Gefälle auf Null herabgegangen ist. Die Beständigkeit der Fortbewegung wird durch den Druck der Wassermassen von den Teilen her, wo ein Gefälle vorhanden ist, vermehrt. Es kann aber auch eine Strömung ohne Vorhandensein eines Gefälles entstehen, wenn eine treibende Kraft, insbesondere ein konstanter und gleichmäßiger Wind, von außen einwirkt. — Andererseits wird ein Teil der mechanischen Kraft der Strömung auf Arbeit verwendet, und dadurch ihre Geschwindigkeit und ihre Kraft vermindert. Die Arbeit besteht zum Teil in der Überwindung der Reibung an den Wänden des Kanals, zum Teil wird sie in innerer Reibung verbraucht, und zum Teil auf Transport fester Massen verwendet. Insbesondere entstehen allenthalben durch die Hindernisse an Boden und Wänden, sowie durch die ungleiche Geschwindigkeit in einzelnen Teilen des Querschnittes, schief gerichtete und wirbelnde, überall die Geschwindigkeit hemmende subsidiäre Strömungen. Sie heben Teilchen vom Boden und reißen sie von den Wänden los, um sie dem Strom zum Forttragen zu überliefern, und streben sie in dessen Wassermasse zu verteilen. Die feinsten Teilchen werden am gleichmäßigsten verteilt und am weitesten fortgetragen; größere kaum gehoben, um bald wieder fallen gelassen zu werden; noch größere nur einseitig gehoben, d. h. auf dem Boden fortgerollt, bis sie durch Korrasion zu einer für weiteren Transport geeigneten Größe reduziert sind. Jedes Teilchen, welches der Strom hebt und trägt, wird auf Kosten von dessen Kraft gehoben und getragen. Der Aufwand der dazu erforderlichen Kraft ist gleich dem Produkt aus dem (im Wasser gewogenen) Gewicht des Teilchens und dem Betrag, um welchen es in ruhigem Wasser während der Zeit, in der es getragen wird, sinken würde. Da nun kleinere Teilchen langsamer sinken als größere, so

kann mit demselben Kraftaufwand ein größeres Gewicht an kleinen als an groben Teilen getragen werden. Eine Wassermasse, welche einen Kubikmeter Schlamm in feiner Verteilung mit Leichtigkeit transportiert, wird vielleicht nicht im Stande sein, einen kleinen Kiesel auch nur fortzuschieben.

Unterschied der Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Querschnittes eines Stromes. — In Folge der Reibung an den Wänden und der Belastung am Boden ist die Geschwindigkeit eines Stromes in einzelnen Teilen seines Querschnittes verschieden. An den Seiten ist sie im Allgemeinen geringer als in der Mitte, über tiefen Stellen grösser als über seichten. Am geringsten ist sie am Boden, am größten etwas unter der Oberfläche an der Stelle der größten Tiefe des Kanals. Die Geschwindigkeit an der Oberfläche läßt sich bei großen und ruhigen Strömen bestimmen. Man hat berechnet, daß die mittlere Geschwindigkeit eines Stromes $\frac{4}{5}$ von derjenigen an der Oberfläche beträgt, und daß diejenige am Boden halb so groß ist als die mittlere Geschwindigkeit.

Als Beispiele für die Oberflächengeschwindigkeit von Strömen im Unterlauf mögen angeführt werden:

Seine bei Paris, bei gewöhnlichem Wasserstand	0,50 m in d. Sekunde
Rhone " " " "	0,40-1,50 m " " "
" " bei Hochwasser	4,00-5,00 m " " "
Rhein b. Straßburg, b. niedrigem Wasserstand	1,50 m " " "
" " " b. mittlerem Wasserstand	2,15 m " " "
" " " b. Hochwasser	2,85 m " " "
" " im Mittel von Straßburg bis Köln	1,54 m " " "
Nil	1,54 m " " "
Ganges	1,54 m " " "
Mississippi	1,25-1,50 m " " "

Die Geschwindigkeit von 1,50 m in der Sekunde ist diejenige eines guten Fußgängers, auch diejenige der großen Meeresströmungen. Es entspricht ihr eine Bodengeschwindigkeit von 0,60 m in der Sekunde.

Da die Tragkraft eines Stromes von Stromgeschwindigkeit und Wassermasse abhängig ist, so wächst sie mit dem einen wie ' mit dem anderen Faktor, aber um einen erheblich größeren Betrag, als sich aus dem einfachen Verhältnis der Zunahme eines jeden von ihnen ergeben würde. Indem die Belastung auf Kosten der Kraft des Stromes geschieht, wird dessen Fortbewegung durch sie verzögert. Übersteigt sie die Tragkraft, wie es bei Verminderung der Stromgeschwindigkeit leicht geschehen kann, so sinkt das überschüssige Material herab. Die stärkste Belastung findet am Boden statt, wo zugleich die Tragkraft am geringsten ist.

Als Anhalt für die Tragkraft der fließenden Gewässer können die folgenden Zahlen (welche, ebenso wie die vorigen, aus de Lapparent's Traite de geologie entnommen sind) dienen:

Bei einer Bodengeschwindigkeit von:		wird am Boden transportiert:	Durchmesser der Bestandteile:
0,15	m In der Sekunde	grober Schlamm	0,0004 m
0,20	m In der Sekunde	feiner Sand	0,0007 m
0,30	m In der Sekunde	grober Flußsand	0,0017 m
0,70	m In der Sekunde	feiner Kies	0,0092 m
1,20	m In der Sekunde	Kiesel von Eigröße	
1,50	m In der Sekunde	platte Steine.	

Es geht hieraus hervor, daß die großen Ströme, deren mittlere Bodengeschwindigkeit 0,60 m beträgt, sehr feinen Kies am Boden fortzubewegen vermögen. Dies ist zu berücksichtigen, wenn man das Bett eines dieser Ströme aus großen Kieseln bestehend findet. Es ist dann selbstverständlich ein erheblicher Wechsel der Verhältnisse vorauszusetzen (§ 92).

Bei der Beobachtung über den mechanischen Effekt der fließenden Gewässer sind die einzelnen Faktoren, insbesondere das Gefälle und die Wassermasse, einzeln in Erwägung zu ziehen.

1. Einfluß des Gefälles

[§69] Mit dem Neigungswinkel eines Flußbettes wächst die Geschwindigkeit der Strömung; daher auch, und zwar in noch höherem Grad (bei gleichbleibender Wassermasse), die mechanische Kraft des bewegten Wassers. Während bei schwachem Gefälle auch sehr feinkörnige feste Teile zu Boden sinken, werden diese bei geringer Zunahme des Gefälles fortgeführt; gröbere bleiben noch liegen. Bei noch stärkerer Neigung, wie sie in Gebirgen häufig vorkommt, bleiben nur noch faustgroße Steinblöcke am Boden; alles andere Material, dessen das Wasser habhaft werden kann, wird mit fortgerissen. Wildbäche reißen fußgroße Blöcke im Sturz hinab. Es wird daher zum Teil von dem Betrag des Gefälles und der Korngröße der festen Bestandteile abhängen, ob ein fließendes Gewässer sein Bett von Ablagerungen freihalten oder reinigen kann. Gelingt ihm dies, so wird die weitere Arbeit auf Erosion nach der Tiefe verwandt, mittelst der Loslösung, des Transportes und der Korrasion. Es beruhen hierauf die engen und schroffen Formen vieler Querfurchen.

Am intensivsten ist der mechanische Effekt bei senkrechtem Gefälle. Am Fuß eines frei herabstürzenden Wasserfalls bilden sich im Felsgestein Korrasionskessel, in denen eine wirbelnde Bewegung stattfindet. Führt der Wasserfall Steine herab, wie es bei Gletscherbächen häufig der Fall ist, so verstärken diese die Arbeit des Ausschuerns der rundlichen Becken. Die Steine werden unaufhörlich gegen die Wände des Kessels geschleudert und vollführen eine zunehmende Korrasion, bei welcher sie selbst in Pulver aufgelöst werden. Fällt der Wasserstrahl konstant auf eine bestimmte Stelle herab, so können tiefe, oft brunnenartige Kessel, die sogenannten Riesenkessel oder Riesentöpfe ausgemeißelt werden. Ihre Anwesenheit deutet stets das frühere Vorhandensein der beschriebenen Scheuerungs-Ursache an. Sie sind nicht auf Gletscher

beschränkt. An den Wänden des vertieften Bettes des Colorado findet man derartige Gebilde in hartem Granit, in Durchschnitten entblößt. Sie haben die Form von Reagenzgläsern, und eine Tiefe von 5 bis 6 Fuß, bei einem Durchmesser von 10 bis 12 Zoll. Ähnliche Beobachtungen dürften bei anderen Flüssen anzustellen sein.

Bei Bächen und Flüssen in Gebirgen ist das Gefälle, und damit die Stromgeschwindigkeit, in der Regel einem häufigen Wechsel unterworfen. Schnell bewegtes Wasser schießt in einem engen Kanal herab, stößt gegen langsam bewegtes und ruft in diesem rotierende Bewegung hervor, durch welche unterhalb der Stoßstelle eine Erweiterung und Vertiefung geschaffen wird. Diese Tendenz schreitet nach rückwärts fort.

2. Einfluß der Wassermasse.

[§70] Wo verschiedene Ströme nebeneinander in gleichem Gestein eingegraben sind, und jeder von ihnen noch hinreichendes Gefälle besitzt um erodierend nach der Tiefe zu wirken, vollführt der wasserreichste seine Arbeit am schnellsten. Dies ist deutlich bei den größeren Alpentälern mit seitlichen Wasserfällen zu beobachten. In der Regel ist jeder von diesen das unterste Ende eines kleinen Baches, an welchem man nach einer von ihm durchströmten flachen Talsohle hunderte von Fußern emporklimmt. Das Haupttal ist in der Erosion vorausgeschritten, die seitlichen konnten nicht so schnell folgen. Folgt man diesen, so erkennt man den analogen Unterschied zwischen ihnen und den Rinnen ihrer kleineren Zuflüsse, welche abermals in Fällen herabstürzen. Die Form, in welchen die Staffel von dem weniger vorgeschrittenen Bach überwunden wird, richtet sich nach der Lagerung der Gesteins (s. §§ 77, 78). In solchen Fällen, wo die hoch gelegenen Nebentäler ebene, wiesen-bedeckte Sohlen haben, sollte man deren Niveaus mit einander vergleichen. Liegen sie nahezu in gleicher Höhe, oder fügen sie sich zu einer in der Richtung des Hauptstromes sanft abfallenden Ebene zusammen, so muß diese das Ende einer ehemaligen Erosionsperiode bezeichnen, in welcher das Haupttal nahezu dieselbe Höhe hatte, und irgend ein Hindernis, wie der Einfluß in einen entsprechend hoch gelegenen See, ein tieferes Einschneiden unmöglich machte. Erst nachdem das Erosionssystem einen gewissen Grad sehr vollkommener Ausbildung erlangt hatte, erfolgte dann die weitere Vertiefung, bei welcher das Haupttal voranschritt. Zuweilen sind mehrere solcher Erosionsstaffeln oder Strombeckenstufen in einem größeren Abschnitt eines Gebirges erkennbar. Doch ist es bis jetzt sehr schwer gewesen, die Ursachen der daraus hervorgehenden Periodizität in der Talbildung zu ergründen.

Der periodische Wechsel der Wassermasse ist ein sehr wichtiger, vom Klima abhängiger Faktor für die Erosion. Da diese und die Tragkraft in stärkerem Maße zunehmen als die Wassermasse, so wird die Verdoppelung einer Wassermasse deren mechanische Leistungsfähigkeit mehr als verdoppeln. Ein Fluß, welcher periodisch anschwillt, übt daher eine viel größere erodierende und transportierende Kraft aus, als ein solcher, welcher, bei gleichem Mittel, stets dieselbe Wassermasse führt. Es geht daraus hervor, daß das Bett eines Flusses sich nach der Verteilung der Kräfte bei Hochwasser gestaltet.

Der Betrag, um welchen die Wassermasse eines Flusses periodisch vermehrt wird, ist daher von großer Bedeutung für die Beurteilung seiner Leistungsfähigkeit, und die Ströme lassen sich in dieser Hinsicht mit einander vergleichen. Eine regelmäßige Periode kommt in solchen Gegenden vor, wo eine trockene und eine nasse Jahreszeit mit einander wechseln, wie am Mittelmeer, in vielen tropischen Ländern und dort, wo Monsune die Verteilung der Niederschläge bestimmen.

Sie findet sich aber auch in denjenigen Gegenden, wo es zu allen Jahreszeiten regnet, wenn der Niederschlag der kalten Zeit als Schnee aufgespeichert wird. Verteilt sich das Schmelzen des letzteren auf eine lange Periode, wie es bei solchen Strömen der Fall ist, welche von schneebedeckten Gebirgen herabkommen und durch schneetragende Flachländer fließen, so erreicht die Schwellung eine geringere Intensität, als dort wo das gesamte Stromgebiet in niederem Land liegt, wie bei den Flüssen von Rußland und Sibirien, da dann der Schnee über die ganze Fläche in kurzer Zeit schmilzt. Es gibt Ströme, deren einzelne Zuflüsse sich unter sehr verschiedenen klimatischen Bedingungen befinden und daher nicht in derselben Zeit des Jahres Hochwasser haben. Dies wird einen regelmäßigeren Gang zur Folge haben. Um das Verhältnis von hohem und niedrigem Wasserstand in Zahlen auszudrücken, vergleicht man die Wassermasse, welche in einem Querschnitt in der Sekunde in dem einen und in dem anderen Fall fortgewälzt wird. Es beträgt zuweilen nur 1:2, steigt aber bei manchen Strömen auf 1:10, 1:30 und mehr. Die Erhöhung der Transportkraft ist daher sehr bedeutend.

Am größten ist der Effekt der Schwellung in solchen Erdräumen, wo fast beständige Dürre von seltenen, aber um so heftigeren Regengüssen unterbrochen wird. Hier ist die säkulare Zersetzung (§ 48) gering; aber auf Gebirgshöhen kann die Zertrümmerung der Gesteine durch Spaltenfrost (§ 41) bedeutend sein, und in denselben Gegenden spielen die Desquamation und das Zerspringen der erhitzten Gesteine durch Abkühlung (§ 39) eine erhebliche Rolle. Außerdem finden Anhäufungen fester Bestandteile durch die bewegte Atmosphäre statt. Es wird daher eine große Menge von losem Material angesammelt. Da der Regen, wenn er einmal eintritt, wegen seiner meist sehr großen Heftigkeit und der Vegetationsarmut nur wenig in den Boden dringt, so kann fast die ganze Kraft des Wassers auf Fortführung fester Massen verwendet werden. Im östlichen Ägypten, am Sinai, in Arabien und in anderen Gegenden von ähnlichem Klima werden hierdurch die zuweilen Hunderte von Kilometern langen Wadi's in ihrer Gestalt erhalten, und Felsmassen, welche von kontinuierlichen Strömen nicht bewegt werden würden, mit großer Gewalt in ihnen abwärts getrieben. In der Wüste Atacama, wo Jahrzehnte ohne Regen vergehen können, sollen die Fluten, wenn sie einmal zerstörend hereinbrechen, den Anblick großer Strecken des Landes völlig verändern.

Ähnliche Wirkungen werden in solchen Ländern hervorgebracht, welche nicht in Folge der ursprünglichen Bedingungen von Boden und Klima, sondern in Folge langdauernder Kultur waldlos sind. In den französischen Alpen, in Palästina, im nördlichen China und zahlreichen anderen Ländern, wo die Regenmenge des Jahres nicht gleichmäßig verteilt ist, sondern durch einzelne starke Güsse geliefert wird, werden ungeheure Massen von Felstrümmern von den höheren Gebirgstteilen nach den niederen geführt, und der dort so kostbare, in früheren Zeiten durch Zersetzung geschaffene kulturfähige Boden gibt den Fluten, welche ihn nach den Ebenen und dem Meer hinabtragen, eine intensiv gelbe oder rote Färbung. Aus demselben Grund sind die Täler am Südrand der Alpen, wie diejenigen des Tagliamento und der Piave, mit öden Trümmermeeren von Kalkstein erfüllt, die an die Stelle ehemaligen Kulturlandes getreten sind. Beobachtungen über die Transportkraft in den ersteren Fällen (Wadi's) und über die Masse des fortgeführten Materials in den anderen würden zur Kenntnis der wüstenbildenden Agentien, der Änderungen, welche in Kulturländern stattgefunden haben, und der Folgen der noch fortdauernden Entwaldung der Gebirge beitragen.

Wie auch in anderen historischen Werken wird dem Baumbewuchs eine äußerst wichtige Rolle in der Verhinderung der Bodenerosion zuerkannt, auch der menschliche Einfluß wird genannt.

Von anderer Art als der periodische, ist der örtliche oder zonale Wechsel der Wassermasse, welcher darin begründet ist, daß ein Fluß Regionen von verschiedenem Klima durchströmt. Es kommt dabei fast nur der Fall vor, daß Flüsse in regenreichen Gebieten entspringen und dann

regenarme Länder durchziehen. Dies findet teils bei solchen statt, welche, wie der Nil, einen meridionalen Lauf haben, im tropischen Regengürtel entspringen und durch regenlose Wüsten ihren Lauf fortsetzen; teils bei solchen, welche, wie der Colorado oder die von dem Felsengebirge nach Osten strömenden Flüsse, ihre Quellen in feuchtem Hochgebirge haben und in ausgedehnte trockene Länder hinabkommen. Alle solche Flüsse ziehen durch die trockenen Regionen in scharf geschnittenen Furchen, deren Tiefe sich nach der Dauer der Erosion und der relativen Tiefe des Ausfluß-Niveaus richtet. Das letztere gestattet den Wänden des unteren Niltales die Höhe von nur einigen hundert Fuß, während der Colorado einige tausend Fuß tief eingesenkt ist. Die langen Kanäle erhalten wenig Zufluß. Während bei feuchtem Klima zahllose Seitenbäche und größere Flüsse das Regenwasser herabführen und jedes kleinere Rinnsal die Steilheit der seitlichen Böschungen zu vermindern strebt, findet in dem trockenen Land nur ein Sägen nach der Tiefe statt, falls das Gefälle dafür vorhanden ist, indem aller Detritus durch die ganze Länge des Kanals geführt wird, wie bei dem Colorado. Ist das Gefälle gering, wie beim unteren Nil, so bedeckt sich der Boden mit Sedimenten. Die im Fluß, selbst bei Hochwasser, verteilten Stoffe sind aber zu fein, um seitliche Erosion in bedeutenderem Grad möglich zu machen; nur bei den Katarakten und Stromschnellen kann noch scheuernde Wirkung stattfinden. Wo die Einschnitte oben völlig scharfkantig begrenzt sind, darf man annehmen, daß seit Beginn der Erosion Waldbedeckung nicht vorhanden gewesen ist. Keine anderen Flußrinnen setzen der Communication in der Richtung quer über sie hinweg so große Hindernisse entgegen wie diese Zuflußlosen Kanäle in regenlosen Gegenden, vorausgesetzt, daß die Tiefe bedeutend ist.

Zu denjenigen Flüssen, bei denen Erosionserscheinungen, Verlust der Wassermasse durch Verdunstung, Ablagerung feinerdiger Stoffe bei Verminderung des Gefälles und die ganze Vorgeschichte der Flußbildung in besonderer Weise studiert werden können, gehören unter vielen anderen auch der Gelbe Fluß in China in seinem Lauf von Lan-tschoufn bis zur Provinz Schansi, und die südrussischen Flüsse.

3. Einfluß der Vegetation.

[§71] In engem Zusammenhang mit der vorgenannten Kategorie von Einflüssen steht derjenige, welchen die Vegetation ausübt, insofern sie zum Teil von denselben klimatischen Faktoren abhängt, welche das periodische Anschwellen oder auch die periodische Existenz der Flüsse im Gegensatz zu ihrer zeitweiligen völligen Austrocknung bedingen. Waldbedeckter Boden ist vor der mechanischen Einwirkung des Regens und der Bildung kleiner Abflußrinnen geschützt. Die Fortführung des Bodens wird durch gefallenes Laub und die Wurzelverzweigungen verhindert. Ein tief zersetzter, mit dichter Vegetation bedeckter Boden nimmt den Niederschlag in gleichmäßiger Verteilung auf und vermittelt eine gleichmäßige Speisung der Flüsse. Es wird für eine regelmäßiger verteilte, daher in ihrer Gesamtwirkung sehr viel schwächere Erosion gesorgt, dagegen dieselbe in bestimmter gezeichnete Bahnen gelenkt, als dort der Fall ist, wo überall das nackte Gestein zu Tage tritt.

Vegetationsbedeckte Berge sind meist gerundet, weil die Zersetzungsprodukte größtenteils an Ort und Stelle liegen bleiben; die abfließenden Gewässer sind wenig getrübt. Kahle Berge zeigen schroffe, von dem Wechsel des Gesteins und der Struktur des Gesteins abhängige Formen. Wo hohe, wolkenverdichtende und waldbedeckte Berge aus Hügelland aufsteigen, welches trocken ist und nur einzelne starke Regengüsse erhält, ist dieses schroffer gestaltet als jene; wo sich

hingegen, bei allgemein feuchtem Klima, einzelne Gipfel aus einem Waldgebirge bis über die Vegetationsgrenze erheben, sind sie es, welche das nackte Gestein in seinen charakteristischen Gestalten zeigen.

4. Einfluß der Wetterseite.

[§72] Alle mechanischen Wirkungen des fließenden Wassers werden bei einem beiderseits gleichmäßig und nach gleicher Tiefe abfallenden Gebirge auf derjenigen Seite, welche am meisten Regen empfängt, am heftigsten sein. Die größere Wassermasse bedingt einen bedeutenderen Transport von festem Material, daher eine vollständigere Ausräumung der Sammeltrichter und Erosionsrinnen, sowie eine stärkere Vertiefung derselben mittelst der Korrasion. Andererseits ist die regenreiche Seite üppiger mit Vegetation bedeckt, daher der Abfluß in schärfer begrenzte Kanäle geleitet, während die spülende Wirkung an den Gehängen vermindert ist; auch dies wirkt auf die relative Vertiefung der Erosionsrinnen hin. Reicht die regnerische Seite, wie am Himalaya oder in den patagonischen Andes, zu größerer Tiefe hinab als die trockene, und ist sie zugleich steiler, so werden diese Momente zur Erhöhung des Unterschiedes in der Gestalt der Erosionsformen an beiden Gehängen beitragen. Schließt sich der regenreichen Seite, wie in den Anden von Bolivien, Peru und Ecuador, höheres Land an als der regenarmen, so kann doch die Differenz in der erodierenden Wassermasse beträchtlich genug sein, um dieselben Gestaltungs-Unterschiede wie im vorhergehenden Fall vollkommen hervortreten zu lassen.

Neben der Tendenz des Hinabführens der gelockerten Massen und der Vertiefung der Kanäle erkannten wir es als das Hauptbestreben der Flüsse, ihre Wasserscheide nach rückwärts zu verschieben (§ 67). Dieses Bestreben wird an der wasser-, reichen Seite in viel höherem Grad zur Geltung kommen als an der wasserarmen. In wie weit es erreicht wird, wird allerdings von der Härte der Gesteine abhängen; denn die Flüsse der wasserärmeren Seite können in weicherem Gestein schneller rückwärts arbeiten, als diejenigen der wasserreichen in härterem Gestein. Setzt man jedoch die Widerstände als gleich voraus, so wird die rückwärtige Verlegung der Wasserscheide die Folge haben, daß mehr und mehr die Oberläufe der Flüsse der regenarmen Seite in die Stromgebiete der Regenseite hineingezogen werden.

Dieses Anfressen der Gebirge an der Wetterseite ist ein wichtiger Faktor in den physischen Veränderungen, welche die Gebirge erleiden, und in ihrer Gestaltung für den Verkehr. Wo es an tiefen Einsattelungen der Gebirgsrücken fehlt, werden die günstigsten Pässe durch diejenigen Stellen bezeichnet, wo der nach einer Flanke abfließende Strom VOD einem die Hauptkette durchbrechenden Gewässer gespeist wird, so daß man, ihm aufwärts folgend, nur die niedrigeren Kämme der andern Seite zu übersteigen hat. Der Verlauf der Wasserscheiden an Hochgebirgen, und die Art der Durchbrüche an solchen Stellen, wo eine mit dem Kamm nicht zusammenfallende Ausbiegung derselben stattfindet, sollten daher genauer als bisher studiert werden.

[*1]

[*1]: Die Bedeutung des Phänomens ist von Dr. Löwl für einzelne Fälle in den Alpen klar gezeigt worden. Seine scharfsinnige Beweisführung gibt manchen Anhalt für die Beobachtung. Beispiele lassen sich anderen Gebirgen in großer Zahl entnehmen. Es scheint, daß der Bogen, in welchem die Wasserscheide sich von der Kammlinie entfernt, immer seine konkave Seite gegen die Wetterseite richtet. Es wäre von Interesse, wenn Fälle aufgefunden würden, wo das Gegenteil stattfindet. Sie würden die Theorie kaum erschüttern, sondern vielmehr auf eine Änderung

der klimatischen Verhältnisse deuten. Das Problem der Wasserscheiden ist in Cap. XVI. ausführlicher erörtert.

C. Einflüsse auf die Erosion, welche in der Lagerung und Beschaffenheit des Gesteins beruhen.

Bei der Darstellung der Normalformen, welche die umgestaltende Wirkung der Erosion hervorbringt, setzen wir voraus, daß die mechanische Arbeit an homogenem Material geschehe. Doch kann dies als die Ausnahme bezeichnet werden. In der Regel bieten sich dem Wasser nach einander feste und lockere Gesteine von sehr verschiedener Beschaffenheit und Lagerung dar; sie setzen der auf sie wirkenden Kraft verschiedene Widerstände entgegen, und es wird dadurch die Ausgestaltung der Formen wesentlich beeinflußt. Es sollen hier einige der vorkommenden Fälle betrachtet werden.

1. Erosion in lockerem Schutt und Gestein.

[§73] Wo lockere Schuttmassen in den Erosionsbereich eines wasserreichen und geschwinden Stromes kommen, werden sie schnell zerstört. Die großen Gesteinsfragmente bleiben im Bett des Flusses, bis sie der Korrasion unterliegen und fortgeführt werden können; die kleineren werden je nach der Korngröße nach verschiedenen Entfernungen getragen und abgelagert. Liegen solche Schuttmassen hingegen im Ursprungsbereich fließender Gewässer, wo deren Kraft noch gering, ist, so schreitet die Zerstörung langsam fort, und es bilden sich typische Erosionsformen aus. Sie lassen sich von den breiten Gehängen und Flächen, wo die spülende Kraft der aus den feuchten Niederschlägen entstehenden Rieselwässer das Hauptagens ist, nach den Rinnsalen hin, wo deren erste Ansammlung zu fest gezeichneten Wasserläufen stattfindet, verfolgen.

Abspülung der Gehänge. — Der Regen fällt auf Land von allen Gestalten und Höhen. Auf flachem Land durchtränkt er den Boden und sickert hindurch (s. § 50). Dasselbe ist der Fall, wo mechanisch gelockertes Erdreich oder tiefzersetztes Gestein geneigte Gehänge bilden; Vegetationsbedeckung begünstigt die Aufsaugung. Übersteigt die Masse des niederfallenden Wassers diejenige, welche in den Boden dringt, so fließt der Überschuß, soweit er nicht durch Verdunstung aufgezehrt wird, an der Oberfläche ab. Dies ist das spülende Wasser, welches bald beginnt, sich in Bienen zu sammeln. Ist der Boden impermeabel, so rinnt alles Wasser oberflächlich ab.

Wo in Folge des Ausstreichens der Schichten Zonen von im-permeablem Gestein mit solchen wechseln, in welche das Wasser leicht eindringt, zeichnen sich die ersteren durch das Vorhandensein zahlreicher kleiner trockener Bienen aus, die sich nach größeren Bodenfurchen hinabziehen, während sie in den anderen unvollkommen entwickelt sind.

Das spülende Wasser kann verderblich in der Änderung des Charakters einer Gegend werden, indem es das gute Erdreich hinwegführt. Die kleinen Schuttkegel, in denen ein Teil wieder abgesetzt wird, werden von stärkeren Regen fortgerissen, und das feinerdige Material gelangt hinab nach den Flüssen. Da Entwaldung von Hügelland die Masse des spülenden Wassers und, wenn sie über größere Regionen erfolgt, die Heftigkeit der Regen vermehrt, so begünstigt sie in hohem

Maße die Abspülung der Gehänge. In kahlen Gebirgen, wie in denjenigen von Zentral-Asien und dem Great Basin, wird aus demselben Grund das spülende Wasser zu einem mächtigen Agens.

Erdpyramiden.—Wo immer das spülende Wasser lockere Massen von sehr verschiedener Korngröße bearbeitet, wird den größeren Stücken die aus feinerem Material bestehende Unterlage allmählich entzogen; sie erhalten eine schwebende Stellung auf einem scharfen Grat oder einem gerundeten Pfeiler, dem sie eine Weile zum Schutz dienen, bis sie bei fortschreitender Unterwaschung hinabstürzen. In Miniatur kann man die Erscheinung nach starken Regengüssen auf Feldern häufig wahrnehmen, besonders wo Schieferfragmente zerstreut liegen. Im Gletscherschutt, der oft durch tonige Substanzen oder kalkiges Bindemittel verfestigt ist, bilden sich durch denselben Vorgang an solchen Stellen, wo das spülende Wasser einen Abzug nach einem weit tieferen Niveau hat und sich deshalb tief einzuschneiden vermag, die als Erdpyramiden bekannten Gestalten. Am Rio Grande finden sie sich im trachytischen Tuff; sie erreichen dort bis 100 Meter Höhe.

Auswaschung im Schutt durch fließendes Wasser.

Sowie das Wasser in Kanälen angesammelt ist, ist seine erodierende Wirkung auf enge Grenzen beschränkt. Es wurde bereits auf das einfache und lehrreiche Objekt der Beobachtung hingewiesen, welches die Ursprungsregionen von Wasserläufen in vulkanischem Schutt darbieten, sei es daß dieser den Schlackenkegel eines Vulkans zusammensetze, oder daß er in Gestalt mächtiger Tuffmassen abgelagert sei. Es entstehen in ihm die als Barrancos und Calderas bekannten, oft sehr großartigen Auswaschungsformen. Jene sind radiale Rillen, diese hingegen kesselförmige Vertiefungen, aus denen die von allen Seiten angesammelten Gewässer durch eine meist sehr enge Schlucht nach außen entweichen. Bei den Kesselbildungen, die in manchen vulkanischen Gegenden zu bedeutender Entwicklung gelangen, sollte in jedem Einzelfall die Rolle untersucht werden, welche die subterrane Erosion (§58), besonders hinsichtlich des seitlichen und rückwärtigen Fortwachsens der Rinnsale spielt.

In manchen Bodenarten findet eine Oberflächenerosion überhaupt nicht, oder doch in sehr geringer Weise statt, da sie auch bei heftigen Regengüssen das Wasser aufsaugen wie ein Schwamm. Dies gilt vor Allem von dem Löß, wo er mächtig lagert. Der für ihn charakteristischen Erosion unter der Oberfläche wurde bereits oben gedacht.

Ähnlich wie lockere oder halbverfestigte Schuttanhäufungen verhalten sich Schiefermassen, welche aufs Äußerste zusammengefältelt, zerklüftet und durch Rutschflächen endlos zerteilt sind, wie die Bündtner Schiefer nebst einem Teil des Flysch in der Schweiz und die Algäuschichten von Nordtirol und Vorarlberg. Sie können als in ihrem groben Bestand homogen aufgefaßt werden. Daher liefern sie in vollkommener Weise die Erosionsformen, mit den oben (§§ 66, 67) erwähnten Erscheinungen des Rückschreitens, der Erniedrigung der Wasserscheiden und der Verbindung benachbarter Erosionsfurchen.

2. Erosion in horizontal lagerndem Gestein.

[§74] Auf jeder horizontal ausgebreiteten Fläche, die auf horizontaler Lagerung von Schichtgesteinen beruht, ist der zerstörende Angriff für das Wasser schwierig; die Oberfläche ist in feuchten Ländern mit Zersetzungsprodukten und Vegetation, in trockenen mit den durch atmosphärische Saigerung übriggelassenen Erzeugnissen der Zerstörung, Sand oder Kies, bedeckt, oder es

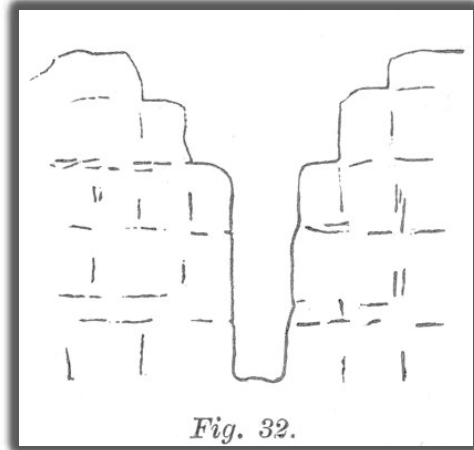
ist durch das beständige Hinwegfegen aller feinen Stoffe der nackte Fels übrig geblieben. Absolute Horizontalität kommt in der Natur auf der festen Erdoberfläche nur in verschwindendem Maße vor. Der Boden wird fast immer mindestens soweit geneigt sein, daß dem Wasser eine Richtung der Strömung vorgezeichnet ist. Aber seine Transportkraft ist so gering, daß es sich durch Zusammenschwemmen der gelockerten Stoffe selbst die Gelegenheit zur Erosion nimmt. Haben die Schichten eine flach muldenförmige Biegung und findet in der Längsachse der Mulde ein an Horizontalität grenzendes Gefälle statt, so strömt zwar das Wasser in dieser zusammen und kann an den flachgeneigten Böschungen ein wenig erodieren; aber im Boden der Mulde werden die Stoffe zusammengehäuft und verhindern die Zerstörung des Gesteins. Doch kann an der konvexen Seite der Windungen, welche der Fluß in dem Sediment macht, eine Abnagung des Gesteins und dadurch die Ausarbeitung eines schärfer gezeichneten Flußbettes stattfinden.

Ein anderes Verhältnis tritt ein, wenn die Tafelfläche in der Richtung des Fließens mit einem schroffen Abbruch endet. Dann ist an dieser Stelle die Bedingung für starkes Gefälle und tiefe Auswaschung gegeben; es bildet sich eine schroffe, erst sehr kurze Schlucht, und von dieser anschreitet die Erosion weiter und weiter zurück. Das Verhältnis kann dadurch komplizierter werden, daß die Tafelfläche in einzelnen Stufen abfällt; dann findet an jeder derselben das tiefe Einschneiden des Wassers und das Rückschreiten der Erosionsfurche statt.

Diese Vorgänge, welche sich oft von dem Rand eines Tafellandes aus gegen seine entfernten Teile hin in allen Stadien verfolgen lassen, bestimmen die Formen im kleinsten wie im größten Maßstab. Es kommen hierbei diejenigen Bodenformen in Betracht, welche wir später (Cap. XVI) als Schichtungstafelländer und Übergusstafelländer bezeichnen werden.

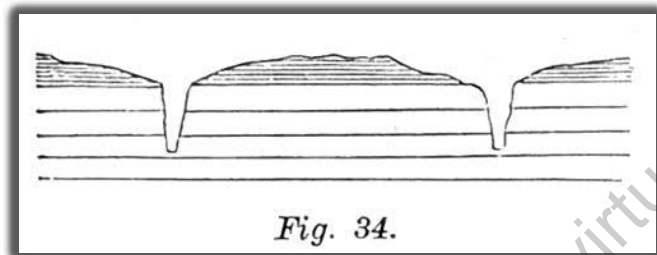
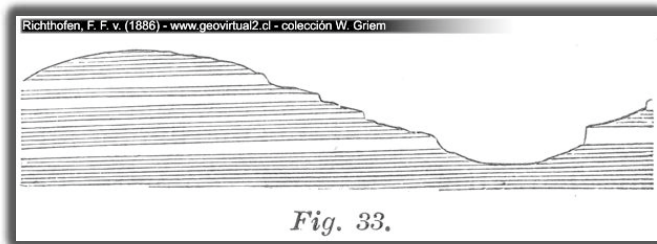
[§75] Schichtungstafelland besteht aus horizontal gelagerten Sedimentschichten. Über große Erdräume sehr vollkommen ausgebildet, lehnt es sich doch nicht selten an höher aufragende, wasserspendende Gebirge, welche es an einer Seite, oder an mehreren, und selbst an allen Seiten beckenförmig begrenzen. In letzterem Fall haben sich zuweilen die Gewässer an einer Stelle der Umrandung einen manchmal sehr tief erodierten Ausweg geschaffen und damit das für die Erosion des Tafellandes erforderliche tiefere Niveau des Abflusses gefunden. In dem Fall einseitiger Gebirgsbegrenzung wird man fast immer an der vom Gebirge abgewandten Seite des Tafellandes einen steileren Abbruch finden, von welchem aus die Erosion rückwärts fortschreiten kann. Es scheint, daß dort, wo sie einmal eingeleitet ist, die Ausfurchung nach der Tiefe schnell vor sich geht, die Verlängerung der Erosionsfurchen nach rückwärts aber sehr langer Zeiträume bedarf. Daher findet man Plateauränder von so wilden und steilen Schluchten durchsetzt, daß dieselben völlig unzugänglich sind und der Anstieg nur auf den trennenden Bücken geschehen kann. Aber meist sind die Schluchten kurz, und auf der Höhe fließen die Gewässer in flachen Schwemmlandtälern, (Sächsische Schweiz, Rauhe Alp, Chinesische Provinz Schansi, Nordindische Saltrange, Ränder der südafrikanischen Tafelländer). Hat aber die erodierende Tätigkeit lange genug fortgedauert, und sind die Tafelländer von großen, anderwärts entspringenden Strömen durchzogen, so sind Schluchtensysteme von oft sehr großartiger Anlage ausgebildet. Hierher gehört der Lauf der Elbe durch das böhmisch-sächsische Quadersandsteingebirge, deren tiefes Niveau die Veranlassung zu den das Wesen der sächsischen Schweiz bedingenden Erosionsformen der kleinen seitlich einströmenden Gewässer geboten hat; ferner der Lauf des Nil in seinem ägyptischen Teil, wo er sein Bett im Boden einer äußerst flachen Mulde erodiert hat; ebenso die langen wohl ausgebildeten Wadi's, welche von dem östlichen Grenzgebirge des Tafellandes herabkommen; vor Allem aber die Canons des Colorado und seiner Zuflüsse.

Der Charakter der Schichtungstafelländer wird nicht nur durch die Länge der Erosionsfurchen, sondern auch durch deren Gestalt im Querschnitt bestimmt, und es sollte diese sorgfältig beobachtet werden. Ist das Gestein von gleichartiger Beschaffenheit und zugleich von senkrechten Klüften durchsetzt, wie in den genannten Quadersandsteingebieten oder, (in weit größerem Maßstab) in geschlossen (Fig. 32); der größere sich lediglich in der größeren Zahl der oft labyrinthisch verzweigten Schluchten geltend, während wasserarme Gegenden nur in langen einfachen Linien von denjenigen größeren Flüssen, welche von außen in sie eintreten, durchzogen sind. Lagern hingegen verschiedene Schichtgesteine übereinander, so sind in trockenen Ländern die Flüsse auch in diesem Fall steil und eng eingeschnitten [*1] und auf einzelne lange Linien beschränkt. In feuchten Ländern hingegen bildet sich dann die größte Mannigfaltigkeit der Formen aus.



[*1]: Nur in den oberen Teilen liegen, wie am Colorado, die beiden Talwände weit auseinander, weil hier der Fluß einst einen mäandrierenden Lauf auf der Tafelfläche hatte. Am Plateau-Abfall ist dies am wenigsten der Fall gewesen. Hier geschah von Anfang an die Erosion wesentlich nach der Tiefe, daher sind hier die Terrassengehänge am wenigsten ausgebildet; je weiter man am Hauptfluß und seinen Nebenflüssen aufwärts geht, desto mehr treten stufenweise die oberen Terrassen auseinander, weil das steilere Gefälle und damit die stärkere Tiefenerosion sehr allmählich nach rückwärts fortschritt, daher hier hinreichende Zeit für größere Ausweitung des Flußtales gegeben war, um so längere in jedem einzelnen Niveau, je höher hinauf es liegt. Am längsten war sie an jeder Stelle im höchsten Niveau, wo die Talränder am weitesten von einander abstehen; je tiefer der Fluß sich einschnitt, desto näher lag eine Stelle steileren Gefälles, daher hatte er immer weniger Zeit für die seitliche Erosion. Es ist indes zu beachten, daß diese Vorgänge für die Erklärung der völligen Ausgestaltung der Terrassen nicht ausreichen. Eine nicht unwesentliche Rolle bei derselben ist der atmosphärische[^] Erosion zuzuschreiben (s. § 194).

Nicht nur entstehen eine große Zahl von Erosionskanälen, sondern jeder entwickelt seine Formen nach dem besonderen Charakter des Gesteins, in das er eingesenkt ist. Die Seitenwände der Täler steigen in einer Reihe von Stufen an, wobei die härteren Schichten steiler, die weiche- ren in sanften Böschungen abfallen (s. Fig. 33, 34). Die Abbrüche der ersteren ziehen in Linien, welche nahezu den Isohypsen entsprechen, um alle Ausbuchtungen der Gehänge herum, und eine die einzel-



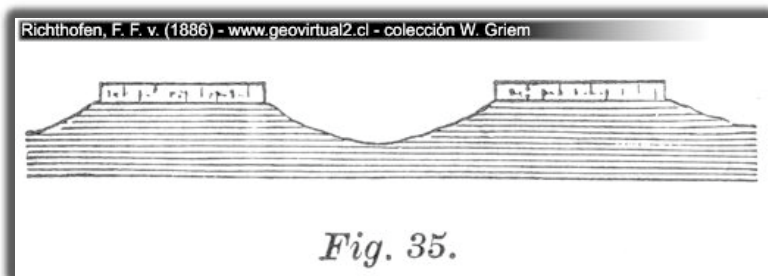
nen Schichten verzeichnende geologische Karte würde das bunteste Gemisch von Unregelmäßigkeit der Linien und Regelmäßigkeit der Aufeinanderfolge darbieten. Die Trias-Lias-Gebiete

in Süddeutschland, vor allem aber das Rothe Becken in der Provinz Sz'-tshwan in China, geben hierfür vortreffliche Beispiele.

Einige der vollkommensten Schichtungstafelländer sind aus einem Wechsel horizontaler Decken von eruptiven Gesteinen und zwischengelagerter tuffartiger Sedimente zusammengesetzt. Sie finden sich von silurischem bis zu tertiärem Alter. Eines der ausgezeichnetsten Beispiele bietet das „Trapp“-Plateau des Dekkan. In allen solchen Fällen ist das treppenförmige Ansteigen der Gehänge der Erosionstäler, besonders bei regenreichem Klima, vorzüglich entwickelt.

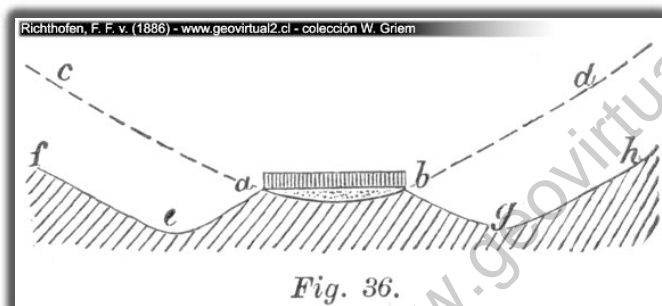
[§76] Übergusstafelländer sind dadurch entstanden, daß ein größerer Erdräum von irgend welchem inneren Bau von einem Eruptivgestein in dünnflüssigem Zustand übergossen wurde, und dieses eine horizontale Oberfläche annahm. Sie werden wesentlich von basaltischen und dole-ritischen Gesteinen gebildet. Die daraus bestehenden Decken dienen den Strömen zur Ausbrei-tung, da sich für die Erosion die größten Schwierigkeiten bieten. Ausgangspunkte für dieselbe gibt die Zerklüftung; aber häufig wird durch dieselbe das Wasser ganz versinken und seine Wir-kung an der Unterlage ausüben, in welcher in der Regel vor der Übergießungskatastrophe ein wohlentwickeltes Abflußsystem vorhanden war. Oft sind basaltische Platten wenigstens in einer Richtung steil abgebrochen. An anderen Stellen begleiten ihre Bruchränder zu beiden Seiten in einigem Abstand einen in das unterlagernde Gestein eingesenkten Fluß. Die Ursache beruht in der Unterwaschung, indem das Gestein, unterstützt durch die senkrechte Zerklüftung, nach-stürzte. Manche Ströme vermögen in langem Lauf über basaltisches Tafelland zu fließen. Ent-weder sind sie so wasserreich, daß sie nur einen Teil ihrer Wassermasse durch Versinken in den Klüften einbüßen, oder diese sind durch die tonigen Sedimente des Flusses verstopft, so daß er weitere schützende Sedimente auf dem Basalt abzulagern vermochte. Solche Flüsse bilden oft Wasserfälle an den Steilabbrüchen des Basaltes (Fälle des Columbia in Nord-Amerika, Victoria-Fälle des Zambesi in Afrika). Über das Rückschreiten solcher Fälle ist nichts bekannt. Vermutlich vollzieht es sich nicht durch Erosion des Deckengesteins, sondern durch Erosion der Unterlage und Nachstürzen der Decke.

Häufig sind Tafeln vulkani-scher Gesteine nur noch in einzelnen Resten vorhan-den. Wo ein kleiner Rest einen Hügel krönt, wird oft der Name „Tafelberg“ an-gewendet. Solche losgeris-sene Tafeln (Fig. 35) sind



neben zusammenhängenden Decken für manche Gegenden charakteristisch. Die Ursache ihrer Bildung ist nicht immer ganz klar. Wahrscheinlich beruht sie in dem eben bezeichneten Umstand, daß die Richtungen einstürzen muß. Hat dies einmal begonnen, so ist der wei-tere Fortschritt leicht.

Wo ein Strom vulkanischen Gesteins sich in ein Tal ergossen hat und es

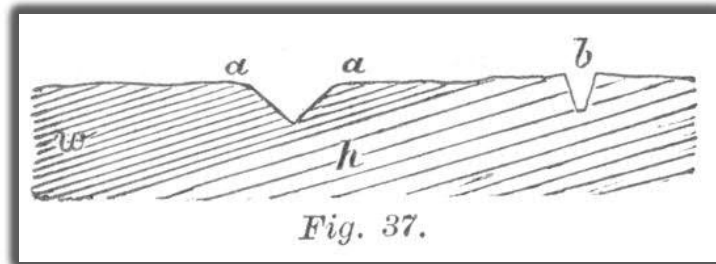


von einer Wand zur anderen ausfällt, kann er den Fluß verdrängen und zur Bildung neuer Erosionsrinnen Anlaß geben. Ein Beispiel dieser Art ist der in Fig. 36 im Querschnitt dargestellte Tafelberg in Tuolumne-County in Kalifornien, welcher als das Ende eines 60 km langen Basaltstromes ein langgedehntes, ung. 500 m breites und 50 m dickes Band abbildet und zu beiden Seiten von Talfurchen (aef und bgh), die in Glimmerschiefer ausgewaschen sind, begleitet wird. Er bedeckt in seiner ganzen Länge ein goldführendes, durch mehrere Tunnel erschlossenes altes Flußbett. Offenbar hatte das Tal früher die Gestalt cabd. Die feste Decke veranlaßte die beiderseitige Bildung eines Stromes und die Fortführung von mindestens 1000 m Gestein durch Erosion. Ähnliches dürfte nicht selten vorkommen.

3. Erosion in geneigten Schichten, wenn die Strömungsrichtung dem Streichen parallel ist.

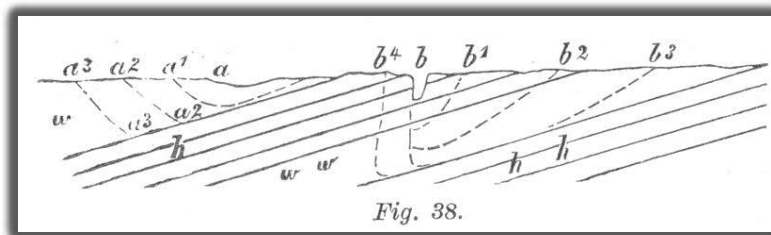
[§77] In einem geneigten Schichtensystem wechseln stets Gesteine von verschiedener Härte. Eine hindurchgelegte Horizontalfläche würde sie in mehr oder weniger parallelen Bändern oder Zonen schneiden. Da nun die Ausbildung einer ganz ebenen Oberfläche zwar durch Abrasion (§ 161) annähernd, aber niemals

vollkommen erreicht werden kann, so findet das Wasser leicht Abfluß, und es bieten sich ihm von Anfang viele Ansatzpunkte zur Erosion. Wenn seine Stromrichtung dem Schichtenstreichen parallel ist, so gräbt es in gleichartigem Gestein



senkrecht nach der Tiefe, und zwar wird es in einem Land von feuchtem Klima, bei gleicher Wassermenge und gleichem Gefälle, in demselben Zeitraum in hartem Gestein (h in Fig. 37) einen engen Kanal (b) in weichem (w), wegen der stärkeren Abtragung der Seitenwände, ein breiteres und zugleich tieferes Bett

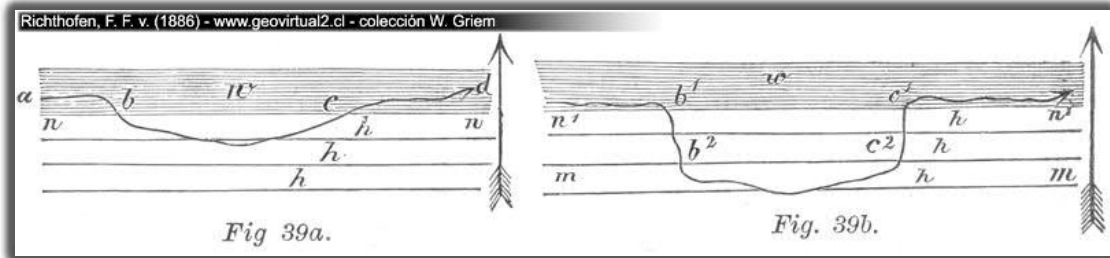
(aa) ausgegraben haben. Wird a (Fig. 38) tiefer gegraben, und das harte Gestein h von der Sohle erreicht, so setzt die Erosion nicht senkrecht in die Tiefe fort, sondern die Sohle



geht auf der Fläche des harten Gesteins hinab, nach a2 und a3. Wird hingegen b tiefer gegraben, so daß es das darunter liegende weiche Gestein (ww) erreicht, so bleibt die Richtung des/Einschneidens senkrecht; aber das Tal erweitert sich einseitig, indem die Unterlage von h unterwachsen wird und dieses Gestein nachstürzt. Das Tal nimmt die Formen b1, bb2 und b b3 an. Kommt hier die Sohle wieder auf hartes Gestein (hh), so findet bei weiterer Erosion ein Hinabgleiten der Sohle statt, wie im vorigen Fall. Das durch b4 bezeichnete Tal wird zur Linken eine steile und selbst überhängende Wand haben, zur Rechten ein sanftes Gehänge.

Diese Erscheinungen sind in gefaltetem Sedimentgebirge, z. B. in den nördlichen Kalkalpen, vielfach zu beobachten. Es erklären sich durch sie leicht die Formen von isoklinen Längstälern,

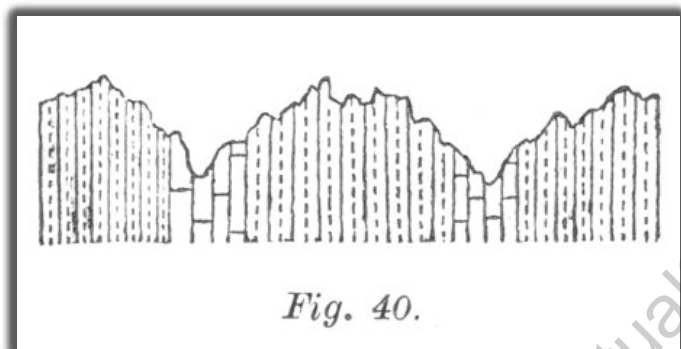
welche durch Erosion, wenn auch in vielen Fällen nicht ursprünglich gebildet, so doch stets vertieft sind. Fast immer ist die sanfte Seite diejenige, an welcher die Schichten dem Tal zufallen, während sie an der Steilseite von ihm hinwegfallen. Die Neigung der letzteren nähert sich der Senkrechten, wenn die Höhe aus festem Gestein besteht, welches durch weiches unterlagert wird.



Seltener ist ein anderer Fall, der aber der Bildung mancher merkwürdigen und schwer erklärbaren Erscheinung in der Anlage von Tälern zu Grunde liegen dürfte. Wenn nämlich $h w$ (Fig. 39 a) ein in der Richtung des Pfeiles einfallendes Schichten-System von harten und weichen Schichten darstellt, und $a d$ einen Fluß, welcher im Allgemeinen dem Streichen parallel gerichtet ist, aber in Folge der ursprünglichen Oberflächengestaltung, oder durch Kluftrichtungen veranlaßt, in der Strecke bc sich bei der ersten Anlage in das harte Gestein (h) eingrub, so wird bei der Tieferlegung des Flußlaufes (s. Fig. 39b) die Strecke $b c$ senkrecht erodiert werden, also in $b^2 c^2$ liegen. Die Strecken $a b$ und $c d$ hingegen sind nach $a^1 b^1$ und $c^1 d^1$ hinabgeglitten, wenn mm senkrecht unter nn gelegen ist und $n^1 n^1$ in dem tieferen Niveau die Trennungslinie der harten und weichen Gesteine darstellt. Die Strecken $b^1 b^2$ und $c^2 c^1$ sind neu hinzugewachsen und werden ziemlich genau rechtwinklig gegen das Streichen gerichtet sein.—In Ländern, wo die Erosion durch fließende Gewässer durch lange geologische Perioden wirksam gewesen ist, wie im südöstlichen China, sind diese Erscheinungen in großartigem Maßstab zu beobachten. In Folge der Härte ragt A zu einem schroffen Gebirge auf, während w in sanften Formen abgetragen ist. Statt des anscheinend leichten Laufes, welchen der Fluß zwischen b^1 und c^1 haben würde, sieht man ihn mit Staunen den unbequemeren Weg wählen und in schaurigen, meist an Stromschnellen und Klippen reichen Engen auf größerer Erstreckung das starre Gebirge durchbrechen.

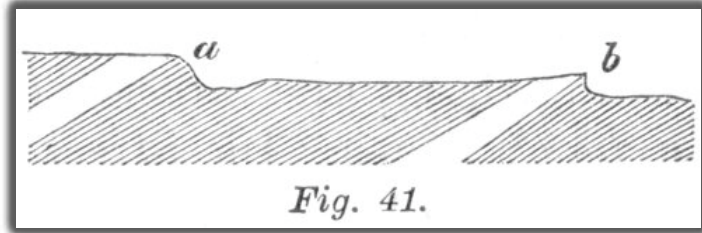
Außer dem Grad der mechanischen Zerstörbarkeit tritt der Grad der Löslichkeit als ein entscheidendes Moment für die Lage der dem Streichen parallelen Täler ein. Bei sehr festen Gesteinen ist dieselbe am meisten bestimmend. Am Tsinling-Gebirge in China z. B. wechseln in senkrechter Schichtenstellung Gneis mit kristallinischem Kalkstein (Fig. 40).

Das ganze Schichtensystem ist von dem Fluß He'i-lung-kiang in tiefer Schlucht quer durchbrochen. Alle der Schichtung parallelen Seitentäler sind in den leichter löslichen Kalkstein eingesenkt.

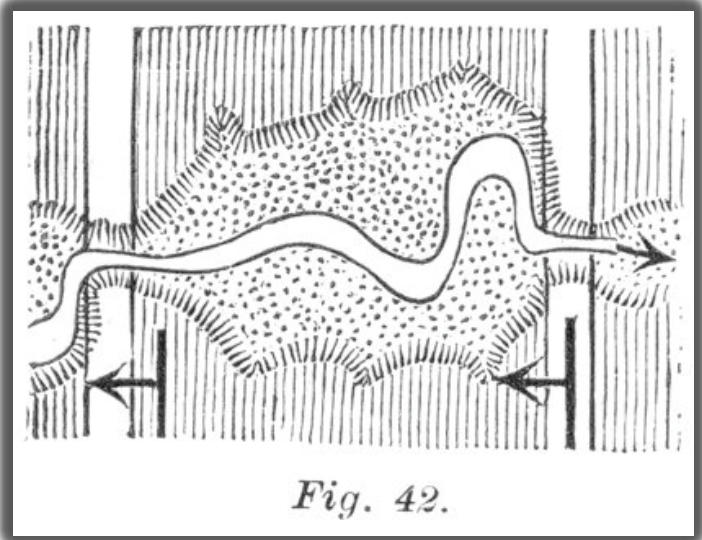


4. Erosion in geneigten Schichten, wenn die Strömung rechtwinklig zum Schichtenstreichen gerichtet ist.

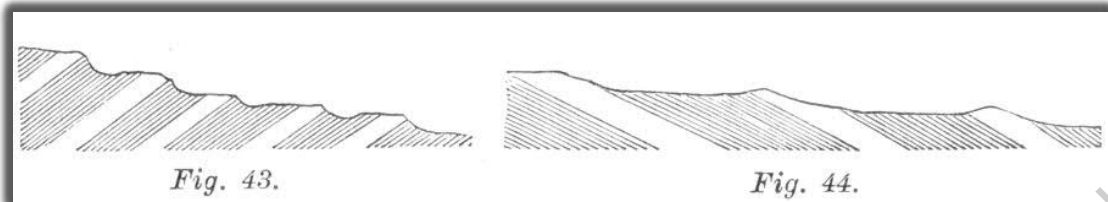
[§78] Die Quertäler in gefaltetem Gebirge durchschneiden meist in ungefähr rechten Winkeln die Streichungslinien geneigter Schichten., Da sie vorzugsweise klare Aufschlüsse bieten, so läßt sich in ihnen der Einfluß des Gesteins besonders gut beobachten.



Wenn Schichten dem strömenden Wasser entgegenfallen (Fig. 41), so gräbt sich das Wasser schnell in das weiche und langsam in das harte Gestein ein. Jede Bank des letzteren hindert aber die tiefere Erosion in dem oberhalb gelegenen Teil weicherem Gestein. Daher lagern sich hier Sedimente ab, in denen der Fluß einen gewundenen Lauf nimmt, vermittelt dessen er die Seitenwände benagt und den Talboden erweitert, wie dies in der Horizontalprojektion (Fig. 42) dargestellt ist. In dem festen Gestein hin-



gegen wird alle Arbeit auf die Tieferlegung des Kanals verwendet. Hier fließt das Wasser schnell hindurch nach der nächst tieferen, in weicherem Gestein gelegenen Stufe. Entweder stürzt es in Einem Fall auf dieselbe und gräbt durch Korrasion eine kleine, aber tiefe Höhlung, wie in a und b, oder es stößt gegen das langsam fließende Wasser und verursacht einen Wirbel, welcher eine größere, aber weniger tiefe Höhlung auswäscht. Es entsteht ein Wechsel von Talweiten mit ebenem Boden und verbindenden Felsengen. Ist die Zone des harten Gesteins breit und der Unterschied im Härtegrad bedeutend, so können die Talböden eine Reihe von Terrassen darstellen. Wenn ein Wildbach in schnellem Wechsel härtere und weichere Gesteine durchströmt, so entsteht eine Reihe von Cascaden, wie in Fig. 43.

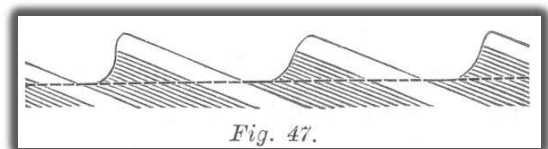
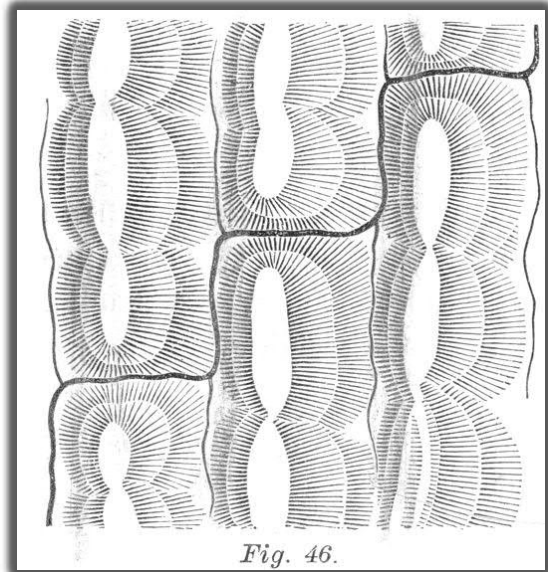
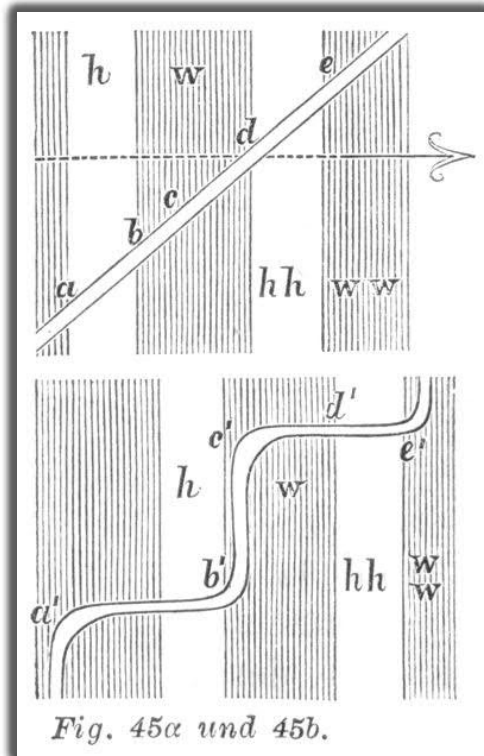


Fallen die Schichten in der Richtung des strömenden Wassers (Fig. 44), so entsteht ein ähnlicher Wechsel von langsamer und schneller Strömung, aber mit weniger schroffen Übergängen. Der Strom stößt sich an die ihm entgegenstehende Kante des festen Gesteins und bildet vor ihr einen Wirbel und eine Vertiefung. Dasselbe wird in größerer Ausdehnung stark benagt; es entstehen

leicht mehrere Kanäle, zwischen denen Riffe und Klippen des festen Gesteins stehen bleiben. Diese Lagerung verursacht daher mit Klippen besetzte Stromschnellen.

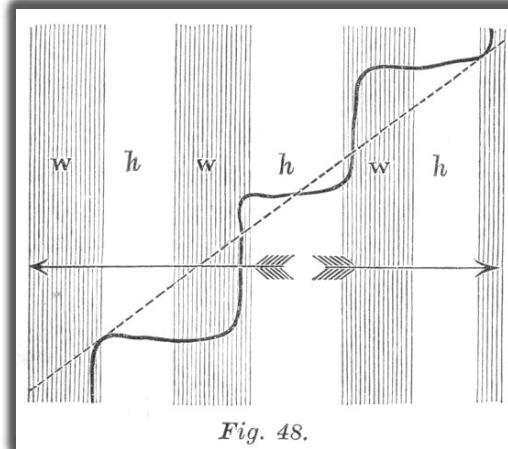
5. Erosion in geneigten Schichten, wenn die Strömung diagonal zum Schichtenstreichen gerichtet ist.

[§79] Wird ein in der Richtung des Pfeiles (Fig. 45 a) einfallendes System härterer und weicherer Schichten (h-w-hh-ww), welches oben abgeschliffen ist, von einem Fluß abcde diagonal zur Streichrichtung durchströmt, so unterliegt jeder Teil des letzteren bei tieferem Einschneiden den in den Erläuterungen zu Fig. 38 und 39 dargestellten Normen, und es entsteht eine Zerlegung in zweierlei verschiedenartige Strecken. Diejenigen im weichen Gestein haben, indem sich jeder Teil des Stromes senkrecht eingräbt, bis er die harte Schicht trifft und dann auf dieser hinabgleitet, das Bestreben, sich der Streichrichtung anzuschmiegen und entlang derselben so lange als möglich in den weichen Schichten zu verharren; dagegen sucht der Strom das harte Gestein auf möglichst kurzem Weg, also rechtwinklig zum Streichen, zu verqueren. Der Strom wird also, wenn er ein tieferes Niveau (wie es in einem idealen Horizontaldurchschnitt in Fig. 45b dargestellt ist) erreicht hat, die aus Längs- und Querstrecken zusammengesetzte Gestalt a¹ b¹ c¹ d¹ e¹ angenommen haben, Fig. 46 stellt die daraus hervorgehende Plastik der Oberfläche dar, Fig. 47 ein auf die Vertikalebene projiziertes Profil. Es ist dabei nicht wesentlich, ob die Strömung in der Richtung ae, oder umgekehrt stattfindet. In beiden Fällen bestimmen b und e die Lage des rechtwinkligen Durchbruchs durch die harte Schicht. Nur ist im ersten Fall das rechte, im zweiten das linke Ufer der Längsstrecken von dem steileren Gehänge begleitet. Der Unterschied tritt hervor, wenn der Fluß, wie in Fig. 48, ein stehendes, durch die beiden Pfeile angegebene Schichtengewölbe durchbricht. Dann sind auf einer Seite die rechten, auf der anderen die linken Talgehänge der Längsstrecken steil. Der Effekt auf die Formen ist in der Profilprojektion (Fig. 49) angedeutet. Es ist dabei angenommen, daß bei der ersten Anlage die weichen Schichten ww sich bis zur Oberfläche zusammenwölbten. Waren die Scheitelgebilde hart, so

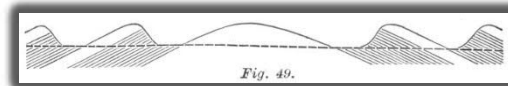


wird diejenige Strecke, in welcher der Fluß sie anfänglich durchströmte, senkrecht niedergehen, ohne die Richtung zu ändern, also in der Diagonale beharren.

Diese theoretischen Ableitungen auf Grund eines Prinzips, welches zuerst G. K. Gilbert erkannt zu haben scheint, sind in der Natur zu prüfen. Sie scheinen den Schlüssel für das Verständnis einer Menge von eigentümlichen Fällen der Gebirgsanordnung zu geben. Es wird sich Gelegenheit bieten, darauf zurück zu kommen. Die Erscheinung bezeichnen wir als diagonale Stromzerlegung.

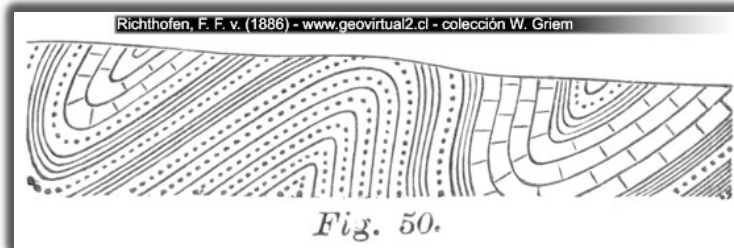


6. Erosion fließender Gewässer auf Abrasionsflächen.



[§80] Wir werden später (§ 161) die Abrasionsflächen kennenlernen, welche dadurch entstehen, daß die Brandungswelle größere Landstriche abschleift, und die Trümmer fortgeführt werden. Wenn die Meeresbedeckung verschwindet, läßt sie ein auf große Strecken ebenes, in anderen Teilen ein in welligen Stufen ansteigendes Land zurück, dessen innerer Bau, im Gegensatz zu Schichtungstafelländern, die bunteste Gesteinszusammensetzung und Struktur besitzen kann. Es herrschen daher in der Anordnung und Gestaltung der Erosionskanäle und der Umformung des Tafellandes in Hügelland durch die Erosion nicht die dort geltenden einfachen Gesetze; sondern

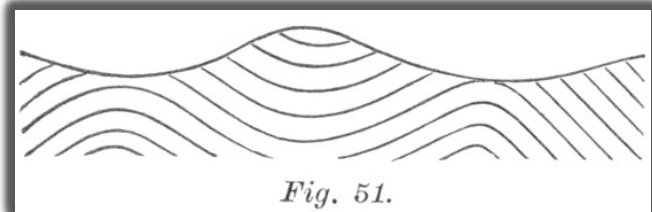
es können alle bisher betrachtete Fälle vorkommen. Die Abrasionsflächen scheinen am gleichmäßigsten zu sein, wenn sie regelmäßiges Faltungsgebirgsland bei



gleichmäßigem Härtewechsel der einzelnen Schichtgesteine durchschneiden, der innere Bau also den Modifikationen des in Fig. 50 dargestellten einfachen Schemas entspricht, wie es im Rheinischen Schiefergebirge der Fall ist. Solche Schichtensysteme, welche der Abrasion einen größeren Widerstand leisteten, werden, auch wenn sie weichere Gesteine umschließen, in Gestalt flacher Wellen aufragen, wie sie in dem genannten Gebirge durch die Züge des Taunus, des Westerwaldes, des Hunsrück, der Schnee-Eifel, des hohen Venn und der Crete de Condroz dargestellt werden. Bei der Trockenlegung ist, wie immer Oberfläche und innerer Bau beschaffen sein mögen, jedenfalls in erster Linie die Richtung der Abfälle für die Bildung der primären Erosionsrinnen maßgebend gewesen; in zweiter Linie wird die innere Struktur bei der Entstehung sekundärer Rinnen, welche in die ersteren einmünden, mitgewirkt haben. Diese sekundären Erosionsfurchen scheinen in der Regel der Streichrichtung der Falten zu folgen, die primären hingegen mehr oder weniger rechtwinklig die letzteren zu durchschneiden, daher große entwickelte Längstäler in solchen Ländern selten sind. Diese mindestens sehr häufige, vielleicht allgemeine Erscheinung läßt sich auf den a priori vorauszusetzenden Umstand zurückführen, daß das Meer bei der Bildung der Abrasionsfläche in Linien vorschritt, welche den Faltungen, d. h. der

Achsenrichtung des Gebirges, parallel waren, und in ebenso gerichteten Linien zurückwich, so daß die ersten Abzugsrinnen rechtwinklig zu diesen verlaufen mußten. Da nun aus dem Meere aufsteigende Abrasionsflächen die Ursprungsform großer Kontinentalgebiete gewesen sind, so ist in der Regel das Quertal die Grundform des Wasserabflusses. Große Längsmulden, welche von zwei Wellen härterer Gesteine eingeschlossen waren, konnten Zuflüsse aufnehmen; aber selbst dann waren die von den beiden Flanken jedes Rückens herabziehenden Querschnitte der Zeit nach die erste Bildung.

Ein zweiter bemerkenswerter Umstand besteht darin, daß die Längsrinnen meist antiklin sind (Fig. 51), d. h. den Gewölbesätteln folgen; seltener sind sie isoklin, und noch seltener folgen sie den Mulden der Faltungen und werden dadurch synklin.



Die Ursache hiervon ist leicht zu erkennen. Denn in den Gewölbesätteln ist das Gestein am meisten gedehnt und gelockert, in den Mulden am stärksten zusammengepreßt und verdichtet. Dieses Verhältnis mußte schon bei der Abrasion selbst von Einfluß auf die Oberflächenformen sein, aber ebenso für die spätere Entstehung von Erosionsrinnen in der Richtung des Schichtenstreiches bestimmend bleiben. Satteltäler würden vielleicht die ausschließliche Form der letzteren sein, wenn nicht durch die in § 77 und § 79 erörterten Vorgänge ein Hinabgleiten der Talsohlen auf den festesten Gesteinsschichten stattfände.

Übrigens kommen gerade in Gebirgen dieser Art auch Diagonaltäler vielfach vor, indem sich wahrscheinlich bei der ersten Anlage die beiden Talrichtungen zu einer winkligen Mittelrichtung verbanden, und dann entstehen die in § 79 angegebenen Abweichungen.

Man erkennt Abrasionsgebirgsländer daran, daß die Schichtgebilde unter den verschiedensten, auch den steilsten Winkeln zu Tage ausstreichen, und alle Höhenlinien, wenn man sie von einem Punkt aus überblickt, sich nahezu decken, so daß die Kämme ersichtlich die Beste einer Fläche sind, welche ehemals kontinuierlich war, aber durch die Talerosion aufgelöst wurde. Die Aufmerksamkeit richtet sich erst in neuester Zeit darauf, und es fehlt noch durchaus an Beobachtungsmaterial zur Vergleichung. Gelegenheit zur Untersuchung ist in allen Kontinenten gegeben.

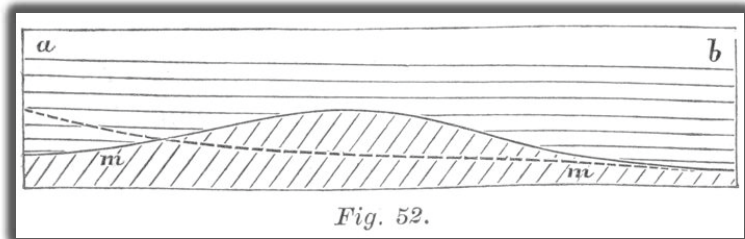
7. Einfluß übergreifender Lagerung auf die Erosion.

[§81] Abrasionsflächen sind selten unbedeckt. In der Regel ist das Abrasionsmaterial in transgredierenden Schichten abgelagert (§ 163), welche, wenn sie größere Mächtigkeit erreichen und nachträglich keine erheblichen Störungen erfahren haben, Schichtungstafelländer bilden. Es entsteht nun während und nach der Trockenlegung ein Erosionssystem, welches dem Charakter Jener (§ 76) entspricht und von dem inneren Bau der Unterlage unabhängig ist. Auch dann, wenn die transgredierenden Schichtmassen nachträglich bedeutende Verwerfungen und faltende Stauungen erleiden, steht das unter diesen Störungen sich fortbildende Abflußsystem in keiner direkten Beziehung zum Unterbau. Ist nun die Gesamtheit der transgredierenden Gebilde so hoch erhoben, daß auch die Oberfläche des Unterbaues über dem Meeresniveau liegt und die Erosionskanäle in denselben eingegraben werden können, so werden sie das Bestreben haben, in ihm senkrecht niederzugehen und mithin eine Anordnung zu schaffen, welche von der

Struktur der Unterlage unabhängig ist. Es werden allerdings durch deren Bau und Zusammensetzung, insbesondere den Wechsel härterer und weichem Gesteine, noch mancherlei Modifikationen hervorgebracht werden; aber die großen Züge der Anordnung werden sich im Wesentlichen nicht mehr ändern. Dauert die Erosion hinreichend lange fort, so kann die Decke, die in der Regel aus leichter zerstörbaren Gesteinen besteht, ganz, oder bis auf einzelne Reste, entfernt werden; es wird dann eine Anordnung der Täler bleiben, welche nur in kleinen Einzelheiten Beziehungen zu dem Bau der von ihnen durchsetzten Gebirge hat, in ihren Hauptlinien aber davon abweicht. Hierdurch mögen sich die vielen großen Diagonaltäler mancher Gegenden erklären; z. B. im südöstlichen China, wo eine mächtige Decke horizontal gelagerter roter Sandsteine von einer in hohem Grade gefalteten, jetzt die Gebirge fast ausschließlich zusammensetzenden Unterlage bis auf sporadische Reste während einer langen Erosionszeit entfernt worden ist. Die Abflurinnen scheinen dort in ihrer Anlage durch die Neigung der roten Sandsteine bestimmt worden zu sein; aber die Flüsse durchströmen diese nur noch an einzelnen Stellen und sind längst vermittelt des Einschneidens in das unterlagernde ältere Gebirge, zu dessen Streichen sie schiefwinklich gerichtet waren, in einen ausgezeichneten Wechsel von Längs- und Querstrecken (nach dem Schema von Figur 45) zerlegt worden. Wo die Flüsse schiffbar sind, wie dort, sind diese gebrochenen Diagonaltäler von der größten Wichtigkeit, weil sie eine Verbindung der entlegensten Gebirgsgegenden mit den Mündungsgebieten der Ströme herstellen.

Man kann die hier dargestellten Bildungen als epigenetische Erosionstäler bezeichnen. Wahrscheinlich liegen sie mehreren von denjenigen Fällen zu Grunde, wo ein Fluß eine Gebirgsschwelle durchbricht, welche höher ist als die Wasserscheide in seinem Ursprungsgebiet, oder wo ein Fluß überhaupt sein Bett durch einen Gebirgszug oder eine einzelne Erhebung gesägt hat, während sich ihm daneben scheinbar ein niedriger Ausweg geboten hätte, oder wo er in ein festes Gestein eingeschnitten ist, während daneben lagerndes weiches Gestein ihm geringeren

Widerstand entgegengesetzt haben würde. Denn es können im Unterbau Unebenheiten bestehen, welche sich an der Oberfläche der transgredierenden Schichten gar nicht ausprä-



gen. Ist die letztere, wie in Fig. 52, von a nach b geneigt, so wird bei der Trockenlegung das Gefälle nach dieser Richtung stattfinden. Indem der Fluß sich tiefer einschneidet, wird er sein Bett durch den Rücken m m hindurch graben. Wenn dann gebirgsbildende Kräfte den Unterbau mit dem Rest der transgredierenden Schichten umgestalten, können entweder neue Abflußverhältnisse geschaffen werden, oder die Flüsse können wenigstens zum Teil in ihren Kanälen beharren und sich während der allmählichen Emporwölbung des Gebirges tiefer eingraben. Es ist wahrscheinlich, daß viele Gebirgstäler von abnormer Anlage ursprünglich epigenetisch gewesen sind. Die Möglichkeit einer solchen Entstehung mit später hinzugetretenen großen Komplikationen erscheint z. B. für die großen Quertäler des Himalaya nicht ausgeschlossen. Bekanntlich fällt in dem größten Teil desselben die Hauptwasserscheide der Ströme der Südseite nicht mit der Hochgipfelkette zusammen, sondern liegt hinter derselben in Ketten von geringerer Höhe. Die Flußbecken zwischen den letzteren und der von den Strömen durchbrochenen Hochgipfelkette sind größtenteils in mächtige, durch Faltung nur wenig gestörte Ablagerungen versteinierungsreicher Sedimentschichten eingesenkt. Die Gewässer könnten sich durch deren ehemals zusammenhängende Decke hindurch, bei südwärts gerichtetem Gefälle, in die darunter befindlichen Teile der Hochkette eingeschnitten und, nachdem sie einmal in diese Kanäle gebannt waren,

ihre Lage trotz aller späteren Störungen beibehalten haben. Zwar hätten durch das Emportreiben der Hauptkette die Oberläufe zeitweilig gestaut werden müssen, und einzelne größere Verebnungen mögen in der Tat die Überreste davon sein; aber durch die von unten nach oben rückschreitende Erosion würde die Tendenz zum Anzapfen und tieferen Ausfurchen der gestauten Teile vorhanden sein. Für diese Erklärung dürften sich bessere Argumente bieten, als für die zweierlei Annahmen: einerseits, daß das Emporsteigen der Hauptgipfelkette quer gegen den Lauf der Flüsse für sich allein ausreichend gewesen sei, um das Einschneiden der Flüsse in sie zu ermöglichen (§ 89), andererseits, daß die großen Quertäler des Himalaya allein durch rückschreitende Erosion von der Wetterseite her (§ 72) entstanden seien.

8. Einfluß der Gesteinszerklüftung.

[§82] Wenn die durch Regen und schmelzenden Schnee gebildeten Rieselwässer den Richtungen der stärksten Neigung zu folgen bestrebt sind, werden sie durch vielerlei geringe Hindernisse abgelenkt. Ausgewitterte Kristalle, kleine Quarzgänge, der Härtewechsel der Schiefergesteine beeinflussen die Wege der beginnenden Erosion. Dazu kommen die Klüfte des Gesteins, so-wohl diejenigen, welche durch die Verwitterung erkennbar werden (§ 42), wie die latenten, welche das eindringende Wasser aufzufinden und bei eintretender Frostwirkung auszuweiten vermag (§ 41). Am besten kann man auf freiliegenden geneigten Schichtflächen zerklüfteter Schiefer beobachten, wie die Rieselwässer die dadurch vorgezeichneten oft sehr winkelligen Bahnen benutzen. Je grösser die Kraft des Wassers, desto mehr überwindet es diesen Einfluß, um von demjenigen des Gefälles in höherem Grade geleitet zu werden. Je enger und gleichmäßiger das Zerklüftungsnetz, desto mehr folgen die strömenden Wässer gewissen Durchschnittsrichtungen. Je weiter aus-einander die Klüfte liegen, und je mehr darin gewisse Richtungen vorwalten, desto mehr bestimmen sie den Verlauf der Erosionsrinnen. Wasserreiche Bäche und kleine Flüsse lassen diese Einwirkung oft noch sehr deutlich erkennen. Es ist gezeigt worden (§ 46), wie die blockförmige Zerklüftung und Verwitterung der eruptiven Granite den sich sammelnden Rieselwässern, falls hinreichendes Gefälle vorhanden ist, bestimmte Bahnen zur Erosion anweist, und dadurch ein Bloßlegen und Anhäufen der Blöcke stattfindet. Die tiefste Erosionsrinne, welche die anderen in sich aufnimmt, kann dadurch eine winkelige Gestalt erhalten und diese noch in einem vorgeschrittenen Stadium der Austiefung, wenn auch in abgeschwächter Form, bewahren.

Dasselbe gilt in noch höherem Maße von horizontal gelagertem dickbankigem Sandstein, besonders wenn die vertikalen Klüfte nach zwei sich kreuzenden Richtungen angeordnet sind, und einzelne, weit auseinanderliegende sich durch vollkommeneren Sonderung der Kluftwände auszeichnen als andere. Ist ein solches Tafelland durch einen Steilabsturz abgeschnitten, oder von einer tiefen Stromrinne durchzogen, so daß den abfließenden Gewässern tiefliegende Zielpunkte gegeben sind, so sieht man ganze Systeme winkelliger Klufttrinnen sich zu wenigen größeren, auch noch streckenweise der einen und der anderen Klufttrichtung folgenden, tief eingeschnittenen Bächen vereinigen, und es entstehen die durch enge, gewundene, zuweilen fast rückläufige Schluchten getrennten Castellformen, von denen einige Beispiele in § 75 genannt wurden. Sie sind der Grundtypus mancher Schichtungstafelländer, besonders von Sandstein, vorwiegend in denjenigen Teilen, welche den größeren Strömen zunächst gelegen sind.

Auch dieses Phänomen sollte zunächst dort studiert werden, wo es im kleinsten Maßstab auftritt; es wird dann leicht sein, die Erfahrungen über den Einfluß der Zerklüftung auf den Gang

und die Wege der Erosion auf größere Erscheinungen anzuwenden, welche in § 95 dargestellt sind.

D. Sedimentablagerung durch fließende Gewässer.

Flüsse führen festes Gesteinsmaterial von höheren nach tieferen Gegenden, mit der Tendenz, es in den Niederungen oder dem Meer abzulagern. Der Weg kann kurz oder lang sein, und der Vertikalabstand, um den es abwärts getragen wird, kann ebenfalls sehr verschieden sein. Einzelne Gesteinsteilchen legen den ganzen Weg, andere nur einen kleinen Bruchteil desselben zurück. Man kann zunächst die Ablagerungen in fließendem von denjenigen in stillstehendem Wasser, und unter den ersteren wiederum eine Reihe von Stadien unterscheiden.

1. Ablagerung in bewegtem Wasser.

[§83] a. Schutthalden. Der Gebirgsschutt wird durch Spaltenfrost (§ 41) und Verwitterung (§ 42—48) geliefert und durch Abspülung der Gehänge (§ 73) zusammengetragen. Das Wasser sinkt ein; es fehlt ihm die Kraft zum Fortschaffen. Jahrhunderte lang kann der Schutt an einem Abhang angehäuft werden, bis fließendes Wasser, indem es sein Bett dorthin verlegt, ihn untergräbt und fortführt. Wo dieses nicht hin kommt, bleibt der Schutt liegen; nur Eis vermag ihn gänzlich fortzuschaffen (§ 105). Die größten Anhäufungen von Gebirgsschutt Anden sich in den Gebirgsregionen der Zentralgebiete. In gewissermaßen latentem Zustand ist er in den Ländern der regionalen Zersetzung (§ 48) aufgespeichert.

b. Schuttkegel. Die Wildbäche des Hochgebirges nehmen den Gebirgsschutt und den ihnen von Gletschern überlieferten Moränenschutt hinweg, bewegen ihn, besonders in Zeiten vermehrter Wassermasse, schiebend und rollend in ihren Betten hinab und lagern ihn ab, wo ihr Gefall und damit ihre Tragkraft abnimmt; das ist am Ende ihres Erosionskanals. Die Gestalt der Schutthäufung ist, wenn Baum zur seitlichen Ausbreitung vorhanden ist, diejenige eines in Form eines halben Kegelmantels gekrümmten Fächers. Die Höhe derselben richtet sich teils nach der Masse des zugeführten Materials, teils nach dem Raum, welcher zu senkrechter Aufsichtung vorhanden ist. Daher' trifft man die höchsten Schuttkegel dort, wo ein sehr steiles oder senkrecht Gefälle plötzlich in sehr geringes übergeht; z. B. an solchen Stellen, wo in der Erosion zurückgebliebene und stark transportierende Wildbäche kaskadenartig in einen ebenen Talboden münden. Der Neigungswinkel des Schuttkegels kann im obersten Teil bis zu 30° betragen und nimmt nach unten ab. Das Wasser des Wildbaches nimmt seinen Lauf in radialen, häufig wechselnden Rinnen. In vielen Fällen versinkt es bei gewöhnlichem Wasserstand im Schutt, um sich bei höherem Stand um so machtvoller über die Oberfläche hinab zu stürzen und derselben neues Material zuzuführen. Die Schneeschmelze ist die günstigste Jahreszeit für die Vergrößerung der Schuttkegel. Außergewöhnliche Fluten erhöhen sie so bedeutend, daß sie dann durch eine lange Periode ruhen und mit Moos und Wald überwachsen sein können. Ein interessantes Objekt für eingehende Studien bilden die Schuttkegel besonders in den Hochgebirgen der abflußlosen Zentralgebiete, z. B. am oberen Indus und im Great Basin.

c. Fortbewegung im Flußbett. Schuttkegel sind oft in großer Zahl zu den Seiten eines Tales angeordnet, in dem ein größerer Fluß seinen Lauf nimmt. Wenn die Seitenbäche anschwellen, führen sie ihm selbst das Material ihrer Schuttkegel zu; doch greift er die letzteren auch durch

eigene Tätigkeit der Reihe nach an, wenn er seine Windungen nach rechts oder links verlegt, unterwäscht sie und nimmt ihr Material auf. Hat er keine genügende Kraft, so füllt sich sein Bett mit Schutt an; das ganze Tal kann davon eingenommen werden. Ist aber die Tragkraft hinreichend, so wälzt der Fluß den Schutt mit sich fort und zerkleinert ihn durch Abrollen. Hat er noch Erosionsstrecken, so vertieft er sie durch Korrasion mittelst des Schuttes. So lange seine Geschwindigkeit hinreichend ist um Schutt zu transportieren, ist allgemeine Zermalmung des Materials die Tendenz.

d. Dejektionskegel. Die Dejektionskegel, welche die Ströme dort aufwerfen, wo ihr Gefälle sich stark vermindert, wie bei dem Austritt aus einer Erosionsfurche des Gebirges in eine ebene Talweitung oder in ein offenes Flachland, unterscheiden sich nur dem Grade nach von den Schuttkegeln der Wildbäche. Die Aufschüttung Beider erfolgt nach dem gleichen Gesetz: Der Fluß läßt in dem Maße, als seine Tragkraft mit der Verminderung des Gefälles nachläßt, erst das noch mitgeführte gröbere Material, dann, nach abnehmender Korngröße, das feinere fallen; dadurch wird sein Bett über die Umgebung erhöht; er tritt über und lagert Sedimente auf die Bänder, die ebenfalls erhöht werden; schließlich durchbricht er diese und nimmt einen neuen Lauf. Da die Divergenz jedes neuen Laufes nicht höher beginnt, als an der Stelle, wo der Fluß den steileren Gebirgslauf verläßt und zugleich Raum für die seitliche Ausbreitung gegeben ist, so ist auch in diesem Fall das Streben nach der Ausbildung der Gestalt eines Fächerkegels vorhanden. Gleichzeitig mit der Korngröße nimmt von dem Scheitel aus der Neigungswinkel allmählich ab. Indem an diesem (von n nach s Fig. 26, § 66) die größte Erhöhung stattfindet und das untere Ende des Erosionskanals allmählich zurückschreitet, verlängert sich der Scheitel rückwärts in die Talsohle hinein, in der nun der grobe gerundete Schotter liegen bleibt. Andererseits wächst mit der Zeit die Neigung des Dejektionskegels, und damit die Tragkraft des Flusses in dessen Gebiet; er schafft das gröbere Material weiter hinab. Hochfluten reißen ihm schließlich ein tieferes Bett durch den Kegel hindurch.

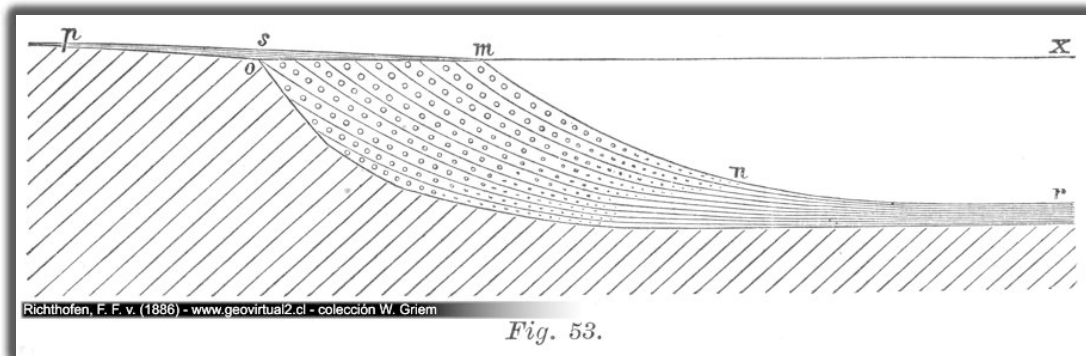
Diese Vorgänge sind sehr mannigfaltig und bieten Gelegenheit zur Beobachtung an jeder Stelle, wo in einem Flußlauf ein Wechsel von stärkerem zu schwachem Gefälle stattfindet. Jede Ablagerungstrecke ist, auch wenn sie auf das Flußbett beschränkt ist, ein in der Ausbildung behinderter Dejektionskegel. Besonders sind Beobachtungen wünschenswert über das gegenseitige Verhältnis von Wassermasse, Gefällewinkel, Horizontalausdehnung der Ablagerung, sowie Neigungswinkel und Korngröße derselben.

e. Alluvialkegel. Wenn ein durch weites flaches Land fließender Strom sich selbst überlassen ist, so breitet er, mit oftmals wechselndem Lauf, die feinen Sedimente, Sand und erdige Teile, durch Überschwemmung zu seinen Seiten aus. Er schiebt den Sand im Flußbett fort und lagert ihn bei Hochwasser auf seinen Ufern ab, die dadurch erhöht werden, während die erdigen Teile im Überschwemmungswasser suspendiert sind und auf dem ebenen Boden abgesetzt werden. Es waltet aber die Tendenz fort, je weiter hinab und je weiter von dem jeweiligen Flußkanal entfernt, desto feineres Material niederzuschlagen; zugleich nimmt dessen Menge nach beiden Richtungen ab. Es werden dadurch die ausgedehnten Alluvialebenen im Unterlauf großer Ströme geschaffen. Scheinbar eben, wiederholen sie doch die Gestalt des Dejektionskegels, wenn auch die Höhendifferenzen oft gering sind. Ist ein Strom noch nicht durch Dämme in bestimmte Kanäle gezwängt, so übt er seine Herrschaft über den Alluvialkegel ungehindert aus. In Windungen zieht er hindurch. An der konvexen Seite jeder Windung findet Loslösung der Sedimente und Vorschieben, der Kurve nach außen statt, bis sie sich mit einer anderen Kurve berührt, und dadurch der Strom freiere Bahn bekommt. An konkaven Krümmungen geschieht Ablagerung, oft mit sehr verwickelten Schichtungsverhältnissen. Hier und da wird das alte Bett

verlassen und ein neuer Kanal eingeschlagen. Wenn dies von dem Scheitel des Kegels aus geschieht, so können sich durchgreifende Änderungen vollziehen. Der Gelbe Fluß bietet dafür das großartigste Beispiel. — Die Gesetze der auf stete Änderung gerichteten Vorgänge im Flachlandlauf der Ströme sind einfach, die Erscheinungen oft kompliziert; in vielen Fällen ist es von Interesse, sie im Einzelnen zu verfolgen.

2. Ablagerung in Seen.

[§84] Wo immer ein Fluß in einen hinreichend großen Süßwassersee mündet, fällt das gesamte von ihm getragene feste Material zu Boden, das Größere schnell und in der Nähe der Einmündungsstelle, das Feinere langsam und zum Teil in weiterer Entfernung; die lakustrischen [original: lacustrinen] Ablagerungen aus einem schotterführenden und aus einem nur zum Transport von Sand fähigen Fluß unterscheiden sich dem Grade nach ebenso, wie ein Schuttkegel und ein Dejektionskegel. Während jedoch bei den beiden letzteren das Größere allein sogleich niederfällt und geringe Spuren von Schichtung zeigt, die Kraft des Stromes aber das Feinere weiter führt, wird diese bei der Einmündung in einen See sofort so abgeschwächt, daß von Anfang an Material von allen Korngrößen niedersinkt, und ein Unterschied nur einer-seits dadurch hervorgerufen wird, daß das Größte am schnellsten niedersinkt und das Feinere langsam nachsinkt; andererseits dadurch, daß ersteres ausschließlich in der Nähe der Einflußstelle bleibt, letzteres hingegen, da eine Verschiebung der ganzen Wassermasse gegen die Abflußstelle hin stattfindet, größere Ablagerungsareale einnimmt, deren Ausdehnung mit der Feinheit des Korns zunimmt. Es entstehen dadurch eigentümliche Ablagerungsgebilde, die von allen anderen abweichen. Am meisten typisch sind sie dort, wo schotterführende Flüsse in Gebirgsseen münden (s. Fig. 53). Folgendes sind ihre Eigenschaften:



1) Der Schotter lagert sich von Anfang an in geneigten Schichten ab, wie auf der Sturzhalde eines Bergwerks, und läßt jede Periode der Steigerung der Transportkraft des fließenden Wassers erkennen, indem die Zeiten niederen Wasserstandes durch Zwischenschichten von Kies und Sand bezeichnet sind. Der Neigungswinkel der Schotterschichten beträgt zuweilen 30 bis 35°.

2) Die steile Neigung bildet den oberen Teil einer nach oben konkaven Kurve (m n r der Figur), deren Gestalt mit der Abnahme der Geschwindigkeit, mit welcher die weiter in den See getragenen Sedimente niederfallen, in Verbindung steht. Auf dem zentralen Teil des Bodens großer Seen findet sehr geringer Niederschlag toniger und glimmeriger Teilchen in wesentlich horizontalen Schichten statt.

3) Die Oberfläche des lakustrischen Schotterkegels (o m) ist eben und wächst im Niveau des Seespiegels nach Länge und Breite fort. Der Widerstand, welchem das schnellbewegte Flußwasser begegnet, beginnt daher dort, wo dieses die Oberfläche von jenem erreicht. In Folge dessen lagert sich Fluß-Schotter, in beinahe horizontalen Schichten den Schichtenköpfen der Sturzhalde auf. Der Fluß wird gestaut und verzweigt sich deltaartig auf der gegen den See geneigten Oberfläche seiner eigenen Ablagerungen. Die letzteren sind bei dem Anschwellen des Flusses Überschwemmungen ausgesetzt, werden dadurch mit feinerem Material bedeckt und beginnen durch Bodenvegetation verfestigt zu werden. In der Figur ist mit p o der Boden des Flußbettes, mit p s m der auf dem lacustrinen ruhende fluviale Schuttkegel, auf welchem die Delta -Verteilung stattfindet, bezeichnet, während m x den Seespiegel darstellt.

Die Abdachung des Bodens, welcher an der Stelle der Einmündung eines Flusses in einen Gebirgssee entstanden ist, ist daher keineswegs ein Beweis für die Tieferlegung des Abflusses, sondern muß sich in jedem Fall mit Notwendigkeit vollziehen. Lehrreiche Beispiele bietet jeder Alpengensee. Erst wenn der Fluß durch seine Deltaschicht hindurch in die geneigten lakustrischen [original: lacustrinen] Ablagerungen eingeschnitten ist, ist der Beweis für eine Erniedrigung des Seespiegels gegeben. In die meisten Gebirgsseen münden mehrere Flüsse. Jeder schiebt seine geschichtete Schutthalde und deren sanft-geneigte, deltaartig von dem Fluß durchströmte, sich abdachende Decke horizontaler Fluß-Sedimente seewärts vor. Dieselben wachsen in Gruppen zusammen und haben die Tendenz, schließlich den ganzen Raum des Sees einzunehmen.

Was von Gebirgsseen und schotterführenden Flüssen gilt, läßt sich auf diejenigen Seen anwenden, welche in flacherem Lande liegen und von Flüssen gespeist werden, die nur Sand und feinere Stoffe zu transportieren im Stande sind. Die Unterschiede werden wesentlich in den Neigungswinkeln vorhanden sein.

Die Beobachtung kann nach verschiedenen Richtungen geschehen. Erkundung historischer Tatsachen kann, mit Messung vereint, über die Schnelligkeit des Anwachsens des in den See vorgeschobenen Bodens Aufschluß geben. Die Neigungswinkel der Halden, insbesondere die Gestalt der-Kurve von der Flußmündung nach dem Seegrund, sollten durch sorgfältige Lotungen festgestellt werden. Wenig verwertet sind die Gesichtspunkte, welche sich bei Binnenseen bieten, deren Niveau Schwankungen unterworfen ist. Steigt dasselbe, so sollten die horizontalen Schichten von geneigten Seeschichten überlagert werden, und auf deren Haldenfläche sich ein zweites horizontales System niederschlagen. Fällt es, so müßte der in die lakustrischen Schichten eingeschnittene Fluß dem See in verstärktem Maße neues Material zuführen und hier einen Schuttkegel mit tieferliegender Oberfläche aufwerfen. Dieselbe Abstufung würde sich in den Deltaschichten zeichnen und könnte sich bei fortgesetzter Erniedrigung des Seespiegels mehrere Male wiederholen.

Wo ein gänzlich ausgefülltes Seebecken später durch die Erosion eines Flusses durchschnitten wird, kann man die eigentümliche Lagerung beobachten. Man findet zuweilen in einer Gegend, welche keine Störungen erlitten hat, sehr jugendliche Schichten von Schotter, Sand und Ton mehrere tausend Fuß mächtig beständig unter Winkeln von 12° bis 20° und mehr geneigt und oben durch eine Ebene abgeschnitten. In solchen Fällen hat man es mit einer alten See-Ausfüllung zu tun. (S. auch § 209).



3. Hochflutseen.

[§85] Einige große Ströme, bei denen die Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Wasserstand beträchtlich ist, haben zur Seite umfangreiche Depressionen, welche zur Zeit des niedrigen Wassers von einem oder mehreren Zuflüssen durchströmt, zur Zeit des Hochwassers dagegen in Seen verwandelt werden, indem ein Teil des Wassers aus dem Hauptstrom, mit dem am Abfluß verhinderten der Nebenflüsse vereint, das Becken anfüllt. Die größten derartigen Becken sind der Tungting-See und Poyang-See in China, an der Südseite, des Yang-tsze-kiang. In kleinerem Maßstab besitzt sie der Amur. So lange sie als Seen bestehen, findet eine beinahe vollständige Klärung der einströmenden Gewässer, daher, wenn diese (wie in China) bedeutend sind, eine sehr erhebliche Ablagerung statt. Während der Zeit des niedrigen Wasserstandes hingegen wird ein Teil dieser Sedimente dem Hauptstrom zugeführt. Der Rest ist dem Winde preisgegeben, welcher den lockern Boden umherwirbelt, die tonigen Bestandteile entführt, die sandigen zurückläßt oder in die Fluß-Kanäle treibt. Trotzdem sollte man voraussetzen, daß diese Seen in einigen Jahrtausenden hätten ausgefüllt werden müssen. Ihre fortdauernde Existenz ist daher ein mit der Geschichte der Ströme eng verbundenes Problem, welches eines aufmerksamen Studiums aller einschlägigen Umstände wert ist (s. auch § 116).

4. Ablagerungen in Ästuarien.

[§86] Jede Flußmündung ist durch einen Einschnitt in dem Relief, keineswegs immer durch einen solchen in der Umrißlinie der Küste bezeichnet, doch würde der letztere oft durch eine Versenkung von wenigen Metern veranlaßt werden. Der Einschnitt ist, wie jedes Tal, entweder im inneren Bau begründet, oder er ist allein das Werk früherer Erosion durch den Strom. Der letztere kann sich, wie es bei Steilküsten häufig der Fall ist, unmittelbar aus seiner Erosionsfurche in das Meer ergießen; die Verhältnisse werden dann einige Analogie mit der Einmündung eines Gebirgsbaches in einen See bieten. In anderen Fällen durchströmt der Fluß ein mehr oder weniger weites Alluvialland ehe er das Meer erreicht. Häufig nimmt das Mündungsgebiet einen viel größeren Raum ein, als für die Wassermasse des Stromes erforderlich ist; dann dringt das Meer ein und macht das Wasser brackisch.

In allen diesen Fällen trägt der Fluß diejenigen festen Stoffe, welche ihm noch geblieben sind, entweder in still stehendes, oder in selbständig und in anderer Weise bewegtes Wasser hinein. Die Ablagerungen aber vollziehen sich ganz anders als bei der Einmündung in einen Süßwassersee. Denn in m Meerwasser sinken die fein verteilten festen Stoffe mit einer Geschwindigkeit zu Boden, welche ungefähr fünfzehn Mal so groß ist als diejenige im Süßwasser. [*1]

[*1]: Dies ist allerdings nur ein allgemeiner Wert. Die Untersuchungen von W. H. Brewer (Atem. Nat. Acad. of Sciences, vol. II. p. 165 ff, Washington 1884) haben zu bemerkenswerten Ergebnissen geführt. Sehr fein erdige Stoffe sinken im Meerwasser in 30 Minuten vollständig zu Boden, als in Süßwasser in 30 Monaten. Die ersten Untersuchungen über den wichtigen Gegenstand wurden schon 1838 von W. H. Sidell (Reports on the hydraulics and physics of the Mississippi) veröffentlicht, sind aber wenig beachtet worden.

Schon der brackische Charakter des Wassers der Ästuarie übt auf die Schnelligkeit der Klärung einen großen Einfluß. Ein anderer modifizierend eintretender Umstand wird bei Meeren mit

Ebbe und Flut dadurch herbeigeführt, daß die Stellen des Kontaktes zwischen dem herabfließenden und dem stillstehenden oder sogar entgegenströmenden Wasser, daher auch die Stellen intensivster Ablagerung, beständig den Ort wechseln. Besonderheiten von Fall zu Fall werden außerdem eintreten nach der Wassermasse des Flusses und seiner Sedimentführung, nach der Höhe von Ebbe und Flut, und nach den Strömungen des Meeres. Wo die Gezeiten stark und Küstenströmungen vorhanden sind, wird das Ästuar von dem Ebbestrom gefegt, die Sedimente werden fortgetragen, die tonigen nach dem Meer hinaus, die sandigen nur bis an die Außenseite des Ästuars, wo sie sich anhäufen und die für die Schifffahrt so hinderlichen Flußbarren bilden. Letztere wachsen nicht bis an die Oberfläche, da das aus- und einströmende Wasser die oberen Teile verschiebt und an den Breitseiten ablagert, ändern aber häufig Gestalt und Lage. In dem abgesperrten Ästuar finden nun unter dem Kampf des Süßwasserstromes und der Meereswelle Absätze horizontaler Schichten von Sand und Schlamm statt, welche eine brackische Fauna umschließen. Sie kommen hier und da in Bänken an die Oberfläche, und diese haben verschiedene Gestalt. Dominiert der Süßwasserstrom, so kehren die Bogenlinien der Oberfläche der Bänke ihre konkaven Seiten dem Ozean zu; dagegen haben sie ihre konvexe Seite gegen das Meer gerichtet, wenn dessen Bewegung überwiegenden Einfluß ausübt. Diese für die Ästuar charakteristischen Krümmungen der Sandbänke sollten beobachtet und in ihren Wandlungen studiert werden. Überhaupt bieten die Sedimentbildungen in Flußmündungen viel Stoff zur Untersuchung, besonders angesichts der angeführten, noch wenig berücksichtigten Tatsache. In manchen Fällen haben genaue Aufnahmen eine gänzlich unter dem Wasserspiegel gelegene, vollkommen deltaartige Divergenz und Verzweigung der Strömungskanäle erwiesen.

5. Deltabildung.

[§87] Ein ruhigerer Absatz der Sedimente als in dem erwähnten Fall, findet dort statt, wo die Gezeiten gering sind und Strömungen entweder fehlen, oder nur außerhalb der Flußbarren vorhanden sind. Das Ästuar füllt sich dann von seinem Ursprung aus mit Sedimenten an; der Strom nimmt eine bestimmte Richtung, und die gleichzeitig an der Grenze mit dem verhältnismäßig stillstehenden Meereswasser entstehenden Flußbarren können sich bis über dessen Niveau erhöhen. In ähnlicher Weise wie diese, begünstigen dort, wo Ebbe und Flut vorhanden sind, vorgeschobene Küstenwälle (§§ 155, 156) welche die Außenwinkel einer Trichtermündung verbinden und nur Raum für den Ausfluß des Stromes lassen, die Deltabildung. Indem sie sich gewöhnlich mit Dünen bedecken, sperren sie einen seichten See ab, in dem die Kraft des Süßwasserstromes sich bricht. Was er an Geschwindigkeit verliert, muß er an Breite zu gewinnen suchen. Dadurch, und wegen der Mengung mit eintretendem Seewasser, läßt er auch die feinsten Sedimente zu Boden fallen. Beide Tendenzen haben zur Folge, daß der Fluß sich in Arme teilt, die durch Alluvialinseln getrennt werden. Die periodische Änderung der Wassermasse und der Wechsel von Ebbe und Flut veranlassen die Verlegung der Stellen der Divergenz. Bei höherem Wasserstand wird das flache Deltaland überschwemmt und erhöht, am meisten an den Ufern der Kanäle, während gleichzeitig in diesen selbst der Boden an den Stellen, wo sich dem strömenden Wasser die größten Widerstände darbieten, durch Ablagerung wächst. In Folge derartig kombinierter Vorgänge vollziehen sich in den Deltas vielfache Änderungen.

Nachdem das Ästuar mindestens entlang einer kontinuierlichen Zone bis zum Küstenwall ausgefüllt ist, beginnt die Bildung eines zweiten Delta außerhalb desselben. Man kann daher ein inneres und ein äußeres, oder ein Ästuar-Delta und ein marines (vorgeschobenes) Delta

unterscheiden. Die Anschwemmungen schieben sich in letzterem unter weit stärkerem Kampf gegen das offene Meer vor, werden aber andererseits begünstigt durch den schnellen Niederschlag im Salzwasser. Der Ausgangspunkt des marinen Delta ist der Ort, an welchem der Fluß den Küstenwall durchbricht. Indem er von da aus radiale Wege einschlägt, erhält das marine Delta, wenn es sich frei auszubilden vermag, eine konvexe äußere Begrenzung. Die Ablagerungen sind feiner und gleichmäßiger als im Ästuar-Delta, und es ist viel längere Zeit für die Aufschüttung erforderlich, um so mehr als die marinen Deltas der Zerstörung ausgesetzt sind.

Die eingehenden vergleichenden Untersuchungen, welche Rudolph Credner über die Morphologie der Deltas angestellt hat, [*1] haben die Bedeutung einzelner Faktoren bei ihrer Bildung hervortreten lassen; doch ist auch gerade aus ihnen zu ersehen, wie Viel hier der Forschung zu tun bleibt, und wie zahlreiche Gesichtspunkte für die Betrachtung sich darbieten.

[*1]: R. Credner, die Deltas, Ergänzungsheft Nr. 56 zu Petermanns Mittheilungen, 1878. Das Studium dieser Arbeit, in welcher mit außerordentlicher Gründlichkeit die Deltabildungen morphologisch und genetisch unter zahlreichen Gesichtspunkten behandelt sind, ist für Jeden, welcher in den Fall kommt, irgendein Fluß-Delta zum Gegenstand besonderer Untersuchung zu machen, unerläßlich. — Wer einen Aufenthalt von Jahren in einem Deltaland zu Beobachtungen benutzen will, findet u. a. einen Anhalt in der mustergültigen Monographie von R. Gordon Report on the Irawaddy River, Ranggoon 1879, folio, mit einem Atlas.

Als günstige, aber nicht erforderliche Bedingungen für die Deltabildung haben sich erwiesen: Geringe Meerestiefe, geringe Gezeiten, Mangel an Strömungen oder geringe Kraft derselben, und negative Niveauverschiebung. Doch kann reichliche Sedimentführung eines Flusses die hemmende Wirkung einer positiven Verschiebung der Strandlinie aufheben und, wenn die Bedingungen sonst für den Niederschlag der festen Stoffe günstig sind, den Sieg über dieselbe davontragen. Begünstigend wirkt auch das Herabschwemmen von Baumstämmen, die auf dem Schlamm haften bleiben und die Ansiedelung der Vegetation erleichtern, dann die wuchernde Mangrove-Vegetation (§ 33). Endlich leistet der Mensch der Deltabildung in außerordentlichem Maße Vorschub durch die Eindämmung der Ströme, welche die Sedimente den Alluvialebenen, denen sie rechtmäßig zukommen, entziehen und sie in das Meer hinaussenden. Besonders wird das Wachsen der marinen Deltas dadurch befördert.

Bei der Untersuchung von Deltabildungen befindet sich der Reisende gewöhnlich in der vorteilhaften Lage, daß ihm sehr genaue Karten mit Angabe der Tiefenverhältnisse zu Gebote stehen. Er kann daher seine Aufmerksamkeit auf die Erscheinungen selbst konzentrieren. Über sehr wenige Delta's liegen eingehende Untersuchungen vor (Nil, Mississippi, Po, Rhein, Rhone, Ganges, Irawaddy und einige andere). In jedem einzelnen Fall werden sich der Beobachtung eine Menge von Problemen darbieten. Stromgeschwindigkeit und Sedimentführung oberhalb der Spitze des Deltas, Art der Ablagerung in allen einzelnen Teilen, Gestalt und Zusammensetzung der Flußbarren oder des Küstenwalls, äußere Begrenzung des Deltas, Verschiebung der Flußläufe in historischer Zeit, Tiefe der alluvialen Ablagerungen, Art der Unterlage; ferner die Wirkungen des Meeres, die Entfernung bis zu der es stromaufwärts vordringt, die Differenz der Gezeiten und viele andere Umstände lassen sich nennen. An diese Untersuchung wird sich die Behandlung der Frage anknüpfen lassen, in wie weit die Alluvialebene, deren Ende das Delta bezeichnet, durch ein beständig fortschreitendes Verschieben von Deltabildungen geschaffen worden ist. Es werden sich vielleicht im Inneren des Landes alte Küstenwälle und Flußbarren finden lassen, welche den Beweis dafür abgeben. Wie an der Westküste Klein-Asiens der Mäander und Kästros durch das Verschieben ihrer Deltas ehemalige Meerbusen abgeschnürt oder ausgefüllt und dadurch

Milet und Ephesus vernichtet haben, und wie der Hermos ein ähnliches Loos für Smyrna vorbereitet, so mögen an manchen für die Geschichte minderwertigen Orten analoge Änderungen der Küste durch denselben Vorgang verursacht worden sein. Es kann ferner das Verwachsen verschiedener Deltas zu einem einzigen (Ganges und Brahmaputra; Donau und Dnjester; Rhein, Schelde und Maas) beobachtet werden, und dies leitet wiederum auf die Entstehung von Alluvialebenen durch ähnliche Verwachsung vorgeschobener Ablagerungsgebiete, wie sie bei der Ausfüllung von Gebirgsseen (§ 84) vorkommt.

Ein Gegenstand von besonderem Interesse betrifft die Boden-senkungen in Delta-Gebieten. Verschiedene Methoden führen zu ihrer Untersuchung. Selten bieten sich sichere historische Angaben über das Einsinken einzelner Gebiete, wie sie betreffs der Bildung des Zuidersees existieren. Häufiger wird man den Kontrast zwischen den Angaben über Hebung und Senkung beachten können, die zuweilen für ein Deltaland ausnahmslos zu Gunsten der „Senkung“ lauten, während die Küste des dasselbe einschließenden Gebirgslandes oft sichere Anzeichen von „Hebung“ gibt. Auch können Brunnenbohrungen Aufschluß geben. Im Delta des Ganges fand man bis zur Tiefe von mehreren hundert Fuß in dem Delta-Boden in mehreren Tiefen Spuren derjenigen Pflanzen und Tiere, welche jetzt im Delta leben.

Die Einmündungen von Flüssen in abflußlose Seen von schwankendem Wasserspiegel bieten vorzügliche Gelegenheit für das Studium von Deltabildung bei Abwesenheit von Gezeiten und Strömungen. Auch sollte man die deltaähnlichen Bildungen im Binnenland beobachten, welche sich an manchen Stellen flacher Gegenden finden, wo große Ströme Zuflüsse aufnehmen. Sie finden sich besonders dort, wo ein Hauptstrom zur Erhöhung seines Alluviallandes durch Überschwemmungen neigt. Das Gefälle der Zuflüsse wird dadurch in ihrem Unterlauf vermindert. Dazu kommt der Rückstau durch die periodisch angeschwollenen Gewässer des Hauptstroms. Die Zuflüsse teilen sich in Kanäle, breiten sich selbst seeartig aus, lassen ihre Sedimente zum Teil fallen und graben sich oft neue Rinnen, wenn das Wasser des Hauptstroms sinkt und dadurch das Gefälle vermehrt wird. Die in § 85 angeführten Hochflutseen sind mit derartigen Deltabildungen verbunden.

E Wandlungen in der Arbeit fließender Gewässer in Folge veränderter Zustände.

[§88] Die Betrachtung der mechanischen Arbeit des fließenden Wassers zeigt, daß dieselbe in jedem Stromlauf fortdauernd Änderungen hervorbringt. In den vorhergehenden Paragraphen wurde von der Voraussetzung ausgegangen, daß sich dem Strom gegebene Verhältnisse hinsichtlich der Gestaltung und Zusammensetzung der Oberfläche, über welche er fließt, und der klimatischen Bedingungen darbieten. Diese Verhältnisse jedoch können selbst wieder gewisse Änderungen erfahren, welche nicht von der aktiven Arbeit des Stromes bedingt sind, von welchen dagegen die Arbeitsfähigkeit des letzteren gewissermaßen passiv beeinflusst wird. Einerseits können ihm dadurch mechanische Hindernisse in den Weg gelegt werden, die ihn entweder zu deren Überwindung oder zur Verlegung seines Laufes zwingen, andererseits können durch Änderung des Klimas Vorgänge eintreten, welche die Kraft des Stromes vermehren oder lähmen und seine Entwicklung befördern oder gänzlich still stellen.

Um diese Faktoren zu würdigen, muß man sich vor Allem vergegenwärtigen:

1) daß die Flüsse so alt sind wie die Gebirge, von denen sie herabrinnen, in einzelnen Fällen sogar noch älter, da auf manchem trocken gelegten Meeresboden Wasser in Rinnen floß ehe er zu einem Gebirge aufgestaut wurde;

2) daß in der Regel die Entwicklung der Systeme des Wasserabflusses von oben begann und nach den tieferen Teilen fortschritt, sei es, daß eine unterseeische Bodenschwelle allmählich aus ihrer Wasserbedeckung auftauchte, oder daß sich durch die Wirkung innerer Kräfte eine Faltung auf dem bestehenden Festland und die Bildung einer neuen Wasserscheide vollzog;

3) daß die Vertiefung der Stromfurchen in jedem Einzelfall und in jedem einzelnen, vermöge des Gefälle zur Erosion geeigneten Teil von unten nach oben fortschritt;

4) daß die Entwicklungsgeschichte eines Gebirges mit derjenigen der von ihm herabfließenden Gewässer innig verflochten ist, indem diese das Gebirge während der einzelnen Phasen seiner Entstehung fortdauernd umgestalteten, zugleich aber durch die Vorgänge bei der Gebirgsbildung häufig abgelenkt und in verschiedenartige Verbindung mit anderen Stromläufen gebracht wurden;

5) daß die großen Ströme, welche die Gewässer aus dem Inneren der Kontinente nach dem Meere tragen, ihre Wurzeln in verschiedenen Gebirgen haben, deren jedes eine besondere Entwicklungsgeschichte seines Abflußsystems gehabt hat, und daß der große Sammelstrom, der in der Regel Schritt für Schritt dem sich zurückziehenden Meere gefolgt ist, ein jüngerer Gebilde ist, als die von ihm aufgenommenen Teilströme.

Dies sind die Grundanschauungen, welche man bei der Betrachtung der Entwicklungsgeschichte der Ströme, insbesondere der passiven Einflüsse, welche sie bestimmt haben, im Auge behalten muß. Der Gegenstand kann hier nicht erschöpfend behandelt werden; es möge genügen, den reisenden Beobachter auf einige der Vorgänge hinzuweisen, welche hindernd oder fördernd eingreifen können.

1. Schichtenfaltung.

[§89] Wenn horizontal gelagerte oder schwach geneigte Schichten durch seitlich wirkenden Druck gefaltet werden, so entsteht in jeder Falte ein wasserscheidender Rücken, von dem die Gewässer nach beiden Seiten hinabfließen. Da nun der ursprüngliche Abfluß des Wassers von einem aus dem Meere aufsteigenden Gewölbe in der Regel gerade herab von der Höhenlinie, mithin ungefähr rechtwinklig zu der sich allmählich zurückziehenden Grenzlinie des Meeres geschehen sein muß, die Höhenlinie aber in der Mehrzahl der Fälle einer geologischen Achse parallel gewesen sein wird, und die Faltungen ebenfalls meist dieser Achse parallel aufgestiegen sind, so muß sich der Fall sehr häufig ereignet haben, daß die sich bildende Längsfalte rechtwinklig gegen die in Quertälern herabkommenden Gewässer gerichtet war, und daß die in weiterer Folge entstehenden parallelen Falten dasselbe Verhältnis zu diesen hatten. Es wirft sich die Frage auf, ob der Fluß im Stande war, sein Bett in die werdende Falte einzugraben und also seinen Lauf beizubehalten, oder ob er gestaut wurde und sich einen anderen Ausweg suchen mußte. In der Natur beobachtet man drei Fälle. Es kommt vor, daß ein Fluß nicht nur eine einzige, sondern eine Reihe von Falten ohne bemerkenswerte Ablenkung von dem Lauf, den er vor

ihrer Bildung gehabt haben muß, quer durchsetzt. Weit häufiger ist der zweite Fall, daß der in einem Quertal von der Gebirgsachse herabkommende Fluß bei der Ankunft an der Falte in seinem Lauf inne hält und in der durch sie gebildeten Längsmulde weiter fließt, hier sich mit anderen, sich ähnlich verhaltenden Flüssen vereinigt und, durch ihre Gewässer verstärkt, an irgend einer Stelle die Falte in einem Quertal durchbricht. Der dritte Fall ist, daß ihm auch dies nicht gelingt und er seinen Lauf in dem Längstal fortsetzt, bis er an einer niederen, durch Erosion vielleicht noch etwas vertieften Stelle entweicht.

Zur Erklärung des ersten und zweiten Falles nahm man früher Spaltenbildung zu Hilfe. Diese Theorie ist in dem damals vorausgesetzten Sinn klaffender Spalten nur in sehr wenigen Fällen haltbar, wenn auch Gesteinszerklüftung (§ 82) nicht selten die Durchbrechung eines Gebirges vorbereitet zu haben scheint. An ihre Stelle würde von J. W. Powell die Theorie des Durchsägens aufsteigender Falten gesetzt, welche bald eine weite Annahme fand.

Die Theorie knüpft, an das Uinta-Gebirge an, welches eine, sich östlich an das von Nord nach Süd streichende Wahsatch-Gebirge anschließende Aufwölbung von Schichtgebilden ist, deren Betrag auf 24000 Fuß geschätzt wird. Der Green River, welcher östlich vom Wahsatch-Gebirge in einem ungefähr 1000 Fuß tief eingesenkten, von Nord nach Süd gerichteten Erosionstal herabkommt, durchbricht das Uinta-Gebirge in seiner ganzen Breite, während er im Osten einen leichteren Weg gehabt haben würde. Powell (exploration of the Colorado river of the West, Washington 1875, p. 152 ff) nimmt an, daß der Fluß vor der Aufwölbung des Gebirges existierte und hinreichende Erosionskraft besaß, um in demselben Maße, in dem das Gebirge aufstieg, sich in dasselbe einzugraben, wie die in fester Lage befindliche Säge einer Sägemühle sich in den ihr entgegenbewegenden Stamm einschneidet. Da das Aufsteigen den Betrag von 24000 Fuß gehabt habe, so sei dies auch der Gesamtbetrag des Eingrabens gewesen. — Diese Theorie ist unter Anderen von Dr. E. Tietze in seinen wichtigen Aufsätzen über die Entstehung der Quertäler mit Geschick verteidigt und auf eine Anzahl von Fällen angewandt worden. Man hat insbesondere durch sie alle diejenigen in § 81 angedeuteten Fälle erklären wollen, wo ein Fluß eine Kette, welche höher ist als seine Wasserscheide, quer durchbricht. Dagegen hat Dr. Löwl geltend gemacht, daß mit dem ersten Beginn der Faltung an der Seite, von der der Fluß herkommt, eine Horizontalität der Schichten eintreten müßte, welche die Verminderung der Stromgeschwindigkeit und den Absatz der Sedimente zur Folge haben und damit den Strom des Materials berauben würde, mit welchem er allein die Korrasion ausführen könnte; es müßte also in jedem Fall die Stauung des Wassers zu einem Klärungssee eintreten, und unter keinen Umständen könnte das Durchsägen des aufsteigenden Gebirges geschehen. Ob Letzteres unter allen Verhältnissen unmöglich sei, dürfte erst durch weitere Untersuchungen über die Erosionskraft festzustellen sein. Ist diese Kraft sehr beträchtlich und das Anwachsen des stauenden Hindernisses sehr langsam, so muß die von Powell vorausgesetzte Wirkung eintreten; aber der berechtigte Einwurf von Löwl mahnt zu einer vorsichtigen Anwendung der Theorie. Die epigenetische Talbildung (§ 81) führt zu demselben Resultat, und wo eine entschiedene Wetterseite vorhanden ist, kann der Durchbruch eines Flusses nach Löwl's eigener Erklärung durch rückschreitende Erosion ermöglicht worden sein.

Für den ersten Fall liegen also verschiedene Möglichkeiten der Erklärung vor, und sie sind vielleicht noch nicht erschöpfend. Nur die genaueste Beobachtung kann bei der einzelnen Erscheinung dazu führen, einer von ihnen den Vorzug überwiegender Wahrscheinlichkeit zu geben.

Nicht geringere Schwierigkeiten bietet der zweite Fall, der in allen regionalen Faltungszonen weitaus überwiegend ist. In den Parallelzügen des Jura, in den Dinarischen Ketten, in dem Faltungsgebirge, welches das eranische Hochland im Südwesten von dem Tigris- und dem

Persischen Meere trennt, vor Allem im südöstlichen China und im westlichen Hinterindien ist der Wechsel von Längstälern und einzeln gestellten engen Querdurchbrüchen die Regel. Das Niedergehen epigenetischer Talsysteme dürfte nur zuweilen eine hinreichende Erklärung bieten. Es ist zu beachten, daß, wenn auf einer schiefen Ebene Talfurchen diagonal hinabziehen und eine Anzahl der Höhenachse paralleler Runzelungen sich so langsam bilden, daß ein Einsägen nach der Powell'schen Theorie stattfinden kann, dabei eine ähnliche Zerlegung in Parallelstrecken in den Mulden und kurzen, schroffen Querstrecken durch die Falten stattfinden muß, wie in dem Fall, wo ein Fluß, welcher schief zur Stromrichtung geneigter Schichten von verschiedener Härte fließt, sich in dieselben eingräbt (§ 79).

Von selbst erklärt sich der dritte Fall dadurch, daß der Fluß in Folge der Faltung zu einem See gestaut wird, der seinen Abfluß über den niedrigsten Teil der Umgebung nimmt, und nun zuerst ganz mit Sedimenten ausgefüllt werden muß, ehe der abfließende Strom es vermag, sich mit Material für die Vertiefung des Ausflußkanals durch Korrasion zu beladen. Es kann dadurch ein Fluß ganz von seiner früheren Richtung abgelenkt und einem Stromsystem hinzugefügt werden, dem er vorher nicht angehörte. Veränderungen dieser Art haben sich in der Geschichte jedes Gebirges und seiner Abflüsse häufig zugetragen. Soweit sie einer jugendlichen Periode angehören, lassen sie sich häufig mit völliger Sicherheit nachweisen.

2. Tektonische Verschiebungen.

[§90] Während die Aufwölbung einer Falte quer gegen die Bewegungsrichtung immer der Strömung ein Hindernis entgegensetzen wird, können Verwerfungen in verschiedenem Sinn wirken und die mannigfaltigsten Umgestaltungen herbeiführen, deren Einzelerörterung hier zu weit führen würde. Es genügt, einen Blick auf die verschiedenen Formen der Verwerfung (Cap. XV) zu tun.

Verläuft die Streichrichtung der Verschiebung quer gegen den Stromlauf, so wird ihr Einfluß davon abhängen, ob sie gleichsinnig oder widersinnig mit dem Gefälle des Flusses erfolgt. Gleichsinnig kann man sie nennen, wenn der Teil sinkt, nach welchem die Strömung gerichtet ist; dann wird das Gefälle örtlich verstärkt. Als widersinnig oder stauend läßt sich diejenige Verwerfung bezeichnen, bei welcher der Flußkanal so gebrochen wird, daß der Unterlauf höher zu liegen kommt. Vollzieht sie sich sehr langsam und sind die sonstigen Verhältnisse günstig, so kann, gerade wie bei dem Eintreten von Faltung, die erodierende Kraft eines mit starkem Gefälle herabkommenden geschiefbeführenden Flusses hinreichen, um ihr das Gleichgewicht zu halten und diesem das Einsägen in den (relativ) aufsteigenden Teil zu gestatten. Dies wird aber doch nur selten, unter besonders günstigen Umständen eintreten können, einerseits weil die ansteigende Scholle als Gesamtheit höher zu liegen kommt als der absinkende Teil, andererseits weil die Verwerfungen meist in Staffeln geschehen, und ein ähnlicher Widerstand daher zu wiederholten Malen geboten werden würde. Überdies finden sich gerade die Ströme der großen Regionalschollen, welche meist geringe Kraft haben, besonders häufig, und oft in hohem Grad, durch widersinnige Verwerfungen beeinflußt. Sie werden daher vielfach Ablenkungen erfahren haben, und diese müssen bei großer Ausdehnung der Verwerfungsklüfte sehr beträchtlich sein. Es dürfte darin eine der Ursachen der Erscheinung zu suchen sein, daß durch Verwerfung entstandene hohe Mauerabfälle häufig von Strömen begleitet werden. Ein um so schwierigeres Problem

bieten diejenigen Ströme, welche, wie der Rhein, ihren Lauf quer durch breitangelegte, widersinnig verworfene Gebirgsmassen nehmen.

In asymmetrischen zonalen Faltungsgebirgen findet auf der inneren Seite vorwiegend gleichsinniges Absinken statt; daher wird die Ausbildung und das tiefe Einschneiden der Quertäler dort begünstigt. Auf der äußeren Seite herrscht die Überschiebung. Mit derselben ist eine Vermehrung des Gesamtgefälles nicht notwendig verbunden. Die Hauptwirkung auf letzteres besteht vielmehr darin, daß es in einzelne Strecken zerlegt wird, indem sich an jeder Unterschiebungsstelle ein Damm hinaufschiebt, welcher dem Gebirgsstreichen parallel ist. Es wird also auch ein Flußlauf, der sich in einem Quertal von dem Kamm nach dem Fuß des Gebirges hinabzog, in einzelne Strecken zerlegt werden und, falls seine Kraft zu dem Durchsägen der sich schief nach aufwärts schiebenden Teile nicht ausreicht, in jeder Strecke in das durch die Überschiebung gebildete oder durch sie vollkommener ausgestaltete tektonische Längsthal abgelenkt werden. Es wird mithin durch diese Überschiebungen die Ausbildung des Parallelismus von Höhenzügen und Talzügen befördert und der Ausbildung von durchgehenden Quertälern entgegengearbeitet. Es wäre zu beachten, ob nicht die oben (§ 85) angedeutete Anordnung von Längs- und Querstrecken der Flüsse in solchen Gebirgen zum Teil darauf zurückzuführen ist, daß die in einer Längsmulde vereinigten Gewässer eine Bresche vorfanden, welche einem älteren Quertal entsprach. Denn je sorgfältiger solche aus parallelen Faltungen bestehende Gebirge untersucht werden, desto grösser stellt sich in der Regel die Rolle der auf Längsbrüchen stattgehabten Überschiebungen dar.

3. Stauende Aufschüttungswälle.

[§91] Es kommt häufig vor, daß bedeutende Schuttmassen in den Weg eines Stromes quer vorgeschoben werden. Wenn dieser sie nicht in dem Maße, als sie herankommen, fortzuschaffen, oder eine plötzliche Anhäufung seitlich zu umgehen vermag, so wird er gestaut; seine erodierende Kraft ist alsdann oberhalb der Stelle auf Null herabgesetzt. Die Zuführung des Schuttes geschieht entweder durch Bergabrubtungen, und dann kann sie plötzlich einen außerordentlich bedeutenden Betrag erreichen; oder durch Gletscher, die sich aus einem Seitental vorschieben und einen abschließenden Biegel bilden; oder durch geschiebene Zuflüsse, die dem Hauptstrom einen Damm in den Weg bauen; oder durch Lavaströme.

Die erste Folge ist die Bildung eines Abdämmungsbeckens (§ 116) mit einem Stauungs-See, in welchem das Wasser sich klärt. Es fließt über den Damm hinweg, vermag auch zuerst noch, wenn das Material aus Schutt besteht, durch diesen zu sickern, bis es durch kalkige Zementierung oder durch Verkittung mittelst Schlamm sich die Wege selbst versperrt, und ist nun bestrebt, das Hindernis zu besiegen. Das Durchschneiden eines Lavastromes geschieht am langsamsten, weil das Korrosionsmaterial vor der Ausfüllung des Sees sparsam vorhanden ist. Auch ein Gletscher kann lange stauend wirken, weil er sich von hinten nachschiebt. Der Schuttwall wird am leichtesten überwunden, weil die Kraft des an der Vorderseite herabstürzenden Wassers zur Ausfurchung durch einfaches Loslösen und Ausräumen hinreicht. Der Kanal wächst nach rückwärts und durchschneidet zuletzt die Ablagerungen, mit denen inzwischen der See ausgefüllt worden ist.

Diese Vorgänge spielen in der Geschichte der Gebirgstäler eine bedeutende Bolle. Dr. Löwl hat durch genaue Untersuchungen gezeigt, wie sie in den Alpentälern der Bildung von Gefällstufen in vielen Fällen zu Grunde liegen, indem die mechanische Arbeit des Wassers oberhalb des

Dammes still gestellt ist, unterhalb desselben hingegen nicht nur das Gefälle eine örtliche Vermehrung erfährt, sondern auch durch die Zerstörung der Schutthanhäufung das Korrasionsmaterial besonders reichlich vorhanden ist. Die Talvertiefung kann daher hier weit vorgeschritten sein, ehe sie in der von dem Damm und den Sedimenten des Stauungssees bedeckten Strecke wieder beginnt. Es erklären sich in dieser Weise viel Talstufen, die sich als von der Härte der Gesteine unabhängig erweisen.

Wie selbst in hohem Gebirge, in Folge von Stauung durch Schutthanhäufung, das Quellgebiet eines Baches von dem Gehänge, an dem letzterer herabfloß, abgewendet und demjenigen der entgegengesetzten Seite zugeführt werden kann, hat Penck an den lehrreichen Beispielen des Achensees und Plansees gezeigt. Häufiger sind solche Fälle im Flachland.

4. Änderung des Klimas.

[§92] Aus den meisten der vorhergehenden Erörterungen geht hervor, daß die klimatischen Verhältnisse neben dem Gefälle der wichtigste Faktor für die Bestimmung des Grades der Tätigkeit des fließenden Wassers in einem gegebenen Kanal sind. Von ihnen hängt es ab, ob das feuchte Element in der Gestalt von Eis oder von Wasser vorhanden ist; sie beeinflussen die Wassermasse und das für die Erosionstätigkeit so bedeutsame Element der Vegetation. Wechsel in Temperatur und Niederschlag bringen in der Tat die durchgreifendsten Veränderungen in den Wirkungen der Flüsse hervor. Die letzteren sind daher einer Periodizität unterworfen, die im Kleinen durch den Wechsel der Jahreszeiten, in größerem Maßstab durch die Aufeinanderfolge von längeren Perioden der Dürre und solchen des vermehrten Niederschlags beherrscht wird. Es kann aber auch das Klima einer Gegend oder eines großen Kontinentalgebietes sich dauernd, oder doch für einen außerordentlich langen Zeitraum vollkommen ändern.

Wird das Klima trocken, so vermindert sich die Wasserzufuhr der Flüsse; zugleich wird die Verdunstung erhöht und setzt die Wassermasse noch mehr herab. In demselben Sinn wirkt das Absterben der Wälder. Die Gehänge werden stärker abgespült, die Schutthalden wachsen an; die Schuttkegel werden in geringerem Grade fortgeführt und füllen die Täler an. Das fließende Wasser vermag nur noch, soweit sein Einfluß reicht, den Schutt einigermaßen auszuebnen, aber nicht zu entfernen. Die kleinen Bäche versiegen; in allen Teilen erlahmt die Tätigkeit der Flüsse und großen Ströme; die Erosionskanäle bedecken sich mit Schutt; der Fluß vermag die Hindernisse nicht fortzuschaffen, die er sich selbst aufbaut; Sandbänke und Fluß-Teilungen nehmen zu. Das Trockenwerden des Klimas kann ursprünglich veranlaßt worden sein durch das Aufsteigen einer Bergkette an der Seite, von der früher die feuchten Winde kamen, oder durch das Anwachsen des Kontinentes - nach derselben Richtung, oder durch Änderung in den Meeresströmungen, oder durch andere Ursachen, die sich für den einzelnen Fall schwer erkennen lassen. Aber auch wenn der erste Anlaß nicht weiter vermehrt wird, nimmt die Trockenheit beständig bis zu einem gewissen Grade zu, indem sie selbst die Faktoren hervorruft, welche ihrer Steigerung günstig sind. Die Seen werden abflußlos, schrumpfen ein und erfüllen sich mit den Salzen, welche die Gewässer ihnen zutragen; die Ströme stellen nicht mehr einen kontinuierlichen lebensvollen Wasserweg von ihren Quellgebieten nach dem Meer dar, sondern zerfallen in einzelne Strecken, deren jede entweder im Boden versiegt, oder in einen salzigen abflußlosen Flachsee mündet.

Die atmosphärischen Sedimente häufen sich an und es ändert sich vollkommen der Charakter des Landes.

Umgekehrt ist es, wo die Niederschläge zunehmen. Die Bergwässer fließen reicher; die Seen füllen sich an; ihr Salzgehalt vermindert sich; die Vegetation wird üppiger, befördert den Quellenreichtum und weist dem Wasser bestimmtere Bahnen an; von unten nach oben werden die Wasserläufe im Hauptstamm und allen Verzweigungen wieder hergestellt. Hier und da hat jedoch der von oben geschwellte Fluß eine andere Bahn eingeschlagen und vermag seinen früheren Kanal nicht wieder einzunehmen. Tektonische Änderungen haben sich in der Zwischenzeit zugetragen und veranlassen ebenfalls Abweichungen von den alten Stromrinnen. Die Sedimente des Wassers und der Atmosphäre, die während eines langen Zeit-raumes aufgeschüttet wurden, werden tief durchschnitten, und ihre ungeheure Masse veranlaßt ein bedeutendes Anwachsen von Land im Unterlauf der Ströme und an den Stellen ihrer Einmündungen in das Meer.

Es gibt vermutlich keine Gegend auf der Erde, wo sich nicht im Lauf der letzten Erdperioden, die die Spuren der in ihnen stattgehabten Vorgänge am deutlichsten hinterlassen haben, große klimatische Änderungen zugetragen, und wahrscheinlich wenige, wo nicht mindestens kleine Wandelungen seit historischer Zeit stattgefunden haben. Wer die mechanische Arbeit der Flüsse zum Gegenstand sorgfältigen Studiums überhaupt gemacht hat, Dem wird sich daher überall Stoff zur Beobachtung über die Wandelungen in ihrer Intensität und in der Art ihrer Äußerungen bieten. Der Reisende wird Täler finden, die durch die gegenwärtige Wassermasse der in ihnen fließenden Gewässer niemals ausgehöhlt werden konnten; andere, welche sich als unfertige Bildungen der machtvollen Ströme, die jetzt von ihnen aufgenommen werden, erweisen. Die Spuren einer übermächtigen, wie diejenigen einer lahm gelegten Kraft des Wassers sind in gleicher Weise deutlich wahrzunehmen. Der Blick dafür schärft sich ungemein durch Übung. Es ist kaum erforderlich, allgemeine Regeln über das hinaus zu gehen, was in vorhergehenden Abschnitten gesagt worden ist. Es ist auch hier die sorgfältigste Beobachtung und Schlußfolgerung von Fall zu Fall erforderlich [*1]

[*1]: Eine durch Reichhaltigkeit und kritische Sorgfalt in der Zusammenstellung von Tatsachen, wie durch Klarheit der Argumentation ausgezeichnete Behandlung hat die Frage der Wandelungen des Klimas während der jüngsten Zeitalter der Erdgeschichte in dem Werk von J. D. Whitney: the climatic changes of later geological times, Cambridge 1882, erfahren. Die Schlußfolgerungen, zu welchen der scharfsinnige Verfasser gelangt ist, haben dem Gegenstand eine noch größere Tragweite und eine noch höhere Wichtigkeit für die Betrachtung von Vergangenheit und Zukunft verliehen, als er bereits besaß. Sie sind ganz besonders geeignet, zu ferneren darauf bezüglichen Beobachtungen in allen Ländern anzuspornen, und nicht genug kann die Frage, auf welche in diesem Buch wiederholt hingewiesen ist, der Aufmerksamkeit der Forschungsreisenden anempfohlen werden.

5. Ursachen der Stufenbildungen in Flußtälern.

[§93] Das morphographische Phänomen der Abstufungen des Bodens in Flußtälern ist bereits in einigen Fällen berührt worden und mag hier, wo es sich um die Einwirkung äußerer Einflüsse auf die Entstehung der Erscheinung handelt, einer zusammenfassenden Erörterung unterzogen werden.

Rein morphographisch betrachtet, gibt es zweierlei Hauptarten von Stufenbildungen. Die erste umfaßt die Abstufungen des Talbodens im Längsprofil; sie sind quer gegen das letzte gerichtet, daher als Querstufen zu bezeichnen. Die zweite begreift die im Querschnitt durch ein Flußtal erkennbaren Terrassenbildungen, welche das letztere in der Längsrichtung begleiten und daher Längsstufen genannt werden können; wenn sie aus Schuttablagerungen bestehen, nennt man sie gewöhnlich Diluvial-Terrassen. Es gibt Querstufen, welche in entsprechenden Höhen als Längsstufen fortsetzen; wir bezeichnen diese kombinierten Terrassen als Strombeckenstufen.

a. Querstufen sind Niveaustufen des Talbodens, bald von großem, bald von sehr geringem Betrag, bald steil und unmittelbar abfallend, bald auf eine örtliche, durch Stromschnellen bezeichnete Gefällevermehrung beschränkt. Sie finden sich bei den kleinsten Bergwässern ebenso wie bei den größten Strömen, deren Becken in ihren einzelnen Teilen durch ganz verschiedene Gebirgssysteme beherrscht werden. Je nach den Ursachen, durch welche sie hervorgebracht werden, kann man verschiedene Typen unterscheiden. Querstufen können entstehen:

1) Durch Unterschiede des von dem Medium, auf welches ein fließendes Gewässer von gegebener, gleichbleibender oder periodisch wechselnder Kraft einwirkt, geleisteten Widerstandes, wie dies bei der Erörterung der Härte und Lagerung der ein Flußbett bildenden Gesteine (§ 73—78) ersichtlich war. Stufen dieser Art sind im Allgemeinen als Gesteinsstufen der Erosionstäler zu bezeichnen. Ihrer Form nach erscheinen sie bei tafelförmiger oder flachgeneigter Lagerung als Tafelstufen, in allen anderen Fällen als Riegelstufen, indem stärker geneigte, harte Schichtgesteine, ebenso wie Eruptivgesteine stets mehr oder weniger die Gestalt von Talriegeln annehmen. Ein Beispiel sehr steiler Tafelstufen gibt Fig. 33 auf S. 163 an. Bei größeren Flüssen sind die ebenen Strecken zwischen den Staffeln sehr ausgedehnt. Ausgezeichnete Beispiele in großem Maßstab bieten die Victoria- und Columbia-Fälle (§ 76). Auch der Fall des Niagara kann noch hierher gerechnet werden. — Riegelstufen sind in den Quertälern der Faltungsgebirge häufige Erscheinungen. Die Nilkatarakte zeigen ihr Vorkommen bei Tafellagerung, wenn der Fluß den Unterbau der Schichten erreicht. Die Hauptgipfelkette des Himalaya verursacht eine ausgedehnte Riegelstufe für alle großen Stromtäler dieses Gebirges. Im Wesen nicht, anders als durch einen Quarzgang oder einen kleineren Komplex steilstehender harter Schichten, wird Stufenbildung durch Gebirgsriegel verursacht. Nur das Größenverhältnis ist verschieden. Der Durchbruch der Donau am Eisernen Tor, derjenige des Kongo durch die westafrikanischen Randgebirge, die Durchsetzung der sogenannten Ost-Ghats durch die indischen Ströme — dies sind einige der sehr zahlreichen großen Beispiele von Gebirgsriegeln im Stromlauf und der Absonderung von Talböden durch die damit zusammenfallende Riegelstufe.

2) Durch Zerlegung des Gefälles in zwei verschiedenartig sich verhaltende Strecken, in Folge der Stauung des Stromes durch ein in den Weg geschobenes Hindernis, sei es, daß dasselbe in einem stauenden Wall (§ 87), oder in einer tektonischen Bodenverschiebung (§ 86) bestehe. Der letztere Fall kann, als hypothetisch und schwer nachweisbar, hier außer acht gelassen werden. Die durch stauende Wälle verursachten Talstufen sind von Löwl passend als Dammstufen bezeichnet worden. Sie sind von Lagerung, Art und Härte des Gesteins im Talboden, ebenso wie von der früheren Gestalt des Tales unabhängig und entstehen besonders häufig in engen und steilwandigen Tälern. In der Geschichte der Hohlformen der Gebirge, insbesondere der Quertäler, sind sie ein wichtiges Moment; aber meist besteht dieses nur kurze Zeit an derselben Stelle, um wieder zu verschwinden und durch Dammbildungen an anderen Stellen ersetzt zu werden. Durch dieses Verhalten stehen die Dammstufen in den meisten Fällen an Bedeutung hinter den Riegelstufen zurück, weil hier die veranlassende Ursache in der Regel nahezu an derselben Stelle des Flußlaufes bestehen bleibt, wie tief auch dieser sein Bett graben möge.

3) Durch Änderung der Gefälleverhältnisse in solcher Weise, daß eine Absturzstrecke geschaffen wird. Dies kann an Zuflüssen geschehen, indem ein quergerichteter Hauptstrom sich mit größerer Kraft einschneidet (§ 70), und an jedem Strom, indem eine mit der Strömung gleichsinnige Absenkung sich vollzieht (§ 90), oder die unteren Teile des Strombettes durch Abrasion entfernt werden (§ 161). Diejenigen Stufen, welche durch steilen Abfall von den Böden der Zuflüsse gegen einen größeren Strom verursacht werden, sind zwar im Verhältnis zu Jenen Querstufen, aber in der Beziehung zum Haupttal nur Teile einer Längs- oder Strombeckenstufe. Die durch Abrasion verursachten Gefällestufen beschränken sich auf die Mündungsstrecken zunächst den Küsten und können als Abrasions-Stromstufen bezeichnet werden. Wichtiger als diese sind die Absenkungsstufen der Ströme. Nachweisbar sind sie insbesondere an den Abfällen mancher Tafelländer. Wie die Flüsse im Kapland von Staffel zu Staffel durch die Engschluchten der „Kloofs“ hinabziehen, so ist es bei denen der Fall, deren Lauf in der chinesischen Provinz Schansi durch Staffelbrüche beeinflußt sind. Träge fließt das Gewässer auf der Höhe jeder Staffel, um dann in steiler Engschlucht nach der nächsten hinabzustürzen. Ähnliches sollte sich in der Entwicklung der nach Grabenversenkungen herabziehenden Flüsse beobachten lassen.

Dies dürften im Wesentlichen die Vorgänge sein, welche den Querstufen sowohl bei Gebirgsflüssen als bei großen Strömen zu Grunde liegen. Bei letzteren äußern sich die Stufen in den Höhenunterschieden der verschiedenen Becken. Die Querstufen sind häufig nicht an der Stelle entstanden, wo man sie beobachtet, sondern in Folge der rückschreitenden Erosion (§ 67) stromaufwärts verlegt worden. Diesem Umstand ist bei der Beobachtung kleiner, ebenso wie großer Verhältnisse Rechnung zu tragen, und man hat den Punkt des Stromlaufes, an welchem die Niveaudifferenzierung in jedem einzelnen Fall zuerst eintrat, mit Rücksicht auf die Ursache der Entstehung derselben zu prüfen. Die Erscheinung wird verwickelt, wenn das Ausfluß-Niveau eines Erosionskanals periodisch erniedrigt wurde, und jedes Mal die Staffel rückwärts schritt. Es können dann eine Reihe weit von einander entfernter Querstufen ihre gemeinsame Ursache in zeitlich getrennten tektonischen Vorgängen haben, welche sich an derselben Stelle des Stromlaufes ereigneten.

b. Längsstufen sind Niveau-Abstufungen der Talwände und bieten ebenfalls in Hinsicht auf Höhe und Steilheit die mannigfachsten Verhältnisse dar. Sie bestehen oft ganz und gar aus festem Gestein. Dies beobachtet man nicht selten in Schichtungstafelland (§ 75) wo bei trockenem Klima noch andere Ursachen außer der Erosion durch Wasser die Terrassenbildung zu befördern scheinen (§ 194); doch kommt es auch bei faltiger Lagerung und vielfachem Gesteinswechsel vor. Man erkennt den breiten Felsboden einer ehemaligen Talsohle, in welcher der Strom offenbar lange genug verweilte um sie durch seitliche Erosion auszubebnen, und sieht in diesen Boden einen engen Kanal eingeschnitten, in dessen Tiefe der Fluß jetzt seinen Lauf nimmt und seine Arbeit fortsetzt. In solchen Fällen ist das Verhalten der Zuflüsse zu prüfen, ob sich an ihnen die schäm in § 70 genannten Strombeckenstufen nachweisen lassen. Die Felsterrassen finden sich manchmal in größerer Zahl über einander, eben so viele Episoden in der Talbildung bezeichnend. Die tieferen und jüngeren pflegen dann deutlicher ausgebildet zu sein, als die höheren. Die Lage der einzelnen Stufen im Verhältnis zu den Isohypsen sollte genau festgestellt werden. Nur die umfassendste Untersuchung vermag über die Ursachen der Trennung der Erosionsperioden Aufschluß zu geben. Einfacher ist meist die Erklärung in solchen Gebirgen, in welchen die bis zu einem bestimmten Grad durch Wasser vorgebildeten Flußtäler durch Eis ausgeschliffen, erweitert und am Boden abgeflacht wurden, um dann zur Ausfurchung einer neuen Wasserrinne in diesem Anlaß zu geben.

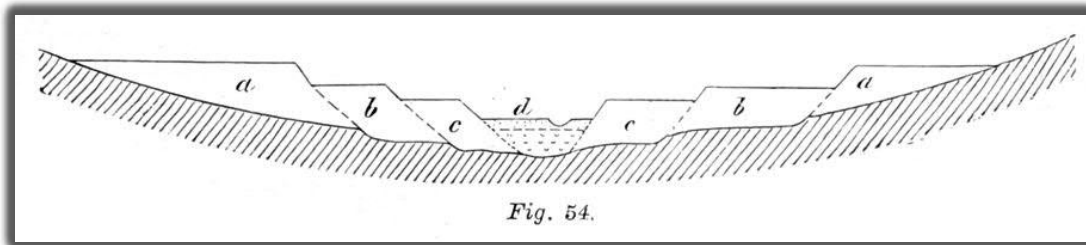
Häufiger als aus festem Gestein, bestehen die Längsstufen aus Schuttablagerungen. In engen Gebirgstälern sind zuweilen nur kleine Reste von diesen vorhanden, in weiten Hügellandschaften können sie hingegen eine beträchtliche Breite erreichen. Gewöhnlich tragen sie eine ebene Fläche und fallen von deren scharfem Grenzrand in die jüngsten Alluvien ab; zuweilen aber hat sich der Fluß unterhalb der Sohle, welcher sie aufliegen, zu größerer Tiefe eingegraben; dann begleiten sie die Talrinne als Flankengebilde. Es kann eine einzige Terrasse vorhanden sein, es kann deren auch mehrere von verschiedenem Alter, verschiedener Höhe und verschiedener Deutlichkeit der Ausbildung geben. Jede solche Terrasse bezeichnet entweder die Aufeinanderfolge einer Periode der Erosion auf eine solche der Ablagerung, oder deutet nur eine verstärkte Erosion an. Die Ursache der Ablagerung kann entweder in einer Verminderung des Gefälles, oder in einer übermäßigen Zufuhr von Sedimenten bestanden haben. Dem entsprechend findet man im ersteren Fall die Längsstufen, ebenso wie die Beckenstufen, welche wir nur als eine erweiterte Form von jenen bezeichneten, mit völlig horizontaler Oberfläche, im zweiten Fall dagegen der Neigung der Flußbetten folgend. Der erste Fall tritt ein, wenn ein stauender Wall quer gegen einen Fluß vorgeschoben wurde und die Bildung eines Sees veranlaßte, welcher durch die Sedimentausfüllung in eine ebene Landfläche verwandelt wurde (§ 91). Schnitt sich dann der Fluß rückwärts einen Kanal in diese ein und schaffte er sich durch seitliche Erosion einen breiteren Boden, so ragen die Ablagerungsmassen beiderseits als horizontale lacustrine Terrassen darüber auf.

In größerem Maßstab hat die übermäßige Zufuhr von Sedimenten, insbesondere von gröberen, die Bildung solcher Längsstufen zur Folge, welche an der Neigung des Strombettes teilnehmen. Es wurde in § 70 dargestellt, daß, wenn in einem mit losem Schutt reichlich bedeckten Bergland eine plötzliche und außergewöhnliche Vermehrung der Wassermasse, z. B. durch einen Wolkenbruch, stattfindet, die Transportkraft des in Kanälen abströmenden Wassers in weit höherem Maße als die Wassermasse vermehrt wird. Der Schutt wird fortgeschwemmt und kann die Böden der Erosionskanäle so vollständig bedecken, daß Jahrhunderte dieselben nicht mehr frei zu legen vermögen. Ebenso werden weiter hinab, wo das Gebiet der Ablagerung bei gewöhnlichem Wasserstand beginnt, die Flußbetten angefüllt; es kann ein überschreiten der Ufer und das Aufwerfen eines mächtigen Dejektionskegels (§ 83) erfolgen. Ein ähnliches Resultat kann herbeigeführt werden, wenn Schnee und Eis auf einem Vulkan durch Erhitzung von Teilen des Kegels schmelzen, und Schuttströme (gewöhnlich als Schlammströme bezeichnet) sich von diesem herabwälzen. Die Arbeit des fließenden Wassers ist hinfort darauf gerichtet, einen Kanal durch rückwärtiges Fortschreiten in den Schutt zu graben.

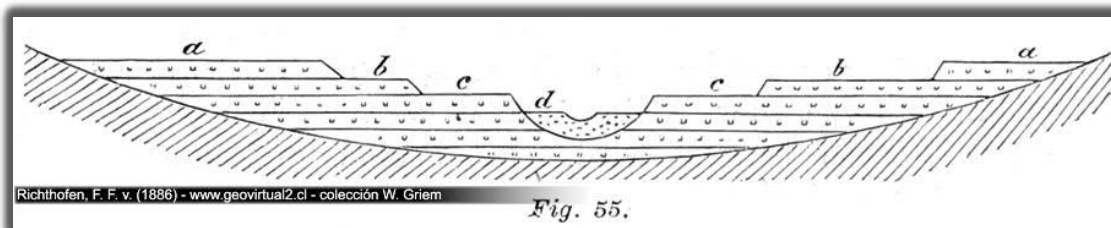
Die übermäßige Zufuhr von groben Sedimenten kann sich auch durch einen längeren Zeitraum erstrecken, wenn in Folge klimatischen Wechsels eine dauernde Vermehrung der Niederschläge eintritt, und große, durch lange Perioden angesammelte Vorräte von Gebirgsschutt dadurch abgeräumt und den Flüssen zugeführt werden; oder wenn, ohne Vermehrung der Niederschläge, die Wirkung des Spaltenfrostes an felsigen Flußufern während einer gewissen Zeit eine besondere Intensität erreicht, oder in anderer Weise große Schuttmassen von den Seiten her in einen Strom getragen werden, welcher dieselben zu saigern, auszubreiten und von allen feineren Bestandmassen zu reinigen, aber die gröberen Teile nicht fortzuführen vermag. Es kann dadurch Ableitung des Stromes in neue Bahnen, auch Bifurkation eintreten. Aber sowie die übermäßige Zufuhr aus Mangel an gelockertem Material oder aus anderen Ursachen erschöpft ist, beginnt der Strom seinem Bett innerhalb der Schuttanhäufungen nach der Tiefe zu graben. Dies gelingt ihm vollkommen, wenn er mit verstärkter Wassermasse arbeiten kann, wie es z. B. während der langen Dauer des Abschmelzens großer Gletschermassen der Fall gewesen ist. In Gebirgen erreichen die Schuttablagerungen der Flußtäler zuweilen eine Mächtigkeit von einigen hundert

Fuß; und doch findet man das neue, oft von breiten Alluvialflächen begleitete Strombett nicht nur bis zu einem großen Teil jenes Betrages eingesenkt, sondern zuweilen noch in das unterliegende Gestein eingegraben.

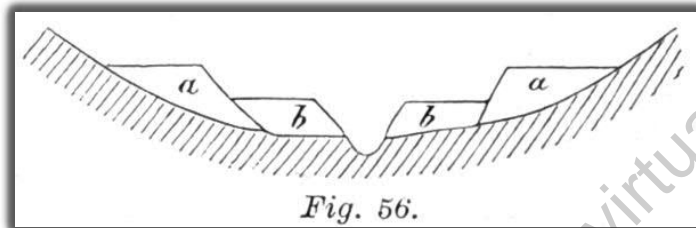
Dieser doppelte Vorgang der Auffüllung und Ausfurchung hat sich in manchen Fällen ein zweites, und selbst ein drittes Mal wiederholt. Beichten die Schwemmassenablagerungen der zweiten Periode über das Niveau derjenigen der ersten hinaus, so wird nur ein System höherer Terrassen an Stelle des früheren entstanden sein, und es wird schwer halten, beiderlei Ablagerungen zu trennen. Erreichten sie nicht die Höhe der ersten Terrasse, so werden, nachdem der Fluß sich wieder eingeschnitten hat, zwei Systeme von Längsstufen denselben begleiten. In analoger Weise kann ein drittes hinzutreten. Die Untersuchungen derartiger Verhältnisse sind schwierig und müssen sehr genau ausgeführt werden. Doch wird die Mühe belohnt, weil sie wertvolle Aufschlüsse über die physische Geschichte großer Erdräume geben. Als Muster für die Beobachtungen über Längsterrassen können diejenigen genannt werden, welche Penck in den Alpen und deren Vorland ausgeführt hat, sowie diejenigen amerikanischer Geologen über analoge Verhältnisse in den Vereinigten Staaten.



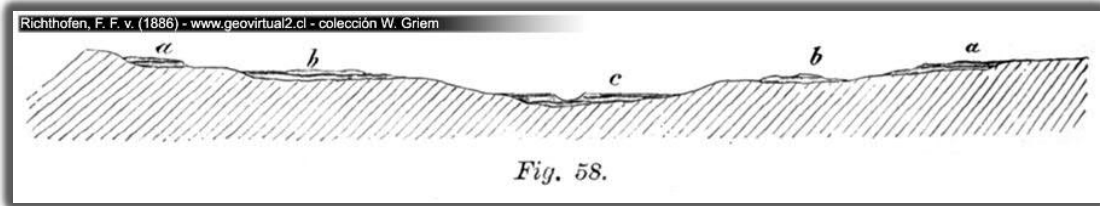
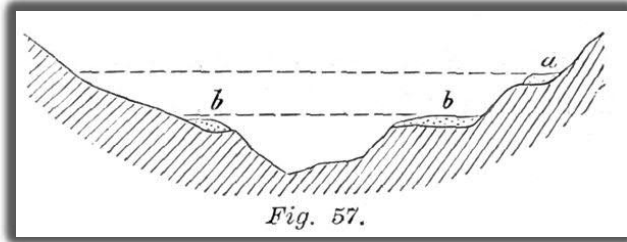
Einige der häufiger vorkommenden Fälle von Längsterrassen sind in Fig. 54 bis 60 zusammengestellt. In Fig. 54 ist es klar, daß aa einst eine zusammenhängende Schuttausfüllung war, in welcher der Fluß ein neues breites Tal bis zur Sohle ausgrub, dann dieses von den kontinuierlichen, jetzt nur in den Terrassen bb erhalten gebliebenen Ablagerungen erfüllt wurde, und beiderlei Vorgänge sich in allmählicher Abschwächung bis zur Entstehung der gegenwärtigen Talsohle



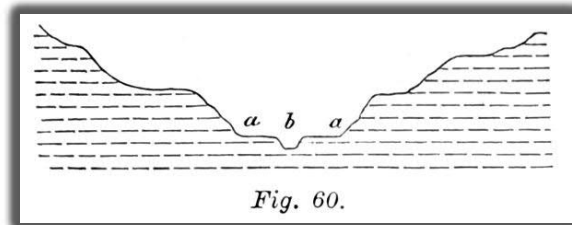
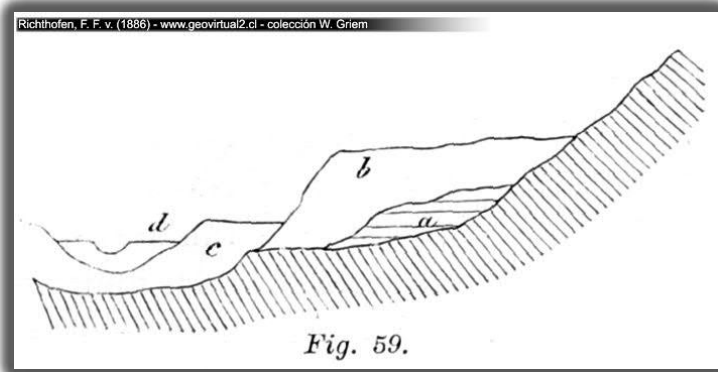
wiederholten. Dagegen stellt Fig. 55 einen Fall dar, in welchem dieselbe äußere Gestalt durch das in Absätzen erfolgte Tieferlegen des Arbeitsniveaus des Flusses in einer und derselben Schuttanfüllung hervorgebracht wurde; an der Stelle der Terrassen aa, bb, cc ist dann oft eine allmähliche Abdachung gegen d vorhanden. In Fig. 56 sind die Terrassen aa, bb wie im ersten Fall stehen geblieben; das jetzige Strombett c ist aber ein Erosionskanal im Gestein.



Wo rudimentäre Terrassen vorhanden sind, wie in Fig. 57 und 58, ist es zwar wahrscheinlich, daß die Ablagerungen aa von höherem Alter sind als bb; aber dies kann aus der Lagerung nicht sicher erkannt werden; die Feststellung muß sich hier auf anderweitige Untersuchungen gründen. Zuweilen kann eine Runse, wie in Fig. 59, den Rest einer ältesten Schutttablagerung a erschließen, der aber von der zu große-



rer Höhe hinaufreichenden Ablagerung b verdeckt ist. Das Verhältnis von c und d zu b ist dasselbe wie in Fig. 54. Die im festen Gestein ausgewaschenen Stufen bedürfen keiner besonderen Darstellung. Doch ist in Fig. 60 ein Fall veranschaulicht, welcher bei dem Yang-tsze-kiang vorkommt, wo er in großartigen Engen das letzte in seinem Wege stehende Gebirge durchbricht. Hier ist aa eine ebene Stufe, welche die Talsohle bei Hochwasser bezeichnet, während der kleine Kanal b von dem Fluß bei niedrigem Wasser benutzt wird. Beide sind in Sandstein mit großer Schärfe eingegraben.



6. Änderung der Geoidfläche.

[§94] Diesem Faktor ist mit Rücksicht auf seine Beeinflussung der Stromläufe bis jetzt nur wenig Rechnung getragen worden. Die Tragweite, welche ihm in Zukunft zukommen wird, läßt sich vorläufig nur ahnen. Da der Weisende ihn nicht unmittelbar der Beobachtung unterwerfen, sondern nur allgemeine Resultate nach diesem Gesichtspunkt argumentierend prüfen kann, so mag er hier, trotz seiner Wichtigkeit, übergangen werden. Belehrung über die in § 117 (Nr. 18) näher bezeichnete Art seiner Anwendbarkeit kann man Penck's scharfsinniger Darstellung (Verhandlungen der Ges. f. Erdk. zu Berlin, 1884, p. 55—59) entnehmen.

7. Zerklüftung und Höhlenbildung.

[§95] In § 82 wurde auf den Einfluß hingewiesen, welchen die im Gestein vorhandenen Klüfte auf die Ablenkung des ersten Wasserabflusses auf einer geneigten Fläche im Kleinen ausüben. Mit geringerer Sicherheit ist die Frage entschieden, inwieweit größere Flüsse in der Richtung ihres Laufes durch vorhandene Gebirgszerklüftung bestimmt und durch deren weiteres Fortschreiten beeinflußt werden. Daubree suchte für einige Gegenden Frankreichs, welche aus flach gelagerten, wahrscheinlich durch Torsion zerklüfteten Sedimentgesteinen bestehen, nachzuweisen, daß dort die gesamte Stromverteilung ein durch die Klüfte veranlaßtes System winkelig zusammengelugter Talstrecken bilde, und Kjerulf hat den Zusammenhang der Verzweigungen der norwegischen Fjorde mit einer die Gebirge im Großen betreffenden Zerklüftung angenommen. Andererseits hat sich in solchen Abrasionsgebieten, welche von Brüchen und Verwerfungen durchsetzt waren, ehe ihre Abschleifung erfolgte, wie im Harz und im Rheinischen Schiefergebirge, ein analoger Zusammenhang nicht erweisen lassen; selbst wenn ein bedeutender Härtewechsel mit der Verwerfung verbunden ist, scheinen dort nur kleine sekundäre Wasserläufe hinsichtlich ihrer Richtung dem gedachten Einfluß zu unterliegen.

Beobachtungen hierüber sind noch in geringer Zahl vorhanden. Die Aufmerksamkeit könnte darauf gerichtet werden:

- 1) ob die Klüfte und Verwerfungen vor der Anlage der Abflußkanäle bestanden oder erst während deren Entwicklung gebildet wurden;
- 2) ob sich nicht Klüfte verschieden verhalten; ob nicht z. B. Torsionsklüfte in gewissen Richtungen und an gewissen Stellen mit einer Lockerung verbunden sind und dem Wasser leicht Zugang gewähren, dagegen an Absinkungsklüften eher eine Verdichtung des Gesteins stattgefunden habe, welche das Eindringen von Wasser und die Zersetzungsfähigkeit verminderte.

Auch das verschiedenartige Verhalten der einzelnen Gesteine sollte festgesetzt werden. Klüfte in leicht zersetzbarem Gestein, wie Granit, werden sich anders verhalten als solche in unzersetzbarem Gestein, wie Tonschiefer.

Eine besondere Kategorie bilden die Klüfte in löslichem Gestein. Kalkstein nimmt hier weitaus die erste Stelle ein, um so mehr als in wenigen anderen Gesteinen in gleichem Grad wie bei ihm eine bei den gebirgsbildenden Prozessen oder durch Lockerung der Unterlage entstehende Spannung sich durch Kluftbildung löst. Finden die Gewässer, welche durch atmosphärische Niederschläge oder von Flüssen geliefert werden können, Abfluß durch solche Klüfte, so schreitet die Auflösung des Gesteins schnell vor; es bilden sich Höhlungen; Flüsse senden durch Sickerung einen Teil ihres Wassers hinein, wie die obere Donau gegen die Aachquellen hin, und können durch Erweiterung des unterirdischen Laufes ganz abgelenkt werden, wie es der Donau im Lauf der Zeit bevorzustehen scheint, falls nicht künstlich vorgebeugt wird. In den Kalkgebirgen der Ostseite des adriatischen Meeres, vom Karst bis zum südlichen Griechenland, ereignet es sich, daß mehrere in einer Talmulde entspringende, durch kaum bemerkbare Wasserscheiden getrennte Gewässer durch verschiedene Thore in einem, die Mulde an einer Seite umfassenden Kalkgebirge entweichen. Durch Einstürzen der Höhlen bilden sich mit der Zeit offene Täler.

Dem letztgenannten Umstand ist besonders in Lößgebieten Aufmerksamkeit zu widmen. Es findet sich häufig, daß aus einer Lößmulde mehrere Flüsse entspringen, und einige von ihnen durch enge Felsschluchten entweichen, während ihnen anscheinend die Vereinigung mit dem der natürlichen Neigung folgenden Gewässer leichter gewesen sein müßte. Das Verhältnis ist schwierig zu erklären, wenn sie nicht Kalkstein, sondern andere, der Lösung nicht merklich unterliegende Gesteine durchbrechen.

Auf die Ablenkung der Ströme durch Querverschiebungen der Gebirge und andere Vorgänge von großem Maßstab wird in einem anderen Kapitel eingegangen werden.

Aus der sehr umfangreichen, auf Beobachtung beruhenden Literatur der letzten Zeit über die mechanische Tätigkeit des fließenden Wassers und die Bildung der Erosionstäler mögen hier die folgenden Abhandlungen genannt werden:

- Rüttimeyer, über Tal- und See-Bildung, Bern 1869 (2. Aufl. 1874).
- Surell et Cezanne, etudes sur les torrents des hautes Alpes, 1870—72.
- G. K. Gilbert, Land sculpture; in Report on the Henry mountains, Washington 1877 p. 99—144.
- A. Supan, Studien über Talbildung des östlichen Graubünden und der Tiroler Zentralalpen; Mitteilungen der geogr. Gesellschaft in Wien 1877 p. 293—408.
- E. Tietze, Bemerkungen über die Bildung der Quer-täler; Jahrb. der k. k. geolog. Reichsanst. Wien 1878 p. 581—610 und 1882 p. 685—767.
- Heim, Erosion im Gebiet der Reuss; Jahrb. d. Schweiz. Alpenclub 1879 p. 387. — C. E. Dutton, Tertiary history of the Grand Canon District, Washington 1881; besonders Cap. IV, XIII, XIV.
- K. Schneider, Studien über Talbildung in der Vordereifel; Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. Berlin 1883 p. 27—67.
- F. Löwl, über Talbildung, Prag 1884. — A. Penck, über Periodizität der Talbildung; Verhandlungen der Ges. f. Erdk. Berlin 1884 p. 39—59.

[p.209]

Siebentes Kapitel.

Beobachtungen an Eis und Gletschern

Eis bildet sich teils durch unmittelbares Gefrieren von Wasser, teils durch die Umwandlung, welche Schnee einerseits durch das Eindringen und Gefrieren von Wasser von 0 °, andererseits durch die Wirkung von hohem Druck erleidet. In den beiden letzteren Fällen erhält es besondere Strukturformen. Der Beobachtung bieten sich verschiedene Aufgaben, je nach der Art wie das Eis vorkommt, welche mit der Art seiner Bildung im Wesentlichen zusammenfällt.

1. Eis der Gewässer.

Die Betrachtung läßt sich sondern, je nachdem man es mit gefrorenem Bodenwasser, Flußwasser, stehendem Wasser oder Meerwasser zu tun hat.

a. Bodeneis.

[§96] An der Oberfläche des Bodens ist das in denselben eingedrungene Wasser den durch die örtlichen Bestrahlungs- und Wärme-Verhältnisse bedingten Einflüssen überhaupt ausgesetzt. Es gefriert, wenn die Temperatur unter Null sinkt, und taut, wenn sie darüber steigt. Da die äußerste Bodenschicht sich durch Insolation schneller erwärmt und durch Ausstrahlung schneller abkühlt, als die Luft, so sind im Allgemeinen die Temperaturwechsel in ihr noch grösser, als sie der der Luft ausgesetzte Thermometer angibt. Der mechanische Effekt des Bodeneises auf die Absprengung des Gesteins und die Lockerung des Erdbodens wurde bereits in § 41 erörtert. Unter der Oberflächenschicht nehmen die Temperaturschwankungen ab bis zur invariablen Schicht, von welcher aus die Temperatur nach der Tiefe hin zunimmt, aber in jeder einzelnen Tiefenstufe konstant ist. Da die Temperatur der invariablen Erdschicht der Mitteltemperatur des betreffenden Ortes gleich ist, so wird, falls die letztere über 0° liegt, der Boden, nur im Winter, und nur in den obersten Teilen, zeitweise gefroren sein. Liegt sie hingegen unter 0°, so wird eine Schicht des Bodens, welche zum Teil über und zum Teil unter der invariablen Stufe liegt, beständig gefroren sein. Von der Oberfläche aus wird im Sommer die Temperatur nach dieser Tiefe hin im Mittel stetig abnehmen, während sie darunter wieder allmählich zunimmt. Im Winter wird der Boden von der Oberfläche an gefroren sein, und seine Temperatur von ihr aus beständig zunehmen. Die Erfahrung hat diese Voraussetzungen bestätigt. Doch sind in allen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter 0° liegt, fernere Beobachtungen über das beständige Bodeneis, die Temperaturverhältnisse in verschiedenen Tiefen und die mechanischen Wirkungen des Eises auf den Boden erwünscht. In der beständig gefrorenen Schicht sollten die letzteren gleich Null sein, über ihr hingegen sich bemerkbar machen. Brunnengrabungen und Bergwerke, auch natürliche Höhlen, können darüber Aufschluß geben.

Es kommen auch abnorme Verhältnisse vor, indem sich beständiges Eis in Gegenden bildet, deren Jahrestemperatur über Null liegt. Hierzu gehören die Eishöhlen, auf die bereits bei den kalten Quellen (§ 57) hingewiesen wurde. Als die wahrscheinliche Ursache der Eisbildung wurde die Wärmeentziehung durch die Verdunstung des Sickerwassers im Gebirgsschutt angegeben, welche durch ihre größere Intensität bei hohem Stand der Sonne die Eisbildung im Sommer befördert. Wo das seltene Phänomen sich bietet, sollten Erkundigungen über die Eismenge in verschiedenen Jahreszeiten eingezogen und Beobachtungen über alle einschlägigen Umstände angestellt werden; denn die angegebene Erklärung ist keineswegs als sicher anzusehen.

b. Eis der stehenden Gewässer.

[§97] Bei tiefen Seen, auf denen sich Eis bildet, ist zunächst die Temperaturverteilung von der Oberfläche bis zum Boden festzustellen. Man findet gewöhnlich bis zu einer gewissen Tiefe die Temperaturveränderungen der Oberfläche bemerkbar, darunter aber bis zum Boden eine gleichmäßige Temperatur von 3.5° bis 4° . Im Übrigen ist bei stehenden Gewässern im Allgemeinen die Zeit des Gefrierens und Auftauens, die Dicke des Eises, der Umfang der Eisdecke in größeren Seen, der Dienst, welchen es dem Verkehr leistet, und anderes Tatsächliche zu beobachten. Spezielleres Interesse haben von diesen Gesichtspunkten aus die Salzseen. Wo nur der Boden mit Salzinkrustationen und einzelnen Tümpeln bedeckt ist, kann, wie schon angedeutet wurde, der Einfluß der Kältemischung von Schnee und Salzen auf die Lufttemperatur beachtet werden. Doch ist dabei Vorsicht erforderlich; denn die Salzkrusten finden sich häufig in abflußlosen Becken, in welche in kalten Nächten die erkaltete Luft der Talgehänge hinabfließt (§ 25). Am Morgen ist es dann im Tal kälter als auf den umgebenden Berggehängen. Diesem Umstand ist bei Beurteilung der erkältenden Ursachen Rechnung zu tragen.

c. Eis der fließenden Gewässer.

[§98] Insoweit Flüsse sich mit Eis bedecken, gilt dasselbe wie § 98. für die stehenden Gewässer. Doch kommen eine Anzahl von Gesichtspunkten hinzu, welche sich auf mechanische Wirkungen beziehen. Das Gefrieren beginnt in manchen Flüssen mit der Bildung von Grundeis. Der Grad der Klarheit des Wassers scheint darauf Einfluß zu haben. Betreffs der Ursache der Grundeisbildung sind jedoch die Ansichten verschieden. Von Einigen wird sie der nächtlichen Ausstrahlung von einem kiesbedeckten Boden zugeschrieben, indem die niedrige Temperatur sich der am langsamsten fließenden Bodenschicht des Wassers mitteile, und dieses dadurch teilweise zum Gefrieren komme. Nach anderer Ansicht würde das Grundeis durch das Ansetzen von Eisnadeln am Boden entstehen, die, an der Oberfläche gebildet, nach abwärts gewirbelt würden und sich dort ansetzten, bis sie eine dickere Schicht bildeten. Bei dieser Divergenz der Anschauungen sind fernere Untersuchungen über die Bildungsart des Grundeises erwünscht. Das graugefärbte, schwammige Grundeis ist oft von Erde, Sand und Kieseln erfüllt, welche letztere das Wasser allein nicht zu transportieren vermöchte. Indem es in Schollen zur Oberfläche ansteigt und mit seinen Einschlüssen stromabwärts getragen wird, trägt es zum Transport fester Massen bei.

Die mechanischen Wirkungen des Eisganges, d. h. des Abwärtsschwemmens des in Schollen gebrochenen Oberflächeneises, sind besonders bei denjenigen Flüssen zu beobachten, welche in kalten Gegenden von Süd nach Nord gerichtet sind, wie diejenigen von Sibirien und Semi arktischen Nord-Amerika. Die schätzenswerten Beobachtungen von v. Middendorff über die ersteren können zum Anhalt für weitere Untersuchungen dienen. Die Eisdecke der Seen und Flüsse erreicht nach ihm in Sibirien die Dicke von 1 m bis 2.40 m. Daher gefrieren die seichten Zuflüsse der großen Ströme, welche selbst eine größere Tiefe haben, bis zum Boden. Das nachdringende Wasser, besonders auch dasjenige der Bodenquellen, sucht nach der Oberfläche zu dringen und gefriert ebenfalls. Dadurch bildet sich eine Eiswölbung über dem Flußbett. Bei dem Auftauen entstehen erst zwei Ströme zu beiden Seiten des Eises und greifen die Ufer an. Dann kommt das Eis streckenweise zum Schwimmen. Es ist mit viel festem Material beladen und führt oft große Gesteinsblöcke. In die Ströme gelangt, findet es die nördlichen Strecken noch mit Eis bedeckt. Die Schollen stauen sich gegen dasselbe und bilden Wälle, die erst nach der Lösung des Eises der Unterstrecken zerstört werden können. Es findet daher einerseits ein bedeutender Transport von zum Teil sehr grobem Material bis weit in das Meer hinaus statt, andererseits eine starke Erosionswirkung des vielfach abgelenkten und gestauten Flußwassers, und endlich eine Stoß-Wirkung der Eisblöcke gegen die Ufer, welche Stauchungen des geschichteten Bodens und der weicheren Gesteine zur Folge hat.

Ähnliche Wirkungen, besonders hinsichtlich des Material-transportes, geben sich bei jedem Eisgang zu erkennen. In flachen Gegenden können auch Stromableitungen vorkommen, wenn das Eis sich an Sandbänken oder Strominseln zu einem festen Walle staut, welcher durch die besonders gegen den mittleren Teil nachdrängenden und gegen den Boden hin sich einpressenden Eismassen eine gewölbartige Gestalt annimmt und mehrere Kilometer Länge erreichen kann. Entweicht der Strom seitwärts durch ein neugegrabenes Bett, so schmilzt später die Eisbarre ab und läßt eine Anhäufung der mitgeführten festen Massen zurück, welche dazu beiträgt, den neuen Lauf konstant zu erhalten.

d. Meereis.

[§99] In seichten Meeren ist die Grundeisbildung viel stärker als in Flüssen. Es kommt oft unversehens in Massen an die Oberfläche und kann, wenn es mit großen Blöcken beladen ist, ein wichtiges Transportmittel werden.

An der Oberfläche gefriert das Meerwasser nur in geschützten Buchten und an den Küsten, da die Wellen dem Gefrieren im offenen Meer hinderlich sind. Die Temperatur, bei welcher das Meerwasser zu Eis kristallisiert, liegt zwischen -2° und -3° C. Zuweilen kühlt es sich in größerer Ausdehnung über seichtem Grund zu derselben ab und verwandelt sich bei geringem mechanischem Anlaß plötzlich in Eis. Im Augenblick des Kristallisierens werden die Salze größtenteils ausgeschieden; ein Teil von ihnen (wesentlich Sulfate) bleibt im Eis bestehen, ein anderer Teil (wesentlich Chlorüre) wird ihm als konzentrierte Sole mechanisch beigemischt, der größte Teil geht in das Meer. Bei weiterer Abkühlung kristallisiert die Sole in weißen Nadeln und trägt wahrscheinlich in dieser Form zu der plastischen Konsistenz des Meereises bei. An der Unterseite des Oberflächeneises findet nach Weyprecht ein langsames Ansetzen von salzfreiem Eis statt. Dies, sowie die Art der Beimischung des Salzes, ist noch genauer zu untersuchen; ebenso das Maximum der Dicke, welche das Eis während eines Winters erreichen kann, und welche

durchschnittlich zu 2 m angenommen wird; doch scheint es, daß, wenn das Gefrieren durch mehrere Winter fortsetzt, eine größere Dicke erreicht wird. Als das mögliche Maximum hat man 6 bis 7 m vermutet.

Durch Losreißen, Zusammenschwemmen und Stauen des Oberflächeneises entsteht das für die Polarfahrten so verhängnisvolle Packeis, welches die Hauptmasse der Eisfelder östlich von Grönland und nördlich von der Beringstraße bildet. Nach theoretischer Berechnung ist der untergetauchte Teil der großen Schollen desselben 9—10 Mal, nach Wallieh's Schätzung 14—16 Mal so dick als der sichtbare. Auch dies ist durch Messung oder durch Experimente im Kleinen genauer zu bestimmen. Besondere Aufmerksamkeit ist den großen tafelartigen Schollen des Treibeises der antarktischen Meere zuzuwenden, da deren Natur und Entstehungsart noch unvollkommen bekannt sind.

2. Eis der Gebirgsgletscher. [*1]

[*1]: Seit der Abfassung des Manuscriptes zu dem vorliegenden Werk hat die deutsche Literatur von einem der hervorragendsten Gletscherforscher, Herrn Albert Heim in Zürich, in seinem „Handbuch der Gletscherkunde“ (Stuttgart 1885) ein Werk ersten Ranges über den hier behandelten Gegenstand erhalten. Dasselbe ist für jeden Gletscherforscher unentbehrlich. Einzelnes daraus konnte hier noch zu Nachträgen benutzt werden.

[§100] Auf hohen Gebirgen wird der größte Teil des fallenden Schnees in Vertiefungen zusammengewirbelt und gleitet von den Gehängen in Form von Lawinen in dieselben hinab. Reicht das Gebirge über die Schneegrenze hinaus, d. h., ist die Sommerwärme nicht genügend, um die Gesamtmasse des während des Jahres gefallenen Schnees zu schmelzen, so wird er von Jahr zu Jahr angehäuft. Sonnenbestrahlung, sowie Eindringen und Wiedergefrieren des Schmelzwassers verwandeln den Hochschnee in Firnschnee, ein lockeres Aggregat rundlicher Körner, welche aus Eis bestehen, an Luftblasen reich sind und vom Wind nur noch wenig verweht werden. Durch weitere Einwirkung des eindringenden und gefrierenden Schmelzwassers entsteht Firneis, ein festeres Konglomerat derselben Körner, welche durch Eiszement verkittet sind. Die Firnfelder, welche gewöhnlich die tieferen Teile weiter Hohlformen im Hochgebirge erfüllen, und nach deren konkav abfallender Oberfläche die Schneehalden sich von den felsigen Seitenwänden unter Winkeln von selten mehr als 30° und höchstens 40° herabziehen, zeigen diese drei Modifikationen der festen Form des Wassers. Die körnigen Eismassen des Firnfeldes bilden den ersten Teil des Gletschers. Sie erfüllen bald eine einzige große, circusartige Hohlform, bald mehrere, zu einem Kessel sich vereinigende, durch Felsgräte getrennte Zuströmungsrinnen. Die muldenförmige Oberfläche senkt sich nach einem meist engeren Gebirgstal hinab, in welches die weitere Hohlform übergeht. In ihm lagert der zweite Teil des Gletschers, eine mächtige Eismasse, welche, zum Unterschied gegen das Firnfeld, die Gletscherzunge genannt wird. In einer gewissen Höhenstufe, welche ungefähr der Jahresisotherme von 0° zu entsprechen scheint und in der Nähe der Grenze des ewigen Schnees liegt, verschwinden alle Firnbildungen. An ihrer Statt stellt sich Gletschereis ein, welches offenbar aus dem Firneis entstanden ist, aber einen anderen Charakter hat. Es ist in diesem oberen Teil durchsichtiges Eis, mit einzelnen größeren Luftbläschen. Das Firnkorn ist verschwunden. Aber das Eis ist durch Capillarspalten ebenfalls in kleine Körner, die sogenannten Gletscherkörner, zerteilt. Sie berühren sich eng und sind nicht durch ein besonderes Eiszement getrennt. Eine beträchtliche Verdichtung ist eingetreten: denn während ein Kubikmeter frischgefallenen Schnees 85 kg wiegt, beträgt das Gewicht derselben Raumeinheit

Firneis 500 bis 600 kg, von Gletschereis dagegen 900 bis 960 kg. Über die Art, wie das Gletscherkorn an die Stelle des Firnkornes tritt, fehlt es an genauen Untersuchungen. Zu dem Eindringen des Schmelzwassers und dem Austreiben der sehr zahlreichen kleinen Luftbläschen mag die Druckwirkung als ein Hauptagens kommen; denn der Gletscher quillt gewissermaßen aus dem tiefsten Teil der Firnmulde als ein fertiges Gebilde hervor; dort liegt daher seine Bereitungsstätte.

Als ein Eisstrom zieht die Gletscherzunge bis weit unterhalb der Schneelinie im Tal hinab nach wärmeren Höhenregionen, wo der Abschmelzungsprozeß sich mehr und mehr steigert, bis er in einer gewissen, von verschiedenen Faktoren abhängigen, bei jedem Gletscher verschiedenen Meereshöhe demselben ein Ende setzt. Innerhalb der Strecke füllt der Gletscher das Tal, schwillt in Weitungen desselben seitlich an, zieht sich in Engen zusammen, nimmt andere Gletscher aus Seitentälern auf und strömt, durch sie verstärkt und mit ihnen zu einem Ganzen vereinigt, fort, bis er die Region der letzten Abschmelzung oder das Meer erreicht. Da in den Firnregionen und an den Talwänden über dem Gletscherbett die Zerstörung durch Spaltenfrost bedeutend ist, wird eckiger Gesteinsschutt, oft in großer Menge, dem Gletscher zugeführt und auf seinem Rücken in Gestalt von Oberflächenmoränen abwärts getragen, bis er an der Stelle des Abschmelzens entweder abgelagert oder dem aus dem Gletscher sich entwickelnden, gewöhnlich reißenden Wildbach überliefert wird. Ein Teil des Schuttes jedoch gelangt, durch Versinken in Spalten, auf dem Weg nach abwärts allmählich auf den Boden des Gletschers und bildet, im Verein mit anderen dort fortbewegten Gesteinsmassen, die Grundmoräne, die sich unter der Last des Eises mit diesem bis an das Ende fortschiebt und hier ebenfalls entweder liegenbleibt, oder vom Wasser fortgerissen wird. Das letztere ist durch das feine Gesteinsmehl, welches durch die unter hohem Druck sich vollziehende Korrasion der Bestandteile der Grundmoräne gegen einander und gegen die Felsunterlage entsteht, milchig getrübt.

a. Morphographische Beobachtungen.

[§101] Das Vorkommen eines oder mehrerer Gletscher kann an sich eine Tatsache von Interesse sein. Gletscher finden sich zwar unter allen Breiten; aber die zu ihrer Bildung erforderlichen Temperaturverhältnisse, welche unter hohen Breiten in geringer Höhe über dem Meeresniveau, in äquatorialen Regionen auf hohen Gebirgen vorhanden sind, reichen allein zu ihrer Entstehung nicht aus, und es sind daher manche Gebiete, welche dieses erste Erfordernis besitzen, doch gletscherfrei. Eine wesentliche Bedingung sind mit Feuchtigkeit beladene Winde und die Kondensation dieser Feuchtigkeit in Gestalt von Schnee in solcher Menge, daß er im Sommer nicht abschmilzt und sich daher von Jahr zu Jahr fortschreitend anhäufen kann. Gebirge in Gegenden mit trockenen Sommern und niederschlagsreichen Wintern werden sehr stark mit Schnee beladen; aber die Grenze des beständigen Schnees, daher auch der Firnfelder, kann in Folge starken Abschmelzens durch die sommerliche Wärme verhältnismäßig hoch hinaufrücken. Ist das Verhältnis umgekehrt, so fällt im Sommer der Regen bis zu bedeutender Höhe und nimmt die geringe Schneedecke des Winters hinweg. Dies ist der Fall im ganzen östlichen Asien, welches deshalb trotz seiner reichlichen Niederschläge fast gletscherlos ist. Ragt aber in solchen Gegenden ein Gebirge bis in diejenigen Höhen auf, wo auch im Sommer die Niederschläge in Gestalt von Schnee erfolgen, so wird die Anhäufung des Schnees und die Bedingung zur Gletscherbildung in um so höherem Maße vorhanden sein. Daher erreichen die Gletscher an der Südseite des Himalaya und der Karakorum-Kette trotz sehr hoher Lage der Firnfelder eine

außerordentlich große Entwicklung. Am günstigsten scheint eine gleichmäßige Verteilung der Niederschläge während des Jahres zu sein, weil dann die winterliche Schneedecke tief hinab reichen kann, und der durch die Bewölkung kühl gehaltene Sommer ihre untere Grenze wenig hinaufschiebt. Dies ist im höchsten Maße der Fall in den patagonischen Anden. Wo sich vereinzelt Gletscher in Gegenden, die ihrer Bildung ungünstig sind, finden, wie am Munko Sardyk und an der Bielucha, den einzigen Bergen Sibiriens von denen man sie kennt, oder in einzelnen Teilen der Gebirge in den oberen Teilen der Strombecken des Gelben Flusses und des Yangtze-kiang, sollten die zu Grunde liegenden klimatischen und Bodenverhältnisse genau geprüft werden.

Außer dem Klima ist die Gestalt der Gebirge dafür entscheidend, ob sich ein Gletscher bilden kann oder nicht. Ein breiter Ruheplatz für den Schnee ist erforderlich. Er kann Hochflächencharakter besitzen, wie in Norwegen, oder die Gestalt von Hohlformen haben, wie in den Alpen, im Kaukasus und Himalaya; aber er muß vorhanden sein. Vereinzelt Kegelberge ohne solche für die Lagerung geeignete Plätze sind daher, wenn sie auch noch so hoch aufragen, für die Gletscherentwicklung ungünstig.

Bei der eingehenden Untersuchung eines Gletschers bieten sich zahlreiche Gegenstände für die Messung und graphische Darstellung. Doch vermag, wer flüchtig große Gletschergebiete durchstreift, nur dem einen oder anderen Gesichtspunkt Aufmerksamkeit zu widmen, da die meisten Beobachtungen viel Zeit erfordern.

Zuerst sind die horizontalen und vertikalen Verhältnisse festzusetzen. Gleich einem Gebirgsstrom besteht der Gebirgsgletscher aus einem erweiterten Sammelbecken und einem Ausflußkanal, welcher zugleich die Funktion einer Strecke größten Transportes und stärkster Erosion hat. Dasselbe gilt für jeden sich mit ihm vereinigenden Seitengletscher. Die dritte Staffel der Gebirgsströme, diejenige der Ablagerung, ist vorhanden, gehört aber in Gebirgen gewöhnlich nicht dem Gletscher selbst an, da dieser oft schon innerhalb des Erosionskanals sein Ende erreicht. Die Gestalt beider Teile sollte zur genauen Darstellung kommen. Die Meereshöhe muß an verschiedenen Stellen gemessen werden; zunächst am unteren Ende, wobei zugleich Erkundigungen einzuziehen oder Beobachtungen anzustellen sind, ob in jüngster Zeit Schwankungen in der Lage des Gletscherendes vorgekommen sind. Sodann am oberen Ende der Firnregion. Diese fällt nur in einzelnen Fällen mit den umgebenden Gebirgshöhen zusammen; denn abgesehen davon, daß diese oft felsig und schroff, ohne Schneedecke, aufragen, entsteht in sehr großen Höhen kein Firn; der Schnee bildet dort lockere, trockene Anhäufungen, welche vom Winde aufgewirbelt und zum Teil in die Firnregion hinabgetragen werden. Aus dem Vergleich der Differenz der Meereshöhe am unteren und oberen Ende des Gletschers mit dem Horizontalabstand beider Orte ergibt sich der mittlere Neigungswinkel an der Oberfläche. In den Alpen sind 3° bis 6° häufige Mittel der Neigung; 7° bis 8° kommt noch oft vor, aber niemals ein Mittel von mehr als 10°. Streckenweise geht die Neigung auf 2° und selbst 0° herab, und an einzelnen Stellen steigt sie auf 20° bis 30°. Es ist jedoch zu bemerken, daß der Abdachungswinkel des Gesamtgletschers von geringerer Bedeutung ist als die getrennten Werte für die Neigung der Firnfläche einerseits und der Gletscherzunge andererseits. Von Interesse würde es sein, das Gefälle des Gletscherbodens zu bestimmen und mit der der Oberfläche zu vergleichen. Dies ist an bestehenden Gletschern nicht ausführbar, sollte aber um so mehr bei Untersuchung verlassener Gletscherbetten berücksichtigt werden.

Wichtig ist es, die Meereshöhe der Schneelinie zu bestimmen, sowie der Zone, in welcher Gletschereis an Stelle von Firneis zuerst erscheint. Dieser Übergang ist überhaupt in verschiedener Beziehung von Bedeutung. Oberhalb ist das Nährgebiet, unterhalb das Gebiet der fertigen Entwicklung, mit der schon die ersten Stadien der Auflösung eintreten, die weiter hinab in

diejenigen des Absterbens übergehen. Bei den Alpen-gletschern liegt die Firnlinie häufig nahezu in der Mitte zwischen oberstem und unterstem Gletscherende. Das Areal des Firnfeldes ist in den Alpen grösser als das des Gletschers. Das Verhältnis schwankt zwischen 1.5:1 und 7.5:1. Hierüber wären vergleichende Angaben aus anderen Gebirgen erwünscht.

Die Feststellung des unteren Gletscherendes gewinnt an Interesse, wenn sie für alle Gletscher eines größeren Gebietes vergleichend durchgeführt wird, und die Temperaturverhältnisse der betreffenden Höhenzonen bekannt sind. In Ermangelung hinreichenden Anhaltes sollte man die Vegetation der Umgebungen des Gletscherendes nach Gattungen und Arten zu charakterisieren suchen. Die Tiefe, bis zu der dasselbe hinabreicht, hängt in erster Linie von der Größe des Sammelbeckens und der Menge des Schneefalls in demselben ab; daher erstrecken sich die Gletscher von Neu-Seeland und Patagonien bis in die Regionen der immergrünen Wälder hinab, welche freilich ihrerseits dort ungewöhnlich hoch hinauf reichen. Hat ein Gletscher ein kleines Sammelbecken, so kann dies durch die Aufnahme einer größeren Zahl von Zuströmungsgletschern ausgeglichen werden.

Das Querprofil eines Gletschers schwankt in seinen einzelnen Teilen. Im normalen Zustand ist die Oberfläche der Gletscherzunge gewölbt, weil die von den Wänden des Gebirgstales reflektierten Wärmestrahlen abschmelzend, daher erniedrigend, auf die seitlichen Teile wirken. Lagern aber auf diesen große Schuttmassen, so wird das Abschmelzen gehemmt, und der Gletscher bekommt im Gegenteil eine konkave Gestalt.

Die Dicke des Eises läßt sich bei großen Gletschern nur schätzen. Senkt man in ungewöhnlich tiefe Spalten ein Lot herab, so erhält man wenigstens ein Minimum der Mächtigkeit. In den Alpen hat man die Dicke des Firns zu 300 bis 500 m, diejenige des Gletschereises am oberen Ende zu 200 bis 300 m geschätzt. Von da nimmt sie ab, und am unteren Ende beträgt sie meist nur 15 bis 30 m. Sehr viel höhere Zahlen würde man im Himalaya und Karakorum erhalten.

b. Bewegungserscheinungen.

[§102] Die gesamte Eismasse des Gletschers bewegt sich allmählich in ihrem Bett hinab. Die Art der Bewegung hat manche Analogie mit der des Wassers in einem Strombett. Das Fortschreiten geschieht am langsamsten an den Seiten, am schnellsten in der Mitte, wie man an der Verschiebung einer Reihe von Stäben wahrnehmen kann, welche man in einer geraden Linie zwischen zwei festen, einander gegenüber liegenden Uferpunkten in das Eis einsenkt. Sie ordnen sich bald in eine Kurve, die sich mehr und mehr nach abwärts verlängert. Die Bewegung wird beschleunigt, wo das Strombett sich verengt, und verzögert sich an Stellen der Erweiterung. Wo dasselbe sich krümmt, ist der Ort der schnellsten Bewegung nicht mehr in der Mittellinie, sondern liegt bei jeder Biegung zwischen ihr und der konvexen Grenzlinie; zugleich zeigt sich an der konkaven Seite ein Schwellen des Eises. Ist der Gletscher gezwungen, eine in der Mitte aufragende Felsmasse beiderseits zu umgehen, so bäumt sich das Eis an der Stoßseite auf, während seine Oberfläche an der Leeseite vertieft ist und in der Sommerzeit einen See tragen kann. Ähnlich ist es, wo sich der Strömungsrichtung eine Felswand rechtwinklig entgegenstellt, und das Eis zu seitlicher Ausbiegung genötigt wird. Auch hier steigt es an der Stoßseite an, und dieser Erhebung entspricht, falls die Felswand einen Vorsprung begrenzt, jenseits eine Vertiefung. Vom Interesse wäre es, zu beobachten, ob die scharfe Ablenkung eine Bewegung verursacht, welche eine, wenn auch noch so unvollkommene Analogie mit den unter gleichen Umständen in fließendem

Wasser sich vollziehenden Wirbeln (s. Fig. 30 auf S. 147) darbietet; es würde sich daraus ein entsprechender mechanischer Effekt an Wänden und Sohle ableiten lassen, der sich in dem Ausdrehen eines gerundeten Beckens äußern müßte. Wie bei der Strömung des Wassers, ist auch die Bewegung des Eises der Gletscherzunge an der Oberfläche schneller als am Boden, aber es ist noch nicht möglich gewesen, die relativen Werte und die Gestalt der Kurve in irgend einem Fall festzusetzen.

Um die Bewegungen an der Oberfläche zu messen, müssen erst die Ufer des Eisstromes graphisch genau festgelegt sein. Bezeichnet man die im Eis befestigten Stäbe mit Nummern oder Farben und beobachtet sie von einzelnen entlang den Ufern gewählten Fixpunkten, so kann man das Vorrücken der ersteren in kürzeren oder längeren Perioden festsetzen. Sollen die Beobachtungen vollständig sein, so müssen sie zur Tages- und Nachtzeit und in verschiedenen Jahreszeiten wiederholt werden, da sich gezeigt hat, daß die Bewegung durch Wärme beschleunigt und derjenigen des Wassers ähnlicher wird. Sie ist im Allgemeinen zur Tageszeit stärker als zur Nachtzeit, im Sommer stärker als im Winter, am gleichmäßigsten im Herbst. Man will sogar ein nächtliches Rückströmen des Eises stellenweise beobachtet haben; doch bedarf dies weiterer Prüfung. Die periodischen Unterschiede erweisen sich im Allgemeinen um so geringer, je grösser und je steiler der Gletscher ist. Sie nehmen zu bei hoher Winterkälte, und sind deshalb, ebenso wie wahrscheinlich aus manchen anderen Gründen, in verschiedenen Jahren sehr verschieden. Zu beachten ist die Beziehung der Strömungsgeschwindigkeit zu dem Neigungswinkel an der Oberfläche. Sie wächst mit der Neigung, steht aber, wie es scheint, in weit geringerer Abhängigkeit zu ihr als bei dem Wasser. Horizontalität der Oberfläche hebt die Bewegung nicht auf. Von noch höherem Interesse wäre die Beziehung der letzteren zu der Neigung der Unterfläche, besonders wenn diese in der Längsrichtung eine konkave Gestalt hat. Doch kann man nur an verlassenem Gletscherbetten feststellen, ob eine Bewegung durch solche Hohlformen hindurch überhaupt stattgefunden hat; über ihr Maße und über die relative Mächtigkeit, welche das Eis in verschiedenen Teilen des Längsschnittes hatte, wird sich kaum Sicheres erreichen lassen. Wahrscheinlich ist es, daß die Neigung der Oberfläche sehr mächtiger Gletscher fast nur von dem Durchschnittsgefälle der Sohle beeinflusst wird, und daß sich deren Gefällewechsel in Teilstrecken um so mehr äußerlich zu erkennen gibt, je geringer im Verhältnis zu den Unebenheiten die Dicke des Eises ist.

Ein anderer Gegenstand der Messung ist die relative Geschwindigkeit der Bewegung in den einzelnen Längsabschnitten des Gletschers. Was die Gletscherzunge betrifft, so ist die größere Geschwindigkeit bald in den höher, bald in den tiefer gelegenen Strecken des Eisstromes gefunden worden. Es wird darauf ankommen, den Einfluß des Gefälles zu eliminieren, um diesen Faktor rein zu erhalten. Auch wird ein bestimmteres Resultat nur aus zahlreichen Vergleichen abgeleitet werden können. Über die Bewegungen im Firngebiet liegen wenige Beobachtungen vor. Es scheint daraus hervorzugehen, daß der Betrag der horizontalen Verschiebung nach abwärts gering ist. Hier scheint vielmehr ein vertikales Herabsinken nach Maßgabe des steten Ersatzes von oben und des Abfließens aus den tieferen Teilen vorzuwalten. Der Gesamtbetrag der täglichen horizontalen Bewegung ist bei den großen Alpengletschern zu 0.2 bis 0.8 m im Mittel gemessen worden. Den Jahresbetrag hat man zu 50 m bis 130 m, in Ausnahmefällen bis 300 m bestimmt. Im Himalaya wurde während des Sommers ein tägliches Vorschieben von 2 m bis 3.7 m wahrgenommen. Es ist berechnet worden, daß der niederfallende Schnee zur Zurücklegung seiner verschiedenen Metamorphosen in Firneis und Gletschereis, bis zu dem letzten Abschmelzen am unteren Ende, bei der Mehrzahl der Alpengletscher eines Zeitraumes von 60 bis 100 Jahren, bei einigen jedoch von 300 und selbst 400 Jahren bedarf.

Eine augenfällige, die Bewegung begleitende, in der äußerst geringen Dehnbarkeit des Eises beruhende Erscheinung besteht in der Bildung von Spalten. Sie haben verschiedene Richtung, je nach der Ursache, welche die ihnen zu Grunde liegende Spannung hervorrief. Als Wölbungsspalten oder Querspaltten kann man diejenigen bezeichnen, welche an Stellen schnellen Überganges zu steiler Neigung, d. h. an den Rändern der Querstufen des Talbodens (§ 93), entstehen und sich durch die Divergenz ihrer Wände nach oben auszeichnen. Sie entstehen fortdauernd neu an derselben Stelle, immer in der gleichen Weise. Übersteigt die Höhe einer steilen Stufe die Mächtigkeit des Gletschereises, so wird die Kontinuität unterbrochen; jedes einzelne senkrecht stehende Querblatt des sich zerspaltenden Gletschers stürzt der Reihe nach herab, um unten wieder zu einer kompakten Gletschermasse zusammengeschweißt zu werden. Eine andere Kategorie sind die Randspalten oder Zugspalten. Sie entstehen gewissermaßen durch ein Auseinanderziehen des Eises, welches gegen Zug ganz unnachgiebig ist und daher reißt, und sind eine unmittelbare Folge der fließenden Bewegung. Da nämlich vermöge des schnelleren Vorschreitens der Mitte jeder gradlinige Querschnitt sich in eine talabwärts gerichtete Zunge verwandelt, die Linie derselben sich mithin allmählich um ein Mehrfaches verlängert, so konvergieren die Linien des größten Zuges in derselben Richtung (talabwärts) mit einander und divergieren mit den Uferlinien. Es entstehen Spalten rechtwinklig zu den Zuglinien. Sie klaffen nahezu gleichmäßig von oben nach unten und konvergieren mit einander talaufwärts von beiden Seiten her unter Winkeln, deren Mittel ungefähr zu 90° angenommen werden kann. Eine dritte Art sind die Aufblätterungsspalten oder Längsspalten. Sie sind longitudinal gerichtet und entstehen dort, wo das Eis einen engen Raum verläßt und sich in einer Weitung seitlich ausbreitet. Das Gletscherende ist durch sie häufig in vertikal gestellte, radial angeordnete Blätter aufgelöst. Auch diese Spalten bilden sich stets wieder an derselben Stelle des Gletschers, was für die Zugspalten nicht in gleichem Maße gilt.

c. Physikalische Beschaffenheit des Gletschereises und Mechanismus der Bewegung.

[§103] Die Bewegungsart der Gletscherzunge erinnert an diejenige einer zähflüssigen Masse. Die physikalische Beschaffenheit des Gletschereises aber hat mit der der zähflüssigen Substanzen, wie flüssiger Leim, oder Pech, oder warmes Siegelack, nur insofern Analogie, als es sich gegen Druck plastisch verhält und knetbar ist; sie weicht von ihr ab, indem das Gletschereis sich durch die Einwirkung von Zug nicht ausziehen läßt, sondern sich spröde verhält und reißt oder bricht. Es ist, wie Heim zu zeigen sucht, vielmehr als eine dickflüssige, breiartige Masse zu bezeichnen, deren Wesen darin besteht, daß die innere Reibung grösser ist als die Kohäsion, während das umgekehrte Verhalten bei zähflüssigen Substanzen stattfindet. Eine solche Masse kann, der Gravitation allein folgend, in einem Tal von einem höheren nach einem tieferen Niveau hinabfließen und die meisten der Eigentümlichkeiten darbieten, welche sich bei dem abwärts strömenden Gletschereis wahrnehmen lassen. Sie wird ihr Bewegungsmoment auch auf ebenem Boden durch den Druck der rückwärtigen Massen beibehalten, wie das Wasser eines Stromes. Es wird die Aufgabe der Forschung sein, zu untersuchen, ob in der Tat das Gletschereis den Anforderungen einer dickflüssigen Masse vollkommen entspricht, und ob alle Eigentümlichkeiten der Bewegung durch die Eigenschaften einer solchen erklärt werden können, oder ob noch ein anderes Bewegungsmoment in den Vorgängen vorhanden ist, welche sich innerhalb der Gletschermasse wahrnehmen lassen. Einerseits leiten diese Vorgänge selbst darauf, ein solches mindestens als möglich anzunehmen; andererseits gibt es zwei, weiterer Beweise bedürftige Erscheinungen, welche auf die Mitwirkung anderer Kräfte neben der Gravitation hindeuten. Die

eine ist das Gleiten des Gletschers als Gesamtheit, auf welches Heim, als neben der strömenden Bewegung bestehend, die Aufmerksamkeit gerichtet hat. Da selbst Gebirgsgletscher sich zum Teil auf einem Boden von sehr geringer Neigung bewegen, so kann ein Gleiten der Gesamtmasse bei dickflüssigem Zustand durch die Schwere allein kaum erklärt werden. Die andere Erscheinung betrifft den Umstand, daß die verlassenen Betten großer Gletscher der Vorzeit kaum Zweifel lassen, daß das Eis sich in großem Maßstab bergauf bewegt und nach derselben Richtung bedeutende mechanische Arbeit ausgeführt hat.

Aufklärung hierüber ist vor Allem aus dem sorgfältigen Studium der inneren Struktur des Gletschereises. und der den Wandlungen derselben zu Grunde liegenden Vorgänge zu erwarten. Hierin scheint der Kernpunkt der Glazialmechanik zu liegen.

Das Gletscher-Eis ist ein von dem See-Eis in manchen Beziehungen verschiedenes Gebilde. Letzteres ist einheitlich kristallisiert, indem die Achsen sämtlicher stengelartiger Kristalle einander parallel sind Das Gletschereis hingegen besteht aus dicht aneinandergedrängten kristallinischen Körnern. Jedes Korn ist ein Krystallindividuum; die Kristallachsen aller einzelnen Körner aber sind, nach den Untersuchungen von Klocke, gerade wie beim Marmor, verschieden orientiert. In den Alpen haben die Körner an der unteren Firngrenze die Größe einer Haselnuß, im mittleren Teil des Gletschers diejenige einer Walnuß, im unteren diejenige eines Hühnereies. Der Durchmesser steigt in manchen Fällen auf 7 bis 8, selbst bis 10 cm. Da das Abschmelzen durch Wärme an den Begrenzungsflächen, den sogenannten Haarspalten, beginnt, so werden die Körner gelockert. Sie zeigen sich dann an dem unteren Gletscherende in einander verzackt, so daß man sie schwer trennen kann. Während See-Eis nur allmählich in Folge innerer molekularer Umformung gebogen werden kann, sind Tafeln von Gletschereis vermöge der Verschiebbarkeit der Körner biegsam, wie Itakolumit. Das Gletscherkorn wurde in seiner Bedeutung von Hugi erkannt, von Grad, Hagenbach, und besonders von Forel, weiterem Studium unterworfen. Es ist klar, daß das Korn auf dem Weg nach abwärts allmählich wächst, daher auch (durchschnittlich) in jeder Einheit. der Zeit, deren es zur Zurücklegung dieses Weges bedarf. Die Gesamtzunahme des Durchmessers ist bei Alpengletschern 1: 4, diejenige des Volumens 1: 64. Die jährliche Vergrößerung des Durchmessers berechnet Forel zu ungefähr 1.4 Prozent.

Die wichtigsten hieran sich knüpfenden Fragen dürften die folgenden sein:

1) Ist das Gletscherkorn das fortgewachsene Firnkorn, wie Hugi und Grad annahmen? oder sind, wie Heim für wahrscheinlicher hält, die Körner aus einheitlicher Firneismasse durch Druck und Quetschung herausgebrochen und verstellt? In diesem Fall sollten am Ursprung der Gletscherzunge die Achsenstellungen weniger voneinander abweichen als weiter hinab. Es ist in Betracht zu ziehen, daß nach einigen Beobachtungen die Orientierung der Achsen gegen das untere Gletscherende hin eine gleichmäßigere werden soll. Es wird wesentlich optischer Untersuchungen bedürfen, um das Verhältnis von Gletscherkorn und Firnkorn festzustellen.

2) In welcher Art wächst das Gletscherkorn? - Forel hatte angenommen, daß Schmelzwasser von 0° entlang den Haarspalten in den Gletscher eindringe und sich durch Kristallisation abkühle, indem es an die einzelnen Individuen anwachse und dieselben vergrößere. Es wurde dabei vorausgesetzt, daß die Temperatur im Inneren des Gletschers im Sommer, wenn das Wasser eindringt, nicht unter 0° herabgehe und sich in den tieferen Teilen so erhalte bis alles Wasser gefroren sei, was wahrscheinlich erst gegen Ende Januar erreicht werde, wenn an der Oberfläche längst eine kalte Temperatur eingetreten sei, die allmählich nach der Tiefe hinabgehe und sich dort noch forterhalte, wenn oben die Erwärmung auf 00 schon lange wieder begonnen habe. Die wirklichen Messungen der Temperatur im Inneren der Gletscher geben noch keinen Anhalt,

um von ihnen aus die Möglichkeit des Vorgangs zu prüfen. Forel nahm an, daß die Vergrößerung des Gletscher-kornes, indem sie allein durch neu hinzutretendes Wasser geschehe und eine Volumenvermehrung in der Tiefe auf Kosten der abschmelzenden Oberflächenteile bewirke, die Bewegung des Gletschers veranlasse; daher müsse dieselbe am größten in den oberen Strecken sein, wo alles Schmelzwasser auf die Vergrößerung der Körner verwendet und alle bei der Schmelzung verbrauchte Wärme in Arbeit umgesetzt werde; in den mittleren Strecken werde sie geringer sein, weil ein großer Teil des Wassers abfließe, in den unteren Strecken sei überschüssiges Schmelzwasser vorhanden, welches im Sommer die Eismasse verringere, im Winter aber noch zum Teil zum Anwachsen der Gletscherkörner verwendet werden könne. — Diese geistvoll ausgearbeitete Theorie ist in neuester Zeit von Forel selbst aufgegeben worden. Die Vergrößerung des Gletscherkornes wird von Hagebach durch Überkristallisieren von einem Korn in das andere, von Heim durch das Zusammenfrieren mehrerer gleich orientierter Individuen erklärt.

3) Hat mithin das Anwachsen des Gletscherkornes, welches der wichtigste innere Vorgang im Gletschereis zu sein scheint, eine aktive oder eine passive Rolle bei der Bewegung des Gletschers? wird es durch Druck und Bewegung allein ursprünglich hervorgebracht und weiter unterhalten, wie schon Forbes meinte und Heim annimmt? Stellt es nur die gegen einander verschiebbaren Teilchen der dickflüssigen Masse dar, welche dadurch einen großen Teil ihrer Plastizität erhält? oder haben die früheren Forel'schen Voraussetzungen nicht wenigstens eine partielle Berechtigung, und gestatten sie nicht, für das Gletscherkorn mindestens eine untergeordnete aktive Rolle bei dem Vor-schieben des Eises, d. h. bei dem Gleitungsprozeß, anzunehmen? Wenn, wie Forel selbst gezeigt hat, das Schmelzwasser in einer für das Experiment benutzten Platte nicht in die Haarspalten einzudringen vermochte, so kann dies anders sein, wenn die Körner durch Druck, Zug, Quetschung und Biegung gegen einander verschoben werden. Dazu kommt das fort-dauernde Freiwerden von Wasser in Folge dieser Bewegungen. Wenn auch dasselbe sofort wieder gefriert, so hat es doch bereits einen kleinen Weg nach abwärts vollbracht. Da dieser Vorgang sich durch die ganze in Bewegung befindliche Masse in unendlicher Vervielfältigung wiederholt, so muß eine fort-dauernde Volumenvermehrung tieferer Teile auf Kosten höherer eintreten. Ihr Betrag aber muß nach den größeren Tiefen wegen der langsameren Bewegung abnehmen. Es dürften also doch vielleicht innere Vorgänge, nicht ganz in dem früher von Forel angenommenen, aber immerhin in nahe verwandtem Sinn, bei der Gletscherbewegung mitwirken.

Es scheint, daß sich als Hauptmotor die Schwere ergibt, nach deren Gesetzen das Eis sich als ein Medium fortschiebt, welches in Folge seiner Zusammensetzung aus individualisierten Körnern, zumal unter hohem Druck, eine innere Verschiebbarkeit der Teilchen und hochgradige Umformungsfähigkeit besitzt. Dabei aber scheint eine innere, nach größeren Tiefen an Intensität abnehmende Volumenvermehrung, und zwar jedes tieferen auf Kosten jedes höheren Teilchens, stattzufinden und, ihren äußeren Ausdruck in dem Anwachsen des Gletscherkorns findend, bei der Fortbewegung, und zwar wesentlich bei dem Fortschieben oder Gleiten der gesamten Gletschermasse, mit wirksam zu sein.

Von anderen Besonderheiten des Gletschereises ist die Schichtung als allgemein verbreitet zu nennen. Sie ist stets deutlich im Firn, wo sie ersichtlich den Jahresniederschlägen entspricht. Je weiter talabwärts, desto undeutlicher wird sie. Ferner ist die Blaubänderstruktur zu beachten, ein Phänomen, welches zwar bei jedem Gletscher vorzukommen scheint, aber immer auf einzelne Stellen beschränkt bleibt. Es besteht in einer Anordnung des Eises in gestreckte dünne Lagen, welche abwechselnd aus blasenreichem, leicht schmelzbarem, weißlich gefärbtem Eis

und fast blasenfreiem, schwerer schmelzbarem, bläulichem Eis bestehen. Die Lamellen haben sehr verschiedene Stellung. In vielen Fällen stehen sie mit Sicherheit, in anderen mutmaßlich, senkrecht zu der stärksten Druckrichtung. Tyndall hat es wahrscheinlich gemacht, daß sie einer durch Druck hervorgebrachten transversalen Schieferung entsprechen. Die blauen Bänder beginnen in der Regel weiter abwärts, nachdem der Gletscher starke Kompression erlitten hat, und stellen sich oft von einer bestimmten Stelle aus ein. Ist auch die Ursache dieser Struktur noch nicht völlig aufgeklärt, so ist es doch wenig zweifelhaft, daß sie auf einer passiven, in Folge der Bewegungsvorgänge eintretenden inneren Umformung oder molekularen Verschiebung beruht.

Auf die auf die Arbeit der Gletscher bezüglichen Beobachtungen wird unter (§ 105 ff.) eingegangen werden.

3. Eisdecken und Gletscher der Polarländer.

[§104] Schon in Skandinavien finden sich andere Verhältnisse, als sie bei den Gebirgsgletschern der Alpen, des Himalaya, des Kaukasus, des Tiön-schan, der südlichsten Anden und der Südinsel von Neu-Seeland vorkommen. Gerade wie dort die auf moorigen Felsflächen entspringenden Flüsse bestimmt abgegrenzter Sammelbecken entbehren, so sind solche nicht für die einzelnen Gletscher individualisiert; sondern von einzelnen weit ausgedehnten und mächtigen, flach gewölbten Eisdecken, den Überresten der allgemeinen Vereisung des Landes, welche noch einigen Teilen der Hochfläche auflagern, gehen an den Bändern nach verschiedenen Seiten eine größere Zahl meist kleiner Gletscher aus, die sich in den Felstälern hinabziehen. Der gesamte Vorgang der Eisbewegung ist hier schwer zu studieren; aber sein Verständnis ist wichtig, weil es zu besserer Einsicht in das Wesen der Polargletscher führen würde. Dies gilt auch von den weiten Eisfeldern und zahlreichen Gletschern von Island, wo indes der gebirgige Charakter größere Individualisierung der Sammelbecken schafft. Hier sind die Gletscher seit der ersten Zeit ihres Entstehens einem oft wiederholten Conflict mit den vulkanischen Kräften unterworfen gewesen. Lavaströme brachen hindurch; Niederschläge von Asche bedeckten die Eisfelder und wurden von neuen Eisbildungen verhüllt. Sie sollten ebenso viele Grenzmarken für einzelne Epochen in der Geschichte der Gletscher geben; und wenn es gelingen könnte, sichere mineralogische Kennzeichen für einige geschichtlich bekannte, daher zeitlich zu fixirende Aschenfälle aufzufinden, und die Reste derselben in verschiedenen Teilen eines Gletschers nachzuweisen, so könnten sich daraus wichtige Anhaltspunkte zur Ableitung der Bewegungsvorgänge ergeben.

In den Polarländern, soweit sie bekannt sind, herrscht ein weit gebirgigerer Charakter, als auf den Hochflächen Skandiavians. Das Eis ist aber dort nur in einzelnen Gegenden, wie auf Spitzbergen, in den bis 3400 m aufragenden Gebirgen des nordöstlichen Grönland und, in kleinerem Maßstab, an den westlichen Küstenbergen von Grönland, auf die Täler beschränkt und bietet dann alle Erscheinungsformen der Gebirgsgletscher dar. Seine vorherrschende Verbreitungsform besteht darin, daß es weite Erdräume kontinuierlich bedeckt. Die mit bewundernswerter Energie ausgeführten Eisreisen in das Innere (Bessels unter 78° N, Nordenskiöld unter 68° N, Jensen unter 62 1/2° N) haben dieses Resultat in gleicher Weise ergeben. Die zusammenhängende Eisdecke von Grönland wird von Rink nach mäßiger Berechnung auf 830 000 qkm geschätzt. Hier insbesondere sind auch die Höhenzüge so weit von ihr überkleidet, daß nur einzelne Felskämme (Nunatak) frei bleiben. Nach den Forschungen von Nordenskiöld, der eine

Meereshöhe von 1800 m erreichte, scheint diese die Unebenheiten verhüllende Decke im südlichen Grönland die höchsten Teile zu überkleiden und sich allmählich gegen die Küsten zu senken. Der Neigungswinkel ist von Jensen (im Mittel einer 76 km langen Wegstrecke, die bis zur Höhe von 1570 m führte) zu 50 Minuten bestimmt worden. Die Abdachung scheint nicht ganz gleichmäßig zu sein und dadurch den Eindruck sehr flacher Wellen zu veranlassen. Im Einzelnen ist die Oberfläche in hohem Grad uneben und wird auf größere Strecken einer gefrorenen hohlgehenden See verglichen.

Das Problem der Ausdehnung der grönländischen Eisdecke kann noch nicht als gelöst betrachtet werden. Die Nordenskiöld'sche Voraussetzung eines im Wesentlichen eisfreien Zentralgebirges hat sich zwar durch seine eigenen kühnen Forschungen im südlichen Grönland nicht bewährt, ist aber für das mittlere und nördliche noch zu prüfen, da der dortige geringe Schneefall, verbunden mit der Erwärmung, welche die unter einem schiefen Winkel einfallenden Sonnenstrahlen an den ihnen zugewendeten Berggehängen hervorrufen müssen, es nicht unwahrscheinlich machen, daß, falls höhere Gebirge vorhanden sein sollten, ein jährliches schnelles Abschmelzen an ihnen und zugleich, in Folge der Refraktion, eine Abnahme des Eises in ihrer nächsten Umgebung stattfindet.

Die Nordenskiöld – Familie:

Nils Gustaf Nordenskiöld, 1792 – 1866, finnischer Mineraloge, Geologe – sein Sohn:

Adolf Erik Nordenskiöld: 1832 – 1901; Polarforscher, Kartograph, Durchquerung der Nord-Ost Passage.

Otto Nordenskiöld, 1869 – 1928, schwedischer Geologe und Polarforscher, später Professor in Göteborg. (Neffe von A.N)

Es ist ferner die Ausbreitung der Eisdecke gegen die Küsten, vor Allem das periodische Vor- und Rückschreiten der Grenze derselben an denjenigen Stellen, von welchen Aufzeichnungen vorliegen, oder wo die natürlichen Verhältnisse sichere Schlüsse gestatten, zu beachten. Die eisfreien Küstenstriche sollten daher bei polaren Reisen, wie es schon zum Teil durch verdienstvolle Forscher geschehen ist, mit großer Genauigkeit auf Karten niedergelegt werden, um den Nachfolgern einen Anhalt zu Beobachtungen über stattgehabte Veränderungen zu geben.

Soweit sich die Verhältnisse überblicken lassen, entspricht das allmähliche Ansteigen der Oberfläche gegen das Innere einem im Mittel ebenfalls allmählichen Ansteigen des Bodens von der gebirgigen und felsigen Westküste nach einem hohen Rückgratgebirge im Inneren, welches ehemals die Wasserscheide von Flüssen bildete. Aber der Ebenmäßigkeit der Oberfläche steht offenbar eine große Unebenheit der Unterlage gegenüber, welche eine Anzahl wohl ausgebildeter, verzweigter, in das Gebirgsgerüst eingesenkter Talsysteme darzustellen scheint. Darauf weisen die deutlich ausgesprochenen Talenden an der Westküste, ihre gebirgigen Querscheiden daselbst und das Aufragen der Nunatakr. Die Unterschiede der Dicke des Eises und des ihr entsprechenden vertikalen Eisdruckes am Boden können daher an nahen benachbarten Stellen den Betrag von 1000 m erreichen und überschreiten. Dies muß auf die Verteilung und den Modus der Bewegung von größtem Einfluß sein.

Ein solcher Einfluß gibt sich entlang der ganzen westlichen Eisgrenze deutlich zu erkennen. Sie ist fast unbeweglich auf den die Täler scheidenden Höhen, oder ändert sich doch dort nur im Verlauf längerer Zeiträume. Das Vorschieben des Eises kann daher dorthin nur in demselben Maßstab geschehen, in welchem die Ablation der Eiskante durch Abschmelzen sich vollzieht. Dazwischen liegen die Täler, deren untere Enden tiefe Fjorde sind. Hier münden die Eisströme, und zwar liegt die Sohle, auf der sie sich fortschieben, in einer erheblichen, aber nicht bestimm- baren Tiefe unter dem Meeresniveau. Die Geschwindigkeit dieser Eisströme erreicht den erstaunlichen Betrag von 3 bis 22 Meter in 24 Stunden, scheint also, wenn man sie mit den Gebirgsgletschern, denen auch die kleinen selbständigen Gletscher der von der Eisdecke

freigelassenen Gebirge der Westküste entsprechen, vergleicht, in direktem Verhältnis zu der Länge und Verzweigung der in das Gebirgsgerüst eingesenkten Täler und zu der Mächtigkeit des Eises zu stehen, während der Einfluß der Neigung des Strombettes als verschwindend zurücktritt. Der Gesamtbetrag des Eises, welches diese Eisströme der Westküste in einer Zahl von mehr als 100, dem Meer in Gestalt von Eisbergen überliefern, wird zu mehr als 100 Kubikkilometer geschätzt. [*1]

*) Dieser große Betrag liegt vollkommen innerhalb des Bereiches der Wahrscheinlichkeit. Rechnet man nur die Hälfte der Eisdecke von Grönland mit 450 000 km² für die Westküste, so liefert jeder Quadratmeter derselben eine Eismenge von 200 kg (indem die obigen 100 km³ bei einem Gewicht von 900 kg für 1 m³ ein Gesamtgewicht von 90 000 000 000 000 Eis darstellen.) Nimmt man aus den für einige Orte an der Westküste erhaltenen Werten ein durchschnittliches Jahresmittel der Niederschläge von nur 400 mm (was wahrscheinlich zu niedrig ist) für den betreffenden Teil von Grönland an, so ist das gleichwertig mit einem Wassergewicht von 400 kg auf 1 m². Es würde nach dieser Berechnung für wäßrigen Abfluß und Verdunstung noch ein ebenso großer Betrag bleiben als durch die Eisströme geliefert wird.

Es bieten sich vor Allem zwei Probleme dar. Das eine betrifft die jährliche Zufuhr von Niederschlägen aus der Atmosphäre und die Verwandlung eines Teiles derselben in Gletschereis, das zweite die Art und Verteilung der Bewegung des Eises. Was das erstere betrifft, so sind die Niederschläge in polaren Gegenden im Allgemeinen wegen des geringen absoluten Feuchtigkeitsgehaltes der kalten Luft nicht bedeutend und nehmen von dem südlichen Grönland und den nordöstlich davon gelegenen Eismeerinseln gegen das nördliche Grönland und das arktische Amerika hin ab. Sie bestehen fast ausschließlich aus Schnee. Während des langen Sommertages ist die Gesamtwirkung der Sonne beträchtlich. Daher schmilzt der Schnee in Regionen, welche eine erheblich unter 0° herabgehende Jahrestemperatur haben, besonders an Gehängen, welche die Sonnenstrahlen unter steilerem Winkel erhalten. Das Schmelzen von Schnee und Eis wird durch die geringe Wärmekapazität fast mikroskopischer Algen und feiner mineralischer Staubteilchen vermehrt, welche durch die Atmosphäre über die Oberfläche ausgestreut werden. Außerdem wird in einzelnen Gegenden, wie im westlichen Grönland, selbst im Winter ein Abschmelzen durch Föhnwinde bewerkstelligt. Die Grenze des ewigen Schnees weicht daher in polaren Gegenden nach den Höhen zurück und erreicht, so weit die Beobachtungen sich erstrecken, nirgends das Meeresniveau. Auf geneigtem Boden ist Phanerogamenvegetation an Stellen beobachtet worden, wo die Temperatur des Jahresmittels auf — 8.5° C. geschätzt wird. Mit der Schneegrenze zieht die Region der Firnbildung nach größeren Höhen. Sie ist von der hochnordischen Expedition von Hayes erreicht worden. Die anderen bewegten sich auf Eis, welches entweder frei lag, oder mit Wasser oder neuem Schnee bedeckt war. Es ist aber die Möglichkeit vorhanden, daß trotz mangelnder Firnbildung ein Teil der Niederschläge in Gletschereis verwandelt wird. Denn auch in den höher gelegenen Regionen sind die der ersten Firnbildung zu Grunde liegenden Vorgänge während des größten Teils des Jahres nicht vorhanden.

Das zweite Problem, welches die Bewegung des Inlandeises betrifft, wird wahrscheinlich zum Teil nur einer theoretischen Lösung fähig sein. Man wird zwischen derjenigen an der Oberfläche und derjenigen in der Tiefe zu unterscheiden haben. Die erstere würde sich direkt beobachten lassen, wenn man eine hinreichende Anzahl fester Punkte finden könnte. Es lassen sich jedoch nur die weit zerstreuten Nunatakr dazu verwenden. An einigen von diesen ist eine Eisbewegung wahrgenommen worden. Sie verhalten sich wie die vom Eis der Gebirgsgletscher umströmten isoliert aufragenden Felsen, indem das Eis auf der Stoßseite ansteigt, auf der Leeseite eine Vertiefung der Oberfläche zeigt. Oberflächenmoränen gehen von ihnen aus, erstrecken sich aber

meist nicht weit. Auch ist an der Stoßseite Schutt in großen Massen angehäuft. Es wäre von Interesse, festzusetzen, ob derselbe von den daneben anstehenden Felsen stammt, oder davon verschieden ist. In letzterem Fall würde er als eine aufwärts geschobene Grundmoräne zu betrachten sein. Ein anderes Kennzeichen der Bewegung an der Oberfläche sind die Spalten, welche oft eine große Länge erreichen.

Die Art der Bewegung in der Tiefe entzieht sich der Beobachtung. Anhaltspunkte für ihre Beurteilung ergeben sich aus dem Verhältnis der Geschwindigkeit der Eisströme in den Tälern und des relativ ruhenden Eises auf den trennenden Höhen, sowie aus dem Umstand, daß unter dem Eis das Wasser auch im Winter beständig fließt. Wenn, wie bei den Gebirgsgletscherzungen, die Bewegung in dem Herabströmen einer plastischen Masse auf geneigtem Untergrund bestände, so könnte sie in allen Teilen nur äußerst langsam stattfinden, und sie würde entlang der ganzen Eiskante nur geringe Unterschiede darbieten können; denn wenn man von den Ursprungsgebieten Linien größten mittleren Gefälles nach der Eisgrenze hinabzieht, und wenn man in der Richtung dieser Linien die Schwerpunkte der höheren Teile mit denen der entsprechenden unteren Teile verbindet, so werden sich äußerst geringe Winkelunterschiede ergeben. Immerhin dürfte die erweisbare Gesamtbewegung des Eises von den höheren Teilen gegen die äußeren Grenzen dem Abwärtsströmen einer plastischen Masse nach den Gesetzen der Gravitation entsprechen, hinsichtlich des Maßes der Bewegung aber mancher örtliche Unterschied obwalten. Anders verhalten sich die mit schneller Bewegung begabten Eisströme der Rinnen. Es liegt nahe, sich hier der Experimente von Spring zu erinnern, welche beweisen, daß Substanzen von äußerst geringer Plastizität unter hohem Druck durch eine Öffnung in Gestalt eines Stromes ausgepreßt werden können. Da nun das Eis der tiefen Teile in Folge der hochgradigen Belastung, der Schmelzung durch Druck und durch innere Reibung, welche nach einmal eingetretener Bewegung konstant erhalten wird, einen bedeutenden Grad von Plastizität erreichen muß, so kann es in den tieferen Kanälen in Gestalt von Eisströmen herausgepreßt werden. Es ist dabei auch noch zu berücksichtigen, daß bei großer Mächtigkeit des Eises die Isotherme von 0° in den Eiskörper hinaufrücken kann. Sind diese theoretischen Folgerungen richtig, so muß die Kraft und die Geschwindigkeit der Strömung mit der Mächtigkeit des Binneneises zunehmen und würde, wenn diese um 500 m vermehrt wäre, einen sehr großen Betrag erreichen. Die Eisströme würden, wenn sie auf eine schief ansteigende Festlandsebene mündeten, mit großer Gewalt auf dieser aufwärts getrieben werden und sich vermöge ihrer Plastizität seitlich ausbreiten und verbinden, um als einheitliche Gletschertafel den Weg nach aufwärts fortzusetzen. So liegt in der Beobachtung der Eisbewegung im westlichen Grönland die wahrscheinliche Lösung der schwierigsten mechanischen Probleme, welche mit der großen Vergletscherung der Eiszeit verbunden sind.

Die Oberflächenteile des Inlandeises scheinen somit, trotz ihrer physikalischen Verschiedenheit von Firneis, doch mechanisch die Rolle des letzteren auszuüben. Die Beobachtungen über die Struktur des Eises erlangen dadurch eine hohe Bedeutung, vor Allem diejenigen über das Gletscherkorn. Es ist bekannt, daß es in den arktischen Eisströmen eine ungewöhnliche Größe erreicht. Die Struktur des Eises in verschiedenen anderen Teilen sollte damit verglichen werden.

4. Kennzeichen früherer Vergletscherung.

a. Mechanische Arbeit der bestehenden Gletscher.

[§105] Die Gletscher sind vermöge des ihnen innewohnenden Bewegungsmomentes mechanische Werkstätten. Daher ist ihre vormalige Anwesenheit an den zurückgelassenen Spuren der verrichteten Arbeit zu erkennen. Da der Betrag dieser Arbeit erst an den verlassenen Werkstätten vollkommen erkannt werden kann, so soll dieser Gegenstand erst später (§ 107—112) behandelt werden. Es genüge hier ein flüchtiger Hinweis auf die Arten der Arbeit, welche man an den gegenwärtigen Gletschern wahrnimmt. Sie sind

1) der Transport von eckigem, durch Spaltenfrost losgelöstem Gesteinsschutt auf ihrem Rücken, und Ablagerung desselben am unteren Gletscherende;

2) die Fortbewegung von abgestoßenen, zum Teil unvollkommen gerundeten und geschrammten Gesteinsfragmenten von der verschiedensten Größe, bis zu feinerdigen Trümmern herab, auf dem Boden des Gletschers bis zu seinem unteren Ende;

3) die Fortführung von Gesteinsmehl durch den unter dem Eis hervorströmenden Wildbach, dessen Wasser dadurch weißlich gefärbt wird. Das Material von 1 bildet die Oberflächenmoränen, dasjenige von 2 einen Teil der Grundmoräne; das von 3 wird der Grundmoräne entnommen und ist offenbar durch Zermahlen und Zerreiben von festem Gestein entstanden. Das gesamte Material, soweit es nicht sogleich von strömendem Wasser fortgeführt wird, häuft sich, wenn das Gletscherende durch längere Zeit an derselben Stelle verweilt, zur Endmoräne auf. Zieht der Gletscher sich zurück, so bleibt die Endmoräne liegen, und es wird hinter ihr ein Teil der Grundmoräne freigelegt; schreitet er vor, so stößt er die erstere teilweise vor sich her, zieht aber, besonders wo die Möglichkeit zu seitlicher Ausbreitung seine Stoßkraft lähmt, allmählich über sie hinweg, breitet und glättet sie aus und verwandelt sie in Grundmoräne, die nun wiederum am Boden langsam nach vorwärts wandern kann. Außerdem bemerkt man, wenn der Gletscher sich zurückzieht, die Seitenwände senkrecht oder steil gestaltet, selbst horizontal ausgehöhlt, der vorspringenden Ecken und Kanten entkleidet, geglättet und geschrammt. Ähnlich verhält es sich am Boden.

Bei Polareis sieht man die Oberflächenmoränen häufig durch vereinzelte Gesteinsstücke, besonders in der Nähe von Felswänden, selten durch langgezogene Halden, vertreten; am unteren Ende zeigen sich einzelne Fragmente von Gestein mitten im Eis. Die Grundmoräne ist selten beobachtet worden; aber das am Boden der Eisströme fließende und an ihren Enden in den Fjorden nach oben dringende Wasser ist milchig gefärbt. Wo das Eis sich zurückgezogen hat, wie an mehreren Stellen der Westküste von Grönland, erkennt man an der Oberfläche des Felsbodens glatt geschliffene und geschrammte Bundhöcker (roches moutonnies), auf welchen fremdartige Gesteinsblöcke lagern.

b. Frühere Vergletscherung.

Diese Merkmale haben bekanntlich dazu geführt, die ehemalige weite Verbreitung von Gletschern nachzuweisen. Grundmoräne, Endmoräne, geschliffene und geschrammte Felsen, erratische Blöcke und Rundhöcker sind sichere Kennzeichen ihrer früheren Anwesenheit.

Der Nachweis einer Vergletscherung in der Vorzeit ist schon über bedeutende Landstriche mit Sicherheit geführt worden. Doch bedürfen bei dem jetzigen Stand der Kenntnis viele der älteren Angaben einer sorgfältigen Revision, sowohl was die angebliche Anwesenheit, als was die Abwesenheit von Gletscherspuren betrifft. Erstere ist z. B. in Hinsicht auf Klein-Asien und den Sinai zu prüfen. Schuttbildungen aller Art, Lateritanhäufungen mit festen Gesteinsfragmenten und andere Ge-bilde sind als Moränenschutt erklärt worden. Es ist daher die positive Angabe von Gletscherspuren durch sichere Nachweise zu belegen. Weniger schädlich ist der entgegengesetzte Irrtum, daß ein Gebiet als frei von Gletscherspuren erklärt wurde, wo man sie später findet. Insbesondere sind die negativen Zeugnisse für die Balkanhalbinsel, den Altai und überhaupt das ganze nördliche und östliche Asien zu prüfen. Die jetzigen sporadischen Gletscher in Tien-schan, Altai und Sayan'schen Gebirge machen es wahrscheinlich, daß dort die Verbreitung eine größere gewesen ist. Auch weiter nordöstlich dürften noch Spuren der Vereisung in den Gebirgen nachzuweisen sein.

Erst seit kurzer Zeit ist die Bedeutung der Grundmoräne unter den Merkmalen ehemaliger Vergletscherung vollkommen erkannt worden. Vor anderen Gesteinsanhäufungen zeichnet sie sich dadurch aus, daß die Fragmente nicht nur, wie bei den Endmoränen, die verschiedenste Größe haben, sondern sich auch in sehr verschiedenem Grad der Abnutzung und Abrundung befinden, einige von ihnen mit scharf eingeritzten Linien und Furchen versehen sind, und das Ganze ein wirres und ungeschichtetes Haufwerk bildet, in dessen Anordnung die Größe und Gestalt der Gesteinsstücke gar keine Rolle spielt. Das fein zermalmte Gestein, welches, mit gröberem Trümmern gemengt, die Zwischenräume zwischen den Gesteinsstücken ausfüllt, fühlt sich rau an, hat aber oft eine lettige Beschaffenheit angenommen, welche durch begonnene Zersetzung erhöht wird. Die Grundmoräne bildet daher einen für Wasser schwer durchlässigen Boden. Wo sie in großer Masse angehäuft ist, hat sie eine regellose Oberfläche, deren Vertiefungen oft mit Seen erfüllt sind oder wiesenbedeckten Seeboden enthalten. Die Zersetzbarkeit des Gesteins schafft fruchtbares Erdreich.

Die Grundmoräne nimmt zuweilen Schichtung auf eine Strecke an, oder es kommen Wechsel von geschichteten Ablagerungen und ungeschichteter Grundmoräne vor. Sie sind besonders im norddeutschen Schwemmland nachgewiesen worden. Die Entstehungsgeschichte ist von Fall zu Fall zu untersuchen.

Wo immer Schichtung vorhanden ist, rührt sie von Ablagerung aus Wasser her; dasselbe kann stehend oder fließend gewesen sein. Die Abschmelzung beim Rückzug und das erneute Vordringen des Gletschers konnten eine große Mannigfaltigkeit der Erscheinungen hervorrufen. Für die Feststellung solcher Episoden ist jeder Fund von organischen Resten in den Schicht-gebilden von besonderem Wert.

Endmoränen stellen sich ebenfalls als ungeschichtete Trümmersmassen dar. Da sie Ruhepausen im Rückzug eines Gletschers bezeichnen, bewahren sie die bogenförmige Randgestalt des Zungenendes desselben, am vollkommensten wenn sie im offenen Land gelegen sind, wo der Gletscher sich ausbreiten konnte; in engen Tälern bilden sie einen einfachen Wall. Häufig lagert die Endmoräne auf der Grundmoräne. Auch die Seitenmoränen haben bei dem Rückzug von Gebirgsgletschern ihre Spuren zurückgelassen, oft in Gestalt von Blöcken, welche an den Gehängen des Felsbettes liegen geblieben sind. Entstand der Gletscher aus der Vereinigung mehrerer Eisströme, so finden sich Blöcke, die aus einem linksseitigen Tal kommen, am linken Rand, und umgekehrt. — Reste von Schuttkegeln der Wildbäche werden zuweilen mit Endmoränen verwechselt. Man sollte daher in der Einzeichnung der letzteren vorsichtig sein.

Wo immer Gletscherschutt angehäuft ist, sind die größeren Gesteinsstücke von petrographischem Gesichtspunkt zu untersuchen. Da sie stets aus anderen Gegenden herkommen, werden sie leicht als Fremdlinge (erratische Blöcke oder Wanderblöcke) erkannt. In den meisten Fällen ist es schwer, ihren Ursprungsort festzusetzen. Zuweilen findet man einzelne Stücke, welche nachweisbar von einem in der Nähe gelegenen Ort stammen. Sie sind von Interesse, indem sie die Richtung der Bewegung des Gletschers anzeigen.

Polierte und geschrammte Felswände können ein sehr sicheres Merkmal der ehemaligen Anwesenheit von Gletschern sein. Sie sind oft glatt wie Spiegel und mit großer Schärfe von den eingeritzten Schrammen durchzogen. Es wird jedoch in Wüstengegenden eine ähnliche Wirkung durch die äolische Sandtrift (§ 194) verursacht. — In noch höherem Grad als die Wände eines Gletschertales ist der felsige Boden geschrammt. Dies ist selbst dort der Fall, wo das Eis über weit ausgedehnte Felsflächen geschoben worden ist. Man sollte die Richtung der Furchen mit dem Compass bestimmen und dies häufig wiederholen, um die vorherrschende Richtung sicher zu stellen. Denn nicht selten kreuzen sich Schrammen von verschiedenen Richtungen, die wahrscheinlich von der Ablenkung der Bewegung am Grund oder an den Seiten des sich stetig in gleichem Sinn fortschiebenden Gletschers in Folge eines Hindernisses herrühren und nicht, wie es geschehen ist, auf zwei abweichende Bewegungen der ganzen Gletschermasse in weit von einander entfernten Perioden zurückzuführen sind.

Man hat in verschiedenen, zum Teil sehr alten Formationen (selbst der kambrischen) als unterstes Glied grobe Konglomerate gefunden, in denen zuweilen Blöcke von bedeutender Dimension und einem am Ort selbst nicht anstehenden Gestein eingestreut liegen, und dieselben durch Gletscherwirkung zu erklären gesucht. Dies wurde um so eher angenommen, als in einem Fall die feste Gesteinsunterlage geschrammt war. Wir werden sehen (§ 165), daß man in solchen Fällen die Prüfung auf Abrasionserscheinungen anzustellen hat.

c. Landschaftliche Formen vergletschert gewesener Gebiete.

[§106] Wo die angegebenen Einzelkennzeichen früherer Vergletscherung vorhanden sind, erhält die Landschaft im Großen und Ganzen ein besonderes Gepräge. Vergleicht man sie mit Gegenden von ähnlichem Bau, in denen eine Vergletscherung nicht stattgefunden hat, so gelangt man zu der Erkenntnis, daß die Formen eine Folge der mechanischen Umgestaltung durch das Gletschereis sind, indem sie im Großen denen entsprechen, welche das letztere im Kleinen hervorbringt. Diese Formen sind verschieden in den Gebirgen und außerhalb derselben.

Gebirgstäler, in deren Boden Gletscher ihren Lauf genommen haben, besitzen im Allgemeinen eine im Querschnitt trogförmige Gestalt, indem die Seitenwände in den mittleren Höhen steil einfallen, sich nach unten gegen einander krümmen und in einem flachen Boden vereinigen. Und zwar sind solche Täler, wenn sie in hartem Gestein eingesenkt sind, Felströge, deren Wände und Boden zum Teil glatt geschliffen sind. Ist Streifung vorhanden, so ist sie in der Regel talabwärts gerichtet. Der Boden ist in Weitungen häufig mit Rundhöckern besetzt. Meist fehlt tiefgreifende Zersetzung; Gebirgsschutt und neuere Bodenbildungen ruhen auf der glatten Felsunterlage. Wo ein solcher Trog von einem erodierenden Fluß durchströmt wird, hat dieser in dem flachen Boden eine Furche von der gewöhnlichen Gestalt eines V eingeschnitten und erhält von den Wänden des Troges Zuflüsse, welche in Binnen von derselben Form herabkommen. Vergleicht man den Verlauf und die Gestalt der ehemaligen Gletschertäler mit solchen, welche durch fließendes Wasser allein geschaffen wurden, so erkennt man, daß die Eisströme

präexistierenden Tälern gefolgt sind, und es drängt sich die Überzeugung auf, daß sie dieselben seitlich erweitert und ihren Boden abgeflacht haben.

Es gibt ausgedehnte Regionen von hügeliger, welliger oder ebenmäßiger Oberfläche, in denen das feste Gestein unmittelbar ansteht. Waren sie von Gletschereis bedeckt, so erscheinen sie in weitem Umfang wie abgeschliffen. Charakteristisch ist die Abwesenheit tiefen Zersetzungsbodens. Die Gesteinsfläche kann streckenweise mit fremdartigem lockerem Material bedeckt sein und dort Wälder tragen; aber das gewachsene Gestein steht mit glatter, chemisch meist wenig an-gegriffener Fläche darunter an. Dies ist das Merkmal für viele Landschaften in Finnland und Skandinavien, an der Westküste von Grönland, in Labrador und großen Teilen des arktischen und gemäßigten Amerika, bis hinab in die Breiten, wo die Spuren ehemaliger Vergletscherung überhaupt ihr Ende erreichen. Dies sind die Flachböden der glazialen Denudation.

Die Bodenformen in solchen Ländern bedürfen noch eines genaueren Studiums. Häufig sind Rundhöcker auszeichnend für sie. Da die Stoßseite dieser Formgebilde sich durch eine schief ansteigende geglättete Wölbungsfläche auszeichnet, die abgewandte Seite aber die Merkmale der Gesteinszerbröckelung zeigt, so läßt sich an ihnen die Richtung der Eisbewegung erkennen. Die eingerissenen Schrammen vervollständigen die Beobachtung. Ist das Gestein von Schutt bedeckt, so helfen Abräumungsarbeiten, besonders in Steinbrüchen, die Oberfläche zu untersuchen und die Schrammen, wo sie existieren, zu finden. In hohen Breiten (z. B. im nördlichen Ural, wo der sichere Nachweis der Vergletscherung vorher nicht gelungen war) ist es zuweilen hinreichend gewesen, das Moospolster von dem Gestein zu entfernen, um die Glazialfurchung zu entdecken.

Eine andere Art von Landschaften, die den Gletschern ihr Dasein verdanken, sind die Gebiete des Glazialschuttes. Vor Allem liefert die Grundmoräne die Bestandteile dazu, in geringerem Maße betheiligen sich die Erdmoränen. Im Gegensatz zu den bisher betrachteten Gegenden der Denudation sind dies die Gebiete glazialer Ablagerung. Sie decken sich aber häufig mit den ersteren, indem Glazialschutt weithin das denudierte Gestein ganz oder teilweise verhüllt. Man erkennt diesen von Gletschern transportierten Schutt an den schon genannten Eigenschaften der Lagerung und an der Fremdartigkeit der Gesteine. Seine Ablagerungen greifen oft weit über die Regionen hinaus, wo festes Gestein ansteht, und breiten sich über Schwemmland oder Zersetzungsboden aus. Sie schaffen dann eine neue und eigentümliche landschaftliche Oberfläche über der alten. Dieselbe ist regellos in ihren Formen, aber zuweilen von der Erdmoräne in regelmäßigen Kurven gegen die moränenfreie Gegend abgegrenzt. Der tonige, das Wasser schwer durchlassende Boden befördert die Waldbedeckung und die Bildung von Seen, Mooren und Sümpfen.

Als ein charakteristisches Merkmal der Glazialgebiete sind die Glazialschotter erkannt worden, welche sich dort ausbreiten, wo fließendes Wasser in der Glazialzeit selbst die Bestandteile der Grundmoräne hinwegführen und ablagern konnte. In Gebirgstälern können sie mehrere Hundert Fuß Mächtigkeit erreichen, außerhalb des Gebirges durch weite Verbreitung in Folge häufiger Änderungen der Wasserläufe ausgedehnten Gebieten ihren Charakter geben.

Bei Beobachtungen über diese Gegenstände muß man, um das Einzelne erklären und dem Ganzen richtig einreihen zu können, die Aufeinanderfolge der Ereignisse bei dem Beginn und weiteren Verlauf der Eiszeit, soweit sie sich aus den zu Grunde liegenden klimatischen Vorgängen von selbst ergeben, klar im Auge behalten. Die Gletscherbildung nahm überall ihren Ausgang in den Gebirgen. Vorher hatten an denselben Stellen Gletscher nicht, oder nur in geringem Umfang bestanden. Die Gebirge waren in Verwitterungsboden und Bergschutt gehüllt, die Talböden mit

den Erosionsprodukten der Flüsse bedeckt. Die allmählich an Mächtigkeit und an Länge wachsenden Gletscher fanden daher eine so große Masse von losem und leicht fortzuschaffendem Material vor, daß man dasselbe in jedem einzelnen Fall als der Abtragung des gesamten Gebirges um mindestens mehrere Meter äquivalent erachten darf. Außerdem aber gewährte das Klima, welches zur Entstehung großer Gletscher Veranlassung gab, in den Gebirgen die Bedingungen zu intensiver Wirkung des Spaltenfrostes und somit zur weiteren Vermehrung des Schuttes, während es sich andererseits in weit allgemeinerer Weise durch Vermehrung der Niederschläge manifestierte. Es wirkten daher eine Anzahl Faktoren für erhöhte Geröllführung der Gebirgsflüsse zusammen. Mächtige Aufschüttungen in den Flußtälern, sowohl innerhalb wie außerhalb ihres Gebirgslaufes, konnten dem vordringenden Gletscher vorangehen, indem nicht nur die Abspülung der Gehänge und die Tätigkeit der fließenden Gewässer gesteigert waren, sondern auch insbesondere die ungeheuren Massen des am Boden des Eises befindlichen, zur Grundmoräne sich umgestaltenden lockeren Materials durch die Gletscherbäche zum Teil talabwärts geführt wurden. Der Gletscher mußte, dann später selbst über die Geröllmassen seinen Lauf nehmen und konnte sie entweder mit Grundmoräne bedecken, oder sich selbst in sie einschneiden. Der Rückzug des Eises war offenbar die Folge eines noch während des Vordringens eingetretenen trockeneren Klimas. Das Abschmelzen aber mußte eine Vermehrung der Wassermasse der Ströme während der sommerlichen Jahreszeit zur Folge haben, so daß nun ein tiefes Einschneiden der Gewässer in die Ablagerungen von Schotter und Schutt aller Art stattfinden konnte. Es bildeten sich dadurch seitliche Schotterterrassen in den Flußtälern (§ 93) bis in weite Entfernung von den Gletscherenden hin.

Dies sind naturgemäß die Hauptphasen des Vorganges. Wenn man sich dieselben vergegenwärtigt, wird man die Modifikationen im Einzelfall leichter verfolgen können. Von besonderem Interesse, wenn auch nur von geübten Kräften anzustellen, sind Beobachtungen über wiederholtes Vorrücken der Gletscher. In diesen Beziehungen können die scharfsinnigen Argumente, welche Penck (die Vergletscherung der deutschen Alpen, Leipzig 1882) teils aus den Mitteilungen anderer Beobachter zusammengestellt, teils auf sorgfältige eigene Untersuchungen über die Wechselverhältnisse von Grundmoräne, Erdmoräne und verschiedenartigen Glazialschottern gegründet hat, als Anhalt dienen. Funde organischer Reste in Zwischenschichten der Glazialschotter sind dabei von Wichtigkeit, weil sie über die klimatischen Verhältnisse der Interglazialzeiten Aufschluß geben können. Auf die Beobachtung derjenigen Fälle, wo Moränenschutt und Schwemmland durch ihre Wechsellagerung einen Wechsel klimatischer Zustände und der damit verbundenen Vergletscherungsverhältnisse andeuten, wie im norddeutschen Flachland, ist bereits hingewiesen worden.

Zu den hervortretendsten Eigentümlichkeiten aller Regionen, welche ehemals mit Gletschereis bedeckt gewesen sind, gehört der Reichtum an Seebecken, sowohl solcher welche noch heute mit Wasser gefüllt sind, als solcher in denen das letztere durch Ablagerungen verdrängt worden ist. Sie zeichnen ebenso die Denudationstäler in Gebirgen wie die großen felsigen Denudationsflachböden (Finnland) aus, ebenso die Anhäufungen von Moränenschutt, wie die Ablagerungen von Glazialschotter. Man findet sie von hohen Gebirgspässen herab bis in die Niederungen. Große Becken sind besonders auszeichnend für die unteren Gebirgstäler und die dem Gebirgsfuß sich zunächst anschließende Flachlandzone. Je mehr die Untersuchung fortschreitet, desto mehr zeigt es sich, wie unzureichend die Annahme einer gleichartigen Entstehungsursache ist, wie vielmehr durch die in und nach der Glazialzeit tätigen Agentien verschiedenartige Bedingungen geschaffen wurden, welche zur Seebildung und zur Konservierung von Seebecken Anlaß zu geben vermochten. Es wird daher in wachsendem Maße erforderlich, jeden See einzeln für sich einer genauen Erforschung zu unterwerfen. Das Becken sollte in seiner Gestalt, die Umrandung

auch noch in ihrer Zusammensetzung untersucht werden. Bei Seen, die in festes Gestein eingesenkt sind, ist insbesondere festzustellen, ob auch der Ausfluß in festem Gestein oder in aufgeschüttetem Material liegt. Auf diesen Gegenstand, ebenso wie auf die ebenfalls mit dem Glazialphänomen örtlich eng zusammenhängende Fjordbildung, soll in späteren Abschnitten (§§ 112, 113, 115 ff., 139) ausführlicher eingegangen werden. Beides führt unmittelbar zu einem andern Gegenstand der Untersuchung. Dies ist:

[p.242]

5. Die mechanische Wirkung des Gletschereises in der Glazialzeit.

a. Methoden der Untersuchung.

[§107] Es sind für die Erforschung der mechanischen Arbeit, welche das Gletschereis auszuführen vermag, drei Wege eingeschlagen worden. Der eine ist die Untersuchung der Vorgänge an tätigen Gletschern; der zweite die Beobachtung der Formveränderungen durch das Eis, welche sich an den von ihm verlassenen Lagerstätten nachweisen lassen; der dritte ist die Anwendung der theoretischen Mechanik. Jeder dieser drei Wege hat seine Berechtigung; aber wesentlichen Erfolg verspricht im höchsten Maße der zweite. Die jetzt vorhandenen Gletscher verbergen ihr Bett, und man kann sie gerade in derjenigen Tätigkeit, welche den Untergrund beeinflußt, nur unvollkommen belauschen. Zudem bieten sie andere Verhältnisse als diejenigen der Glazialzeit, welche die großen Umgestaltungen hervorgebracht haben. Die Gletscher der Gebirge sind in schmale Betten eingezwängt, empfangen wesentlich Material von oben und sind auf die Richtung der Bewegung nach abwärts beschränkt. Diejenigen der Polargegenden sind zwar Überreste der ehemaligen allgemeinen Vergletscherung, um die es sich bei den großen Problemen handelt, und besitzen noch deren Gestalt. Aber ein Teil ihrer Funktionen ist erschöpft, da das Material, welches hauptsächlich die Grundmoräne bildete, längst entfernt ist, und die letztere sich jetzt kümmerlich ergänzt. Die massenhafte alte Grundmoräne ist nach anderen Regionen geschafft. Sie könnte sich nur dann neu bilden, wenn die hochnordischen Länder abermals durch eine lange geologische Periode unter einem warmen Klima waldbedeckt der Zerstörung des Gesteins ausgesetzt und dann erst mit neuen Gletscherbildungen überzogen würden. Die mathematische Berechnung ist geneigt, zu wenig Rücksicht auf die durch Beobachtung festgestellten Tatsachen zu nehmen und an ihrer Statt von Prämissen auszugehen, um die es sich nicht handelt. Daher gelangt sie zuweilen auf mühsamen Wegen zu Resultaten, welche für die Erklärung des wirklichen Sachverhaltes ohne Bedeutung sind. Anstatt von schutterfülltem Gletschereis als dem mechanischen Werkzeug auszugehen, hat man die physikalischen Eigenschaften von reinem See-Eis den Berechnungen zu Grunde gelegt. Selbstverständlich kam man zu dem Resultat, daß dieses weder durch Druck eine erheblich zertrümmernde, noch durch Reibung bei der Fortbewegung eine bedeutende mechanisch zerstörende Wirkung ausüben könne, da es (auch ohne Rücksicht auf das Aufsteigen der Chthonisothermen) eher schmelzen würde. Doch handelt es sich bei dem Problem nicht einmal um reines Gletschereis, geschweige denn um reines See-Eis. Gewiß kann die mathematische Physik bei einem so schwierigen Gegenstand helfend, ergänzend und klärend eintreten. Aber die Fragen, welche sie sich stellt, sollten auf der Beobachtung

füßen. Es sollte in erster Linie durch diese festgestellt werden, welche Wirkungen durch Gletschereis mit Sicherheit ausgeübt worden sind; dann erst kann man fragen: unter welchen physikalischen Eigenschaften muß das Eis sich befunden haben? welche von der physikalischen Beschaffenheit des reinen Eises abweichende Eigenschaften mußten ihm also zugeteilt gewesen sein, um es fähig zu machen, die beobachteten mechanischen Wirkungen auszuüben? Von dem dadurch gewonnenen Standpunkt aus wird die mathematische Physik gewiß erfolgreich zur Klärung in denjenigen Fällen eintreten können, wo die zu Grunde liegende Ursache sich der Beobachtung allein nicht entnehmen läßt.

b. Sicher gestellte mechanische Leistungen der Gletscher.

[§108] Die verschiedenen von den Gletschern der Vorzeit vollzogenen Arten der Arbeitsleistung, welche sich ebenfalls an den jetzt bestehenden in kleinerem Maßstab beobachten lassen, wurden im Vorhergehenden genannt. Sie sind:

1) Ablation, d. h. die Ausräumung der Gebirgstäler und die Abräumung großer Flächen und bergiger Regionen durch Fortschaffung des von den Gletschern vorgefundenen außerordentlich bedeutenden Bestandes an gelockertem Material;

2) Korrasion. Diese zeigt sich in der Glättung, Abrundung und Schrammung der Gesteinsblöcke, welche nur durch heftige gegenseitige Reibung erklärt werden kann; in der Zertrümmerung eines Teils derselben zu einem aus scharfkantigen kleinen Fragmenten bestehenden Boden; in der Abschleifung und Schrammung der Seitenwände und des unterlagernden Gesteins, welche sich bis zur Aushöhlung eines breiten Troges steigert; endlich in der noch jetzt bei jedem Gletscher ununterbrochen vor sich gehenden Produktion großer Massen von feinem, aus zerriebenem Gestein bestehendem Mehl.

3) Transport und Ablagerung. Das Forttragen der Oberflächenmoräne ist unmittelbar sichtbar, ebenso die Entfernung des Schleifpulvers vom Boden durch den Gletscherbach. Mittelbar erweist sich ein viel bedeutenderer, in der Vorzeit geschehener Transport durch den räumlichen Abstand, in welchem sich die Gesteine der Grundmoräne von dem Ursprungsort jedes einzelnen Stückes befinden. Derselbe erreicht in Europa einen Betrag, welcher 1000 km häufig übersteigt. Dieser Transport hat zum großen Teil in einer der Neigung entgegengesetzten Richtung, also bergauf, stattgefunden, wie im Einzelnen für kleine Entfernungen, im Großen für die Gesamtabdachung des norddeutschen Flachlandes bis hinauf zu den Gebirgsrändern, nachgewiesen worden ist. Geschah die Bewegung eines Gletschers vermöge seiner die Paßhöhen übersteigenden Mächtigkeit quer über einen Gebirgszug hinweg, so ist auch ein, wenngleich nicht bedeutender, Teil der Grundmoräne über ihn hinwegbewegt worden. Dies war z. B. der Fall bei den Eisströmen, welche durch die großen Quertäler der Zentralketten der deutschen Alpen das Inntal erreichten, dieses ausfüllten und über die Einschaltungen der nördlich vorliegenden Parallelketten hinweg in das bayerische Vorland hinabstiegen.

Dies sind die Arten der nachweisbaren Arbeit. Ihr Betrag ist nicht nur in überseeischen Ländern, sondern auch in vielen Teilen Europa's noch festzustellen. Zu diesem Zweck hat man die Gesamtmasse des vorhandenen Moränenschuttes, dessen Ursprung sich auf ein bestimmtes Gebirge, z. B. das skandinavische, zurückführen ließ, zu berechnen gesucht und, indem man aus

dem Volumen die Höhe der Schicht fand, um welche dasselbe das betreffende Gebirge, bei ebenmäßiger Ausbreitung über dessen ganzes Areal, erhöhen würde, die Folgerung gezogen, daß die mechanische Arbeit der von demselben Gebirge ausgehenden Gletscher der Ablösung einer Schicht festen Gesteins von derselben Dicke äquivalent sei. Es sind jedoch dadurch einerseits viel zu hohe Beträge erreicht worden, da den von den Gletschern vorgefundenen Massen lockeren Schuttes, welche weitaus die Hauptmasse der Grundmoräne ausmachen dürften, nur selten Rechnung getragen worden ist; andererseits sind die Zahlen zu niedrig, weil der außerhalb des Moränengebietes durch Wasser abgelagerte Glazialschotter, ebenso wie die in das Meer geführten Massen, sich der Berücksichtigung entzogen.

Außer den angeführten Arten der Arbeitsleistung ist die Gletscherbedeckung großer Landstriche offenbar an der Bildung der zahllosen von ihr zurückgelassenen Seebecken beteiligt gewesen. Doch ist es Gegenstand der Kontroverse, in wie weit dieselben durch die Gletscher unmittelbar ausgehöhlt, oder mittelbar durch deren anderweitige Arbeit, oder auch nur durch die Tatsache ihrer Existenz, gebildet oder als Aushöhlungen konserviert worden sind. Dasselbe gilt für die Fjorde.

c. Unterschiede der Arbeit der Gletscher von der des fließenden Wassers.

[§109] Vergleicht man mit den mechanischen Effekten der Gletscherbewegung die Arbeit des fließenden Wassers, so besteht diese zwar auch in Erosion, Korrasion, Transport und Ablagerung. Aber die Erosion durch Wasser geschieht in der Form von Furchen, und nicht in der von breiten trogförmigen Rinnen; niemals vermag sie weite Regionen ebenmäßig zu entblößen. Die Korrasion ist auf das Wasserbett beschränkt; ein Abschleifen weiter, aus festem Fels bestehender Flachländer kann nicht stattfinden, eben so wenig die Bildung der Rundhöcker und die scharf eingegrabene Schrammung des Gesteins. Der Transport von grobem Material kann nur nach abwärts geschehen; die Fortschaffung in einer der Neigung entgegengesetzten Richtung ist nur im allerkleinsten Maßstab möglich. Das Wasser verliert die Transportkraft mit der Verringerung des Gefälles, der Gletscher behält sie auf seinem Rücken und in seinem Inneren bei, so lange das Eis strömt; in wie weit sie dann noch am Boden stattfinden kann, hängt von verschiedenen Umständen ab. Die Ablagerung im Wasser geschieht stets in der Form geschichteter Massen; ungeordnete Haufwerke von grobem und feinem Material können niemals durch sie erklärt werden. Das Eis wirkt daher zum Teil in einer dem Wasser analogen, zum Teil in einer davon verschiedenen Weise. Die Ursache liegt einerseits in der Art der Bewegung des Gletschereises, andererseits in dessen Beschaffenheit.

d. Bewegung der Gletscher über große Gebiete.

[§110] Die Bewegungsfähigkeit des Gletschereises, soweit sich ihre Ursachen bis jetzt ergründen lassen, beruht, wenn wir die vor-hergehenden Ausführungen kurz zusammenfassen, in der hoch-gradigen Plastizität desselben, welche wahrscheinlich in ursächlicher Beziehung zu der Zerteilung in Gletscherkörner steht und teils direkt durch hohen Druck, teils indirekt durch die damit verbundene, vermutlich zunächst an den Haarspalten sich vollziehende Schmelzung und Regeneration erhöht wird. Die Bewegung dieser plastischen Masse wird hervorgebracht:

1. durch Gravitation, und zwar überall wo sie von höherem nach tieferem Niveau stattfindet, daher besonders bei Gebirgsgletschern; daß der Druck durch rückwärtige Massen dabei eine Rolle spielt, ist dort ersichtlich, wo steileres Gefälle in sehr flaches übergeht;

2. durch Druck von oben, welcher bei mächtig gelagertem Inlandeis zur Geltung zu kommen scheint, indem er ein Herauspressen der tiefsten, am meisten mit Plastizität begabten Teile bewirkt. Eine subsidiäre Rolle scheint mindestens in vielen Fällen

3. der Kristallisationskraft zuzukommen, welche sich äußerlich in dem steten Anwachsen des Gletscherkornes zu erkennen gibt. Die Richtung der Bewegung ist diejenige des geringsten Widerstandes; daher geschieht dieselbe zunächst nach abwärts, so lange dies möglich ist; aus der gleichen Ursache breitet sich der Gletscher fächerförmig, mit allmählicher Abflachung aus, wenn er aus dem Gebirge heraus in freies ebenes Land tritt. Hindern sich aber mehrere neben einander heraustretende Gletscher gegenseitig an der fächerförmigen Ausbreitung, so setzt die longitudinale Bewegung eines jeden fort. Die Begrenzungsflächen gegen die Nachbargletscher müssen sich wie elastische, der Kraft des stärkeren Gletschers etwas nachgebende Talwände verhalten. Dies ist aus der Art der Verbreitung der Grundmoränen geschlossen worden. Steigt der Boden jenseits des Gebirgsfußes in einer flachen Welle an, die rechtwinklig zur Bewegungsrichtung der aus verschiedenen Nachbartälern eines Gebirges hervorquellenden Gletscher streicht, so kann dieselbe, wie die Beobachtung an der Grundmoräne lehrt, überstiegen werden. Vorher wird jedoch eine Verdickung des Eises in der zwischen dem Gebirgsfuß und der Welle gelegenen Mulde eintreten müssen, und zwar wahrscheinlich so weit, bis die Oberfläche des Gletschers die Welle übersteigt. Ist statt der Welle ein allmählich ansteigender Grund vorhanden, so wird ein Fortschieben des Gletschers auf ihm stattfinden müssen, falls die Bewegung derjenigen eines durch Druck herausgepreßten Eisstromes entspricht, und falls seitliche Einzwängung durch Terrainformen oder durch benachbarte Gletscher die Richtung nach aufwärts zu derjenigen des geringsten Widerstandes macht; aber gleichzeitig wird auch in diesem Fall ein stetiges Anwachsen der Dicke der gesamten Eismasse am Gebirgsfuß stattfinden, und dadurch auch rückwärts nach dem Gebirge hinein, über dessen tiefere Teile sich schließlich eine kontinuierliche Decke von Inlandeis mit allmählich sich abdachender Oberfläche ausbreiten wird. Der Maximalabdruck in der ganzen Länge eines Gletschers wird in diesem Fall entlang dem Fuß des Gebirges stattfinden. Nicht wesentlich verschieden wird das Verhältnis sein, wenn anstatt der ansteigenden Fläche eine Horizontalebene, oder selbst eine sanft abfallende Fläche vorhanden ist. Denn je weiter die Eiskante sämtlicher Gletscher sich von dem Gebirge entfernt, desto größerer Druck von rückwärts wird (neben der problematischen Kraft der Kristallisation, welche nirgends fehlen würde) erforderlich sein, um das Eis vorwärts zu schieben. Auch dann wird die Region, in welcher die dem Ursprungsgebiet der Gletscher (also den Gebirgen, und speziell den Gebirgstälern) eigentümliche stärkere Neigung des Bodens in die erheblich geringere der vorliegenden Ebene übergeht, die Region der größten Eisanhäufung, und daher der größten Druckwirkung sein müssen.

Diese Verhältnisse lassen sich nur theoretisch erörtern und in einzelnen Stücken durch die Beobachtung an verlassenem Gletscherbetten erhärten. Es wäre daher für die Befestigung der Erklärung wichtig, die Bewegungserscheinungen der Gletscher in den Polargebieten nach den angegebenen Richtungen hin genau zu untersuchen. Der unmittelbarste Hinweis darauf, daß das Eis sich über den Vertiefungen und an den Stellen des Überganges steiler in flachere Neigung am mächtigsten anhäuft, ist in dem ebenmäßigen Neigungswinkel der Oberfläche des grönländischen Inlandeises und in dem Aufragen gebirgiger Unebenheiten aus derselben gegeben.

e. Abräumungsarbeit.

[§111] Die erste Arbeit des entstehenden, sich allmählich fortbildenden und während der ganzen Zeit seiner Existenz in steter Bewegung verbleibenden Gletschers bestand, wie bemerkt, in dem Hinwegräumen alles gelockerten Materials, welches er vorfand, in so fern er es zunächst nach abwärts tragen konnte. Dieser allenthalben nachweisbare Vorgang ist sicherlich in jedem einzelnen Fall sehr langsam gewesen. Zwar müssen die von Wasser durchtränkten Schuttmassen in den meisten Fällen fest zusammengefroren gewesen sein, ehe der Gletscher sie erreichte. Aber wahrscheinlich vermochte er jederzeit nur die seiner Sohle zunächst gelegenen Teile fortzuschieben oder in sich aufzunehmen. Bei großen Blöcken mochte vielfach die plastische Eismasse, deren einzelne Teile den Unebenheiten ausweichen und sich um sie herum bewegen konnten, nur ein langsames und allmähliches Fortschieben und Fortwälzen bewirken; aber kein loser Block dürfte groß genug gewesen sein, um nicht von dem einhüllenden Eis, wenn es hinreichende Mächtigkeit besaß, erfaßt und geschoben zu werden. Der mechanische Vorgang der Bewegung des Bodenschuttes ist als ein fortdauerndes Ausglätten, Fortschieben und Forttragen unter sehr hohem Druck zu betrachten, wobei die Verschiebbarkeit der Bestandteile der ganzen Schuttmasse durch die Schmelzwässer des Bodens erhöht war. Nach dem Anfang der Vergletscherung mußte zunächst der Schutt aus den höheren Regionen allmählich entfernt werden, dann aber, mit dem Wachsen des Gletschers, die Ausräumung nach immer tieferen Teilen fortschreiten. Erst, wo der Mangel an Widerständen das Auseinanderfließen der plastischen Masse auf flachem Boden gestattete, konnte die fortschiebende Kraft erlöschen und bleibende Ablagerung eintreten. Die jetzigen Polargletscher der arktischen Zone stellen wahrscheinlich nur die Analoga der Ursprungsgebiete der ehemaligen großen Vergletscherung dar. Daher sind dort die Schuttmassen längst entfernt, und es scheint, daß sich der die Bewegung des Bodenschuttes betreffende Teil des Vorganges dort kaum noch gut beobachten läßt. Bei Gebirgsgletschern hingegen ist die fortdauernde Neubildung der Grundmoräne bedeutend genug, daß sich bei ihnen vielleicht das Maße des Vorschiebens der letzteren, unter zwar verhältnismäßig geringem Druck, aber bei beträchtlicher Neigung, näher feststellen lassen wird.

Neben dem Ausräumen des lockeren Schuttes muß die Stoßkraft des unter hohem Druck fortbewegten Gletschers, so sehr sie durch die Plastizität des Eises abgeschwächt wird, die Tendenz haben, schroffe Unebenheiten des Gletscherbettes hinwegzuschaffen, und sie wird dieses Ziel bei weichen und zerklüfteten Gesteinen in hohem Grade, erreichen. War hingegen, wie bei den Bundhöckern, einmal örtlich eine schief ansteigende Fläche auf einer begrenzten Masse von hartem Gestein gebildet, so mußte die Tendenz zu ihrer Erhaltung obwalten; denn es läßt sich voraussetzen, daß der gröbere Schutt nach den tieferen Teilen der Bodenfläche abgelenkt wurde und das schärfere Herauspräparieren des Höckers veranlaßte, während dessen Oberfläche nur durch feinkörnigen Schutt zu wachsender Glätte poliert wurde.

Bildung von Seebecken durch glaziale Ausräumung. — Das Maß der Abräumung eines schuttbedeckten Landes muß örtlichen Schwankungen unterliegen. Diese werden teils durch Unterschiede der Mächtigkeit des Schuttes, teils durch das verschiedene Maße des Horizontalschubes hervorgebracht werden. Es wird aber auch von dem Druck beeinflusst werden, unter welchem das Eis arbeitet; der Vorgang wird daher an Stellen gesteigerten Druckes schneller nach der Tiefe vorschreiten, als an anderen. Da nun das Eis nicht nur durch Vertiefungen sich fortzubewegen, sondern auch festes Material mit seiner eigenen Masse* aufwärts zu transportieren vermag, so kann es theoretisch nicht zweifelhaft sein, daß durch glaziale Ausräumung Becken in lockerem Schutt ausgehöhlt werden können, und dies kann tatsächlich als durch neuere Untersuchungen

bewiesen angenommen werden. Wie oben (§ 106) bemerkt wurde, sind dem Vorrücken der Gletscher bedeutende Ablagerungen von Geröll, insbesondere in den Bandzonen der dem Gebirgsfuß vorgelagerten Flachländer, voran-gegangen. Da aber gerade hier die Stellen höchsten Gletscherdruckes gewesen sein müssen, so sollten die Außenränder vergletschert gewesener Gebirge vorzugsweise mit Seebecken besetzt sein, vorausgesetzt daß die Eisdecke sich weit jenseits dieser Ränder ausbreitete. Dies ist am nördlichen und südlichen Fuß der Alpen der Fall, und mehrere der dortigen Seebecken, mit Einschluß der bereits durch Sedimente ausgefüllten, sind in der Tat in lockerem Schutt eingesenkt. Eine ähnliche Lage hat man bei der Ostsee im Verhältnis zum skandinavischen Gebirge erblicken wollen. Es ist indessen zu bemerken, daß die Bedingungen zur Ausräumung bei einem gewissen Verhältnis des Druckes zu dem Neigungswinkel des ansteigenden Grundes eine Grenze erreichen müssen. Diese wird in dem extremen Fall einer kreisförmigen, mit senkrechten Wänden niedergehenden Versenkung in geringer Tiefe eintreten. Es ist ein schwieriges, aber der Untersuchung würdiges Problem, die Grenzwerte, bei denen, der Vorgang noch möglich ist, zu finden. Als erwiesen kann die glaziale Ausräumung nur für gewisse Becken gelten, welche im Verhältnis zu dem durch die Gletscherbewegung bezeichneten Längsdurchmesser eine geringe Tiefe besitzen.

Ein viel gewaltigeres Motiv der Seebildung durch Ausräumung allein war in der Unebenheit der Oberfläche des festen Gesteins unter der durch die Tiefenersetzung (§ 48) mürbe gewordenen Decke lockerer Massen gegeben. Wurden diese als Grundmoräne nach weit entlegenen Gegenden getragen, so mußten alle Vertiefungen als Becken Zurückbleiben. Ein warmes feuchtes Klima hatte in den arktischen Regionen durch lange geologische Perioden geherrscht, als die Vergletscherung eintrat. Unter der üppigen Waldvegetation muß die Zer-setzung sehr bedeutend gewesen sein. Es ist oben bemerkt worden, daß die zahllosen Seebecken der kälteren Teile von Nord-Amerika, sowie diejenigen von Finnland und Lappland dadurch vorgebildet worden sein dürften, wenn auch ihre weitere Ausgestaltung erst durch die Korrasion geschah.

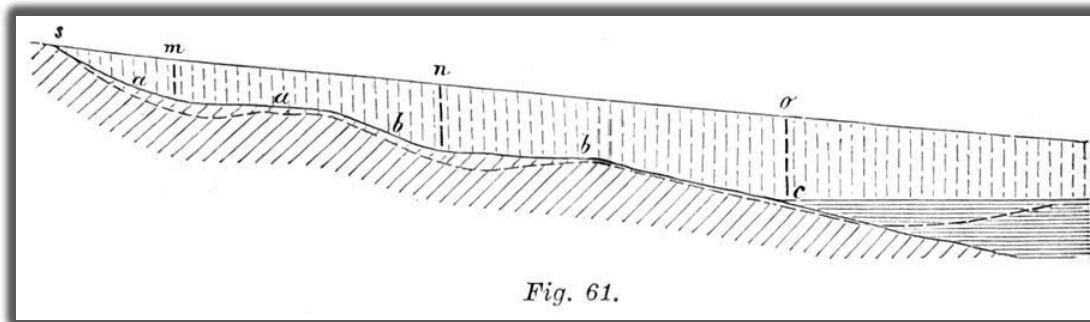
f. Korrasionsarbeit.

[§112] Der andere deutlich nachweisbare Effekt der Gletscherbewegung ist die Korrasion. Es ist selbstverständlich, daß das Eis als solches sie nur an weichem Material, nicht aber (oder doch nur in sehr geringem Maße) an hartem Gestein, wie Granit oder Gneis, auszuüben vermag. Das Eis wird aber zu einem gänzlich verschiedenen Körper, sobald es Gesteinsstücke und pulverig zermalmtes Gestein an seinem Boden eingekittet enthält und in diesem Zu stand unter sehr hoher Belastung, bei mangelnder Gelegenheit zu seitlichem Auseinandergehen, fortgeschoben wird. Wie Wachs mit eingekitteten Sandkörnern, oder Smirgel an einem wollenen Lappen zum Schleifen von. Marmor und härterem Gestein verwendet werden können, so dienen, wie Daubre'e (Experimentalgeologie S. 219, 220) durch Versuche nachgewiesen hat, jene festen Bestandteile dem Eis als Schleifpulver. Dies aber muß das Wesen des Eises am Boden jedes eingezwängten Gletschers sein, und in viel höherem Grad während der Periode der Massenabräumung gewesen sein. Die Folge ist im ersten, und war im zweiten Fall ein Schleifen und Aushöhlen in der ganzen Breite des Gletscherbodens. Insbesondere werden die kleinen Unebenheiten entfernt und stellenweise vollkommen glatte Flächen erzielt. Da

Die Korrasion, ist das Abschleifen von Gesteinen durch Wind, Wasser oder Eis, Korrasion ist der Vorgang, der zur Ablation führt. Bitte nicht mit Korrosion verwechseln. Leider wird bei dem Wort Korrasion heute die Wirkung des Eises in einigen Werken ausgeschlossen oder „vergessen“ (was nicht korrekt ist), da Korrasion eigentlich im lateinischen „Zerkratzen oder abschleifen“ bedeutet.

sich in der Glazialzeit Gletscher über weite Regionen hinbewegten und sich gleichmäßig über Bergücken und Täler hinwegschoben, so konnte dort regionales Abschleifen eintreten. Wie eine Pflugschaar bewegte sich die Eislast über die nach Abräumung der lockeren Massen bloßgelegte Felsfläche ausgedehnter Erdräume. Feilend und schleifend glättete sie die erhabenen, wie die vertieften Teile der Granit- und Gneisgebiete.

Bildung von Seebecken durch glaziale Korrasion. — Auch die Korrasion kann örtlich an Intensität wechseln. In weichem Gestein muß sie stärker sein, als in hartem. Starkes Gefälle wird, wie bei strömendem Wasser, das Schleifen am Boden, geringeres die seitliche Korrasion begünstigen. Außerdem aber muß bei der Korrasion durch Eis die Menge und Härte der festen Bestandteile von wesentlichem Einfluß sein. Die Korrasion sollte daher verstärkt sein, wo mehrere Gletscher sich in einem Bett vereinigen, dessen Breite geringer ist als die Summe der Querdurchmesser der Zuflüsse. Besonders sollte ihre Intensität vor solchen Stellen zunehmen, wo ein steileres Gefälle in ein flacheres übergeht. In analogen Fällen höhlt das Wasser durch Korrasion Becken aus (§ 69); doch findet die Tiefe derselben bald eine Grenze, da die Becken sich mit Sedimenten füllen. Das Eis wird dieselbe Wirkung ausüben; aber es schafft die Korrasionsprodukte fort. Wenn schon in Folge dieses Vorganges Gletscher im Stande sein müssen, durch Korrasion Becken in festem Gestein auszuhöhlen, so kommt bei ihnen als wichtiges Moment noch der Unterschied des Druckes in Betracht. Wie erwähnt, hat die Oberfläche großer Eismassen, wie in



Grönland, die Tendenz, die Gestalt einer allmählichen Abdachung anzunehmen. Sind nun in einem Gebirgstal, welches bei c (Fig. 61) in die Ebene mündet, die Stufe des Sammelbeckens aa und noch eine zweite Talstufe bb vorhanden, so sind hier Stellen relativer Druckverstärkung; eine dritte ist bei c. Findet in der ganzen Strecke s c Korrasion des Felsbodens statt, und kommt der Gletscher bei c auf Schwemmland, und wird er ferner hier durch andere Gletscher eingeengt, so wird unter den Stellen m und n verstärkte Korrasion, unter o verstärkte Schuttausträumung stattfinden. Ist eine solche Differenz vorhanden, so müssen in den Strecken aa und bb Korrasionsbecken im Gestein, bei c ein Ausräumungsbecken im Schwemmland geschaffen werden.

Wenn nun auch die Möglichkeit der Bildung von Korrasionsbecken durch Gletscher einem begründeten Zweifel kaum unterliegen dürfte, so kann doch eine Kontroverse darüber entstehen, ob nur relativ flache, oder auch relativ tiefe Felsbecken von Eis ausgefeilt werden können.

Die Ansichten hierüber gehen weit auseinander. Sie knüpfen sich im Wesentlichen an die Gebirgsrandseen der Schweiz. Nach de Mortillet (1859) waren dieselben schutterfüllte Talbecken und wurden durch Eis ausgeräumt. Ramsay (1862) nahm in allgemeiner Weise die Seetröge in festem Gestein als durch Eis mittelst der Zerstörung des Gesteins ausgehöhlt an und sprach dieselbe Meinung betreffs der Fjorde aus. Nach Tyndall geschah die Aushöhlung durch Zermalmung des Gesteins in Folge von Eisdruck; die staubförmigen Zermalmungsprodukte seien durch Wasser fortgeführt worden. Dieselbe Entstehungsweise nahm Tyndall für alle Alpentäler an. Geikie, Nordenskiöld, Heliand und Penck haben sich der Ansicht von Ramsay angeschlossen. Beiden Theorien entgegen sprachen Lyell (1863), Desor, Studer, Murchison (1864), Omboni, Rütimeyer (1869)

und Heim die Meinung aus, die Seebecken seien durch Eis konserviert worden. Während aber Lyell annahm, daß sie während der Eisbedeckung durch Gebirgsstauung gebildet worden seien, wären sie nach Rütimyer und Heim durch denselben Einfluß bereits in präglazialer Zeit entstanden, indem die Gebirgstäler dadurch in Becken verwandelt worden seien; diese seien mit Wasser und später durch die Gletscher ausgefüllt worden und nach deren Abschmelzung abermals als Seebecken zurückgeblieben.

Die Anwendbarkeit der Ansicht von Rütimyer und Heim auf einzelne größere Seen erscheint unbestreitbar. Die Theorie von Mortillet beruht auf der glazialen Ausräumung und kann für einzelne Fälle, speziell durch die von Penck für die oberbayerischen Seen auf Grund sorgfältiger Beobachtung beigebrachten Argumente, als erwiesen gelten. Die Erklärung von Tyndall mußte in ihrer Anwendung auf die Täler von Geologen zurückgewiesen werden, während die Bildung von Seebecken durch Zermalmung des Gesteins von Physikern widerlegt wurde. Innerhalb welcher Grenzen die Theorie von Ramsay Anwendung finden darf, wird sich vielleicht auf dem Weg der Beobachtung allein schwer feststellen lassen, dürfte aber ein interessantes Problem für die mathematische Physik bilden. Denn so wenig es bezweifelt werden kann, daß die Gletscher der Vorzeit an solchen Stellen, wo das Vorschleichen unter einem Maximum des Druckes über festen Felsboden geschah, in diesem ein Becken auszuschleifen vermochten, würde dieses doch von seinem hinteren nach seinem vorderen Ende nur einen flach konkaven Durchschnitt haben können. Wo Hinterwand, oder Vorderwand eines in einem Tal gelegenen Beckens, oder Beide steil zu großer Tiefe einfallen, erscheint derselbe Vorgang ausgeschlossen. Durch die Bewegung nach vorwärts allein kann ein relativ tiefer Kessel mittelst der Korrasion allein nicht ausgehöhlt werden. Es würde zu erörtern sein, welches das extremste, durch Korrasion bei gradliniger Bewegung des Gletschers zu erreichende Verhältnis der Tiefe eines Beckens zu seiner Länge, sowie welches die größtmögliche Neigung der hinteren und vorderen Beckenwand sind. — Die Möglichkeit des Einfeilens sehr flacher und seichter Felsbecken durch Korrasion ist neuerdings auch von dem stets vorsichtig und auf Grund großer Sachkenntnis argumentierenden Heim zugegeben worden.

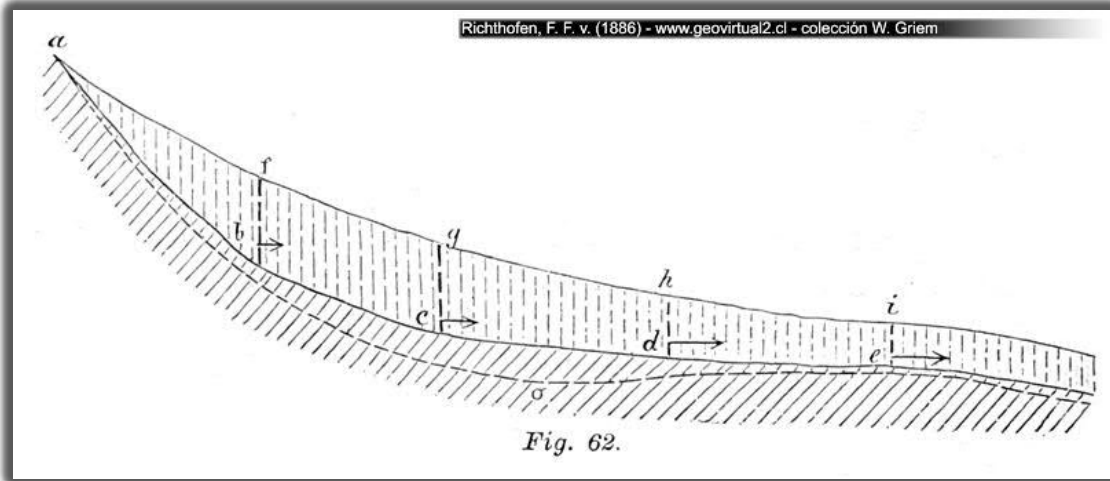
Da die Korrasion (abgesehen von der gegenseitigen Reibung der Bestandteile der Grundmoräne) in dem Ausschleifen von Gestein besteht, so handelt es sich hier nicht um Seebecken im Schutt, sondern um solche, welche allseitig von gewachsenem Gestein umgeben sind. Das Vorhandensein dieser Bedingung ist jedoch keineswegs hinreichend, um in den Fällen, wo die frühere Anwesenheit von Gletschereis nachweisbar ist, den Schluß auf Entstehung durch Korrasion zu rechtfertigen. Denn wenn ein Quertal durch eine in seiner Front sich vollziehende Schichtenfaltung abgesperrt wird, so bildet sich auch ein in Gestein eingesenktes Seebecken. Gleichviel ob dasselbe teilweise oder ganz mit Schutt vollgeschwemmt war ehe der Gletscher darüber hinauswuchs, jedenfalls konnte derselbe bis zu einer, wesentlich in der Gestalt des Beckens beruhenden Grenze den vorhandenen Schutt durch Erosion ausräumen. Es ist daher bei Abdämmung eines Seebeckens durch Schichtenfaltung oder Bruchspalten die Entstehung durch Korrasion auf ein geringes Maße von Wahrscheinlichkeit beschränkt. Wo hingegen eine ganz homogene, durch tektonische Vorgänge nicht gestörte Umrandung durch festes Gestein nachgewiesen werden kann, wird zunächst die Aufmerksamkeit darauf zu richten sein, ob lösliche Gesteine, wie Kalkstein, Gips oder Steinsalz, an dem Bau der Umrandung und der unterlagernden Schichtgesteine teilnehmen. Es kann dann, wie bei einigen Seebecken im Salzkammergut, die Entstehung durch Einbruch große Wahrscheinlichkeit haben. Ist auch dies ausgeschlossen, wie z. B. bei solchen Becken, die in Granit oder Gneis eingesenkt sind, so wird der Grad der Wahrscheinlichkeit zu Gunsten der Entstehung durch Korrasion allein zunehmen, insbesondere wenn sie in Gebirgstälern gelegen sind. Doch ist der Schluß selbst dann mit Vorsicht anzuwenden; denn wie soeben angedeutet wurde, kann man es, z. B. in den kanadischen und finnischen Seeregionen, mit Ausräumungsbecken zu tun haben, deren Boden und Umrandung durch Korrasion glattgeschliffen wurden. Die letztere würde also nicht die primäre Veranlassung sein. Wahrscheinlich

ist daher die Zahl der Seebecken, für welche die Korrasion als einzige Entstehungsursache angenommen werden darf, abgesehen von den sogleich zu erwähnenden Seen der Circustäler, nicht groß. Als bemerkenswert können gewisse kleine, aber relativ tiefe Becken genannt werden, welche in Gebirgstälern in kristallinische Schiefer eingesenkt sind und durch kreisrunde Form zuweilen wie ausgedrechselt erscheinen. Durch Korrasion bei longitudinaler Bewegung des Gletschers können diese Kessel nicht erklärt werden. Es wäre zu prüfen, in wie weit eine durch ein dem Gletscherstrom entgegenstehendes Hindernis verursachte rotierende Bewegung des Eises (§ 102) hierbei eine Rolle gespielt haben mag. Man wird auf die Vermutung einer derartigen mechanischen Wirkung besonders in den Fällen geführt, wo ein durch härtere Schichten oder einen granitischen Gang veranlaßter Querriegel einen weiteren vergletschert gewesenen Talboden abschließt, und ein beiderseits polierter schmaler Durchlaß durch den Biegel zeigt, wie der Gletscher sich hier zusammenziehen mußte. Korrasion durch rotierende Bewegung könnte einen im Verhältnis zum Durchmesser weit tieferen Kessel erzeugen, als die Korrasion bei gradlinigem Fortschreiten.

Bildungen eigentümlicher Art sind gewisse Kesselböden der Hochgebirge, welche in den Pyrenäen als Circustäler, in Schweden als Botner, in den deutschen Alpen als Kare bezeichnet werden. Hinsichtlich ihrer Lage dicht unter den Wasserscheiden, oder in den höheren Teilen der Gehänge, entsprechen sie den Sammeltrichtern der Erosionstäler, und wo sie vorkommen, üben sie die Funktionen derselben aus. Sie unterscheiden sich aber von den gewöhnlichen Sammeltrichtern derselben Gebirge dadurch, daß sie einen flachen, häufig mit einem oder mehreren Felsbecken besetzten Boden haben und von steileren Wänden in einigem Abstand umragt werden. Diese an die Calderas (S. 160) erinnernde Umwallung nimmt die Hälfte bis Dreiviertel eines Kreises ein, kann aber auch eine unregelmäßige Gestalt haben. Der Karboden stürzt meist unvermittelt, und oft in hoher und steiler Wand, auf eine tiefere Stufe ab. Die dort vorhandene Erosionsfurche strebt sich rückwärts in den Karboden einzuschneiden und ihm die Gestalt eines gewöhnlichen Sammeltrichters zu geben. Die Kare oder Cirken kommen nur dort vor, wo die oberen Enden, d. h. die Firnfelder, von Gletschern gelagert haben, und sind daher auf einzelne, jetzt von Gletschern befreite Teile von Gebirgen (Tatra, Pyrenäen, einzelne Teile der Alpen u. s. w.) beschränkt. Da sie eine eigentümliche, sonst nicht wiederkehrende Gestalt haben, und die in ihnen befindlichen Seebecken meist gänzlich außerhalb der Wirkungssphäre anderer beckenbildender Agentien liegen, so muß man ihre Entstehung in ursächliche Beziehung mit der mechanischen Tätigkeit der Gletscher setzen. Doch bietet die Erklärung des Phänomens Schwierigkeit, und es sind genaue Aufnahmen und Messungen zur vergleichenden Betrachtung möglichst vieler Cirken sehr erwünscht. Es ist dabei zuerst das rein geographische Moment zu berücksichtigen. Die in einer Gegend vorhandenen Cirken sollten in eine Karte eingetragen, die relativen Höhen ihrer Böden durch Isohypsen kenntlich gemacht werden. Es scheint, daß sie in jedem einzelnen Gebirgstheil unter eine gewisse, wahrscheinlich der früheren Firngrenze entsprechende Höhenlinie nicht herabgehen und sich in einer bestimmten Höhenzone in besonders großer Zahl finden. Jedes einzelne Kar ist dann nach seiner Gestalt zu bestimmen. Einige enden vorn breit und offen, bei anderen setzen die einfassenden Wände jenseits des Karbodens parallel fort, fallen aber nicht mehr steil auf einen flachen Boden, sondern allmählicher und mit zahlreichen Querjöchern gegen eine Talfurche ab; wieder bei anderen kommen die Wände näher zusammen. Es ist ferner zu untersuchen, in welchem Grad die Erosionsfurche ihrer Tendenz, sich in den Karboden einzuschneiden, zu folgen vermocht hat. Endlich ist die Beschaffenheit dieses Bodens selbst und der Wände zu beobachten, die Gestalt der Seebecken, ihre Tiefe, ihre Lage, ihr Vorderrand: ob er aus Gestein oder Schutt besteht; dann der Grad nachträglicher

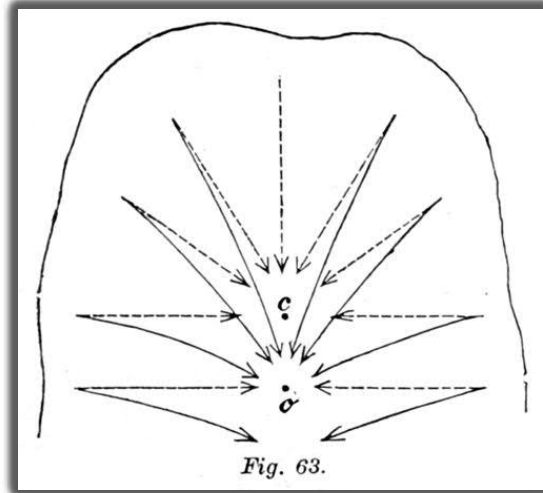
Umgestaltung durch Schutthalden an den Wänden und durch Bodenbildung auf der Fläche. Manche Hochalpenwiesen sind in Kare gelegen.

Dankenswert ist jeder Beitrag zur Erklärung der Entstehung der Kare, da diese auf das Verständnis der mechanischen Vorgänge auf dem Boden der Firnfelder im Allgemeinen Licht werfen würde. Vermutlich beruht die Circusbildung auf örtlicher Verschiedenheit in der Intensität und Richtung der Korrasion, in Folge von Unterschieden des Druckes und der Bewegung. Wenn a b c d e (Fig. 62) das Vertikalprofil der Sohle eines Sammelbeckens von Gewässern im Hochgebirge, und a f g h i die Oberfläche einer später darauf gelagerten Firnmasse ist, so stellen fb, g c, h d, i



e die Druckstärken in verschiedenen Teilen des Längsschnittes dar. Sie sind am größten etwas hinter der Mitte und nehmen nach unten und oben ab. In Folge der Neigung verursacht die Gravitation einen durch den Druck der rückwärts und höher gelegenen Teile unterstützten Schub und Zug von dem oberen gegen das untere Ende hin, mithin eine Bewegung der plastischen Masse gegen den Ausgang. In den in der Tiefe befindlichen Teilen ist zwar wegen der geringeren Neigung die durch die Gravitation veranlaßte Zugkraft geringer; aber dort wird der vertikale Druck, soweit er nicht eine Arbeitsleistung in der Eismasse und am Boden ausübt, in seitlichen Druck umgesetzt, und in Folge dessen das Moment des horizontalen Schubes durch ihn verstärkt. An der Rückwand, und ebenso an den Seitenwänden, ist die horizontale Bewegung, deren Moment in den einzelnen Teilen durch die Pfeile dargestellt ist, noch gering. Dort findet noch vorwaltend eine Tendenz zu vertikaler gleitender Bewegung bei einem nach abwärts in der Richtung auf b und c zunehmenden Druck, daher auch eine in derselben Richtung zunehmende Korrasion des Felsbodens statt. Sie strebt den Seitenwänden eine senkrechte Gestalt zu geben und die unter dem höchsten Druck, d. h. am Boden, befindlichen Teile des Eises nach der Seite des freien Ausweges hin zu pressen und daher vermittelst der horizontalen gleitenden Bewegung den Boden flach abzuschleifen. Je mehr der Gegensatz steiler Wände und horizontalen Flachbodens erreicht wird, desto geringer wird in den Tiefen die Rolle des Zuges, welche für sich allein die oberen Teile des Eises in stärkere Bewegung als die unteren setzen würde; desto grösser wird das Moment derjenigen Bewegung, welche allein von den Druckkräften und der Plastizität des Eises resultiert, und welche in geringer Entfernung vom Boden am größten sein muß. Alle auf horizontale Verschiebung gerichteten Kräfte summieren sich aus allen rückwärts und seitlich gelegenen Massen in konvergierenden Linien; ihr höchstes Maß erreichen sie am Ausgang e, um dort das hervorgepresste Eis einem steiler geneigten Bett, und damit wieder der vorwaltenden Kraft des Zuges zu überlassen; es wird zur Gletscherzunge. Die Korrasion des Bodens wird nicht mit der Horizontalbewegung wachsen, sondern muß ihr größtes Ausmaß theoretisch an der Stelle des höchsten Druckes erreichen. Dies ist zugleich die Stelle, an welcher die meisten durch

die Druckverteilung veranlaßten horizontalen Bewegungskomponenten konvergieren. Die wirklichen Bewegungen werden aber fortdauernd etwas nach dem Ausgang hin abgelenkt werden. Daher dürfte der Ort der größten wirklichen Arbeitsleistung nicht an der Stelle des höchsten Druckes liegen, sondern von ihr aus etwas nach vorn verschoben sein, wie dies bereits in Fig. 61 dargestellt wurde. Ist hier die Korrasion beständig stärker als in den weiter nach vorn gelegenen Teilen des Bodens, so muß ein Becken ausgehöhlt werden. Wenn in der Horizontalprojektion, Fig. 63, c die Stelle des größten Eisdruckes ist, so bezeichnen die punktierten Pfeile die theoretischen, die ausgezogenen Pfeile die wirklichen Richtungen der konvergierenden Bodenströme, welche die Korrasion ausüben. Die Beckenausschürfung wird in o stattfinden. Je nach der Form des Kares können mehrere solcher Konvergenzpunkte vorhanden sein.



Während in der Gletscherzunge eine ganz andere Kräfteverteilung herrscht, dürfte die hier dargestellte dem Hervorpressen der Eisströme aus den Firnfeldern, ebenso wie demjenigen aus der grönländischen Eisdecke (S. 232) zu Grunde liegen. Indessen wird sie bei Talstufen auch in Gebirgsgletschern teilweise eintreten und die Bildung sogenannter Talcirken, d. h. wallartig von seitlichen Steilwänden und von einer Talstufe im Hintergrund umragter Talböden zur Folge haben, wie dies in Fig. 61 dargestellt ist. Aber auch die Trogform der Gletschertäler beruht wahrscheinlich auf dem gleichen Prinzip. In ihnen kommen nur die Seitenwände der Cirken zur Ausbildung. Eine hohe Rückwand ist erforderlich, um deren vollendetere Form hervorzubringen. Wo immer sie entstehen, wird die Tendenz zur Aushöhlung eines Beckens etwas vor der Stelle des höchsten vertikalen Druckes, und an dem Ort der Konvergenz der meisten auf Bodenarbeit gerichteten Bewegungen innerhalb des Eises vorhanden sein.

Es dürfte übrigens auch in Betracht zu ziehen sein, ob nicht die Art der Anordnung und des Aufeinandertreffens der durch die Pfeile in Fig. 63 dargestellten, mit Korrasion verbundenen Bewegungen von solcher Art sein kann, daß sich am Boden bei o eine rotierende Bewegung vollzieht. Einerseits würde sich dadurch die kreisrunde Form vieler Felsbeckenseen erklären; andererseits könnte durch Ausdrechseln die Korrasion zu größerer Tiefe niedergehen als durch Ausfeilen, und es könnten steilere Umfassungen gebildet werden. Man würde, um dies zu untersuchen, zunächst die Verhältnisse, unter denen runde Felsbecken in Glazialgebieten vorkommen, für eine größere Zahl von Fällen vergleichend zusammenstellen und dasjenige aufsuchen müssen, was bei ihnen analog, und was verschieden ist. Wie sich nun in einem Circusboden mehrere Konvergenzpunkte der korradierenden Kräfte finden können, so kann die Art ihres Zusammentreffens verschieden sein, und es können neben einander mehrere Felsbecken entstehen, deren einzelne Formen auf verschiedenem Kraftansatz durch die resultierende Eisbewegung beruhen.

g. Fjordbildung.

[§113] Als morphographisches Phänomen sollen die Fjorde an einer anderen Stelle besprochen werden (§ 139). Da sie indessen zu denjenigen Erscheinungen gehören, welche hinsichtlich ihrer geographischen Verbreitung an die Regionen ehemaliger Vergletscherung gebunden sind, so mögen die Beobachtungen über ihre Beziehungen zur Glazialdynamik schon hier eine Stelle finden.

Fjorde sind Gebilde supramariner Erosion und Korrasion durch Wasser und Eis. Ihre Entstehung durch Aufspaltung ist ausgeschlossen, ebenso ihre Entstehung unter dem Meer; denn eine Auswaschung in Furchen kann durch die Kräfte des Meeres in der Tiefe nicht geschehen. Fjorde aber reichen mit ihrem Boden oft viele hundert Meter unter das Meeresniveau hinab. Ihre Böden waren daher zur Zeit der Aushöhlung ungefähr um den Betrag ihrer größten Tiefe über ihr jetziges relatives Niveau erhoben. Sie senkten sich nach dem Meeresspiegel herab, wenn auch ihr Ausgang etwas tiefer als dieser gelegen haben mag. Man begegnet ihnen ausschließlich an Küsten, welche unter dem Einfluß warmer Strömungen bedeutende Niederschläge erhalten. Sie sind in erster Linie durch fließendes Wasser geschaffene reine Talbildungen. Die schmale und tiefe Gestalt erhielten sie wahrscheinlich in Folge fortdauernder Vermehrung des Gefälles bei allmählichem Rückzug des Meeres; ihre letzte Ausgestaltung aber erfuhren sie durch Anfüllung mit Gletschern, wie die Korrasion der Wände in den jetzt vom Meer invadierten Teilen und des Bodens in den höher hinauf gelegenen Teilen beweist. Das steile Gefälle des Bodens wird nach der in § 112 auseinandergesetzten Weise die Ausbildung steiler, stellenweise senkrechter Talwände, sowie langgezogener Talcirken und wahrscheinlich auch mancher Korrasionsbecken in festem Gestein, veranlaßt haben.

Das Hauptmoment der Fjorde besteht darin, daß das Meer in die alten Talsysteme bis zu bedeutender Höhe eindringt und bei seinem allmählichen Vordringen nicht, wie es unter gewöhnlichen Umständen der Fall gewesen sein müßte, die Spuren der Täler bis unter das Niveau der Talböden hinab durch Abrasion (§ 161). vernichtet hat. Es muß daher ein Eiswall, ähnlich wie jetzt im östlichen Grönland, in Grinnell-Land und Franz-Josephs-Land, und in den südpolaren Gegenden, während der langen Zeiträume der positiven Verschiebung der Strandlinie vorhanden gewesen sein und die Abrasion durch die Brandungswelle, bei gleichzeitiger Ausfüllung der Fjorde durch Gletscher, in der Art derjenigen an der grönländischen Westküste, vollständig gehindert haben. Es scheint nur hierdurch die angegebene Ausnahmserscheinung, daß die in die Gebirgsgehänge erodierten Talsysteme, trotz der nachher ein-getretenen Erhöhung des Meeresstandes an den ersteren, vollständig erhalten sind, erklärt werden zu können. Der Meeresstand war am Ende der Glazialzeit höher als gegenwärtig; sein Sinken hat wesentliche Veränderung in den Formgebilden nicht hervorzubringen vermocht.

Es wird kaum möglich sein, in irgend einem Fall das Verhältnis, in welchem bei der Vertiefung der Fjordtäler das fließende Wasser und die Gletscherbewegung beteiligt gewesen sind, mit Sicherheit festzustellen. Wahrscheinlich ist es, daß der Glazialtätigkeit dabei eine nicht unwesentliche Rolle zufällt, wenn sie auch hinter derjenigen des fließenden Wassers weit zurückstehen dürfte.

[p.261]



Achtes Kapitel.

Beobachtungen an den stehenden Gewässern des Festlandes.

[§114] Jede geschlossene beckenartige Einsenkung in Festländern gibt zur Existenz eines Sees Anlaß, vorausgesetzt daß die Ansammlung von Wasser durch die klimatischen Verhältnisse ermöglicht wird. Geschlossen ist ein Becken, wenn dessen tiefster Teil unter dem Niveau des möglichen Wasserabflusses liegt. Wird letzteres bei völliger Wasserausfüllung tiefer gelegt, so verkleinert sich der See, und er kann völlig entwässert werden; wird es erhöht, so erweitert sich der See, bis er wieder einen Abfluß findet, der nun an einer anderen Stelle stattfinden kann. Die Entleerung des Sees findet außerdem zum Teil, oder auch gänzlich, durch Verdunstung in die Atmosphäre statt. Ist dieselbe geringer als die Zufuhr an Wasser, so strömt dessen Überfluß oberflächlich ab; übersteigt sie sie, so verringert sich das Areal der Fläche, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Bei allzu geringem Zufluß kann ein völliges Schwinden des Sees ein treten.

Bei jedem See bieten sich als allgemeine Gegenstände tatsächlicher Beobachtung: Gestalt, Umfang und Areal der Wasserfläche; Form und Beschaffenheit der Ufer in allen einzelnen Teilen, ob steil und felsig, oder flach und sandig oder tonig; das Vorkommen von Inseln, sowie deren Art und Gestalt; die Tiefe und Bodengestalt; die Speisung durch Flüsse und die Art der Ablagerung von deren Sedimenten; die relative Höhe und Beschaffenheit des Abflusses; die Temperatur des Wassers an der Oberfläche und in der Tiefe, sowie ihr Wechsel in verschiedenen Jahreszeiten; der Grad der Eisbildung im Winter; die Farbe des Wassers und der Grad seiner Klarheit oder Trübung; der Salzgehalt und Geschmack desselben. Die Fauna eines Sees kann für den Geographen hervorragendes Interesse haben, indem sie ihn zur Erforschung der Wege leitet, wie dieselbe hineingekommen ist.

Nach allen diesen Richtungen verhalten sich die einzelnen Seen sehr verschieden. Soweit die Unterschiede nicht in den Größenverhältnissen allein beruhen, sind sie in erster Linie in der Entstehungsart, das heißt in dem Zusammenwirken geodynamischer Vorgänge und klimatischer Faktoren, begründet. Es ist daher gut, sich über die Agentien, welche zur Bildung von Seebecken führen können, Klarheit zu verschaffen. Im einzelnen Fall ist es oft schwierig, die Entstehungsursachen zu erkennen; doch wird man die erforderliche Vorsicht in der Beurteilung derselben um so leichter üben, je mehr man sich der verschiedenen Möglichkeiten, welche vorhanden sein können, bewußt ist.

Wir stellen daher im Folgenden die Seen nach den Ursachen der Bildung ihrer Becken in Kategorien zusammen, ohne daß jedoch ihre genetischen Beziehungen damit erschöpft sein dürften. [*1] Es ist klar, daß es von diesem Gesichtspunkt nicht wesentlich ist, ob das Becken noch von Wasser erfüllt, oder bereits in das Stadium eines „erloschenen Sees“ getreten, das heißt mit Sedimenten ausgefüllt sei.

[*1]: Ein Versuch zu einer derartigen genetischen Einteilung findet sich in Neumayer's Anleitung (1. Auflage S. 291 ff.). Nur wenig später und unabhängig davon gab Peschel eine Übersicht (Ausland 1875 und Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde, 3. Aufl. 1876 S. 165). Weit ausführlicher, und auf Grund sorgfältiger Literaturstudien wurde der Gegenstand von William M. Davis behandelt (in Proc. Boston Soc. Not. History vol. XXI., 1882). Der gegenwärtige Versuch ist eine Erweiterung des erstgenannten.

A. Einteilung der Seebecken.

Vertiefungen des Bodens, welche die Veranlassung zur Entstehung von Seen geben, können hervorgebracht werden:

- 1) durch gebirgsbildende Vorgänge, denen die aus dem Erdinneren wirkenden Kräfte zu Grunde liegen;
- 2) durch Einbrüche in Folge örtlicher Entziehung der Unterlage;
- 3) durch Aufwerfen eines Ringwalles mittelst explosiver Tätigkeit;
- 4) durch Ausräumung;
- 5) durch Abgliederung eines Teiles einer wassererfüllten Vertiefung;
- 6) durch Abdämmung eines fließenden Gewässers;
- 7) durch unebene Ablagerung. Wenn nun auch bei der Bildung der meisten Seebecken mehr als eine von diesen Ursachen mitgewirkt hat, so können wir doch, nach den Kategorien der letzteren, sieben Ordnungen von Seebecken unterscheiden und ihnen eine achte, in den Reliefformen der Kontinente beruhende hinzufügen. Wir beginnen mit den einfachsten Formen und schreiten zu den komplizierteren fort.

a) Schuttlandbecken.

[§115] Die Oberfläche des Schuttes ist häufig mit Unebenheiten besetzt. Ist jener locker und durchlässig, so kann alles auffallende Wasser im Boden versinken: findet letzteres ein Hindernis des Eindringens, so sammelt es sich. So lange es sich dann eine tiefe Abzugsrinne noch nicht geschaffen hat, sind in feuchten Ländern die Vertiefungen mit Seen erfüllt. Als regional verbreitete und wichtige Formen gehören hierher:

1. Glazialschutt-Seen. — Endmoräne und Grundmoräne bieten unebene Formen (§ 106). Da der Boden das Wasser schwer durchläßt, erfüllt dieses leicht die Vertiefungen, welche in verschiedenen Höhen liegen, und fließt von den höher gelegenen nach den tieferen Becken ab. Die ersteren erhalten wenig Zufluß und wenig Zufuhr von festen Stoffen; das abfließende Wasser hat daher geringe erodierende Kraft. In Folge dessen erhalten sie sich durch lange Zeit. Die tiefer gelegenen Becken werden von reichlicheren Strömen fließenden Wassers durchzogen, daher leicht durch Einspülung in Wiesen und Moore verwandelt. Diese aus der Ablagerung selbst

unmittelbar hervorgehenden Seen sind von den später zu erwähnenden, die auch noch an Glazialschutt gebunden sind, wohl zu unterscheiden.

2. Dünen-Seen. — In dem Sand der Dünen versinkt das Regenwasser. Aber die Eigentümlichkeit der Oberfläche des Grundwassers (§ 51, Fig. 7) bringt es mit sich, daß der Boden in einzelnen Einsenkungen beständig feucht erhalten wird und nicht allein eine reichere spontane Vegetation hervorbringt, sondern auch einen oasenartigen Anbau gestattet. Sind Dünen ganz mit Waldvegetation überkleidet und mit einer humusreichen Schicht äolischer Niederschläge (§ 218) bedeckt, so wird das Grundwasserniveau erhöht, und es können sich im Boden der Vertiefungen leichter als bei unbedeckten Dünen Ansammlungen stehender Gewässer bilden.

3. Korallenschutt-Seen. — Indem der Korallensand durch die vereinigte Wirkung von Meer und Wind landfest wird und durch Vegetation und kohlenstoffhaltiges Regenwasser zementiert wird, gewährt er ebenfalls die Erscheinung einer Oberfläche, die mit unregelmäßigen, zur Aufnahme kleiner Seen geeigneten Vertiefungen besetzt ist. Das Wasser findet aber durch die Verfestigung des Untergrundes weit günstigere Bedingungen zur Ansammlung als auf der Quarzsand-Düne. Auch greift die die Feuchtigkeit konservierende Vegetation viel leichter und schneller Platz. Korallen-Neuland, wie auf Florida, dürfte in dieser Hinsicht interessantes Beobachtungsmaterial bieten.

4. Überschwemmungsreste. — Die Alluvialländer der Ströme bieten trotz ihres im Allgemeinen ebenen Charakters hinreichende Höhenunterschiede dar, daß stagnierende Seen nach dem Rückzug des Wassers in den Hauptkanal auf ihnen Zurückbleiben können. Wenn sie, wie im nördlichen Teil der Großen Ebene von China, jahrelangen Bestand haben und sich über große Flächen ausbreiten, kann man sie als Marken für die Höhenverhältnisse benutzen.

Es gibt noch manche andere Arten von Schuttland, welches in den mit der Entstehung desselben unmittelbar verbundenen Vertiefungen der Oberfläche Seen trägt. Es genüge, an die Schuttmassen großer Bergabstürzungen und an die in solchem Boden eingesenkten schönen Seebecken bei Flims in Graubünden, zu erinnern.

b) Abdämmungsbecken.

[§116] Wird quer gegen ein Flußbett ein Damm aufgeworfen, so wird ein Becken gebildet, in welchem das Wasser zu einem See gestaut werden kann. Der Vorgang findet besonders in engen Gebirgstälern statt, weil hier die Agentien, welche Dammaufschüttungen hervorbringen können, am wirksamsten sind, und weil bei einem schmalen und tiefen Bett durch das gleiche Volumen der Aufschüttung ein größerer Effekt erzielt wird, als in einem breiten und flachen. Nach der Art der Abdämmung lassen sich unterscheiden:

5. Bergsturz-Seen, bei denen der Damm durch Abrutschung von den Gehängen plötzlich gebildet wurde, und welche selbstverständlich von den eben genannten Einsenkungen auf der Oberfläche des abgestürzten Schuttes zu unterscheiden sind?

6. Schuttkegel-Seen, welche durch das Vorschieben von Schutthalden von den entgegengesetzten Talwänden gegen die Talmitte, oder durch das Anwachsen eines Schuttkegels aus einer Seitenschlucht, quer gegen einen Talstrom, allmählich entstanden sind;

7. Eisdamm-Seen, durch den Gletscher eines Seitentales im Haupttal (oder umgekehrt) aufgestaut; die Moräne kann dem Wall Dauer verleihen;

8. Lavastrom-Seen, wo ein Fluß durch einen Lavastrom abgedämmt worden ist.

Bei diesen vier Kategorien, welche zahlreiche kleine, teils mit Wasser erfüllte, teils erloschene Talseen im Lauf der Gebirgsströme begreifen, ist die Aufmerksamkeit zunächst auf das Entstehungsmoment zu richten, sodann aber auf die Art der Ausfüllung und das Eingraben des Abzugskanals. Es wurde oben (§ 93) des Zusammenhanges dieser Art der Seebildung mit der Entstehung der Talstufen, und zwar der besonderen Form der Dammstufen, gedacht.

9. Endmoränen-Seen. — Dieser Kategorie wurden vor kurzer Zeit sehr viele Seen zugezählt, indem man annahm, daß durch die sich allmählich erhöhende Erdmoräne eines Gletschers das Schmelzwasser des letzteren zu einem See abgedämmt werden könne, der auch nach Verschwinden des Eises bestehen bleiben würde. Es kann jetzt in Frage gestellt werden, ob unter gewöhnlichen Umständen die bloße Aufschüttung dazu hinreichend ist; denn wenn ein Gebirgsgletscher sich zurückzieht, wird das Schmelzwasser den Durchbruch durch den emporwachsenden Wall fortdauernd offen erhalten. Bildet sich dennoch ein See, so wird es nicht ohne vorangegangene Aushöhlung des Bodens, im Sinn von § 111, geschehen. Ist hingegen die Erdmoräne auf flachem oder auf ansteigendem Grund abgelagert, wie es bei denjenigen der großen Gletscher der Glazialperiode häufig der Fall gewesen ist, so kann allerdings der Schuttwall die Schmelzwasser abdämmen und die Bildung eines sehr ausgedehnten, verhältnismäßig seichten Sees veranlassen.

10. Hochflut-Seen. — Hierher rechnen wir jene eigentümliche Gruppe von Seebecken, welche, wie der Tungting-See, im Bereich der Nebenflüsse eines großen Stromes liegen und durch Rückstauung der Gewässer derselben, zur Zeit des Hochwasserstandes im Hauptstrom; gebildet werden, um bei der Erniedrigung des Wasserstandes auf ein kleines Areal beschränkt zu werden oder gänzlich zu verschwinden. Aus der Erörterung des Vorganges in § 85 ergibt sich, daß das Wasser des Hauptstromes hier die Rolle des abdämmenden Walles übernimmt, allerdings nur zum Teil, indem es zur Füllung des Sees auch selbst beiträgt. Diese Arten von Seen geben zu vielfachen Beobachtungen Anlaß. Von Interesse ist besonders die Bildung der jährlichen Sedimentschicht und ihre Erosion durch die allmählich wieder in ihr Recht eintretenden Flußarme.

11. Beständige Seen der Nebenflüsse. — Im Gegensatz zu der eben angeführten periodischen Erscheinung, sowie zu den Seen der 6. Kategorie, wo der aus einem Seitental herauswachsende Schuttkegel den Hauptstrom aufdämmt, geschieht es häufig, daß der Hauptstrom sein Bett und seine Ufer mit Sedimenten erhöht, während die Zuflüsse dies nicht in gleichem Grad zu tun vermögen. Dann werden diese seeartig erweitert. In flachem Land wird dadurch der Hauptstrom auf eine kurze Strecke abgelenkt. Sind dagegen die Täler der Zuflüsse, wie es zwischen Galatz und der Donaumündung der Fall ist, in höherem Grund eingeschnitten, so bleiben die Seen bestehen. Geschieht die Rückstauung des Zuflusses bis zu einer Höhe, welche den niedrigsten Punkt seines Quellgebietes übersteigt, so wird der See über diesen seinen Abfluß nehmen und den letzteren so tief eingraben können, daß er beständig wird. Daß derselbe Vorgang in großem Maßstab selbst in Gebirgstälern durch sehr mächtige Geröllaufschüttungen stattfinden kann, hat Penck für den durch die Glazialschotter des Inntales in einem Seitental aufgestauten und nun über die ehemalige Wasserscheide des letzteren sich entleerenden Achensee bewiesen. Die sorgfältige Beobachtung dieses Vorganges und derjenigen Erscheinungen, welche ein ehemaliges Obwalten desselben erweisen, dürfte zur Erklärung mancher Phase in der Geschichte einzelner Ströme beitragen. Es kann geschehen, daß der Hauptstrom nach dem See des Zuflusses abgelenkt wird und ebenfalls über dessen frühere Wasserscheide seinen Lauf nimmt. Eine solche Stromablenkung kann beständig bleiben. In Gebirgen wird sie durch die auf S. 146 erwähnten Vorgänge unterstützt.

12. Stromlagunen. — So kann man die zu Seen abgegeschnürten Teile vormaliger Stromläufe bezeichnen. Sie sind charakteristisch für die Flachlandstrecken solcher Ströme, welche die Windungen ihres Laufes ohne das Hemmnis künstlicher Eindämmung häufig verlegen. Es sind meist flache Lagunen, von geringer Größe, länglich gestaltet und entlang einem ehemaligen Strombett aneinander gereiht. Der Nil unterhalb Ladö, der Mississippi, der Irawaddy, der Amur und die untere Donau geben Beispiele davon.

c) Abgliederungsbecken.

[§117] Teile von Meeresbuchten und Landseen werden nicht selten in gesonderte Becken verwandelt. Die Abschnürung kann durch die Tätigkeit des Meeres, durch das Aufwachsen von Korallenriffen und durch Niveauverschiebung geschehen.

13. Einschwemmungs-Seen. — Diese entsprechen der unter 6 angeführten Kategorie und bieten nur den Unterschied, daß es sich hier um die Abtrennung der Enden von stehenden Gewässern handelt. Bekannte Beispiele sind die Trennung des Sees von Verceja vom Corner See durch das Schuttland der Adda und das Fortschreiten einer ähnlichen Abtrennung im Lago Maggiore durch die Schwemmgebilde des Toce. Analog ist die seit Strabo's Zeit geschehene Absonderung des hinteren Teiles des Latmischen Golfes bei Milet durch die Landbildung, welche der Mäander verursacht hat, und das Fortschreiten desselben Vorganges im Golf von Smyrna durch den Damm, welchen der Hermos vorschiebt.

14. Küstenlagunen. — Das Vorschieben der Küstenwälle gehört zu den beständig wirkenden seebildenden Faktoren. Der Vorgang wird bei Darstellung der Arbeit des Meeres an den Küsten erörtert werden (§ 155 ff.). Es werden dadurch Buchten und Baien in Seen verwandelt, welche, falls ein größerer Strom hinein mündet, der Ausfüllung durch Deltabildung unterliegen. (§ 87). Abgesehen von der Struktur des Walles, seiner Höhe und Breite, den Öffnungen, welche er darbietet, dem Vorhandensein von Süßwasserströmen welche in den See münden, und den Arealverhältnissen des letzteren, ist die Beschaffenheit des Wassers zu untersuchen. Wo kein Fluß vorhanden ist, verrichtet das Meer die Arbeit allein und macht den Damm kontinuierlich. Es wird dadurch ein Salzwasserbecken abgetrennt, in welchem bei trockenem Klima eine vollkommene Eindampfung stattfinden kann, wie in den Chotts von Tunis. Ist der Damm durch eine tiefe Lücke unterbrochen, so wird durch eine Doppelströmung ein Austausch des Wassers in dem Meer und dem Becken vermittelt werden; ist die Lücke seicht, so wird der Verdunstungsverlust in dem Becken durch fortdauernden Zufluß von Salzwasser ersetzt, daher der Salzgehalt vermehrt und das Salz schließlich niedergeschlagen werden. Wo das Klima feucht ist und der See Süßwasserzufluß erhält, wird er als Durchgang für das letztere dienen und allmählich ausgesüßt werden, falls nicht ein beständiges Eindringen von Meerwasser einen brackischen Zustand erhält. Dadurch wird die Fauna beeinflusst werden. Brackwasserfaunen können zwar einen wechselnden Salzgehalt vertragen. Wenn aber in längeren Perioden Extreme des Salzgehaltes gewechselt haben, kann eine Fauna durch eine andere verdrängt worden sein. Überhaupt sind vielfache Modifikationen denkbar, deren genaues Studium für die Erklärung mancher geologischer Verhältnisse wichtig sein würde. Es handelt sich hier um kleine, in den Küstengebieten sich vollziehende Vorgänge, welche anderen, die in sehr großem Maßstab stattfinden und große Teile von Kontinenten betreffen können, analog sind. Dieselben sind in § 122 auseinandergesetzt.

15. Strandriff-Seen und

16. Atoll-Seen gehen aus der Verwandlung von Meeresteilen in abgetrennte Seen mittelst des Aufbaues von Dämmen durch die Tätigkeit riffbauender Korallen hervor. Sie werden an einer anderen Stelle (§ 181) zur Sprache kommen.

17. Fjordseen. — Dies sind Wasserbecken, welche die Stelle ehemaliger Fjorde einnehmen. Fjorde sind durch Erosion gebildet, und ihre Sohle lag einst über dem Meeresniveau (§ 113). Stieg letzteres an, während das Inlandeis seine Gletscherströme durch den Fjord herauspreßte, so waren die Bedingungen für die Bildung einer mächtigen Endmoräne an der Stelle, wo das Eis zum Schwimmen kam und sich vom Boden löste, gegeben. Derselbe Effekt mußte dort erzielt werden, wo eine warme Strömung der Küste entlang zog und das Abschmelzen der Gletscher an den Ausgängen der Fjorde verursachte. Die Grundmoräne konnte nur bis zu solchen Stellen vorgeschoben werden und mußte sich zu stetig wachsender Höhe erheben. Dies scheint die Erklärung für die Tatsache des seichten Ausganges der Fjorde zu sein. Fand eine rückgängige Oszillation in der Verschiebung der Strandlinie statt, so konnte der seichte Grund landfest werden, und der Gletscher, über seinen eigenen Schutt hinweggehend, Moränen auf dem trocken gelegten Meeresboden weit über die ehemaligen Küstenränder hinaus vorschieben. Zog das Meer sich weiter zurück, so blieben die Moränenwälle stehen. Schmolz dann das Eis, so wurden die tiefen Becken in Süßwasserseen verwandelt. Vorgänge dieser Art, bei denen sich jedoch manche Modifikation voraussetzen läßt, mögen der Bildung der langgestreckten Seen am Südfuß der Alpen zu Grunde liegen, deren morphographische Ähnlichkeit mit Fjorden von Oscar Peschel erkannt wurde. Doch sind sie in erster Linie zu Seen aufgestaute Quertäler, und es fehlt noch der Beweis, daß sie durch das Stadium von Meeresfjorden hindurchgegangen sind.

18. Reversionsseen. — Es ist neuerlich von Penck darauf hingewiesen worden, daß die Oberläufe kurzer Flüsse abgegliedert und in Reihen von Seen verwandelt werden können, wenn eine durch ihre Attraktion die Gefällrichtung bestimmende Masse, wie sie in der Glazialzeit durch das nordische Inlandeis gegeben war, entfernt wird, und die Gefällrichtung sich in Folge dessen an einzelnen Stellen umkehrt. Die Theorie, auf welche bereits in § 94 hingewiesen wurde, ist von ihrem Urheber auf die Wasserbecken der baltischen Seenplatte angewendet worden. Verdient sie nicht allein bei der weiteren Forschung über diese Gegenden, sondern auch bei der Untersuchung der Seebecken in Finnland, Lappland und Nord-Amerika volle Beachtung, so ist doch den besonders durch E. Geinitz erhobenen Einwendungen und der Erklärung der baltischen Seen durch Evorsion (Auswirbelung mittelst strömenden Wassers) Rechnung zu tragen.

d. Ausräumungsbecken.

[§118] Hierher gehören alle diejenigen Becken, bei denen eine Aushöhlung durch von außen wirkende Agentien angenommen werden muß. Sie stehen daher in direktem Gegensatz zu den vorhergehenden wie zu den nachfolgenden Kategorien. Nur in äußerst geringem Grad kann fließendes Wasser Becken bilden. Frei fallendes und in Wirbeln bewegtes Wasser vermag diese Wirkung durch eigene Kraft in losen Massen, und mit Hilfe von Scheuersteinen und Scheuersand in festem Gestein, hervorzubringen. Die kleinen Becken, welche es aushöhlt und von feineren Sedimenten frei hält, erscheinen nur als ganz lokale Erweiterungen und Vertiefungen des Flußbettes (s. SS. 147, 151, 169). Eis und Wind sind viel wirksamere Agentien.

19. Seen der glazialen Ausräumung. — Die Bildung von Becken mittelst des Hinwegräumens gelockerter Massen durch Gletschereis kann, wie in § 111 gezeigt wurde, in verschiedener Weise

vor sich gegangen sein. Erstens konnte die Entfernung der Produkte der säkularen Verwitterung in einer an Gesteinswechsel reichen Gegend unmittelbar eine an Einsenkungen reiche Oberfläche schaffen. Zweitens konnten an Stellen verstärkten Eisdruckes Becken in den Glazialschottern ausgehöhlt werden. Dies sind reine Glazialausräumungs-Becken. Drittens konnten ehemalige Seebecken, deren Wasser durch Sedimente verdrängt war, von diesen befreit und in Seebecken rückverwandelt werden, wie de Mortillet für die Schweizer Seen angenommen hatte. Diese können der gegenwärtigen Kategorie nicht zugerechnet werden; denn die Beckenbildung beruhte bei ihnen auf anderen Vorgängen; die Ausräumung war ein sekundärer Prozeß, der allerdings die wichtige Tatsache der jetzigen Wasserausfüllung veranlaßte. — Neben den in § 111 genannten Beispielen gehören in diese Abteilung wahrscheinlich viele unter den in ehemals vergletscherten Ländern gelegenen großen Seen, bei denen man wegen der Schuttumhüllung geneigt gewesen ist, den Ursprung durch Absperrung mittelst Moränenanhäufung anzunehmen. Die großen Wasserbecken der Seenplatte in Nord-Amerika, sowie die kleineren in Patagonien, sind darauf zu untersuchen. Auch dort wo Alluvialflächen an die Stelle von Seen getreten sind, können Indizien für den gleichen Ursprung der Becken vorhanden sein.

20. Seen der glazialen Korrasion. — Das Ausschleifen von Becken in festem Gestein ist oben (§ 112) erörtert worden. Als ein Gegenstand sehr entgegengesetzter Ansichten ist dieses besonders zu untersuchen.

21. Seen glazialer Rotation. — Von den durch einfaches Vorschieben der Gletscher an Stellen verstärkten Eisdruckes gebildeten Becken können die runden Kessel unterschieden werden, welche, wie es oben (§ 112) als wahrscheinlich bezeichnet wurde, durch eine den Wasserwirbeln entsprechende Bewegung des Eises ausgedreht werden.

22. Äolische Ausräumung. — Die Produkte der säkularen Zersetzung können an solchen Stellen, wo die Vegetation durch Eintreten eines stark kontinentalen Klimas erstirbt, durch die Kraft des Windes entführt werden. Pumpelly, welcher dies zuerst andeutete, fand in der Mongolei die Gestalten der durch den Wind ihrer Verwitterungsdecke entkleideten Felsmassen so wie die Theorie (§ 48) es erfordern würde. Der Wechsel eingesenkter und hervorragender Teile des Bodens zeigt sich unabhängig von der Härte der Gesteine, aber abhängig von dem Grad in welchem sie der Verwitterung nachzugeben oder zu widerstehen vermochten. Vielgestaltige abflußlose Becken sind entstanden, in denen wegen des trockenen Klimas nur vereinzelt ein Salzsee anzutreffen ist. Reichere Niederschläge würden sofort einen Reichtum an Seen schaffen, die allerdings größtenteils schnell von Sedimenten ausgefüllt werden würden. Die Stichhaltigkeit der Theorie sollte auch für andere abflußlose Gegenden geprüft werden.

e. Explosionsbecken.

[§119] Der Ausräumung eines Beckens von oben steht diametral gegenüber die Ausräumung durch Kräfte von unten. Theoretisch ist die Bildung eines Beckens durch eine Explosion, deren Sitz unter der Erdoberfläche ist, und welche durch die momentane Verwandlung überhitzten Wassers in Dampf in Folge plötzlicher Druckverminderung oder durch andere explosive Vorgänge verursacht werden kann, unanfechtbar. Angenommen wurde sie für gewisse, in vulkanischen Gegenden vorkommende Becken, die sogenannten Maare. Doch scheint es, daß bei

Diesen zwei Formen zu unterscheiden sind. Zu der einen gehören diejenigen Becken, an deren Rand kein Auswurfstoff wahrzunehmen ist; wir rechnen sie zu den Einbruchsbecken. Der anderen sind diejenigen Becken zuzuweisen, bei denen ausgeworfenes Gestein rings um den Rand angeordnet ist. Da sie sich nur in vulkanischen Gegenden finden, und die Auswurfstoffe wenigstens zum Teil aus vulkanischem Gestein bestehen, so kann man sie als embryonale Krater betrachten, die sich nur graduell von den Hochgipfel-Krater unterscheiden. Beiden liegt die explosive Tätigkeit zu Grunde. Im ersten Fall ist die Kesselbildung durch Ausräumung die Hauptwirkung, die Circumvallation des Kessels die sekundäre; im zweiten ist das Aufwerfen des Schuttkegels durch explosive Tätigkeit die Hauptsache, aber der Kraterkessel bleibt in Folge derselben Tätigkeit bestehen. Wir unterscheiden daher als zwei nicht dem Wesen nach, aber in der äußeren Erscheinung wesentlich verschiedene Endformen:

23. Explosionsseen und

24. Kraterseen.

Die Kraterseen erfüllen die Krater ehemals tätig gewesener Vulkane; die Explosionsseen sind runde Becken, die meist in dem Scheitel eines sehr flachen Kegels von Auswürflingen eingesenkt sind. Es ist stets darauf zu achten, ob das Grundgestein anstehend am Boden, oder in Fragmenten unter den Auswürflingen zu beobachten ist.

f. Einbruchsbecken.

[§120] Wenn einem Stück Festland die Unterlage entzogen wird, so sinkt dasselbe nach, und es entsteht ein Becken. Die Ursachen sind wahrscheinlich mannigfaltiger als sie sich gegenwärtig erkennen lassen. Soweit Letzteres der Fall ist, kann man die Abkühlung örtlich auftretender erhitzter Massen und die Auflösung des Gesteins als die am häufigsten vorkommenden Veranlassungen hinstellen.

25. Vulkanische Einsturz-Seen. — Wenn aufgestiegene Lavamassen erkalten, so schrumpfen sie. Da dies besonders in dem Inneren von Vulkanen, welche tätig gewesen sind, und wahrscheinlich auch in ihrem Unterbau geschieht, so wird leicht in der zentralen Masse des Vulkans ein Einbruch stattfinden. Dieser Vorgang scheint den ringförmigen Umwallungen der zusammengesetzten Vulkane (§ 249 d) in den meisten Fällen zu Grunde zu liegen. Gewöhnlich steigt aus der Mitte der Umwallung ein neuer Schlackenkegel auf. Sammelt sich innerhalb jener das Wasser zu einem See, so erhält dieser eine mehr oder weniger runde Gestalt, und in der Mitte ragt eine vulkanische Insel auf. Das größte Beispiel dieser Art ist der Vulkan de Taal auf der Insel Luzon.

Wahrscheinlich wirkt auch bei den Explosionsseen der Einbruch zuweilen formgebend mit. Außerdem dürften andere Formen von Seen in vulkanischen Ländern auf Einbruch in Folge der unterirdischen Erkaltung von erhitzten Massen zurückzuführen sein, so die große Laguna de Bay auf Luzon.

26. Auslaugungs-Seen. — Wo große Massen von Steinsalz, Gips oder Kalkstein durch absteigende Gewässer oder aufsteigende Quellen in Lösung entführt werden, findet ebenfalls Einbruch statt. Am verbreitetsten tritt das Phänomen im Kalksteingebirge auf. Die Seen und Dolinen des Karst gehören vielleicht ganz, wenigstens aber zum größten Teil, hierher. Ein See vermag

nur zu bestehen, wo tonige Schichten, die als Residuum bei der Auflösung zurückgeblieben sein können, eine undurchlässige Unterlage bilden. Daher sind im Kalkgebirge Kessel ohne Seeausfüllung häufiger. Auch die merkwürdigen Ringbecken zu beiden Seiten des Pindus sind auf den angegebenen Ursprung zu prüfen, gleichviel ob sie schon ganz mit Einschwemmungen ausgefüllt seien oder noch zum Teil Seen beherbergen. Manche jäh und tief eingesenkte, weder auf glaziale Tätigkeit, noch auf tektonische Bewegungen zurückzuführende Seen in Hochgebirgen dürften ebenfalls der Auslaugung ihre Entstehung verdanken; so z. B. der Hallstätter See, der Königssee und andere Seen der Salzburger Alpen, wo der Reichtum an Steinsalzlagerstätten, in Verbindung mit der Art des Vorkommens und der Gestalt, die Vermutung nahe legt. Für einzelne Gebirgsseen der Nordalpen ist der Beweis dieses Ursprungs schon beinahe endgültig erbracht. Bei Gips- und Steinsalz-Körpern wird es wesentlich darauf ankommen, ob während der Gebirgsbildung ihre tonige, die Angriffe des Wassers abhaltende Hülle unverletzt blieb, oder ob sie durch deren Zerreißung den lösenden Agentien zugänglich gemacht wurden.

In Verbindung hiermit mag erwähnt werden, daß wahrscheinlich auch die Aufblähung des Erdbodens, also derjenige mechanische Effekt, welcher dem der Lösung entgegengesetzt ist, zur Entstehung von Becken Anlaß geben kann. Die Bildung von Hydraten, insbesondere die Umwandlung von Anhydrit in Gips, das Stauchen weicher Massen durch Druck, wie man sie in kleinem Maßstab beim Bergbau und bei der Belastung durch Bauwerke beobachtet, können hierbei wirksam sein.

27. Versenkungs-Seen. — Ein Einbruch anderer Art, der mehr ein Gleiten ist, entsteht durch das Nachsinken oder Nachsacken durchfeuchteter Sedimente. Der Vorgang ist am häufigsten in neueren Alluvialbildungen, besonders bei Deltas zu beobachten. Größere Beispiele gewähren der Zuidersees und der Rann of Catch in Indien. Der Effekt auf die innere Struktur der Sedimente ist bei den Tertiärbildungen bei Wien nachgewiesen worden; er ist dort einer Staffelferwerfung (Cap. XV) ähnlich. Seen dieser Art sind wichtig, weil sie sich am meisten in reichen Kulturländern bilden, und ihre Entstehung verhängnisvoll sein kann.

g. Tektonische Becken.

[§121] Mit diesem Namen lassen sich alle diejenigen Becken bezeichnen, welche durch tektonische Vorgänge, also durch Bewegungen in der Erdrinde, entstanden sind und in einem erkennbaren ursächlichen Zusammenhang mit dem inneren Gebirgsbau stehen. Verwerfung, Faltung und Überschiebung sind die drei wesentlichen Formen dieser Vorgänge. Große Unebenheiten des Bodens wurden durch sie geschaffen. Ob aber die Vertiefungen zur Aufnahme von Seen dienen konnten, wird in jedem einzelnen Fall von ihrer Gestalt und dem Verhältnis, in welchem das Zeitmaß der fortschreitenden Dislokation zu der allmählichen Ausfüllung durch Sedimente stand, abhängig gewesen sein. Bei Regenarmut oder gleichförmiger Verteilung geringer Niederschläge und bei Mangel an größeren Flüssen konnten beckenförmige Hohlräume leichter Bestand behalten, als wo sie von wasserreichen, periodisch stark geschwellten Strömen durchzogen wurden. Theoretisch kann man Verwerfungsbecken und Faltungsbecken als allgemeinste Kategorien unterscheiden. Es ist jedoch in Faltungsgebirgen schwer, beide von einander zu trennen.

28. Longitudinale Faltungsseen. — Die Längstäler der Faltungsgebirge sind zum Teil ein Resultat gebirgsbildender Vorgänge. Um aber im einzelnen Fall zu entscheiden, ob Seen, welche in trogförmigen Mulden oder anderen longitudinalen Hohlformen gelegen sind, in der Gebirgsfaltung

ihre primäre Ursache haben, muß der gesamte Gebirgsbau genau bekannt sein. Dasselbe gilt von den durch Überschiebung verursachten Hohlformen.

29. Transversale Faltungsseen. — Diese entstehen, indem eine Querfurche durch eine sich ihr entgegenstellende Längsfalte abgedämmt wird. Da die Querfurche in der Regel durch den ersten Wasserabfluss gebildet worden ist, müssen diese Seen sich während der Geschichte eines jeden Faltungsgebirges oftmals gebildet haben (s. §§ 88, 89). In den höheren Gebirgstteilen werden sie meistens schon längst verschwunden sein; man wird sie in den niederen Gebirgsstufen zu suchen haben. Rüttimeyer, Heim und Andere haben den angedeuteten Ursprung für mehrere große Seen am Nordrand der Schweizer Alpen zu erweisen gesucht; auch ist er von Einigen als wahrscheinlich für die großen oberitalischen Alpenseen angenommen worden.

30. Schichtverwerfungs-Seen. — Die in Faltungsgebirgen gelegenen Seen, von Längs- und Quer- richtung, welche auf Verwerfung der Schichten beruhen, sind von den durch Faltung entstandenen selten genau zu unterscheiden, wie ja überhaupt beide Vorgänge in engstem Zusammen- hang stehen.

31. Gebirgsbruch-Seen. — Die großen Dislokationen, welche die Gestalt ausgedehnter Gebiete verändern, werden später (Cap. XV) betrachtet werden. Wird dadurch ein Gebirge quer durch- brochen und ein Teil versenkt, so kann der Raum von einem Becken eingenommen werden, in welchem, wenn nicht das Meer Zugang hat, ein Binnensee sich bildet. Von dieser Art ist das südliche Becken des Kaspischen Meeres, welches ein Bruchbecken zwischen Kaukasus, Kopet- Dagh und Alburz ist. Denselben Effekt hat der grabenartige oder einseitige Einbruch einer Tafel- scholle. Hierher gehört das Becken des Toten Meeres; vielleicht auch dasjenige des Baikal. Das ausgezeichnetste Beispiel aus früherer Zeit ist der große See des Rheintales oberhalb Bingen. In solchen Fällen ist das zu beobachten, was für derartige Bruchbecken überhaupt gilt.

Regionale Verwerfungen und Flexuren von geringerer Amplitude (und daher schwer zu beob- achten) dürften, wenn sie quer gegen die Richtung eines Stromes gerichtet waren, nicht selten zur Abdämmung eines ausgedehnten Wasserbeckens Veranlassung gegeben haben. Für die gro- ßen Seen Nord-Amerikas ist in dieser Beziehung die Beobachtung noch nicht abgeschlossen. In manchen Fällen ist an die Stelle solcher Wasserbecken Flachland getreten. Es dürfte z. B. bei dem Nil zu untersuchen sein, ob nicht das Flachland, welches mit der Ablenkung des Laufes an 'der Einmündung des Gazellenflusses sein nördliches Ende erreicht, durch eine von West nach Ost gerichtete, mit Absenkung des Südflügels verbundene Verwerfung verursacht worden ist.

h. Becken der kontinentalen Gliederung.

[§122] Etwas anders als die Frage nach der Entstehung jedes einzelnen kleineren, mit einem See erfüllten Beckens gestaltet sich die Betrachtung der ausgedehnten Hohlformen der Kontinental- gebiete, wenn sie sich auch nur nach dem Grad und nicht nach dem Wesen von manchen der kleineren Becken unterscheiden. Die Basis für die horizontale und vertikale Gliederung der Kon- tinente ist die gegenwärtige Begrenzung von Meer und Land, das heißt der jetzige Stand des Meeresspiegels. Durch Änderungen desselben sind dem Binnenland Depressionen des ehemali- gen Meeresbodens einverleibt. Außerdem können sich im Inneren der Kontinente durch die gro- ßen Bewegungen der Erdkruste, wenn man von den lokalisierten Verschiebungen innerhalb ein- zelner Gebirge oder eng begrenzter Gebiete absieht, weite Einsenkungen ausbilden, nach denen die Gewässer hinab-fließen. Beiderlei Erscheinungen hängen häufig mit einander zusammen, indem eine dem Festland hinzugefügte Depression des Meeresbodens weitere, die Austiefung

befördernde Umgestaltungen erfahren haben kann. Daher lassen sich die allgemeinen Ursachen der Entstehung praktisch nicht von einander trennen. Von theoretischem Gesichtspunkt aber erscheint es zweckmäßig, die Sonderung der beiden Kategorien aufrecht zu erhalten. Sie sind indes den vorhergehenden nicht als gleichwertige Typen anzureihen, da sie nach Gestalt und Entstehungsursachen ungleich umfassender sind und oftmals mit dem einen oder dem anderen von jenen zusammenfallen.

1. Binnenländische Meeresreste. — Wird durch Rückzug des Meeres oder durch Hebungsvorgänge ein unebener Teil des Meeresbodens in Festland verwandelt, so bleiben die großen Depressionen, ebenso wie die kleinen Vertiefungen, mit Salzwasser erfüllt, bis dieses entweder verdunstet, oder durch einen sich allmählich eingrabenden Kanal abgezogen, oder durch Sedimente verdrängt worden ist. Die Meeresfauna bleibt zurück und wird durch Vermehrung oder Verminderung des Salzgehaltes verändert; einzelne Formen sterben aus, andere vertragen einen größeren Wechsel, sehr wenige überdauern eine vollkommene Aussüßung, alle gehen bei starker Eindampfung zu Grunde. Die Änderungen, welche zu einer Individualisierung des abgetrennten Teiles führen, beginnen unmittelbar nachdem sich die Loslösung vollzogen hat. Die verschiedenen Bedingungen, welche dadurch veranlaßt werden können, mögen hier noch besonders erörtert werden.

a. Ein Verbindungskanal mit dem Meer bleibt bestehen, hinreichend tief, um den abgetrennten Teil in gleichem Niveau mit diesem zu erhalten. Übersteigt dann in ersterem der Süßwasserzufluß die Verdunstung, so findet ein Abströmen des Wassers nach dem Meere statt; falls der Kanal tief ist, entsteht gleichzeitig eine geringere Unterströmung von dem Meer nach dem Binnenbecken hin. Der Salzgehalt verringert sich, aber eine völlige Aussüßung tritt nicht ein. Dies ist der Fall des Azow'schen Meeres im Verhältnis zum Schwarzen Meer, des Schwarzen im Verhältnis zum Ägäischen Meer, der Ostsee im Verhältnis zur Nordsee. Überwiegt hingegen in dem abgetrennten Raum, wie im Mittelmeer und Rothen Meer, die Verdunstung, so steigt mit dem Salzgehalt das spezifische Gewicht des Wassers. Es fließt, wenn der Kanal hinreichend tief ist, in einem Unterstrom ab, während ein stärkerer Oberstrom vom Ozean her den doppelten Verlust zu ersetzen strebt. Ist der Kanal seicht, wie am Karabugas-Busen an der Ostküste des Kaspischen Meeres, so findet nur ein Zuströmen statt. Die Konzentrierung des Salzgehaltes kann dann zur Aussonderung der Meeressalze, zunächst des Gipses, und dann des Steinsalzes, führen. Die Entstehung großer Steinsalzlager wird in dieser Weise erklärt. Die Bedingungen des Wasserzuflusses durch festländische Ströme oder vom Ozean (resp. von den größeren Becken) her, daher auch diejenigen der Verminderung und Vermehrung des Salzgehaltes, können mehrfach gewechselt haben. Dies kann, soweit vorgeschichtliche Zeiten in Betracht kommen, nur an der Hand sorgfältiger Untersuchung der Ablagerungen und ihres Gehaltes einerseits an organischen Einschlüssen, andererseits an Salzen, nachgewiesen werden.

b. Der zweite Fall besteht darin, daß das Becken durch Niveauschwankung gänzlich vom Meer abgetrennt wird, aber in Folge des Überwiegens der Niederschläge über die Verdunstung ein dauernder Abfluß nach dem Meer bestehen bleibt. Der See wird alsdann vollständig ausgesüßt und kann in Folge fernerer Änderungen hoch über dem Meer und weit in dem Inneren des Festlandes zu liegen kommen. Einzelne Formen der Meeresorganismen vermögen, wie gesagt, einen solchen Wechsel der Lebensbedingungen zu überdauern, erfahren aber in der Regel dabei eine Umgestaltung. Insofern sie Überreste einer ehemals marinen Fauna und Flora darstellen, hat man solche Wasserbecken als Reliktenseen bezeichnet. Wenn nun aber die Verwandtschaft lacustriner Organismen mit marinen Formen ganz allgemein als Beweis dafür angesehen worden ist, daß die Seen, in welchen man erstere fand, in einer nicht weit zurückliegenden Zeit mit dem

Meer zusammenhängen, und wenn man daraus ein Hauptmotiv für die Einteilung der Seen hergeleitet hat, so scheint aus den Untersuchungen von R. Credner hervorzugehen, daß man die gedachte Schlußfolgerung nur mit großer Vorsicht ziehen darf; denn Derselbe hat zu zeigen gesucht, daß Bestandteile einer Meeresfauna auch auf Flüssen und vielleicht auf anderen, noch nicht genau bekannten Wegen in einen See gelangen konnten. Ein sicherer Beweis dafür, daß ein Seebecken ein festländisch gewordener Teil früheren Meeresbodens ist und von dorthier Wasseranfüllung und Fauna bewahrt hat, kann nur aus den fossilen Überresten der Salzwasserfauna in den Eingebungen des Sees hergeleitet werden.

c) Wenn in einem abgetrennten Becken die Verdunstung grösser ist als der Zufluß, so wird die Verbindung mit dem Ozean aufgehoben. Mit der Wasserhöhe verringert sich die Wasserfläche, daher auch die Verdunstungsfläche, bis bei einem bestimmten Wasserstand Zufluß und Verdunstung sich im Gleichgewicht befinden. Selbstverständlich ändert sich dieser Stand mit den geringsten klimatischen Schwankungen in negativem oder positivem Sinn. Verringerung der Niederschläge vermindert den Zufluß und erhöht in der Regel die Verdunstung; Vermehrung der ersteren hat nach beiden Richtungen den entgegengesetzten Effekt zur Folge. Wenn das in einer festländisch gewordenen Depression des Meeresbodens zurückgebliebene Wasser Anfangs bei mildem Klima noch Abfluß hatte und ausgesüßt wurde, so kann später, wenn das Klima einen mehr kontinentalen Charakter annahm und der Abfluß aufhörte, die Konzentration in Folge der Eindampfung begonnen haben. Beides scheint in der angegebenen Reihenfolge, wie zuerst Puschel gezeigt hat, bei dem Kaspischen Meer der Fall gewesen zu sein. Hatte hingegen schon seit der ersten Lostrennung vom Meer ein Abfluß nicht stattgefunden, so kann durch Vermehrung oder Verminderung des Zuflusses von Hochgebirgen, durch Wechsel in der Menge der jährlichen Verdunstung, durch Änderungen im Lauf der Ströme, durch Verlegung der Wasserscheiden und dadurch sich vollziehende Einengung oder Erweiterung der Stromgebiete, durch periodische Aufspeicherung der Niederschläge in Gestalt von Eis und dessen Abschmelzung in einer nachfolgenden Zeit, und durch manche andere Umstände der Gleichgewichtszustand im Gewinn- und Verlust-Conto des Sees bedeutenden Schwankungen unterworfen gewesen sein, die sich nach einer Richtung zu völligem Eindampfen, nach der anderen zu einem Überströmen und der zeitweiligen Herstellung eines Abflusses steigern konnten. Die Geschichte solcher Vorgänge läßt sich zuweilen deutlich verfolgen (s. § 91, 132).

Die Beobachtungen über die hier auseinandergesetzten Erscheinungen müssen, um zu sicheren Ergebnissen zu führen, meist über weite Länderflächen ausgedehnt werden. Aber der aufmerksame Reisende kann Tatsachen entdecken, welche geringfügig erscheinen, und doch den Schlüssel für gewisse Hauptmomente in der Entwicklungsgeschichte einzelner Seen und großer zentraler Becken in sich bergen. Wenn beispielsweise in der mittleren Tertiärzeit ein mit großen eingesenkten Becken besetzter Meeresboden trocken gelegt wurde und seitdem kontinentalen klimatischen Charakter behielt, so wird in vielen Fällen die Beckenform gewahrt geblieben sein, weil die Flüsse nicht Kraft genug hatten, den Hohlraum mit Sedimenten auszufüllen, und die subaerischen Aufschüttungen in den zentralen und trockensten Teilen großer Becken geringer sind als an den Rändern. Die alten Meeressalze werden neben einer großen Masse neu hinzugeführter Salze, die Ablagerungen des früheren Meeresbodens in mannigfacher Umlagerung neben neuen fluviatilen und äolischen Sedimenten fortbestehen. Es können vielfache tektonische Umgestaltungen, Ausbrüche vulkanischer Gesteine und andere Veränderungen sich ereignet haben: immer werden wir doch in den Salzseen der Jetztzeit in gewisser Weise einen Überrest eines ehemals durch negative Strandverschiebung abgetrennten Meeresteiles erkennen. Das aralokaspische Becken bietet ein sicheres Beispiel dieser Art aus kurz vergangener Zeit. Mit großer Wahrscheinlichkeit sind höher gelegene Teile der abflußlosen Gebiete Asiens, wie die

dsungarische Mulde, das Tarym-Becken und der mittlere Teil des eranischen Hochlandes, ebenfalls in ihrem Charakter noch zum großen Teil durch die ehemalige Anwesenheit des Meeres beeinflußt, so sehr auch andere Agentien bei der Entstehung derjenigen Gebilde, welche hier die herrschende Rolle spielen, beteiligt gewesen sind. Gleiches gilt von dem als Great Basin bezeichneten, zwischen Felsengebirge und Sierra Nevada gelegenen Teil von Nord-Amerika, einigen Gebieten in Süd-Amerika und größeren Strecken von Afrika und Australien. Während hier der marine Charakter der ausgetrockneten Meeresboden noch bis zu einem gewissen Grade gewahrt ist, sind andere Gebiete, welche von abgetrennten Meeresteilen bedeckt waren, wie das austropannonische Becken, bei der Trockenlegung zum größten Teil ausgelaugt worden und jetzt von großen, in das Meer mündenden Flüssen durchzogen. Die ausgezeichneten Untersuchungen österreichischer und ungarischer Geologen über das letztere können als Muster für die Erforschung der Entwicklungsstadien dienen, welche ein solches Becken durchlaufen hat, ehe es seine heutige Gestalt enthielt.

[§123] 2. Zentralbecken der Kontinente. Wenn es auch für viele der großen, seenreichen Hohlformen im Inneren der Kontinente wahrscheinlich ist, daß sie als mit Meerwasser erfüllte Vertiefungen bestanden, als der betreffende Teil der Erdoberfläche zum letzten Mal aus dem Ozean auftauchte, so gilt dies doch jedenfalls nicht für alle; und auch wo es der Fall war, ist die Form der Depressionen durch spätere, den Grundbau der Kontinente umgestaltende Vorgänge bedeutend beeinflußt worden. Man kann daher ohne Rücksichtnahme auf den Gesichtspunkt ihrer früheren Ausfüllung mit Meerwasser die Depressionen einfach als Formgebilde betrachten. Die Formen ergeben sich aus der Gesamtgestaltung der Umgebungen. Je nach dem Einfluß, welchen diese ausüben, lassen sich drei Unterkategorien unterscheiden:

a) Depressionen auf Hochflächen, die nicht von hohen Gebirgskämmen überragt werden, behalten ihre Wasserausfüllung sehr vollkommen, weil die Gewässer geringe Transportkraft haben und ihnen wenig Material geliefert wird. Günstig für die Seenbildung wirkt Regenreichtum in gleichmäßiger Verteilung, da er auf Hochflächen die vor Zerstörung schützende Vegetationsdecke in höherem Maße als die Erosion befördert und die Hinzuführung äolischer Sedimente nur in geringem Grad gestattet. Diese Bedingungen vereinigen sich in der Region der großen Seen des äquatorialen Ost-Afrika, ebenso wie in dem nord-amerikanischen Seengebiet. Wo ähnlich gestaltete Gebiete trocken sind, oder auch nur eine ganz trockene Jahreszeit haben, finden sich keine großen Seen. Die Wasserarmut allein reicht zur Erklärung nicht hin, da sie auch dem brasilianischen Bergland fehlen. Die Ursache ist vielleicht in dem periodischen Niederfallen sehr starker Regengüsse, welche einen Massentransport von Schutt veranlassen, und in der bedeutenden äolischen Umlagerung zu suchen. Dies gilt für die Hochflächen von Atacama, für diejenigen von Texas, für Arabien und andere Gegenden. In solchen Gegenden ist die Untersuchung auf das ehemalige Vorhandensein großer Seen zu richten.

b) Depressionen zwischen Hochlandgebieten. Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse in Gegenden, wo bedeutende Höhendifferenzen stattfinden, und ein kontinentales Becken entweder auf mehreren Seiten durch mächtige Bodenschwellungen umwallt ist, oder auch nur auf einer Seite von ihnen überragt wird, indem das von denselben herabfließende Wasser alsdann eine hohe Transportkraft hat. Auch in diesem Fall ist das Klima von großem Einfluß; aber seine Wirkung ist derjenigen, welche es im vorigen Fall hat, genau entgegengesetzt. Sind die Niederschläge reichlich, so ist gewöhnlich ein in der kontinentalen Gliederung beruhender See nicht vorhanden. Denn seit der ersten Existenz der Depression, und durch alle Phasen ihrer Änderungen hindurch, mußte die Tendenz der Gewässer dahin gerichtet sein, dieselbe bis zu dem Niveau des Abflusses angefüllt zu erhalten, gleichzeitig aber diesen allmählich tiefer zu legen und von

den Seiten her die Depression mit Sedimenten auszufüllen. Gegenwärtig befinden sich alle derartige Binnenlandbecken in dem Stadium gänzlicher Verlandung. Sie werden von reich entwickelten Stromsystemen durchzogen. Es gehören hierher viele der großen eingesenkten Flachlandstrecken des Binnenlandes.

c) Gänzlich verschieden ist das Schicksal der von Gebirgen umwallten kontinentalen Hohlformen in Gegenden mit geringeren Regenfall. Die ehemalige Wasserausfüllung, gleichviel ob sie ein Meeresrest war oder von Niederschlägen herrührte, mußte einschrumpfen. Die Gebirge und ihre Abfälle hüllten sich in ihren eigenen Schutt; äolische Sedimente bedeckten das Land, so weit die Vegetation reichte. Sowohl die Salze des eingedampften Binnenmeeres, falls ein solches vorhanden war, als diejenigen, welche aus der Verwitterung hervorgingen, blieben innerhalb des Beckens selbst. Es wurden öde und einförmige Gegenden geschaffen. Aber während im vorhergehenden Fall, wo reichliche Niederschläge stattfinden, die Seen der kontinentalen Gliederung fehlen, sind sie für die trockenen Zentralbecken ein Hauptcharakterzug. Es sind meist salzige Wasserbecken, welche die tiefsten Teile sowohl der im Gebirgsbau beruhenden, als der durch die ungleiche Sedimentanhäufung veranlaßten Senken einnehmen. Nur die von den Flüssen durchströmten Seen sind nicht salzig. Hierfür ist das große Salzseebecken (Great Basin) zwischen Sierra Nevada und Rocky Mountains das lehrreichste Beispiel. Seespiegel finden sich dort ebenso unter dem Meeresniveau, wie einige tausend Fuß darüber. Ähnlich sind die Verhältnisse in Zentral-Asien, wo die hierhergehörigen Becken von der Zentralkette des Himalaya im Süden bis zum Altai im Norden, und von den Pamir-Hochflächen bis zur Mantschurei in Höhen von 600 bis über 6000 Meter verteilt sind; ferner auf dem eranischen Hochland, in Klein-Asien, im Inneren Australiens und im westlichen Argentinien.

B. Regionale Gruppierung der Seen.

[§124] Wenn man die Landkarte überblickt, so zeigt es sich, daß die Seen in der Regel gesellig auftreten, indem einzelne Landstriche entweder durch wenige große oder durch zahlreiche kleine Seen charakterisiert sind, während andere frei davon sind, und selbst ein ganzer Kontinent, wie Süd-Amerika, wenn man die Südspitze abrechnet, die äußerste Armut an Seen aufweist. Gering ist die Zahl der Seen, welche ganz isoliert auftreten.

Es lassen sich also See-Regionen unterscheiden. Da nun jeder Erdraum überhaupt sich durch eine gewisse, über große Strecken annähernd gleichbleibende Summierung von äußeren Formen, inneren Bestandmassen, inneren Strukturverhältnissen und klimatischen Faktoren, das heißt äußerlich gestaltenden Agentien, auszeichnet, so wird auch in jedem durch Seen bezeichneten Erdraum eine gewisse Anzahl derjenigen Bedingungen vorhanden sein, unter welchen sich Seen bilden, während gewisse andere Bedingungen ausgeschlossen sein werden. Es muß zwar jedes Seebecken für sich betrachtet und erforscht werden, um die Ursachen seiner Existenz zu erkennen; aber es wird doch die Einsicht in die gemeinsamen Eigentümlichkeiten, ebenso wie in die gemeinsamen negativen Merkmale der ganzen Seeregion der Untersuchung zur Stütze dienen, da sie ihr für jede einzelne Gegend bestimmte Wege anweist und andere Wege ausschließt. Es dürfte von diesem Gesichtspunkte nicht überflüssig sein, einen Überblick über die hauptsächlichsten Formen der Gruppierung der Seen auf der Erde zu gewinnen. Wenn indes der Reisende zum Verständnis einer Gegend beitragen kann, indem er seine Aufmerksamkeit den die Existenz der Seen zu Grunde liegenden Merkmalen zuwendet, so wird er ebenso in anderen Erdräumen solche Faktoren berücksichtigen müssen, welche ihr entgegen wirken. Dieselben können entweder in der Abwesenheit derjenigen Bedingungen beruhen, welche Seebecken schaffen, oder in

dem Vorhandensein solcher, welche eine schnelle Ausfüllung mit Sedimenten verursachten. Es wird daher, um eine ausreichende Basis für die Vergleichung zu gewinnen, die Beobachtung erloschener Seen stets erforderlich sein.

Man kann die folgenden Typen von Seeregionen unterscheiden:

[§125] 1. Regionen der Küstenseen. — Große Küstenstrecken sind frei von Seen; andere sind dicht damit besetzt. Es können jedoch hier nur diejenigen Seen in Betracht kommen, deren Existenz mit der Tatsache des Aneinandergrenzens von Meer und Land ursächlich zusammenhängt. Man kann leicht erkennen, daß sie zum Teil ohne Strandverschiebung gebildet, zum Teil auf einem erst jüngst vom Meer verlassenen Küstenland gelegen sind. Zu den ersteren gehören diejenigen Seen, welche durch Küstenwälle (Nr. 14 der vorhergehenden Übersicht), oder durch Einschwemmung von Fluß-Sedimenten (13), oder durch Strandriffe (15) und Atollringe (16) vom Meere abgetrennt wurden, ebenso wie diejenigen, welche Vertiefungen in Küstenschuttland, seien es Dünen von Quarzsand (2) oder von Korallensand (3), ausfüllen. Das gesellige Vorhandensein dieser Arten von Seen deutet darauf, daß an der betreffenden Küste die aufbauende Tätigkeit der am Meeresstrand tätigen Kräfte vorwaltet. Die darüber anzustellenden Beobachtungen sind in Cap. IX (Abt. C.) erörtert. An anderen Küsten walten die auf Neuland gelegenen, durch negative Strandverschiebung vom Meere abgetrennten Seen (32) vor. Hierher gehören auch die seenreichen Flachküsten von Binnenmeeren, deren Areal sich durch Verdunstung verkleinert; z. B. diejenigen des Aralsees und der Nordhälfte des Kaspischen Meeres. Fjordseen (17) sind ebenfalls hierher zu rechnen.

[§126] 2. Seeregionen der Fluß-Niederungen. — Die stehenden Gewässer in den von Flüssen durchströmten Flachländern nehmen in der Regel in umgekehrtem Verhältnis mit dem Gefälle zu, sind daher in der Deltaregion in größter Menge vorhanden. Neben der absoluten Menge der Niederschläge (die von geringer Bedeutung zu sein scheint) und ihrer jahreszeitlichen Verteilung ist das Verhältnis zwischen Niederschlag und Verdunstung, der Vertikalbetrag des Steigens und Fallens der Flüsse, sowie der Einfluß künstlicher oder natürlicher Eindämmung zu berücksichtigen. Es gehören hierher die Überschwemmungsreste (4), die Stromlagunen (12), die oft sehr großen, durch Rückstauen der Nebenflüsse bei Hochwasser entstehenden, daher einer periodischen bedeutenden Arealveränderung unterliegenden Hochflutseen (10), die permanenten Rückstauseen der Nebenflüsse (11), ferner die Versenkungsbecken in Deltagebieten (27). Es sind dies nur einige der Kategorien von Wasserbecken, welche in den Stromniederungen vorkommen. Die weiten Alluvialflächen des Amazonas, des Kongo oberhalb Stanley-pool, des Nil von Ladö bis zur Einmündung des Gazellenflusses und des Sobat, ferner diejenigen des Brahmaputra, des Irawaddy, des Yang-tze-kiang von I-tschang-fu bis zur Mündung, der unteren Donau, des unteren Mississippi, endlich diejenigen der sibirischen Ströme und des Amur, geben, ebenso wie alle großen Deltagebiete, Stoff zu Beobachtungen unter sehr verschiedenen Breiten, unter verschiedenen Bedingungen von Hochwasser und Niederwasser, von Versperrungen durch Strombarren aus Pflanzen oder aus Eis, von Eindämmung oder freiem Lauf, von schneller und langsamer Verdunstung, von stärkerer und geringerer Sedimentführung. Der Reichtum an Seebecken und die Art ihrer Verteilung sind daher in den einzelnen Stromniederungen sehr ungleich.

[§127] 3. Seeregionen der Faltungsgebirge.— Bei der Gebirgsbildung sind die verschiedenen seebildenden Faktoren in höchster Potenz entwickelt. Faltung, Überschiebung, Verwerfung sind die durch Kraftwirkung aus dem Erdinneren veranlaßten Vorgänge, welche Becken schaffen (28, 29, 30). Dazu kommen die sich häufig und leicht vollziehenden Abdämmungen von Tälern durch

Bergstürze (5), Schuttkegel (6) und Eisdämme (7), die Abschnürung fjordartiger Quertäler (17), die Entstehung von Einbruchskesseln in Folge der Auslaugung löslicher Gesteine (26), welche durch die gebirgsbildenden Vorgänge dem Einfluß des Wassers preisgegeben werden. Ferner treten häufig die Wirkungen der Eisbedeckung hinzu, welche in der Ausräumung (§111) und Ausfeilung (§ 112) von Seebecken und in der Konservierung von Vertiefungen im Allgemeinen bestehen. Dennoch walten gerade in Gebirgen die allergrößten Verschiedenheiten bezüglich des Reichtums an Seen. Die äußere Faltungszone des Himalaya besitzt deren fast gar keine, während die entsprechende Zone der Alpen an Seen aus allen hier genannten Kategorien außerordentlich reich ist. In den Alpen wiederum waltet ein großes Gesetz in der Verteilung. Diejenigen Seebecken, welche die Erscheinung von sehr hoch abgedämmten Quertälern bieten, sind innerhalb des Gebirgsrandes eingesenkt, wie die Quertal-Seen am Südfuß und an der Grenze des gebirgigen gegen die hügelige Schweiz. Verschieden von ihnen sind die außerhalb des Gebirgsrandes in Glazialschotter und Glazialschutt gelegenen flachen, großen Seen, die als Ausräumungsgebilde (19) erscheinen. Einen anderen Raum nehmen die kleinen Weiher im Moränenschutt (1) ein. Die kleinen Seebecken im höheren Gebirge sind teils Abdämmungsbecken (5, 6, 7, 9), teils Einbruchskessel (26), teils Felskessel, welche wahrscheinlich durch glaziale Korrasion (20) und Rotation (21) gebildet wurden. — Im Himalaya mußten dieselben seebildenden Faktoren mit viel größerer Intensität wirken, wenn auch die Glazialwirkungen sich nicht bis in die tiefsten Teile des Gebirges und nicht aus diesem hinaus erstreckten. Das Gebirge ist daher innerhalb der südwärts von der Zentralkette gelegenen Faltungszone wahrscheinlich reich an den meisten hier genannten Formen von Seen gewesen; aber die gewaltige Transportkraft der Ströme hat sie schnell ausgefüllt. In beiden Gebirgen sind insbesondere die durch Faltung entstandenen Becken größtenteils schon _ während der Zeit ihrer Bildung diesem Schicksal erlegen. Wurden sie durch das strömende Eis wieder von ihrem Schutt befreit, so vollzog sich im Himalaya die Wiederauffüllung mit demselben weit schneller als in den Alpen.

Der Unterschied der beiden Gebirge kann nur der mit dem Klima zusammenhängenden Verschiedenheit in der Wirkungsweise der auf die Ausfüllung der Becken mit festen Stoffen gerichteten Kräfte zugeschrieben werden. Ähnliche Ursachen dürften der Verschiedenheit anderer einander ähnlicher, aber unter verschiedene klimatische Bedingungen gestellter Gebirge zu Grunde liegen. Doch ist auch zu berücksichtigen, was weiterhin über die fundamentalen Unterschiede der verschiedenen Gebirgsformen (Cap. XVI) gesagt werden wird.

[§128] 4. Seeregionen der Bruchgebiete. — Wo immer Brüche der Erdrinde für eine Gegend charakteristisch sind, sind zugleich die Bedingungen zur Entstehung von Seebecken verschiedener Art, insbesondere von Verwerfungsbecken (30) und Einbruchskesseln (26) gegeben. War vulkanische Tätigkeit mit den Brüchen verbunden, so können die mannigfachen durch sie veranlaßten Seebildungen hinzutreten. Auch gibt es manche Bedingungen für Abdämmungen und Rückstauungen von Flüssen. Da die Innenseiten von Faltungsgebirgen sich häufig durch Brachfelder auszeichnen, so sind dort Beckenbildungen eine gewöhnliche Erscheinung; allerdings sind oft an Stelle der Seen Sedimentablagerungen getreten.

[§129] 5. Seen der vulkanischen Gebiete. — Die mit der vulkanischen Tätigkeit verbundenen Veränderungen der Gestalt des Erdbodens sind in besonderer Weise geeignet, die Bildung von Becken und Kesseln zu veranlassen, die sich mit Wasser füllen. Wo die Äußerungen derselben aufgehört haben, findet man oft nur verlandete Seen; wo jene fortbestehen, sind in der Regel viele Becken noch als Seen vorhanden. Die letzteren werden in Folge der vulkanischen Tätigkeit in manchen Gegenden geschaffen, in welchen andere Motive zur Seebildung nicht vorhanden sind. Außer den Abdämmungen, welche durch Lavaströme (8) und Schuttanhäufungen

verursacht werden können, spielen insbesondere örtliche Einbrüche und explosive Tätigkeit, sowie die durch letztere veranlaßte kreisförmige Umwallung (23, 24 und 25) eine hervorragende Rolle. Überhaupt sind für vulkanische Gegenden kreisrunde Formen der Seen charakteristisch. Kessel von solcher Gestalt sind zuweilen in einem sehr flach ansteigenden Kegel, zuweilen in beinahe ebenem Tuffland eingesenkt. Sie bilden stets eine hohe Zierde der Landschaft.

[§130] 6. Seen der Glazialgebiete. — Den größten Reichtum an Seen haben diejenigen Festlandsteile aufzuweisen, welche ehemals mit einer Decke von Inlandeis oder den aus dem letzteren hervorströmenden Gletschern bedeckt gewesen sind. Um den Grad der gegenseitigen Beziehungen zu erkennen, sollten die Grenzen der Verbreitung der Spuren der Eisbedeckung und diejenigen der Seengebiete sorgfältig aufgezeichnet und miteinander verglichen werden. Auch wird es nützlich sein, die Seen nach Analogien zu gruppieren. Zum Anhalt für solche Analogien können dienen:

1) die Höhenverhältnisse und der orographische Charakter der Umgebungen, die Lage in Karen (§ 112), in Talcirken, in Talzügen überhaupt, in Längs- oder Quertälern, innerhalb des Gebirgsfusses, oder außerhalb desselben am Gebirgsrand, in ebenem oder welligem Flachland;

2) das Verhältnis der Tiefe zum Areal, das Verhältnis der Breite zur Länge, die Richtung der Längsachsen, ihr Parallelismus oder ihre Reihung nach bestimmten Linien;

3) der Charakter der Umrandung, ob er bloß aus Fels oder auch zum Teil oder ganz aus Moränenschutt, resp. Glazialschotter, besteht. Ferner sollte

4) die Beziehung der Seen zu den Arten der Gesteine beobachtet werden. Denn es ist wohl zu beachten, daß in Nord-Amerika, ebenso wie im nördlichen Europa, das Urgebirge, sowie das aus gefalteten und metamorphosierten paläozoischen Schichtgesteinen bestehende Gebirge, mit Seen, welche Becken im Gestein ausfüllen, besät sind, während sie auf den flach aufgelagerten Sedimentgebilden sparsamer werden, oder auch ganz verschwinden, obgleich die Eisbedeckung sich über diese hinweg erstreckt hat. Die Ursache des verschiedenen Verhaltens läßt sich nicht immer klar erkennen. Letzteres hat dazu geleitet, die kausalen Beziehungen des Eises zur Existenz der Seen überhaupt in Abrede zu stellen und deren Entstehung auf anderweitig zu erklärende Eigentümlichkeiten der ungleichförmigen Oberfläche des älteren Gebirges zurückzuführen. Es ist oben (§ 48) auf die verschiedenartige Vorbereitung der Gesteine durch säkulare Zersetzung für die Bearbeitung durch das Eis hingewiesen worden. Sie sollte in steilgestellten Urgebirgsschichten in außerordentlich unregelmäßiger und vielgestaltiger Weise in die Tiefe eingreifen, so daß die glaziale Erosion und Korrasion (§§ 111, 112) eine höchst unebene, mit Vertiefungen dicht besetzte Fläche schaffen würden, während die gerade in den genannten Regionen flach ausgebreiteten Schichten der Sedimentformationen, soweit sie überhaupt der säkularen Zersetzung unterlagen, in mehr gleichmäßiger Weise angegriffen werden mußten, so daß das Eis keine vorgebildeten Becken angetroffen haben würde.

Ein anderer Umstand, welcher in beiden Kontinenten gleichartig auftritt, ist das Vorkommen verhältnismäßig sehr großer Seebecken an der Grenze des Urgebirges gegen die Sedimentformationen, aber schon innerhalb des Gebietes der letzteren. Die Region der großen amerikanischen Seen bietet in dieser Beziehung eine nahe Analogie mit dem Gürtel ausgedehnter Wasserbecken, der sich vom Wenem über den Ladoga-See bis zum Weißen Meere zieht.

Wenn die nordischen Glazialgebiete bezüglich ihrer Seen noch manche ungelöste Probleme bieten, so sind diejenigen der Südhemisphäre in Hinsicht auf dasselbe Phänomen, mit Ausnahme einiger ausgezeichneten Arbeiten in Neu-Seeland, noch wenig untersucht. Die Seen der Anden von Süd-Chili und Patagonien und der östlich vorliegenden Gebiete scheinen größtenteils mit der ehemaligen Vergletscherung in Zusammenhang zu stehen. Ausfurchungen in Glazialschotter kommen dort wahrscheinlich vielfach vor. Insbesondere ist zu untersuchen, ob nicht das breite Längsthai, welches sich in Chili dem Westfuß der Anden parallel erstreckt und von den Gewässern quer durchströmt wird, von Glazialschotter erfüllt ist; ob die am Ostfuß noch vorhandenen Seen nach Art derjenigen von Oberbayern in derartige Schotter eingesenkt sind, und ob nicht eine Reihe anderer Becken in Alluvialflächen verwandelt worden sind.

[§131] 7. Abflußlose Seen der Zentralgebiete. — Die abflußlosen Räume im Inneren der Kontinente stehen unter einer Fülle derjenigen Bedingungen, unter denen sich Becken bilden konnten. Nur wenige sind ganz ausgeschlossen. Ihnen allein eigentümlich ist nur die äolische Erosion (§ 194). Aber alle Vorgänge sind hier auf die Hervorbringung gleichartiger Gestaltungen hin gerichtet. Selten haben die Becken noch die Eigentümlichkeiten bewahrt, welche der Entstehungsart jedes einzelnen von ihnen zukommen. Die meisten sind in weite flache Vertiefungen verwandelt. Daher sind auch die Seen selbst flach. Diejenigen, welche nach einem anderen See entleert werden, haben süßes, alle anderen salziges Wasser. Es ist bereits dargestellt worden, wie der Gehalt an gelösten Stoffen sich bis zum Absatz kristallisierter Salze am Boden steigern, und wie bei großer Trockenheit eine Salzkruste an die Stelle des Sees treten kann. Da die schwer löslichen Salze zuerst auskristallisieren, so müssen die Bodenabsätze in sorgfältiger Sonderung gesammelt werden. Von den hierher gehörigen Gebieten der Erde wurden die hervorragendsten bereits (§ 123) angegeben.

Die Salzseegebiete sind besonders lehrreich, wo sie an andere Gebiete von verschiedenem Charakter grenzen. Dem Mangel an Seen auf der regenreichen und tief durchfurchten Südseite des Himalaya steht ein Reichtum an Seen auf der fast regenlosen, äußerlich viel weniger gegliederten Nordseite und dem Hochland von Tibet entgegen. Dort füllen die Gewässer die Becken mit Sedimenten an und graben sich selbst eine Furche zum Ausweg; hier sind sie für beiderlei Arbeit gänzlich unzureichend. Daher sammelt sich das Wasser, so gering seine Menge ist, in Seen.

8. Isolierte Seen. — Selten findet sich in einem weiten seefreien Land ein isolierter See, wie der Tana-See in Abessinien, der See von Valencia in Venezuela, der Titicacasee-See in Bolivien, der Baikal-See in Ost-Sibirien, das Tote Meer in Palästina. Das Problem der Entstehung gewinnt in solchen Fällen um so höheres Interesse.

C. Änderungen in Seebecken.

[§132] Die Geschichte eines Sees ist von der Frage nach der Entstehung seines Beckens nur zum Teil abhängig. Denn diese ist nur die erste Phase von jener. Die späteren Änderungen sind von Interesse für Untersuchungen über Wandelungen des Klimas, über Änderung von Faunen und Floren, über die Entstehung von Kulturstätten für den Menschen und über die Verödung und Vernichtung derselben. Sie betreffen: 1. Die Höhe des Wasserspiegels, zugleich diejenige des

Zuflusses und Abflusses; 2. die Beschaffenheit des Wassers; 3. die Einschränkung des Wasserspiegels durch Einschwemmungen.

1. Änderungen in der Höhe des Wasserspiegels. — In einem abgeschlossenen Becken ändert sich, wie in § 122 erörtert wurde, der Wasserstand mit dem Klima, indem bei jedem einzelnen Grad der Niederschlagsverhältnisse ein Gleichgewichtszustand zwischen Zufuhr und Verdunstung des Wassers erstrebt wird. Das Sinken des Wasserspiegels läßt sich an alten Uferlinien und mit ihm verbundenen, organische Reste führenden Ablagerungen erkennen. Das Steigen ist schwer nachzuweisen. Man kann es unmittelbar erkennen wo, wie am Ostende des Issykkul-Sees, menschliche Wohnungen von Wasser überspült sind; ebenso wo Waldvegetation nur mit den Wipfeln aus dem Wasser hervorragt. Wahrscheinlich wird es, 1, wenn an den Ufern des Sees keine Schuttkegel vorkommen, sondern die Wasserfläche in langen Armen in die Betten der Zuflüsse eingreift; 2, wenn ein abgeschlossener See Wasser von geringem Salzgehalt besitzt und Spuren eines vormalig höheren Standes nicht nachzuweisen sind; denn wo diese vorhanden sind, kann die Salzarmut darauf beruhen, daß der vormals ganz oder zum Teil ausgesüßte See seinen Abfluß verloren und sein Niveau erniedrigt hat; 3, wenn bei einem abfließenden See die Entstehung des Abflusses sich als ein ganz recenter Vorgang erweist. Man kann in solchen Fällen schließen, daß eine Vermehrung der Niederschläge stattgefunden hat. Als Vorbild für die Forschung über die Geschichte der Seen können die ausgezeichneten und mustergültigen Untersuchungen von Gilbert und Russell über die sehr bedeutenden Änderungen des Wasserstandes in den westlich vom Felsengebirge gelegenen großen Becken gelten, welche als Lake Bonneville und Lake Lahontan bezeichnet worden sind (s. Annual Report U. S. Geological Survey II und III). Ähnliche Forschungen lassen sich in noch größerem Maßstab im centralasiatischen Tarym-Becken und den östlich angrenzenden Teilen der Mongolei, sowie im dsungarischen Becken ausführen. Dort blieb nach dem Rückzug des Meeres, dessen sichere Spuren nur aus der Zeit der oberen Kreide vorliegen, ein mit Wasser gefülltes Binnenbecken ungefähr von der Größe des Mittelmeeres zurück. Sein früherer Stand scheint nur an Ablagerungen erkennbar zu sein, welche später (vielleicht in der Zeit der vulkanischen Tätigkeit) mehrfach von Flüssen durchschnitten wurden. Nur einige seichte Salzwasserbecken, die einige tausend Fuß tiefer als das frühere Niveau des Sees liegen, sind heute noch vorhanden. — In der Jordan-Spalte liegen alte Wassermarken hoch über dem jetzigen Spiegel des Toten Meeres. Sie sollten vielfach auf dem erasischen Hochland und in den Becken der abflußlosen Seen Armeniens nachzuweisen sein.

Von hervorragendem Interesse würden Beobachtungen über die ehemaligen Wasserstände im aralokaspischen Becken sein. Hier gilt es besonders, fossilienführende Ablagerungen zu finden, um den allmählichen Rückzug der Ufer in Verbindung mit den ähnlichen Änderungen, welche ein sehr großes, die pontischen Länder Europas mit umfassendes Gebiet gleichzeitig betroffen haben, kennen zu lernen. Man hat in einzelnen höheren Lagen Austernbänke und andere marine Reste entdeckt; aber die Funde sind bis jetzt äußerst sparsam und lückenhaft. An solchen Stellen, wo Flüsse aus dem Gebirge kommen und sich in die Ablagerungen tiefer eingeschnitten haben, dürfte zumeist ein Erfolg zu erwarten sein. Ein Interesse besonderer Art knüpft sich an die Möglichkeit von Beziehungen zwischen früheren Wasserständen und vorhistorischen Völkerwohnsitzen. Die Länder im Osten und Süden des aralokaspischen Beckens gelten als das Stammland der indoeuropäischen Völkerfamilie, und Manches deutet darauf, daß hier eine der frühesten Kulturentwickelungen stattfand. Zu dieser Rolle sind sie gegenwärtig ungeeignet; aber der Nachweis einer erheblich größeren Ausbreitung der Gewässer, und daher auch eines

feuchten Klimas, zur Zeit der Anwesenheit des Menschen würde die große vorgeschichtliche Rolle dieser Länder erklärbar machen.

Selten wird sich das Niveau, in welchem ein See früher durch einen längeren Zeitraum gestanden hat, mit hinreichender Deutlichkeit auf große Erstreckung verfolgen lassen, um zu erkennen, ob die Ebene des ehemaligen Seespiegels mit der gegenwärtigen Oberfläche parallel, oder in einem Winkel gegen sie. •geneigt war, d. h. ob die Geoidfläche sich in der betreffenden Gegend geändert hat. Nachdem Gilbert eine mehrfache Divergenz der früheren Seespiegel am Lake Bonneville nachgewiesen hat, dürften ähnliche Untersuchungen in anderen Gegenden hohes Interesse bieten. Es ist dann noch in jedem Einzelfall zu untersuchen, ob der Divergenz eine ungleiche Niveauschwankung des Festlandes zu Grunde liegt, oder ob sich an einem Ende früher eine anziehende Masse befunden hat, welche verschwunden ist, z. B. eine mächtige Eisanhäufung. In diesem Fall würde die obere Fläche eine konkave Gestalt haben müssen. Analoge Beobachtungen lassen sich vielleicht betreffs ganz recenter Verschiebungen von Seespiegeln ausführen, und zwar dann, wenn an einem Ende ein Zurückweichen des Sees, am anderen ein Vor-dringen und Überfluten menschlicher Wohnungen stattfindet, wie Beides von dem Issyk-kul berichtet wird.

Wenn ein See konstanten Abfluß hat, so kann dieser sich tiefer einschneiden, und damit die Wasserfläche tiefer gelegt werden. Dies wird teils durch Flutmarken an steileren Küsten erkennbar sein, teils dadurch, daß die den See speisenden Flüsse sich in ihre eigenen Ablagerungen tiefer eingraben.

2. Änderungen in der Beschaffenheit des Wassers. — Die am leichtesten erkennbaren Veränderungen bestehen in einer Vermehrung oder Verminderung des Salzgehaltes. Die Metamorphose abgetrennter Meeresteile durch Verminderung der Salinität, indem Flußwasser zuströmt und Seewasser abfließt, ist eine häufige, bereits (§ 122) erwähnte Erscheinung, welche an der Hand der Fauna zu erweisen ist.

3. Änderung durch Einschwemmung fester Massen. Dieser Vorgang wurde in § 84 behandelt.

[p.291]



Neuntes Kapitel.

Beobachtungen an Meeresküsten

[§133] Die Gestade des Ozeans gehören zu den wichtigsten Schauplätzen der Beobachtung für den Reisenden. Bietet schon die Begrenzungslinie von Meer und Land an sich, als die Scheide zwischen den zwei augenfälligsten Grundelementen der Erdoberfläche, einen Gegenstand von hohem Interesse, so wird dieses durch die sich hier unablässig vollziehenden Kraftwirkungen gesteigert. Das Meer wird in verschiedener Weise in Bewegung gesetzt. Die Kräfte, welche durch die Umsetzung der Wärmestrahlen der Sonne erzeugt werden und sich in erster Linie in der bewegten Luft manifestieren, verursachen einerseits eine Wellenbewegung, welche sich in den Oberflächenteilen des Meeres fortpflanzt, andererseits Strömungen, welche in große Tiefe hinabreichen können, während diejenige Bewegung der Ozeane, welche in der kosmischen Anziehung ihren Grund hat und sich in den Erscheinungen von Ebbe und Flut äußert, das Meer bis auf seinen Boden erfaßt. Dasselbe tun die Erschütterungen des Ozeans durch Erdbeben. Diese verschiedenen Bewegungen werden zum Teil durch innere Reibung oder durch entgegenwirkende Kräfte neutralisiert; zum Teil aber setzen sie sich an den Küsten in Arbeit um, welche in Zerstörung, Transport und Ablagerung besteht. Ist auch der Bereich dieser Arbeitsäußerung auf schmale Zonen beschränkt, die sich entlang den Küsten hinziehen, so ist sie doch in Folge der großen Länge der letzteren zu jeder Zeit sehr erheblich. Eine viel größere Bedeutung aber erlangen die hier zu beobachtenden Phänomene, wenn man erwägt, daß diese gewaltigen Zerstörungs- und Aufbereitungs-Werkstätten im Lauf der Zeit durch Verschiebung der Strandlinie ihren Schauplatz wechseln, daß jeder Teil jedes Kontinentes zu wiederholten Malen ein solcher Schauplatz gewesen ist, und daß die aus der Zerstörung hervorgehenden Produkte dieser Arbeit einen Hauptteil in der Zusammensetzung der Festlandsmassen haben.

Es bietet sich hier ein noch viel zu wenig bearbeitetes Feld der Beobachtung. In der Regel landet der Reisende in Häfen, wo die Küstenarbeit gering ist, und nur Wenige haben es sich zur Aufgabe gemacht, die schwerer erreichbaren sturmwogten Teile der Küsten eingehend zu studieren. An diesen gibt es, trotz der ausgezeichneten Forschungen, welche besonders an den englischen und schottischen Küsten durch Männer wie De la Beche, Lyell, Ramsay, A. Geikie und Andere ausgeführt worden sind, noch viele offene Fragen, zu deren Lösung der Reisende die Gelegenheit ohne erhebliche Schwierigkeit aufsuchen kann. Es sind Probleme von großer Tragweite für die Kenntnis der gegenwärtigen Verhältnisse, wie für diejenigen, welche in vergangenen Zeitaltern der Erde geherrscht haben. Die Forschung wird überdies wesentlich dadurch gestützt, daß von den meisten Küsten, Dank vor Allem den bewunderungswürdigen Arbeiten der britischen Marine, gute und zum Teil sehr genaue Karten vorhanden sind. Dies darf allerdings den Reisenden nicht abhalten, die Einzeleinzeichnung in noch größerem Maßstab und mit Berücksichtigung aller Beobachtungsmomente, auszuführen. Der Besitz einer sicheren Grundlage erleichtert hier diese Arbeit ungemein.

Es soll im Folgenden erst die Morphographie der Küsten betrachtet und dann zu den an sie sich knüpfenden Beobachtungen über dynamische Vorgänge übergegangen werden.

A. Gestalt der Meeresküsten.

[§134] Wenn man die Küstenlinien auf Landkarten vergleichend betrachtet, so fällt einerseits die Mannigfaltigkeit ihrer Gestalt sofort ins Auge; andererseits wird man gewahr, daß gewisse Formen mehrfach wiederkehren. Beides zeigt sich deutlicher, je genauer die Karten sind, welche zu Grunde gelegt werden. Enthalten dieselben auch die Gebirge des Festlandes, so glaubt man an einzelnen Stellen nahe Beziehungen zwischen ihnen und den Küstenlinien zu erkennen; an anderen zeigt sich eine übermäßige Gliederung der letzteren, wo die Bodenplastik einfache Verhältnisse zeigt; und wieder an anderen beschreibt die Küste eine leicht und regelmäßig geschwungene Linie, wo man nach dem Festlandsbau eine reiche Gliederung erwarten würde. Der Reisende hat die Aufgabe, diese gegenseitigen Beziehungen genau festzustellen und nach den Ursachen zu forschen, welche der Gestalt der Küstenlinie in jedem einzelnen Fall zu Grunde liegen. Zum Zweck besseren Verständnisses muß' man sich bewußt sein, daß die Küste nicht nur Meeresfläche und Landfläche scheidet, sondern auch die Grenze zwischen dem Meeresboden und der Plastik des Festlandes bildet, also zwischen dem Gebiet der Ablagerung und dem Gebiet der Abtragung, und daß die meisten von außen wirkenden Agentien auf dem Land differenzierend, auf dem Meeresboden aber nivellierend wirken. Die Küstenlinien können, nach dem eben Gesagten, je nach dem Ausschlag der jüngsten Niveauschwankungen entweder durch die Formen des Festlandes, oder durch diejenigen des Meeresbodens beeinflußt werden. Ihre Gestalt kann danach zwei verschiedene Grundtypen haben. Es ist aber zuweilen keine von beiden vorhanden. Denn es kommt als dritter gestaltender Faktor die dynamische Einwirkung der Meeresbewegung: die im Nachfolgenden zu betrachtende Arbeit der Brandungswelle und der Strömungen, hinzu. Versucht man, auf Grund dieser einfachen Erwägungen die gleichartigen Küstenformen in Gruppen zusammenzufassen, so ergibt sich als höheres Vergleichungsmoment das Verhältnis des allgemeinen Verlaufes der Küsten zu der kontinentalen und insularen Plastik, als niederes das Verhältnis der Einzelgliederung der Küsten zur Einzelgliederung, oder den sekundären Elementen, des Bodenreliefs. Sie werden im Folgenden in dieser Reihenfolge behandelt werden. Schließlich sollen dann noch eine Reihe modifizierender, mit dem Festlandsbau und mit der Gestalt des Meeresgrundes in geringem oder gar keinem unmittelbaren Zusammenhang stehende Formenverhältnisse erörtert werden. Vorher sind einige elementare, auf das Vertikalprofil bezügliche Vorbegriffe zu erläutern.

a. Küstentypen nach der Gestalt des Vertikalprofils.

[§135] Man erhält das Abbild der vertikalen Gestalt der Küsten durch Querschnitte, welche vom Meeresboden nach dem Inneren des Landes geführt werden. Steigt das Land steil an, so hat man eine Hochküste, steigt es flach an, so hat man eine Flachküste; ebenso kann man im Meer einen Tiefboden und einen Flachboden unterscheiden. Es ergeben sich hieraus vier Kombinationen, von denen nur eine, nämlich Flachküste und Tiefmeer, wenig vertreten ist. Eine Modifikation wird durch das Vorhandensein des durch die brandende Meereswelle gebildeten Strandes (§ 153) hervorgerufen, eine zweite dadurch, daß das steil ansteigende Land durch einen flachen Streif von der Küste getrennt sein kann. Man erhält dadurch die folgenden auf die Gestalt des Vertikalprofils gegründeten Küstenformen:

1. Die Steilküste. Sie besteht aus Felsabstürzen, welche sich in die Tiefe des Meeres hinabsenken, ohne daß die Berührungslinie mit der Meeresoberfläche durch eine wesentliche Änderung in der Form bezeichnet ist. Hierher gehören große Teile der Fjordküsten. Es sollten die Höhen des übermeerischen, ebenso wie die Tiefe des untermeerisch versenkten Teils, die Neigungswinkel beider, die Art und Lagerung der Gesteine untersucht werden. Auch ist darauf zu achten, ob die Böschung des übermeerischen Teils durch alte Strandterrassen (§ 160) unterbrochen, und ob in der Zone zwischen Ebbe und Flut eine ähnliche Unterbrechung in der Bildung begriffen ist.

2. Die Strandküste mit Steilrand. So kann diejenige häufig vorkommende Form bezeichnet werden, welche aus einer von der Flutwelle erreichten und auf einen Strand abfallenden Felswand gebildet wird. Hier sind die in § 153 genannten Beobachtungen über Form und Gesteinscharakter der klippigen Abfälle, über die Art des Strandes, ob felsig oder sandig, oder von Felsblöcken bedeckt, über die Berührungszone von Strand und Abfall, insbesondere die Form und Höhenlage der ausgewaschenen Hohlkehle, falls eine solche vorhanden ist, über das Verhältnis des Effektes des Wogenanpralls bei der höchsten Flut und bei Sturm, anzustellen. Solche Küsten sind die eigentliche Werkstätte der Brandungswelle; ihre Arbeit der Zerstörung, Aufbereitung und Ablagerung kann hier beobachtet werden. Auch ist zu untersuchen, ob die kleinen Felsfragmente dem Gestein des Steilrandes entsprechen, oder durch Wanderung entlang der Küste (§ 155) in ihre Lage gekommen sind. Die Art der Ansiedelung von Pflanzen und Tieren bietet gerade an solchen Stellen manches Interesse.

Der Strand zeigt die Gestalt des Meeresbodens nur bis zum Niveau der Ebbe herab. Es sollte seewärts untersucht werden, ob in geringerer oder in größerer Entfernung ein steilerer Absturz folgt, oder ob der Meeresboden mit wenig veränderlicher Neigung weithin fortsetzt. In letzterem Fall ist anzunehmen, daß die Abrasion bei positiver Strandverschiebung seit langer Zeit in gleichem Sinn fortgewirkt hat, und die Steilwand die gegenwärtig von ihr erreichte Grenze bezeichnet.

Besondere Aufmerksamkeit verdient das Verhältnis zwischen der Zerstörung durch das Meer und derjenigen durch die atmosphärischen Agentien. Sind die Gesteine sehr fest und rückt das Meer langsam vor, so wird die äußere Abtragung derjenigen durch das Meer voraneilen; die Abhänge werden geringe Abbrüche gegen das letztere zeigen. Bietet das Gestein geringeren Widerstand, so werden steile oder senkrechte Abbrüche gegen das Brandungsniveau geschaffen werden, ehe die fließenden Gewässer eine gleichmäßigere Böschung herzustellen vermögen. Dies ist z. B. der Fall bei den aus rotem Sandstein (Old Red) bestehenden Orkney-Inseln; das andere Verhältnis findet sich bei den aus Gneis zusammengesetzten Hebriden und Shetlands-Inseln.

3) Die Strandküste mit zurückliegendem Steilrand. Diese Form unterscheidet sich von der vorhergehenden dadurch, daß der höchste Meeresstand, auch bei Sturmwellen, nicht bis zu dem Steilrand heranreicht, sondern durch eine dem Charakter des Strandes entsprechende Zone flachen Landes von ihm getrennt bleibt. In diesem Fall hat sich, seitdem das Meer an der Zerstörung des Steilrandes arbeitete, eine in ihrem Gesamteffekt negative Strandverschiebung vollzogen. Ob auch noch die letzte Bewegung in diesem Sinn geschehen ist, wird sich zuweilen durch die in § 168 angeführten Merkmale entscheiden lassen. Solche Flächen sollten, besonders wenn sie aus Felsboden bestehen, sorgfältig untersucht werden; doch gewähren auch die Ablagerungen, die Art ihrer Umgestaltung durch Wind und fließendes Wasser, die Spuren der früheren Meeresbedeckung und vieles andere Interesse.

4. Die Flachlandküste. Die Kombination von Flachland und Flachboden des Meeres ist eine sehr häufige. Sie ist die Regel an den Küsten der flachen Tiefländer. Man kann in solchen Fällen von einem bis zu einem gewissen Niveau vom Meer bedeckten Flachland sprechen. Die Brandung übt bei dem Vordringen wie bei dem Rückzug des Meeres wesentlich eine um lagernde, aber keine in erheblichem Maße umgestaltende Wirkung aus. Der Kontrast, welcher hier besonders wirkungsvoll in die Augen fällt, ist in der verschiedenartigen Behandlung des gleichartigen Materials durch die Agentien des Festlandes und diejenigen des Meeres begründet. Sie läßt sich dahin bezeichnen, daß die durch die ersteren geschaffenen Unebenheiten, mit Ausnahme der vom Winde getriebenen Dünen, die Tendenz zu rechtwinkliger Stellung gegen die Küste haben, wogegen die Unebenheiten des Meeresbodens wesentlich der Küste parallel angeordnet sind. Der Gegensatz wird sich bei Niveauschwankungen in der Gestalt der Schwemmseln und der Einbuchtungen aussprechen.

Lagunenküsten, Dünenküsten und umwallte Flachküsten sind nur einzelne, teils aus solchen, zuweilen nur auf lokaler Einsenkung beruhenden Schwankungen, teils aus der Küstenarbeit des Meeres und der Einwirkung des Windes hervorgehende Modifikationen der Flachlandküsten. In der Regel bearbeitet das Meer hier nur die Gebilde, die es einst selbst an seinem Boden anhäufte. Dazu kommen zuweilen noch nachträglich aufgelagerte fremde Massen, unter denen aber nur die Grundmoräne der Gletscher streckenweise einen von den Flachlandküsten wesentlich verschiedenen Typus bedingt.

b). Beziehungen der Küstenlinien zur Plastik der Kontinente.

[§136] So wichtig das Vertikalprofil als Gestaltungsmoment ist, kann es doch als Einteilungsprinzip nicht unmittelbar verwendet werden. Es ist gewissermaßen der Ausdruck einer bedeutsamen Charaktereigenschaft der Küsten. Ein gewisser Formcharakter kann auf eine längere Strecke konstant bleiben oder sich ändern, und insofern könnte man von einer kontinuierlichen oder unterbrochenen Steil- oder Flachküste reden. Aber die vertikale Komponente steht hinsichtlich ihres Wertes in der zweiten Ordnung. Denn die Küsten sind vor Allem horizontale Linien, weil in solchen Meer und Land an einander grenzen. Es gilt daher, diese Linien nach gewissen Gesichtspunkten zu vergleichen, um sie in Kategorien zusammenzustellen. Das Vertikalprofil ist nur einer von diesen Gesichtspunkten. Er steht an Wert hinter demjenigen zurück, welcher die Beziehungen der Küsten zu den Hauptzügen in der Plastik der Festlandsmassen, denen sie als äußere Umgrenzung dienen, betrifft, also vor Allem zu den zunächst gelegenen großen Gebirgen und Bodenschwellen. Gehen wir rein morphographisch vor, so lassen sich unterscheiden:

1. Längsküsten (oder longitudinale Küsten). — Sie sind der Richtung des zunächst gelegenen Gebirges parallel, daher auf solche Erdräume beschränkt, wo längsgestreckte Gebirge von klar erkennbarer Richtung vorhanden sind. Hierher gehört die Westküste von Nord- und Süd-Amerika, die Westküste von Skandinavien, die Westküste der Balkan-Halbinsel, die Mediterranküste des nordwestlichen Afrika, die Südwestküste des eranischen Hochlandes, die Ostküste Asiens, von der Mündung des Amur bis Korea (jedoch mit Unterbrechungen), die Westküste Hinterindiens und viele andere. In Hinsicht auf praktische Bedeutung kann man alle diese als Absperrungsküsten bezeichnen. Denn in jedem der genannten Fälle ist das Binnenland gegen die Küste durch die ihr parallelen Gebirge verschlossen. Die hierhergehörigen Küsten sind in der Regel einförmig

und arm an Einbuchtungen und Häfen. Wo sich ausnahmsweise, wie bei den meisten Fjordküsten, eine besonders reiche Einzelgliederung findet, ist sie von geringem Wert. Um so wichtiger ist die Einbuchtung, wenn sie den Gebirgswall ganz durchsetzt, wie es bei dem Golf von Korinth der Fall ist, und hohe Bedeutung können die wenigen guten Hafenplätze in einförmigen Küstenstrecken haben, wenn ein Hinterland von ihnen erreichbar ist, wie das Beispiel von San Francisco zeigt. Häufiger finden sich Unterbrechungen der Längsküsten vermittelt der Auflösung des Gebirges in Inseln, wovon der Java-Inselbogen das schönste und größte Beispiel bietet. Auch kann der gegenwärtige Meeresstand eine Inselbegleitung verursachen, wie in Dalmatien und Norwegen. Große Ströme fehlen gänzlich, und wo solche von mittlerer Größe vorhanden sind, dienen sie dem Verkehr entweder gar nicht, oder in beschränktem Maße, weil sie Gebirgsbarrieren quer zu durchbrechen haben.

Der longitudinale Verlauf der Küstenlinien kann auch im Kleinen oft erkannt werden, und er behält dann seinen Charakter. Behufs besseren Verständnisses ist jedoch noch auf einen Umstand Gewicht zu legen, der nur durch eingehende Beobachtung festzustellen ist; ob nämlich die Küste nicht nur der Gebirgsrichtung, sondern auch dem Schichtenstreichen parallel ist, oder dasselbe unter einem Winkel durchschneidet. Es ist dabei besonders auf das Streichen des älteren Grundgebirges zu achten. Der Parallelismus ist die Regel; aber von um so größerem Interesse ist die Ausnahme, wie sie sich beispielsweise an der Nordküste von Spanien, im südlichen Oregon, an der Westküste von Zentral-Amerika und an der Insel Euboea findet. In solchen Fällen wird die Richtung der Küsten, ebenso wie die der Gebirge, in der Regel durch Brüche bestimmt sein, welche quer gegen das Schichtenstreichen verlaufen, ein Verhältnis, welches auch für eine gewisse Klasse von Gebirgen überhaupt charakteristisch ist.

2. Querküsten und Diagonalküsten (transversale Küsten). — Bei diesen verläuft die Küste in rechtem oder spitzem Winkel zu den Richtungen der Gebirge. Letztere enden also einzeln gegen die Küste. Beispiele sind häufig, besonders in Europa, wo die Ostküste der Balkan-Halbinsel von der Donau-Mündung bis zum südlichen Griechenland, die Westküste der iberischen Halbinsel und die Westküsten von der Bretagne bis zum nördlichen Schottland hierher gehören. Die Westküste Klein-Asiens, die Küsten des südlichen China, sowie diejenigen der Inseln Kiuschiu und Schikoku in Japan, vertreten diese Form in Asien, die Westküste von Marokko in Afrika. Dies sind wahre Aufschließungsküsten, im Gegensatz zu der durch longitudinalen Verlauf verursachten Absperrung. Sieht man von vereinzelt Beispielen eines ziemlich geradlinigen Verlaufes ab, unter denen die transversal gegen die Gebirgsrichtungen der iberischen Halbinsel verlaufende Küste von Portugal das auffälligste ist, so findet man fast immer, daß die Gebirgsenden in buchten- und hafenreichen, oft von Inseln besetzten Vorsprüngen in das Meer hinausragen, während dieses zwischen ihnen tief eingreift und sich dort mit Flußmündungen, Tälern und breiten Flachböden berührt, welche leichten Zugang in das Innere der Länder gewähren. Nirgends öffnen sich diese Eingangspforten nach dem Inneren vollkommener, als an der Westküste Großbritanniens. Als Beispiel' des Kontrastes gegen die abschließende Wirkung longitudinaler Küsten kann die leichte Zugänglichkeit der Balkan-Halbinsel von der Ostseite, ihre Absperrung von der Westseite angeführt werden.

Verschiedene Typen von Transversalküsten lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten, z. B. nach der weiteren oder engeren Stellung der Gebirge, unterscheiden. Für den ersteren Typus kann neben der Westküste Großbritanniens die hinterindische Küste, etwa von Akyab bis Saigon, angeführt werden, für den zweiten die Ostküste des südlichen China, wo, trotz der großen Zahl an ihr mündender schiffbarer Ströme, doch die enge Stellung der an der Küste auslaufenden Gebirgsglieder den Grad der Zugänglichkeit erheblich einschränkt.

3. Beckenrandküsten. — Während Longitudinalküsten in der großen Mehrzahl der Fälle bogenförmige Faltungsgebirge an deren konvexen Außenseiten begleiten, und Transversalküsten durch deren Querenden bezeichnet sein können, lassen die Küsten, welche auf der Innenseite der Faltungsgebirge sich erstrecken, hinsichtlich ihrer Richtung keine bestimmte Beziehung zu diesen erkennen. Durch die Lage sind sie ihnen eng verbunden, aber in der Gestalt bilden sie einen Übergang zur nächsten Abteilung. Die Westküste von Italien gibt den Typus. Andere Beispiele liefern die Westküsten von Kamtschatka, Japan, Formosa, Luzon; sie sind selten, wie an der Ostseite von Neu-Seeland, den offenen Ozeanen zugewendet. Das Gemeinsame an diesen Küsten ist, daß sie zwar im Gesamtverlauf eine nahe Beziehung zu einem großen Faltungsgebirge haben, im Einzelnen aber viele Besonderheit der Gestaltung darbieten, welche mit den Beckenbildungen auf den Innenseiten solcher Gebirge Zusammenhängen. Sie stehen von Hause aus an Zugänglichkeit hinter den Querküsten zurück, übertreffen aber in derselben Beziehung beträchtlich die Längsküsten. Es fehlen in der Regel große tief eingeschnittene Buchten und weit hervortretende Halbinseln; dagegen sind flache Baien und stumpfe Vorsprünge häufig vorhanden. Strommündungen, vulkanische Bildungen, örtliche Einbrüche und aridere sekundär gestaltende Momente können allerdings Änderungen herbeiführen, welche dann hohe praktische Wichtigkeit erlangen, aber den allgemeinen Charakter nicht aufheben.

4. Neutrale Hochküsten, oder Schollenküsten. — Während bei den genannten Kategorien eine Beziehung der allgemeinen Küstenlinie zu bestimmt ausgesprochenen großen Gebirgen erkennbar ist, gilt dies nicht für die beiden noch zu betrachtenden Klassen. Es gibt ausgedehnte Kontinentalgebiete, welche der Bodenschwellen zwar nicht ermangeln, aber scharf gezeichneter Gebirge entbehren. Haben sie Felsbau, so besitzen sie in der Regel den Charakter von Tafelländern und fallen steil nach dem Meer oder nach einem schmalen flachen Küstenstrich ab. In solchen Fällen lassen sich die Küstenlinien in keine sichere Beziehung zu der Kontinentalstruktur setzen, wenn auch in vielen Fällen eine gewisse Beziehung zu dem Grundbau mit großer Wahrscheinlichkeit vorhanden ist. In Hinsicht auf das äußere Relief haben sie weder eine longitudinale, noch eine transversale, sondern durchaus eine neutrale Richtung. Sie sind in der Regel einfach gestaltet, schwach gebogen, oder auch gerade gerichtet, und nicht selten stoßen sie zu zweien unter stumpfen bis nahezu rechten Winkeln aneinander. Entsprechend dem steilen Abfall des Landes, senkt sich auch der Meeresboden gewöhnlich schnell herab. Hinsichtlich des Vertikalprofils sind Strandküsten mit unmittelbar daraus ansteigendem, oder weiter ab gelegenen Steilrand vorherrschend. Die Schollenküsten sind arm an Einbuchtungen, Vorsprüngen und Inseln, wenn sie gegen den Ozean gerichtet sind, können aber reich daran sein, wenn sie Binnenmeere begrenzen, in denen Gezeiten und Brandung eine geringe Rolle spielen.

Beispiele ozeanischer Schollenküsten scheinen zu bieten: das ganze südliche Afrika, vom Golf von Benin, um das Cap, über Sansibar und Socotra nach dem südlichen Arabien hin; Ostindien; das südliche Australien; große Teile der Ostseite von Süd-Amerika. In allen diesen Fällen ist das Binnenland nicht durch Mauern abgeschlossen, wie bei den Längsküsten, aber doch schwer zugänglich; selbst große Ströme gewähren in den meisten Fällen nur unvollkommenen Zugang. Einen Übergang zu dem binnenmeerischen Schollentypus bieten die Küsten der Normandie und das südöstliche England.

Zu den Schollenküsten der Binnenmeere gehören: die Mediterranküste Afrikas, von den Syrten bis zum Nil; die Küste von Syrien; diejenigen an der Nordseite des Schwarzen Meeres (westlich von der Krim) und an der Ostseite der Iberischen Halbinsel; ferner die Schollenküsten der alten Glazialgebiete, zu denen die Umrandungen der Ostsee zum größten Teil, die russischen Eismeergestade und der arktische Archipel von Nord-Amerika zu rechnen sein dürften.

5. Regionale Schwemmlandküsten. — Im Gegensatz zu den vorigen sind dies neutrale Flachküsten. Es ist selbstverständlich, daß schmale Flachlandstreifen zwischen Gebirge und Meer den Charakter der Küste unter dem in Rede stehenden Gesichtspunkt eben so wenig verwischen, wie breites Deltaland von Strömen, welche zwischen Gebirgsvorsprüngen der Transversalküsten münden. Erst wenn das Schwemmland jede erkennbare Beziehung der Küstenlinie zu der Gebirgsgliederung der Kontinente vollkommen auf hebt, gibt es mit Rücksicht auf diese zu einer besonderen Kategorie von Küsten Anlaß. Dies ist der Fall an den Küsten des norddeutschen Schwemmlandes, sowie desjenigen der westsibirischen Ströme und der nordchinesischen Großen Ebene. Der Charakter der hierhergehörigen Küsten kann sehr verschieden sein.

Morphologische Erklärung der Beziehungen der Küstenlinien zur Plastik der Kontinente.

[§136] Zweierlei Klassen von Bewegungen liegen der allgemeinen Gestaltung der Küsten und ihren Beziehungen zu den leitenden Zügen im Relief der Kontinente zu Grunde. Die eine besteht in den Verschiebungen, welche sich teils in tangentialem, teils in vertikalem Sinn innerhalb der Erdrinde vollziehen, die andere in den Schwankungen des Meeresspiegels. Die gegenwärtigen Küstenlinien sind das Resultat des Zusammenwirkens Beider. Dies gilt ebenso für die vormaligen Küstenlinien, insbesondere für die Grenzen der ausgedehnten, meist wiederholt vom Meer bedeckt gewesenen Flachländer gegen die großen Gebirgszüge. Die Forschung ist bestrebt, die Art des Zusammenwirkens der genannten Ursachen im einzelnen Fall zu erkennen. Sie kann dieses Ziel nur langsam und fragmentarisch erreichen. Um so mehr ist darauf Bedacht zu nehmen, überall die Tatsachen zu sammeln, welche als Unterlage für Schlußfolgerungen über dieses, die kausale Erklärung der allgemeinen Umrißformen der gegenwärtigen Kontinente involvierende Problem zu dienen geeignet sind. In dem Abschnitt, welcher über den Gebirgsbau handelt, wird darauf näher eingegangen werden. Hier möge eine flüchtige Hindeutung auf diejenigen tektonischen Ursachen, welche als möglich und wahrscheinlich angenommen werden können, genügen. Der Reisende tut gut, solche Beziehungen im Auge zu behalten, da sie ihn bei der Beobachtung leiten können.

Vertikale Verschiebungen an Längsbrüchen, wahrscheinlich meist von Überschiebung gegen den gesunkenen Teil begleitet, dürfen als die allgemeinste Ursache der Beziehungen der Längsküsten zum Kontinentalbau betrachtet werden, besonders wo hohe Kettengebirge durch eine Küste dieser Art von tiefem Meer getrennt werden, wie an den Ostseiten von Japan, Korea und Formosa, an der West- und Südseite des durch Sumatra und Java ziehenden Gebirgsbogens, oder an der Westseite des nördlichen und südlichen Amerika. Mäßige Schwankung des Meeresspiegels würde an dem Wesen dieses Verhältnisses nichts ändern. Wie in den genannten Fällen, hat auch in anderen, wo das Meer in einzelnen Teilen eine geringere Tiefe hat, oder seine Stelle durch Schwemmland eingenommen ist (eranischer Bogen, dinarischer Bogen mit Kreta und Cypern, Himalaya) eine Versenkung an der äußeren Seite des Gebirges stattgefunden. Eine Grundlage zu Schlußfolgerungen über das Verhältnis der durch Versenkung der Beobachtung entrückten Teile vermag nur das sorgfältige Studium von Querprofilen der betreffenden Gebirge zu liefern.

Vertikale Verschiebungen an Querbrüchen scheinen den transversalen Küsten nicht in der Allgemeinheit zu Grunde zu liegen, wie es betrifft des Verhältnisses der Längsverschiebungen zu Längsküsten angenommen werden darf. Ein Gebirge kann in seinem Streichen niedriger werden, sich in Folge von Schwankungen des Meeresspiegels unter diesen herabsenken und durch die

Brandungswelle seiner Gipfel und Kämme zum Teil beraubt werden, ohne daß dem Verschwinden ein Bruch zu Grunde liegt. Es wird dann in der Regel seawärts in Inselreihen fortsetzen. Wo letztere fehlen und ein Gebirge durch die Küste so vollkommen abgeschnitten wird, daß tiefer Meeresboden in seiner Fortsetzung liegt, ist das Absinken eines Teils entlang einem Querbruch unabweisbar; so am Ost-Ende des Balkan gegen das Schwarze Meer, in der Lücke zwischen Kaukasus und Kopet-dagh, am Westvorsprung des Atlas, an vielen Festlands- und Insel-Gebirgen des ägäischen Meeres und in zahlreichen anderen Fällen.

Beckenversenkungen am Innenrand von Gebirgsbögen werden in der Regel den Beckenrandküsten zu Grunde liegen. Der Innenrand der Alpen gegen die Po-Ebene gibt das beste Beispiel einer alten, durch Versenkung dieser Art entstandenen Küstenlinie; an der Westseite der Apenninen-Halbinsel sind die Verschiebungen, welche die Gestalt der gegenwärtig bestehenden Küstenlinie veranlaßt haben, eingehend studiert worden.

Die neutralen Hochküsten verdanken Schollenbrüchen häufig ihrer Entstehung. Die durch sie abgegrenzten Kontinentalräume zeichnen sich ausnahmslos dadurch aus, daß die jüngeren Sedimentformationen, in manchen Fällen bis hinauf zu denen des paläozoischen Zeitalters, einem aus gefalteten alten Formationen bestehenden Grundgerüst horizontal aufgelagert sind und dadurch den Tafellandcharakter bedingen. Dieselben haben eine Zusammenfaltung zu Gebirgen nicht erfahren, sind aber häufig entlang ausgedehnten Linien» gebrochen und verschoben. Brüche ähnlicher Art, aber von größerem Ausmaß, liegen den einfachen Küstenformen vielfach zu Grunde. Sie haben in ihrem Verlauf vielleicht eine Beziehung zu dem Bau des Grundgebirges, und es würde von Interesse sein, dies in einzelnen Fällen festzustellen. Es ist jedoch für diese und die vorgenannten Kategorien gleichmäßig zu berücksichtigen, daß der Küstenrand selten dem Bruchrand selbst entsprechen wird, da er durch die Brandungswirkung erheblich verschoben worden sein kann. Die Existenz der Brüche ergibt sich auch hier aus dem Studium der Struktur des Festlandes. Wo sich Staffelbrüche vom Inneren her gegen die Küste verfolgen lassen, werden sie mit Wahrscheinlichkeit in dieser fortsetzen.

Die gleiche Ursache ist wohl nur mit großer Beschränkung unter die Vorgänge aufzunehmen, welche der Bildung der Schollenküsten der Binnenmeere der Glazialgebiete zu Grunde liegen. Dort kommen die Schwankungen des Meeresspiegels und das Eingreifen desselben in unruhig gestaltetes Land, wie es scheint, vorwaltend zur Geltung.

In den nachfolgenden Betrachtungen wird sich Gelegenheit bieten, auf die in einzelnen Fällen zu Grunde liegenden Vorgänge näher einzugehen.

c. Einzelgliederung der Küsten.

[§137] Als ein Vergleichungsmoment zweiter Ordnung wurde im Vorhergehenden das Verhältnis der Einzelgliederung der Küsten zu den sekundären Elementen des Bodenreliefs erwähnt, d. h. zu der Skulptur der Gebirge und den Unebenheiten des Bodens überhaupt. Sie spricht sich in dem Vorhandensein von Buchten und Vorsprüngen verschiedener Gestalt, in der Begleitung durch Inseln, Klippen und Flachgründe, ebenso wie in geradlinigem Verlauf oder Zusammensetzung aus bogenförmigen Strecken aus. Die Küstenlinie stellt die Horizontalprojektion des Vertikalreliefs in der dem Meeresstand entsprechenden Niveaufläche dar. Dennoch entspricht sie in den seltensten Fällen einer ursprünglichen Isohypse. Eine solche würde meistens in einem

etwas höheren oder tieferen Niveau ganz andere Formen haben. Gleichviel ob die jetzige Küstenlinie eine Episode in einer positiven oder einer negativen Strandverschiebung sei, bringen die Meeresarbeiten, deren Schauplatz sie ist, sofort Änderungen, oft von beträchtlicher Art, hervor. Die Brandungswelle greift das Gestein an, das weichere mehr als das härtere; die Flüsse setzen Sedimente ab; Strömungen und Wellen wirken verteilend. Dadurch entstehen verschiedene Formen. Eine vollständige Classification derselben kann noch kaum versucht werden, da noch nicht hinreichende Beobachtungen vorliegen. Doch lassen sich aus der großen Mannigfaltigkeit einige charakteristische Typen herausheben. Als Einteilungsgrund für dieselben soll der Umstand benutzt werden, ob das Eingreifen des Meeres in die Hohlformen des Festlandes überwiegt, oder ob Sedimentablagerungen, gleichviel ob Flüsse oder Strömungen die bewegende Kraft seien, für den Charakter bestimmend sind. Es dürfte durch solchen Versuch dem Reisenden nicht nur ein Anhalt zu Beobachtungen in dem ihm vorliegenden Einzelfall gegeben sein; er wird auch kleinere Unterschiede innerhalb der hier unter einem Typus vereinigten Formen wahrnehmen und neue Typen hervorzuheben vermögen.

(a.) Typen, welche auf dem Eingreifen des Meeres in die Täler beruhen.

[§138] Talrinnen sind durch das fließende Wasser der Festländer ausgewaschen, zum Teil auch durch Eis erweitert und vertieft worden. Das letztere vermochte außerdem durch Ausräumung von altem Zersetzungsboden und Korrasion Becken zu schaffen. Solche Hohlformen vermag das Meer nicht hervorzubringen. Wenn sein Niveau an einer Küste ansteigt und die Brandungswelle ungehindert wirken kann, wird das Gestein zwar in verschiedenem Maße abradirt (§ 161), und es können an Stelle des weicheren Buchten zwischen Riegeln des härteren gebildet werden. Aber die schief ansteigende Abrasionsfläche vermindert landeinwärts die Kraft der Wellen, so daß diese selbst bei rechtwinkeligem Andrang nur konkave Buchten, niemals aber in Windungen tief eindringende und sich verzweigende Meeresarme hervorbringen können. Wo solche sich finden, liegt daher, mit Ausnahme der seltenen Fälle, wo das Meer eine grabenartige Versenkung ausfüllt, unter allen Umständen das Eingreifen desselben in einen durch fließendes Wasser und andere festländische Kräfte gebildeten Kanal vor. Dieser Vorgang vollzieht sich allmählich und ist in der Regel von anderen Vorgängen begleitet, welche mit dem Meer um die Ausfüllung des Raumes in Wettstreit treten. Der Fluß schiebt seine Sedimente von den innersten Teilen vor; die Bäche der Seitengehänge häufen sie an deren Fuß an; der Boden der Rinne wird erhöht. Gleichzeitig werden an der Stelle der Ausmündung die von den Strömungen fortgeführten Abrasionsprodukte aufgehäuft. Die Typen unterscheiden sich nun teils nach dem Grad, in welchem diese Gegenwirkung stattgefunden hat, teils nach dem tektonischen Charakter und petrographischen Bau des Festlandes und nach der Gestalt der Rinnen.

1. Fjordküsten. — Fjorde sind weit in das Innere von Gebirgen eingreifende, nach oben sich verzweigende, schmale und tiefe Meeresbuchten. Nimmt man das Meer hinweg, so erhält man Talsysteme. Querverbindungen zwischen zwei Fjorden bezeichnen die wasserbedeckten Einsattelungen der trennenden Rücken; Fjordinseln sind wesentlich durch Überfluten vieler Paßübergänge losgelöst. Der Boden eines Fjords hat jedoch nur selten die Gestalt einer Talrinne, indem er gewöhnlich in der Gegend des Ausganges zu einer mehr oder weniger hohen Schwelle ansteigt. Typische Fjordküsten sind fast ausnahmslos besondere Ausbildungsformen von Längsküsten. Daher ist beinahe in allen Fällen das Quertal vorherrschend, das Längsthal diesem untergeordnet. Wären die Kette der Tauern und die Oetztaler Gruppe bis zur Isohypse von 1800 Metern in

Heute: Fjorde sind mit Meereswasser gefüllte Talformen, welche einen glazialen Bildungshintergrund besitzen. Wichtig: Nicht geographisch genannten Fjorde sind wirkliche, geologische Fjorde.

das Meer versenkt, ohne daß während der Versenkung Abrasion stattfinden könnte, so würden ihre Flanken Längsküsten sein; ihre Talsysteme würden vollkommenen Fjordcharakter darbieten; nur würden den Ausgängen der Täler die Bodenschwellen fehlen. Wo Längstäler die primäre Form sind, wie an der West- und Ostküste von Schottland, ist der Fjordtypus nicht rein, sondern geht in den Rias-Typus über. Wie an einer anderen Stelle (§ 113) als die wahrscheinlichste Erklärung der Fjordbildung ausgeführt wurde, ragten die Fjordgebirge zur Zeit der Talausschüpfung so hoch auf, daß die Sohlen der Täler höher lagen als das Meer; die Versenkung geschah unter Verhinderung der Abrasion durch Gletscher in den Tälern und durch Packeis Massen an den Küsten; dieselbe vermochte so wenig stattzufinden, wie heute an den eisumlagerten Küstenstrecken des östlichen Grönland. Eine Ausfüllung der Täler mit Schutt konnte nicht geschehen, weil dieser auf dem Eis in das Meer getragen wurde. An der Stelle des Kalbens setzte sich ein Teil desselben ab und begann die Bodenschwelle zu bilden. Als mit dem Schwinden des Eises die Abrasion zu wirken anfang, wurden durch Anhäufen der Zerstörungsprodukte mittelst der Strömungen die Bodenschwellen der Ausgänge erhöht.

Fjorde sind fast stets in sehr festem Gestein eingeschnitten. Ihre Verbreitung beschränkt sich auf früher stark vergletschert gewesene Gebirge, und zwar auf deren vom Meer bespülte Wetterseite. Einige sind später landfest geworden (s. Fjordseen S. 268). Die Untersuchung der Fjorde hat zunächst morphographisch zu geschehen. Die Seekarten zeigen ihre Gestalt in der Isohypse der jetzigen Meeresfläche; es sind Längsprofile des Bodens vom Anfang bis über den Ausgang hinweg, sowie Querschnitte der gesamten Felströge bis zu den überragenden Höhen hinauf, anzufertigen. Von Wert wäre es, die Beschaffenheit der Bodenschwellen am Ausgang der Fjorde genau festzusetzen, da von Anhängern extremer Eiserosion die Vermutung ausgesprochen worden ist, daß sie durch festes Gestein gebildet werden, was mit der hier auseinandergesetzten Ansicht von der Entstehung der Fjorde in Widerspruch stehen und eine erheblich abweichende Erklärung bedingen würde. Das Problem würde sich seiner Lösung näher führen lassen, wenn es gelänge, eine Gegend ausfindig zu machen, in welcher die Bodenschwellen nicht nur trocken gelegt, sondern auch von dem Abfluß der in Becken zurückgebliebenen Fjordseen durchschnitten wären. Von den Eiswirkungen an den Wänden der Fjorde ist früher (in § 113) die Rede gewesen; die an ihnen vorkommenden Strandterrassen sind unten (§ 160) behandelt. In besonderer Weise ist die Aufmerksamkeit auf den Zusammenhang der die Gestalt der einzelnen Fjordglieder bestimmenden Richtungslinien mit der inneren Gebirgsstruktur zu lenken, da Kjerulf für Norwegen sehr nahe Beziehungen zwischen beiden erwiesen hat. Neben dem Schichtenstreichen kommen hauptsächlich die Kluft- und Verwerfungslinien in Betracht. Da die Fjorde scharf geschnittene Gestalten haben, ist bei ihnen das Verhältnis besser zu beobachten, als dort wo die Seitenwände abgetragen sind. Sie können daher lehrreiche Beispiele für den an einer andern Stelle (§ 95) behandelten Einfluß der Kluftrichtung auf die Gestalt der Erosionstäler geben.

[§140] 2. Dalmatischer Typus. — Wo an einer Längsküste eine positive Strandverschiebung das Meer in die Furchen eines zonalen Faltungsgebirges eintreten läßt, wird es dort, wo die Brandungswelle ihre Arbeit verrichten kann, die Kämme in der Reihenfolge, in welcher es an sie herantritt, abschleifen. Ist jedoch die Brandungswirkung so beschränkt wie im adriatischen Meer, so findet keine Abrasion statt; das Meer füllt die Täler aus und läßt die trennenden Rücken als Landzungen und Inseln hervorragen. An der dalmatischen Küste ist dieser durch den Parallelismus seiner Glieder ausgezeichnete, von dem der Fjorde nach Form und Entstehung verschiedene Typus am vollkommensten vertreten. Er findet sich, gleichsam * rudimentär, an anderen Längsküsten, wo Hindernisse verschiedener Art die Brandungswirkung beschränkten; so bei San Francisco, wo das Meer hoch über dem Boden des ehemaligen Flusses durch ein Quertal in der Küstenkette ein großes inneres Längsthal erreicht und, gerade wie bei Cattaro, durch das

Quertal einer zweiten Kette sich ;bis in ein entfernteres Längsthai erstreckt. Da auch Korallenbauten die Brandung abhalten, sollten in ihrem Schutz ähnliche Formen entstehen.

[§141] 3. Riasküsten. — An transversalen Küsten treten die Enden der Gebirgszüge oft in scharfer Umgrenzung in das Meer hinaus, während dieses zwischen denselben in die unteren Strecken der die Gebirge trennenden Buchten und Täler eingreift. Es herrschen außerordentlich unruhige Linien, welche in der Regel durch vorgelagerte Inseln verstärkt werden. Sie sind das Resultat positiver Strandlinienverschiebung. Da die Querenden von Gebirgen meist einen erheblichen Gesteinswechsel zeigen, so arbeitet die Brandungswelle Buchten heraus. In den Flußtälern, welche nach und nach vom Meer überflutet werden, dringt dieselbe aufwärts, schnell an Kraft verlierend. Es sind daher verschiedene Gestaltungsmomente vorhanden:

Ria, oder Rias: Geflutete Täler, ohne Gletscher-Wirkung

- 1) das ursprüngliche, durch tektonische Bewegungen und die auf dem Festland tätigen Kräfte gestaltete Relief von Berg und Tal;
- 2) die an Küsten verschiedener Art vorkommenden, hier aber zahlreicher auftretenden Formen konkaver Buchten zwischen Felsvorsprüngen, welche fast ausschließlich von der Brandungswirkung stammen;
- 3) die tief eingreifenden und sich verzweigenden Meeresbuchten, welche durch die Erosion fließender Gewässer entstanden sind und von dem ansteigenden Meer erfüllt wurden;
- 4) die Erweiterung und Umgestaltung der Ausgangspforten dieser Buchten durch Brandung und Strömung;
- 5) die losgetrennten Inseln, welche, ein Produkt aller dieser Faktoren, von der Brandung am stärksten bearbeitet werden. Dazu kommt, als wesentlichster Unterschied von den Fjorden,
- 6) die Verschiebung des Schwemmlandes dem eindringenden Meer entgegen, daher die Ausfüllung des versenkten Flußtales mit Sedimenten und die Gestaltung des Bodens nach den Gesetzen der vereinigten Arbeit von Fluß und Meer und der verteilenden Wirkung der Meeresströmungen.

Die Riasküsten unterscheiden sich von den Fjordküsten nicht nur dadurch, daß sie wesentlich an Transversalküsten vorkommen, sondern auch insbesondere durch den Umstand, daß die Abrasionswirkung des vordringenden Meeres ebenso wenig gehindert war, wie die Sedimentablagerung durch die Ströme. Da die Erosion des fließenden Wassers vor Allem die weicheren Gesteine angreift, und die Brandung ebenso verfährt, wirken beide Agentien gemeinsam auf das Herauspräparieren der Rücken festeren Gesteins und deren Trennung durch Furchen. Es kommt darauf an, den Antheil beider Agentien an der Ausgestaltung zu sondern. Ein anderer Unterschied von den Fjorden besteht darin, daß die Einwirkung der Agentien der Verwitterung, des spülenden und fließenden Wassers an den über das Meer hervorragenden Teilen niemals gehindert war. Daher finden sich die gewöhnlichen Formen von Berg und Hügelland, wenn auch die Abrasion an Vorsprüngen und Inseln Felsabstürze schafft und ein steiles Gefälle der kleinen Gewässer hervorruft.

Obgleich diese Gestaltungen an der galizisch-asturischen Küste nur unvollkommen entwickelt sind, haben doch nur dort die zu ihnen gehörigen charakteristischen Einbuchtungen des Meeres eine Klassenbezeichnung (Rias) erhalten; es mag daher dieselbe auf die vollkommeneren

Ausbildungsformen anderer Gegenden übertragen werden. Der Rias-Typus ist bezeichnend für die Küsten der Bretagne, des südwestlichen Irland und der Gebirge an der Westseite von England. In Schottland geht er in den Fjordtypus über. Die ausgezeichnetste Entwicklung des Rias-Typus findet sich an der Küste des südlichen China. Hier sind in einer Erstreckung von beinahe zehn Breitengraden die von Westsüdwest nach Ostnordost streichenden, sehr zahlreichen, einander parallelen, aber enggestellten Gebirgszüge durch die im Bogen verlaufende Küste diagonal oder quer abgeschnitten. Jeder von ihnen endet nach dem Meer in Vorsprüngen und Inseln. Zwischen ihnen kommen aus den parallel angeordneten Tälern zahlreiche große und kleine Flüsse heraus, f Das Meer steht erheblich über der Sohle jeder einzelnen Talfurche und dringt weit in dieselben und ihre Verzweigungen ein, bis es sich in jedem Arm mit den vorgeschobenen Alluvialböden begegnet. Auch in den vom Meer eingenommenen Teilen der Talfurchen sind diese hoch mit Sedimenten aufgefüllt. Da die Strömungen gering sind und nach Jahreszeiten wechseln, sind Schlammbänke auszeichnend, welche zur Ebbezeit trocken liegen, aber von der Flut vollständig bedeckt werden und unmittelbar an die Felsküsten heranreichen. Der geringste Rückzug des Meeres würde die Felsküsten mit Alluvialland umgürten. Die Brauchbarkeit der in endloser Zahl vorhandenen Buchten für die Schifffahrt wird dadurch beeinträchtigt. Die guten Häfen sind gering an Zahl und erleiden Änderungen durch Verschwemmung. — Ähnlich scheinen sich die Westküsten von Korea und Japan zu verhalten. Ein ausgezeichnetes Beispiel gibt die Westküste von Klein-Asien. Unter allen Küstenformen (mit Ausnahme der Fjorde) sind diejenigen vom Riastypus am reichsten an langgestreckten Einbuchtungen. Die Zahl guter Häfen steht jedoch nicht im Einklang damit. Die Ursachen sind klar. Am dauerndsten brauchbar sind solche Buchten, welche, wie diejenigen von Nagasaki und Kagoschima in Japan und wie die Häfen von Rio und Sydney, weder größeren Flüssen zur Mündung dienen, noch von sedimentbringenden Strömungen erreicht werden.

[§142] 4. Liman-Typus. — Wenn man in der halben Höhe des Abfalls eines binnenländischen, von Flüssen durchzogenen Tafellandes eine Isohypse konstruiert, so umzieht sie den Abfall in der Regel in sehr einfacher Linie und sendet lange, von breitem Ausgang bald sich zu schmalen Streifen verjüngende Ausläufer weit in das Tafelland hinein. Steigt das Meer bis zu einer solchen Isohypse allmählich an, so nehmen seine Buchten die Gestalt derselben nicht an; denn die Flüsse schieben ihm beständig ihre Sedimente entgegen und füllen den Kanal von oben nach unten aus. Dies ist das Bild der Liman-Mündungen an der Nordwestküste des Schwarzen Meeres. Das letztere sendet von seiner einfach geformten Grenzlinie jedem einmündenden Fluß einen von niedrigen Steilufern eingeschlossenen, sich verjüngenden Golf entgegen, welcher sein oberes Ende an dem Alluvialland des Flusses erreicht. Das Meer nimmt den unteren, erweiterten Teil der Rinne ein, welche sich der Fluß früher gegraben hatte. Da Ebbe und Flut hier keine Wirkung haben, so steht bei unveränderlichem Meeresstand die Ausfüllung der Limane durch Alluvien im Lauf der Zeit zu erwarten.

Man kann die Limane als ebenso bezeichnend für eine ganze Kategorie von Küsten ansehen, welche mit der nordpontischen die Besonderheit gemeinsam haben, daß sie Tafelland oder Schollenland gegen das Meer abgrenzen und, indem sie eine Beziehung zur Plastik nicht erkennen lassen, von allgemeinem Gesichtspunkt aus oben (S. 300) als neutral bezeichnet wurden. Sie sind in der Regel frei von Inseln oder arm daran, und ihr einfacher Verlauf gestattet den Strömungen wenig gehinderte Sediment-versetzung. Wo diese Küsten an einem Meer mit Gezeiten liegen, trägt die Ausräumung durch den Ebbestrom dazu bei, die Flußmündungen offen und weit zu halten, die Begrenzungslinien auszuglätten und der Bucht eine Zuspitzung nach

oben zu geben. Es gehören hierher viele der sogenannten „trompetenförmigen Flußmündungen“. Playfair bezeichnete sie als negative Deltas. An den Tafellandküsten des südöstlichen England und der Normandie finden sie sich an allen durch ihre Lage vor der Bildung eines Abschlusses durch Küstenwälle geschützten Flußmündungen; so an der englischen Südküste, und zwar an der Ostseite der Landvorsprünge und im Schutz der Insel Wight. Ein ähnliches Verhalten dürfte sich in anderen Fällen nachweisen lassen. Auch die Ostküste des südlichen England mit der Themse-Mündung ist hierher zu rechnen. Noch ausgezeichnet ist der Typus an den Küsten der Chesapeake-Bay und Delaware-Bay vertreten. Beachtung hinsichtlich derselben Gesichtspunkte verdienen die Flußmündungen von Kamerun, Gabun und Ogowe.

Weisen schon die genannten Beispiele auf die Möglichkeit der Sonderung einer größeren Zahl von Typen hin, so möge im Anschluß an dieselben der sich noch weiter von den Formen der Limane entfernenden Typen gedacht werden, welche auf dem Eindringen des Meeres in die Hohlformen des von den großen Eisströmen der Glazialzeit gepflügten Bodens flacher Schollenländer bei aufgehobener oder schwacher Brandungswirkung beruhen. Dazu gehört der schwedisch-finnische Typus oder die Skjärenküste, welche unter allen Küstenformen die zierlichste Gliederung und Inselauflösung besitzt. Unter den Motiven der letzteren herrscht der Rundhöcker (§§ 238, 249) vor, dessen übermäßig häufige Wiederkehr auch, allerdings neben manchen anderen Formen der Unebenheiten, «die Gliederung der Küste selbst zu bestimmen scheint. Ferner ist der kimbrische Typus zu nennen, welcher in dem Eindringen des Wassers von Binnenmeeren in langgezogene, zum Teil netzartig verzweigte, vermutlich mit dem Glazialphänomen in Zusammenhang stehende Hohlformen flachbodiger Länder besteht. Es wird dadurch eine Auflösung in regellos gestaltete, große und kleine Inseln und eine ebenso unregelmäßige Gestalt der Festlandsumrisse verursacht. Die Ostseite von Dänemark mit den vorliegenden Inseln und die Nordküste von Amerika mit dem zugehörigen arktischen Archipel geben Beispiele hiervon. In beiden Fällen würden die Formen wesentlich andere sein, wenn die betreffenden Meere bedeutendere Tiden hätten und einer starken Brandungswirkung fähig wären.

(b) Typen, welche auf dem Ansatz von Schwemmland an der Küste beruhen.

[§143] Während bei den genannten Typen die durch die Agentien des Festlandes hervorgebrachte Einzelgliederung in der Gestalt der Küste, wenn auch in verschiedenem Grad, zum Ausdruck kommt, kann dieselbe durch das Vordringen des fluviatilen Schwemmlandes in das Meer, durch den Ansatz von Zerstörungsprodukten und durch Rückzug des Meeres vollkommen verwischt werden. Auch hier lassen sich eine Reihe von Typen unterscheiden.

5. Hinter indischer Typus. — Von der Brahmaputra-Mündung bis Cochinchina zieht eine, nur durch die vorgestreckte Halbinsel Malakka unterbrochene Querküste. Breites Flachland lagert zwischen den einzelstehenden Gebirgen und schiebt sich zwischen deren Enden so weit nach dem Meer vor, daß jene zwar noch den allgemeinen Verlauf der Küste veranlassen, in der Einzelgliederung aber nicht mehr zur Geltung kommen. Das Flachland endet meist in nach außen konvexen, zum Teil in konkaven Küstenlinien. Wo das Gebirge, wie an der Ostküste des Golfes von Siam, häufiger an die Küste herantritt, sind an den Enden der einzelnen Flußtäler konkave Bogen zwischen den Vorsprüngen gespannt. Dies dürfte auch der Typus sein, wo an der kolumbischen Nordküste von Süd-Amerika die Andenzüge auslaufen, und wasserreiche Flüsse dazwischen ihre Sedimente vorschieben.

6. Lagunenküsten. — Wenn durch die Vermittlung von Wellenverschiebung und Küstenströmung die Zerstörungsprodukte der Abrasion, oder die durch Flüsse dem Meer zugeführten Sedimente vor den Buchten und limanähnlichen Flußmündungen der Flachküsten in Gestalt von Küstendämmen abgelagert werden, oder wo sich in der Berührungszone sedimentreicher, durch die Ebbe verstärkter Süßwasserströme mit dem Meer Bänke ablagern und über das Wasser erheben, werden in der früher (§ 117) geschilderten Art Lagunen abgesondert, welche entweder Meerwasser enthalten, oder brackisch werden, oder eine Aussüßung erfahren, oder zu Salzpflanzen zusammenschrumpfen. Lehrreiche Beispiele sind: die venezianische Küste, die südfranzösische Küste westlich von den Rhone-Mündungen, die Küste von Guinea westlich von den Niger-Mündungen, die Küste von Carolina und die südbrasilianische Küste bis Uruguay. Das Phänomen nimmt vielfach verschiedene Gestalt an und wird häufig zu Beobachtungen Anlaß geben.

7. Guyana-Typus. — Dieser beruht auf Ansatz von flachem Schwemmland durch Meeresströmungen und Ablenkung der Flüsse des Festlandes in Linien, welche der Küste parallel sind. Guyana bietet, in Folge der Masse der vom Essequibo und Amazonas dem Meer zugeführten festen Bestandteile, der Mächtigkeit und Beständigkeit der Strömung und der befestigenden Wirkung, welche die tropische Mangrove-Vegetation auf die Sedimente ausübt (§ 33), das großartigste Beispiel dieser Erscheinung. In kleinem Maßstab ist es häufig zu beobachten. Es kann mit Lagunenbildung verbunden sein.

8. Patagonischer Typus. — Während bei den letzten drei Typen die Strandverschiebung nicht notwendig in Betracht kommt, ist dort, wo das Küstenland ein trockengelegter Meeresboden ist, die Annahme einer negativen Verschiebung der Strandlinie unabweisbar. Ist die Küste, wie an der Ostseite von Patagonien, transversal gerichtet, so markiert sich noch zuweilen die Gliederung von abradierten Ketten und muldenförmig zwischen ihnen eingelagerten Meeressedimenten. Man glaubt eine sehr plumpe Gestalt von Rias-Küsten zu sehen, deren reich ausgezackte Linien hier selbstverständlich nicht vorkommen können. Die Flußmündungen zeichnen sich nicht durch Eingreifen des Meeres aus. Eine analoge Form bietet die Westküste Nord-Amerikas, von Alaska bis Cap Banow, wo jedoch schärfer geschnittene Formen und tiefere Buchten auf eine Beteiligung verschwunden Eises bei der Bildung schließen lassen. — Neben vielen anderen Küsten, z. B. manchen nicht vergletschert gewesenen der arktischen Regionen, ist hier an diejenigen des südöstlichen Kalabrien und anderer Teile von Italien zu erinnern.

9. Meeresgrundküsten. Ungleich dem letztgenannten Typus, wo bergige Vorsprünge die einzelnen Strecken des trockengelegten Meeresbodens trennen, bildet bei anderen der letztere ein mehr oder weniger breites kontinuierliches Vorland. Dahin gehören große hafenlose und fast unnahebare Strecken der Ostküste von Afrika.

10. Ausgleichsküsten. Unter dieser Bezeichnung mögen vorläufig eine Menge von Küstenstrecken zusammengefaßt werden, welche keine der im Vorhergehenden genannten Eigentümlichkeiten besitzen, sondern sich dadurch auszeichnen, daß die Küste, trotz vielfacher Einzelgliederungen im Relief des Festlandes, in geraden oder leicht geschwungenen, aber ungebrochenen Linien hinzieht, und weder die Flußmündungen, noch die Felsgebilde sich in ihnen markieren. Es können wesentlich verschiedene Ursachen zu Grunde liegen. Denn eine Verwerfung entlang der einfach gestalteten Linie kann ebenso die Veranlassung sein, wie starke, ausgleichende Küstenströmungen, welche die von den Flüssen ihnen überlieferten Sedimente in glatter Linie hinwegnehmen und durch deren Absatz an anderen, eingebuchtet gewesenen Stellen jede Unterbrechung in der Stetigkeit verschwinden lassen. Als Beispiele mögen die Küsten von Portugal und dem südwestlichen Vorder-Indien dienen, ferner diejenigen der Riviera und Teile der amerikanischen Westküste. Wo der pazifische Ozean den mit Vulkanen besetzten Querabbruch der

Gebirge von Guatemala und San Salvador bespült, ist die Linie fast ebenso einfach, wie dort, wo die Küste von Chile und Peru dem Gebirgsstreichen parallel gerichtet ist; und doch würde an den meisten Stellen aller genannten Länder eine Isohypse in geringer Höhe über dem Meer einen sehr wechselvollen Verlauf besitzen. An solchen Küsten gilt es ganz besonders, die Ursachen der einfachen Gestalt der Grenzlinien von Meer und Land zu ergründen.

(c) Örtliche Einflüsse auf die Einzelgliederung.

[§144] Inwieweit der Härtewechsel der Gesteine örtlich bestimmend wirken kann, ist bereits erörtert worden. Es ist klar, daß ein Gang oder Stock eines Eruptivgesteins zu der Entstehung einer Landzunge, das isolierte Vorkommen eines weichen oder lösungsfähigen Gesteins zur Ausbildung einer Bucht Anlaß geben kann Solche Einflüsse werden wichtig, wenn dadurch Ankerplätze oder Häfen an sonst zufluchtsarmen Küsten geschaffen werden. Es ist hier noch besonders auf die Modifikationen hinzuweisen, welche die vulkanische Tätigkeit und die Korallenbauten in der Einzelgliederung der Küsten hervorbringen. Beide treten als fremdartige Elemente zu den sonst vorhandenen hinzu.

Ein einzelner Vulkan kann, je nach seiner Lage im Verhältnis zur Küste, diese unberührt lassen, oder seine Aufschüttung über sie hinaus vorschieben, auch mit seinem ganzen Kegel außerhalb ihrer Linie gestellt und nur durch Anschwemmungen mit ihr verbunden, auch ganz als Insel losgetrennt sein. Von der Flachheit oder Tiefe des Meeres, von der Stärke der ihn angreifenden Agentien desselben und von dem Volumenverhältnis fester Lavaströme zu lockeren Aufschüttungsmassen wird es abhängen, wie weit er im Stande sein wird, die Küstengestalt auf längere Dauer zu beeinflussen. Wo sich, wie an der Ostküste von Kamtschatka und Neu-Seeland, die Vulkane häufen, wird dieser Einfluß ein bedeutender. Da die Tendenz der Ausbildung von Kegeln mit runder Basis vorwaltet, so entstehen Buchten, die aber durch Verschwemmung der lockeren Auswurfsmassen bald ausgefüllt werden. Außerdem sind der vulkanischen Tätigkeit oft Einbrüche und Bewegungen des Bodens überhaupt verbunden, welche manche Formänderungen in der Umgebung hervorbringen können.

Korallenbauten, sowohl wenn sie einfache Verschalungen der Küste bilden, als wenn sie dieselbe in Gestalt von Wällen begleiten, oder die vulkanischen Tuffe verfestigen, bilden einen Schutz gegen die Abrasionswirkung und feste Beckenränder für Ablagerungen, üben daher in vielfacher Hinsicht Einfluß auf die Küstengestaltung, wie in § 186 auseinandergesetzt werden soll.

d. Beziehungen von Küsten und Inseln.

[§145] Die Beobachtungen an den Küsten der Inseln sind dieselben, wie an den Küsten der Kontinente. Doch ist auch den Beziehungen der letzteren zu den vorgelagerten Inseln Rechnung zu tragen. Dieselben sind in dem Abschnitt über die Inseln (§ 174 ff.) auseinandergesetzt. Es handelt sich besonders um die Frage, ob die Inseln die Fortsetzung der Plastik des Kontinentes bilden, oder ihr gegenüber eine selbständige Stellung haben, und wie sie sich alsdann morphologisch zu ihr verhalten.

e. Praktischer Wert der Küsten. Seehäfen.

[§146] Wie aus mehreren vorangegangenen Bemerkungen einleuchtet, verhalten sich die Meeresküsten außerordentlich verschieden bezüglich des praktischen Wertes, welchen sie für die menschliche Ansiedelung und den Verkehr haben. Sie sind die Linien, an welche der Seeverkehr ansetzt. Aber einerseits müssen geeignete Ansatzpunkte für diesen gegeben sein; das sind die Seehäfen; andererseits muß ein bevölkertes und ergiebiges Hinterland erreichbar sein. In einzelnen Fällen kann es geschehen, daß ein Hafenplatz ohne Hinterland wegen seiner Vorteile für die Schifffahrt höhere Bedeutung erlangt, indem von ihm aus nahe gelegene Gegenküsten oder Inseln leicht versorgt werden können, oder indem er an dem Brennpunkt von Verkehrslinien liegt, wie es bei Singapur, Colombo, Aden, St. Thomas, Syra, Malta und manchen anderen der Fall ist. Gewöhnlich aber beruht der Wert einer Küste für die Verkehrsbeziehungen ebenso in dem harmonischen Verhältnis zwischen Zugänglichkeit zur See und Zugänglichkeit zu Lande, wie in dem Vorhandensein erreichbarer und ähnlich begünstigter Gegenküsten. Es ist daher in Beziehung auf die Landseite nicht nur auf den Grad der Besiedlungsfähigkeit und Produktionskraft des Küstenlandes selbst, sondern auch auf die Verhältnisse des Hinterlandes zu achten, in wie weit dieses durch Ströme und natürliche Verkehrswege geöffnet, oder durch Gebirge, Sumpfland oder Wasserlosigkeit unzugänglich ist. Bis zu einem gewissen Grad werden jetzt diese Hindernisse durch Eisenbahnen überwunden. Der größere Verkehr konzentriert sich dadurch mehr an gewissen Küstenpunkten, während an anderen der kleinere fort dauert. [*1]

[*1]: Beachtenswerte Winke über die Bedeutung einzelner Küstenformen für den Seeverkehr finden sich in F. G. Hahn's Abhandlung „Bemerkungen über einige Aufgaben der Verkehrsgeographie“ (Zeitschr. für wissenschaftl. Geogr. Bd. V), welche dem Verfasser während des Druckes zukam. Auch hier ist der Versuch gemacht, unter den europäischen Küstenformen einzelne Typen zu unterscheiden; als solche werden gesondert: der norwegische, der asturische, der kimbrische, der schwedische, der mediterrane, der normannische, der gasconische, der friesische, der ostpreußische, der venezianische. Dieselben sind scharf charakterisiert.

Einteilung der Seehäfen. [*2] — Man könnte, um die Seehäfen nach Typen zu sondern, von verschiedenen Gesichtspunkten ausgehen. Hier soll nur versucht werden, gewisse Kategorien im Anschluß an die Küstengliederung zu unterscheiden.

[*2]: Eine ausführliche Einteilung der Seehäfen ist von Dr. O. Krümmel in Aussicht gestellt und wird Reisenden zum Studium besonders zu empfehlen sein. Eine vorläufige Notiz gab Derselbe in Verhandl. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin 1883 No. 2. An gegenwärtiger Stelle ist eine Einteilung im Anschluß an die vorhergehende der Küsten versucht.

Als Hauptbedingungen für einen guten Hafen können bezeichnet werden: Schutz vor den herrschenden Winden und den gegen die Küste rollenden hohen Wellen des Meeres; hinreichende Tiefe für Fahrzeuge bestimmter Größe; sicherer Ankergrund; Abwesenheit von Klippen und Bänken; und leichte Zufahrt. Je nach den Umständen, welche sich zu dem günstigen Gesamtergebnis vereinigen, unterscheiden wir von rein morphographischem Gesichtspunkt die folgenden Typen:

1. Buchthäfen. — Diese finden sich dort, wo die Festlandsgliederung in dem gegenwärtigen Begrenzungsniveau von Land und Meer das Eintreten des letzteren in Buchten gestattet.

Fjordküsten sind am reichsten mit Buchten ausgestattet; doch ist diese Begünstigung meist von geringem praktischem Wert, weil den Fjorden, mit wenigen Ausnahmen, ein leicht erreichbares

Hinterland fehlt, und ihre Verbreitung auf wenige, an Naturprodukten und Bevölkerung arme Erdregionen beschränkt ist. Fjordhäfen bilden daher zwar den in größter Zahl vertretenen, aber keineswegs den wichtigsten Typus. Sie können als Zufluchtshäfen dienen, lassen sich als Kriegshäfen, die weniger auf ein Hinterland als auf Befestigungsfähigkeit angewiesen sind, verwenden und sind ausgezeichnete Ausgangspunkte für die Seefischerei. Wenige werden als Handelshäfen, einige als Stapelplätze und Wegstationen im Seeverkehr benutzt; doch wird gerade für diese Zwecke die Lage auf Inseln im Wege der Fjordstrassen derjenigen im Inneren der Fjorde vorgezogen (Tromsö, Hammerfest, Sitka).

Von größerer Bedeutung sind die Rias-Häfen. Dies ist schon aus dem Umstand ersichtlich, daß die Riasbuchten überhaupt wesentlich an Querküsten gebunden sind, welche stets die meisten Eingangspforten in das Innere der Länder darzubieten pflegen. Die geringe Zahl solcher Häfen, welche für höhere Zwecke als diejenigen der Küstenfischerei brauchbar sind, steht jedoch im Gegensatz zu der großen Zahl der Rias-Buchten. Man pflegt unter diesen einerseits solche auszuwählen, welche, trotz der Gefahr der Versandung, den Vorteil haben, daß größere, durch ihre Schiffbarkeit oder ihre fruchtbaren Alluvialtäler den Verkehr anlockende Ströme in ihnen münden, oder solche, welche einen äußerst geringen Zufluß vom Lande erhalten[^] daher von dieser Seite der Versandung nicht ausgesetzt sind, und ebenso möglichst außerhalb des Bereiches sedimentführender Meeresströmungen liegen. Man könnte danach Rias-Stromhäfen (Smyrna, Swatau, Fu-tschöu) und Rias-Buchthäfen (Nagasaki, Ferrol, Toulon) unterscheiden. Die letzteren sind wenig veränderlich; die ersteren haben im Lauf der Geschichte, insbesondere an den Küsten von Klein-Asien und Süd-China, häufig ihre Bedeutung gewechselt und ihre Rolle an Nebenbuhler völlig abgetreten. Es gibt an diesen Küsten auch zahlreiche auf den gegenseitigen Schutz von Festland und Inseln beruhende Häfen, welche bald an diesen, bald an jenen liegen. Da die Inselauflösung in den betreffenden Fällen der Riasbildung vollständig angehört, sind diese Häfen von den anderen nicht zu trennen. Man kann sie als Rias-Inselhäfen bezeichnen. Hierher gehören Hongkong, Macao, Tschusan.

Die den Schiffen hinreichende Zuflucht gewährenden Rias der Längsküsten können als Talmuldenhäfen bezeichnet werden. San Francisco bietet das ausgezeichnetste Beispiel. Analog sind viele dalmatische Häfen (Cattaro, Sebenico, Novegradi, Pago, Lussin piccolo). Der Zugang durch ein Quertal in ein durch Meerwasser ausgefülltes Längsthal ist für sie bezeichnend. Hierher dürfte auch die Bucht von Rio Janeiro zu stellen sein, welche, ebenso wie Nagasaki, wenig versandenden Zufluß erhält, während ihr Ausgang vor sedimentführenden Meeresströmungen geschützt ist; vielleicht auch Sydney.

Limanhäfen sind, wie aus der vorhergehenden Darstellung (§ 142) einleuchtet, meist an den Ausgängen von Strömen gelegen. Bildet der Liman ein einfaches Dreieck, so ist er dem Wogenandrang ausgesetzt; krümmt er sich, oder erweitert er sich im Inneren, so findet sich Schutz davor. Philadelphia und Baltimore liegen an den äußersten Spitzen gekrümmter Limane. Auch New-York kann hierher gerechnet werden, da es innerhalb des versenkten Mündungstrichters des Hudson liegt. An den südenglischen und normannischen Küsten finden sich zahlreiche Liman-Häfen, ebenso in den Liman-Mündungen von Themse, Elbe und Weser; doch ist bei diesen, wie auch in vielen anderen Fällen, ein Fluthafen außerdem weiter hinauf angelegt.

Die Baien der vulkanischen Gegenden können als ein besonderer Typus bezeichnet werden, insofern ihre Existenz nicht mit der Einzelgliederung des Gebirgsbaues zusammenhängt, sondern durch die hinzugetretenen vulkanischen Aufschüttungen bedingt wird. Ihnen verdanken die Baien von Neapel, Manila, Hakodate, Peter-Paul, Fonseca und viele andere ihre ausgezeichnete Gestalt, diejenigen von Yedo und Satsüma ihre Insel-Absperrung nach außen. Am

vollkommensten stellen den vulkanischen Typus die Kraterhäfen dar, wie sie sich bei Aden, auf der Insel St. Paul, auf Barren Island und an der Ostküste von Neu-Seeland finden.

Nicht als eigentliche Häfen zu bezeichnen sind die einseitigen Buchten, wie man die kleinen, durch einen einzelnen Vorsprung gebildeten Unregelmäßigkeiten im Verlauf der Küsten nennen kann. In Ermangelung geschlossener Buchten sind sie aber zuweilen sehr wichtige Ankerplätze der Schiffe, und einige derartige Stellen sind durch künstlichen Dammschutz in wirkliche Häfen umgewandelt worden, wie z. B. Colombo an der Küste von Ceylon. Die offenen Rheden sind hier zu übergehen, da es sich nur um natürliche Häfen handelt.

2. Wallhäfen. — Wie der Schutz eines Hafens oftmals durch künstliche Wälle vermehrt wird, so kann er auch auf natürlichen Wällen beruhen, welche das Meer aufwirft (s. § 155), um so mehr als dieselben an derjenigen Seite aufgebaut werden, von welcher der Wellen an drang am bedeutendsten ist. Die Ursachen des Aufbaues der Wälle sind in jedem einzelnen Fall zu untersuchen. Auf Absperrung mittelst derselben beruhen die stillen Wasser der Haffe an den Ostseeküsten, der Lagunenhafen von Venedig, der Lago de los Patos bei Porto Allegre und zahlreiche andere als Häfen benutzte Baien und Lagunen. Häufig ist der Einfluß des Aufschüttens der Wälle allerdings schädlich. — Auch die von Korallen gebauten Wälle schließen nicht selten Meeresteile in solcher Weise ab, daß diese als Häfen zu benutzen sind, wie an den Küsten von Cuba; oder sie brechen, ohne über das Meer hervorzuragen, die Brandung so vollkommen, daß von da bis zur Küste das Wasser hinreichend ruhig für das Verankern von Schiffen ist. Schließt sich der Wall ringsum in solcher Weise daß Einfahrtsöffnungen bleiben, so entsteht der Atollhafen. Diese Häfen bilden wichtige Schutzpunkte mitten im offenen Ozean.

3. Inselhäfen. — Obgleich an Fjordküsten und Riasküsten viele Ankerplätze durch vorgelagerte Inseln bestimmt werden, gibt doch der Inselschutz erst dann zu einem eigentümlichen und bestimmten Typus Veranlassung, wenn die Existenz von Häfen in einer Küstenstrecke allein darauf beruht. Sie erreichen hierdurch an den einförmig gestreckten Küsten von Afrika und Peru hohe Bedeutung.

4. Fluthäfen. — Wo in großen und tiefen Strom-Mündungen die Umsetzung von Ebbe und Flut sich hoch hinauf erstreckt, lassen sich die Seeschiffe möglichst weit aufwärts tragen bis zu einem von der Flut erreichten, für Niederlassung und Verkehr günstig gelegenen binnenländischen Platz. Die eminente Wichtigkeit, welche viele von diesen Orten als Handelsemporien erreicht haben (London, Hamburg, Bremen, Rotterdam, Antwerpen, Nantes, Bordeaux, Calcutta, Rangun, Bangkok, Saigon, Hanoi, Canton, Ningpo, Shanghai, Tientsin, New-Orleans), beruht nicht sowohl in der Bequemlichkeit und dem vollkommenen Schutz ihrer Häfen, als vielmehr darin, daß sie reichbevölkerte, fruchtbare Gebiete beherrschen, und die Ansatzpunkte für bequeme binnenländische Verkehrswege zu Wasser und zu Lande sind. Sie überragen aus diesem Grund häufig an Bedeutung die in der Nähe gelegenen Küstenhäfen anderer Kategorien, was z. B. dort ersichtlich ist, wo in der Mündung des Stromes noch ein Limanhafen besteht, wie im Fall von Elbe, Weser, Themse und Loire.

Misch-Typen. Bei vielen Häfen kann die Zuweisung zu zwei Typen geschehen. Gibraltar ist ein Buchthafen, insofern die Bucht geschlossen ist, ein Wallhafen, insofern der Gibraltarfels durch einen Wall landfest geworden ist; man kann es einen Wall-Buchthafen nennen. Andere Beispiele wurden bei den Riashäfen angeführt. Es liegt nahe, analoge Bezeichnungen für die Insel-, Wall- und Flut-Häfen an Liman-Küsten anzuwenden.

B. Klimatische Eigentümlichkeiten der Küsten.

[§147] Der Gegensatz der an den Küsten sich berührenden Elemente § 147. macht sich auch hinsichtlich aller klimatischen Faktoren geltend. Land und Meer werden durch die auf Beide unter gleichem Winkel einfallenden Sonnenstrahlen in verschiedenem Grad erwärmt und geben die erhaltene Wärme in verschiedenem Maße an die Atmosphäre und den Weltraum ab. Die von den Oberflächenteilen des Ozeans an jeder Stelle gebundene Wärmemenge scheint, abgesehen von der Beeinflussung durch Wolkenschichten, wesentlich von dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen abzuhängen; Trübung des Wassers und Salzgehalt sind vielleicht nicht ganz ohne Bedeutung. Ein Teil der Wärmestrahlen wird reflektiert, ein anderer in den Wasserdämpfen gebunden, mit welchen sich die Atmosphäre sättigt; und zwar ist dieser Teil in warmen Regionen viel grösser als in kalten, weil warme Luft eine größere Menge von Wasserdampf aufnehmen kann als kalte. Auf den Landflächen hängt die Wärmeaufnahme der Oberflächenteile nicht allein von der geographischen Breite, sondern noch von einer Reihe anderer Faktoren (Wasserdampfgehalt der Atmosphäre, Bewölkung des Himmels, Grad und Art der Vegetationsbedeckung, Farbe und Art der Gesteine oder des Bodens, Feuchtigkeitsgehalt des letzteren, Horizontalität oder Neigung des Bodens, und zwar Neigung in einer den Sonnenstrahlen zugewendeten oder von ihnen abgekehrten Weise, Meereshöhe, Größe der Landausbreitung etc.) ab. Jede dieser Bedingungen, mit Ausnahme der Exposition, verhält sich für die Wärmeausstrahlung ebenso günstig oder ungünstig, wie für die Wärmeaufnahme. Die Feuchtigkeitsaufnahme durch die Luft, daher auch die Mitteilung latenter Wärme an dieselbe, ist regionenweise großem Wechsel unterworfen. — Auf Meer- und Landflächen werden Wärme und Feuchtigkeit durch Luftströmungen fortgeführt. Die Wege derselben haben auf dem Meer eine viel größere Gleichförmigkeit als auf dem Festland, wo die verschiedenartigen Erwärmungsherde und der Wechsel des Reliefs vielfache, bald beständigere, bald wechselnde Abweichungen hervorrufen. Die Bewegung der Luft ist auf der Oberfläche des Meeres eine schnellere und im Allgemeinen beständigere als auf dem Festland, wo Hindernisse durch Relief, durch Waldvegetation und durch aufsteigende Luftströme Reibung und Retardation verursachen. — Das Meer besitzt noch ein dem Festland fehlendes Mittel der Übertragung von Wärme und Kälte in den Strömungen, welche in dieser Hinsicht ungleich wirksamer sind als die Winde. Beiderlei Bewegungen vereinigen sich auf den Ozeanen zu im Ganzen gleichsinnigen Systemen großer und allgemeiner Zirkulation.

Diese meteorologischen Gegensätze treffen an den Küsten zusammen. Es werden dadurch viele besondere Erscheinungen hervorgerufen, von denen einige hier Erwähnung finden mögen. Allen liegen die ungleiche Erwärmung, die ungleiche Feuchtigkeitsaufnahme und die ungleichen Wege der Zirkulation zu Grunde. Winde, die vom Lande her gegen das Meer wehen, setzen die Küste unter den kontinentalen Einfluß, und wo sie stets ausschließlich wehen, kommt die maritime Lage für das Klima gar nicht zur Geltung. Nach Tages- und Jahreszeiten besitzen und vermitteln sie die exzessive Erwärmung und die exzessive Abkühlung der Landmassen, und in der Regel sind sie trocken, besonders wenn sie Gebirge zu überschreiten hatten, ehe sie die Küste erreichten. Winde, welche vom Meer gegen das Land wehen, bringen eine gleichmäßigere und gemäßigte Temperatur. In den Tropen sind sie meist kühler als das Land, in der gemäßigten Zone im Sommer kühler, im Winter wärmer als dieses. Sie kommen mit Feuchtigkeit beladen an die Küste. Ist letztere kühler als der Meereswind, oder wird dieser bald zum Aufsteigen in eine kühlere Region der Atmosphäre gezwungen, so erfolgt Kondensation zu Nebel und Regen; ist sie hingegen wärmer, so wird der feuchte Meereswind relativ trocken. Die relative Temperatur des Seewindes, daher auch der Grad seines Feuchtigkeitsgehaltes, hängt zum Teil davon ab, ob er sich auf kalten oder warmen Strömungen damit beladen hat; sein Effekt auf das Land zum Teil davon, ob er von niederen nach höheren Breiten weht, oder umgekehrt.

Diese, das Klima der Küsten fundamental beeinflussenden Verhältnisse sollte sich der Reisende in jedem einzelnen Fall klar machen, oder zu ihrer Feststellung beitragen. Sie geben Aufschluß über einen Teil der physischen Erscheinungen, welche sich der Beobachtung darbieten. Es ist insbesondere zu beachten, wie sich die ozeanischen und die kontinentalen Luftströmungen im Gang des Jahres verteilen, und welche von ihnen den stärkeren Einfluß ausüben.

Unter den allgemeinen Erscheinungen, auf welche in dieser Hinsicht an den Küsten zu achten ist, mögen die folgenden hervorgehoben werden:

1. Die beständig aus östlichen Richtungen wehenden Passatwinde sind überhaupt relativ trocken, weil sie von höheren nach niederen Breiten wehen. In erhöhtem Maße sind sie trocken, wenn sie an Westküsten aus dem Land herauskommen. An Ostküsten sind sie relativ trocken, wenn sie auf flaches erhitztes Land wehen; dagegen entledigen sie sich bei gebirgigem Charakter eines Teiles ihrer Feuchtigkeit.—

2. An den Äquatorialgrenzen der Passate wird sich der periodische Wechsel dieser Winde mit den regenreichen, feuchtheißen Calmen bemerkbar machen. Da aber die Zone der Calmen sich auf dem Festland innerhalb viel weiterer Grenzen verschiebt als auf dem Meer, so beteiligen sich die Küsten, als Zwischenzonen, je nach ihrer Lage zum Teil an der maritimen, zum Teil an der kontinentalen Verschiebung. Die Art, wie dies an ihnen zum Ausdruck kommt, ist noch keineswegs an allen Küsten bekannt. Es ist besonders auf die cyklonalen Luftbewegungen um kontinentale Erwärmungsherde zu achten, durch welche eine in der Breite des beständigen maritimen Passates gelegene Westküste (z. B. diejenige von Guinea) eine Periode intensiver Regen haben kann. —

3. Eine ähnliche Periodizität findet jenseits der Polargrenze des beständigen Passates statt, wo die Einflüsse des noch während eines Teiles des Jahres wehenden Passates mit denjenigen des herabkommenden und mit der Erzeugung eines beständigen, innerhalb geringer Grenzen schwankenden Druckmaximums in den „Roßbreiten“ ursächlich verbundenen Antipassates wechseln. Zu den regelmäßigsten, die Küsten besonders beeinflussenden, aber einer geringen Verschiebung nach Norden und Süden unterworfenen Erscheinungen gehören die anticyklonalen Luftbewegungen, welche sich um diese auf den Ozeanen liegenden Regionen hohen Luftdruckes bilden. Sie veranlassen mit den Passatwinden an ihren Äquatorialgrenzen, dagegen beständige westliche Winde an ihren Polargrenzen. An den Westseiten entstehen warme und sehr feuchte Luftströmungen, welche daher die Ostküsten der Kontinente beeinflussen, dagegen relativ kühle und trockene Luftströmungen an den kontinentalen Westküsten. Da die Meeresströmungen um dieselben Gebiete hohen Luftdruckes kreisen und hier ihren beständigsten Verlauf haben, werden die Eigenschaften jener Windsysteme betreffs der Temperatur und Feuchtigkeit erhöht. Es wird dadurch das kühle Klima und die Trockenheit des Sommers, ebenso wie der durch Westwinde veranlaßte winterliche Regenreichtum, der allein an den Westküsten der Kontinente ausgebildeten subtropischen Region, die sommerliche Feuchtigkeit und Wärme an den Ostküsten unter gleichen Breiten veranlaßt. —

4. Die letzteren Küsten bilden einen Teil der Monsungebiete, deren halbjähriger Wechsel von Land- und Seewind in erster Linie auf kontinentalen Einflüssen beruht und, wenn diese weitaus überwiegend sind, wie im östlichen und südlichen Asien, einen großen Teil des Tropengebietes mit umfassen kann. Die Einwirkung der über den Kontinenten bestehenden zyklonalen oder antizyklonalen Luftbewegung kann durch die Verhältnisse über den Meeren regionenweise verstärkt oder abgeschwächt werden. In Monsungegenden werden die Küsten während des

Sommers von warmen, regenbringenden Seewinden bestrichen, während im Winter relativ kalte, trockene Landwinde wehen. —

5. Die nördlichen Teile der kontinentalen Westküsten der nördlichen Hemisphäre fallen in den Bereich der unperiodisch wechselnden, aber vorherrschend westlichen und südwestlichen, daher in das Land wehenden Winde. An den entsprechenden Küsten der südlichen Hemisphäre wehen Westwinde fast beständig.

Außer diesen allgemeinen Verhältnissen bieten fast an jeder Küste die Winde noch besondere, örtliche Erscheinungen dar. Kalte Küstenströmungen z. B. veranlassen Nebelbildungen, wenn warme Seewinde über sie nach dem Lande wehen. Überall ist den Stürmen Beachtung zu widmen, ihrer Häufigkeit und Heftigkeit, sowie ihrem Charakter: ob Drehstürme auftreten und die Küste treffen, oder, die Berührung vermeidend, ihr entlang ziehen; ob der Wind lange aus gewissen Richtungen zu wehen pflegt, oder ob er häufig einen böigen Charakter annimmt. Dies ist Alles von Einfluß auf die Höhe der Sturmwellen, welche zur Zerstörung der Küsten besonders viel beitragen. Es gehören ferner hierher die früher (§ 27) besprochenen Sturzwinde oder Fallwinde, welche wegen der Gegensätze zwischen Meer und Land nirgends so häufig auftreten wie an den Küsten.

[§148] Tägliche Periode der Land- und Seewinde. — Dieses den Küstengegenden eigentümliche, aber dem Berg- und Talwind der Gebirge (S. 73) verwandte Phänomen beruht auf dem Unterschied der der Küste zunächst gelegenen Teile von Land und Meer hinsichtlich der täglichen Aufnahme und Abgabe von Wärme. Wenn am Tag das Land sich stärker erhitzt und die darüber befindliche Luft vom Boden aus erwärmt wird, steigen die Flächen gleichen Luftdruckes an und bekommen ein Gefälle nach dem Meer. Die Luft fließt in höheren Teilen dorthin ab, vermehrt hier den Luftdruck und verursacht ein Abströmen an der Meeresoberfläche gegen das Land hin. Bei Nacht kühlt sich das Land nebst den darüber befindlichen Luftschichten durch Ausstrahlung stärker ab als das Meer. Es findet alsdann der entgegengesetzte Vorgang statt, indem die Flächen gleichen Luftdruckes sich von der See nach dem Lande hin senken. Die Land- und Seewinde wehen, wenn sie nicht durch stärkere allgemeine Luftströmungen unterdrückt werden, in den Tropen das ganze Jahr hindurch, in gemäßigten Breiten im Sommer; in kalten Regionen fehlen sie. Zu beachten sind:

1. Die Zeit des Einsetzens der Seebrise (in den Tropen in der Regel h. 10 am.) und der Landbrise, welche gewöhnlich einer um Sonnenuntergang herrschenden Windstille folgt. Für Beide sind Stärke, Feuchtigkeitsgehalt, Temperatur und Effekt auf die Gesundheit zu beobachten. Binnenwärts liegende stagnierende Gewässer können den Landwind gesundheitsschädlich machen. Jede der beiden Brisen kann durch die beständig oder periodisch herrschenden Luftströmungen verstärkt werden (z. B. die Seebrise bei Valparaíso und in Kalifornien); die andere wird dann abgeschwächt oder neutralisiert. —

2. Die Höhe der bewegten Luftschicht, welche nur in wenigen Fällen bekannt ist. Sie scheint höchstens einige hundert Meter zu betragen. —

3. Das Verhalten von Bergen, welche in die Strömung hineinragen, und der Einfluß der beiden Brisen auf Bildung oder Zerstörung von Nebeln. —

4. Die Größe und die Zeit des Eintretens der Luftdruckdifferenzen auf See und Land. Sie läßt sich bestimmen, wo Schiffe auf Rede lagern. —

5. Der Gang der Luftbewegung. An die Stelle der älteren Theorie, daß die Erwärmung des Landes aspirierend wirke, daher das Zuströmen der Luft dort beginne und seewärts fortschreite, hat Hann die mit allen sonstigen Erscheinungen besser übereinstimmende Erklärung gesetzt, daß die Bewegung bei der Seebrise an der Stelle der größten Luftanhäufung, d. h. auf der See, beginne und erst gegen die Küste, dann binnenwärts vorschreite. Dies läßt sich bei ruhigem Wetter an der Stelle des ersten Entstehens und an dem Fortschreiten der Kräuselung des Meeres deutlich beobachten.

C. Bewegungserscheinungen des Meeres.

Die Beobachtungen über die verschiedenartigen Bewegungen des offenen Meeres gehören in den Bereich des Seefahrers. Unabhängig davon läßt sich die Äußerung dieser Bewegungen an den Küsten der Forschung unterwerfen.

[§149] 1) Meereswellen und Brandung.— Die Wellen, welche, der Wind an der Oberfläche des Meeres hervorbringt, schreiten einander parallel vor dem Winde fort. Da sie dem letzteren in ihren Teilen hinfert in ungleicher Weise ausgesetzt sind, so kommen vielfache Unregelmäßigkeiten in ihren Formen und in ihrer Aufeinanderfolge vor. Gelangen sie in Gegenden, wo es windstill ist, so geht zwar ein Teil ihres Bewegungsmomentes in innerer Reibung verloren; aber die großen Wellen setzen ihren Weg noch auf weite Entfernung in langen, sehr vollkommen parallelen Linien fort, und die Gestalt ist nun, ebenso wie die Aufeinanderfolge und die Bewegung, gleichartig und regelmäßig. Man nennt sie alsdann Dünung. Ein neuer Wind kann die glatte Oberfläche der Dünungswogen in neue Wellen zweiter und dritter Ordnung kräuseln. Die Dünung kann auch dann noch fortbestehen, wenn ein starker Gegenwind einen anderen Wellengang hervorzubringen bestrebt ist. Auch können sich Wellen aller Art mit solchen aus anderen Richtungen kreuzen. Durch die Interferenz, wie sie besonders bei dem von einem Taifun gepeitschten Meer stattfindet, entstehen wilde und chaotische Formen, deren von vielen Seiten gegen einander gerichtete Bewegungsmomente sich aber um so eher gegenseitig aufheben und eine Ausglättung herbeiführen.

Die Tiefe, bis zu welcher eine Oszillation der Wasserteilchen erkennbar ist, wurde von den Gebrüdern Weber auf experimentellem Weg zu dem 350fachen Betrag der Wellenhöhe an der Oberfläche bestimmt. Da die letztere bei starkem Seegang bis 10 m, bei heftigen Stürmen bis 15, 18 und selbst 20 m erreichen kann, so sollte die Erregung theoretisch bis zu Tiefen von mehr als 4000 m stattfinden können. Indessen wird einerseits der Grad der Fortpflanzung nach der Tiefe von der Dauer einer gleichmäßigen Wellenbewegung abhängen, daher z. B. in den durch Westwinde erregten südlichen Meeren wahrscheinlich sehr groß sein, dagegen bei einem kurz dauernden Wirbelsturm keinen hohen Betrag erreichen. Andererseits ist in Betracht zu ziehen, daß die Art der Bewegung sich ändert. Denn während an der Oberfläche die Bahn jedes Wasserteilchens eine senkrecht stehende, ovale, nicht ganz geschlossene Kurve ist, deren Vertikaldurchmesser den horizontalen überwiegt, sinkt die vertikale Bewegung schon in geringer Tiefe auf einen geringen Bruchteil herab; die horizontale Amplitude hingegen nimmt in weit geringerem Verhältnis ab. In einer Tiefe, welche $\frac{1}{10}$ der Wellenlänge, d. i. ungefähr das Doppelte der Wellenhöhe, beträgt, ist die Vertikalschwingung nur etwas über halb so groß als an der Oberfläche, in der Tiefe einer halben Wellenlänge noch 0,04, in der Tiefe von einer ganzen Wellenlänge nur 0,002 von derjenigen an der Oberfläche.

Die Beobachtung ist darauf zu richten, bis zu welcher Tiefe die durch Teilnahme an der Wellenbewegung der Oberfläche schwingenden Wasserteilchen noch eine mechanische Wirkung auf den Meeresgrund auszuüben vermögen. Das Vorhandensein einer Stoßwirkung in der Tiefe kann man deutlich daran erkennen, daß das Meer über tief versenkten Klippen brandet. Eine Umsetzung von festen Teilchen läßt sich an den Kräuselungen (ripplemarks) der Oberfläche des Sandes unmittelbar nachweisen. Man hat sie bei England in der Tiefe von 150 m gefunden, und diejenige von 200 m gilt als die Grenze der nachgewiesenen mechanischen Einwirkung der Wellen. Ein Küstenaufenthalt könnte zuweilen mit Vorteil dazu benutzt werden, ähnliche und andere Anzeichen einer Tiefenbewegung fester Teilchen aufzufinden. Es könnte z. B. die mechanische Abnutzung von kalkigen Gehäusen auf untermeerischen Bänken, bei denen ein Transport vom Lande her ausgeschlossen ist, untersucht werden. Derartige Untersuchungen sind Denen zu empfehlen, welche mit dem Schleppnetz arbeiten; sie sind geeignet, Aufschluß über eine der Ursachen der Gestalt des Meeresbodens zu geben.

Stößt ein System aufeinanderfolgender Meereswellen rechtwinklig gegen eine senkrechte Wand, so findet in deren Nähe eine unregelmäßige, mit einem Auftürmen einzelner Wellenberge verbundene Anordnung statt. Dies ist offenbar zum Teil die Folge von Interferenzerscheinungen, welche durch den Rückprall und Rückgang der Welle veranlaßt werden. Wäre dies die einzige Ursache, so würde, bis auf einen Verlust durch Reibung, die ganze Kraft jeder einzelnen Welle auf dem rückläufigen Weg zur Geltung kommen und sich bis in weite Fernen in einer Erhöhung und Erniedrigung der herankommenden Wellen äußern müssen. Dies ist jedoch nur in geringem Grad der Fall; denn weitaus der größte Teil der Kraft der Welle wird in einem Emporheben und Emporschleudern des Wassers verbraucht, durch welches bedeutende Stoßwirkungen ausgeübt werden können (§ 153). Dies dürfte wesentlich darin beruhen, daß der größte Teil der horizontalen Bewegungskomponente bei dem Anprall in eine vertikale Bewegung umgesetzt wird. Da nun ein Ausweichen nach unten nicht möglich ist, so erfolgt das gewaltsame Auftreiben und Aufschnellen nach oben, welches als Klippenbrandung bekannt ist und selbst an Felsen, die nicht senkrecht einfallen, eine Höhe von 50 Meter erreichen kann. Jede nachfolgende Welle bringt eine ähnliche Wirkung hervor. Setzt man an Stelle der senkrechten Wand einen schief einfallenden Felsabhang, so verteilt sich die Brechung allmählich von unten nach oben auf eine größere Fläche, und ein größerer Teil der Kraft geht durch Reibung an der Bodenfläche und durch Erzeugung partieller Wasserbewegung über derselben verloren. In jedem Querschnitt bewegen sich daher die oberen Teile schneller voran als die unteren. Die Kämme schreiten am weitesten ohne Hinderung fort. In Folge dessen überstürzen sie sich und erreichen als schäumende Brandung und mit beträchtlicher Stoßkraft begabt den Küstensaum. Je geringer die Neigung des Bodens, desto mehr konsumiert sich die Kraft in der Einzelarbeit an ihm, und desto geringer ist das Auftürmen der Brandungswelle, während der Rückprall gänzlich aufgehoben wird.

Wird die senkrechte oder steil einfallende Fläche unter das Meer versenkt, so daß ihrer oberer Rand 10 bis 30 m unter der Oberfläche bleibt, wie es bei der Umsäumung von Küsten durch Korallenriffe vorkommt, so wird nur die Wellenbewegung der tieferen Teile in die Vertikale umgesetzt. Dies gibt sich an weißen Schaumwellen zu erkennen, welche, eine Warnung für den Seefahrer, sich beständig über dem Außenrand der Klippen bilden. Die aufstrebende Bewegung scheint zum Teil wie eine Brechungswand für die herankommenden Wellenbewegungen der höheren Teile zu dienen, wodurch die Brandungskämme verstärkt werden, dagegen die Höhe der nach der Küste eilenden Wellen bedeutend herabgemindert wird.

Trifft eine Welle unter einem schiefen Winkel gegen eine senkrechte Wand oder eine steile Felsküste, so wird der Stoß in zwei Komponenten zerlegt, von denen eine rechtwinklig zur Küstenlinie, die andere ihr parallel gerichtet sein wird. Das Aufspritzen wird dann nicht gleichzeitig auf der ganzen Linie erfolgen, sondern sich auf ihr allmählich verteilen und zugleich eine geringere Höhe haben wie im ersten Fall. Dies ist besonders dann von Wichtigkeit, wenn die Welle durch den Stoß feste Körper fortzubewegen vermag.

Es wäre von Wert, Messungen über die Kraft des Stoßes der sich an das Gestade heranwälzenden Welle vorzunehmen.

Thomas Stevenson ließ in den Jahren 1843 und 44 behufs solcher Messungen den Stoß der Welle gegen Platten wirken, hinter denen dynamometrische Apparate angebracht waren. Er fand die Stoßkraft bei Skerryvore (im nördlichen Schottland) im Sommer 3000 kg auf den Quadratmeter; im Winter 10,000 kg auf dieselbe Fläche. Sie steigerte sich bei einem Sturm auf 30,500. Messungen in anderen Gegenden ergaben im Mittel bei Cherbourg 3250, bei Algier 3500 kg, bei Civita vecchia im Maximum 16000 kg auf den Quadratmeter. Auch aus der Größe der Blöcke, welche der Stoß fortzubewegen vermag, läßt sich des-

sen Gewalt schätzen. An der englischen Küste wurden solche von 40 metr. Tonnen Gewicht noch fortbewegt. Wenn solche Wellen in unaufhörlicher Folge gegen eine Felsküste heranstürzen, so wirken sie wie ein Katarakt, aber mit dem Unterschied, einerseits daß der Stoß horizontal, mit einer Abweichung nach aufwärts, gerichtet ist, andererseits, daß die Kraft nicht, wie bei den meisten Wasserfällen, durch den Sturz in ein Wasserbecken in ihrem mechanischen Effekt beeinträchtigt wird, sondern dieser, da das Schleudern gegen festen Fels geschieht, in viel höherem Grad erreicht wird. — Außer der Stoßkraft würde der vorherrschende Winkel, welchen die Wellenlinie mit der Küste bildet, in verschiedenen Jahreszeiten zu bestimmen sein, sowie die Höhe und Länge der heranrollenden Wellen und ihre Geschwindigkeit. Auch sollte die in § 154 auseinandergesetzte Anordnung in Wellengruppen beobachtet werden.

[§150] 2. Die Tiden. — Der Reisende wird über die in dem Wechsel von Flut und Ebbe sich äußernden Bewegungen des Meeres nur allgemeine Beobachtungen anstellen können, welche an Genauigkeit hinter den Registrierungen gut angebrachter Pegel weit Zurückbleiben müssen. Aber bei der mangelhaften Kenntnis, welche man über die Gezeiten besitzt, können auch geringe Beiträge zuweilen von Wert sein. An offenen Küsten lassen sich die Beobachtungen, mit Ausnahme der Zeitbestimmungen, überhaupt selten anstellen; besser in Häfen, und besonders in Kanälen, die mit dem Meer in Verbindung stehen.

Mit dem Wesen der Tiden sollte sich Derjenige, welchem sich Gelegenheit zu länger fortgesetzter Beobachtung an Meeresküsten bietet, genau bekannt machen. Sie bestehen in einer durch die anziehende Kraft des Mondes hervorgebrachten Welle, deren Ausmaße durch die entweder gleichsinnig oder gegensinnig wirkende Anziehungskraft der Sonne periodisch verstärkt und geschwächt wird. Die in der Zeit eines Mondmonats in ihrer Amplitude zweimal wechselnde Flutwelle würde in zwei Anschwellungen (Zenithwelle und Nadirwelle) in je 24 Stunden und 50 Minuten, d. i. in einer Umlaufzeit des Mondes, die Erde umkreisen, wenn keine Kontinente vorhanden wären. Da diese die Ozeane in nordsüdlich gerichtete Becken scheiden, wird die zuerst an der Ostseite eines Beckens erzeugte Welle zwar nach dessen Westseite fortschreiten, aber (ähnlich wie wenn ein an einem Ende befestigtes Seil von dem anderen Ende her in Schwingungen versetzt wird) hier reflektiert werden und in entgegengesetztem Sinn nach der Ostseite zurückkehren. Diesen Doppelweg würde sie mit steter Abschwächung wiederholen; d. h., es bildet sich aus der Interferenz der ursprünglichen und der reflektierten Welle eine sogenannte stationäre

Welle über die ganze Breite des Ozeans; dieselbe würde nach einigen Schwingungen in Folge der Schwere und Reibung verschwinden; Wird aber die hebende Kraft in regelmäßiger Periode immer aufs Neue in gleichem Sinne angesetzt, wie es durch den Mond geschieht, so wird die Welle höher werden, bis die Reibung der Kraft gleich ist; dann bleibt, wenn die Kraft immer dieselbe ist, das Ausmaß der Oszillationen konstant. Ist die Periode des Wiederansetzens der Kraft gleich der Zeit, welche die Welle bis zur Rückkehr an den ersten Punkt (also bis zur Zurücklegung des Doppelweges) gebraucht, so wird die Flutwelle das Maximum ihres möglichen Ausmaßes erreichen. Stimmen beide Perioden nicht mit einander überein, so wird die Maximalgrenze nicht erreicht, und je grösser die Differenz zwischen beiden Perioden, desto geringer wird die Amplitude der Welle. Die Oszillationen werden also durch Kräfte angeregt, welche in der Richtung der Breitengrade wirksam sind, und aus der in derselben Richtung stattfindenden Schaukelbewegung erklärt sich die Tatsache, daß an den Westküsten der Ozeane die Flutwelle von Ost nach West, an den Ostküsten hingegen von West nach Ost gerichtet ist, wie in einem in periodischen Ansätzen bewegten, mit Wasser gefüllten Trog. Die Periode des Kraftansatzes bei der gewöhnlichen Flutwelle ist durch die Umlaufzeit des Mondes gegeben. Die Periode einer vollen Oszillation der Flutwelle (Hin- und Rückweg) hängt von dem Verhältnis zwischen Breite und Tiefe der ozeanischen Becken ab; je geringer die mittlere Tiefe, desto grösser ist, bei gleicher Breite, die Oszillationsdauer. Ferrel hat berechnet, daß im nördlichen Atlantischen Ozean unter 52° N, wo das Ausmaß der Gezeiten groß ist, die Übereinstimmung zwischen den beiden Perioden nahezu vorhanden ist, während sie unter 35° N. in demselben Ozean, wo die Höhe der Flutwelle gering ist, bei weitem nicht erreicht wird.

Wäre ein von Nord nach Süd gestreckter Ozean ein regelmäßiger Trog mit steilen Seitenwänden und glattem Boden von gleichbleibender Tiefe, so würde das Zusammenwirken der die Tidenwelle erzeugenden Kraft und der von den Wänden reflektierten Bewegung zu einer regelmäßigen Periodizität und einer einfachen Äußerungsweise der Erscheinungen führen müssen. Die Unregelmäßigkeit der Gestalt der Ozeanbetten und ihrer Einfassungen bringt jedoch große und zahlreiche Abweichungen hervor. In der Hauptsache kann man den Ozeantrog und seichte Bandgebenden unterscheiden. In ersterem muß das Phänomen am regelmäßigsten sein, wenn es auch in jedem Ozean innerhalb einzelner geographischer Breitenzonen, zu Folge des verschiedenen Verhältnisses der Horizontalausdehnung zur mittleren Tiefe und der Inselbesetzung, eine verschiedene Äußerungsweise darbieten würde. Hier würde die Richtigkeit der jetzt herrschend gewordenen Theorie geprüft werden können, wenn eine Kette schroff aufsteigender Inseln in demselben Parallel von einem Kontinent zum anderen sich erstreckte. In Ermangelung einer solchen werden Beobachtungen auf möglichst vielen ozeanischen Inseln von Wert sein, das ist gerade an den Stellen, wo die Geringfügigkeit der Differenz zwischen Ebbe und Flut wenig zu Untersuchungen einladet. Besonders ist die Zeit des Eintretens der höchsten und niedersten Wasserstände an jedem einzelnen Tag und während der Dauer des Monats, daher auch die Springflut und Nippflut, zu notieren.

An den kontinentalen Küsten beobachtet man die Bewegungen, wie sie in dem ozeanischen Trog stattfinden, nicht in ihrer Reinheit. Die Flutwelle tritt dort aus dem Tiefmeer auf seichtere Gründe. Dabei wird sie am Boden verzögert und nimmt an Höhe zu. Die oberen Teile behalten ihr Bewegungsmoment; es entsteht ein Strömen nach der Richtung, in der die Welle fortschreitet. Untiefen, Inseln, Bänke und Landvorsprünge stellen sich dem Flutstrom in den Weg, hemmen ihn, lenken ihn ab und teilen ihn in kleinere Ströme, welche sich jenseits eines Insellandes (wie Großbritanniens) wieder begegnen und Interferenzerscheinungen hervorbringen können. In sich verschmälernde Meeresbuchten hineingedrängt, kann die Flutwelle, indem sie an vertikalem Ausmaß einen Teil dessen gewinnt was sie an Breite einbüßt, außerordentliche Höhen erreichen. So bilden sich hinsichtlich der Zeit des Eintretens der Flut und ihrer täglichen Höhe lauter Unregelmäßigkeiten heraus, die aber in den einzelnen Monats- und Jahres-Perioden an

denselben Orten mit einer gewissen Regelmäßigkeit wiederkehren würden, wenn nicht hier die Winde häufig unperiodische Abweichungen durch Aufstauung des Wassers in einzelnen Teilen und Erniedrigung in anderen hervorbrächten. — Die Ebbe nimmt wahrscheinlich auch ihren Anfang an dem Rand des ozeanischen Troges, von dem sie nach der entgegengesetzten Küste desselben fortschreitet. Sie zieht dann das Wasser von den seichteren Gründen nach sich. Aus fernen Buchten, Randmeeren und Meeresstraßen wird es gewissermaßen herausgezogen, so daß die entferntesten zuletzt an die Reihe kommen.

Interesse und Wichtigkeit der Gezeiten für die Erklärung örtlicher Erscheinungen nehmen mit der Größe des Phänomens zu. Die herandringende Flut vermehrt die Kraft der gleichlaufenden Meereswellen, die eintretende Ebbe vermindert sie. Dies ist besonders dort der Fall, wo die Flut durch die allmähliche Verengerung einer langen Bucht, in deren Eingang sie breit eintritt, sich hoch aufstaut. Ihre Höhe erreicht bis über 20 Meter. Ist die Bucht an ihren Enden nicht geschlossen, sondern nach einem jenseitigen Wasserbecken, welches noch Ebbe hat, geöffnet, so strömt das gestaute Wasser mit Gewalt durch diese Öffnung, bis die volle Fluthöhe in dem Becken erreicht ist. Zieht die Ebbe das Wasser aus der Bucht heraus, so strömt es erst nachher auch aus dem Becken zurück. Derartige Strömungen sind ebenso an sich (nach Breite, Tiefe, Geschwindigkeit, Trübung des Wassers, Gestalt der einfassenden Ufer), wie nach ihren mechanischen Wirkungen zu untersuchen. Sie finden sich besonders, wo, wie an Teilen der Küsten von China und Japan, Gruppen großer Inseln in der Nähe des Festlandes aus seichtem Meeresgrund sich erheben. Die Erscheinung kann kompliziert werden, wenn ein Zuströmen durch mehrere Kanäle geschieht. Es finden an solchen Stellen bedeutende Umsetzungen von festen Stoffen, daher auch Einwirkungen auf die Gestalt des Bodens und der Küsten statt.

Bei trichterförmigen Flußmündungen begegnet die herankommende Flut dem herabströmenden Flußwasser. Die Stauung veranlaßt, im Verein mit der Verringerung der Bodentiefe, in manchen Fällen die Bildung einer oder mehrerer stromaufwärts rollender mächtiger Wellen. Diese sind in einzelnen Teilen ihres Laufes zu beobachten; ob sie an tiefen Stellen des Stromes verschwinden und an seichteren wieder zum Vorschein kommen, und wie weit stromaufwärts sie noch bemerkbar sind.

[§151] 3. Strömungen. — Die große Wichtigkeit, welche die den Küsten entlang gehenden Meeresströmungen für den Transport von festem Material haben, macht es wünschenswert, daß ihnen überall Aufmerksamkeit gewidmet werde. Doch wird sich der Reisende damit begnügen müssen, einerseits die Angaben der Seeleute zu registrieren, die allerdings mit großer Vorsicht und Kritik zu benutzen sind, andererseits die auf Formveränderung gerichteten Wirkungen der Strömungen kennen zu lernen, um aus ihnen auf das Vorhandensein der letzteren an solchen Stellen zu schließen, wo sie noch nicht nachgewiesen sind. Die Ebbe- und Flut-Strömungen drängen oft eine schwache, aber viel allgemeinere und beständigere, in einer der Küste parallelen Richtung erfolgende Wasserversetzung zurück. Dazu kommt, daß eine herrschende Strömung durch Winde, die während mehrere Monate aus der entgegengesetzten Richtung wehen, stillgestellt, oder an der Oberfläche direkt umgekehrt werden kann. Selbst die Beobachtung der Richtung, in welcher festes und schweres Gesteinsmaterial der Küste entlang transportiert wird, gibt keine sichere Handhabe für die Schlußfolgerung bezüglich der Strömungen, da sie von der Richtung der vorherrschenden Wellen bestimmt wird (s. § 155), und die Hauptwasserversetzung nicht notwendig mit dieser übereinstimmt. Genaue Wegzeiger für Strömungen sind Eisberge, deren Hauptmasse von tieferen Wasserschichten getragen wird; aber auch ihre Bewegung kann durch widersinnige Oberflächenströme abgelenkt werden. Transport von Treibholz und Schiffstrümmern gibt oft einen Anhalt. Das wichtigste Mittel zur Erkennung und Abgrenzung von

Strömungen geben die vergleichenden Zusammenstellungen von Temperatur und Salzgehalt. Wie diese auf dem offenen Meer zu verwenden sind, zeigen Krümmels mustergültige Arbeiten über die Strömungen im Osten von Südamerika (Zeitschr. f. wissensch. Geogr. 1883). In ähnlicher Weise sind sie an den Küsten zu verwenden.

Die allgemeine Verteilung der großen Strömungen auf den Ozeanen, soweit sie bekannt ist, lernt der Reisende leicht aus den Karten kennen, auf denen sie dargestellt ist. An der Hand dieses Kenntnis wird er an derjenigen Küste, welche das Objekt seiner Untersuchung ist, erkennen, ob die verschiedenen mit Strömungen zusammenhängenden Erscheinungen mit der Darstellung übereinstimmen, oder zum Teil davon abweichen. In letzterem Fall, würde die Aufmerksamkeit auf die Ursachen der Abweichung zu richten sein. Als ein allgemeines, die Küsten Verhältnisse wesentlich beeinflussendes Gesetz mag hier erwähnt werden, daß die Tendenz zur Ablenkung der Bewegungen nach rechts auf der nördlichen und nach links auf der südlichen Hemisphäre in den Binnen- und Randmeeren fast überall in deutlich bemerkbarer Weise zur Geltung kommt und scheinbare Ausnahmen nur dort erleidet, wo ihr vorherrschende Winde mit Entschiedenheit entgegenwirken, oder der Eintritt von Strömungen von außen her sie nicht zum vollen Ausdruck gelangen läßt. Es entsteht dadurch ein Kreisen von rechts nach links in den landumschlossenen Meeresteilen der nördlichen Hemisphäre. Dies ist im Mittelmeer ersichtlich, wo die Strömung an der afrikanischen Küste von West nach Ost, an der syrischen nach Nord hinauf geht und an der Nordseite ebenso im Ganzen, wie in den Teilstrecken der nordadriatischen und der südfranzösischen Küsten, von Ost nach West gerichtet ist. Die gleiche Erscheinung zeigen die ostasiatischen Randmeere, ebenso wie nach Mohn's ausgezeichneten Untersuchungen (Erg. Heft Nr. 79 zu Petern. Mitth. 1885), das europäische Nordmeer.

4. Unperiodische Schwankungen des Meeresspiegels.

— Außer den genannten Bewegungen, welche teils, wie die Wellen der Meeresoberfläche, einen unstillen Charakter haben, aber sich doch innerhalb bestimmter Grenzen halten, teils, wie die Tiden, einer kurzen Periodizität unterliegen, und teils, wie die Strömungen, dieselbe Richtung entweder konstant verfolgen, oder nur in langen alternierenden Perioden ändern, gibt es andere, welche in unregelmäßigen Zeiträumen erfolgen. Dazu gehört der eben genannte Windstau, welcher sich, zu Sturmfluten von außergewöhnlicher Höhe steigern kann. Sie können, ähnlich wie die außergewöhnlich angeschwollenen Wildbäche, eine bedeutende mechanische Umgestaltung hervorbringen, indem das mit heftigem Andrang beträchtlich über seine sonstige größte Höhe ansteigende Meer solche Teile des Festen erfaßt, welche durch ihre regellose Lagerung weit geringeren Widerstand leisten, als die vom Meer bereits umgelagerten Teile. Die Verwüstung erstreckt sich auf die Werke des Menschen und auf die Küstenbewohner selbst, sowie auf die Vegetation, um so mehr, als die Flut selbstverständlich in flachen und dicht bevölkerten Alluvialgebieten am weitesten eingreift. Die eigentliche Sturmflut äußert sich in einem allmählichen Ansteigen des Wassers und seinem längeren Beharren in höherem Stand. Lange andauernde starke Winde vom Meere her, in Verbindung mit Unterschieden des Luftdruckes scheinen die Hauptveranlassung zu bilden. Die Wirkung der Sturmfluten ist um so heftiger, je weniger ein Ausgleich des Wassers durch seitliches Ausweichen stattfinden kann; daher treten sie in geschlossenen Meeren am heftigsten auf.

Die zweite Art dieser Schwankungen sind die Erdbebenfluten. Sie äußern sich in einem langsamen Rückzug des Meeres, welchem das Andringen einer sehr hohen Welle folgt. Dieselbe wirkt in viel höherem Maße zerstörend, als die Sturmflut. Die durch ein Erdbeben veranlaßte Welle erfaßt den Ozean bis auf den Grund und pflanzt sich über dessen ganze Breite und Länge bis zu den Küsten gegenüberliegender Kontinente fort. Zurückkehrend erzeugt sie am ersten Ort ein zweites Ansteigen des Meeres, welches geringer ist als das erste; und so nimmt bei jedem erneuten Ansteigen das Ausmaß ab, bis die Kraft in Reibung verbraucht ist. Indessen ist die Wiederkehr der Welle meist unregelmäßig, da der jenseitige Anprall an Küsten von verschiedener Entfernung erfolgt ist. Die Höhe der Welle ist am größten, wo sie, besonders über flachem Meeresboden, an den Festlandsmassen aufläuft, dagegen, gleich derjenigen der Flutwelle, gering in den zentralen Teilen der Ozeane, da-her auch auf den ozeanischen Inseln. — Die Beobachtung in solchen Fällen hat sich in erster Linie auf die Messung nach Zeit und Raum zu erstrecken. Genaue Zeitangaben sind wünschenswert für die Berechnungen, welche, besonders hinsichtlich der mittleren Tiefe der Ozeane, auf die Erscheinung der Erdbebenwellen gegründet werden. Die Höhe der Flut, die Art der Zerstörung, der Transport schwerer Körper landeinwärts, die Änderungen, welche das Ereignis zurückläßt, sind Gegenstände für sorgsame Aufzeichnung. Die Kraft der andringenden Welle hat wahrscheinlich eine sehr bedeutende Wirkung auf den Meeresboden und dürfte, zumal innerhalb der Hundertfadenlinie, eine erhebliche Bodenversetzung gegen das Land hin zur Folge haben. Der Reisende, der in den Fall kommt, bei einem besonders großartigen Ereignis dieser Art Beobachtungen in dem in § 171 ausgeführten Sinn anzustellen, kann der Wissenschaft durch Widerlegung oder Bestätigung früherer Anschauungen über die Wirkung von Erdbeben einen Dienst erweisen und wird wahrscheinlich irrige Auffassungen, welche oft wiederholt worden sind, endgültig berichtigen können. Es wäre indessen von Wert, sich nicht mit der Festsetzung des Tatbestandes unmittelbar nach dem Eintreffen des Erdbebens zu begnügen, sondern die Beobachtung durch längere Zeit fortzusetzen, um die Änderungen kennen zu lernen, welche der plötzlich aufgewühlte und versetzte Boden wahrscheinlich schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit erleidet.

D. Mechanische Wirkung der Brandung.

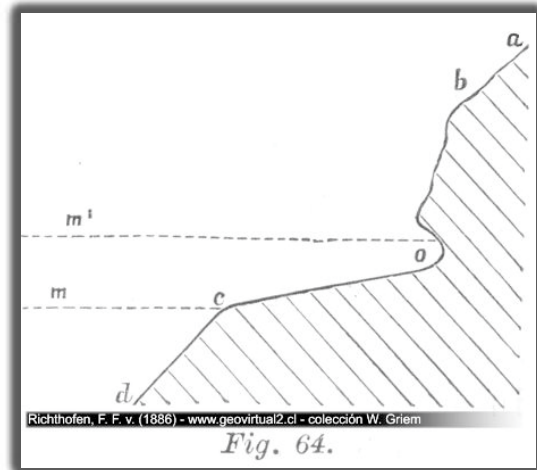
Die Umsetzung der lebendigen Kraft der gegen die Küsten anstürmenden Meereswogen in Arbeit ist einer der wichtigsten Faktoren in der Umgestaltung der Erdoberfläche. Soweit die im Vorhergehenden angeführten Beobachtungen sich auf die Küsten beschränken, sind sie, obwohl an sich von Interesse, für den Erforscher morphologischer Verhältnisse doch wesentlich Mittel zum Zweck der über die Art und den Betrag dieser Arbeitsleistung anzustellenden Untersuchungen. Neben den experimentellen Bestimmungen über die Stoßkraft (§ 149) kann man ein gewisses Maße für diese auch an der Fortbewegung großer Blöcke erhalten, wenn man in besonderen Fällen deren Volumen und Gewicht zu berechnen und den Effekt des Stoßes der einzelnen Wellen durch den Betrag der von ihr vollbrachten Fortbewegung festzusetzen sucht.

1. Umgestaltung von Felsküsten.

[§153] Wenn die Brandungswelle gegen Felsen anprallt, so wird das Wasser mit großer Gewalt in feine Spalten gepreßt und drückt auf deren Wände fast mit dem Druck der ganzen Welle. Dabei wird die in ihnen enthaltene Luft komprimiert und bei dem gewaltsamen Zurückweichen

des vom Druck befreiten Wassers nachgesogen. Durch diese in beständigem Rhythmus sich wiederholenden mechanischen Effekte wird das gelockerte Gesteinsmaterial, besonders aus Klüften, weggenommen und der Zusammenhalt der Felsmassen gelockert. In wie weit Ozonbildung hierbei mitwirkt, ist nicht bekannt. Pflanzen und Meerestiere befördern die Zersetzung und Lockerung des Gesteins, üben aber gleichzeitig einen Schutz aus; dies gilt besonders von den langen Tangen, welche die Kraft der Wogen herabmindern, von dünneren Pflanzenüberzügen, welche das Gestein glatt und schlüpfrig machen, von den Kolonien von Austern und besonders Balanen, endlich von allen kalkigen Krustenbildungen. Exaktere Untersuchungen über diese primären Vorgänge wären erwünscht. Dieselben gestalten sich verschieden je nach dem Vorhandensein oder Fehlen von Ebbe und Flut; denn wo die Tiden verschwindend klein sind, konzentriert sich die Arbeit der Brandung auf eine kleine Zone; dagegen wandert an Küsten mit Gezeiten das Angriffsniveau nach aufwärts und abwärts; die Angriffsfläche wird ausgedehnter. Die Zerstörung sollte zwar in Folge dessen in jedem einzelnen Teilniveau geringer sein; doch trifft dies in der Regel nicht zu, weil die Meere mit Gezeiten weit größere Wellen haben als die tidenlosen, und die vordringende Flut deren Kraft verstärkt.

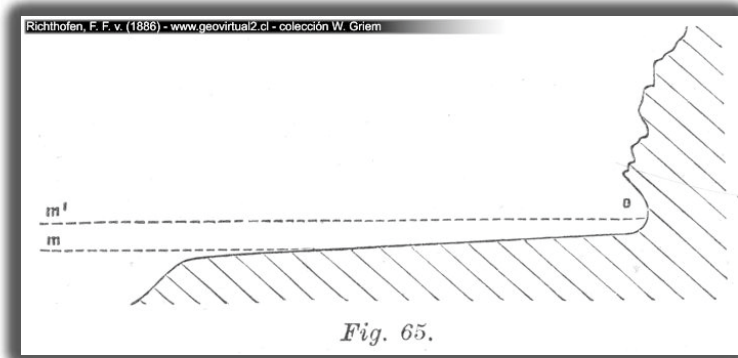
Die Zerstörung äußert sich an einer steil oder senkrecht abfallenden Felswand darin, daß in dem Brandungsniveau eine horizontale Aushöhlung in Gestalt einer rinnenförmigen Hohlkehle gebildet wird. Die dadurch unterminierte Felswand stürzt in einzelnen Teilen herab. Geschieht das Vordringen der Aushöhlung schneller als das Herabstürzen von Gestein, so wird die Wand überhängend; doch richtet sich ihre Gestalt auch nach dem Grad der Einwirkung der atmosphärischen Agentien, welche den Felsküsten einen gegen das Meer gerichteten Abfall zu geben und dessen Neigung im Lauf der Zeit zu verringern streben. Sie erreichen dieses Ziel, wenn sie schneller arbeiten als die Brandung. Überwiegt die Wirkung der letzteren, so bleibt die steile, oder senkrechte, oder, überhängende Gestalt erhalten.



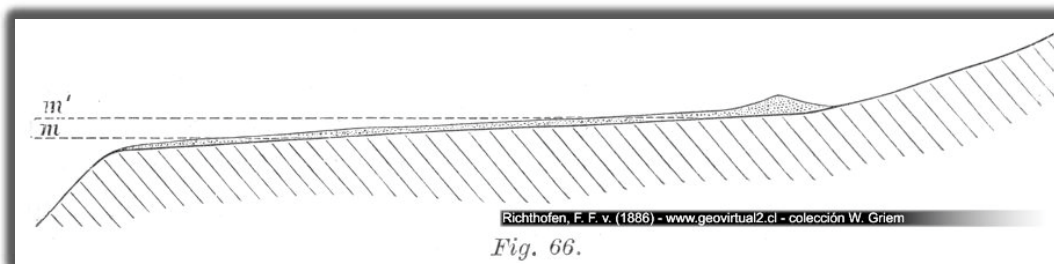
Wie nun auch in dieser Beziehung das Verhältnis sein möge, stets muß sich an einer Steilküste, wenn das Meeressniveau konstant bleibt, eine in demselben gelegene Terrasse, ungefähr von der in Fig. 64 dargestellten Gestalt, herausbilden, wobei a b c d die ursprüngliche, nur in dem oberen Teil (a b) bereits etwas veränderte Gestalt und c o den Brandungsstrand bezeichnet; m und m1 sind die Meereshöhen bei Ebbe und Flut.

Der mechanische Vorgang bei der Ausbildung dieses ersten Stadiums bedarf noch genauer Untersuchung. Rollen stetig Wellen von gleicher Kraft heran, so wird diese, wie gesagt, durch gleichsinnige Bewegung des Meeres bei der Flut gesteigert, durch die entgegengesetzte bei Ebbe verringert. Da das Vordringen der Flut am schnellsten stattfindet wenn die halbe Fluthöhe überschritten ist, so sollte unter allen Umständen erst über deren Niveau die Region der stärksten Zerstörung liegen. Sie wird aber noch höher verlegt, weil die Kämme der Wellen über den Meeressstand hinausreichen, und die emporspritzende Brandung in einer noch größeren Höhe anschlägt. Wegen des letzteren Umstandes nimmt mit der Steilheit der Felsküste die Zone der Maximalwirkung an vertikaler Ausdehnung zu.

Die weitere Ausgestaltung scheint nach zwei Richtungen vor sich zu gehen. Denn einerseits geschieht sie durch die anstürmende Brandungswelle in horizontalem Sinn, wodurch die Hohlkehle bei o weiter in den Fels hineingetrieben wird, und das Nachstürzen des Gesteins von oben fortsetzt; andererseits verursacht die Korrasion in so gleich zu beschreibender Weise eine Erniedrigung der Fläche c o und, da dieselbe in den höheren Teilen stärker ist als in den tiefer, näher bei c gelegenen, eine Verminderung ihrer Abdachung. Die Fläche des Brandungsstrandes nimmt die in Fig. 65 angegebene Gestalt an.



Es ist klar, daß nun die Brandungswelle, indem sie auf einer breiteren schiefen Ebene aufrollt, durch Reibung an dieser einen großen Teil ihrer Kraft verliert und diese nicht mehr in derselben Konzentration wie vorher auf die Zerstörung durch horizontalen Stoß gegen eine vertikale Fläche zu verwenden vermag. Bei niedrigem Tidenstand erreicht sie die Hinterwand überhaupt nicht mehr; erst bei einer gewissen Höhe der Flut strömt sie wieder gegen dieselbe an. Wenn nun der größte mechanische Effekt im Allgemeinen in einer etwas über halber Fluthöhe gelegenen Zone stattfindet, so muß doch mit der Verbreiterung des Brandungsstrandes das Verhältnis sich ändern. Ist die Terrasse über die in Fig. 65 angenommene Breite hinaus angewachsen, so werden nur noch die Wellen der höchsten Flut zerstörend wirken; in einem ferneren Stadium können nur noch diejenigen, welche bei Stürmen zur Flutzeit heranrollen, einen horizontalen Stoß ausüben, und schließlich vermögen auch diese den Stirnrand noch gerade zu erreichen, aber ihre zerstörende Kraft ist verloren. Die Steilküste ist dann so weit landeinwärts gerückt, als die Brandungswelle sie dorthin bei unverändertem Meeresstand zu verschieben vermag. Die Gebirge, deren Abfall sie bildet, sind nun der Abflachung durch die Agentien des Festlandes allein ausgesetzt. Bleiben auch die Steilabstürze noch lange bestehen, so ist doch die Tendenz zur Ausbildung einer Endgestalt, wie in Fig. 66 vorhanden. Die Strandfläche ist dann in der Regel mit Detritus bedeckt, welchen die Flüsse des Festlandes und die Strömungen des Meeres herbeischaffen.



Schon in den ersten Stadien der Stufenbildung tritt ein zweites Moment wirksam ein. Auf die Brandungsterrasse stürzt das seiner Unterlage beraubte Gestein in Trümmern, die zum Teil hausgroße Blöcke sind, herab. Sie bilden zwar einen Schutz für die felsige Rückwand, werden aber selbst durch die in der mannigfachsten Weise an ihnen gebrochene Brandungswelle in Angriff genommen. Die größten erfahren zunächst noch keine Ortsveränderung, werden aber allmählich von der Stoßseite aus zerstört. Zuweilen gibt ihnen der Wogenanprall eine drehende

und bohrende Bewegung, durch welche, besonders wenn sie aus härterem Gestein als die Unterlage bestehen, in dieser kesselförmige Vertiefungen ausgedreht werden. Diejenigen Blöcke und kleineren Gesteinsstücke, welche von der Brandung gehoben und geschoben werden können, werden aneinander geschleudert und dadurch abgerieben und glatt geschliffen, zuweilen zertrümmert und in Rollkiesel und Sand verwandelt. Die Brandung benutzt sie als Projektile gegen die großen Blöcke und gegen die Felswand, und während sie erst eine schützende Rolle übernahmen, dienen sie nun als Werkzeuge gesteigerter Zerstörung. In Folge ihrer ungleichen Verteilung auf dem Strand verursachen sie ein ungleiches Maße der Zerstörung entlang der Strandlinie. An manchen Stellen, besonders wo der Küstenfels zerklüftet und stärker zersetzt ist, werden mit ihrer Hilfe Höhlungen von der Gestalt horizontaler Riesenkessel in die Wand eingebohrt. In Folge dessen schreitet dort, wo ein Strand vorhanden ist, die Zerstörung in horizontaler Richtung viel schneller fort, als wo ein solcher fehlte. Die schwerste Arbeit hat die Brandung an strandlosen Steilküsten aus sehr festem Gestein, wie es bei den meisten Fjordküsten der Fall ist.

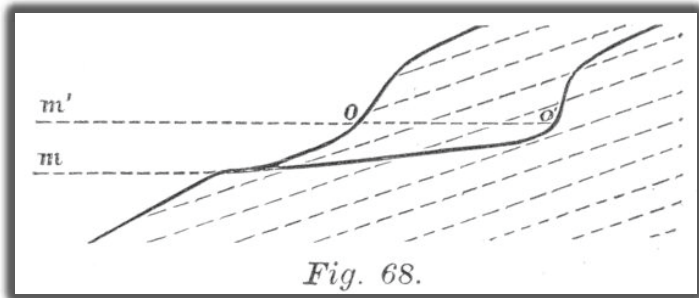
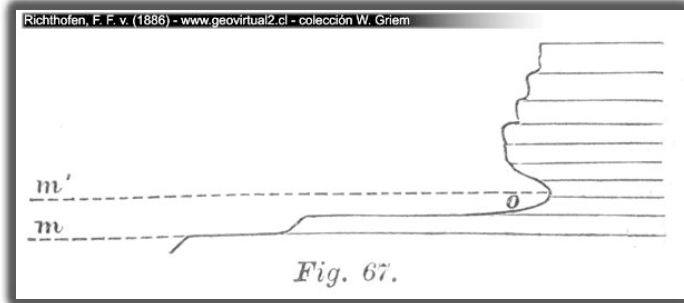
Eine zweite Wirkung des Felsschuttes besteht in der Korrasion der Unterlage. Die Blöcke werden hin und her geschoben, die feineren Teile auf den Felsboden geschleudert. Dadurch muß die Fläche ihrer Unebenheiten beraubt, in vertikaler Richtung mehr und mehr abgeschliffen, in horizontaler geschrammt werden. Diese Arbeit findet im Ebbeniveau beständig statt; ihre Periode verkürzt sich allmählich gegen dasjenige der Flut hin. Die größere Intensität, welche sie hier hat, reicht nicht aus, um der Tendenz zur Ausarbeitung und Erhaltung einer gegen das Meer gerichteten Abdachung der Terrasse entgegenzuwirken. Wahrscheinlich senkt sich aus der genannten Ursache jede voll ausgearbeitete Brandungsterrasse an einer Steilküste unter das Ebbeniveau herab; ohne die Korrasion müßte ihr unterer Rand mit diesem zusammenfallen. Die Abreibung des Bodens kann aber vollkommen erlahmen, wenn der zu größerer Breite gediehene Strand sich dauernd mit Sand bedeckt, und dieser die Gesteinstrümmer einhüllt. Dieser Zustand aber ist die Regel, ein breiter und kahler Felsstrand die Ausnahme. Nur Strömungen vermögen ihn frei zu halten. Dadurch ist auch die Beobachtung erschwert.

Die Breite, welche ein Brandungsstrand zur Zeit der Beobachtung erreicht hat, ist von verschiedenen Umständen abhängig. Der wichtigste von ihnen ist die Zeit, d. h. die Dauer der Einwirkung. Sehen wir hier von diesem ab, so kann man die anderen in zwei Klassen teilen, insofern sie entweder dem Meer und den atmosphärischen Bewegungen, oder dem Festland angehören. Die Faktoren der ersten Klasse bleiben in großen Küstenstrecken gleich; sie sind: die herrschende Windrichtung und Windstärke; die zum Teil damit, zum Teil mit den in großen Femen erzeugten Dünungswellen zusammenhängende Stärke der Brandung; die Temperatur des Wassers; das Vorhandensein oder Fehlen von Eis; der Abstand zwischen Ebbe und Flut. Die Faktoren, welche dem Festland angehören, können sich in großen Strecken gleich bleiben, oder auch schon in kurzen Entfernungen vielfache Änderungen erfahren. Sie sind: die vertikale Gestalt der Küste; die horizontalen Umrißformen, welche es verursachen, daß einzelne Teile der Brandungswirkung ausgesetzt, andere ihr entzogen sind; die Gesteinszusammensetzung; die Lagerung der Gesteine. Wir beschränken uns auf die Betrachtung der beiden letzteren.

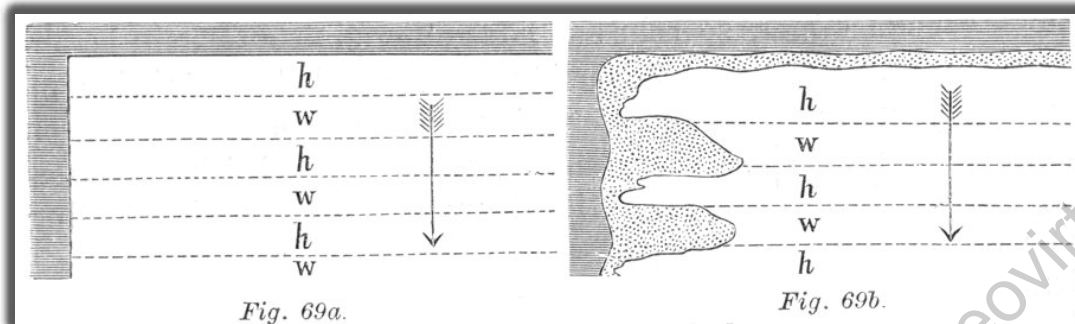
In weichem Gestein arbeitet die Brandungswelle schneller als in hartem. In vulkanischem Schutt, und selbst in mürbem Sandstein, kann sie ihre Arbeit bis zur äußersten erreichbaren Grenze vollendet haben, während sie in basaltischen Lavaströmen, welche den ersteren unterbrechen, oder an Granit, welcher von dem Sandstein umhüllt wird, ihr Werk kaum begonnen zu haben scheint, oder dasselbe sich doch noch in den ersten Stadien befindet. Waren alle diese Gesteine an einer geradlinigen Steilküste angeordnet, so wird die Küstenlinie bei Ebbezeit nur geringe Veränderungen zeigen, bei Flutstand hingegen in Buchten in das Land eingreifen; und da der

Arbeitseffekt der atmosphärischen Agentien sich in entsprechender Weise zwischen die weichen und harten Gesteine verteilt, so werden schroffe Vorsprünge mit sanft-geformtem Land in den Einbuchtungen wechseln. Dies sind extreme Fälle. Der Beobachtung bieten sich kleinere Abstufungen dar, die im Einzelnen zu untersuchen sind.

Von großer Wichtigkeit ist die Lagerung. Hier gilt das umgekehrte Gesetz, indem der Arbeitseffekt um so grösser ist, je grösser die in der Lagerung allein (bei gleichbleibender Härte des Gesteins) begründeten Widerstände sind. In Fig. 64 und 65 ist angenommen, daß das Einfallen von Schichtgesteinen binnenwärts gerichtet ist. Der horizontale, etwas nach oben gerichtete Stoß begegnet hier, so sehr auch das unterminierte Gestein herabstürzen mag, stets neuen Widerständen; daher hat die Arbeit eine große Wirkung; auch die Korrasion wird auf den freigelegten Schichtenköpfen leicht ausgeführt. Anders ist es bei horizontaler Lagerung, wie in Fig. 67. Hier



kann die Wirkung im Anfang eine sehr große sein, besonders wenn der Härtewechsel der Schichten das Untergraben erleichtert. Das Gestein stürzt leicht nach und wird dabei häufig von Kluft-richtungen unterstützt, welche bei Tafellagerung selten ganz fehlen. Es ist auf die dadurch entstehenden Formen der Küstenabbrüche wohl zu achten. Allein es scheint, daß sich nur schwierig eine Abdachung bildet, und daß vielmehr eine Tendenz zu einer Sonderung der Stufe in breite, durch Steilabbrüche getrennte Staffeln vorhanden ist. Dadurch erleidet die Welle, wenn sie die landeinwärts rückende Stirnwand zu erreichen strebt, eine bedeutende Abschwächung; Das Zeitmaß des Vorganges scheint sich daher landeinwärts in viel ungünstigerer Weise als im vorigen Fall zu verlängern, schwieriger gestaltet sich das Verhältnis für die Brandung, die Schichten seawärts einfallen, wie in Fig. 68, besonders der Fallwinkel gering ist. Die Welle läuft auf der Schichtenfläche hinauf, ohne einem erheblichen Widerstand zu begegnen ihre Kraft verzehrt sich in Emporheben des Wassers und Reibung. Es wird zwar mit der Zeit eine Brandungsstufe ausgearbeitet werden; aber bei gleich hartem Gestein dürfte diese Lagerungsform die ungünstigste sein.



Es wurde bis jetzt angenommen, daß die Küstenlinie dem Schichtenstreichen parallel ist. Sie bleibt alsdann sich selbst parallel, einförmig und geradlinig; nur bei Tafellagerung, wo ein solcher Parallelismus nicht stattfinden kann, wird der Steilrand des Strandes häufig eine unregelmäßige und winkelige Gestalt annehmen. Ganz anders ist es, wenn die Küste in einem schiefen oder rechten Winkel zum Schichtenstreichen gerichtet ist. Dann kommt der Härtewechsel zur Geltung, ebenso wie das Unterminieren des härteren Gesteins durch Herausarbeiten des weiche- ren. Wenn in Fig. 69a die beiden Scheidelinien zwei Steilküsten zwischen dem (schraffierten) Meer und einem 100 m hohen, aus einem Wechsel harter und weicher (h und w), in der Richtung des Pfeiles fallender Schichten zusammengesetzten Festland bezeichnen, so wird die Küste in dem durch das Flutniveau gelegten Horizontaldurchschnitt (Fig. 69 b) ungefähr die Gestalt der eingebuchteten Linie haben, während der Ebbestrand noch der ursprünglichen Begrenzung folgt. Liegt der Norden oben, so wird jeder der westlichen Vorsprünge nach dieser Seite steil auf eine wohlausgebildete Brandungsfläche, nach Süden sanfter auf eine in der Ausbildung zurückgebliebene Stufe abfallen. Man wird hierin leicht eine der Ursachen der unruhigen Gestalt der Riasküsten erkennen.

Diese Ausführungen mögen dem Beobachter einige der Gesichtspunkte angeben, von denen aus die Brandungswirkung an felsigen Küsten, hinsichtlich der äußeren Ausgestaltung, betrachtet werden kann. Sie würden sich ohne Schwierigkeit vermehren lassen. Es ist hier vorausgesetzt worden, daß der Strand sich an einer Steilküste, und zwar an einer Stelle bilde, wo vorher noch keiner vorhanden war. Im Folgenden sehen wir davon ab und betrachten den Strand allgemein als die von dem Niveau der höchsten Flut nach demjenigen der tiefsten Ebbe sich abdachende Fläche, gleichviel ob die letztere unter dem Meer noch weithin fortsetze oder nicht. Auch die Anwesenheit eines felsigen Stirnrandes ist zunächst nicht vorausgesetzt.

2. Aufbereitung und Transport der Zerstörungsprodukte.

[§154] Wo ein Strand an einer Felsküste in der Bildung oder im Fortschreiten (nach § 161) begriffen ist, findet die bereits beschriebene Bearbeitung des herabgestürzten Gesteinsmaterials statt. So lange es nicht durch Sandumhüllung unangreifbar für die Welle geworden ist, ruht sie nicht, bis Alles zertrümmert und zerkleinert ist. Ist dies auch mit einer fortdauernden Aufbereitung verbunden, indem die größeren Blöcke höher hinauf in die Gegend, wo die Welle ihre größte Kraft hat, geschoben, die Zerkleinerungsprodukte aber abwärts dem Meere zugeführt werden, so ist doch die Saigerung nicht dauernd und rein, so lange noch das Hauptbestreben der Welle darauf gerichtet ist, die Felswände zu zerstören und weiter zurück zu versetzen. Anders ist es auf einem fertig gebildeten Strand, dessen Fläche wir uns in das Meer hinein verlängert denken.

Um die hier unaufhörlich stattfindenden Vorgänge zu verstehen, muß man sich mit dem Mechanismus der Wellenbewegung auf dem Strand vertraut machen. Man kann ihn am besten an Flachküsten beobachten, wo die Wirkung der Kraft auf eine große Fläche verteilt wird. Eine Welle rollt heran; sie erleidet eine Retardation durch Reibung am Boden. Die Bodenschicht selbst wird still gestellt und erhält die Neigung, abwärts zu strömen. Die oberen Schichten schreiten fort, werden aber durch Reibung an der ruhenden aufgehalten.

Die nächste Welle findet bereits eine Bodenschicht, die aus ruhendem und schwach bewegtem Wasser besteht; sie eilt über sie hin, erreicht die erste Welle, geht über sie hinweg und bildet durch weiteres Voraneilen der oberen gegen die unteren, nunmehr durch Reibung am festen Boden aufgehaltene Teile einen fortschreitenden Wasserfall. Sie wird vielleicht in ähnlicher Weise von einer dritten Welle überholt. Ehe die vierte Welle herankommt, ist das Wasser abgelaufen, und der Vorgang beginnt aufs Neue. Er findet auch bei ganz ruhigem Meer statt, da immer etwas Dünung vorhanden ist. Ein gegen die Küste gerichteter Wind steigert die Macht der Welle. Ihre höchste Transportkraft hat diese in dem Augenblick und an der Stelle, wo sie bricht, indem die über den eigentlichen Wellenkamm hinwegeilenden höheren Teile in diesem Moment die größte Geschwindigkeit erreichen. Durch den Anprall hat die Welle Sand und Schlamm aufgewühlt, besonders auch Muscheln und Tange, zuweilen selbst Kieselsteine. Diese werden gehoben, und wo die Welle etwas höher aufwärts wie ein Katarrakt herabfällt, schleudert sie die Projektile gegen den Boden oder gegen Hindernisse, z. B. gegen Felsen, welche aus dem Strand aufragen; dieselben werden dadurch nach und nach geglättet und hinweggefegt. Gleichzeitig zieht auf dem Boden der Unterstrom hinab.

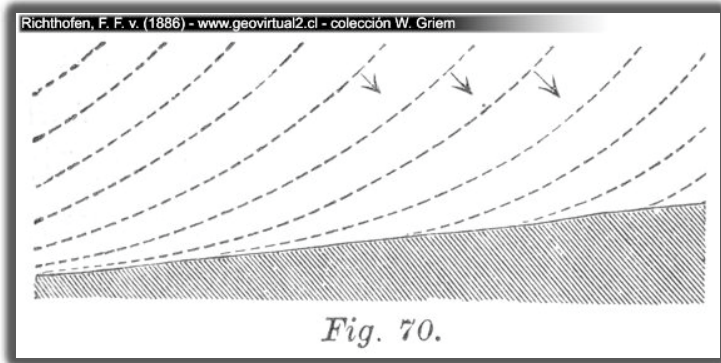
Im Allgemeinen ist wahrscheinlich der Vorgang bei heftiger Brandung an felsigen Küsten analog. Wichtig für die Art der mechanischen Wirkung ist der Gegensatz der bedeutenden, zu erheblicher Arbeitsleistung fähigen Stoßkraft der auf einen Strand rollenden Welle und der geringen, von Wassermasse und Neigungswinkel des Strandes abhängigen Tragkraft des rückläufigen Wassers. Jene größere Kraft ist, wenn die Welle feste Körper erreicht, auf Stoß und Transport nach aufwärts gerichtet, die geringere auf Bewegung nach abwärts. An einer Strandküste mit heftiger Brandung können daher große Blöcke und abgerollte Gesteinsstücke von der Welle im Moment und an der Stelle ihrer größten Kraftentwicklung erfaßt und zusammen mit vielem feineren Material nach aufwärts gestoßen oder getragen werden. Kaum hat die Welle diese Transportarbeit verrichtet, so zieht sie sich zurück, um den Strand für kurze Zeit trocken zu lassen. Bei Beginn des Rückzugs ist die Geschwindigkeit gleich Null; daher fallen dann die vom Wasser getragenen größeren Gesteinsstücke herab. Diejenigen, welche die Welle schon nach den höchsten ihr erreichbaren Stellen getragen hat, bilden ein Haufwerk, dessen Neigungswinkel der natürlichen Böschung einer Anhäufung von losen Blöcken entspricht. Das zurückfließende Wasser erhält auf seinem Weg nach abwärts erhöhte Geschwindigkeit und nimmt die kleineren Gerölle und Kiesel mit sich. Dadurch wird die Böschung vermindert. Ehe das Vorrücken einer neuen Wellengruppe beginnt, erfolgt ein Stillstand, wobei der herabgeführte Sand zu Boden fällt.

In Folge dieser Vorgänge geschieht die Ablagerung am Meeresstrand den Gesetzen des stehenden Wassers entgegen, indem die größten Gesteinsstücke die Tendenz haben, sich im Niveau der höchsten Flut anzuhäufen, oft sogar über demselben, wenn die Küste heftigen Stürmen ausgesetzt ist. Dagegen bildet sich im untersten Teil eine Böschung von feinem Sand, welche von unten nach oben allmählich steiler ansteigt; zugleich mit dem Winkel nimmt die Korngröße von unten nach oben zu. Doch läßt sich in der Regel eine schärfere Begrenzung zwischen zwei Hauptzonen wahrnehmen. Die rückläufige Welle beschleunigt nämlich anfangs zwar ihren Lauf; aber da die Neigung sich verringert und damit die Reibung wächst, hört an einer bestimmten Stelle die Beschleunigung auf. Diese Stelle markiert sich als scharfe Grenze zwischen Kies und Sand. An ihr konzentrieren sich die Anhäufungen von Muschelschalen; wo Kies vorkommt, enthält der Sand gewöhnlich nur kleine Fragmente von jenen.

Der Reisende kann an verschiedenen Küsten das Wirken dieser Vorgänge an sich beobachten und ihren Effekt der Messung unterziehen. Es ist am besten, das Problem elementar zu fassen und von seinen Anfängen an zu studieren.

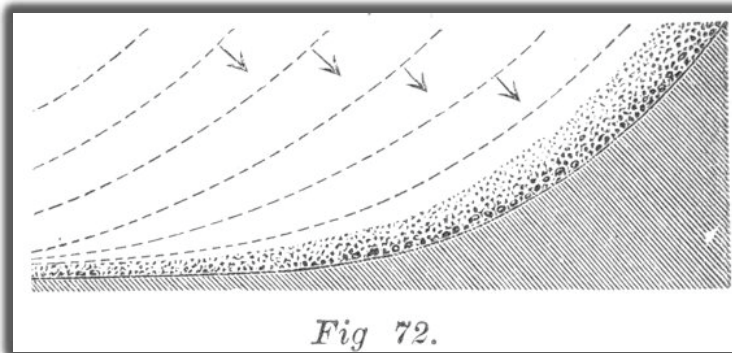
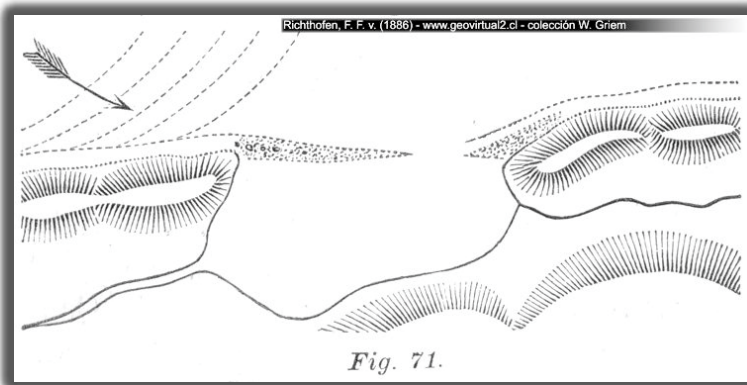
3. Wandern des lockeren Materials der Küste entlang.

[§155] Wenn die Längsachse einer heranrollenden Meereswelle der Küstenlinie nicht parallel ist, sondern (wie in Fig. 70) unter einem schiefen Winkel gegen dieselbe gerichtet ist, so wird, wie in § 149 erwähnt wurde, die Stoßkraft in zwei Komponenten zerlegt, von denen eine der Küste parallel, die andere rechtwinklig zu ihr gerichtet ist. Nur die letztere scheint zum Teil in reflektierte, zum Teil in aufwärts gerichtete, das Wasser brandend emporschleudernde Bewegung verwandelt zu werden. Diese übt zugleich eine Stoßkraft landeinwärts und etwas nach aufwärts aus, während die Kraft



der horizontalen Komponente festes Material der Küste entlang fortschieben kann. Bei sehr flachen Küsten verkleinert sich bei dem Heranrollen der Winkel, welchen die Welle zur Küstenlinie beschreibt; doch dürfte ein vollkommener Parallelismus mit dieser nie erreicht werden. Je stärker der Abfall des Meeresbodens von der Küste an geneigt ist, desto weniger Änderung erfährt jener Winkel.

Da die Richtung der Wellen und des durch sie ausgeübten Stoßes sich häufig ändert, so wird diejenige, in welcher das feste Material entlang der Küste transportiert wird, durch die Resultante aus den wechselnden Stoßrichtungen bestimmt.



Rollt die Welle auf einen mit losen Massen bedeckten Strand auf, so erhält, in Folge der Zerlegung der Kraft, jeder Gesteinsblock, zugleich mit dem Stoß welcher ihn an den Strand hinauf zu schieben strebt, einen Stoß nach der Seite. Durch fortgesetzte Bewegung wird er abgestoßen und abgerollt. So bilden sich Strandgerölle. Die kleineren wandern durch das Ansetzen derselben Kraft weiter als die größeren; am weitesten wird der Sand fortbewegt. Es entsteht also eine Aufbereitung und Anordnung nach Zonen, die rechtwinklig zur Strandlinie gerichtet sind.

Das Material jeder Größe erreicht schließlich einen Ort, wo es dauernd abgelagert wird. Dies geschieht besonders dort, wo eine Bucht in das Land eingreift. Die Gerölle werden, wie es in Fig. 71 dargestellt ist, von Vorsprüngen aus in Gestalt eines flachen Walles abgelagert, welcher dem nachfolgenden Material einen Stützpunkt bietet. Zuweilen laufen von zwei eine Bucht begrenzenden Vorsprüngen zwei gegen einander strebende Wälle aus, welche das Innere der Bucht abzusperren drohen. Biegt, wie in Fig. 72, die Küste in solcher Weise um, daß ein Teil rechtwinklig zu der Richtung der Wellen zu liegen kommt, so tritt der im Vorigen auseinandergesetzte Fall ein; das fortbewegte Material sammelt sich an; das gröbere wird nach aufwärts geschoben, das feinere von der rückläufigen Welle abwärts getragen; seitliches Schieben findet nicht mehr statt. Es entstehen Steinwälle, deren Höhe das mittlere Meeresniveau um 4 bis 5 Meter überragen kann, da sie durch Hochfluten und Stürme bestimmt wird. In gleicher Weise bilden sich freie oder angelehnte Sandwälle. Ihre Richtung ist gewöhnlich fast geradlinig.

4. Funktionen der vorgeschobenen Küstenwälle.

[§156] Das Vorschieben des festen Materials in ziemlich gerader Linie hat eine hohe morphologische Bedeutung. Die Küstenwälle schützen das Land vor den Angriffen durch das Meer und können die Abrasion still stellen. Sie unterliegen selbst häufig einer Umlagerung und Zerstörung, behalten aber ihre schützende Rolle oft für lange Zeit.

Die zweite Funktion besteht in der Vereinfachung der Gestalt der Küstenlinie. Die Brandungswelle nagt an den Vorsprüngen, wo nur selten Ablagerung stattfindet, und benutzt selbst das Material, um die einspringenden Teile auszugleichen. Vorgeschobene Steilküsten können daher als Aufbereitungsstätten bezeichnet werden, wo das Material hergerichtet wird, mittelst dessen Absatz an flachen Stellen und vor Buchten die Küstenlinie modifiziert wird. Eine sehr eingeschnittene Küste kann dadurch eine einfache Gestalt erhalten. Dies scheint eine der wesentlichsten Ursachen der merkwürdigen Erscheinung zu sein, daß die Küstenlinien der Kontinente in großen Strecken einen gleichmäßigen Verlauf haben. Besonders gilt diese Ursache bei Flachküsten.

Eine dritte Funktion, wodurch die einfache Küstengestalt vollendet wird, besteht in der Abdämmung von Wasserbecken an den Stellen vormaliger Buchten. Diese „Lagunen“ können die verschiedenen in § 117 (Nr. 14) dargestellten Schicksale betreffs der Änderung der Beschaffenheit ihres Wassers erfahren.

5. Wirkung der Meereswellen und Strömungen an Flußmündungen.

[§157] Die Art der Entstehung der Sand- und Schlamm-Barren an den Stellen, wo sedimentreiche Flüsse in das Meer münden, ist in §§ 86, 87 erörtert worden. Zu denjenigen Momenten, welche die Gestaltung beeinflussen können, gehören der Andrang der Meereswellen und die Meeresströmungen. Nicht nur können sie den Widerstand vergrößern, den das vorwärts bewegte Flußwasser findet, es wird auch außerdem Material von außen zugeführt oder wenigstens umgelagert. Die Barre wird erhöht und wächst über das Fluß-Niveau, einen festen Damm bildend, der sich in derselben Richtung stetig verlängert und den Fluß von seiner Richtung so weit abdrängen kann, daß er gezwungen wird, der Küste parallel, und durch einen niederen Damm vom Meer getrennt, zu fließen.

Der Kampf zwischen Fluß und Meer um die Mündungsstelle des ersteren und ihre wechselseitige Rolle in der Ablagerung und Verteilung der Sedimente geben vielfach Anlaß zu Beobachtungen von Interesse. Nur in einzelnen Fällen sind sie an einem Fluß mit Genauigkeit ausgeführt worden. Die Manifestationen sind von Fall zu Fall verschieden. Der Reisende kann zu der Kenntnis der Erscheinung beitragen, wenn er die sich ihm darbietende Phase, in welchem sich eine Flußmündung eben befindet, durch sorgfältige Beobachtung festlegt.

6. Küstenablagerungen durch Meeresströmungen.

[§158] Während die Brandungswelle mit dem langsamen Fortschieben des gröberen Strandmaterials beschäftigt ist, wird ein sehr viel massenhafterer Transport von feineren festen Bestandteilen durch die Küstenströmungen bewirkt, besonders dort, wo sie dasselbe von großen Strömen 'des Festlandes in Empfang nehmen und forttragen; aber auch die durch die Brandung aufbereiteten feinkörnigen Massen und die Trübung, welche durch heftigen Wellengang aus der Tiefe aufgewirbelt wird, verfallen ihnen. Während daher die Brandung die feinere Feilung und Ausgleichung der Küstenlinie im Einzelnen besorgt, wird durch die Strömungen dieselbe Funktion in viel allgemeinerer Weise ausgeübt. Es gibt Abräumungsküsten, wo die Brandung freies Spiel hat, und Auffüllungsküsten, wo sie geringe Kraft ausübt.

Ob das Eine oder das Andere der Fall ist, kann von verschiedenen Umständen abhängen. Es scheint, daß, wo eine kräftige, sedimentfreie Strömung die Küste bestreicht, die Abräumung des von der Brandung gelieferten feinen Materials eine sehr vollkommene ist. Unter dieser Bedingung befinden sich felsige Küsten, die weit in das Meer hinausragen, wie diejenigen der Bretagne und Galicia's. Daß eine Strömung in großer Erstreckung fegend wirken kann, zeigt die asturische Küste. Aufschüttung des hinweggeführten Materials kann durch eine Küstenwendung verursacht werden, wovon die Küste der Gascogne ein Beispiel gibt; oder durch die Rückbiegung einer Küste in Lee eines Vorsprungs, wodurch rückläufige Strömungen veranlaßt werden. Es scheint aber auch, daß Flachküsten im Allgemeinen die Tendenz haben, weitere Aufschüttungen von den Strömungen aufzunehmen, weil die Kraft der letzteren sich wegen der geringen Tiefe vermindert. Dies sind nur einzelne Möglichkeiten; man sollte die Ursachen der Abräumung wie der Ablagerung in jedem einzelnen Fall festzustellen suchen. Zu diesem wichtigen Teil der Küstenforschung gehört auch die Untersuchung der Agentien, durch welche die Anschwemmungen landfest werden. Das Festhalten des Bodens durch Vegetation, insbesondere die Mangrove der Tropen, und durch Dünenbildung scheinen die wichtigsten zu sein.

Das lehrreichste Beispiel der Landanschwemmung durch Strömungen bietet die Küste von Guyana, wo der Waini, der Barima, der Amagura und andere Flüsse durch den Absatz der von der starken Strömung der Küste entlang geführten Sedimente des Amazonas, des Essequibo und anderer Landströme von ihrem Lauf abgelenkt worden sind und der Küste parallel fließen, und das neugebildete Niederland von höchster Fruchtbarkeit ist (s. § 143, 7). — Noch bekannter ist das Verhältnis an der Nordwestküste des adriatischen Meeres, wo die von rechts nach links die Küsten abfegende Strömung die Sedimente des Isonzo und des Tagliamento vor die Lagunen von Venedig schiebt; oder dasjenige im östlichen Mittelmeer, wo die ebenfalls von rechts nach links die Küsten umkreisende Strömung den Nilschlamm an der Küste von Palästina ablagert. Die gleiche Richtung der Strömung bewirkt den Unterschied der Küstenbeschaffenheit im Osten und im Westen der Rhone-Mündung. Ähnliche Erscheinungen bieten die nördliche und südliche

Küste des Golfes von Mexico, die Mosquito - Küste und viele andere. In den meisten dieser Fälle ist die Wirkung der Strömung klar erkennbar. Doch sollte die Erscheinung noch eingehender untersucht werden, da man erwarten kann, an den Küstenformen zuweilen einen positiven Anhalt zur Beurteilung der Strömungsrichtungen zu haben. Besonders sind die Nehrungen zu beachten. Da sie gewöhnlich dem Wasser nur einen schmalen Ausgang gestatten, scheint es, daß ihr Wachstum von dem festgewachsenen Ende begonnen haben und gegen das andere freie, die Wasserverbindung begrenzende Ende gerichtet sein sollte. Dies stimmt mit der bestehenden Ansicht der Strömungsverteilung nicht immer überein; z. B. läßt der langgedehnte Damm, welcher die Laguna dos Patos von der Küste des südlichen Brasilien abscheidet, einen Ausgang am südlichen Ende, während hier eine nordwärts gerichtete kalte Küstenströmung angenommen wird.

Lehrreich für die Beobachtung sollten die Meeresküsten in solchen Gegenden sein, wo der Pasat beständig weht und die Strömungen analoge Richtung mit ihm haben. Alle auf Zerstörung und Fortschaffung gerichteten Kräfte wirken dann in gleichem Sinn den Küsten entlang. Dies ist in mehreren Teilen tropischer Ostküsten der Fall. Doch gilt Ähnliches für Teile der Westküsten der Südkontinente.

7. Umlagerung der Strandbildungen durch Wind (Dünen).

[§159] Da in Folge der aufwärts gerichteten Transportwirkung der Brandungswelle ein der Neubildung periodisch unterworfenen Strand überall vorhanden ist, wo die Küste aus Schwemmgeländen besteht, so findet an solchen Stellen der Wind Material zur Umlagerung vor. Am wenigsten ist dies der Fall bei Meeren ohne Gezeiten oder bei Binnenseen. Hier bieten nur der durch Sturmwellen gebildete Strand oder die bei einer Rückstauung des Wassers frei gelegte Küstenfläche einen Anhalt für den Wind. Je grösser die Niveaudifferenz zwischen Ebbe und Flut, je bedeutender die Zufuhr neuen Materials und je flacher die Böschung des Strandes, desto mehr Gelegenheit zum Angriff wird den atmosphärischen Strömungen geboten. Der schnell trocknende Sand wird vom Seewind erfaßt und landeinwärts getragen. Wäre eine Düne noch nicht vorhanden, so würden die kleinen Unebenheiten des Bodens, insbesondere die Vegetation, bald die ungleiche Ablagerung und die Entstehung kleiner Sandwellen veranlassen. Aus jeder von diesen könnte mit der Zeit eine Düne entstehen, d. h. eine Welle mit mäßig scharfem Kamm, deren Durchschnitt nach der Seeseite einen im oberen Teil konvexen, im unteren konkaven, nach der Landseite einen vom Scheitel an konkaven Bogen darbieten würde. Wenn der Seewind ohne neue Zufuhr von Sand zu wehen fortführe, so würden die Sandteilchen auf der Windseite aufwärts bis zum Kamm getragen werden und auf der Innenseite niederfallen; die Welle würde in der Richtung des Windes fortwandern, dabei allmählich zerstört werden und zur Vergrößerung anderer Sandwellen von derselben Gestalt beitragen. Da nun aber der Seewind fortdauernd neue Zufuhr von Sand bringt, und die Wellen nicht gleiche Größe haben, so wird bald ein Anwachsen der mächtigeren auf Kosten der schwächeren stattfinden; es werden die Dünen an Höhe zunehmen, bis ein dem ziemlich gleichmäßigen Korn des Sandes entsprechendes Verhältnis zwischen mittlerer Windstärke, mittlerem Zuführungsbetrag und Dünenhöhe erreicht wäre. Die letztere erreicht häufig 10, 20 und bis 80 Meter. Der überschüssige Sand lagert sich in der Richtung des Windes ab, so daß ein Bestreben der Dünen vorhanden ist, sich landeinwärts auszubreiten. Die bedeutendsten Höhen sind in der Gascogne (90 m) und zwischen Cap Bojador und Cap Verde, wo, wahrscheinlich in Folge des Umstandes, daß der Seewind den durch die

Passate vom Land her zugeführten Sand zurückstaut, Dünen von 120 bis 180 m Höhe vorkommen sollen.

Bei den Beobachtungen an Meeresküsten bietet sich vielfach Gelegenheit, den Vorgang bei der Bildung, Umbildung und Wanderung der Dünen zu studieren. Insbesondere sind Daten betreffs der Schnelligkeit des Vorrückens zu sammeln. Auch das rein Morphographische ist allenthalben festzustellen; nicht nur die Breite der Dünenzone und ihre Zusammensetzung aus mehreren Reihen von Sandwellen, sondern auch das Vorkommen von Vertiefungen in ihr und die Art. der Ausfüllung derselben, ob mit salzigem oder süßem Wasser, oder mit ertragfähigem Boden (s. § 218). Es ist ferner auf die Vegetation zu achten, ob dieselbe nur aus Gräsern besteht, und aus welchen Gattungen und Arten; oder ob höhere Pflanzenformen (wie die Pandaneen in den Tropen), insbesondere Bäume, daran teilnehmen. Ist die Düne kahl, so sollte danach geforscht werden, ob sie es immer gewesen ist, und, falls die Baumvegetation erst durch Zerstörung verschwunden ist, welche Änderungen seitdem stattgefunden haben.

Ein anderer zu berücksichtigender Punkt betrifft die Wiederholung der Dünenreihen im Inneren des Landes, welche den Beweis für eine ehemalige Binnenlage der Küste geben würden, wie in § 168 ausgeführt ist.

E. Wirkung der Brandungswelle bei negativer Strandverschiebung.

[§160] Wenn die relative Änderung im Niveau von Land und Meer an einer felsigen Steilküste in der Weise geschieht, daß die Küstenlinie um einen gewissen Betrag seewärts zurückschreitet und das Land sich zu heben scheint, so wird der frühere Strand trocken gelegt und die Bildung eines neuen in der tieferen Isohypse des nunmehrigen Meeresstandes sofort in Angriff genommen. Fände das Zurückweichen des Meeres in einem durch lange Perioden bezeichneten Rhythmus statt, so würde bei jedem Stillstand der Bewegung eine Küstenterrasse mit Strand gebildet werden; aber da die Breite einer derartigen Strandterrasse ein bestimmtes, nicht bedeutendes Maß nicht überschreiten kann (§ 153), so würde in jedem einzelnen Niveau eine örtliche und zeitliche Grenze für die mechanische Wirkung der Brandungswellen gegeben sein; wenigstens würden nach Überschreitung derselben die Kraftwirkungen sehr gering sein. Wir würden also, von der Küste nach dem Inneren emporsteigend, eine Reihe von Terrassen über einander angeordnet finden, und dieselben würden eine für jeden Fall verschiedene Maximalbreite nicht überschreiten, häufig aber dieselbe nicht erreichen. Solche Brandungsterrassen oder „gehobene Strandterrassen“, meist von mangelhafter Ausbildung, sind an den Küsten von Norwegen, Grönland, Spitzbergen, an der Westküste von Patagonien und in anderen Gegenden bekannt. Sie finden sich besonders an solchen Fjordküsten, welche aus sehr hartem Gestein bestehen, zuweilen vereinzelt, öfters in mehrfacher Wiederholung übereinander. Ihr Fehlen kann nicht als Beweis dafür, daß sie früher nicht vorhanden gewesen seien, angenommen werden, da sie in weichem Gestein überall, und auch in härterem bei feuchtem, heißem Klima leicht zerstört worden sein können. Untersuchungen über das Maß dieser Zerstörung unter einer gewissen Summe äußerer Bedingungen dürften von Interesse sein.

Verschieden von der beschriebenen muß die äußere Gestaltung dort sein, wo der Rückzug des Meeres allmählich und sehr langsam, aber gleichmäßig geschehen ist. An solchen Stellen muß

die dem ursprünglichen höchsten Stand entsprechende Terrasse ebenso allmählich tiefer herab gelegt werden. Das Resultat würde demjenigen entsprechen, welches man an dem emporgetauchten Teil desselben Abfalles durch Abnehmen einer je nach Neigungswinkel und Gesteins-härte an Mächtigkeit wechselnden Oberflächenschale erhalten würde; eine wesentliche Änderung in demjenigen Teil des Abfalls, welcher von Anfang an über das Meer hervorragte, würde in Folge dieser Vorgänge nicht verursacht werden.

Noch unbedeutender sind die Änderungen, welche die dem Rückzug des Meeres folgende Arbeit der Brandungswelle an einer Flachküste auszuüben vermag.

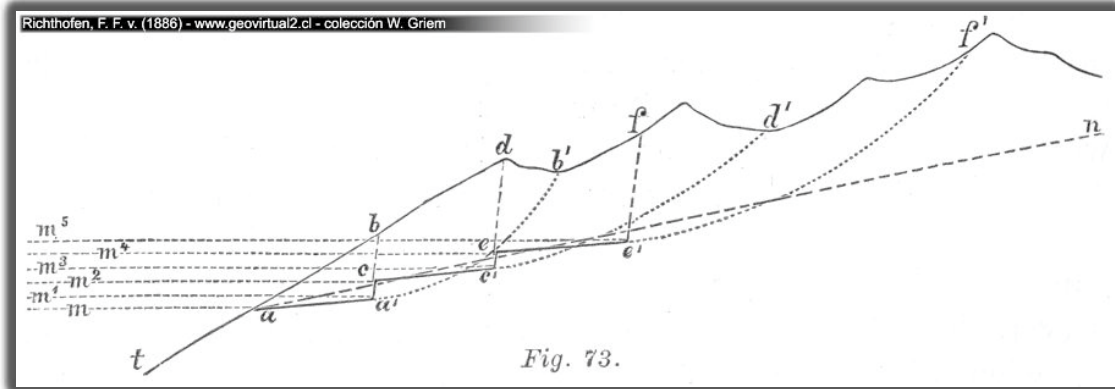
F. Bildung von Abrasionsflächen in Folge der Brandungswirkung bei positiver Strandlinienverschiebung.

[§161] Wenn auf S. 336 die hohe Bedeutung der Brandungswelle in der Umgestaltung der Erdoberfläche hervorgehoben wurde, so kann dieselbe doch in ihrer ganzen Tragweite erst erkannt werden, wenn man sie unter dem Gesichtspunkt der Verschiebung der Angriffslinien gegen das Innere der Festländer hin betrachtet. In Folge derselben hat dieses Agens wahrscheinlich in vergangenen Zeitaltern der Erdgeschichte gewaltigere Änderungen hervorgebracht, als irgend eine andere, von außen auf den Planeten wirkende Kraft. [*1] Beobachtungen über seine Wirksamkeit in der Gegenwart liegen wegen besonderer damit verbundener Schwierigkeiten sehr spärlich vor. Um so mehr ist die Aufmerksamkeit Derjenigen, welchen sich Gelegenheit dazu bietet, auf diesen Gegenstand zu richten. Fortgesetzte Untersuchung an einem Ort wird, wenn der Gesichtspunkt klar erfaßt ist eben so gut zu brauchbaren Resultaten führen, als das vergleichende Zusammentragen von Beobachtungen an verschiedenen Stellen.

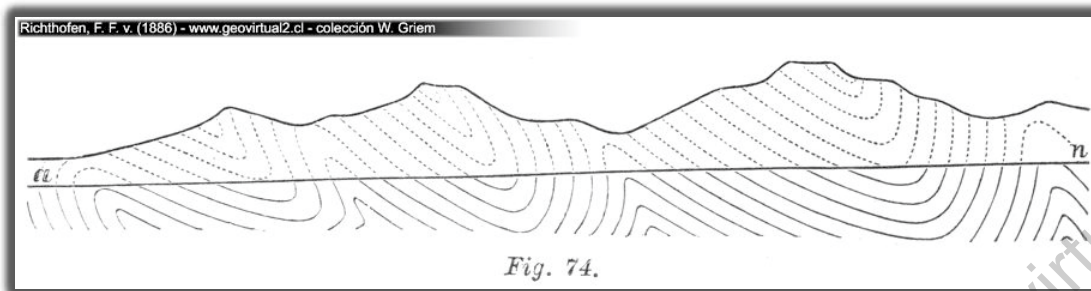
[*1]: Es sind vielfach Ansichten über die Frage ausgewechselt worden, ob in der Gegenwart eine größere Abtragung der Festlandsmassen durch die äußeren Agentien (Verwitterung. Lösung, Wirkung fließender Gewässer) oder durch das Meer geschieht, und es sind zu Gunsten der ersteren gewichtige Argumente geltend gemacht worden. Insoweit dieselben auf Berechnung fortgeführter Quantitäten beruhen, gestatten sie keinen Vergleich, da selbst der roheste Versuch einer quantitativen Schätzung der Zerstörung durch das Meer noch nicht gemacht werden konnte. Aber auch wenn die subaerische Abtragung jetzt wirklich grösser sein sollte, kann diese Schlußfolgerung keineswegs auf vergangene Zeiten übertragen werden. Denn die Jetztzeit zeichnet sich durch relativen Stillstand in den Strandverschiebungen aus, welche die erste Bedingung für die volle Wirksamkeit der Kräfte des bewegten Meeres sind. Die Größe des Phänomens ergibt sich erst aus der geologischen Betrachtung der Abrasionsflächen und der Gebilde transgredirender Ablagerung.

Wenn bei stationärer Lage einer Gebirgsküste die Brandungswelle das äußerste erreichbare Arbeitsmaß vollzogen hat, wenn also der Brandungsstrand eine solche Breite erlangt hat, daß die höchsten Wellen eine zerstörende Kraft nicht mehr ausüben können, so wird die Zerstörungsarbeit sofort wieder beginnen, wenn durch Sinken des Landes oder Ansteigen des Meeresspiegels die Küste landeinwärts verlegt wird. Der Vorgang ist derselbe wie der zuvor (§§ 153, 154) beschriebene. Geschieht die Verschiebung der Strandlinie so langsam, daß in jeder einzelnen Höhe die Brandungswelle das größtmögliche Maße ihrer Arbeit getan hat ehe ein weiteres Vorrücken

stattfindet, so wird sich eine schwachgeneigte ebenmäßige Fläche bilden, deren oberer, bei Ebbe frei gelegter Rand den Strand bildet und daher allein sichtbar ist, während der gesamte übrige Teil unter dem Meer gelegen ist. Nehmen wir an, die Figur 73 dargestellte Küste bestehe aus homogenem Gestein, dessen Oberfläche unter gleichbleibendem Neigungswinkel von einer Gebirgshöhe nach der Meerestiefe hinabziehe, und es seien an derselben während einer langen Periode die Art und die Intensität der dynamischen Agentien des Meeres unverändert, während die Meeresfläche langsam ansteige. Stellt t den Abfall des Gebirges gegen die Meerestiefe dar,



so wird die erste Wirkung der Brandung zwischen den Gezeiten-Niveaus m und m^1 in der Bildung einer Terrasse $a a^1$ bestehen, wobei die Gesteinsmasse $a a^1 b$ durch Nachstürzen entfernt wird. Steigt nun das Meer um einen Betrag an, welcher die Tidenhöhen nach m^2 und m^3 verlegt, und bleibt es in dieser hinreichende Zeit bestehen, so wird die Terrasse $c c^1$ herausgearbeitet werden, während das Stück $b c c^1 d$ allmählich hinabstürzt, zertrümmert und zerstört wird. Ebenso wird in einer dritten Periode $e e^1$ abgeschliffen werden und $d e e^1 f$ herabstürzen u. s. f. Nimmt man die Zeitintervalle unendlich klein, d. h. das Hinabsinken des Landes in das Meer kontinuierlich an, so wird die Schliefffläche $a n$ entstehen und der ganze Berg $a d f f^1 n$ abgetragen worden sein. In ähnlicher Weise kann ein großes Faltungsgebirge über einer gewissen hindurchgelegten Fläche verschwinden, und diese nun den Meeresgrund bilden, wie in Figur 74 im Querschnitt dargestellt ist, wo die punktierten Linien den durch die Brandungswirkung abgetragenen Teil, und die Linie $a n$ die Abrasionsfläche andeutet. In dieser Weise kann die einfache Strandterrasse durch Fortrücken des gleichen Vorganges eine Ausdehnung von tausenden von Quadratkilometern erreichen. Selbstverständlich wird der Stirnwall nur stellenweis und in verhältnismäßig geringer Höhe so steile Formen bilden, wie in den Linien $a^1 b$, $c^1 d$, $e^1 f$ (Figur 73) dargestellt sind, indem die Erosion durch fließendes Wasser die Tendenz hat, sanftere Neigungen, wie $a^1 b^1 c^1 d^1 e^1 f^1$ zu schaffen, und dies je nach den obwaltenden Umständen mit größerer oder geringerer Vollkommenheit erreicht.



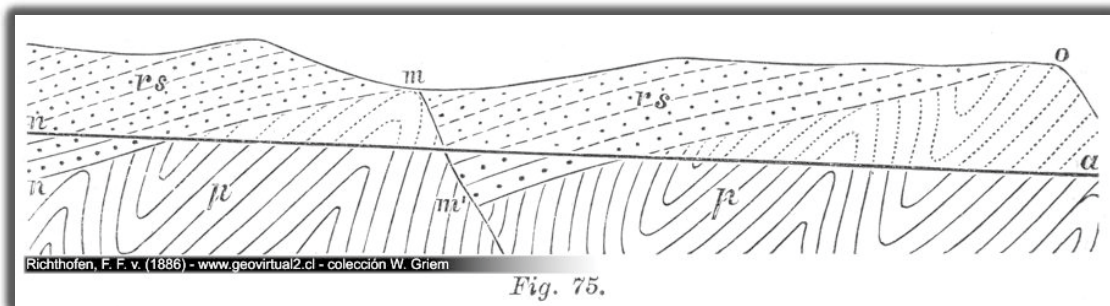
Die Gestalt der Abrasionsfläche kann vielfache Abweichungen von der Regelmäßigkeit erfahren. Geschieht bei homogenem Gestein und gleichmäßigem ursprünglichem Abfall das Vorrücken des Meeres so schnell, daß die Brandung in keinem Niveau ihr Werk vollenden kann, so wird die

ansteigende Fläche steiler sein und einen schief aufsteigenden Schnitt durch die anfangs vorhanden gewesene Felsmasse darstellen. Wechselt das Maße des Vorrückens in einzelnen Zeiträumen, so werden, bei Voraussetzung von homogenem Gestein, sanftgeneigte und steilere Teile der neu gebildeten Fläche in Zonen mit einander abwechseln.

Diese Fläche, welche einzig und allein bei positiver Verschiebung der Strandlinie gebildet werden kann, bezeichnen wir als Abrasionsfläche, den Vorgang selbst als Abrasion.

Die Abrasionsfläche kann eine Breite von vielen Kilometern erreichen; der Fall ist denkbar und aus den früheren Zeitaltern der Erde nachweisbar, daß sie zu hunderten von Kilometern, selbst, wenn auch in Absätzen und in streckenweis vielfach modifizierter Gestalt, zu tausenden derselben anwächst.

Die gewaltige Wirkung der Abrasion beruht auf dem Umstand, daß sie alle Formgebilde welche über dem Brandungsniveau aufragen, zu vernichten strebt, und daß sie dieses Ziel in außerordentlich vollkommener Weise zu erreichen vermag. Ob die vorrückende Brandungswelle eine nur wenige Meter aufragende Festlandsstelle angreife, oder ein mehrere Kilometer hohes Gebirge erfasse — im einen wie im anderen Fall wird, falls die Zeit zur Ausbildung der Brandungsterasse und zur Forträumung des Schuttes ausreicht, die gleiche, sanft aufsteigende Fläche geschaffen. Das ganze Gebirge kann bis zu dem Niveau dieser Fläche vollkommen abgetragen werden und als solches verschwinden. Und wenn hinter dem ersten Gebirge ein zweites und ein drittes aufsteigt, so kann an der Stelle von ihnen allen eine einfache Fläche mit geringer Abdachung geschaffen werden. Folgt auf eine dem Strand parallele Zone harter Gesteine eine solche von mürberen, leicht zerstörbaren Sandsteinen, so vermag die vorschreitende Brandungswelle in diesen nicht tiefer hinab zu arbeiten, als in jenen; und wenn dahinter wieder festes Gestein folgt, so kann durch dasselbe die Fläche ebenmäßig fortsetzen. Das allgemeine und ununterbrochene Ansteigen der Abrasionsfläche ist also unabhängig von einem Härtewechsel des Gesteins, welcher in einer der Strandlinie parallelen Richtung stattfindet. Es werden in so angeordnetem weichem Gestein keine Vertiefungen geschaffen.



Dieses Verhältnis ist in Figur 75 dargestellt, wo a n die Projektion der Abrasionsfläche auf der vertikalen Durchschnittsebene ist. Mit p p ist gefaltetes paläozoisches Gebirge, mit r s aufgelagerter roter Sandstein, mit m m' eine Absenkungsverwerfung bezeichnet. Es ist klar, daß die Linien nm und m' o eine alte Abrasionsfläche anzeigen, auf welcher die Sandsteine transgredierend lagern, und daß durch eine spätere Gebirgsstörung die Sandsteine bei m' in eine tiefe Lage gekommen sind. Wenn nun die neue Abrasionsfläche von a bis rs vorgedrungen ist, so kann sie zwar in dem Material, welches sie hier trifft, leichter und schneller arbeiten als zuvor; aber sie kann sich nicht nach der Tiefe in dasselbe eingraben, sondern setzt ihren Gang, wenn der Brandungswelle bei jedem Meeresstand hinreichend Zeit gelassen ist, gleichmäßig fort bis nach n.

[§162] Modifikationen des Abrasionsschemas. — Selten haben Abrasionsflächen auf größere Erstreckung eine gleichmäßige Gestalt. Denn weder ist der Brandungswelle in jedem Niveau gestattet das volle Maße ihrer Arbeit auszuführen, indem das Ansteigen des Meeres nicht gleichförmig, sondern bald schneller, bald langsamer erfolgt, auch häufig durch die gegenteilige Bewegung unterbrochen wird; noch ist der Effekt des ihr im Einzelfall gestatteten Maßes der Einwirkung auf alle Gesteine gleich. Wenn diese der Küste entlang mehrfach wechseln, so kann, wie es' bereits für den Fall unveränderten Meeresstandes dargestellt wurde, in weichem Gestein der volle Brandungsstrand hergestellt sein, während in dem harten erst ein geringer Effekt erzielt ist. Diese Verschiedenheit steigert sich bei Erhöhung des Meeresstandes; denn die Brandung wird nun ihre Arbeit in den festen Massen an einer nur wenig gegen die frühere landeinwärts gelegenen Stelle ansetzen, in dem weichen Gestein hingegen viel weiter gegen das Binnenland hin tätig sein. Schließen zwei feste Gesteinsmassen, z. B. von Gneis, Granit oder Quarzit, eine solche von mürbem Sandstein ein, so werden die ersteren auch zur Ebbezeit die seitlichen Vorsprünge einer durch das mürbere Gestein bezeichneten Bucht bilden. Es werden also die festen Gesteinsmassen aus ihren weichen Hüllen gewissermaßen herauspräpariert. Dies wird in um so vollkommenerem Maße stattfinden, je schneller die Strandlinie vorschreitet. Geschieht dies außerordentlich langsam, so kann es mit dem Abräumen der festen Gesteine vollständig Schritt halten. Es sollte untersucht werden, welche Gestalt die durch Abrasion allein geschaffenen Buchten annehmen, und ob die oben (§ 141) dargestellte Ansicht richtig ist, daß nur die konkaven Einbuchtungen zwischen Felsvorsprüngen ausschließlich auf dieses Agens zurückzuführen sind, die tief mit spitzem Winkel und Krümmungen eingreifenden Buchten aber versenkte Täler sind.

Einzelne feste Massen können vollkommen isoliert werden. Sie werden in Inseln und Felsriffen aufragen. Werden die Kuppen der letzteren auch noch weggenommen, so bleibt ein allseitig glatt benagtes, in der Regel oben abgerundetes Gebilde übrig. Kommt dasselbe durch spätere Wechsel zwischen Land und Meer trocken zu liegen, um demselben Vorgang noch einmal oder mehrere Male zu unterliegen, so wird es zu einer mehr und mehr flachen Wölbung mit glatter Oberfläche abgeschliffen werden.

Der Härtewechsel der Gesteine erhält für die Endgestaltung, in viel höherem Grade als in dem früher (§ 153) angenommenen Fall, besonders dort Bedeutung, wo die Küste quer zum Gebirgs- und Schichtenstreichen gerichtet ist, wie an den Westküsten von Großbritannien, oder an denen der Bretagne und des südöstlichen China; also an den Riasküsten. Hier wird ein ungemein großer Buchtenreichtum geschaffen.

Für die Mehrzahl der Küsten-mit positiver Strandverschiebung kommen die Modifikationen, welche durch den Härteunterschied der neben einander gleichzeitig bearbeiteten Gesteine verursacht werden, wenig zur Geltung. Die morphographische Betrachtung zeigte, daß der Parallelismus von Küsten mit der Richtung von Faltungsgebirgen und dem Schichtenstreichen eine häufige Erscheinung ist; und wenn man die großen Flachlandgebiete der Erde sich wieder, wie sie es ehemals waren, mit Meer bedeckt denkt, so springt die überwiegende Häufigkeit des ange deuteten Verhältnisses noch deutlicher in die Augen. Eine Brandungsküste, welche gegen ein Faltungsgebirge vorrückt, wird also demselben in der Regel in jedem Stadium ungefähr parallel bleiben und, da sie bei fortschreitender Zer-störung den inneren Kern des Gebirges angreift, an allen Punkten gleichzeitig nahezu gleiche Gesteine bearbeiten. Buchten werden hier wesentlich nur insoweit geschaffen werden, als das Gebirge Unregelmäßigkeiten im Bau hat, oder von festen Eruptivgesteinen durchsetzt ist. Dagegen werden manche Abweichungen von einem gleichmäßigen Ansteigen der Abrasionsfläche einerseits durch die langsamere oder schnellere

Niveaushiftung, andererseits durch den zonalen Gesteinswechsel hervorgebracht werden. Es können flache wellige Stufen entstehen. Insbesondere wird die Brandungswelle an der Abflachung und Glättung des kristallinen Kernes eines Faltungsgebirges schwere Arbeit auszuführen haben. Dies läßt sich in der Tat an den zahlreichen Rumpfgebirgen (Cap. XVI) beobachten. Hochgewölbt ragen sie meist über die tieferen Umgebungen hinaus, in welchen die Abrasionsfläche die gefalteten Schichten leichter zerstörbarer Sedimentgesteine abschneidet.

[§163] Transgredierende Ablagerung der Zerstörungsprodukte. — Da Abrasionsflächen die Gebirgsgerüste der Kontinente durchschneiden, so zeichnet sich auf ihnen deren innere Struktur; schieb oder senkrecht einfallende Schichten und Eruptivgesteine sind in derselben Fläche abgehobelt. Damit ist die Basis für die Ablagerung horizontaler, daher im Verhältnis zum Grundbau transgredierender oder übergreifender Schichten geschaffen. Das Material zu denselben geben die Trümmernmassen der zerstörten Gebirge selbst. Daher findet man auf Abrasionsflächen unmittelbar auflagernd meist klastische Gesteine, d. h. solche, welche aus der Zertrümmerung anderer hervorgegangen sind. Des Herabstürzens der Felswände auf den Brandungsstrand wurde bereits gedacht, ebenso der Zertrümmerung, welcher die Blöcke unterliegen, und des Bestrebens der Brandung, sie nach dem höchsten von ihr erreichbaren Niveau zu schaffen (§ 154). Sie vermag dies nur durch die Zerkleinerung der Blöcke zu erreichen. Bei dem weiteren Ansteigen herrscht die Tendenz, die gröberen Reste früherer Abstürze, soweit sie nicht schon in kleinere Trümmer und Sand eingehüllt sind, zusammen mit dem neu herabgestürzten Material, noch höher hinauf zu befördern. Bestehen die Blöcke aus festem Gestein, so behalten sie leicht eine bedeutende Größe und werden bei dem Herabsinken des Landes von klastischen Massen eingeschlossen. Deshalb liegen oft Trümmernmassen mit zahlreichen großen Blöcken den Abrasionsflächen unmittelbar auf. Da sie manchmal aus der Zerstörung von Gebirgen stammen, die mehrere tausend Fuß hoch aufragten, so können sie einen der Unterlage gar nicht entsprechenden petrographischen Charakter haben. Solche von Granit, Diorit und anderen harten Gesteinen finden sich bis zur Größe von einigen Metern Durchmesser an Stellen, wo diese Gesteine nicht anstehen. Wenn das Meer über diesen untersten Sedimenten allmählich tiefer wird, bedeckt es dieselben mit den feinkörnigen und schließlich sandigen Produkten, welche aus dem Zerstörungswerk der nun in größerer Ferne wirkenden Brandung hervorgegangen sind.

[§164] Fortführung der Zerstörungsprodukte. — Es gibt Abrasionsflächen, welche von transgredierenden Schichtmassen nicht überdeckt sind, sondern ihr Gestein zu Tage treten lassen, obgleich die Tektonik des letzteren den Beweis von der Abtragung bedeutender Gebirgsmassen gibt, welche einst darüber aufragten. Wir werden sie als Abrasionsplateau's kennen lernen (Cap. XVI). Die Frage, was mit dem abgetragenen Material geworden sei, drängt sich unmittelbar auf, ist aber im einzelnen Fall nur hypothetisch zu beantworten.

[§165] Beobachtungen. — Das Abrasionsphänomen in allgemeiner Fassung entzieht sich der direkten Beobachtung; denn das Meer verhüllt bei positiver Strandlinienverschiebung den Schauplatz seiner vormaligen Wirksamkeit durch die Brandungswelle und bietet nur den dermaligen der Untersuchung dar. Überdies ist in den meisten Fällen der sichtbare Teil der abradierten Fläche bis über das Ebbeniveau hinaus, und zuweilen bis zum Flutniveau, mit Sand bedeckt. Sie gewährt den Anblick eines flachen Sandstrandes, an dessen oberem Rand Felszerstörung stattfindet. Die letztere ist zwar, wie erwähnt, besonders an den britischen Küsten, Gegenstand der Forschung gewesen; aber diese geschah lediglich von dem Gesichtspunkt des Fortwirkens im gleichen Meeressniveau. Das Moment der in Folge des steigenden Meeresspiegels gegen das Land in stetig höheres Niveau vordringenden Brandungswirkung ist für die Untersuchung des Vorganges noch kaum in Betracht gezogen worden. Erst die orographische und geologische

Beobachtung hat die Aufmerksamkeit darauf gelenkt, da sie über dem Meer gelegene Flächen, zeigt, welche nur durch den beschriebenen Vorgang gebildet worden sein können. [*1]

[*1]: Der Schluß, daß weite Flächen, welche gefaltetes Gebirge gleichmäßig abschneiden, durch Brandungswirkung bei langsamer Senkung des Landes gebildet sein müssen, wurde zum ersten Mal von Ramsay im Jahre 1847 gezogen, als Derselbe die alte Oberfläche der Gebirge von Wales wiederherzustellen suchte und in ihr eine derartige gleichmäßige Fläche fand. Er nannte die Erscheinung plains of marine denudation. Doch verband er bei späteren Wiederholungen der Theorie (zuletzt in *Pliysical geology of Great Britain*, 5th. ed. London 1878 p. 496—499) niemals damit die wichtige Erscheinung der Transgression, durch welche der Vorgang erst seine volle und hohe Bedeutung in der Geschichte der Erde erhält. Es ist auffallend, daß die Erkennung eines so wichtigen Vorganges keine Folge gehabt hat. Obwohl Jukes in Irland eine analoge Erscheinung, wie die von Ramsay in Wales beobachtete, fand, ist doch sonst Neues kaum hinzugefügt worden. Die englischen Lehrbücher haben die Erscheinung entweder gar nicht erwähnt, oder nur die Theorie von Ramsay, oft unvollständig, wiederholt; diejenigen von Dana und de Lapparent haben sie unter ungenügenden Gesichtspunkten dargestellt, die deutschen sie erst seit Kurzem aufgenommen. Es scheint daher, daß der amerikanische Geologe Archibald R. Marvine (in *Hayden's Report für 1873*, p. 144) ganz selbständig auf die Darstellung desselben Bildungsvorganges für den Grundbau des Felsengebirges, als der Unterlage transgredierender Sedimente kam; allerdings nahm er, was nicht nötig erscheint, an, daß erst das alte Gebirge durch subaerisch wirkende Agentien bis zum Meeresniveau abgetragen wurde, ehe es vom Ocean völlig abgeschliffen wurde, und er brachte die Entstehung der transgredierenden Sedimente nicht in ursächliche Beziehung zu diesem Vorgang. — Ebenfalls unabhängig, und in Unkenntnis beider Vorgänger, hatte der Verfasser im Jahr 1870 aus einer Reihe beobachteter Tatsachen dieselbe Folgerung für die Erklärung einerseits unbedeckter, denen von Wales ähnlicher Formgebilde im nordöstlichen China, andererseits der wiederholten außerordentlich weitreichenden Transgressionen, welche dort in paläozoischen Zeiten (in der in Figur 75 veranschaulichten Weise) stattgefunden haben, gezogen. Er wünscht die Aufmerksamkeit jüngerer Forschungsreisender ganz besonders auf den wichtigen Gegenstand, welcher weite Gesichtspunkte eröffnet, zu lenken. Die Küstenforschung ist die notwendige Grundlage dafür.

Auch weiterhin muß die geologische Beobachtung der großen Vorgänge der Vergangenheit den Anhalt dafür geben, was an den Küsten der Gegenwart zu untersuchen ist. Man ist zu der Annahme berechtigt, daß (mit seltenen Ausnahmen) überall, wo ein sanft ansteigender Meeresboden bis zu dem bei Fluthöhe von der Brandungswelle erreichten Fuß eines klippigen Abfalls hinaufzieht, eine in der Fortbildung begriffene Abrasionsfläche vorliegt. Zur Untersuchung eignen sich besonders die felsigen, von Sedimentbedeckung freien Strandflächen. Man wird bei ihnen die kleinen Modifikationen der Angreifbarkeit des Gesteins feststellen können. Unter sonst gleichen Umständen (d. h. bei gleichem Wogenandrang und gleichem Maße vertikaler Niveauverschiebung) muß in solchen Fällen die Brandung eine intensivere sein als bei Sedimentbedeckung, weil die Neigung eine stärkere ist, und die heranrollenden Wogen einen geringeren Kraftverlust durch Reibung erleiden. Es ist auch den Ursachen der Kahlheit des Strandes nachzuspüren; sie werden ausnahmslos in Strömungen beruhen, welche die Sedimente fortführen.

Wo eine felsige Strandfläche an einen hohen Steilabfall grenzt, und von diesem große Blöcke herabstürzen, welche von der Brandung geschoben werden, sollte man untersuchen, ob dadurch in dem Felsboden Furchen gegraben werden. Es sind solche auf sehr alten Abrasionsflächen, welche von Trümmer-Konglomeraten bedeckt werden, gefunden worden. Man hat, wie in § 105 erwähnt wurde, geglaubt, darin die Spuren ehemaliger Eiszeiten zu entdecken, und die Trümmermassen als Moränenschutt erklärt. Es sollte mit großer Genauigkeit untersucht

werden, ob dieser weittragende Schluß berechtigt ist, und ob man es nicht vielmehr mit ganz einfachen Abrasionserscheinungen zu tun hat.

Von Interesse wäre es, im einzelnen Fall zu untersuchen, ob das der Küste zunächst gelegene Land in früherer Zeit eine oder mehrere Abrasionen erfahren hat. Die Abrasionsflächen der Vorzeit deuten häufig auf eine mehrfache Wiederholung des Vorganges hin. Wie verhält sich, wo dies zutrifft, das Neuansetzen der Kraft zu der Wegräumung der aus der früheren Abrasionsperiode stammenden transgredierenden Sedimente? erfolgt eine Umlagerung derselben, oder bleibt die neue Abrasionsfläche vollständig frei? Welches ist die Wirkung auf unbedecktes festes Gestein? insbesondere auf die früher in rundlichen Formen herausgearbeiteten Anschwellungen? ist die Arbeit geeignet, durch öftere Wiederholung des Vorganges diese harten Massen so vollständig glatt abzuhebeln, wie es bei der großen südrussischen Abrasionsfläche von Gneis und Granit zur Erscheinung kommt?

[§166] Einflüsse, welche der Abrasion entgegenwirken. — Wo vor einer Küste ein Damm liegt, welcher die Wellen auffängt, kann eine Brandung nicht stattfinden. Nimmt bei dem Ansteigen des Meeres der Damm an Höhe zu, so wird jenseits desselben das Meeresniveau an der Küste emporsteigen, ohne bestimmte Marken seiner vormaligen Existenz eingegraben zu haben.

Diesen Küstenschutz gewähren in erster Linie die Strandriffe (§ 181, 186). Küstenwälle (§ 155) bieten ihn für einige Zeit. Bei dem Vordringen des Meeres können sie in demselben Verhältnis, als dieses an Tiefe zunimmt, an Höhe wachsen; aber da ihre Lage von mehreren Umständen, darunter von der Gestalt der Küste, abhängt, und diese bei jedem Meeresstand eine andere ist, so sind sie veränderliche Gebilde. Sie werden hier und dort zeitweise Schutz vor der Brandungswelle gewähren, zu anderen Zeiten aber die Küste der Zerstörung durch dieselbe aussetzen. Da diejenigen Abrasionsküsten, welche zur Buchtenbildung geneigt sind, am meisten Gelegenheit zum Entstehen von Strandwällen geben, so tritt zu dem einen, die wechselvolle Ausgestaltung bedingenden Moment ein zweites, welches ebenfalls in dem Sinn mannigfacher Formengebung wirkt. Die Abrasion begegnet also an Querküsten mancherlei Hindernissen und wird im Allgemeinen unvollkommener bleiben als an Längsküsten. Beobachtungen hierüber sollten sich an solchen Stellen ausführen lassen, wo die Querenden von Gebirgszügen in ehemaligen Meeresboden hineinragen, wie es am Ostrand der aralo-kaspischen Niederung vielfach der Fall ist. An analogen Küsten der Jetztzeit beschränkt sich die Beobachtung auf eine Phase und bleibt unvollständig.

Erwünscht sind Beobachtungen über die Bolle, welche das Eis bei der Brandung spielt. Eine ausgedehnte Decke von Packeis oder Meereis (§ 99, 113) sollte ihre Arbeit lahm legen. Sie hebt und senkt sich zwar mit Ebbe und Flut und bewirkt eine Reibung an den Küsten; aber die Kraft der Wellen wird durch die feste Decke, welche sie zu heben haben, beinahe neutralisiert werden. Schwimmendes Eis wird die Wirkung der heranrollenden Welle abschwächen. Dagegen dürfte ein nicht unbedeutender Arbeitsbetrag durch gestrandete Eisberge ausgeführt werden, wenn sie sich mit den Wellen heben und senken. Doch geschieht diese Arbeit untermeerisch. Die Brandung kann auch durch Eisberge nur abgeschwächt werden. Es ist indessen zu bemerken, daß einige Forscher, entgegen der hier vertretenen Ansicht, in dem Eis einen Genossen des bewegten Meeres erblickt haben, welcher dem letzteren nicht nur in der Küstenzerstörung behilflich sei, sondern in manchen Fällen (z. B. bei der Bildung der norwegischen Strandterrassen) den Hauptbetrag der Arbeit verrichtet habe. Diese Frage sollte durch Beobachtungen in hohen Breiten klar gelegt werden.

G. Kennzeichen der Strandverschiebung. (Hebung und Senkung.)

[§167] Es ist bekannt, und wurde auch bei den letzten Erörterungen schon vorausgesetzt, daß an vielen Küsten das Meer gegen das Land vordringt, an anderen sich von ihm zurückzieht. Diese Änderungen können dadurch veranlaßt werden, daß an der Küste Ansatz durch Ablagerung, oder Verlust durch Zerstörung hervorgebracht wird, oder dadurch, daß das Niveauverhältnis zwischen Land und Meer sich ändert. Die Erforschung des Problems, welche Ursache in letzterem Fall zu Grunde liege, ob die Änderung in einer Bewegung des Weltmeeres, oder in einer vertikalen Verschiebung des Festlandes beruhe, und welche tellurische oder kosmische Vorgänge zu der einen oder der anderen Bewegung Anlaß geben, ist nicht unmittelbar Aufgabe des Reisenden. Dieselbe besteht darin, Tatsachen zu sammeln, deren vergleichende Betrachtung zur Lösung jener Fragen beitragen kann.

Die Ursache der Erscheinung wurde zuerst in Änderungen des Meeresstandes gesucht. Dann wurde für ein halbes Jahrhundert diese Erklärung fast vollständig zurückgedrängt. Hebung und Senkung des Bodens wurden beinahe ausschließlich als die eigentlichen Motoren angenommen. Das Problem trat durch die Forschungen über die durch Attraktion der Festlandsmassen beeinflusste Gestalt des Meeresspiegels vor Kurzem in eine neue Phase. Es scheint, daß die Vorgänge komplex sind, und daß es eine Reihe von Ursachen für die Niveauschwankungen gibt, unter denen die folgenden sich erkennen lassen:

1. Jede Änderung in der Verteilung der Festlandsmassen in der Nähe der Küsten übt durch das veränderte Moment der Attraktion einen unmittelbaren Einfluß auf den Stand des Meeresspiegels aus. Wenn aus dem Inneren eines Kontinentes kommende Ströme Sedimentmassen auf seichtem Meeresboden an der Küste ablagern, oder wenn Meeresströmungen solche nach einer Stelle der Küste hintragen (§ 158), so wird dort die Anziehung vermehrt; das Meeresniveau steigt, die Küste rückt landeinwärts und scheint zu sinken. — Faltige Gebirgs-Stauung muß in den Epochen, als sie intensiv war, bedeutende positive, Absenkung oder normale Verwerfung hingegen bedeutende negative Strandverschiebung bald über größere Regionen, bald in sehr lokalisierter Weise bewirkt haben; diese Ursache kommt jetzt in nicht bemerkbarem Grad zur Geltung. — Die Aufhäufung vulkanischer Ausbruchsmassen muß die Attraktion in unmittelbarer Nachbarschaft vermehren; den gleichen Effekt, wiewohl sehr langsam, wird das Emporwachsen von Korallenriffen ausüben. — Gewaltige Wirkung übt eine auf ein Küstenland aufgesetzte mächtige Eiskappe, indem sie das Meer heraufzieht: ihr Abschmelzen hat das Zurückweichen des letzteren zur Folge. Es sind durch diesen Vorgang in erfolgreicher Weise die zahlreichen Strandterrassen der polaren Gegenden erklärt worden (durch Penck). — Das Abrasionsphänomen (§ 161) muß mit erheblichen Versetzungen des Meeresstandes verbunden sein. Werden mächtige Gebirge abgetragen, so wird ihre Ablagerung in Gestalt transgredierender Trümmernmassen vielleicht örtlich erhöhend auf die Attraktion wirken; werden sie fortgetragen, so muß die Attraktion vermindert werden. Dies ist in früheren Perioden der Erdgeschichte von hervorragender Wichtigkeit gewesen.

2. Die bezeichneten Änderungen, welche teils in geringer Ausdehnung stattfanden, teils, wie die Anziehung des Meeres durch die polaren Eiskappen in der Glazialzeit, große Erdräume erfaßten, mußten mittelbar den Stand des Weltmeeres in seiner Gesamtheit beeinflussen. Eine stärkere Anziehung nach einem der Pole mußte beispielsweise eine Erniedrigung des Meeresspiegels über den Rest der Ozeane mit sich führen.

3. Den letzteren Effekt mußte in noch viel allgemeinerer Weise die Umsetzung eines großen Teiles des Wassers der Weltmeere in Polareis und Inlandeis überhaupt mit sich bringen, während nach der Glazialperiode, gleichzeitig mit der durch Attraktionsverminderung veranlaßten Erniedrigung des Meeresniveau's in den Circumpolaregebieten, die Rückverwandlung großer Eismassen in Wasser ein Steigen des Meeres in den subtropischen und tropischen Zonen hervorbringen mußte.

4. Es scheint, daß in gewissen sehr langen Perioden, in Folge der Veränderlichkeit der Stellung der Erdachse zur Ekliptik, der Präzession der Äquinoktien und anderer mit Variationen in der Erdbahn zusammenhängender kosmischer Ursachen, eine geringe Umsetzung der Gewässer nach dem einen oder dem anderen Pol hin stattgefunden hat. Diesem Faktor ist übermäßige Bedeutung beigelegt worden. Genauere Berechnung des Effektes hat dieselbe auf ein bescheidenes Maße herabgesetzt; doch sind vollkommen sichere Ergebnisse noch nicht erreicht.

5. Ist schon durch das Nebeneinanderwirken der genannten Ursachen das Phänomen sehr komplex, indem jede Änderung in der Küstenlinie einer Gegend nicht nur örtlich das Attraktionsmoment ändert, sondern auf alle anderen Küsten zurückwirkt und hier ebenfalls eine endlose Menge wenn auch oft unendlich kleiner Änderungen veranlaßt, so kommen hierzu die Niveauschwankungen des Landes. Sie entziehen sich der Wahrnehmung, weil dem Effekt entweder eine wirkliche oder eine scheinbare Bewegung des Landes zu Grunde liegen kann; aber daß sie eine bedeutende Rolle spielen, ist mit Sicherheit der geologischen Beobachtung in Kombination mit der jetzigen Fortdauer der gleichen Kraftwirkungen, wenngleich zum Teil in sehr geringem Maße, zu entnehmen. Jede Zusammenfaltung von Gebirgen, jede große Verwerfung, jede Versenkung von Erdräumen zur Seite von Bruchrändern, welche Felsküsten begrenzen, und andere tektonische Vorgänge bieten unwiderlegliche Beweise. Die dynamische Geschichte der Erdrinde setzt sich aus Niveauschwankungen zusammen, welche nur zum Teil auf Rechnung der Änderungen des Meeresspiegels geschrieben werden können. Aber gerade gegen die vor Kurzem am wenigsten bezweifelte Schwankungen, nämlich die langsamen Hebungen und Senkungen großer Erdräume, sind in neuerer Zeit begründete Bedenken erhoben worden. Sollten sie dennoch Bestand haben, so wird es nicht leicht sein, sie in ihr Recht einzusetzen, weil die Erscheinungen so verwickelt geworden sind.

In Anbetracht der nachweisbaren bedeutenden Rolle, welche die Schwankungen des Meeresspiegels in den Änderungen des relativen Standes von Meer und Land spielen, ist es nicht mehr statthaft, die früheren Ausdrücke Hebung und Senkung anzuwenden. Wir bedienen uns der von Eduard Suess eingeführten, eine Erklärung nicht involvierenden Bezeichnungen:

Positive Verschiebung der Strandlinie für das, was man früher als Senkung des Landes, und

Negative Verschiebung der Strandlinie für das, was man als Hebung des Landes bezeichnete.

Es kann hier nur darauf ankommen, dem Küstenbewohner und dem Reisenden Fingerzeige dafür zu geben, welche Anzeichen für die eine und die andere Art der Küstenveränderung sprechen. Auf dem Weg der Kombination lassen sich oft noch manche Argumente gewinnen, welche in jedem einzelnen Fall verschieden sind und dem Scharfsinn des Beobachters überlassen bleiben müssen.

a. Kennzeichen einer negativen Verschiebung der Strandlinie.

[§168] Wenn man Spuren der ehemaligen Anwesenheit des Meeres in einem höher als die jetzigen Küsten gelegenen Niveau findet, so hat man anzunehmen, daß entweder das Meer sich zurückgezogen, oder das Land sich gehoben, oder Beides stattgefunden hat. Es muß indessen sorgfältig zwischen den Anzeichen, daß das Meer überhaupt irgend einmal in höherem Niveau gestanden hat, und den Beweisen für ein Fortsetzen der negativen Verschiebung innerhalb der historischen und der gegenwärtigen Zeit unterschieden werden. Denn im ersteren Fall stellt der vertikale Unterschied zwischen dem ehemaligen und dem jetzigen Meeresstand nur die Resultante aus allen Verschiebungen dar, welche in der Zeit zwischen dem einen und dem anderen stattgefunden haben. Diese Verschiebungen können einen oszillierenden Charakter gehabt haben, d. h. bald negativ, bald positiv gewesen sein; nur wird der Ausschlag in ersterem Sinn erfolgt sein.

Zu den allgemeinen Kennzeichen gehören:

1. Die alten Strandterrassen. Es wurde in § 160 dargestellt, daß ausgebildete Brandungsterrassen Zurückbleiben können, wenn nach einer Periode stationären Standes der Strandlinie eine negative Verschiebung derselben eintritt. Sie finden sich besonders an höher aufragenden Felsküsten. An ihnen zeichnet sich ein alter Strand als eine mehr oder weniger ausgeprägte Stufe, welche in annähernd gleichbleibender Höhe über dem Meer eine sich lang hinziehende Unterbrechung in der Stetigkeit der Küstenabfälle bildet. Leichte Schneebedeckung läßt dieselbe deutlicher hervortreten. Zuweilen sind mehrere Terrassen übereinander angeordnet. Es ist besonderer Wert darauf zu legen, eine und dieselbe Terrasse in ihrem Verlauf zu verfolgen und ihre Höhe über dem Meer in einzelnen Teilen sehr genau zu bestimmen. Sind mehrere Stufen vorhanden, so sollte auf alle dieselbe Sorgfalt verwendet werden. Es ist besonders darauf zu achten, ob die von ihnen dargestellten Niveauflächen sowohl untereinander, als mit der jetzigen Niveaufläche des Meeres parallel sind, und ob die Abweichungen vom Parallelismus in der Längsrichtung der Küste oder gegen das Innere des Landes stattfinden. Diese Messungen sind von erhöhtem Interesse, wo ein Golf oder ein Fjord tief in das Land eingreift, und sollten alsdann vom Ausgang gegen das Innere hin fortgeführt werden. Die Terrassen kennzeichnen sich zuweilen durch Reste der an dem ehemaligen Strand angehäuften Tange oder Muscheln. An Felsen geben manchmal ansitzende Balanen und Löcher von Bohrmuscheln untrügliche Kennzeichen.

Auf sandigem Boden sind Strandterrassen in der Regel nicht ausgebildet; in weichem Gestein haben äußere Agentien häufig ihre Spur vertilgt. Aber die frühere Anwesenheit des Meeres in einer gewissen Höhe macht sich durch Ansammlung von Treibholz, durch Anhäufung von Gesteinsstücken, die von einem ehemaligen Strandwall oder von gestrandeten Eisbergen herrühren können, durch Knochen von Walrossen und andere Merkmale kenntlich.

2. Wo Flüsse an einer Steilküste des Meeres, oder an den Wänden einer tiefen Bucht, oder in tiefen Binnenseen münden, lagern sie Schuttkegel ab (s. § 84). auf deren Höhe sich das fließende Gewässer deltaartig ausbreitet. Zieht das Meer sich zurück, oder erniedrigt sich der Spiegel eines Landsees, so schneidet der Fluß einen Kanal in den alten Schuttkegel und wirft, sobald ein stationärer Zustand eintritt, einen neuen Schuttkegel in tieferer Lage auf. In dieser Weise können mehrere Schuttkegelterrassen auf einander folgen. Sie geben im Inneren von Fjorden eine erwünschte Ergänzung zu den in den äußeren Teilen vorhandenen Brandungsterrassen. Die erwähnten Marken von Balanen und Bohrmuscheln können einen Anhalt für die Verfolgung der

Linie des alten Meeresstandes in den Zwischenräumen gewähren. Diese Art von Terrassen haben noch größere Bedeutung an den Umrandungen ehemaliger Binnenseen und Binnenmeere, besonders wenn dieselben abflußlos waren und eingedampft sind. Die physische Geschichte der großen zentralasiatischen Becken wird sich an ihrer Hand ergründen lassen (s. § 122).

3. Es ist wahrscheinlich, daß ähnliche, aber weit ausgedehntere Stufenbildungen dort hervorgebracht werden können, wo an den Küsten des offenen Ozeans Sedimente durch Meeresströmungen in der in § 158 auseinandergesetzten Weise in großer Breite dem Land angesetzt worden sind und das Meer sich nach einem tieferen Niveau zurückzieht. Solche Sandterrassen und Schlammterrassen sollten gewöhnlich Reste mariner Tiere und Pflanzen enthalten. Doch muß man sich hier hüten, die durch das Setzen der weichen Sedimente (s. S. 188) veranlaßten Stufen damit zu verwechseln.

4. Korallenbänke und Korallenriffe, bei denen nicht nur der bedeckende Trümmersand (s. § 182), sondern Korallenstöcke selbst über das Niveau der höchsten Flut aufragen, waren früher vom Meer bedeckt. Der aus den stattgehabten Bewegungen resultierende Betrag negativer Verschiebung der Strandlinie läßt sich bei ihnen genau feststellen. Sie sollten in tropischen Gegenden, besonders auf Inseln, stets sorgfältig beachtet und nach Höhenverhältnissen gemessen werden. Der Wert der einzelnen Zahl wird bedeutend erhöht, wenn in Nachbargebieten viele ähnliche Messungen ausgeführt werden, indem dadurch ein Vergleichungsergebnis ermöglicht wird.

5. Sichere Kennzeichen bei Flachküsten sind ferner Dünenreihen, welche den Stranddünen mehr oder weniger parallel gerichtet und in einigem Abstand von ihnen binnenwärts gelegen sind. Ferner Austernbänke, Muschelbänke und Ansammlungen von Schalthierresten überhaupt. Doch ist betreffs der Letzteren Vorsicht erforderlich. Sturmfluten versetzen die Muschelreste und Tange der Küste oft weit in ein flaches Land hinein, bis zu beträchtlicher Höhe über dem Meeresspiegel, und das Gleiche wird zweifellos durch Erdbebenfluten in noch höherem Maße bewirkt. Schalthiergehäuse werden auch in vielen Fällen durch Menschenhand landeinwärts transportiert. Man wird den Ursprung leicht erkennen, wo größere Ansammlungen durch die Verwendung zum Kalkbrennen, oder zu Mahlzeiten (wie bei den Kjökkenmöddinger) übrig geblieben sind. Aber es kommt auch (z. B. an den Küsten von China) vor, daß muschelhaltiger Meereschlamm auf die Felder geführt wird. Man ist dann einer Täuschung leicht ausgesetzt.

6. Starker Gehalt an Kochsalz und anderen Meeressalzen in dem der Küste zunächst gelegenen Schwemmland deutet stets darauf, daß dieses in nicht weit zurückliegender Zeit Meeresboden gewesen ist. Analog verhält es sich betreffs der Umrandung salziger Binnenseen.

7. Auch die allgemeinen morphographischen Verhältnisse der Küstenländer können als Argumente für eine negative Verschiebung der Strandlinie herangezogen werden. Wo immer klippige Felsabstürze, welche den Charakter von Steilküsten haben, durch einen flachen Streif sandigen oder felsigen Vorlandes von der äußersten Grenzlinie der Brandungswirkung getrennt werden, hat man anzunehmen, daß ehemals die vordringende Brandungswelle vermittelt der Abrasion die Fläche geschaffen und sie mit Sedimenten bedeckt hat (§ 161), und daß dann ein Rückzug des Meeres erfolgt ist.

8. Die bisher genannten Kennzeichen sind allgemeiner Art. Es kommt nun noch darauf an, zu untersuchen, ob die negative Strandlinienverschiebung in historischer Zeit, oder überhaupt seit dem Dasein des Menschen in der betreffenden Gegend, stattgefunden hat, und ob sie sich gegenwärtig vollzieht. Ersteres wird sich erweisen lassen, wo man neben den sonstigen Kennzeichen eines binnenländisch gelegenen alten Strandes Schiffstrümmer und andere Werke menschlicher Hand ausgeworfen findet, oder wo in einer den gegenwärtigen praktischen

Gebrauch ausschließenden Höhe über dem Meeresspiegel Haken und Ringe zum Befestigen von Schiffen angebracht sind, oder (wie im westlichen Kreta) Hafengebäuden sich befinden.

9. Ob die negative Verschiebung noch fort dauert, wird man zunächst durch Erkunden bei den Bewohnern zu erfahren suchen. Wo sie stattfindet, wissen Dieselben von der Trockenlegung ehemaliger Ankerplätze, von dem Bestehen von Feldern und Wiesen an Stelle ehemaliger Fischereiplätze, von dem Landfestwerden von Felsriffen u. s. f. zu erzählen. Leuchttürme rücken landeinwärts, und ehemalige Hafenstädte werden durch Flächen von Sand und Schlamm vom Meer getrennt. Noch größere Sicherheit erhält man, wo man alte Aufzeichnungen und Chroniken zu Rate ziehen kann. Doch muß man sich in allen diesen Fällen vor vorschnellen Folgerungen hüten und genau untersuchen, ob die Ursache des Landzuwachses wirklich in einer Änderung des Vertikalverhältnisses von Land und Meer, und nicht vielmehr in der Anschwemmung fester Stoffe durch die vereinigte Tätigkeit von Flüssen und Meer liegt, wie in dem Fall der Friaulisch-Venezianischen Küste des adriatischen Meeres und (nach Beyer's Forschungen) mehrerer Stellen an den Maremmaküsten von Toskana.

10. Die Gestalt der Küstenlinie und der Flußmündungen wird ebenfalls Aufschluß über die Art der gegenwärtigen Bewegung zu geben vermögen. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß überall, wo Meeresboden und Festland aus beweglichem Material bestehen, die an dem ersteren wirkenden Agentien auf ebenflächige Ausbreitung, die auf dem Festland tätigen auf Differenzierung der Bodengestalt hinwirken, so ist es klar, daß die Küstenlinie des sich zurückziehenden Meeres einfache, diejenige des vordringenden Meeres komplexe Formen anzunehmen bestrebt sein wird. Eine im Kleinen ausgebuchtete Flachküste wird daher in der Regel auf gegenwärtige Fortdauer positiver, eine einfach gestaltete auf das Fortschreiten negativer Strandverschiebung hindeuten, gerade wie ein vom Wind bewegter Tümpel, der sich durch einströmendes Wasser in einem von Wagenspuren durchfurchten Boden bildet, bei dem Vordringen in alle Furchen eingreift, beim Zurückweichen aber wegen der inzwischen erfolgten Umlagerung von einfachen Linien umrandet wird. Indessen gilt dies bei dem Meer nicht allgemein, da auch der flache Meeresboden wellige Erhöhungen hat, die bei dem Rückzug zu Sandbänken und Inseln gestaltet und nachher nicht selten durch eine schmale Landzunge mit dem Land vereinigt werden. Solche Sand- oder Schlamm-Wellen pflegen langgedehnt und der Küste parallel zu sein und sind dadurch kenntlich. Die Unebenheiten des Landes hingegen sind, der Richtung der abfließenden Gewässer entsprechend, in der Regel ungefähr rechtwinklig zur Küstenlinie gerichtet; daher greift das Meer in entsprechend gestalteten Buchten ein. Wo aber keine fließenden Gewässer vorhanden sind, und der Wind die Unebenheiten veranlaßt hat, können diese ebenfalls langgedehnte, der Küste parallele Formen haben. Es ist daher dieses Moment mit Vorsicht anzuwenden, und es sollte gleichzeitig auf andere Merkmale geachtet werden. Betreffs der Flußmündungen gibt es ziemlich sichere Kennzeichen für positive, weniger zuverlässige für negative Verschiebung. Letztere wird in allen Fällen anzunehmen sein, wo ein sedimentarmer Fluß in einem vorgeschobenen Delta mündet.

b. Kennzeichen positiver Strandverschiebung.

[§169] Insoweit sich die Untersuchung auf die Tätigkeit des Meeres gründet, ist die positive Strandlinienverschiebung schwierig wahrnehmbar, oder doch nur auf die Stätten der in der jüngsten Vergangenheit stattgehabten Meeresarbeit beschränkt, da die Spuren der früheren unter

dem Meer verborgen liegen. Die Beobachtung wird also hier mit dem spezielleren Verhältnis beginnen.

1. An manchen Küsten ist die historische Überlieferung reich an Tatsachen, welche für ein Vordringen des Meeres sprechen. Bauwerke und ganze Ortschaften sind versunken, ihre Reste zuweilen noch unter dem Wasser erkennbar, ebenso wie die Baumkronen untergetauchter Wälder. Die Bewohner, oder Chroniken aus älterer Zeit berichten von dem Verschwinden von Wiesen und Feldern unter dem Meerwasser. Es ist jedoch hierbei, wie die kritische Sichtung des bezüglich des angeblichen Sinkens der Nord- und Ostsee-Küsten vorliegenden Materials ergeben hat, dreierlei zu prüfen: erstens die Glaubwürdigkeit der Überlieferung in solchen Fällen, wo sie durch Beobachtung nicht gestützt wird; dann die Frage, ob das Vordringen des Meeres nicht bloß eine Folge der ohne Niveauveränderung stattgehabten Küstenzerstörung, z. B. durch Sturmfluten, ist; und endlich, ob nicht die Erscheinung, falls die Tatsachen sich als richtig erweisen, nur ein örtlich beschränktes Phänomen ist. Es kann beispielsweise an Flussanschwemmungen und Deltagebilde gebunden, von den Erscheinungen an benachbarten Felsküsten, welche vielleicht die umgekehrte Verschiebung zeigen, durchaus unabhängig und allein durch das Zusammensinken der lockeren Sedimentmassen bewirkt sein. In diesem Fall sind die einschlägigen Erscheinungen sorgfältig zu sammeln; aber man muß sich hüten, die angrenzenden Küstenstriche als „Senkungsküsten“ zu bezeichnen, ehe sie als solche erwiesen sind.

2. Andere, anscheinend sicherere Kennzeichen beziehen sich auf größere Tiefen unter der Oberfläche, indem man bei Brunnengrabungen und anderen Erdarbeiten in einem unter dem Meerespiegel gelegenen Niveau auf menschliche Artefakte und Bauwerke, auf Torfmoore oder auf Schichten mit Landschnecken, Knochen von Landsäugetieren und Besten von Landpflanzen stößt. Da sich indes auch diese Funde auf das Schwemmland beschränken, so ist ihr Wert ebenso bedingt, wie derjenige der vorher genannten Beobachtungen. An einer Küste, an welcher Brandungswirkung stattfindet, können solche Reste sich nur in den durch Versenkung in tiefere Lage gekommenen Sedimenten der Flüsse befinden, weil die allmählich vordringende Brandungswelle sie zerstören würde. Beweise für eine positive Verschiebung der Strandlinie können sie daher nur dann bieten, wenn die Fundstellen in geschützten Buchten, oder in brandungslosen Meeresteilen liegen, und auch dann kann die genannte Schlußfolgerung in einiger Allgemeinheit nur gezogen werden, wenn alle an vielen Orten gesammelte Tatsachen auf eine gleichartige Verschiebung entlang einer ausgedehnten Küste sprechen.

3. Größere und allgemeinere Beweiskraft ist der vorsichtigen Anwendung morphographischer Merkmale beizumessen. Es wurde eben erwähnt, wie die feine Gliederung einer Flachküste auf positive Verschiebung hindeutet, indem das Meer zwischen die kleinen ausspringenden Teile in Buchten eingreift und Flachgründe hinter natürlichen Aufdämmungen überflutet.

4. Wo die Brandungswelle an einer Felsküste arbeitet, und über dem Niveau der Flut eine vormalige Einwirkung nicht erkennbar ist, wird entweder ein stationärer Zustand, oder eine positive Verschiebung anzunehmen sein. In letzterem Fall werden die Felsabstürze abgebrochen, im ersten in der Regel durch äußere Einflüsse bis zum Flutniveau abgeflacht oder abgedacht sein. Die Annahme fortdauernder positiver Verschiebung gewinnt an Sicherheit, wenn ein zur Flutzeit bedeckter Abrasionsstrand an eine abstürzende Felswand grenzt (§ 161). An Küsten, welche an Buchten und Inseln reich sind, wird stellenweise die Abrasion verhindert. Wenn sich dann (wie im Tschusan-Archipel und an der benachbarten chinesischen Festlandsküste) Schlammبانke ausbreiten, welche zur Flutzeit gerade vom Wasser bedeckt, zur Ebbezeit trocken gelegt werden, so hat man es sicherlich mit einer noch obwaltenden positiven Verschiebung zu tun; denn der geringste Rückzug des Meeres würde die höheren Teile der Bänke trocken legen, ein

Stillstand sie sukzessive landfest werden lassen. Die inselumlagerte Westküste von Korea scheint dieses Merkmal in noch ausgedehnterer Weise zu bieten.

5. Nicht minder sicheren Anhalt geben die Flußmündungen. Ihre Kanäle sind nicht durch das Meer, sondern durch die Flüsse gegraben. Sind sie vom Meer ausgefüllt, so hat daher dieses durch Vordringen Besitz von denselben genommen. Nach dem Maße, in welchem dies geschehen ist, wird sich die Größe des Betrages ermessen lassen, welchen die positive Verschiebung seit der Zeit des Aushöhlens der Mündungskanäle insgesamt, als Resultante aller positiven und negativen Bewegungen, erreicht hat. Von diesem Gesichtspunkt konnten die Fjordküsten (§ 139), die Riasküsten (§ 141), diejenigen vom dalmatischen und vom Liman-Typus (§ 140, 142) als solche bezeichnet werden, an welchen eine positive Strandverschiebung stattgehabt hat. Es schließen sich daran in zweiter Linie Beobachtungen zum Zweck der Konstatierung, ob nicht in den jüngsten Epochen die Bewegung vorherrschend eine entgegengesetzte gewesen ist, wie es bei fast allen Fjordküsten der Fall zu sein scheint.

Wo Flüsse eine einfache Deltamündung haben, ist innerhalb der letzteren häufig ein Vordringen des Meeres nachweisbar, welches, wie gesagt, durch Zusammensinken der Sedimente erklärbar sein kann, während von den angrenzenden Küsten strecken das Meer zurückweicht. Wie aber durch diesen Vorgang die Deltabildung nicht ausgeschlossen ist, so scheint sie auch an Küsten stattfinden zu können, bei welchen positive Verschiebung in größerer Ausdehnung stattfindet, vorausgesetzt, daß die Bedeckung der untergetauchten Teile mit Sedimenten mindestens dem Sinken das Gleichgewicht hält. Es kann aber jenes bei sedimentreichen Flüssen noch schneller geschehen, als dieses, und dadurch trotz des Sinkens ein stetiges Anwachsen der Sedimentfläche, falls die Strömungen sie gestatten, stattfinden.

6. Inwieweit das Fortwachsen der Korallenbauten einen Beweis und ein Maße für das Sinken des Landes oder die positive Strandlinienverschiebung darbietet, wird an einer anderen Stelle (§ 184) erörtert werden. [*1]

[*1]: Eine ausführliche Darlegung der Strandverschiebungen an den verschiedenen Küsten hat Dr. F. G. Hahn in seiner Abhandlung „Untersuchungen über das Aufsteigen und Sinken der Küsten“ (Leipzig 1879) gegeben. Es ist zu beachten, daß sie vor der Änderung der Ansichten über die zu Grunde liegenden Bewegungen geschrieben worden ist.

H. Mechanische Wirkungen der Meeresströmungen.

[§170] Es ist bereits (§ 158) einer Funktion der Küstenströmungen gedacht worden, welche darin besteht, die Sedimente der Flüsse fortzutragen und durch ihren Absatz zur Abrundung der Küsten beizutragen. Da heftige Wellenbewegung den Grund eines Flachmeeres erfaßt (§ 149), so werden die Strömungen auch von da her Material zum Transport erhalten. Bei starker Bewegung kann die fortschaffende Kraft so bedeutend sein, daß jede Ablagerung im Bereich der Strömung selbst verhindert wird, wie dies das in großen Strecken anstehende Gestein am Boden des Kanals zwischen Frankreich und England beweist. Der weit tiefer liegende Boden des Florida-Stroms ist (nach Verrill) in der Tiefe von 150 bis 600 m und in der Entfernung von 100 bis 200 km von der Küste mit feinem Sand (meist Quarz, etwas Feldspat, Glimmer, Magnetit etc.), Bruchstücken von Schalthiergehäusen, Korallen und Rhizopoden bedeckt. Feiner Schlamm fehlt und ist selbst in Tiefen bis 1000 m spärlich vorhanden; er scheint daher durch die Strömung fortgetragen zu werden.

Eine andere, über die Transportkraft der Strömungen hinausgehende Frage, über welche es beinahe vollständig an Untersuchungen mangelt, betrifft die Erosionskraft der Strömungen. Angesichts der Offenhaltung von Meeresstraßen, wie der Meerengen von Gibraltar, Bosporus und Dardanellen, und mancher Wege zwischen Inseln, wird es wahrscheinlich, daß Strömungen erodierend wirken. Als sicher läßt es sich annehmen, daß sie das gelockerte feine Korn von den Wänden solcher Tröge forttragen; als wahrscheinlich kann es bezeichnet werden, daß die Korrasion eine nicht unbedeutende Rolle spielt. Mag dieselbe auch in jedem einzelnen Zeitpunkt noch so gering sein, so werden doch Küstenströmungen, welche feinen Detritus mit sich führen, durch die Stetigkeit und lange Dauer ihrer Einwirkung eine abschleifende Arbeit ausführen müssen, auch wenn die Seiten des Troges zum Teil aus festem Gestein bestehen.

I. Wirkungen der Erdbebenfluten.

[§171] In einem an geistvollen Winken überaus reichen neuen Werk [*2] ist der Beweis versucht worden, daß die mit heftigen Erdbeben nach den bisherigen Annahmen zuweilen verbunden gewesenen „Hebungen des Landes“ auf einem Anwachsen des letzteren mittelst einer sich schnell vollziehenden Umsetzung der Stoffe des seichten Meeresbodens beruhen. Der Erdbebenstoß, in Verbindung mit dem Stoß der zurückkehrenden hohen Erdbebenwelle (§ 152) scheinen diese Wirkung auszuüben. Die Tatsachen ließen sich nur ungenügenden älteren Aufzeichnungen entnehmen. Beobachtungen von dem neu gewonnenen Gesichtspunkt sind daher in hohem Grad erwünscht. Heftige Erdbeben, wie sie sich an der Westküste von Süd-Amerika zuweilen ereignen, oder mit Erschütterung verbundene vulkanische Ausbrüche, wie derjenige des Krakatau, geben dazu Anlaß. Die Untersuchungen lassen sich auch nach der Zeit solcher Katastrophen mit Hilfe sehr genauer Seekarten ausführen. Da jene Bewegungen nur schwache Nachwehen der Erschütterungen sind, wie sie sich in den Epochen der großen Gebirgsaufrichtungen und der großen vulkanischen Ausbrüche der tertiären Vorzeit vollzogen haben, so könnte die genaue Untersuchung des Vorganges Licht auf frühere Vorgänge werfen.

[*2]: Ed. Suess, das Antlitz der Erde, I.



[p377]

Zehntes Kapitel.

Beobachtungen bei Seefahrten.

[§172] Es bedarf an dieser Stelle keiner besonderen Anweisungen S172. für Diejenigen, welche eine jener wissenschaftlichen Expeditionen zur See begleiten, die, nach dem Vorgang des „Challenger“, der „Gazelle“ und anderer ähnlicher Unternehmungen, den Zweck verfolgen, die Physik des Meeres, sowie das tierische und pflanzliche Leben in demselben zu erforschen. Von den Teilnehmern an solchen Reisen und an anderen von minder großer Anlage kann vorausgesetzt werden, daß sie eine sehr vollkommene Vorbereitung besitzen und ihre Aufgaben besser kennen, als sie hier dargestellt werden könnten. Ebenso sind in gegenwärtiger Zeit die Befehlshaber und Offiziere der Kriegsschiffe größtenteils, und eine nicht unbeträchtliche Zahl der Leiter von Kauffahrteischiffen, mit den Methoden der wichtigsten Beobachtungen über die Erscheinungen des Meeres in seinen Oberflächenteilen vertraut. Angesichts der großen Menge darauf bezüglicher Messungen und Wahrnehmungen, welche fortdauernd in nautischen Zeitschriften registriert werden, erscheint , es kaum erforderlich, sie dem Reisenden, welchem sich in gegenwärtiger Zeit nur selten und verhältnismäßig unvollkommen Gelegenheit zu ihrer Anstellung bietet, besonders anzuempfehlen und im Einzelnen auseinanderzusetzen. Er eilt meist flüchtig auf Dampfschiffen über die Meere hin und benutzt sie nur als Mittel zu schneller Ortsveränderung, um das zur Erforschung erwählte Land zu erreichen. Wer sich des Segelschiffes bedient, wird die reichlicher dargebotene Zeit gern zu mancherlei Beobachtungen verwerten, und sie können ihm für einzelne Meeresteile oder einzelne Phänomene hinreichendes Interesse beibringen, um ihn zu veranlassen, später alles darauf bezügliche Material zu sammeln und aus dessen Vergleichung Ergebnisse abzuleiten.

Es sollen daher hier nur solche Gegenstände erörtert werden, welche sich, außer den im vorigen Kapitel behandelten morphologischen Verhältnissen der Küsten und der an ihnen stattfindenden dynamischen Vorgänge, dem Reisenden einerseits bei kleinen Segelfahrten in der Nähe der Küsten oder in einem Archipel, andererseits an den Stationen des offenen Ozeans, den Inseln, zur Untersuchung darbieten. Es handelt sich um die Erforschung der Inseln und der leichter zugänglichen Teile des Meeresbodens. Nur in betreff einzelner Fragen, für deren Verständnis diese Beschränkung nicht hinreicht, sollen allgemeinere Verhältnisse berührt werden.

A. Beobachtungen an Inseln.

[§173]. Eine Insel ist eine in dem Relief der Oberfläche der festen Hülle des Planeten aufragende Anschwellung, welche bis zu einer gewissen, durch den augenblicklichen Stand des Meeres bestimmten Niveaufläche von dem Ozean in engerer Begrenzung umhüllt wird und in Folge ihrer räumlichen Lage zu den großen, zusammenhängenden Anschwellungen der Kontinente, sowie des Verhältnisses ihrer Höhe zu deren Höhe, eine mehr oder weniger gesonderte Stellung einnimmt. Um die Insel morphographisch zu kennen, muß man daher die Gestalt des vom Meer bedeckten, ebenso wie diejenige des in den Luftozean ragenden Teiles zu bestimmen suchen. Tiefe und Form des Meeresbodens weisen entweder auf einen engeren Zusammenhang mit anderen Anschwellungen, oder auf eine Sonderung von denselben. Für die morphologische Erforschung ist die Insel ein Stück Festland; denn ihr bietet sich nur der über dem Meer gelegene Teil dar. Es gelten daher für sie alle darauf bezüglichen, in anderen Teilen dieses Buches enthaltenen Erörterungen; das heißt, man kann ein Verständnis für den physischen Charakter einer Insel nur aus der Kombination aller Beobachtungen über Gestalt, Zusammensetzung, inneren Bau, stattgehabte dynamische Einwirkungen aller Art und vormalige, oder noch fortschreitende Änderungen in dem relativen Stand des Meeres und seiner mechanischen Tätigkeit erhalten.

Die Begrenzung durch das Meer in engem, oft außerordentlich kleinem Umkreis hat einen anderen, mit der Inselnatur eng verbundenen Umstand zur Folge. Dies ist die isolierte Existenz der organischen Welt. Da aber die Inseln wandelbare Gebilde sind und hinsichtlich der Größe ihrer Bodenfläche von der in jedem einzelnen Erdraum sehr veränderlichen Größe des relativen Standes der Meeresfläche zum Festland abhängen, daher auch zeitweilig eine supramarine Verbindung mit anderen Inseln, oder mit größeren Festländern erfahren können, um in anderen Perioden wieder losgelöst und vielleicht selbst für eine gewisse Zeit vom Meer überspült zu werden, so befindet sich auch die organische Welt unter sehr wandelbaren Verhältnissen, und sie erhält dadurch ein besonderes Interesse. Sind Fauna und Flora früher mit denjenigen des zunächst liegenden Festlandes in Folge ehemaligen Zusammenhanges mit demselben identisch gewesen, so wirkt die Isolierung seit der Zeit ihres Eintrittes auf eine allmähliche Veränderung der Formen und eine Einschränkung ihrer Zahl, ohne wesentliche Umwandlung des allgemeinen Typus, hin. Verkleinert sich das Areal durch positive Küstenverschiebung, so unterliegen weitere Formen im Kampf ums Dasein. An der auf dem Kontinent stattfindenden Fortentwicklung der organischen Welt kann die Insel nur in so weit teilnehmen, als sie von ihm gewisse Formen durch Meeresströmungen, Winde und herüberfliegende Vögel erhält. Andere Arten können ihr durch dieselben Mittel von entfernteren Festländern und Inseln zugeführt werden, und es können dadurch neue Elemente an Stelle der verschwindenden aufgenommen werden. Wird die Insel im Wechsel der Verschiebungen von Meer und Land zeitweise an einen anderen Kontinent, oder an eine Insel welche einmal in Zusammenhang mit diesem gestanden hat, gebunden, so kann sie von demselben Lebewesen auf noch bequemerem Weg und in noch größerer Menge aufnehmen und dem früheren Bestand hinzufügen; wird sie wieder von ihm getrennt, so werden die Veränderungen und Einschränkungen abermals beginnen. Unterliegt eine Insel vollständig der Abrasion, so werden Landpflanzen und Landtiere von ihr vertilgt. Taucht sie wieder als Insel auf, so werden unter Umständen neue Ansiedelungen auf ihr beginnen; aber sie werden nur durch die zufällige und sehr beschränkte Zufuhr von Pflanzensamen und Tieren entstehen. Auf dieselbe Herstellungsart der Organismen sind alle neuen Inseln angewiesen, welche an Küsten oder im Weltmeer aus der Wasserfläche auftauchen, mag Rückzug des Meeres, Aufsteigen des

Landes, Emporwachsen von Riffen, oder vulkanische Tätigkeit die Veranlassung ihrer Entstehung sein.

Das Studium der organischen Welt auf Inseln gewinnt dadurch ein hohes Interesse für weitgreifende Fragen der physischen Geographie. Es hilft zum Verständnis der Entstehungsgeschichte nicht nur der einzelnen Inseln selbst, sondern auch der benachbarten Kontinentalgebiete. Selbst die Kenntnis der Entwicklung der Kontinentalräume in vergangenen Epochen der Erdgeschichte erhält dadurch eine wesentliche Stütze. Wer Gelegenheit hat, sich der spezielleren Erforschung von Inseln zu widmen, sollte nicht unterlassen, sich mit den Methoden der Betrachtung vertraut zu machen, welche A. R. Wallace zuerst in der Beschreibung seiner Reisen in dem malayischen Archipel zur Geltung gebracht und dann in seinem Werk: *Island Life* (London 1880) glänzend angewendet hat.

a. Einteilung der Inseln.

[§174]. Man hat die richtige Bemerkung gemacht, daß die Inseln sich zu den Kontinenten verhalten, wie die Landseen zum Ozean. Diese Analogie kann indes für die Einteilung nicht maßgebend sein; denn bei einem See ist das Wichtigste die Entstehung des Beckens, zu welcher die Ausfüllung mit Wasser als sekundär erscheint. Die Genesis der aufragenden Felsmasse hingegen ist für die Inselnatur selbst nur in einzelnen Fällen von Belang; wesentlicher ist die Frage nach der morphologischen Zugehörigkeit zu einem Festland, oder der Unabhängigkeit von demselben. Hierin ist seit den ersten Versuchen einer Classification der Inseln ein Motiv zu derselben gefunden worden. Daneben hat die Wichtigkeit des eben angedeuteten biologischen Gesichtspunktes dazu geführt, diesen als oberstes Einteilungsprinzip der Inseln zu wählen. Doch hat er seine, in der Betonung des genetischen Momentes beruhende Bedeutung in erster Linie für die biologische Geographie, und man kann ihm, trotz seiner Wichtigkeit und seines hohen Interesses, das gleiche Recht für die Klassifizierung von anorganischen Formgebilden nicht zuerkennen. Die gelegentliche Überspülung durch das Meer in Folge einer geringen Strandverschiebung würde z. B. einer Insel nach ihrem Wiedererscheinen eine gänzlich verschiedene systematische Stellung zuweisen, als ihr vorher zugekommen war.

Wenn es gelänge, die Inseln nach einer Reihe bezüglich ihres Weiches abgestufter systematischer Prinzipien einzuteilen, so würden dadurch der Forschung von vorn herein für jede Insel bestimmte Wege angewiesen sein. Doch ist eine Einteilung wegen der unvollkommenen Kenntnis über die Mehrzahl der Inseln gegenwärtig nur in unzureichender Weise durchführbar. Der nachfolgende Versuch soll lediglich dazu dienen, einige als wesentlich erscheinende Gesichtspunkte anzudeuten. [*1] Weit aus das größte Gesamtareal nehmen diejenigen Inseln ein, welche Teile des Grundbaues der Erdoberfläche darstellen. Die Oberfläche des Festen sondert sich in weite Vertiefungen, welche die großen Becken der Ozeane bilden, und in zusammenhängende Erhöhungen, welche teils als ausgedehnte Landmassen, teils, in deren Nachbarschaft, als Inseln aufragen. Man kann für diese den alten Namen „Kontinentalinseln“ beibehalten.

*1) Die bisherigen Einteilungsversuche sind, nebst der einschlägigen Literatur, in F. G. Hahn's „Inselstudien“ (Leipzig 1883) zusammengestellt worden. Dieses durch außerordentlich fleißige und sorgfältige Darstellung der wichtigsten Kenntnisse über fast alle bemerkenswerten Inseln hervorragende Werk ist für Jeden, der sich mit Inselforschung beschäftigen will, unentbehrlich. Der Mannigfaltigkeit der Erörterung, zu welcher die Behandlung sehr verschiedenartiger Inseln Anlaß gibt, lassen sich eine Fülle von Gesichtspunkten für die Beobachtung im Einzelfall

entnehmen. Die Inseln sind in dem Werk nach einem neuen Prinzip eingeteilt. Der auf morphologische Beobachtung gerichtete Zweck des vorliegenden Buches möge es rechtfertigen, wenn hier ebenso von der Einteilung in dem genannten Werk, als von anderen, teils mehr das genetische, teils das biologische Moment berücksichtigenden Einteilungen abgesehen wird.

Dem Grundbau sind andere Gebilde parasitisch aufgesetzt. Zwar werden sie integrierende Bestandteile desselben, aber sie behalten doch den Charakter sekundärer und fremdartiger Massen. Sie ragen zum Teil für sich allein als Inseln auf, und diese können dann als parasitische Inseln bezeichnet werden. Hierher gehören die rein vulkanischen und die Korallen-Inseln. Wo jedoch Vulkan- und Korallenbauten den durch das Meer isolierten Festlandsteilen aufgesetzt sind, gibt der Grundbau das höhere Einteilungsprinzip. Nur wo dieses fehlt, können sie für die Classification an erster Stelle verwendet werden.

Endlich kann das Meer in die kleinen Unebenheiten eingreifen, welche nicht in dem festen Bau der Erdoberfläche beruhen, sondern durch mechanische Umlagerung von Zerstörungsprodukten geschaffen weilen. Sie geben zur Entstehung untergeordneter Inselformen Anlaß.

I. Kontinental-Inseln.

[§175]. Wenn ein Stück eines Kontinentes mit sehr unebener Oberfläche in Folge fortdauernder positiver Strandverschiebung vom Meer überflutet wird, so löst es sich in Inseln auf, indem alle höheren Teile, insoweit sie nicht der Abrasion unterliegen, über die jeweilige Meeresfläche hervorragen. Würde ein Teil des gegenwärtigen Meeresbodens trocken gelegt, so würden ebenfalls zuerst große Inseln erscheinen. Diese zwei verschiedenen Vorgänge würden zu trennen sein, wenn es Inseln der letzteren Art in den großen Meeren gegenwärtig gäbe. Dies ist jedoch nicht der Fall. Alle Inseln, welche Festlandsbau haben, scheinen sich aus den Sockeln der Kontinente zu erheben und integrierende Bestandteile von ihnen zu bilden. Der Verband mit denselben ist aber nicht von gleicher Art, und es lassen sich danach zwei Ordnungen unterscheiden, die unselbständigen und die selbständigen Kontinentalinseln.

1. Unselbständige Kontinentalinseln.

Dies sind durch Wasserumhüllung abgetrennte (irrig als „abgesprengt“ bezeichnete) Teile der Gebirgsstruktur des zunächst gelegenen Küstenlandes, und sie schmiegen sich diesem auch räumlich an. Je nach den Umständen, denen sie die Inselnatur verdanken, und der damit zum Teil in Zusammenhang stehenden Beschaffenheit der Küsten lassen sich unterscheiden:

a) Inseln, welche durch das Eindringen des Meeres in die Hohlformen des Landes entstanden sind. Man kann sie als Abgliederungsinseln bezeichnen. Der Einfluß dieses Vorganges auf die Küstengestaltung ist oben (§§ 138—142) dargestellt worden. Zu den bemerkenswertesten Folgen gehört die Abtrennung von Inseln, welche durch die vereinigte Wirkung der Strandverschiebung und der Brandung bewirkt wird. Nur diejenigen Erhöhungen, welche von der Zerstörung durch die Brandung nicht betroffen wurden, ragen als Inseln auf. Die Strandverschiebung kann

nachher in die entgegengesetzte Sichtung umgeschlagen sein; das wird nur die Verbindung einzelner Inseln unter einander und ihre Angliederung an das Festland zur Folge haben.

Es lassen sich eine Anzahl von Typen erkennen, welche denen der Einzelgliederung der Küsten entsprechen.

(1) Riasinseln sind die Inseln der Riasküsten (§ 141); sie sind also wesentlich Abrasionsreste an gebirgigen Querküsten, bestehen meist aus festem Gestein und treten gesellig auf, gewöhnlich in großer Zahl. In der Regel sind sie von geringer Größe, bis zu einzeln aufragenden Felsen herab, fallen steil und klippig nach einem Strand ab und sind unmittelbar von einem Meer von geringer Tiefe umgeben. Ihre Oberflächenformen über dem Stirnwall der Brandung sind dieselben wie diejenigen der benachbarten > Festlandsvorsprünge. Daher sind sie stets gebirgig, aber meist von schrofferen Formen als das Festland, weil die vordringende Abrasion den fließenden Gewässern steiles Gefälle verleiht. Hierher gehören vor Allem die Inseln an der chinesischen Küste, diejenigen an der Westseite von Korea, und wahrscheinlich an der Westseite von Kiuschiu; ferner finden sie sich an den Küsten der spanischen Provinz Galicia, der Bretagne, des südwestlichen Irland und an denen von Schottland. Auch diejenigen an den Küsten von Neu-Schottland und Neu-Fundland dürften, als an einer Querküste gelegen, hierher zu rechnen sein.

(2) Abtrennunginseln können diejenigen genannt werden, welche die Küsten vom dalmatischen Typus auszeichnen und durch das Eindringen eines in der Regel, aber keineswegs notwendig, gezeitenlosen Meeres von geringer Brandungskraft in die Hohlformen des Festlandes hervorgebracht werden. Sie wiederholen die Oberflächenformen des letzteren noch getreuer, als die Riasinseln. Durch ihre Emporhebung bis über das Niveau des Grundes der trennenden Meeresarme hinaus würde der ehemalige Oberflächen - Charakter mit unwesentlichen Änderungen wiederhergestellt werden, während bei Rias- und Fjordküsten die trennenden Bäume eine sehr veränderte Gestalt haben würden.

(3) Die Fjordinseln unterscheiden sich von den Riasinseln in ähnlicher Weise wie die beiden entsprechenden Küstentypen. Sie finden sich selten an Querküsten, sondern fast nur an quererschnittenen und durchfurchten Längsküsten, und sind zum Teil selbst wieder von Fjorden durchschnitten und durch fjordartige Meeresarme voneinander getrennt. Mit den Abtrennunginseln haben sie den Umstand gemein, daß das Ansteigen des Meeres in den Talrinnen und über viele Paß-Übergänge hinweg bei gehinderter Brandungswirkung geschah. Viele dadurch entstandene Inseln wurden im weiteren Verlauf des Vorganges unter das Meer versenkt. Da nachher an allen Fjordküsten wieder eine oszillierende Strandverschiebung mit negativem Gesamteffekt, und zwar bei tätiger Brandungswirkung, stattgefunden hat, so haben die versenkt gewesenen Inseln vielfache Umgestaltung erfahren; die überspülende Brandung hat eine flache Gestalt der Oberfläche, die an den Flanken arbeitende Meereswelle schroffe Abfälle geschaffen. Während bei den Riasinseln breite Brandungsterrassen und seichter Meeresboden charakteristisch sind, sind die ersteren bei den Fjordinseln meist schmal und unvollkommen, und es findet steiler Abfall in tiefes Meer statt. Fjordinseln sind meist in großer Zahl vorhanden. Sie haben eine Tendenz zur Anordnung in Längsreihen, welche der Küste parallel sind, während die Riasinseln unregelmäßig zu dieser gestellt sind und, wenn sie sich in Reihen ordnen, diese von der Küste hinaus in das Meer streichen. Der Gebirgsbau des Festlandes setzt in den Fjordinseln fort; aber der Festlandscharakter ist bei vielen durch die wiederholte Abspülung verändert.

(4) Liman-Inseln sind durch Eingreifen des Meeres und zuweilen damit verbundene Brandungswirkung abgetrennte Teile von Schollenland und lassen daher keinerlei oder doch nur geringe

Beziehung zu der Längsrichtung oder Querrichtung eines Gebirges erkennen. Sie kommen selten vor; denn Limanküsten sind, wie diejenigen aller Tafelländer, meist inselfrei. — Es schließen sich diesem Typus, als eine verwandte und doch besondere Form, die Inselfschwärme der schwedischen und finnischen Küsten, und, als eine dritte Form, die kimbrischen Inseln an. Eine morphologische Verwandtschaft mit den letzteren hat, wie bereits bemerkt, der arktische Archipel von Nord-Amerika, welchem jedoch wegen seiner größeren orographischen Selbständigkeit eine andere Stellung angewiesen werden kann.

b) Den durch einfaches Vordringen des Meeres abgegliederten Inseln stellen wir die Bruchinseln gegenüber. Die Ursache der Meeresumschließung beruht bei ihnen auf Einbruch. Die Inseln des ägäischen Meeres bestehen, wie insbesondere Neumayr erwiesen hat, aus gebrochenen Stücken eines Gebirgslandes, dessen unmittelbare Fortsetzung sich in dem Bau der nächsten Festländer, Klein-Asien und Balkan-Halbinsel, erkennen läßt. Dergleichen Ursprung hat Emil Naumann für die Inseln des japanischen Binnenmeeres wahrscheinlich gemacht. Bei weiterer Untersuchung werden sich jedenfalls einzelne dieser Inseln als Horste ergeben; aber manche dürften durch Staffelbruch gebildet sein. Für Malta und Gozzo ist ein analoger Ursprung als möglich hinzustellen.

2. Selbständige Kontinentalinseln.

Eine größere und wichtigere Klasse als die vorhergehenden, bilden diejenigen, die Kontinente meist in weiterem Abstand begleitenden Inseln, welche ihren eigenen, von dem der nächsten Teile des Festlandes abweichenden Gebirgsbau haben. Sie sind zum Teil sehr groß und finden sich in ausgedehnten Gruppen angeordnet. Manche von diesen stellen die inselförmig aufgelösten Außenränder der Kontinentalmasse dar; sie sind alsdann in Reihen angeordnet. Die größeren von ihnen sind selbst wieder kleine Festländer, welche von einem Zubehör unselbständiger Kontinentalinseln der vorhergenannten Kategorien begleitet sind.

Während es bei den unselbständigen Kontinentalinseln darauf ankommt, ihr Verhältnis zu den unmittelbar angrenzenden Festlandsteilen in Hinsicht auf äußere Gestalt, Zusammensetzung, innere Struktur und Entstehungsgeschichte kennen zu lernen, bilden die selbständigen große Forschungsobjekte für sich, und erst wenn man ihren Bau genau kennt, kann man daran gehen, sie mit dem Gesamtbau des zunächst gelegenen Kontinentes zu vergleichen. Sie vervollständigen dessen Geschichte und ermöglichen erst dessen verständnisvolles Gesamterfassen. Indem wir hier behufs der Auffindung eines weiteren Einteilungsgrundes die Frage, ob die inselartige Absonderung auf dem Vordringen des Meeres, oder auf tektonischen Vorgängen, oder, wie es in der Regel der Fall sein wird, auf einer Kombination von beiden beruht, unerörtert lassen, berücksichtigen wir nur die Stellung zu den Festländern und unterscheiden:

(1) Randständige Kontinentalinseln. Sie bilden in bogenförmiger Anordnung die über das Meer aufragenden Außenränder der Kontinentalmasse, entsprechen den bogenförmigen Faltengebirgen (Cap. XVI) und tragen im größten Teil ihres Verlaufes Vulkane. Hierher gehören die ostasiatischen Inselbogen: Aleutenbogen, Kurilenbogen, Japanbogen, Liukiubogen, Formosabogen; ferner der 6000 km lange Javabogen. Sie fallen sämtlich an ihrer Außenseite steil in tiefes Meer ab; auf den Innenseiten liegen verhältnismäßig flache Becken, deren jenseitige Küsten Länder von ganz abweichendem Gebirgsbau begrenzen. Es ist wahrscheinlich, daß die Becken wesentlich auf Einbruch beruhen; aber ihre Meereserfüllung ist eine Folge des jetzigen Standes

der Strandlinie. Auch die Antillenbogen gehören hierher, wengleich sie nach den Forschungen von Suess eine gewisse Zugehörigkeit zum Festlandsbau erkennen lassen. Bruchbildungen scheinen dort eine noch größere Rolle zu spielen als in Ost-Asien. Eine nicht so scharf gezeichnete Randständigkeit hat der ostaustralische Inselbogen, von Neu-Guinea über Neu-Caledonien nach Neu-Seeland.

(2) Binnenständige Kontinentalinseln. Auch diese erheben sich von den Sockeln der Kontinente, aber sie stehen nicht an deren Rand und haben keine Bogenanordnung. Ein Beispiel bieten Großbritannien mit Irland, deren Gebirgsbau sich wesentlich in den jüngeren Formationen mit demjenigen des benachbarten europäischen Festlandes verbindet, während ein gebrochener uralter Gebirgsrand, nach Art der ostasiatischen Inselbogen, von Schottland durch Irland und die Bretagne nach dem durch das Nord-Süd-Streichen der alten Formationen ausgezeichneten asturisch-kantabrischen Gebirge zu ziehen scheint; durch seine Zerstörung ist die Stellung der Inseln eine andere geworden; ihr Schwergewicht liegt im Binnenteil. — Es gehören ferner hierher Borneo, Celebes und andere Binneninseln von Indonesien. Sardinien und Korsika sind hierher zu stellen, während man in den Balearen ein engeres Zubehör zu Spanien, in Sizilien ein solches zu Italien erblicken kann. Als kontinentale Binneninseln sind auch die Inseln des arktischen Archipels mit Grönland zu bezeichnen, sowie diejenigen des Behrings-Meeres.

3) Außenständige Kontinentalinseln. Dies sind Fragmente der Kontinente, welche außerhalb des Areal der letzteren liegen, aber nicht deren aufgerichtete Ränder darstellen. Hierher gehören Madagascar, Ceylon, die Falklands-Inseln, Süd-Georgien, vielleicht auch die kapverdischen Inseln und die Färöer. Eine ähnliche Stellung wie Ceylon hat Tasmanien.

II. Parasitische Inseln.

[§176] Während die Inseln der vorhergehenden Klassen nicht über § 176. gewisse, durch die großen Züge der Morphologie der Erdoberfläche gegebene Grenzen hinausgehen, gibt es zahllose andere, welche, fast ausschließlich von geringer Größe, in den Meeren eine weite Verbreitung haben, die nur zum kleinen Teil eine Beziehung zu den Grenzlinien der Kontinente und der Kontinentalinseln erweist. Es sind die vulkanischen Inseln und die Koralleninseln. Früher wurden sie den kontinentalen als ozeanische Inseln gegenüber gesetzt, da sie ihre Verbreitung außerhalb der Gebiete von jenen, auf den freien Ozeanen, haben sollten. Dort ist allerdings der Hauptverbreitungsbezirk; aber nur deshalb, weil das Areal grösser ist; nach Prozenten verteilt findet man sie in vielleicht noch größerer Zahl in der Nähe der Kontinente, oft mitten unter den Kontinentalinseln. Sie zeigen sich in ihrer Verteilung abhängig von allgemeinen tellurischen Beziehungen und heften sich besonders an Anschwellungen des Meeresgrundes. Überall sind sie fremdartige Gebilde. Die Koralleninseln haben gar keine, die vulkanischen nur eine entfernte Beziehung zum inneren Gebirgsbau. Ihre Existenz ist überall schmarotzerhaft. Daher bezeichnen wir sie -als parasitische Inseln. So verschiedenartig ihre Entstehung ist, verbindet sie dieser Gesichtspunkt, und soweit den riffbauenden Korallen die Tätigkeit möglich ist, fallen ihre Verbreitungsgebiete vielfach nahe zusammen. Wo beide Faktoren gemeinsam eine Insel aufbauen, gebührt dem Vulkanismus die erste systematische Stelle, weil er eine nähere Beziehung zum Grundbau hat, als die Tätigkeit der Korallen.

3. Vulkanische Inseln; dies sind Inseln, deren sichtbarer Aufbau, abgesehen von hinzukommendem Ansatz von Korallenbauten, ausschließlich auf vulkanische Ausbruchstätigkeit

zurückzuführen ist. Es gehören also, wie so eben bemerkt, diejenigen Inseln nicht hierher, bei denen ein Grundgerüst mit Vulkanen besetzt ist; denn das Vorhandensein eines inselartig aufragenden Grundgerüsts als Bruchstück einer Kontinentalmasse steht als systematisches Einteilungsprinzip voran; die Vulkane sind hier nur accidentell hinzukommend. Erst wo jenes nicht erkennbar ist, steht der vulkanische Character als Einteilungsprinzip im Vordergrund. Es wird daher bei fortschreitender Erforschung der einzelnen Inseln notwendig sein, diejenigen unter ihnen, bei denen die Vulkane sekundäre Erscheinungen sind, auszuscheiden. So muß schon jetzt Java bei den selbständigen Kontinentalinseln belassen werden, weil Lage und Gestalt den sicheren Schluß gestatten, daß der durch Sumatra und die östlichen Inseln bezeichnete Kontinentalrand hier fortsetzt, und nur durch eine, vielleicht mit einer Herabsenkung verbundene gewaltige Anhäufung vulkanischen Materials verhüllt wird. Auch die Färöer sind Kontinentalinseln.

4. Koralleninseln. Hierher gehören alle inselförmigen Korallenriffgebilde der warmen Meere. Sie umschwärmen die Kontinentalinseln Indonesiens, setzen nahe dem ostindischen Festland, ebenso wie bei Florida und in den westindischen Binnenmeeren, dichtgedrängte Archipele zusammen und sind im Stillen Ozean in großen Zügen angeordnet. Daher können sie als ozeanisch oder pelagisch, im Gegensatz zu Kontinental, nicht bezeichnet werden. Im Folgenden wird ausführlicher auf die Koralleninseln eingegangen werden.

III. Schwemminseln.

Die kleinen und unbedeutenden, durch Zusammenführung losen Materials mittelst der Transportkräfte des Wassers entstehenden Inseln haben wiederum eine andere Art der Verbreitung. Sie sind die Trabanten der Küsten der Festländer, jedoch ohne irgendwelche Beziehung zu deren innerem Bau. Festland ist für sie außer den Kontinenten jede Insel aus einer der vorhergehenden Klassen. Daher sind sie so weit verbreitet als es Küsten gibt und die Umstände für ihre Bildung günstig sind. Sie entstehen durch die Zusammenführung von Quarzsand, Korallensand und Schlamm der Strommündungen, sowie auch, in Gestalt inselförmiger Küstenwälle (§ 155), durch den Transport gröberer Materials, und sind in der Regel mit dem Bestehen von Lagunen verbunden. So gering sie als morphographisches Element erscheinen, haben sie doch eine hohe Bedeutung für die Küsten; denn sie brechen den Ansturm der Wogen. Wichtig sind sie auch für die Schifffahrt, und sie gewähren theoretisches Interesse für die Erklärung der Sedimentbildung. Besonders sollten ihre Änderungen und das Landfestwerden durch Vegetation (§ 33) eingehend studiert werden.

Das wesentliche Moment der Schwemminseln, welches sie von allen anderen Inseln unterscheidet, besteht darin, daß sie in ihrer Lage veränderlich sind.

[§178] Wie bei geographischen Gegenständen überhaupt, ist auch § 178. bei den Inseln eine streng geordnete Systematik nicht durchzuführen, da die Übergänge zahlreich sind. Es kommt wesentlich darauf an, gewisse, in der Natur begründete Gesichtspunkte aufzustellen, nach denen die Anordnung eines großen Teiles des gegebenen Materials geschehen kann, und welche geeignet sind, der Beobachtung gewisse Richtungen anzuweisen.

Ähnliche Grundsätze, wie sie hier für die Einteilung der Küsten und Inseln geltend gemacht worden sind, lassen sich selbstverständlich auf die Halbinseln und deren Gegenbild, die Meeresbuchten anwenden. Es würde zu weit leiten, dahin gerichtete Versuche hier durchzuführen. Die

Kategorien der Halbinseln würden denen der Inseln sehr ähnlich sein. Die ersteren können aus den letzteren entstehen und wieder in sie zurückverwandelt werden.

b. Beobachtungen an Koralleninseln und Korallenbauten überhaupt.

[§179] Obgleich die Bauten der Korallen häufig den Forscher an \$ 179. Festlandsküsten beschäftigen werden, soll doch erst hier auf sie im Allgemeinen eingegangen werden, da sie noch öfter in das Untersuchungsgebiet Desjenigen fallen, welcher seine Fahrten von den Festländern hinweg nach dem Ozean ausdehnt.

Korallenbauten umsäumen Küsten von Festländern und kontinentalen Inseln, teils unmittelbar, teils in größerem Abstand; sie bilden Klippen unter der Wasserfläche, ragen in niedrigen Inseln über dieselbe auf und finden sich trockengelegt hoch über dem Meeresniveau. Der Forschungsreisende hat die Aufgabe, die Ursachen ihrer Anwesenheit oder ihres Fehlens zu ergründen, ihre Formen, ihre Zusammensetzung und ihre Umwandlungen zu untersuchen; er kann daraus Material für die Erklärung ihrer Entstehung, der Art ihres Fortwachsens und ihrer Vernichtung unter verschiedenen Umständen entnehmen. Diese Punkte sollen hier einzeln betrachtet werden.

Aus der großen Ordnung der Korallentiere sind nur verhältnismäßig wenige Arten riffbauend. Es gehören zu ihnen sämtliche *Astraeaceen*, fast alle *Fungieen*, sehr viele Gattungen der großen Familie der *Oculinaceen*, viele Arten der *Alcyonoiden*, endlich von *Madreporaceen* alle *Madreporen* und *Poritiden*. Jede Art bildet einzelne Stöcke, die von geringer Größe bis zu einem Durchmesser von mehreren Metern schwanken und eine gewisse, für jede Art verschiedene Maximalgröße nicht überschreiten können. Das Leben beschränkt sich in jedem Stock auf eine meist nur 3 bis 5 mm dicke Oberflächenschicht, in welcher zahlreiche Individuen existieren und durch ein gemeinsames Gewebe verbunden sind. Neue, den Stock vergrößernde Generationen entstehen wesentlich durch Knospung. Die inneren Teile des Stockes sind abgestorben. — Außerdem nehmen an den Korallenbauten eine große Menge von anderen, meist Kalkgehäuse absondernden Tieren teil, welche hier ihre Lebensbedingungen, vor Allem ihre Nahrung finden und eine sekundäre, wengleich keineswegs unwesentliche Rolle spielen. Wichtige Bestandteile bilden auch die Nulliporen: kalkabsondernde Algen, welche häufig die Korallenbauten erhöhen, aber auch große Bauten allein zusammensetzen. — Die zoologische Untersuchung ist bei allen Korallenbauten von Wichtigkeit, und wer die letzteren in irgend einer Erdregion zum Gegenstand spezieller Forschung machen will, sollte nicht unterlassen, sich mit den in Betracht kommenden Arten der Korallen und der an ihre Bauten gebundenen Arten von Mollusken und Strahltieren bekannt zu machen. Die physische Geographie fragt jedoch nicht sowohl nach den Arten der dabei beteiligten Tiere, als vielmehr nach der quantitativen und funktionellen Rolle, welche sie im Aufbau spielen. Die Größe der Stöcke von einzelnen herrschenden Arten sollte an den verschiedenen Stellen der Riffe untersucht werden.

[§180] Existenzbedingungen. — Korallen, welche in vereinzelt Individuen und kleinen geselligen Stöcken leben, kommen in seichten Meeren ebenso wie in der Tiefsee vor; sehr reich an Arten ist die Zone des grauen und grünen Schlammes, besonders in Tiefen von 100 bis 500 Meter. Diejenigen Familien, Gattungen und Arten, welche Riffe aufbauen, finden jedoch die für ihr Leben erforderlichen Bedingungen nur in geringer Meerestiefe. Man kennt sie abwärts bis zur Tiefe von 35 bis 40 m; es scheint, daß das Lichtbedürfnis sie von größeren Tiefen ausschließt. Die obere Grenze lebender Korallentiere ist bis zu ungefähr 15 cm über dem Niveau der Ebbe gefunden worden. In beiden Richtungen, besonders nach der Tiefe hin, sind weitere genaue Untersuchungen erwünscht. Neben dieser großen Beschränkung in vertikaler Richtung findet eine

andere in horizontalem Sinn dadurch statt, daß die in Betracht kommenden Arten bei einer anhaltenden Temperatur unter 20 C. nicht zu existieren vermögen; sie finden sich daher nur dort, wo das Minimum des Monatsmittels der Temperatur in der Oberflächenschicht des Meeres nicht unter diesen Betrag herabsinkt, und gedeihen am besten wo dasselbe erheblich höher ist. Man hat eine heiße Korallenbau Zone mit einem Temperaturminimum von 23 °.4 und darüber, und eine warme mit einem solchen zwischen 23 °.4 und 20°C. unterschieden. Die zoologischen Unterschiede beider Zonen sind zum Teil bekannt; doch ist auch nach dieser Richtung das vergleichende Studium der Korallenbauten noch zu vervollständigen, insbesondere mit Rücksicht auf den Einfluß, den die Temperatur vielleicht auf die Schnelligkeit des Wachstums ausübt.

Reines Salzwasser ist notwendige Lebensbedingung. Süßwasser und Trübung durch Sand und Schlamm wirken tödlich auf die Korallentiere.

Eine fundamentale Existenzbedingung der Riffe überhaupt betrifft mit großer Wahrscheinlichkeit den Boden, auf welchem der erste Ansatz stattfindet und der Bau zu gedeihen vermag. Dies kann nur an trocken gelegten Riffen untersucht werden (s. § 185).

[§181] Formen der Korallenbauten. — Die in der Nähe der Küste angesiedelten und fortwachsenden Korallenstöcke vereinigen sich zu größeren Massen von unregelmäßigen Formen und mit höchst unebener Oberfläche. Die Unregelmäßigkeit scheint grösser zu sein wo der Untergrund viel Wechsel bietet, geringer wo er einfacher gestaltet und homogener in seiner Zusammensetzung ist. Je weiter die Entwicklung fortschreitet, und zu je größerer Ausdehnung die Bauten anwachsen, desto mehr ist die Tendenz zu regelmäßiger Gestalt in der Gesamtanordnung der Stöcke vorhanden, während der differenzierende Einfluß der Unterlage zurücktritt. An der Seite des offenen Meeres findet, wahrscheinlich in Folge des Wogenandranges, ein Fortwachsen nach der Höhe statt, und je mehr dies fortschreitet, desto geringer wird die Intensität der Fortentwicklung auf der Landseite; zugleich geschieht sie hier wesentlich nach der Richtung der Breite. Es waltet daher das Streben nach der Sonderung einer äußeren Umwallung und eines flachen Binnenteiles. Die erstere wächst allmählich an einzelnen Stellen bis zur Oberfläche heran. Die Wellen brechen sich an ihr, erzeugen ihr entlang eine Brandung und schreiten beruhigt nach der geschützten Seite fort. Starke Strömungen begünstigen, nach Sempers Beobachtungen, ebenfalls das vertikale Wachsen und können ihm in einem vor Brandung geschützten Archipel allein zu Grunde liegen. Zugleich bringen untergeordnete Strömungen kleinere Differenzierungen in den Formen hervor; denn da sich in der Regel Kanäle ausbilden, durch welche zur Ebbezeit das bei der Flut nach der Binnenseite hinübergetriebene Wasser abströmt, so bleiben dieselben als freie Rinnen bestehen. An ihren Wänden dauert das vertikale Wachsen fort, aber eine Breitenentwicklung findet nicht statt.

Während auf der flachen Innenseite die Oberflächengestaltung örtlich sehr wechseln kann, tritt im Außenwall nach Maßgabe seiner Ausbildung die angeführte Tendenz zu regelmäßiger Anordnung des Gesamtbaues schärfer hervor. Er begleitet die Küsten, bald in größerem, bald in geringerem Abstand, in langen schmalen Zonen oder in leicht geschwungenen Bogen, ohne die kleinere Einzelgliederung jener zu wiederholen. Umzieht die Küste eine Insel, so schließen sich die nach außen konvexen Kurven um diese herum und bilden einen Ring.

Dies scheinen die Grundformen des Baues zu sein. Doch gestalten sie sich im Einzelnen sehr mannigfaltig. Wo die Küste steil und klippig zu großer Tiefe abfällt, fehlen die Korallenbauten fast gänzlich, da sich kein geeigneter Grund für die erste Ansiedlung bot. Wo jene sich abflacht, finden sich die Polypenbauten ein, mit Ausnahme der Stellen, an welchen trübes Wasser oder

überhaupt viel Süßwasser vom Land herabkommt. Aber häufig fehlt der nach außen steil abfallende Wall; flache Bauten allein breiten sich weithin aus. Die Ursache mag in manchen Fällen darin beruhen, daß weder eine konstante Strömung, noch eine bestimmte Wetterseite vorhanden ist, sondern Beides häufigem Wechsel unterworfen ist. Doch ist dies im einzelnen Fall zu untersuchen; es können auch andere Ursachen zu Grunde liegen. So würde, wie Darwin erkannte, eine negative Strandverschiebung fortdauernd neue Zonen des Meeresbodens, die vorher zu tief lagen, in den Bereich der Ansiedelung der Korallentiere bringen, und ehe ein Wall aufgebaut wäre, würden schon neue Flachbauten außerhalb bestehen.

Darwin gründete auf diese Verschiedenheiten in der Anordnung die Einteilung der die Küsten begleitenden und die hohen Inseln umgebenden Korallenbauten in die bekannten Kategorien der Saumriffe und Wallriffe. Doch sind dies extreme Ausbildungsformen desselben Typus, und man findet zahlreiche Zwischenstufen, bei denen man weder von der einen, noch von der anderen Form reden kann. Die Sonderung läßt sich immerhin für einzelne charakteristische Fälle anwenden; man kann auch noch außerdem zwischen äußeren und inneren Wallriffen unterscheiden.

Die äußeren Wallriffe begleiten das Land oft in größerem Abstand. An der Ostküste von Australien beträgt dieser 80 bis 100 Kilometer; doch ist er bei manchen ringförmig umgürteten Inseln gering und der Außenwall tritt stellenweise ganz an das Land heran. Gewöhnlich ragt der äußerste Teil des Walles am höchsten auf; seine Oberfläche ist unregelmäßig gestaltet und hat oft ausgezackte Umrisse. Obgleich dort die widerstandsfähigen Nulliporen den Bau verfestigen, findet doch unaufhörliche Zerstörung der Neubildungen statt. Die Brandungswelle stürmt gegen die randlichen Bauten an und entführt wahrscheinlich weitaus den größten Teil der Trümmer nach der Tiefe; andere Bruchstücke werden aufwärts getragen und über einander geworfen. Ihre Anhäufungen ragen stellenweise als Inseln über die Fluthöhe auf. Die Breite des ganzen Walles ist schwer anzugeben, da er sich nach der Binnenseite hin allmählich herabsenkt. Die Oberfläche zeigt zur Ebbezeit Vertiefungen, die mit Wasser erfüllt sind, Flachgründe und Erhöhungen. Die Gestalt der Außenseite ist kaum als allgemein bekannt zu betrachten, da die schwierige Untersuchung selten mit Genauigkeit ausgeführt worden ist. Man hat einen Steilabsturz von 10 bis 12 m gefunden, dann einen flachen, sich allmählich zur Tiefe von 30 bis 35 m herabsenkenden Grund, der einige hundert Meter Breite hat und vielen Korallen zum Wohnplatz dient; dann wiederum einen steilen Abfall nach größerer Tiefe. An anderen Stellen stürzt der Außenwall unmittelbar ab. Einige sorgsam ausgeführte Querprofile würden von Wert sein.

In dem ruhigen Wasser der Innenseite gedeihen die riffbauenden Korallen bei weitem weniger üppig; nur einzelne Arten können dort überhaupt leben, von diesen aber erreicht ein und derselbe Stock oft eine außergewöhnliche Größe. Die Tiere befinden sich hier unter der Ungunst des von der Küste kommenden, streckenweise Trübung mit sich bringenden Wassers, und es kann durch starken Zufluß ihr plötzliches Absterben in großem Umfang stattfinden. Auch hier jedoch sind Strömungen vorhanden, welche die Veranlassung eines strichweise verteilten üppigeren Gedeihens sein mögen. An solchen Stellen erheben sich die inneren Wallriffe, meist flache Bauten von lockerem Gefüge und mit ausgeebneter Oberfläche. Sie reichen nur bis zum Niveau der tiefsten Ebbe heran, wahrscheinlich deshalb, weil jeder höher bauende Polyp bei niedrigstem Meeresstand durch Regen getötet wird. Der Effekt desselben wird nicht, wie in der Brandungszone, durch Überspülen und Überspritzen mit Seewasser neutralisiert.

Die Randlagunen, wie man die von den Wallriffen umschlossenen Wasserbecken nennen kann, sollten nach ihrer Bodengestalt genau untersucht werden. Von Interesse ist das Verhältnis ihrer tiefsten Teile zu der Meerestiefe außerhalb des Wallriffes.

Die unvollkommenste und regelloseste Form haben die Saumriffe. Bei ihnen erfolgen vielfache Störungen im Wachstum, und neue Ansätze des Aufbaues geschehen nach Perioden der Unterbrechung.

In neuerer Zeit ist noch eine Form, diejenige der Schirmriffe bekannt geworden, welche vielleicht eine weitere Verbreitung hat. Die Arolhos-Inseln an der Küste von Brasilien (18° S.) sind von Korallenbauten umgeben, die sich aus 12 bis 15 m Tiefe in einzelnen Säulen erheben und sich an der Meeresfläche schirmartig oder pilzartig ausbreiten sollen. Diese oberen Teile vereinigen sich zu einer kontinuierlichen, von isolierten Säulen getragenen Decke. Ähnliche Formen sind in anderen Gegenden gefunden worden, wo ein seichter Meeresboden sich vor der Küste ausbreitet, Gezeiten und Stürme gering sind, und wahrscheinlich die Meerestiefe seit längerer Zeit unverändert geblieben ist; z. B. in den Turks-Inseln im Bahama-Archipel. Dieser Erscheinung sollte Aufmerksamkeit zugewandt werden. Besonderes Interesse dürfte die unter der Decke lebende Tierwelt in Anspruch nehmen, da sie ihre Existenz bei vollkommener Buhe und geringem Licht hat. Ihre Untersuchung wird vermutlich für die Erklärung mancher eigenartiger, in Kolonien auftretender Zusammenhäufungen tierischer Reste in den Kalksteinen älterer Formationen von Wert sein. Koralleninseln oder Atolle sind solche Korallenriffe, welche isoliert über das Meer aufragen und eine Beziehung zu Festländern und Inseln anderer Art daher nicht unmittelbar erkennen lassen. Sie stellen einen Wall von der Gestalt einer in sich selbst zurückkehrenden Kurve dar, welche sich selten der Kreisform nähert. Nur an einzelnen Stellen dieser Linie ragt der Korallenbau über die Oberfläche hervor; am höchsten erheben sich Trümmernmassen desselben. Zuweilen beschränkt sich dieses Auftauchen fester Massen auf wenige Stellen, so daß die Lagune von den durch die äußere Brandung abgeschwächten Meereswellen erreicht wird; zuweilen erhebt sich der Wall in seiner ganzen Ausdehnung über die Meeresfläche und umschließt ruhiges Wasser. Dieses wird in der Regel durch Einschaltungen des Walles für Schiffe zugänglich.

[§182] Umgestaltung der Oberfläche. — Die Brandungswelle übt an einem Korallenriff dieselbe Einwirkung aus, welche früher an Felsküsten beschrieben wurde (§ 153, §154). Aber der Vorgang gestaltet sich dadurch eigenartig, daß neben der Zerstörung ein unaufhörliches Fortbauen stattfindet, und zwar am regesten dort, wo die Brandung am heftigsten anstürmt und die größte zerstörende Kraft hat. Man kennt vor Allem durch die Arbeiten von Dana die allgemeinen Züge der Erscheinung; doch ist manche Erweiterung der Kenntnis durch fortgesetzte Beobachtung an einer und derselben Stelle zu erwarten. Die Stätte für Zerstörung und Aufbereitung ist auch hier der Brandungsstrand. Bei den ozeanischen Inseln hat er wegen der geringen Höhendifferenz zwischen Ebbe und Flut nur eine Breite von 30—100 m und eine geringe Abdachung. Am oberen Rand erhebt sich unter steilerem, nach oben bis zu 30 und 35 Grad zunehmendem Winkel der Strandwall, welcher aus groben Blöcken besteht und eine Höhe von 2—3 Meter erreicht. Die zur Flutzeit herandrängenden Wellen haben das doppelte Bestreben, die Blöcke zu zertrümmern und sie nach der Höhe des Walles zu transportieren. Feiner, aus der Zerstörung von Korallen und Muschelschalen hervorgegangener weißer Kalksand wird von oben nach unten auf der Strandfläche fortbewegt, während die bei niederem Wasserstand am Außenrand abgebrochenen Blöcke, insoweit sie durch den Stoß auf jene gebracht werden, in entgegengesetzter Richtung allmählich den Strand hinauf wandern bis zu der Stätte der hauptsächlichsten Zerstörung. Ein Teil des Sandes wird durch Winde auf die Höhe des Strandwalles und weiter über ihn hinweg geführt; ein anderer, jedenfalls sehr viel größerer Teil wird durch die rückläufigen Wellen und durch Strömungen fortgenommen.

Die Stätte des neuen Wachstums der Korallen hat ihr oberes Ende am unteren Rand der Strandfläche, wo durch Fortwuchern die Tendenz zur Bildung nach außen gerichteter Überwallungen obwaltet, und setzt an der Außenseite des Rifffes fort bis zu der Tiefe, in welcher die Korallentiere leben können. Es wird dadurch auch bei gleichbleibendem Meeresstand der Zerstörung fortdauernd neues Material geliefert, was bei einer Felsküste nicht der Fall ist.

Fortwachsen an den äußeren Rändern durch Absonderung des im Meerwasser gelösten Kalkes, Abreißen von Teilen der Korallenbauten durch die Brandungswelle, Abnutzung der Blöcke und Fortschieben derselben auf der Strandfläche nach der Stätte der intensivsten Wirkung, weitere Zerstörung und Hinauftreiben derselben nach der Höhe des Strandwalles; endlich Anhäufung des Korallensandes durch Wind und Entführung desselben durch Strömungen — das scheinen die wesentlichen Vorgänge bei der Umgestaltung des sichtbaren Teiles der Korallenriffe zu sein.

Diese Vorgänge werden sich je nach den örtlichen Umständen erheblich modifizieren. Zunächst wird die Höhe des Trümmerhauf-Werkes von der Gezeitendifferenz und von der Höhe, welche die Sturmwellen erreichen, abhängen müssen. Letztere bestimmen die äußerste Höhe, bis zu welcher große Blöcke aufwärts transportiert werden können. Ferner sollte die herrschende Windrichtung von großem Einfluß sein; denn auf der Windseite findet nicht nur ein intensiveres Bauen der Korallen statt als auf der Leeseite, sondern auch ein bedeutenderer Transport durch die Brandungswellen, ebenso wie durch den Wind. Andere Modifikationen, über die es noch an genügenden Untersuchungen fehlt, sollten durch die Strömungen hervorgerufen werden. Da sie Nahrung zuführen, begünstigen sie den Fortbau auf einer Seite; die andere erhält diesen Vorteil in geringerem Grad. Das gleichsinnige Wirken von Wind und Strömung in den Passatregionen sollte dort gewisse gleichartige Erscheinungen hervorrufen. Wiederum eine andere Klasse von Modifikationen, welche für eingehendes Studium besonders zu empfehlen sind, werden in der äußeren Ausgestaltung der Korallenbauten durch die positive oder negative Strandverschiebung hervorgerufen werden. Mit jedem Centimeter, um welchen eine Bewegung in ersterem Sinn geschieht, wird das Niveau der Zerstörung um eben so viel hinaufgerückt; um den gleichen Betrag ist den Korallentieren mehr Spielraum zum ungehinderten Fortbau nach oben gewährt, während auch ihre untere Lebensgrenze um ebenso viel nach oben rückt. Bei einer Insel aus nicht zoogenem Gestein von derselben Konsistenz würde bei weiterem Vordringen des Meeres schnell vollständige Abrasion erfolgen. Diese kann bei Korallenbauten dadurch verhindert werden, daß das Aufwärtswachsen der Stöcke am unteren Rand der Strandzone und jenseits desselben im Meer stattfindet. Die Strandlinie der Ebbe rückt daher nicht nach dem Inneren hin, sondern steigt im Allgemeinen vertikal über sich selbst nach Maßgabe der Erhöhung des Meeresspiegels an. Dies sind unabweisbare theoretische Postulate, denen aber der durch Beobachtung für einzelne Fälle zu erbringende Beweis fehlt. Nicht minder sollten diejenigen Fälle, in welchen eine negative Strandlinienverschiebung nachweisbar ist, auf die mit dieser stattgehabten Veränderungen genau untersucht werden.

Die beschriebenen Vorgänge in der Außenzone der Korallenbauten sind die dynamische Vorbedingung für die Ausgestaltung nach innen. Die über das Meer hervorragenden Teile haben meist nur eine Breite von 50 bis 600 m. Sie bestehen am Außenrand aus geschwärzten Blöcken von Korallenfels, die ein Volumen von 2 bis 3 Kubikmeter erreichen. Weiter nach innen sind dieselben von Korallensand bedeckt. Derselbe nimmt die Gestalt von Dünen nur unvollständig an, da er in der Regel schon in 2 bis 3 Fuß Tiefe fest verkittet und meist an der Oberfläche mit Vegetation, deren faulende Substanzen ihn schwarz färben, bedeckt ist. Die Zementierung wird der Kohlensäure des Regenwassers zugeschrieben. Da der Kalksand sich durch Insolation verhältnismäßig wenig erwärmt, so ist die Verdunstung gering. Der früher (§ 51) dargestellten Verteilung

des Wassers im Boden entsprechend erhält sich in diesem das Süßwasser, welches die Existenz des Menschen auf Koralleninseln ermöglicht.

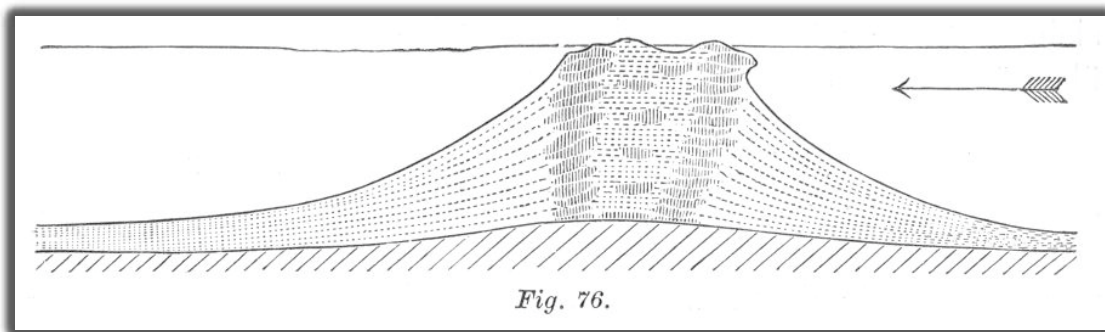
Der Innenrand senkt sich allmählich zur Lagune hinab. Hier geschieht die Ausfüllung hauptsächlich durch hereingewehten Korallen- und Muschelsand. Doch leben dort auch einzelne Korallenstöcke, deren Existenz von der Möglichkeit der Nahrungszufuhr abhängt. Bei größeren Lagunen hat man Wassertiefen von 30 bis 100 m gefunden; der Boden in ihnen hat eine gleichmäßige Gestalt. Kleinere Lagunen sind häufig seicht, zuweilen trocken, und dann in trockener Jahreszeit mit Salzinkrustationen bedeckt, bei Regenzeit halb ausgesüßt.

[§183] Untermeerische Gestalt der Korallenriffe. — Dies ist ein Gegenstand, dessen exakte Darstellung in hohem Maße zu wünschen ist, da er unmittelbare Beziehung zu der Entstehungsgeschichte der in Rede stehenden Gebilde hat. Es liegen vortreffliche, aber doch nur vereinzelte, und lückenhafte Beobachtungen vor, und es wäre bei dem jetzigen Stand der Theorien ganz besonders anzuraten, in einzelnen lehrreichen Fällen genaue Aufnahmen mittelst zahlreicher Lotungen systematisch auszuführen. Im Allgemeinen hat außerhalb der Wallriffe das Meer eine geringere Tiefe als in den Regionen, welche durch die Erscheinung der Atolle ausgezeichnet sind. In diesen sind Tiefen von 2000 bis 4000 m und mehr vielfach gelotet worden, und zwar sind es ziemlich ebene Böden, welche sich zwischen den Inselreihen ausbreiten.

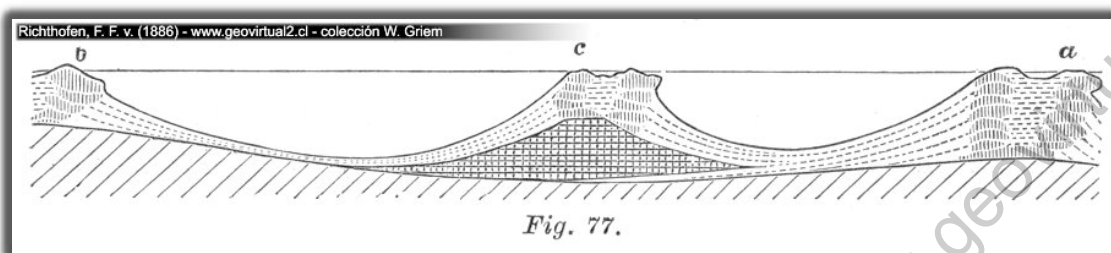
Die bisher gemachten Erfahrungen lassen sich dahin zusammenfassen, daß außerhalb der Ebbezone zuweilen ein bis 200 m breiter, erst schnell, dann langsamer an Tiefe zunehmender Streifen folgt, auf welchem die Korallen fortbauen, zuweilen aber, und zwar besonders an der höher aufragenden Wetterseite, ein so starker Zuwachs von Korallenstöcken stattfindet, daß der Band des Riffes über den Untergrund vorragt. Dana erreichte bei der Insel Metis (Tahiti) dicht an der Küste mit einer Leine von 300 m keinen Grund und fand in dem Horizontalabstand von 1600 m eine Tiefe von 1100 m. Die „Gazelle“ fand (nach Studer) in den meisten Fällen unmittelbar am Rand einen wahrscheinlich durch Überbau an der Oberfläche veranlaßten senkrechten Abfall zur Tiefe von 30 bis 50 Faden; dann eine Abdachung von 40 bis 60 Grad Neigung bis hinab zu einer Tiefe von 1000 bis 2000 Faden, in der Tonga-Gruppe nur bis zu einer solchen von 900 bis 1000 Faden. Wenn diese Berechnungen des Neigungswinkels richtig sind, so hat man daraus zu schließen, daß dem Meeresboden ein Kegel mit außerordentlich steiler Böschung aufsitzt, dessen oberster Teil als der jetzt erkennbare Teil des Riffes senkrecht (oder, durch Vorhandensein einer kronenartigen Überwallung, scheinbar senkrecht) ansteigt. Da der angegebene Abfallswinkel so steil ist, wie er auf dem Festland bei gleichem Vertikalabstand selten und isoliert auftritt, und wie er sonst auf dem Meeresboden nur ganz vereinzelt und nur an solchen Stellen gefunden worden ist, wo ihm Schuttmassen (von Eisbergen herrührend, s. § 189, 4) aufgelagert sind, so müßte man aus den Zahlen den Schluß ziehen, daß ein Schuttkegel von ungewöhnlicher Steilheit den unteren Teil eines Korallenriffes bildet. Dies würde, abgesehen von der Steilheit, auch a priori zu folgern sein. Denn bei jeder Flut entführen die Strömungen dem Strand Korallensand und fein zerriebenes Material. Diese Stoffe müssen zu Boden sinken, und zwar die gröberen in der unmittelbaren Umgebung, die feineren in größerer Entfernung; die letztere muß um so größer sein, als die feineren Teile langsamer sinken und außerdem, wegen der größeren Tiefe des Meeres in das sie gelangen, durch die Strömungen weit getragen werden. Während sonach um jedes Riff ein sehr flacher, mit wachsender Entfernung an Neigung abnehmender Schuttkegel feineren Materials, besonders in der Richtung der vorherrschenden Strömung, gebildet werden muß, hat man auch selbstverständlich anzunehmen, daß die an dem übergreifenden Bau sich brechende Welle des Ozeans größere Korallenblöcke hinwegnehmen und größtenteils zu Boden

fallen lassen wird. Der von diesen gebildete Schuttkegel sollte eine steile Neigung haben und sich ringsum bilden, vorwaltend aber an der Wetterseite.

Wenn das Riff aus einer Tiefe von mehreren tausend Fuß allmählich emporwächst, sollte es sich also in einen mit ihm selbst an Höhe und zugleich an Umfang sich vergrößernden Schuttkegel von Korallenstoff hüllen. Derselbe sollte aus einem steilen oberen Kegel von gröberem Blöcken und einem sehr sanft abgedachten, nach der Strömungsrichtung in die Länge gezogenen unteren Kegel bestehen. Die gegenwärtig vorliegende Beobachtung stimmt mit der theoretischen Voraussetzung nur insoweit nicht überein, als sie einen steilen Neigungswinkel, wie er nur im obersten Teil vorhanden sein sollte, für den ganzen Kegel bis hinab zum ausgeebneten Meeresboden zu ergeben scheint. Dies ist jedoch den Gesetzen der Aufschüttung lockeren Materials so sehr entgegen, daß die Abweichung der angenommenen Form von der Theorie wohl nur in der äußerst unvollkommenen Beobachtung gesucht werden muß.

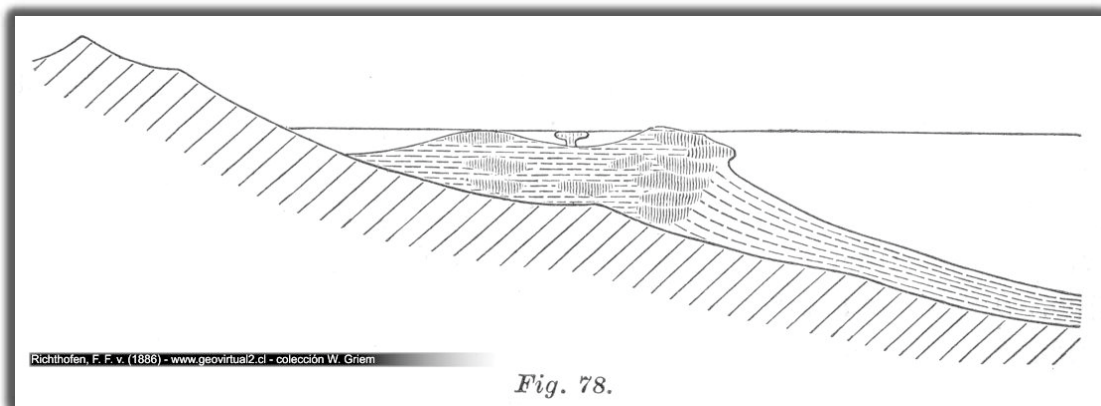


Das theoretische Bild der Gesamtgestalt eines Rifves kann auch auf den inneren Bau desselben ausgedehnt werden. Es ist klar, daß, wie immer der Untergrund beschaffen sein möge, ein Korallenbau von den ersten Stadien seiner Entstehung an der herrschenden Strömung entgegenwachsen muß. So lange er die Oberfläche noch nicht erreicht, findet ruhige Entwicklung statt. Aber von dem Zeitpunkt, in welchem er an dieselbe gelangt, wächst er auch der vorherrschenden Brandungsrichtung entgegen und erleidet zugleich an seinen Rändern eine so bedeutende Abtragung durch Zerstörung, daß sehr bald die Masse des Trümmermaterials grösser sein wird, als diejenige der festgewachsenen Korallenstöcke. Ein geringer Teil dieses Detritus wird zur Aufschüttung in den inneren Teilen in der in § 182 dargestellten Weise verwandt; dort bringen neue Korallenbauten wenig Zuwachs. Weitaus der größte Teil muß zum Aufbau des eine Koralleninsel mantelförmig umhüllenden und nach der Strömungsrichtung in die Länge gezogenen Schuttkegels verbraucht werden. Es wird also die Gesamtmasse eines im Meeresniveau als ein niedriger Atollring erscheinenden Korallenbaues, welcher auf einer sanften Bodenschwelle aufsitzt, im Längsschnitt ungefähr die in Fig. 76 angegebene Gestalt haben, wobei die senkrechte Schraffierung den festen Korallenbau, die gebrochenen Linien den Detritus des Inneren und des Umhüllungskegels bezeichnen, und der Pfeil die Richtung der Strömung angibt, welche als gleichbleibend angenommen ist. Zu bemerken ist, daß die Strömungsseite noch steileren Abfall haben,



und das übergreifende Aufwachsen an derselben Seite in noch stärkerem Maße stattfinden dürfte. In Fig. 77 ist der Versuch gemacht, theoretisch das Verhältnis darzustellen, wie es sich gestaltet, wenn, nachdem die verschiedenartigen Riffe a und b eine gewisse Höhe erreicht haben, zwischen ihnen ein Vulkan c aufgeworfen wird, auf dessen Gipfel das jüngste Riff emporgewachsen ist. Die Mengung des Detritus der Riffe mit vulkanischen Auswurfsprodukten würde dabei eine erhebliche Rolle spielen, welche hier außer acht gelassen ist. Auch müßten die gegenseitigen Entfernungen von a, b und c grösser angenommen werden.

Fig. 78 stellt die wahrscheinliche Struktur eines Barrenriffes dar, wobei vorausgesetzt ist, daß die Korallen bei einem gewissen Stand des Meeres zu bauen begannen, und dann positive Strandverschiebung und Emporwachsen des Riffes im Gleichgewicht standen. Auch hier muß ein breiter Schuttkegel der sich gegen die Strömung übergreifend vorschiebenden, daher überhängend gestalteten Außenwand anlagern.



Vielfache Modifikationen der Gestalt müssen durch Schwankung des Meeresspiegels hervorgebracht werden. Trat, wie es oft vor Beginn vulkanischer Tätigkeit der Fall gewesen zu sein scheint, Hebung ein, so konnte ein Riff trocken gelegt werden. Folgte dann, wie es ebenfalls in vulkanischen Gegenden zu beachten ist, eine Senkung, so vermochten entweder die Korallen das alte, in der Zwischenzeit durch die Agentien des Festlandes umgestaltete Riff mit einem neuen Kranz von Bauten in der Art der Barrenriffe zu umgürten und es vor Zerstörung durch die Brandung zu schützen; oder sie wurden durch irgend welche Umstände, zu denen die vulkanische Tätigkeit ganz besonders Anlaß geben konnte, am Bauen gehindert, und in diesem Fall konnte die Brandungswelle eine Abrasionsfläche durch das ganze Riff legen. Wenn z. B. das in

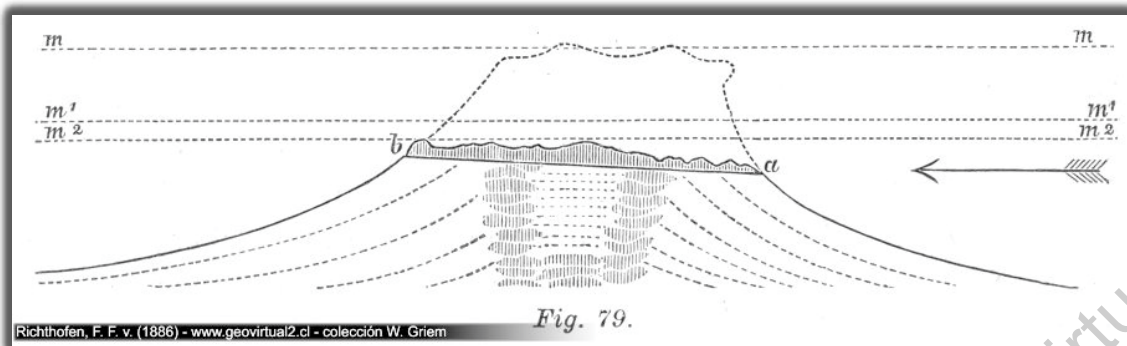


Fig. 79 dargestellte Riff, welches bei dem Meeressand mm im Fortwachsen begriffen war, bis zu dem Niveau, von a aus dem Meer gehoben wurde und sich dann bei aufgehobener Bautätigkeit wieder senkte, so müßte eine Abrasionsfläche a b durch dasselbe gelegt werden. Kam diese tief unter den Meeresspiegel zu liegen, so blieb sie unverändert, wenn auch kalkabsondernde

Tiere und Pflanzen verschiedener Art sich auf ihr ansiedeln konnten. Näherte sich ihr in späterer Zeit wieder die Oberfläche des Meeres bis $m^1 m^1$ welches 30 m über b gelegen sein mag, so konnte hier die Bautätigkeit wieder beginnen und, bei weiterer Senkung des Meeresspiegels nach $m^2 m^2$, allmählich auf der Fläche gegen a hin fortschreiten. Die Bauten bei b würden die Meeresfläche erreicht haben, wenn die gegen a hin gelegenen noch in ihren Anfangsstadien sein würden. Man würde also einen steilen Abfall nach der von der Strömung abgewandten, eine sehr sanfte Abdachung nach der ihr zugekehrten Seite wahrnehmen. Die Südküste von Java bietet viele verschiedenartige, auf Oszillation deutende Erscheinungen, und man könnte versucht sein, den hier dargestellten Fall bei den Palau-Inseln anzunehmen, über welche Sempers schöne Untersuchungen vorliegen. Dort scheint es Stellen zu geben, wo die Abrasionsfläche einen Korallenbau vollständig durchschnitten, andere, wo neu entstandene Bauten der Brandungswelle den Eingriff in die alten Gebilde verwehrten, noch andere, wo feste Andesitmassen ihren Zerstörungsbereich beschränkten. Aus den genau erforschten Oberflächenverhältnissen ergibt sich nach Semper der Schluß, daß die Inseln jetzt in „Hebung“ begriffen sind, oder eine solche vor kurzer Zeit erfahren haben. Ob der zweite Schluß, daß die vertikale Mächtigkeit der weit ausgedehnten Bauten nicht Mehr betrage als jene geringe Tiefe, bis zu welcher hinab riffbauende Korallen leben können, eine Berechtigung hat, läßt sich nicht festsetzen, so lange nicht die Gestalt des Meeresgrundes hier genau bekannt ist. Da er nicht flach ist, sondern nach Osten wie nach Westen in große Tiefen abfällt, und selbst die Kanäle in dem Riffkalk eine größere Tiefe als 30 bis 40 m erreichen, so dürfte man auf Grund der mitgeteilten Forschungen zu der Vermutung berechtigt sein, daß auch dort die Korallenbauten sich auf tief liegendem Meeresgrund erheben.

[§184] Neuere Theorien über die Bildung der Korallenriffe. — Die meisten der Beobachtungen, auf welche in den vorigen Paragraphen hingewiesen worden ist, haben als Endziel die Erklärung der Entstehungsweise der Korallenriffe. Dieselbe ist ein wichtiges Kapitel der physischen Geographie und der Geologie geworden, seitdem Darwin und Dana in einer in jedem Lehrbuch der Geologie und der physischen Geographie auseinandergesetzten Art weittragende Schlüsse darauf gründeten. In neuerer Zeit wurden Semper, Rein, Murray und Studer auf Grund sorgfältiger Beobachtungen, und unabhängig voneinander, dazu geführt, jene allgemein angenommen gewesene frühere Theorie zu verwerfen und eine neue an die Stelle zu setzen, welche in Deutschland sofort zahlreiche Anhänger gefunden hat.

Diese neueren Anschauungen gründen sich darauf, daß man in den Niederschlägen der Globigerinen, in Muschelbänken und anderen Anhäufungen von Schalthierresten einen früher nicht in seiner vollen Bedeutung gewürdigten Faktor kennen gelernt hat, durch welchen auf dem Meeresgrund ein aus Kalkmassen bestehender Aufbau in gewissen Tiefen geschehen kann, und auf die daraus abgeleitete Folgerung, daß durch solchen Aufbau ein Untergestell bis zu derjenigen Nähe der Oberfläche, in welcher die riffbauenden Korallen mit ihrer Arbeit einzusetzen im Stande sind, geschaffen werden kann. Semper, welchem das Verdienst gebührt, den großen Einfluß der Strömungen auf die Formen der obersten Teile der Korallenbauten zuerst scharf erfaßt zu haben, setzte Anfangs ganz allgemein Hebungen an die Stelle von Darwin's Senkungen, indem das Fundament von untermeerischen Erhöhungen und Plateaus sich durch vulkanische Kräfte nach der Meeresfläche hin bewegen und in einem gewissen Stadium der Erhebung die Ansiedelung der Korallen ermöglichen sollte. Nachdem inzwischen die Beobachtungen von Graf Pourtales die Bildung konglomeratartiger Ablagerungen von Korallen und Schalthieren in der Nähe der Küsten von Florida in Tiefen von 90 bis 300 Faden erwiesen hatten, nahm Semper die Emporhebung derartig beschaffener Gründe an, während die anderen der genannten Forscher das Fortwachsen dieser Bildungen ans irgend einer nicht zu großen Tiefe bis in die Nähe der Meeresfläche als genügend erachteten, um die Bildung von Korallenbauten bei unverändertem

Meeresstand zu erklären. Bein nahm für die Bahama-Riffe eine submarine Wölbung des Bodens als Unterlage solcher Konglomerate an, ohne daran Vermutungen über die Felsbeschaffenheit des gewölbten Meeresbodens zu knüpfen; Murray setzte in allgemeinerer Weise, wie schon früher Chamisso, als Grundlage der Koralleninseln überhaupt das Bestehen submariner vulkanischer Berge voraus, deren Gipfel durch Anhäufung organischer Sedimente erhöht worden seien; Atolle würden auf ihnen in Folge der in den randlichen Zonen vorhandenen günstigeren Wachstums-Bedingungen entstanden sein; Studer glaubte aus der Reihenanzordnung der Riffe auf die Existenz vielkuppiger submariner Gebirgszüge mit steilen Gehängen schließen zu dürfen, und hielt außerdem die „Hebung“ für ein die Korallenbildung viel allgemeiner beeinflussendes Agens als die „Senkung“.

Es ist diesen neueren Forschungen zu entnehmen, daß Darwin ein zu großes Gewicht auf die „Senkung“ gelegt hat. Korallenriffe können sich offenbar ohne jegliche Änderung im Meeresstand überall bilden, wo geringe Meerestiefe, entsprechende Temperaturverhältnisse, günstiger Untergrund, Reinheit des Seewassers und Strömungen die erforderlichen Bedingungen für die Ansiedelung und das Fortwachsen riffbauender Korallen gewähren. Sie werden durch Fortwachsen an die Oberfläche im offenen Meer die Gestalt von Ringwällen, an den Küsten diejenige von Umsäumungen, und in weiteren Abständen diejenige von begleitenden nach außen konvex gestalteten Wällen annehmen. Durch randliches Fortwachsen und gleichzeitige Bildung eines Schuttkegels können sie eine untermeerische Kuppe bis zu einem gewissen Grad überwuchern und einen Aufsatz bilden, dessen Breite wahrscheinlich, bei gegebener Gestalt und Größe der Kuppe (und 'bei unverändertem Meeresstand), einen gewissen Maximalbetrag nicht übersteigen können. Auf flachem Grund hingegen wird in der den Strömungen entgegengesetzten Richtung ein Fortbauen bis auf weite Entfernung hin stattfinden können, so weit der flache Boden reicht, oder durch den Detritus der Riffe selbst neu geschaffen wird. Die Ringform wird auch dann entstehen.

Es kann ferner keinem Zweifel unterliegen, daß in der von Graf Pourtalés beobachteten Art ein nicht allzu tiefer Meeresgrund erhöht werden kann, bis er das für den Ansatz der Korallen geeignete Niveau erreicht. Dies wird besonders dort von Belang sein, wo während einer gewissen Zeitdauer ein durch andere Ursachen bedingtes Seichtwerden des Meeres nicht eintritt. Es ist jedoch in Betracht zu ziehen, daß ein konstantes Verhältnis im Niveau von Meer und Land allenthalben auf der Erde niemals lange zu währen scheint. Tritt eine negative Strandverschiebung ein, so wird die Oberfläche der bereits gebildeten Riffe trocken gelegt, während gleichzeitig ein Fortwachsen der Korallen nach denjenigen Seiten, an welchen sich Flachboden und günstige Strömung vereinigen, stattfinden wird. Dieses Verhältnis wurde in der Tat von Semper im südlichen Teil der Palau-Inseln beobachtet. Positive Strandverschiebung hingegen muß, falls sie schneller geschieht als die Korallen nachbauen können, die tiefe Versenkung des Riffes und das Absterben der Korallentiere zur Folge haben, bis jenes, zu Folge einer entgegengesetzten Bewegung, der Oberfläche des Meeres wieder nahe genug kommt, um die abermalige Ansiedelung der Korallen und das erneute Fortwachsen des Riffes zu ermöglichen. Vermögen aber die Korallen in ihrem Fortbauen gleichen Schritt mit der Erhebung der Meeresfläche zu halten, so muß eine Fortentwicklung der Riffe nach oben stattfinden, und jene Form eines aus einem Schuttkegel sich erhebenden, oben zum Teil übergreifenden steilwandigen Massivs entstehen, wie sie nach den Beobachtungen von Dana und Studer für die Koralleninseln des Pazifischen Ozeans (s. § 183) charakteristisch zu sein scheint. Die vertikalen Verschiebungen des Meeresspiegels aber pflegen, wie wiederholt angedeutet wurde, oszillatorisch zu sein. Die jetzige Gestalt der durch jene Beobachtungen bezeichneten, weitaus vorwaltenden Klasse von Koralleninseln dürfte

mithin als das Resultat mehrfacher, einander entgegengesetzter Bewegungen anzusehen sein, deren Gesamteffekt aber in einer sehr bedeutenden negativen Verschiebung bestand.

Wenn man bei der Darwin'schen Theorie die Frage der fortdauernden Senkung des Meeresbodens unerörtert läßt und nur an ihrem eigentlichen Kern, nämlich einer allmählichen Zunahme des Vertikalabstandes zwischen Meeresboden und Meeresoberfläche, festhält, so ist hierin noch immer die ungezwungenste, natürlichste und wahrscheinlichste Erklärung für die Entstehung der Mehrzahl der Koralleninseln gegeben. Denn es ist mit unseren Kenntnissen tatsächlicher Verhältnisse ebenso unvereinbar, Reihungen von hunderten gleich hoher Vulkane als die Basis von Koralleninseln anzunehmen, als die Existenz von untermeerischen, mit Abfällen steilster Art versehenen und in nahezu gleich hohen, zahlreichen Kuppen aufragenden Gebirgen vorauszusetzen. Ein derartiges Gebirge könnte seine Gestalt allein durch die umbildenden Kräfte des Festlandes erhalten haben. Wäre es in das Meer versenkt worden, so hätte es unter keinen Umständen seine Gestalt behalten, sondern würde in mehr oder weniger vollkommenem Grad abradiert worden sein. Korallenbauten allein hätten dies streckenweise hindern können; und um dies zu tun, hätten sie bei der Versenkung zu einem Wall von 1000 bis 2000 Faden Höhe emporwachsen müssen. Ein solcher Wall aber besteht nicht, und selbst die Möglichkeit seines Bestehens könnte am wenigsten von Denen zugegeben werden, welche der Hypothese von der Existenz submariner sehr steiler Hochgebirge als der Basis der Koralleninseln huldigen. Es ist überdies zu bedenken, daß im Stillen Ozean, falls die Unterlage der Korallenbauten sich nur in der für die Existenz der Korallentiere günstigen Tiefe befände, zahlreiche derartige Gebirge aufragten und auf einem Areal von Millionen von Quadratkilometern sämtlich in ihren Gipfeln eine nahezu gleiche Höhe haben müßten.

Soweit die bisherigen Messungen einen Schluß auf die morphographischen Verhältnisse der großen, inselförmig aufragenden pelagischen Korallenbauten und ihres Untergrundes gestatten, darf man annehmen, daß der Meeresboden in dem Stillen Ozean, als dem Hauptverbreitungsgebiet, aus flachen, langgedehnten, parallelen, zum Teil mit Vulkanen besetzten Bodenschwellen (gleichviel ob sie früherer Abrasion, oder Zusammenschiebungen und Brüchen der Erdrinde ihre Entstehung verdanken mögen) besteht; daß ebenso auf deren breiten, in großer Tiefe liegenden Höhen, wie auf den aufgesetzten Vulkanen, die von weit ausgedehnten Schuttkegeln umgebenen Korallenriffe sich erheben; daß sich somit das Fortwachsen derselben durch eine zwar oszillatorische, aber doch im Wesentlichen im Sinn positiver Strandverschiebung geschehene Änderung des Meeresspiegels vollzogen hat. Ein senkrechtes Ansteigen der Außenwände aus der Tiefe, wie es Darwin annahm, ist allerdings mit unseren jetzigen Kenntnissen von der Arbeit des brandenden Meeres nicht mehr zu vereinigen. Manche Riffe mögen eine einzeln aufragende Felskuppe, oder den Gipfel eines Vulkans zur Basis und doch ihre Unterlage jetzt in großer Tiefe unter der Meeresoberfläche haben. Wir kennen vulkanische Inseln, die durch eine Lagune von 100 Meter Tiefe von dem umgebenden Wallriff getrennt sind. In solchen Fällen muß eine „Senkung“ vorliegen; denn wären die neuern Anschauungen allein richtig, so müßte als Unterlage der Korallen ein Ringwall von derselben Gestalt durch andere Meerestiere zu dem für die Ansiedelung der Korallen erforderlichen Niveau aufgebaut worden sein. Derartige Wälle kennt man nicht.

Bei dem Conflict der Anschauungen über diesen, in wichtige Fragen der Erdgeschichte eingreifenden Gegenstand kann es dem Reisenden nicht dringend genug empfohlen werden, ohne vorgefaßte Meinung von Fall zu Fall mit größter Sorgfalt zu beobachten. Jedes Riff hat seine besondere Geschichte der Entstehung und der Entwicklung. Es kommt noch immer darauf an, die Art und Weise kennen zu lernen, wie Beide durch die einzelnen Faktoren beeinflusst werden. Nach

Sempers Vorgang sollte im Kleinen untersucht werden, welche Änderungen am einzelnen Korallenstock durch das Einwirken verschiedener Agentien hervorgerufen werden, und in wie weit ähnliche Änderungen an dem Gesamtbau herbeigeführt werden. Andererseits sollte der Zusammenhang der großen bei der Erforschung der Korallenbauten in Betracht kommenden Erscheinungen nicht aus dem Auge verloren werden.

[§185] Trockengelegte Korallenriffe. — Wenn man auf Inseln oder Festländern rezente Kalksteinmassen findet, so ist es meist schwierig festzustellen, ob sie Korallenbauten sind, welche durch negative Strandverschiebung trocken gelegt wurden. Ein sicherer Schluß ist gestattet, wenn ein Teil der Masse sich in das Meer herabsenkt und hier noch im Zustand des Fortwachsens begriffen ist. Von solchem nachweisbarem Fall wird der Beobachter Übergänge zu anderen finden, welche ihm vorher zweifelhaft waren, und er kann Übung in dem Auf-finden festländisch gewordener Riffe gewinnen. Die Untersuchungen über die Änderungen, welche dabei das Gestein erfährt, sind von Interesse für die Erklärung der Entstehungsart vieler Kalksteine und Dolomite früherer Epochen der Erdgeschichte.

Die Forschung sollte mit dem Gestein beginnen, welches die noch in der Entwicklung begriffenen Korallenbauten zusammensetzt. An der Bildung desselben nehmen vor Allem zwei Elemente teil, nämlich einerseits die festen großen Korallenstöcke, andererseits der Trümmersand, welcher aus der Zerstörung der Korallenstöcke und aller kalkabsondernden Bewohner der Korallenbauten, insbesondere, der Schnecken, der Zwischaler und der Seeigel, hervorgeht. Durch die Zementierung dieses Sandes, welcher nicht nur die zentralen Teile und die Lagune, sondern auch alle zwischen den Stöcken übrig bleibenden Räume ausfüllt und in jede kleine Öffnung eindringt, entsteht ein festes, graufarbiges, eine körnige Struktur bewahrendes Gestein. Man kann es am besten an solchen Riffen beobachten, die eben dem Meer entstiegen sind. Mit dem Alter, d. h. mit der Dauer des zementierenden Vorganges, und mit der Tiefe unter der Oberfläche des Korallenbaues, scheint der Charakter gewöhnlichen Kalksteins sich immer mehr einzustellen, und das Hervortreten der Korallenstöcke, die sich anfangs durch weißliche Färbung kennzeichnen, zu verschwinden. Es sollten die Übergangsstufen von dem frischen Korallensand und dem Korallenstock bis zu dem Kalkstein, in welchem Beides nicht mehr zu unterscheiden ist, gesammelt werden. Auch ist auf die bankförmige oder schichtartige Absonderung zu achten, welche der Kalkstein unter Druck annimmt, ebenso wie auf etwaige Ausscheidungen der Oxyde von Eisen und Mangan und den von den abgestorbenen Tieren herrührenden Gehalt an Bitumen. Endlich ist der Neigung festländisch gewordener Korallenkalke zur Grottenbildung Aufmerksamkeit zu schenken.

Trocken gelegte Korallenbauten finden sich häufig in solchen Küstengebieten, welche außerdem durch vulkanische Tätigkeit ausgezeichnet sind. Damit tritt ein neues, geologisch interessantes Moment hinzu. Die Beobachtung zeigt das häufige Schwanken, welches in der Entwicklung der Korallen stattgefunden hat. Es zeigt sich, daß bald einzelne, noch nicht zu einem Riff verbundene Stöcke, bald ein angefangenes Riff von Tuffmassen überschüttet wurden, und dann neue Ansätze begannen, die später ein gleiches Schicksal erfuhren. Selbst Lavaströme dürften sich im Kontakt mit Korallenkalk finden lassen, und es wäre dann die Umwandlung des letzteren zu untersuchen.

Andere Fragen beziehen sich auf die Art des Untergrundes, auf welchem die Korallenstöcke sich zuerst ansiedelten, und auf die Ausbreitung des Korallensandes und Korallenschlammes außerhalb der Riffe. Es scheint, daß Korallen sich auf Kalkstein und vulkanischem Gestein gern ansiedeln, dagegen auf schlammigen Sedimenten und Quarzsand nicht gedeihen. Indessen können Muschelschalen, besonders wenn sie durch Zement verbunden werden, eine geeignete

Unterlage über solchen Gebilden vermitteln. Was den Detritus betrifft, so sollte die Zunahme des schlammigen Charakters mit der Entfernung von der Entstehungsstätte den Charakter des Gesteins beeinflussen. Globigerinen und Schalen anderer Mikrozoen sollten sich in verhältnismäßig wachsender Menge einstellen. An manchen Orten wird sich der kalkige Detritus mit den schlammigen Sedimenten der Flußmündungen vermischt haben, an anderen von Tuffmaterial durchsetzt sein, auch wohl mit diesem in einzelnen Lagen wechseln.

Es ist ferner darauf zu achten, ob nicht der Druck, welchen Korallenriffe auf die Unterlage üben müssen, in solchen Fällen wenn diese aus weicheren Schichtmassen besteht, sich durch ein Einsinken in dieselben und ein seitliches Herauspressen manifestiert. Wird auch der Schuttkegel des Riffes den Effekt haben, eine allmähliche Abminderung des Druckes von der Stelle seines Maximums an zu veranlassen, so wird doch in Folge einer gleichbleibenden Meeresströmung in vielen Fällen dieser Schuttkegel, soweit er aus feinem Detritus besteht, nur nach einer Seite hin ausgebildet sein, nach derjenigen Seite hingegen, von welcher die Strömung kommt, ein schnellerer Übergang von dem stärksten Druck des Riffes nach demjenigen der Meereswassersäule stattfinden. Wird ein solches Riff trocken gelegt, so wirkt der absolute Druck, und es ist denkbar, daß dann noch erhebliche mechanische Wirkungen sich ereignen. Es scheint z. B. vulkanischer Tuffboden für die Ansiedelung riffbauender Korallen sehr günstig zu sein. Gerade in diesem kann eine mächtige aufgesetzte Kalksteinmasse vermutlich tief einsinken. [*1]

[*1]: Auf diesen Gesichtspunkt dürfte bei weiteren Forschungen in Süd-Tirol zu achten sein. Die dortigen Dolomitriffe tragen vielfache Spuren ihrer Entstehung als Korallenbauten. Unter den Schwierigkeiten, welche für jede andere Erklärungsart unüberwindlich, aber auch für die eben genannte vorhanden sind, steht das scharfbegrenzte Hinabtauchen der Riffkalke in Schichtmassen, welche aus einem Wechsel von Tuffen und Kalktrümmern bestehen. Sie schieben sich zwischen den unteren (Mendola-Dolomit) und den oberen (Schlern-Dolomit) bald in bedeutender Mächtigkeit ein, bald in fast verschwindender Dicke, und an vielen Stellen fehlt das Zwischenglied ganz. Es dürfte der Untersuchung wert sein, ob Tatsachen für ein solches Einsinken der Riffmassen an derartigen Stellen sprechen. Man würde in diesem Fall manches analoge Beispiel zu finden vermögen.

[§186] Morphologische Bedeutung der Korallenbauten. — Die Koralleninseln wurden an einer anderen Stelle (§ 176) als parasitische Gebilde bezeichnet, und dasselbe gilt für alle Korallenbauten. Sie entstehen nicht durch unmittelbare Umlagerung des Festen, sondern bauen sich aus Stoffen in die Höhe, welche durch animalische Tätigkeit aus dem Zustand der Lösung abgeschieden wurden, und diese Stoffe haben keine direkte Beziehung zu der Unterlage, oder zu den benachbarten Teilen der festen Erdrinde. Hierdurch ist ihnen eine allgemeine morphologische Signatur verliehen. Ein anderes bestimmendes Moment liegt darin, daß der Aufbau von unten nach oben in freier Erhebung und ohne Einschließung durch Seitenwände stattfindet; nur sekundär ist die horizontale Ablagerung von Detritus-Schichten damit verbunden. Die morphologische Bedeutung der mächtigen Bauten wird voller gewürdigt werden können, wenn die Formen der jetzigen Koralleninseln näher bekannt sein werden. Das verhältnismäßig geringe Vorkommen nachweisbarer mächtiger Korallenfelsmassen in Ablagerungen der Vorzeit dürfte nicht sowohl mit der vielfach verteidigten Permanenz der ozeanischen Becken, als mit der Spärlichkeit sicherer Beobachtungen über die Umwandlung von Korallenfels in gewöhnlichen Kalkstein und mit der Lösungsfähigkeit des an Hohlräumen reichen Korallenfelses zusammenhängen. Die Volumina werden in vielen Fällen bedeutend herabgemindert worden sein. Um indirekte Anhaltspunkte für die Beurteilung der Kalksteine mit Rücksicht auf ihre Beziehungen zu vormaligen

Korallenbauten zu gewinnen, erscheint es zweckmäßig, die auf jetzigen Korallenriffen und an den durch überhängende Massen vor Lichteinfluß geschützten Flanken derselben lebenden Faunen genau zu studieren und mit den unter anderen Verhältnissen existierenden Meeresfaunen zu vergleichen. Man darf voraussetzen, daß die abnormen Verhältnisse besondere Lebensbedingungen hervorrufen, die in der Vorzeit ähnlich waren wie heute.

Von einem anderen Gesichtspunkt ist die morphologische Bedeutung der Wallriffe zu beurteilen. Sie gewähren der Küste Schutz vor Abrasion. Die lockeren Tuffkegel der Vulkane des pazifischen Ozeans würden der letzteren leicht unterliegen, wenn sie nicht mit einer Schutzmauer umgürtet wären, welche sich in der Regel in gleichem Maße mit dem steigenden Meeresspiegel erhöhen muß und daher auch die höheren Teile der Kegel vor Zerstörung bewahrt, wenn der Meeresspiegel an sie heranreicht. Nur die atmosphärischen Agentien können dieselbe bewirken. An den Küsten der Festländer ist der Schutz viel weitgreifender als bei den Inseln. Das mächtigste aller zerstörenden Agentien wird durch die Korallentiere lahm gelegt. Es wäre von Interesse, in dieser Beziehung zwei Strecken derselben in positiver Strandverschiebung begriffenen Küste, von denen die eine mit Korallenbauten besetzt, die andere von ihnen frei wäre, mit einander zu vergleichen.

Diese Funktion erstreckt sich noch weiter. Die Wälle schließen Becken ab, in welche Flüsse münden. Sind auch diese klein, so werden sie doch häufig in tropischen Gegenden hinreichend sein, um ihre Alluvionen in die Korallenbecken vorzuschieben, mit der Tendenz dieselben auszufüllen, anstatt jene nach dem Meer hinauszuführen und den Strömungen zu überliefern.

c. Beobachtungen an vulkanischen Inseln.

[§187] Die Vulkane und vulkanischen Gesteine sind in einem anderen Kapitel (XIV) abgehandelt. Dieselben Beobachtungen, welche dort allgemein angeführt sind, beziehen sich auf die vom Meer umspülten oder nur durch Korallenbauten vom offenen Meer getrennten vulkanischen Berge. Als wesentliches Moment tritt hier die Form hinzu, welche die untermeerischen Teile dieser Inseln annehmen. Da das Wasser die ausgeworfenen Massen (mit Ausnahme der am feinsten zerstäubten) weiter trägt als die Luft, sollten am Boden des Meeres geringere Neigungswinkel geschaffen werden, als bei subaerischen Auswurfskegeln, und die Strömungen sollten wegen des geringeren Gewichtes, welches die Gesteine im Wasser haben, in höherem Grad als die Winde eine ungleiche Verteilung nach mehr oder weniger begünstigten Richtungen, daher auch eine Ungleichheit des beiderseitigen Abfallwinkels, zur Folge haben. Das Senkblei hat dies festzustellen. Von Interesse wäre es, an einem unter dem Schutz von Saumriffen dem Meer entstiegene und durch Erosionsfurchen in seinem inneren Bau aufgeschlossenen vulkanischen Gerüst die Neigungswinkel und Ablagerungsformen der als Tuffschichten niedergeschlagenen Ausbruchsmassen zu studieren, um damit die gewaltigen Anhäufungen von Tuffen zu vergleichen, welche in dem Aufbau mancher geologischer Formationen eine hervorragende Rolle spielen. Da untermeerische Tuffe von Seewasser durchtränkt sind, werden sie der Zersetzung durch saure Dämpfe in anderer Weise ausgesetzt sein, als solche die auf dem Festland abgelagert werden. Die Einwirkung sollte nicht sowohl in örtlichen intensiven Veränderungen, als vielmehr in einer allgemeinen, aber dem Grade nach geringeren Umwandlung größerer Massen bestehen.

An solchen vulkanischen Inseln, welche unter der vollen Einwirkung der Brandungswelle stehen, kann die intensive Arbeit der letzteren beobachtet werden. In Folge des großen Unterschiedes

in der Widerstandsfähigkeit von Lava und Tuffen werden unruhige Linien geschaffen, die in einem Wechsel von Lava-Vorsprüngen und in Tuff ausgewaschenen Buchten bestehen.

[p.413]

B. Gestalt und Beschaffenheit des Meeresbodens.

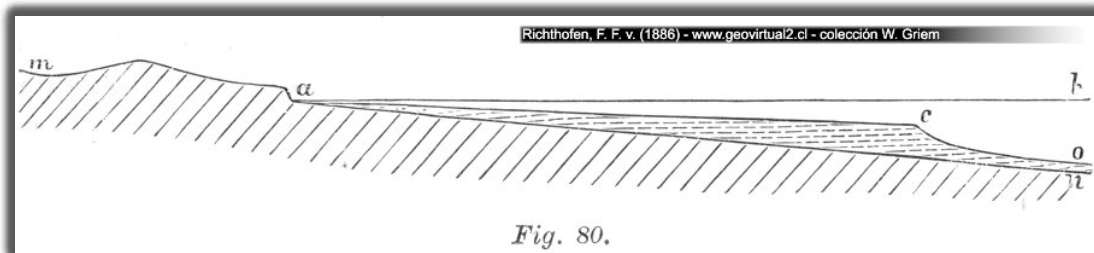
[§188] Gestalt des Meeresbodens. — Die Tiefseeforschung hat das Ergebnis geliefert, daß die Reliefformen des Meeresbodens sanft sind, indem im Allgemeinen sehr flache Mulden und Becken mit sehr allmählich sich erhebenden Anschwellungen wechseln, und in weiten Strecken vollkommene Ausebnung herrscht. Neigungswinkel von wenigen Minuten walten vor; solche von 6 bis 8 Grad sind als bedeutend zu bezeichnen. Steilere Böschungen sind Ausnahmeerscheinungen, und es scheint, daß Abfälle von mehr als 20 Grad Neigung nur dort gefunden worden sind, wo vulkanische Ausbrüche, Korallenbauten oder Wälle von Glazialschutt abnorme Verhältnisse in örtlicher Beschränkung verursachen. Ob, wie man erwarten könnte, durch Dislokation veranlaßte steilere Abfälle in größerer Erstreckung vorhanden sind, ist noch nicht bekannt; aber es kann als wahrscheinlich angenommen werden. Die Zentralgebiete der Kontinente bieten in den weiten flachen Mulden, welche für sie charakteristisch sind, eine Analogie zu den Formen des Meeresbodens. Aber dieselbe ist einseitig. Denn dort werden die Erhöhungen durch Gebirge verursacht, deren Aufbau aus festem Gestein zum äußerlichen Ausdruck kommt. Solche sind, mit Ausnahme mancher Küstenregionen und vulkanischer Ausbruchsmassen, auf dem Meeresboden nicht nachgewiesen worden. Die Anschwellungen desselben beruhen zwar wahrscheinlich zum größten Teil ursprünglich auf Ungleichheit im Relief des Grundbaues; aber sie konnten durch Sedimente erhöht werden, und manche unter ihnen verdanken gewiß ihre Entstehung gänzlich der Ungleichförmigkeit der Ablagerung derselben.

Die einschlägigen Untersuchungen in ihrer Allgemeinheit sind Aufgabe der Tiefseeforschung. Doch dürfte, wie in so vielen anderen Fällen, die sorgsame Arbeit im Kleinen Material für die Lösung größerer Probleme zu geben im Stande sein.

Wie der Zoologe mittelst des Schleppnetzes eine Bucht oder ein kleines randliches Meeresgebiet genau erforscht, so kann dies auch von dem Gesichtspunkt der physischen Geographie ohne den Aufwand des Apparates großartig ausgerüsteter Expeditionen geschehen. Wer die Konfiguration und Zusammensetzung eines Küstengebietes und der dasselbe etwa begleitenden Inseln, sowie die Arbeit der dort mündenden Flüsse und die Art der Brandungswirkung erforscht hat, der besitzt wichtige Anhaltspunkte für die Erklärung des Ursprungs der Gestalt und Beschaffenheit der angrenzenden Teile des Meeresbodens. Die Untersuchung wird dadurch in bestimmte Bahnen geleitet. Die für einen engen Umkreis gewonnenen Schlußfolgerungen werden sich auch auf solche angrenzende Regionen des tieferen Meeresbodens ausdehnen lassen, welche mit den dem Einzelforscher zu Gebote stehenden einfachen Mitteln nicht erreichbar sind, betreffs deren er jedoch die durch Lotungen größeren Maßstabes gewonnenen Ergebnisse zu Rate ziehen kann.

Abdachung der Küstenzone. — Unter den Gegenständen, welche sich in unmittelbarer Umgebung von Kontinenten und Inseln der Untersuchung darbieten, ist in erster Linie die Beschaffenheit jener Abdachung zu nennen, welche sich in sehr wechselnder Breite den meisten Küsten anschließt und im Mittel bis zur Hundertfadenlinie reicht, wo dann in der Regel ein etwas steileres Einfallen beginnt. Wenn auch die Abrasion in zahlreichen Fällen als die Ursache ihrer Existenz zu betrachten sein wird, so ist es doch nicht ersichtlich, weshalb nicht häufiger ein gleichmäßiger geringer Abfall bis in große Tiefe fortsetzt, sondern meist ungefähr in der Gegend der

genannten Tiefenlinie eine Unterbrechung der Stetigkeit stattfindet. Es ist für die Lösung der Frage in Betracht zu ziehen, daß diese Flachböden sich als Ablagerungsflächen für das dem Festland entnommene Zerstörungsmaterial darbieten, und daß die Tiefe von 200 m demjenigen Abstand von der Oberfläche entspricht, bis zu welchem an den Küsten der offenen Ozeane eine Umlagerung durch die Wellenbewegung des stürmisch aufgeregten Meeres nachgewiesen ist. Die Grenzlinie gegen den steileren Abfall dürfte daher ähnlich wie der Stirnrand eines lacustrinen Schuttkegels (§ 84) zu betrachten sein. Sollte die Erklärung richtig sein, so müßte die Scheidung der Abdachung des an die Küste sich anschließenden Meeresbodens in eine Zone flacheren und eine solche steileren Einfallens, ebenso wie die Breite der ersteren und die Tiefe der Trennungslinie, im einzelnen Fall von der Masse der zugeführten Sedimente und von der örtlichen Intensität der Wellenbewegung abhängen. Wegen des letzteren Umstandes würde sie an den Küsten geschützter Meere in geringerer Tiefe liegen, als an denen der offenen Ozeane.



Das hier angedeutete Verhältnis ist in Fig. 80 dargestellt, wo am das Festland, ab die Meeresfläche, ac eine 5 km breite Küstenabdachung bis zu der Hundertfadenlinie bei c bezeichnet. In an ist eine hypothetische Abrasionsfläche angegeben. Es würde dann ac on die transgredierend aufgelagerten Sedimente darstellen. Das Problem dürfte sich zur Untersuchung empfehlen. Indessen wird eine solche selbst nach dem Rückzug des Meeres bis zu dem Niveau von o schwer auszuführen sein, weil mit der allmählichen Tieferlegung der Meeresfläche auch der Punkt c seawärts vorgeschoben werden würde. Die Tiefenbewegung durch das aufgeregte Meer würde einen fortdauernden Transport der Oberflächenteile über c hinaus auszuführen streben. Dort würden schwach veränderte Lagerungsverhältnisse eintreten, wie sie in den mächtigen Komplexen tonig-sandiger Schichten älterer Formationen wahrzunehmen sind.

Mag auch in dem hier nur als Hypothese hingestellten Verhalten die allgemeinere und verbreitetere Ursache des Vorhandenseins einer flachen Küstenabdachung liegen, so ist doch damit selbstverständlich nicht ausgeschlossen, daß in vielen Fällen der scharf gezeichnete Übergang von geringer zu größerer Neigung mit der submarinen Begrenzungslinie des kontinentalen Grundbaues zusammenfallen wird.

Flachböden der Küsten. — Eine häufige Erscheinung sind Untiefen und Bänke, welche bald von der Küste ausspringen, bald durch tieferes Meer von ihr getrennt sind. Auch hier kann man es mit einer Abrasionsfläche, also mit einem allmählich abgeschliffenen und überfluteten Kontinentalgebiet zu tun haben. Schlamm oder Sand können aufgelagert sein und den Felsbau verbergen. Einzelne aus dem Flachboden aufragende festländische Inseln und Klippen würden diese Erklärungsweise bestärken; auch ist auf die Lage im Verhältnis zu den Gebirgen des Festlandes zu achten, da die Untiefen deren Fortsetzung bezeichnen können.

Flachböden können auch von der Anhäufung von festem Material allein herrühren. Überhaupt kann diese zu großen Ungleichheiten im Relief des Meeresbodens Anlaß geben. Um im Einzelfall den Grad der Wahrscheinlichkeit der einen oder der anderen Ursache, zu denen noch als dritte

die tektonischen Bewegungen in der Erdrinde kommen, zu prüfen, ist es zweckmäßig, sich die bis jetzt bekannten Formen der Sedimentbildung auf dem Boden des Meeres klar zu machen.

Sedimentbildung auf dem Meeresboden.

[§189] Um die festen Niederschläge im Meer zu verstehen, hat man einerseits die Stoffteilchen nach Art und Herstammung, andererseits die bewegenden und den Ort der Ablagerung bestimmenden Kräfte zu betrachten. Die letzteren beschränken sich in der Hauptsache auf das im Zustand eigener Bewegung transportierende Wasser und auf die spezifische Schwere der transportierten Teilchen im Verhältnis zu ihrem Rauminhalt und ihrer Gestalt; es kommen dazu: die Wärme in dem Fall des Materials der Eisdrift, und alle leben bedingenden Kräfte für die Anhäufung organischer Wesen. Die Stoffe können sein:

1. Abrasionsprodukte der Festländer und festländischen Inseln, nebst dem durch Flüsse in das Meer geführten Detritus;
2. Die durch die Flüsse in das Meer getragenen gelösten Stoffe, welche zu Ausscheidungen in fester Form verwendet werden können;
3. Auswurfsmaterial der Vulkane;
4. Äolisch transportierter Staub;
5. Driftmaterial, d. h. feste Massen, welche durch schwimmendes Eis transportiert werden;
6. Abrasionsprodukte der Koralleninseln;
7. Die kalkigen und kieseligen Ausscheidungen schwimmender Organismen;
8. Die festen Ausscheidungen und Gehäuse am Boden des Meeres lebender Organismen;
9. Kosmische Stoffe.

Betreffs der Herstammung des Materials ist zu beachten, daß es, soweit es tellurischen Ursprungs ist, einerseits (1, 3, 4, 5) unmittelbar aus der mechanischen Zerstörung der Festländer hervorgeht, andererseits (2) ihrer chemischen Zerstörung ursprünglich entstammt und erst (6, 7, 8) ein Stadium der Verfestigung durch Abscheidung im Meere durchgemacht hat, ehe es einer zweiten mechanischen Zerstörung und dem mechanischen Transport unterlag. Einige der genannten Stoffe haben eine allgemeine oder doch sehr weite Verbreitung; aber nur für diejenigen von kosmischem Ursprung kann sie als überall ungefähr gleichartig angenommen werden. Alle anderen haben besondere Gebiete, für welche ihre Anhäufung charakteristisch ist und formgebend wirkt, wenn auch außerhalb dieser Gebiete die Verbreitung, wie z. B. diejenige des vulkanischen Auswurfsmaterials, eine allgemeine ist. Nur die regionale Massenanhäufung kann hier betrachtet werden.

1. Das aus der mechanischen Zerstörung der Festländer hervorgehende Material wird, abgesehen von dem Eistransport, dem Meer in verschiedener Weise zugeführt. Die Ströme bringen es aus den inneren Gebieten der Kontinente. In der Berührung mit dem Meereswasser sinkt das Größere schnell zu Boden (§ 86), das Feinere wird durch Strömungen mitgenommen (§ 158).

Das durch die Brandungswelle zertrümmerte (§ 153) und auf dem Strand aufbereitete (§ 154) Gesteinsmaterial wird zum Teil auf der Abrasionsfläche abgelagert (§ 163), zum Teil entlang der Küste fortgeschoben und zum Aufbau von Küstenwällen verwendet (§ 155), zum Teil wird es durch den rückläufigen Unterstrom der strandenden Wellen in das Meer geführt. Der gröbere Sand wird bald niedergeschlagen, zum Teil aber nach dem Strand zurückgetragen, wo er entweder einer weiteren Abreibung unterliegt und zu dauernder Ablagerung kommen kann, oder in Gestalt von Dünen dem Einfluß des Meeres entzogen wird. Die feineren Teilchen von Quarz und anderen Mineralien jedoch bleiben nebst feinem Schlamm und Glimmerblättchen in Suspension und gelangen erst in größerer Entfernung zum Absatz. Man nimmt an, daß die Zone der dadurch gebildeten Bandablagerungen im Durchschnitt eine Breite von 250 km hat; doch ist diese oft erheblich geringer, während sie andererseits einen weit höheren Betrag, z. B. an der Küste von Brasilien einen solchen von 600 km, erreicht. Man kann sie als die Kontinentalzone des Meeresgrundes bezeichnen. Sie umzieht Kontinente und Inseln und nimmt die Böden der Binnen- und Rand-Meere gänzlich ein. Von Tiefen Verhältnissen scheint sie wenig abhängig zu sein. Es lassen sich in ihr zwei Unterzonen unterscheiden, nämlich diejenige der vorwiegend sandigen und diejenige der schlammigen Ablagerungen. Die erste umfaßt in Europa den Hundertfadenboden, greift aber noch über ihn hinaus. Ihr Areal ist an manchen Stellen unterbrochen, indem der Boden dort, wo er von starken Strömungen gefegt wird, aus nacktem Gestein besteht. Es ergibt sich daraus ein sehr bedeutender Einfluß der Strömungen auf den Transport und die Umlagerung der Sedimente innerhalb dieser Zone. Beides wird durch die bis 200 m. Tiefe den Sand erregenden Meereswellen befördert. — Die zweite Zone des blauen und grünen Kontinentalschlammes, folgt, nach den durch die vereinigten Arbeiten von Murray und Renard (Nature 1884) übersichtlich dargestellten Forschungen der „Challenger“-Expedition, überall auf die erste und kommt bis zu Tiefen von 5000 und selbst 7000 m vor. Man darf annehmen, daß dieser Schlamm aus einer Mischung der fein zerriebenen Bestandteile aller an dem Bau der Kontinente teilnehmenden Gesteine besteht. An der Zusammensetzung des blauen Schlammes beteiligen sich, neben tonigen Substanzen, in absteigendem Mengenverhältnis: Quarz, Glimmer, Feldspat und Hornblende. Die Korngröße ist meist geringer als 0.5 mm, erreicht aber in einzeln Körnern 2 cm. Der grüne Schlamm hat die gleiche Zusammensetzung, erhält jedoch eine besondere Färbung durch Glaukonitkörner, deren Bildung auf einer Verwandlung des Eisenoxydes in Eisenoxydul mittelst organischer Substanzen zu beruhen scheint. An der Ostküste von Süd-Amerika, von Cap St. Roque bis Bahia, also in einer Strecke, in welcher die von Norden kommende Strömung den aus dem Lande kommenden Latent (§ 206) verteilen kann, ist der Schlamm rot gefärbt. In den Umgebungen ozeanischer Inseln besteht er entweder aus vulkanischem, oder aus Korallen-Material, und zuweilen stellt er eine Mischung von beiden dar. Alle solche Fälle, wo dem Meeresschlamm ein einheitlicher Ursprung zugewiesen werden kann, oder eine besondere Einwirkung durch einen färbenden Bestandteil ersichtlich ist, sind der Untersuchung in hervorragendem Maße wert, um zur Vergleichung mit älteren Gesteinen benutzt zu werden.

Die Forschung sollte auch auf die Frage gerichtet werden, in wie weit die die Kontinentalküsten in der angegebenen Breite begleitende Zone mechanischer Sedimente mit der Breite der den Küsten folgenden beständigen Strömungen zusammenhängt, und ob nicht dort, wo letztere den Kontinent verlassen, eine Fortführung in sehr viel größere Fernen und eine entsprechende Ausdehnung der Ablagerungsgebiete stattfindet. Das Herabsinken der Schlammteilchen durch eine Wassersäule von tausenden von Metern muß selbst im Meer so langsam geschehen, daß sie den unteren Teil der Strömung kaum erreicht haben sollten, wenn diese, von der Küste hinweggewendet, bereits einen Weg von einigen hundert Kilometer von ihr aus zurückgelegt hat. Von dem Boden der Strömung ist oft noch ein weiter Weg bis zum Meeresboden; es dürften für die

feinsten Teilchen Jahre erforderlich sein, um ihn zurückzulegen. Eine Beförderung der Ablagerung sollte dort eintreten, wo zwei verschieden gerichtete Strömungen Zusammentreffen. An anderen Stellen gehen von den konstanten und schnellen Hauptströmungen Teilbewegungen nach ruhigeren Meeresregionen ab. Auch dorthin sollten suspendierte feine Teilchen geführt werden. Es ist daher wahrscheinlich, daß die den Festländern entstammenden feinerdigen Sedimente nicht auf die Zone des grünen und grauen Schlammes beschränkt sind, sondern, wenn auch in verhältnismäßig geringer Menge, über große Gebiete der Ozeane verteilt werden.

Ein hiermit verbundener Gegenstand, welcher noch der Aufklärung bedarf, ist die Frage, ob der hohe Druck des Wassers in großen Tiefen eine erhebliche Verzögerung in dem Niederfallen der Teilchen bedingt.

2. Die dem Meer in chemischer Lösung zugeführten Stoffe sind früher von Gustav Bischoff und Forchhammer, in neuerer Zeit von Mellard Reade (Proc. Liverpool geol. soc. 1875 und 1885) untersucht worden. Insbesondere hat Letzterer ihren außerordentlich hohen Betrag erwiesen. Wenn man den Gehalt des Wassers der Ströme an gelösten Stoffen in der Nähe ihrer Mündungen bestimmt und den Betrag derselben, welcher dadurch alljährlich in das Meer geführt wird, berechnet, so kann man durch Division mit dem Areal des Strombeckens finden, welche Menge dieser Stoffe an Gewicht von jeder Raumeinheit des Strombeckens in jedem Jahr entnommen wird. Dieser Betrag stellt sich für jeden Quadratkilometer des Mississippi-Beckens auf 46.000 kg, für den Amazonenstrom auf 20.000, für den La Plata ähnlich wie beim Mississippi, für den St. Lorenz auf 77.000, für die Donau auf 36.000, für ganz England auf 55.000 kg, so daß man (unter Voraussetzung richtiger Berechnung) für diejenigen Teile der Kontinente, welche ihre Gewässer nach dem Meer senden, einen Durchschnitt von wenigstens 40.000 kg auf den Quadratkilometer annehmen kann. Die jährliche Gesamtmasse beträgt beispielsweise bei dem Mississippi 150.000 Millionen Kilogramm. Bemerkenswert ist, daß von dieser erstaunlichen Menge, nach den allerdings sehr spärlichen Analysen, ungefähr die Hälfte aus kohlen-saurer Magnesia, und der sechste Teil aus Kieselsäure besteht. Angesichts dieser Zahlen, die zu weittragenden Schlußfolgerungen und Betrachtungen Anlaß geben können, erscheint es wünschenswert, weitere Tatsachen in der angegebenen Richtung zu sammeln. Auch betreffs der genannten Flüsse sind Bestätigungen erforderlich. Wasserproben sollten in verschiedenen Jahreszeiten zum Zweck chemischer Analyse entnommen werden, und an deren Hand die Gesamtmenge der während derselben Zeiten des Jahres täglich in Lösung entführten Stoffe berechnet werden. Dies ist allerdings nur möglich, wenn die ausströmende Wassermasse bekannt ist. Der Ort, an welchem man die Wasserprobe sammelt, muß außerhalb des Einflusses des Meerwassers gelegen sein. Untersuchungen dieser Art würden eine wesentliche Vervollständigung erfahren, wenn ihnen die einzelnen Teile eines Stromes gesondert unterworfen würden. Man könnte dahin kommen, zu bestimmen, in welchem Maße die Gebirgsanteile und die Flachlandanteile eines Strombeckens, oder auch einzelne Zuflüsse an dem Gesamtergebnis beteiligt sind. In welchem Grad in den einzelnen Teilen eines Stromes, ebenso wie in den verschiedenen Jahreszeiten an derselben Stelle, Schwankungen in der Gesamtmenge der gelösten Substanzen, in deren Verhältnis zu der Menge der schwebenden Bestandteile und in der relativen Beteiligung der einzelnen gelösten Stoffe stattfinden können haben die Analysen des Rheinwassers durch Gustav Bischoff gezeigt.

Die gelösten Stoffe gehen in die Gesamtmasse des Meerwassers über. Eine Ausscheidung derselben im offenen Ozean und an dessen Küsten geschieht, so viel man weiß, nur durch organisches Leben. Niederschlag durch Kristallisation kennt man nur an solchen Stellen, wo dem Ozean

Wasser entzogen und einer Eindampfung ausgesetzt wird, wie dies aus den Vorgängen in Seen (§ 122) ersichtlich ist.

3. Des Auswurfmaterials der Vulkane wurde bereits bei der Besprechung der vulkanischen Inseln (§ 187) gedacht. Außer den gröberen Massen, welche große Ablagerungen bilden, ist fein zerteilter Bimsstein allenthalben auf dem Meeresgrund gefunden worden.

4. Das durch den Wind über den Ozean verteilte Material dürfte eine nicht unerhebliche Rolle in der Zusammensetzung der Sedimente der Tiefsee spielen, wiewohl die trockenen Teile der Kontinente, welche den Staub liefern, ein sehr geringes Areal im Verhältnis zu den Meeresräumen einnehmen, und auch von ihnen nur ein Bruchteil in hinreichend günstiger Lage zum Meer sich befindet. Da jedoch der Staub ebensowohl auf Strömungsgebieten, wie auf den von ihnen umkreisten ruhigen Gebieten des Meeres niederfällt und erst nach langen Zeiträumen den Grund erreichen kann, so sollte er eine noch allgemeinere Verbreitung auf dem Meeresboden haben, als der durch Abrasion und Ströme gelieferte Schlamm. Allerdings wird er nirgends regionale Anhäufungen für sich allein bilden, sondern nur in den Bestand aller Sedimente eingreifen.

5. Das durch die Eisdrift dem Meer gelieferte Gesteinsmaterial muß in den Zeiten, als das Gletschereis die Funktion hatte, die Felsgerüste der circumpolaren Gebiete in weiter Ausdehnung von der durch die Tiefenersetzung (§ 48) entstandenen mächtigen Decke gelockerter Massen zu entkleiden (§ 106, 111), außerordentlich bedeutend gewesen sein. Die Wege der schwimmenden Eismassen sollten daher durch eine beträchtliche Erhöhung des Meeresgrundes mittelst kontinuierlicher Anhäufungen von Felsstücken, lockerem Erdreich und zerriebenem Gestein bezeichnet sein. Die weite Verbreitung erhöhter Flachböden von den Polarmeeren aus in die Meere der gemäßigten Zonen hinein ist nach und nach erwiesen und von F. G. Hahn (Ausland 1882) auf die hier angegebene Ursache zurückgeführt worden. Die Tiefseeforschung kann durch genaue Untersuchung der Grundproben zu der Aufklärung dieses Gegenstandes beitragen. Sollte in der Tat eine andere Ursache für die Entstehung des antarktischen „Plateaus“ nicht zu finden sein, so würde hierin der bündigste Beweis für die Existenz eines größeren antarktischen Kontinentes gegeben sein. — Da die Wege der Eisberge durch die Strömungen bestimmt wurden, und an gewissen Stellen derselben, wo diese sich mit warmem Wasser berührten, beschleunigtes Abschmelzen geschehen sein muß, so sollten auf dem Meeresboden hohe Trümmerwälle vorhanden sein, und diese stellenweise die Neigungswinkel von Gesteinsaufschüttungen haben. Einige der auf dem Meeresgrund, bis jetzt allerdings sehr spärlich und stets in geringer Ausdehnung, nachgewiesenen steilen Böschungen scheinen in der Tat damit zusammen zu hängen. Nach dem früher Gesagten bedarf es hier kaum noch eines Hinweises darauf, daß die Schuttführung der gegenwärtigen Eisberge in keiner Weise einen Anhalt für den Grad der Beladung der ehemaligen mit Gesteinsmaterial gibt.

Neben dem Aufwerfen von Wällen sollte man eine Verwendung des von den Gletschern gelieferten feinerriebenen Materials zur Bildung weiter Ausebnungen erwarten, besonders in den südlichen Meeren, wo der im Ganzen gleichmäßig bleibende Seegang einen mechanischen Einfluß der Wellenbewegung bis in erhebliche Tiefe hinab veranlassen, und die Strömungen ebenfalls in Folge ihrer Beständigkeit einen großen Vertikalbetrag erreichen müssen.

6. Korallensand und Korallenschlamm wurden als Bildner untermeerischer Ablagerungsmassen bereits (§ 183) betrachtet.

7. Die pelagische Fauna und Flora, welche aus stets frei schwimmenden Pflanzen und Tieren besteht, kommt nur insoweit in Betracht, als diese Organismen feste Ausscheidungen haben.

Die bedeutende Rolle, welche ihre kalkigen und kieseligen Panzer spielen, ist erst in neuester Zeit bekannt geworden. In den kalten Polarmeeren walten die artenreichen kieselchaligen Diatomeen vor, welche am Tag und bei hohem Sonnenstand an die Oberfläche kommen, aber bei Nacht und bei tiefem Sonnenstand nach den Tiefen hin verschwinden. In warmen Meeren beschränken sie sich auf die Flußmündungen. Ihre Stelle im offenen Ozean wird dort durch die Oscillarien eingenommen. Eine ungemein wichtige Rolle hat sich für die kieselchaligen Radiolarien, von deren wunderbar zierlichen Kieselpanzern man durch Häckel's Untersuchungen gegen 3000 Arten kennt, und für die kalkschaligen Foraminiferen ergeben. Die Ursachen, weshalb bald diese, bald jene vorwalten oder in regionaler Verteilung ausschließlich vorkommen, sind nicht bekannt. Auch erscheint es zweifelhaft, ob dieselben Arten in verschiedenen Tiefen bis auf den Meeresgrund leben können, und ob die auf letzterem lebend gefundenen Formen auf ihn beschränkt sind. Zu untersuchen ist ferner die Funktion der Lichtstrahlen, welche sich in dem Abwärtssteigen der pelagischen Fauna (einschließlich der das Meerleuchten hauptsächlich verursachenden Formen von *Pyrocystis* und *Noctiluca*, und der fast nur bei Nacht, oft in großen Scharen erscheinenden Heteropoden und Pteropoden) zur Tageszeit und ihrem Emporkommen zur Nachtzeit bekundet. Neben ihnen kennt man noch viele andere, zum Teil größere, bei Nacht leuchtende Tiere; doch ist es nicht bekannt, worauf die verschiedene Farbe des Meerleuchtens, z. B. die zeitweilige smaragdgrüne Färbung in Buchten der japanischen Meere, beruht. Die pelagische Fauna meidet die seichten Meere und die Nähe der Küsten; es ist noch festzustellen, ob die Vermutung richtig ist, daß dies mit der Unmöglichkeit des Rückzuges in hinreichend große Tiefe zusammenhängt, oder ob das Fernhalten von den Küsten auf die Störung der Lebensfunktionen durch suspendierte Schlamnteilchen zurückzuführen ist. — Eine besondere Erscheinung bieten die Sargasso-Meere, in welchen die durch Strömungen von den Küsten herzugeführten und in dem stillen Wasser fortwuchernden Algenmassen eine Art schwimmender Litoralfauna hervorrufen.

Die festen Gehäuse und Ausscheidungen der pelagischen Fauna sinken allmählich auf den Meeresgrund. Sie werden in um so größerer Entfernung von dem Ort, wo die Organismen lebten, erreichen, je mehr ihre Kleinheit, Dünnschaligkeit und ausgezackte Gestalt dem Sinken Widerstand leisten. Auf direkterem Wege werden die größeren Gehäuse, insbesondere der Bewohner der Sargasso-Meere, zu Boden sinken und durch ihren litoralen Charakter dort eine abnorme Mengung mit Resten der rein pelagischen Fauna verursachen.

8. Die am Boden des Meeres lebenden Organismen wirken an Ort und Stelle bodenerhöhend. Wenn sie aber in mäßigen Tiefen unter dem Einfluß kräftiger Strömungen, frei oder mit verweslichem Apparat angeheftet, leben, dürften Zusammenschwemmungen am Meeresgrund selbst geschehen; und wenn sich ihre Gehäuse in dem Bereich der mechanischen Einwirkung der Meereswellen (§ 149) und noch höher in demjenigen der Brandung befinden, erfahren sie eine bedeutende Umlagerung. Diese mechanischen Einflüsse und die Ablagerung von Zerstörungsprodukten in der Küstenzone dürften zu den Agentien gehören, welche der Differenzierung der Fauna gegen die Tiefen hin zu Grunde liegen. Andere sind: die Änderung der Temperatur und die Abnahme der eindringenden Lichtstrahlen. Da man annimmt, daß diese bei ungefähr 100 Meter Tiefe die äußerste Grenze erreichen, so hat man darin ein wesentliches Moment für die Scheidung der Faunen an dieser Grenze erblickt. Doch sollten über die Absorption der Lichtstrahlen noch weitere Untersuchungen mit den empfindlichsten Beagentien ausgeführt werden.

In oberen Tiefen bietet die Fauna der zwischen Ebbe und Flut eingeschlossenen Litoralzone Gelegenheit zu Beobachtungen über den zersetzenden Einfluß, welchen die festsitzenden Tiere auf das Gestein ausüben. — In der darauf folgenden Zone, welche ungefähr bis zu 30 m Tiefe reicht,

wird der Charakter in den kälteren Meeren durch die Laminarien oder Riementang, in den tropischen durch die riffbauenden Korallen gegeben, Sie ist der Sitz der großen Muschelbänke, insbesondere derjenigen der Austern, und der Wohnplatz der meisten lebhaft gefärbten Schalthiere. In keiner Zone findet eine so bedeutende Überführung des im Meereswasser gelösten Kalkes in die feste Form des Kalkcarbonates durch organische Tätigkeit statt. Wo solche Untiefen sich in warmen Meeren auf große Entfernung vom Lande erstrecken und der Ablagerung der kontinentalen Sedimente entzogen sind, sollte bei langsamem Hinabsinken unter die Meeresoberfläche auch in korallenfreien Gebieten eine bedeutende Ansammlung von Kalkmassen stattfinden können. Beobachtungen hierüber, sowie über trocken gelegte Kalksteinbänke, welche in diesen Tiefen aufgebaut wurden, würden besonderes Interesse besitzen. — In der Tiefe von 30 bis 100 m sind die kalkaussondernden Algen aus der Familie der Corallineen und Lithotamnen (Nulliporen) charakteristisch, obwohl die letzteren an Korallenriffen im Niveau der Ebbe bauen und bis zu 300 m Tiefe lebend gefunden worden sind. Die festen Gerüste der Lithotamnen haben für die Tertiärformation eine größere formgebende Bedeutung gehabt, als ihnen in der Gegenwart zukommt. Ein erhöhtes Interesse gewinnen diese Bauten dadurch, daß kalkabsondernde Algen (als Genus Gyroporella bezeichnet) zum Aufbau gewisser Alpenkalke aus der Triasepoche wesentlich beigetragen haben. Sollten Organismen dieser Art, was nicht unmöglich erscheint, vollkommene Riffbauer in früheren Zeiten gewesen sein, so würden die von ihnen aufgeführten Bauten wahrscheinlich in vielfacher Hinsicht von denen der Korallen verschieden gewesen sein. Zwar würde auch bei ihnen die Nahrungszufuhr von außen wahrscheinlich die Tendenz zu äußerem Anwachsen und randlicher Gesamtanordnung hervorgerufen haben; aber es hätte wahrscheinlich die Lebenstätigkeit in größeren Tiefen stattgefunden, als bei den Korallentieren, und das vegetative Leben dürfte gegen Verunreinigungen weniger empfindlich gewesen sein, als das animalische. Man würde vielleicht durch das Wuchern der Kalkalgen auf einem für sie günstigen, flachen, in geringer Meerestiefe gelegenen Boden die merkwürdigen Einlagerungen von Kalksteinbänken zwischen sandigen- und tonigen Schichtgesteinen erklären können. Es ist dafür, wie bei den Korallenbauten, wünschenswert, den Charakter der mit den Kalkalgen zusammen vorkommenden Meeresfauna kennen zu lernen. Die Verfolgung dieses Gegenstandes bietet, angesichts der heutigen Tiefseeforschung, nicht geringes Interesse.)

Die Tiefenlinie von ungefähr 100 m scheint eine wichtige Scheide zu sein. Es beginnt unter ihr die Zone der Tiefsee-Korallen und der Brachiopoden, welche von Einigen bis zur Tiefe von 200 m, von Anderen bis zu derjenigen von 500 m gerechnet wird. Der Charakter der Tiefgründe beginnt sich einzustellen, wenn er auch seine volle Ausbildung erst ungefähr 500 m unter der Oberfläche erhält. Gut untersucht ist in dieser Zone das Pourtalés-Plateau, nahe der Küste von Florida, welches bei der Tiefe von 90 Faden beginnt und zu derjenigen von 300 Faden allmählich abfällt, ohne die Fauna wesentlich zu ändern. Es wurde (§ 184) erwähnt, wie die massenhafte Anhäufung kalkiger, zum Teil auch (wie bei den Glasschwämmen) kieseliger Gehäuse und Absonderungen auf diesem Meeresboden der neueren Theorie über die Korallenriffbildung zur Stütze dient. Die Ablagerungen dieser Zone dürften insbesondere dort, wo die Tiere in grünen und grauen Schlamm eingebettet werden, einen Anhalt zur Erklärung mancher alter, insbesondere paläozoischer Schichtgebilde geben, wo Einzelkorallen, Crinoideen und Brachiopoden mit anderen Meerestieren in großer Zahl, aber doch zerstreut, in grünen und grauen kalkigen Schiefer-tonen eingeschlossen sind. Sollten hier analoge Bildungen vorliegen, so würden sie den großen Antheil erweisen, welchen in dieser Zone die Fauna an dem Schichtenaufbau nehmen kann.

Neben der Tatsache, daß man innerhalb der bisher genannten Tiefenzonen arktische, subtropische und tropische Regionen unterscheiden kann, was in der Tiefe unterhalb 500 m nicht mehr der Fall ist, ist es bemerkenswert, daß in den Tropen innerhalb dieses Tiefenraumes eine

tierarme Region zwischen den Isobathen von 60 und 150 m vorhanden, die beginnende Tiefsee - Fauna also von der oberen geschieden ist, während in gemäßigten Breiten diese sterile Zwischenzone nicht bekannt ist, und in arktischen Meeren die Region zwischen 80 und 120 m Tiefe ein reiches Tierleben besitzt.

Inwieweit das Tierleben unterhalb der Zone von 500 m an dem Aufbau der Sedimente direkt teilnimmt, ist wenig bekannt. Man hat Zweischaler zahlreich in Tiefen von 500 bis 2000 m, Gastropoden häufig unter 3000 m, aber nicht über 4000 m hinaus, unter den Brachiopoden eine Terebratula bis 5300 m, Polypen hingegen kaum jenseits der Tiefe von 3000 m gefunden. Im Allgemeinen kann man eine Zone zwischen den Isobathen von 500 und 1500 m, wo in tropischen und gemäßigten Breiten fast überall die Temperatur von + 4° C. herrscht, und eine zweite von 1500 bis 5000 m und etwas darüber unterscheiden. In noch größeren Tiefen kennt man kein tierisches Leben.

9. Diejenigen Bestandteile der Tiefseeablagerungen, welchen man kosmischen Ursprung zuschreibt, werden für dieselben charakteristisch, wo andere Sedimentmassen auf ein Minimum beschränkt sind.

[§190] Gebiete der pelagischen Ablagerung. — Da manche der genannten Bestandmassen niemals, andere nur selten für sich allein den Charakter der Sedimente des Meeresgrundes bestimmen, sondern wesentlich Mischungen von mehreren derselben vorkommen, so hat man für die Bezeichnung der regionalen Unterschiede diejenigen Bestandteile gewählt, welche in einzelnen Gebieten vorherrschen. Neben der sandigen Litoralzone und den ebenfalls die Kontinente und Inseln umgürtenden Gebieten des grauen und grünen Schlammes, für welchen in den Umgebungen pelagischer Inseln der vulkanische Schlamm und der Korallenschlamm eintreten, hat man den wesentlich aus kalkigen Rhizopoden-Gehäusen zusammengesetzten Globigerinenschlamm, den aus den Kieselpanzern anderer Rhizopoden-Familien bestehenden Radiolarienschlamm und den ebenfalls aus kieseligen Ausscheidungen gebildeten Diatomeenschlamm unterschieden.

Der Globigerinenschlamm wird in der Regel erst jenseits des Bereiches der Kontinentalablagerungen und in wenigstens 1000 m Tiefe so charakteristisch, daß man ihm diesen Namen geben kann, reicht aber nicht bis unter die Tiefe von ungefähr 5000 Meter. Auch innerhalb der so begrenzten Region ist seine Verbreitung beschränkt. Er ist im Süden jenseits des 50. Breitengrades nicht angetroffen worden, ebensowenig im nordischen Eismeer, wo an seine Stelle jenseits der Tiefe von 1800 m der ebenfalls kalkige Biloculinenschlamm tritt. Ebenso fehlt er den geschlossenen Meeren, wird aber auch hier teilweise durch ähnliche Gebilde, z. B. im amerikanischen Mittelmeer durch den Pteropodenschlamm, ersetzt. Im offenen atlantischen Ozean lagert er wesentlich unter dem Golfstrom und fehlt unter den kalten Strömungen.

Die großen Tiefen sind durch den sogenannten roten Ton eingenommen. Derselbe besteht aus feinen Teilchen von ungefähr 0.05mm mittlerem Durchmesser, welche sich größtenteils als Tonsubstanz erwiesen haben. Daneben aber kommen Mineralteilchen vor, unter denen Bimssteinsplinter und Sand erkannt worden sind, während andere als Gletschermaterial gedeutet wurden. Kieselschalige Mikrozoen fehlen selten und sind zuweilen in großer Menge vorhanden. Außerdem kommen Manganknollen, Haifischzähne und Gehörknochen von Walfischen vor. Der rote Ton beginnt in der Tiefe von ungefähr 4200 m und nimmt unterhalb derselben den größten Teil der Tiefgründe der Ozeane ein. Er ist im nord- und süd-Atlantischen und im Indischen Ozean nachgewiesen, hat aber sein größtes Verbreitungsgebiet im Pazifischen Ozean. Man kennt ihn

nicht über 45 Grad nördlicher und südlicher Breite hinaus. Anfangs betrachtete man ihn im Wesentlichen als die Anhäufung der nach der Auflösung der kalkigen Foraminiferengehäuse mittelst der im Meerwasser enthaltenen, in der Tiefe zunehmenden Kohlensäure noch übrig bleibenden mineralischen Bestandteile, indem man gefunden hatte, daß der Globigerinenschlamm von der Tiefe von 4300 m an sich rötlich zu färben beginnt, und die Gehäuse schwächer werden, bis sie in 5000 m Tiefe verschwinden. An die Stelle dieser Theorie trat die zweite, daß der rote Ton das unmittelbare Zersetzungsprodukt basischer vulkanischer Gesteine sei. Allein die Beteiligung auf wässerigem Wege zugeführter feinsten Bestandteile von kontinentalem Schlamm erscheint nach dem oben Gesagten keineswegs ausgeschlossen, und als vollkommen sicher ist diejenige äolisch verteilten Staubes zu betrachten.

Unabhängig von der Tiefe ist die Verbreitung der kieseligen Panzer und Skelette der Radiolarier und Diatomeen. Dieselben nehmen teil an den Ablagerungen der Flachsee, sind im Globigerinenschlamm mit Kalkgehäusen gemengt, und finden sich im roten Ton der tiefsten Meeresgründe. Bis zu mehr als 8000 m Tiefe hat man den wesentlich aus Kieselpanzern zusammengesetzten Radiolarienschlamm gefunden, welcher in charakteristischer Gestalt große Räume bedeckt, aber ebenso in weit größeren Räumen fehlt. Der Diatomeenschlamm nimmt seine Stelle in kalten Meeren ein.

Die künftige Forschung wird die Verbreitungsgebiete dieser einzelnen Formen von Tiefsee-Ablagerungen noch bestimmter abzugrenzen und die Ursachen ihres Vorhandenseins in gewissen Regionen und ihres Fehlens in anderen zu ergründen haben. Sie konnten an gegenwärtiger Stelle nur zur Vervollständigung eine beiläufige Erwähnung finden. Wer in einem enger begrenzten, durch Sonde und Schleppnetz leichter zu erforschenden Gebiet arbeitet, wird hier vielleicht im Kleinen Gesichtspunkte gewinnen können, welche auf die allgemeineren Erscheinungen Licht zu werfen geeignet sind.

[p.430]



Elftes Kapitel.

Beobachtungen über die mechanischen Wirkungen der atmosphärischen Strömungen auf dem Festland.

[§191] Bis vor kurzer Zeit wurde dem Wind wenig Beachtung über seine klimatische Bedeutung hinaus geschenkt. Indem er die über den Meeren aufgenommene Feuchtigkeit in die Länder hineinträgt und entweder dieselbe, je nach seiner Richtung und den Formen und Temperaturverhältnissen des Bodens, welche das Ansteigen der Luft im einen, ihr Herabsenken in einem anderen Fall veranlassen, zum Niederschlag bringt, oder wegen ungenügenden Feuchtigkeitsbetrages mehr Wasser aufzunehmen strebt und daher trocken über die Kontinente weht, beeinflusst er indirekt die Existenzbedingungen der gesamten organischen Welt und die durch die mechanische Arbeit fließender Gewässer entstehende Mannigfaltigkeit der Bodenformen. Ebenso ist es seine auf die Meereswellen übertragene und durch sie fortgepflanzte Kraft, welche in der Zerstörungsarbeit der Brandungswelle (§ 153 ff.) gewissermaßen in konzentrierter Form zur Geltung kommt, und er veranlaßt in erster Linie die Strömungen des Meeres. Durch neuere Untersuchungen hat sich jedoch der Wind auch als ein überaus wichtiges unmittelbares Agens in der Umgestaltung der festen Erdoberfläche erwiesen. Es sind die Beobachtungen in dieser Richtung, auf welche in dem gegenwärtigen Kapitel hingewiesen werden soll. Sie lassen sich nicht an eine bestimmte Kategorie von Örtlichkeiten knüpfen, wie diejenigen, welche in den vorangegangenen Abschnitten erörtert worden sind, sondern können allenthalben angestellt werden.

Ist auch die Wirkung des Windes am ersichtlichsten und am großartigsten in den trockenen Zentralgebieten der Kontinente, so ist doch ihre Funktion wahrscheinlich noch wichtiger in pflanzenbedeckten Gebieten, wo sie dem Betrage nach weit zurücktritt.

Das Bett der Luftströmungen ist die Erdoberfläche mit allen Mannigfaltigkeiten ihrer Gestaltung. Es weicht weit von demjenigen des fließenden Wassers ab, indem dieses, je schneller die Bewegung und je steiler das Gefall, sich auf einen um so engeren Kanal zu konzentrieren strebt und sein Bett nach der Tiefe ausfurcht. Es ist auch verschieden von dem Bett des strömenden Eises, welches bei gleichem Gefall eine größere Breite hat als dasjenige des Wassers und, vermöge der Tendenz des Eises die größtmögliche Breite einzunehmen, die im Belief hervorragenden Stellen in jedem Einzelfall nur bis zu einer gewissen Höhe in sich begreift.

Wie bei strömendem Wasser und strömendem Eis, ist auch bei der strömenden Luft eine hinwegräumende, eine transportierende, eine korrodierende und eine ablagernde Tätigkeit zu unterscheiden. Die Wegräumung oder Ablation besteht in der Entfernung gelockerter Massen von ihrer Lagerstätte mittelst der mechanischen Kraft des Windes allein, der Transport in dem Fortschieben oder Forttragen derselben, die Korrasion in dem Abschleifen festen Gesteins mittelst der transportierten Teilchen, die Ablagerung in dem Niederschlag der letzteren an anderen Lagerstätten. Wie bei fließendem Wasser, vereinigen sich Ablation und Korrasion zur Erosion.

Diese Vorgänge sollen hier in einer anderen, der Gelegenheit zur Beobachtung besser entsprechenden Reihenfolge erörtert werden.

1. Arten des vom Winde transportierten Materials.

[§192] Der Wind erfaßt die losen Bestandteile am Boden seines Bettes und diejenigen, welche von dort aus durch irgend eine Kraft in die Atmosphäre hinein gestoßen oder geschleudert werden.

Salze des Meeres. Wenn der Sturmwind das Meer peitscht und die Kämme sich brechen, erfaßt er den Gischt und trägt ihn fort. Es sind Wasserteilchen, welche Salz enthalten. Die meisten fallen bald in das Meer hinab, andere legen weite Wege zurück. Kommen sie über erhitzte Festlandsflächen, welche die Kapazität der Luft für Wasserdampf erhöhen, so verdunsten sie, und die Salzteilchen allein werden weiter getragen, bis sie allmählich durch Herabsinken, oder rascher durch einen Regenguß, den Erdboden erreichen. Es ist versucht worden, den Salzgehalt der kontinentalen Zentralgebiete dadurch zu erklären. Doch fehlen die Grundlagen, um den Betrag der Rolle, welche hierbei dem Meeressalz jedenfalls in einem, wenn auch noch so minimalen Maße zukommt, zu bestimmen. Es ist bei der Erwägung der Frage in Betracht zu ziehen, daß die von den Meeren kommenden Winde, ehe sie die Zentralgebiete erreichen, in den meisten Fällen durch in ihrem Wege stehende Gebirge gezwungen werden, den größten Teil ihrer Feuchtigkeit in Gestalt heftiger Regengüsse herzugeben, wodurch die etwa vorhandenen Salze niedergeschlagen werden müssen. Untersuchungen über den Gehalt der Luft an löslichen Salzen sind daher ebenso mit Vorsicht auszuführen, als zu Schlußfolgerungen zu benutzen. Von Interesse würde es sein, das wechselnde Verhältnis desselben an einzelnen Küstenorten, sowie die allmähliche Abnahme oder Zunahme nach dem Inneren eines Landes hin zu kennen, da die Menge des Salzes für die Lebensbedingungen der organischen Welt, sowie für die hygienischen Zustände von Wichtigkeit sein muß. Vermutlich würde man in regenreichen Gebieten bald die Grenze eines noch erkennbaren Salzgehaltes erreichen, z. B. wenn man sich zur Zeit des sommerlichen Monsuns vom bengalischen Meer gegen den Himalaya, oder von der chinesischen Küste gegen die das zentrale Asien umwallenden Gebirge hin bewegt; aber mit der Überschreitung der letzteren würde sich bei starker Luftströmung wiederum eine nicht unbedeutende Salzführung herausstellen. Man hätte es dann nicht mehr mit den Salzen des Meeres, sondern mit denen zu tun, welche von der Steppe her als Staub aufgewirbelt wurden. Zur Zeit des Wintermonsuns würden aus der gleichen Ursache vielmehr Salze vom Festland nach dem Ozean getragen werden. Günstiger für einen marinen Ursprung dürfte sich die Frage in denjenigen Fällen gestalten, wo die Seewinde in ein trockenes Kontinentalgebiet hineinwehen, wie es z. B. bei dem Flachland am unteren Indus oder bei den trockenen Westhängen eines großen Teiles der südamerikanischen Anden der Fall ist. Hier werden die Meeressalze wahrscheinlich weit in das Innere und bis auf große Höhen des Gebirges getragen, ehe die letzten von ihnen den Erdboden erreichen.

Die dem Meer entstammenden Salze gehören bestimmten Arten an und werden sich aus diesem Gesichtspunkt von den der Zentralgebieten entnommenen unterscheiden lassen. Ähnlich verhält es sich mit denjenigen, welche der Atmosphäre durch tätige Vulkane und Solfataren geliefert werden. Wichtiger als die Salze werden aber die derselben Quelle entstammenden, mit den Dämpfen entweichenden freien Säuren sein.

Zerstäubtes vulkanisches Gestein. Die heftigen Explosionen eruptiven Gesteinsmaterials, welche in einer plötzlichen Verwandlung des in letzterem enthaltenen überhitzten Wassers in Gas ihre Ursache zu haben scheinen, pflegen mit dem Ausschleudern enormer Massen von Bimsstein verbunden zu sein. Die Richtung, in welcher der größte Teil desselben niederfällt, hat sich von dem in den unteren Luftschichten vorherrschenden Winde abhängig erwiesen. Die am feinsten zerstäubten Teilchen gelangen jedoch in höhere Luftschichten, welche in anderer Richtung strömen und die überaus feinen Bimsstein-flocken, wie es scheint, bis in sehr große Entfernung tragen können.

[§193] Staub im Allgemeinen. — „Staub“ ist ein sehr allgemeiner Begriff. Er ist in der weitesten Ausdehnung des letzteren das Material, mit welchem die Atmosphäre sedimentbildend operiert. Der Staub kann aus allen Materialien bestehen, welche den lockeren Erdboden in seiner mannigfachen Gestaltung zusammensetzen. Er kann aus fein zerriebenem oder zerkleinertem frischem Gestein, aus den Zersetzungsprodukten einer bestimmten Felsart oder einer Mischung verschiedener Felsarten, aus humösen und anderen organischen Bestandteilen des Bodens, aus Skeletten von Diatomaceen, kieseligen oder kalkigen Panzern von Mikrozoen, fein zerteiltem Bimsstein, Kieselmehl etc. bestehen. Daß zahllose Sporen niederer Pflanzen daran teilnehmen, ist bekannt. Im Ganzen werden individualisierte Staubformen weniger auftreten, als solche, wo Bestandteile der mannigfaltigsten Art neben einander vorkommen. Je häufiger die Umlagerung der Stoffe gewesen ist, und je mehr verschieden-artige Luftströmungen aus der Nähe und Ferne den Staub nach einer Gegend zusammenführen, desto homogener wird sein in einer Mischung der verschiedensten Teile beruhender Bestand sein. Die Masse des Staubes kann so groß sein, daß er tagelang die Atmosphäre erfüllt und bei wolkenlosem Himmel die Sonne unsichtbar macht. Diese Staubatmosphäre ist in Zentralasien bekannt, wo sie sich bei völliger Windstille einstellen kann. In welcher Weise sie dann entsteht, ob die Erhitzung des pflanzenleeren Bodens hinreicht, die Erdteilchen vom Boden zu lösen und der Luft zu überliefern, mit der sie aufsteigen, ist nicht untersucht. Intensiver und über große Regionen, bis weit über den Ozean sich erstreckend, ist die Stauberfüllung der Atmosphäre bei den Staubstürmen, welche eine häufige Erscheinung sind. Es scheint, daß alsdann große Staubmassen viele hundert Kilometer weit bewegt werden können.

Eine systematische Untersuchung des Staubes auf mikroskopischem, mineralogischem und chemischem Wege dürfte, sobald Material von verschiedenen Erdgegenden, oder solches, das an einer und derselben Stelle in Perioden voneinander abweichender konstanter Windrichtungen gesammelt worden ist, vorliegt, zu vergleichenden Betrachtungen von großer Tragweite führen können. Dem Reisenden ist vor Allem zu empfehlen, Staubniederschläge unter gehörigen Vorichtsmaßregeln und in hinreichender Menge zu sammeln. Es kommt dabei weniger auf die örtlich aufgewirbelten Staubwolken, deren Ursprungsgebiet man kennt, als auf die in größerer Allgemeinheit in der Atmosphäre verbreiteten und aus ihr niederfallenden Staubmassen an. Am reinsten werden die Proben sein, welche auf offenem Meer gesammelt werden. Sobald dort das Phänomen eines auch nur geringen Staubfalls sich zeigt, sollte man bestrebt sein, eine Probe davon aufzubewahren. Auf dem Festland kann man bei ruhiger Luft ebenfalls ein ziemlich reines Resultat erwarten: bewegte Luft wirbelt zu viele Bodenteile der Umgebung auf und läßt den kleinen Prozentsatz des aus anderen Gegenden herzugeführten Staubes leicht verschwinden. Anzuempfehlen ist die von v. Löczy in Zentral-Asien befolgte Methode. Derselbe stellte über dem Dach eines freistehenden Hauses bei eintretendem Regenwetter ein Becken auf. In dem aufgefangenen Regenwasser schlug sich eine Schicht von Bodenbestandteilen nieder, welche der Regen nach verhältnismäßig klarem Wetter aus der Atmosphäre herabgeführt hatte.

Die Untersuchung solcher Proben kann, wie Ehrenberg gezeigt hat, zur Feststellung des Ursprungslandes des Staubes führen. Sporen und mikroskopische Tiere oder Pflanzen scheinen dafür am geeignetsten zu sein. Für die allgemeine Meteorologie können dadurch wichtige Ergebnisse gewonnen werden. Es wurde in dieser Beziehung bereits der heißen Winde gedacht, welche im südlichen Mittelmeergebiet auftreten, und deren Ursache nicht bekannt ist (s. § 27).

Schneebedeckung zeigt den niederfallenden Staub am deutlichsten. Nach dem Vorgang Nordenskiöld's sollte man ihn auf den Schnee- und Eisfeldern hoher Breiten sammeln, dabei aber die Nachbarschaft kahler, der Wirkung des Spaltenfrostes ausgesetzter Gesteins- und Erdmassen, sowie die quantitative Änderung der Staubdecke gegen dieselben hin, in Betracht ziehen. Auf hoch aufragenden schneebedeckten Gebirgen und auf solchen Schneedecken, welche, wie diejenigen des nordöstlichen Sibiriens, durch lange Zeit den Boden bedecken und die näheren Zufuhrstätten von lockerem Erdreich verhüllen, kann der niederfallende Staub nur der Zufuhr aus weiter Ferne zugeschrieben werden. Der kosmische Ursprung, an den man wegen der in solchen Staubfällen aufgefundenen sporadischen Körnchen von metallischem Eisen gedacht hat, ist für diesen Bestandteil selbst noch nicht widerlegt, bat sich aber für die Hauptmasse der gesammelten Proben nicht bestätigt. Den Eisenkörnchen sollte weiterhin Beachtung geschenkt werden.

Von anderen Arten der vom Wind fortbewegten Materialien wird in § 195 die Rede sein.

2. Äolische Ablation und Korrasion.

[§194] Der Gestalt des Bettes der Luftströmungen entsprechend kann die Erosion durch Wind als allgemein auf den Festländern verbreitet bezeichnet werden; sie läßt sich der spülenden Wirkung der Rieselwässer eher als der Grabenerosion des in Binnen fließenden Wassers vergleichen. Insofern der Wind durch den Stoß wirkt, ist der Betrag der Erosion eine Funktion seiner Stärke. Der zweite Faktor ist der Widerstand, den die festen Massenteilchen ihm entgegensetzen. Der stärkste Wind kann Kieselsteine von ihrer Lagerstätte nach einer anderen fortbewegen. Die schwächste Brise genügt um tonige und organische Staubteilchen nebst Kieselmehl hinwegzunehmen; und, wie erwähnt, vermag die durch Bodenerhitzung bewegte Luft bei völliger Windstille die Atmosphäre mit trockenem Dunst zu erfüllen. Es fehlt in diesen Beziehungen noch an Messungen des Effektes hinsichtlich der Größe und Menge der Bestandteile, sowie an Untersuchungen der Zusammensetzung des bei verschiedenen Windstärken gehobenen Staubes und Sandes.

Die Ablation durch Wind ist ausgeschlossen bei Bedeckung des Bodens mit dichter Vegetation, oder mit Schnee und Eis, ferner bei dem mit Wasser durchtränkten Boden, und an glatten Felswänden. Sie kann nur stattfinden, wo der Boden, sei es in größerer Erstreckung, sei es an einzelnen, wenngleich noch so kleinen Stellen, kahl ist. Eine der Windrichtung entgegengesetzte Neigung des Bodens ist ihr förderlich, weil der Stoß zu vollerer Geltung kommt; ebenso Rauheit und Unebenheit, weil dann dem Stoß viele exponierte Flächen dargeboten werden. Auf das Höchste wird sie durch lockere Agglomeration der festen Teilchen begünstigt.

Wo es in allen Jahreszeiten regnet, und die Ablation durch Wasser am wirkungsvollsten ist, ist daher derjenigen durch Wind im natürlichen Zustand eines Landes wenig Gelegenheit geboten;

sie beschränkt sich auf unfruchtbare Stellen und auf den durch Überschwemmungen ausgebreiteten Boden nach seiner Austrocknung. Verwitterung und Frost sind die Agentien, welche die für einen wirkungsvollen Angriff des Windes erforderliche Auflockerung hauptsächlich hervorbringen. Die Verhältnisse ändern sich jedoch erheblich, wenn ein solches Land unter Kultur kommt. Durch das Pflügen wird die Ackerkrume in hohem Grad ablationsfähig, da dem Wind geeignete Angriffsflächen in großer Menge geboten werden. Von den Straßen entführt er den durch Zerreibung von Boden und Gestein hergerichteten Staub. In großen Flächen wird das Erdreich Jahr für Jahr umgedreht und zum Teil nach Wiesen, Wäldern und anderen Äckern hin verweht; wo es eine dünne Schicht bildet, kann diese im Lauf der Zeit ohne Mitwirkung des Wassers ganz verschwinden; wo es mächtig lagert, summiert sich der Effekt am meisten auf Landstraßen, welche durch Windablation tiefer gelegt und zu Hohlwegen umgestaltet werden.

Anders ist es in solchen Erdräumen, wo jährlich durch eine Periode von mehreren Monaten kein Regen fällt, der Rest des Jahres aber feucht ist. Die Steppenvegetation, selbst wenn sie verdorrt ist, beschränkt zwar auch dann die ausräumende Tätigkeit des Windes; aber jede Auflockerung des Bodens, wie sie durch grabende und tiefer eintretende Tiere, besonders die Huftiere, geschieht, setzt sie sofort in Funktion. Treten die Huftiere in Herden auf, wie die Antilopen und die nordamerikanischen Bisons, so kann der Effekt bedeutend sein. Außerdem finden sich auch im natürlichen Zustand grasfreie Stellen in großer Ausdehnung, sei es daß die Vegetation wegen Salzgehaltes oder anderer Ursachen die nötigen Existenzbedingungen nicht findet, sei es daß weite Strecken, die in der nassen Jahreszeit sumpfige Marschen bilden, in den trockenen Monaten dürr sind. Am bedeutendsten steigert sich die äolische Ablation in jenen Erdräumen, wo kein Regen fällt, oder wo die Niederschläge zu gering sind um eine dichtere Vegetationsdecke hervorzubringen. Dort ist der Boden in selten unterbrochenem Kampf mit dem Wind, der ihm jedes feinere gelockerte Teilchen entreißt und durch das Gegeneinanderschleudern der größeren, wie durch die Korrasion, fortdauernd neue Staubeilchen in großer Menge selbst erzeugt.

Am ersichtlichsten ist gegenwärtig die Wirkung dort, wo dieselbe Ursache der Zerstäubung dauernd an derselben Stelle tätig ist. Dies ist der Fall bei den Straßen in den durch mehrere Monate des Regens entbehrenden Lößgebieten des nördlichen China. Durch Jahrhunderte, und an manchen Stellen wohl durch Jahrtausende, sind die Wagen in den gleichen Linien gefahren und haben den mürben Boden gelockert. In Folge dessen hat der Wind Hohlwege ausgeblasen, die bis über hundert Fuß tief eingesenkt sind.

Zu diesen, von allgemeinen klimatischen Zuständen großer Erdräume und der menschlichen Tätigkeit in ihnen abhängigen Verschiedenheiten des Erosionsbetrages kommen andere, welche in Beziehung zu örtlichen Zuständen stehen. Dahin gehört das Verwehen loser vulkanischer Auswurfsmassen, welche noch keine Pflanzendecke tragen; ferner das Forttragen des Gletscherschlammes. Erstaunlich große Massen des letzteren werden von den kleinen Gebirgsgletschern der Gegenwart geliefert. Unendlich bedeutendere Massen mußten durch den Rückgang der großen Vergletscherungen der Vorzeit bei Eintritt eines Klimas mit einer trockenen Jahreszeit freigelegt werden und durch die Wirkung des Spaltenfrostes und Haarfrostes die für die Fortführung durch Wind erforderliche Lockerheit erlangen. Das fein zerriebene Gesteinsmaterial, aus welchem der Gletscherschlamm besteht, ist jedenfalls für die äolische Bewegung außerordentlich geeignet. — Andere sehr ausgiebige Angriffsgebiete für die äolischen Kräfte sind die ausgetrockneten, wegen ihres Salzgehaltes der Vegetation feindlichen Böden ehemaliger Binnenseen und, in noch ausgedehnterem Maße, verlassene Meeresböden. In den ersteren ist fein verteiltes toniges Material vorherrschend, auf den letzteren herrscht dieses zugleich mit Sand. Beispiele für

jene geben die Umgebungen des Lob noor, für diese die ebenen Flächen der aralokaspischen Niederung.

Es sei hier noch einmal einer bereits früher (§ 48) theoretisch erörterten Klasse von Erdstellen gedacht, welche außerordentlich große Massen von Material zur Fortführung durch den Wind herzugeben im Stande sein müssen. Es sind dies die Gegenden regionaler Bodenzersetzung, welche, nachdem durch lange Zeit ein feuchtes Klima geherrscht hatte, unter den Einfluß trockener, die Vegetation vernichtender klimatischer Verhältnisse gelangten. Solche Stellen können Vorratskammern lockerer erdiger Massen sein, welche zu wechselnder Tiefe von der Oberfläche, oft wohl bis zu einer solchen von mehr als hundert Meter herabreichen können. Hier kann der Wind in der Tat Berge forttragen. Manche gegenwärtig trockene Stellen der Kontinente dürften sich noch in dem Stadium dieser allmählichen Abräumung befinden. Das Augenmerk ist hier auf besonders zu richten.

Von der äolischen Ablation ist die äolische Korrasion zu unterscheiden, auf welche sich erst seit wenigen Jahren die Aufmerksamkeit lebhafter gerichtet hat. Mittelst derselben höhlt und schleift der Wind den Stein, gerade wie das Wasser; jedoch einerseits in größerem Umfang als dieses wegen der verschiedenen Gestalt des Bettes; andererseits in geringerer räumlicher Ausdehnung, weil das in größerem Maßstab statt-findende Windtreiben auf Küsten und trockene Gegenden beschränkt ist. Die Vorgänge sind weiter zu beobachten, da sie zur Gestaltung mancher Erdräume wesentlich beitragen und auf manche Erscheinung aus der geologischen Vorzeit Licht werfen. Der Vorgang besteht darin, daß der Wind die Mineralteilchen, insbesondere runde Körner von Quarzsand und eckige Quarzsplitter, als Projektile gegen das Gestein schleudert. Die Wirkung des Anpralls zeigt sich an Strandküsten und in Wüsten an dem Blindwerden der Fensterglasscheiben, welches zur Erfindung des Sandstrahlgebläses geführt hat. Wie jene, so wird harter Fels angegriffen. Wo horizontal gelagerte Schichten von verschiedener Härte der Gesteine durch einen Bergabhang abgeschnitten werden, geht die Zerstörung der weicheren schneller voran als die der härteren. Die letzteren werden durch Aushöhlung unterwühlt und stürzen in Felsmassen herab, welche ihrerseits der Korrasion ebenfalls unterliegen, und deren übrig bleibende, abermals unterwühlte Kerne allmählich in ein labiles Gleichgewicht kommen, bis sie herabrollen. Es entstehen dadurch Klippen von mannigfaltiger Gestalt. Am heftigsten ist die Wirkung, wo sich dem Wind eine enge Durchlasspforte bietet. Die Oberfläche von Kalkstein wird häufig durch den treibenden Sand von einem Netzwerk von Furchen durchzogen. Eruptivgesteine erhalten eine unebene Oberfläche, indem die weicheren und spröderen Mineralien schneller unterliegen als die harten und zähen. Quarzkörner ragen heraus, bis sie schließlich abfallen. Doch kennt man auch Fälle, in welchen parallele, oder sich kreuzende Furchen nach Art der Gletscherschrammen in die glatte Oberfläche von Eruptivgesteinen gegraben werden.

Der äolischen Korrasion ist die Glättung der Wüstenkiesel zuzuschreiben. Dieselben bestehen meist aus weißem Quarz, Chalcedon und Achat. Sie können die übrig gebliebenen Teile größerer Gesteinsmassen sein, indem das nachgiebigere kristallinisch körnige oder schieferige Material, welches die vorher unregelmäßig gewesenen kieselligen Ausscheidungen umgab, durch die Korrasion entfernt wurde. In anderen Fällen können sie Restbestände von Konglomeraten sein. Auch hier wieder ist die Aufmerksamkeit auf die regionale Verwitterung zu richten. Wo, wie in Brasilien, eckige, unregelmäßig oder gangartig in zersetztem Gneis zerstreute Quarzblöcke das Residuum der tiefgreifenden Zersetzung sind, da werden bei Eintritt eines trockenen Klimas die verfaulten Gesteinsmassen durch Erosion und Korrasion schnell fortgeführt werden, die Quarzblöcke durch Sandschliff eine gerundete Form und polierte Oberfläche erhalten und, indem sie einzeln vertikal allmählich in ein tieferes Niveau herabkommen, schließlich die ganze Oberfläche

locker bedecken. Ähnlich dürften sich die neben und über einanderlagerndem verkieselten Baumstämme der ägyptischen Wüsten erklären, indem der mürbe tonige Sandstein, in dessen verschiedenen Schichten jene eingeschlossen waren, durch Korrasion entfernt wurde und zur Vermehrung des schleifendes Sandes selbst neues Material hergab. Demselben Vorgang ist die Ansammlung verkieselter Versteinerungen an der Oberfläche in Teilen derselben Wüste zuzuschreiben. Doch ist bei der Beobachtung über die Zerstörung des Gesteins auch den anderen mitwirkenden Agentien, insbesondere dem Zerspringen durch Wärmewechsel (§ 39) Rechnung zu tragen.

Die Zerstörung von Abbrüchen horizontaler Schichtgesteine durch fortschreitende Unterminierung muß schneller von statten gehen als das Abtragen des ebenflächigen Gesteins gegen die Tiefe hin, weil dort der Detritus abfällt, hier hingegen den Boden bedeckt, und weil dort dem horizontalen Stoß viel bessere Angriffsflächen geboten werden, als in der Schichtungsebene. Es ist daher darauf zu achten, ob nicht die Ausgestaltung der den erodierten trockenen Tafelländern allenthalben eigentümlichen zurückweichenden Staffeln (§ 75) wenigstens größtenteils der Wirkung der äolischen Korrasion zuzuschreiben sind. Es wird dabei auf das die Decke der Ablagerung -bildende Gestein ankommen. Ist dasselbe eine basaltische Tafel, wie es in Teilen des Colorado-Tafellandes vorkommt, so wird die Korrasion die herab stürzenden Massen nicht zu bewältigen vermögen. Der Unterhöhlung wird eine Grenze gesetzt sein, und es werden die basaltbedeckten Teile des Tafellandes die Erscheinung der zurückweichenden Staffeln nicht mehr erkennen lassen.

Besondere Erscheinungen sollten dort hervorgerufen werden, wo Gänge oder Kuppen von Eruptivgestein vorhanden sind. Sie sollten als feste minder angegriffene Kerne übrig bleiben und über den Staffelbau hervorragen.

[p.440]

3. Umlagerung und Aufbereitung.

[§195] Überall wo in lockeren mineralischen Anhäufungen die Teilchen verschiedene Größe haben, vermag der Wind von einer bestimmten Stärke (gleiches spezifisches Gewicht der Teilchen vorausgesetzt) nur solche bis zu einer bestimmten Größe vollständig zu entführen; die nächst größeren kann er noch fortrollen; was noch grösser ist, bleibt liegen. Ein konstanter Luftstrom würde daher, ebenso wie ein aus dem Gebirge in die Ebene tretender Fluß (§ 83), die ihm zugänglichen Teile des Agglomerates in einen Dejektionskegel verwandeln, dessen einzelne Zonen in der Richtung des Windes eine stetig abnehmende Größe der Bestandteile zeigen würden. Von der innersten Zone an würde jede nach außen folgende eine wachsende Breite (in der Richtung vom Scheitel hinweg) haben, und das Ende der letzten, aus feinem Staub gebildeten, würde beinahe in unendlicher Ferne liegen. Jede Zone würde bei konstanter Fortdauer des Windes sich nach außen fort-schieben, die inneren weniger, die äußeren mehr.

Dies ist das Gesetz der Saigerung oder Aufbereitung lockerer Massen durch den Wind. Wechsel in der Windstärke und Windrichtung werden, ebenso wie die Reliefformen der Oberfläche, vielfache Modifikationen hervorbringen, von denen aber jede von demselben Gesetz beherrscht sein wird. Das letztere ist von Wichtigkeit bei dem Studium von Wüsten und Steppen, läßt sich aber auch bei Sand- oder Kiesgruben und auf Sturzäckern beobachten. Der feste Fels, die großen Blöcke und die runden Wüstenkiesel sind das Zurückbleibende, die Scheitel der einzelnen Schuttkegel. Sie bilden die Felswüste und die Kieswüste. Der ganze Rest, welcher die

beweglichen Teile umfaßt, teilt sich im Wesentlichen in zwei Zonen, diejenige des Sandes und diejenige des Staubes.

Der Sand wird von den groben Stücken ausgesondert, wandert und häuft sich vor dem Winde an, indem gleichartiges Korn sich zusammengesellt. In allen Wüstengebieten nehmen die Sandflächen große Räume ein. Aber sie haben verschiedenen Charakter, deren extremste Formen als diejenigen der Flugsandwüste und der Dünenwüste zu bezeichnen sein dürften. Heftiger Wind bringt zwar bei allen Formen ein intensives Sandtreiben hervor; aber es gibt solche, bei denen über weite Flächen der Sand eine dünne, unregelmäßige, fortdauernder Verschiebung ausgesetzte Decke über festem, lehmigem oder felsigem Boden bildet, wo also der Flugsand allein charakteristisch ist. Andere Formen zeigen eine Verteilung des Sandes in leichten niedrigen Wellen; noch andere eine Anhäufung desselben in Gestalt langer paralleler Züge von Sanddünen, welche Höhen von 100—150 Meter erreichen und einer langsamen Wanderung unterliegen. Die Dünen der Meeresküsten wurden an einer anderen Stelle (§ 159) besprochen. Hier kommen diejenigen des Binnenlandes in Betracht. Es ist noch nicht bekannt, welche Einflüsse der verschiedenen Art der Anhäufung des Sandes zu Grunde liegen. Hypothetisch lassen sich als solche bezeichnen: die Größe der Sandkörner, die Gestalt derselben, die Formen der Oberfläche des Untergrundes, und die Richtung der vorherrschenden Winde.

Die Entstehung des Quarzsandes ist an sich ein Problem von hohem Interesse, weil derselbe eine eigentümliche und wichtige Rolle an der Erdoberfläche hat. Der Vorgang begann mit der ersten Sonderung von Land und Meer; denn als, die eigentliche Werkstatt, wo der Sand bereitet wird, ist der der Brandungswirkung ausgesetzte Meeresstrand (§ 154) zu betrachten. Der Quarz der Eruptivgesteine, Granite und kristallinen Schiefer, sowie der die letzteren in großer Zahl durchsetzenden Sekretionsgänge, hat wahrscheinlich das ursprüngliche Material hergegeben. Auf dem Strand wurde er herauspräpariert und zertrümmert, wie es noch fortdauernd an Felsküsten, welche aus diesen Gesteinen bestehen, geschieht. Sind dann die Fragmente durch lange fortgesetztes Schleudern, Schleifen, Rollen und Reiben zu rundlichen Körnern von einer gewissen Größe reduziert, so werden sie dem ferneren Einfluß der Brandungswelle entzogen. Sie häufen sich am Boden der Litoralzone des Meeres an, weil die Welle nur diejenigen Teile, welche eine gewisse Größe übersteigen, stets wieder am Strand hinauf zum Zweck weiterer Bearbeitung zu transportieren strebt. Bei gleichmäßiger und ungestörter Aufbereitung werden daher die Quarzkörner des im Meer abgelagerten Sandes eine gewisse (vielleicht nach der Stärke der Brandung verschiedene) Maximalgröße nicht übersteigen, aber zum Teil viel geringere Größe haben können. Ein anderer Teil des Sandes wird an die Dünen abgegeben. Hier sollte eine Minimalgrenze für die Größe der sich zusammenhäufenden Körner vorhanden sein, weil das Feinere vom Wind über die Düne hinaus transportiert wird.

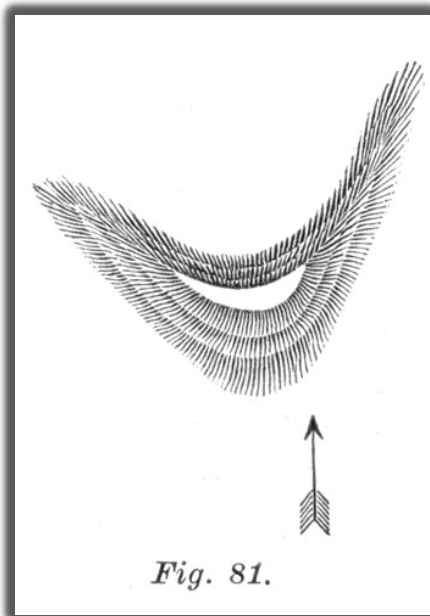
Bei der wiederholten Zerstörung des größten Teiles der ältesten, sowie der später gebildeten Sandsteine scheint wesentlich eine Umlagerung der Sandkörner und eine Zusammenhäufung zu neuen Sandgesteinen stattgefunden zu haben. Die Gesamtmasse des Quarzsandes muß daher im Lauf der Geschichte der Erde stetig zugenommen haben.

Der Sand der Wüsten kann von den Dünen eines im Rückzug begriffenen Meeres (§ 168) und den Anhäufungen am Boden der Küstenzone des letzteren (§ 189) stammen, wie in den Umgebungen des Kaspischen Meeres, im pannonischen Becken und teilweise im Tarym-Becken Zentral-Asiens. Er kann aber auch der Zerstörung der Sandsteine entnommen sein, wie es von Zittel für die Sande der östlichen Sahara erwiesen worden ist. Es scheint nicht, daß die äolischen Kräfte hinreichend sind, um aus Quarzfragmenten neuen, aus gerundeten Quarzkörnern bestehenden Sand in bedeutender Menge zu bilden. Die Winde operieren wesentlich mit dem gegebenen

Material, machen neues frei durch Korrasion und übernehmen das welches in anderer Weise gelockert wurde. Bei dem Treiben des Sandes werden verschiedene Umgestaltungen vor sich gehen, Zunächst werden alle Körner, welche aus weniger harten Mineralien bestehen, so zertrümmert werden, daß sie in Gestalt von Staub nach größeren Fernen wandern. Die Feldspäte und Glimmerarten, Hornblende und Augit, müssen, wo sie Bestandteile des Wüstensandes bilden, diesem Schicksal ebenso unterliegen, wie die tonigen Bindemittel der Sandsteine und alle tonigen Substanzen überhaupt. Durch die gegenseitige Reibung der Quarzkörner muß Kieselmehl entstehen, welches von den Winden leicht entführt wird. So geschieht es, daß der Wüstensand schließlich nur aus Quarzkörnern besteht, deren Maximalgröße wahrscheinlich durch die einstmalige Aufbereitung auf dem Meeresstrand vorbestimmt wurde, während die Minimalgröße von der Kraft des Windes abhängt. Zittel fand in der Libyschen Wüste die Grenzdurchmesser 0,50 und 2 Millimeter. Solche Messungen sollten vielfach angestellt werden.

Das Treiben des Sandes scheint am stärksten dort zu sein, wo der Wind am freiesten über die Flächen streicht und der Sand wellige Formen annimmt, ohne sich zu Dünen aufzutürmen. Es ist häufig mit einem lauten Tönen und Singen verbunden, über welches weitere Beobachtungen erwünscht sind. Auch wäre es von Interesse, festzusetzen, ob nicht bei dem Anprall der Quarzkörner an einander oder an harte Felsen oft ein Zerspringen stattfindet, welches durch die Einwirkung von Hitze und Kälte vorbereitet werden könnte.

Unregelmäßige Quarzsplitter würden dem freien Fall größeren Widerstand entgegensetzen als gerundete, und sollten daher von stark bewegter Luft viel weiter getragen werden können. Da der Löß in den zentralen Teilen großer Becken scharfeckige und kantige und nur in Bandgebieten auch gerundete Quarzkörner enthält, so muß dies auf einer größeren äolischen Transportfähigkeit der ersteren beruhen. Ihr Ursprung könnte jedoch auch in der Zertrümmerung anstehenden Quarzes durch Korrasion, in der Abspaltung von Splittern durch Frost und in der Gesteinszermahlung durch Gletscher zu suchen sein. In diesen Fällen sollten sie in Wüsten, wo die genannten Bedingungen vorhanden sind, nicht fehlen und, da das Gleichartige sich gern zusammengesellt, an gewissen Stellen vorwalten.

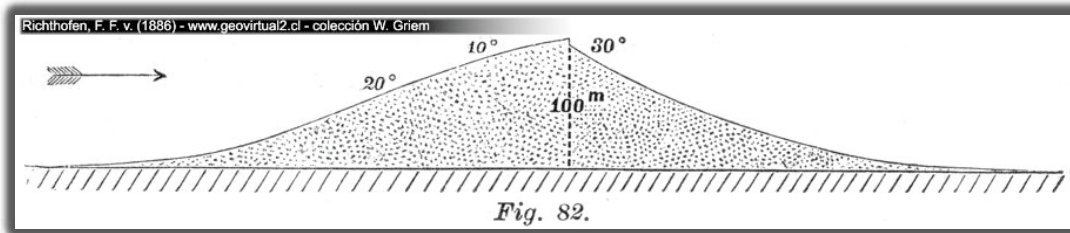


Ob die Anhäufung des Sandes zu Dünen mit einem Wechsel im Bodenrelief zusammenhängt, ist nicht bekannt. Doch hat ein solches Verhältnis einige Wahrscheinlichkeit. Große Dünen bilden sich an den Stellen des sehr bemerkenswerten Wechsels vom Strand zum Land. Kleine entstehen bei jedem Hindernis, das sich dem Sandtreiben entgegenstellt. Ein Strauch genügt um eine ganze Sandanhäufung hervorzubringen, die sich an der Leeseite bildet und allmählich zu bedeutender Höhe auftürmen kann. Sie lenkt den Wind nach beiden Seiten unter gewissen Winkeln ab und bildet den Scheitelpunkt von zwei divergierenden Sandwällen. Es ist dies der in Figur 81 dargestellte Typus der von v. Middendorff beschriebenen Barkhane, die sich besonders auf den Kies und Salzwüsten des aralokaspischen Beckens bilden und auch in Argentinien bekannt sind. Stände an Stelle des Strauches,

ungefähr rechtwinklig zur Windrichtung, eine sich lang hinziehende niedere Bodenterrasse, so würde die Sandanhäufung ihr entlang stattfinden. Es könnte sich an solcher Stelle eine hohe und

permanente Düne bilden, welche, gerade wie bei der Küstenumsäumung, das Entstehen paralleler Dünenreihen auf der Leeseite zur Folge haben würde.

Diese Vorgänge sollten zunächst im Kleinen sorgfältig beobachtet werden; die Ergebnisse werden sich vermutlich auf die größeren Phänomene übertragen lassen. Es ist auch dabei der Anteil zu beachten, welchen die Winde der einzelnen Jahreszeiten auf die Gestalt der Dünen im Ganzen und auf kleine Modifikationen derselben haben. Die Luftströmungen der trockenen Jahreszeiten werden in höherem Maße bestimmend sein, als diejenigen der Monate in welchen Regen oder Schnee die Dünen verfestigt.



Neben der Gestalt ist das Wandern der Dünen zu beobachten, welches oft verhängnisvoll für Kulturgebiete sein kann, wie z. B. im Tarym-Becken. Nach übereinstimmenden Berichten scheinen hohe Dünen langsam zu wandern. Man beobachtet in der Regel eine allmählich ansteigende konvexe Seite, welche auf der Höhe in einem sehr scharf geschnittenen Rand endigt. Dies ist die Windseite. Auf der anderen ist erst ein steiler Absturz, der bei den Barkhanen 60° beträgt, bei den Dünen der Libyschen Wüste fast vertikal sein und eine Höhe von 2 bis 3 m haben soll; daran schließt sich ein mit ungefähr 30° Neigung beginnender konkaver Abfall. Er setzt bis zu dem Boden der Kehle fort, aus welcher nach einer Verebnung, und mit einer geringen Konkavität beginnend die nächste konvexe Stoßseite aufsteigt. Figur 82 stellt den Querschnitt einer Düne der Libyschen Wüste nach Zittel dar. Das Wandern geschieht in der Richtung des Windes, indem der Sand über die Kante hinweggeweht wird, und diese selbst mancher Änderung in Höhe und Lage unterliegt.

4. Ablagerung des Staubes.

[§196] Gänzlich verschieden von der allmählichen Fortbewegung der Dünen und dem Fortschieben großer Sandmassen durch das niemals weit über die Oberfläche sich erhebende Treiben ist das Schicksal der feinen Bestandteile, welche, einmal in die Atmosphäre erhoben, lange in ihr schwebend erhalten und mit ihr fortgetragen werden, bis sie, oft in großer Feme, entweder durch ihr eigenes Gewicht, oder durch Regengüsse niedergeschlagen, den Erdboden wieder erreichen. Wie sie sich im Meer teils mit dem Sand, teils in weiter Entfernung über ihn hinaus abgelagern (s. S. 418), so ist es auch auf dem Land der Fall. Auf dem ganzen Weg des Windes wird der Staub über die Oberfläche verteilt. Ein Teil fällt in das Meer (s. S. 421). Was sich auf regenreichen Berggehängen absetzt, wird größtenteils wieder abgespült. Was auf vegetationslosen, trockenen Boden gelangt, wird von dem nächsten Wind wieder aufgewirbelt, sofern es nicht einen geschützten Raum zwischen Felsblöcken oder Wüstenkieseln findet. Manches kommt in abflußlose Seen und wird deren Sedimenten einverleibt; auch was auf feuchten, schlammigen Boden gerät, bleibt haften. Die eigentlichen Ansammlungsgebiete des äolischen Staubes aber sind ebene oder flachgeneigte, mit Vegetation bedeckte Erdräume. Der Vorgang des

Ansammelns läßt sich allenthalben beobachten. In Gegenden, die von den Erzeugungsgebieten der großen, umgestaltend wirkenden Staubmassen weit entfernt sind, haftet auf kahlem Gemäuer, selbst auf den Zinnen von Kirchtürmen, der Staub an Flechten und schafft durch seine Anhäufung bald ein Polster für Moose, Gräser und Kräuter, und schließlich für Sträucher und Bäume. Höher sammelt er sich an, wo von Ruinen umschlossene Räume ihm besseren Schutz gewähren. Wo ausgedehnte Reste von Bauwerken auf Anhöhen liegen und eine Zufuhr von Boden durch irgend ein anderes Agens ausgeschlossen ist, vermag der durch die Atmosphäre herzugetragene Staub im Lauf der Zeit eine mit dichter Vegetation bedeckte Bodenschicht zu schaffen. Von mächtigeren äolischen Schuttmassen, als solche Stätten in Mittel-Europa, sind die Ruinen der großen Städte des Altertums im Tal des Euphrat und Tigris überdeckt.

Solche Fälle können dazu dienen, die Wirkungsweise des Windes in der Anhäufung von Bodenbestandteilen offenkundig zu machen. Sehr viel bedeutender, aber nicht so unmittelbar der Beobachtung zugänglich, sind die Niederschläge, welche in den vegetationsbedeckten Strecken Zentral-Asiens und seiner Umgebungen niederfallen. Vor Allem sind es die mit Gräsern bewachsenen, den kahlen Wüstenländern zunächst gelegenen Steppen, welche ihn aus erster Hand empfangen und festhalten. Wenn bei und nach einem Staubsturm eine meßbare Schicht feiner erdiger Bestandteile dort niederfällt, so findet sie Schutz unter dem Gras, und der nächste Regen befestigt sie an den Boden, der dadurch in seiner ganzen Ausdehnung eine Erhöhung um einen geringen Betrag erfährt. In dem Maße als dieser Zuwachs sich im Lauf der Jahre zu größerer Mächtigkeit summiert, wachsen die Pflanzen in höherem Niveau. Um denselben Betrag rückt die Grenze aufwärts, bis zu welcher die tiefsten Wurzeln hinabreichen. Im Lauf der Jahrhunderte kann dieses Anwachsen des Bodens einen namhaften Betrag erreichen, im Verlauf von zehntausenden von Jahren werden große Erdräume eine völlige Umgestaltung erleiden müssen.

Diese Niederschläge wirken im Allgemeinen ausebnend. Ist die ursprüngliche Bodenfläche von Unebenheiten erfüllt, z. B. von kahl aufragenden felsigen Erhöhungen unterbrochen, so wächst der Boden in den Vertiefungen fort, bis diese das Niveau der früheren Erhöhungen erreichen und sich über dieselben hinweg mit einander verbinden. Mehr und mehr nimmt die Gleichmäßigkeit der Flächenausbreitung zu; alle Unregelmäßigkeiten der vormaligen Oberfläche werden in der Tiefe vergraben.

Andere Agentien unterstützen die Tendenz des Nivellierens. Die aufragenden Felsmassen und Gebirge unterliegen der Zerstörung durch Verwitterung, Spaltenfrost und Wärmewechsel. Die Spülwässer der Regenzeit führen die Trümmer an den Gehängen hinab und schaffen konkave Schutthalden, in denen die Größe der Bestandteile von oben nach unten, von der Bergseite nach der Verebnung hin, allmählich abnimmt. Dadurch entstehen die Formen flacher Mulden und Becken, die durch mehr und mehr sich abrundende, in ihren eigenen Schutt sich hüllende Höhenzüge aus Gestein getrennt werden. Tritt periodisch ein stärkerer Regenguß ein, so werden große Massen des Gehängeschuttes über die den Muldenghängen zunächst gelegenen Teile der Steppe ausgebreitet, die dann wieder ruhig zu höherem Niveau wächst, bis eine abermalige Überführung mit Schutt eintritt. Aber in größeren Becken und Mulden erreicht derselbe niemals die zentralen Teile. In diesen herrscht die Verebnung mit äolisch gebildetem, sehr feinerdigem Boden. Je mehr man sich den Einfassungen nähert, desto mehr stellen sich gröbere Bestandteile ein, bis man den groben Gehängeschutt erreicht, der aber auch seinerseits von äolischen Aufschüttungsmassen erfüllt wird. Je grösser die Muldenflächen werden, desto vollkommener bieten sie das Ebenbild der kontinentalen und pelagischen Ablagerungen in Meeresbecken (§ 188) in kleinem Maßstab dar.

Solche Steppengebiete haben eigentümliche Stromverhältnisse. Einige, wie die Schwarzerde-Distrikte im südlichen Rußland, werden von großen Flüssen durchzogen, die sich tief in das den äolischen Boden unterlagernde Gestein eingegraben haben. Dieselben durchziehen die Steppen, ohne von ihnen selbst nennenswerten Zufluß zu erhalten. In anderen, wie in den Prairie-Gebieten zwischen Felsengebirgen und Missouri, erreichen die den Gebirgen entströmenden Flüsse nur stellenweise die Unterlage und nehmen ihren Lauf in den Steppengebilden selbst. Sie geben ihrer Umgebung Feuchtigkeit ab und verlieren Wasser durch Verdunstung, aber erhalten ebenfalls kaum Zufluß von der Steppe selbst; so ist es auch in den Llanos der Fall. Wieder in anderen Steppengebieten erreicht kein Fluß das Meer; die Gewässer der umgebenden Gebirge versiegen größtenteils im Steppenboden. Zum Teil sammeln sich die einzelnen Wasseradern zu einem größeren Fluß; aber wo derselbe, allmählich an Wassermenge verlierend, den tiefsten Teil der Mulde erreicht, mündet er in einen Salzsee ohne Abfluß. Durchströmt er vorher Seebecken, so sind diese nicht salzig.

Mit dem erdigen Staub werden durch den Wind lösliche Salze transportiert. Auch sie fallen nieder und erfüllen den neugebildeten Boden. An den Rändern der Mulden werden sie durch Regen gelöst und teils durch das Grundwasser, teils durch in Kanälen fließendes Wasser den tieferen Teilen zugetragen. Daher konzentrieren sie sich am meisten in den Seebecken der tiefsten Teile der einzelnen Mulden und Becken; von da gegen die Ränder hin nimmt ihre Menge allmählich ab; aber sie fehlen keinem Teil. Auch dort wo die Verebnung eine vollständige ist, und Flüsse in tiefgeschnittenen Kanälen dem Meere zueilen, können die Salze nur unvollkommen ausgelaugt werden. Im einzelnen Fall ist zu untersuchen, welchen anderen Ursprung dieselben haben können. Wo höhere Gebirge die Steppe überragen, da werden Verwitterungssalze unmittelbar in Lösung nach den tieferen Strecken geführt. Denselben Weg nehmen die löslichen, aus dem Bestand von Schichtgesteinen entnommenen, vielleicht sogar aus Salzlagerstätten stammenden Stoffe. Auch kann der Untergrund, auf welchem der Steppenboden ruht, ein alter Meeresboden sein und, falls er ein umschlossenes Restbecken von Meereswasser war, einen sehr beträchtlichen Salzgehalt haben, der sich auf dem Weg der Diffusion auch an der Oberfläche manifestiert. Es ist daher auf die Art der Salze zu achten. Dieselben sind nicht nur dort zu sammeln und zu untersuchen, wo sie konzentriert vorhanden sind, sondern auch wo sie, dem Auge nicht erkennbar, den Boden erfüllen und, wie es in Steppen allgemein der Fall ist, dem Brunnenwasser einen besonderen Geschmack geben.

Eines der wichtigsten Momente im Haushalt der Natur ist die Fruchtbarkeit des äolischen Bodens. Letzterer besteht aus den zusammengewehrten Bestandteilen aller Felsarten, und zwar werden diese zum Teil im Zustand vollständiger Verwitterung, zum Teil, wie in dem Gletscherschlamm und der Korrasion entnommenen Staub, in frischem Zustand geliefert. Ton, zerriebener Feldspat, Kalksteinstaub, Kieselmehl und feine Quarzsplitter, Glimmerblättchen, Salze, organische Substanzen — das sind die wesentlichsten Bestandteile. In ihrer Mischung enthalten sie alle Elemente fruchtbaren Bodens. Zu dem feinen Korn gesellt sich die Lockerheit des Gefüges, welches durch die Pflanzenwurzeln bedingt wird. Ungünstig aber wirken die löslichen Salze, wenn ihre Menge ein gewisses Maße übersteigt. Werden sie auf künstlichem oder natürlichem Weg ausgelaugt, so ist die Fruchtbarkeit hergestellt. Im natürlichen Zustand sind die großen Flächenablagerungen von äolischem Staub weitaus vorwiegend mit Steppenvegetation, also in erster Linie locker stehenden Gräsern, bekleidet; nur an Flußufern finden Bäume günstige Bedingungen, weil dort permanente Feuchtigkeit vorhanden ist und die Salze ausgelaugt werden. Der Mensch schafft sich durch Anwendung desselben Mittels Oasen, indem er die vom Gebirge herabkommenden Gewässer über den Boden verteilt. Dieser erweist sich als ungemein ergiebig für Cerealien und gestattet bei sorgfältiger Pflege die Anpflanzung von Bäumen; aber letztere gehen

zu Grunde, wenn die Berieselung aufhört. Derartige Vegetationsbedingungen sind im Einzelnen zu untersuchen. Die Bewohner des zentralen Asiens und des nördlichen China begrüßen die Staubstürme als fruchtbringend; die Erdschicht, mit der die Felder überdeckt werden, wirkt wie ein Düngungsmittel.

Die nordafrikanischen Oasen sollten ebenfalls Sammelplätze fruchtbringenden und düngenden, äolisch herzugeführten Staubes sein. Sie sind umgeben von Stätten der Ablation und Korrasion durch Wind und bieten durch Feuchtigkeit und Vegetation die Bedingungen für das Festhalten und die Anhäufung des Staubes. Es gibt dort natürliche Oasen, welche in Vertiefungen liegen, zu denen das Grundwasser Zutritt hat; und es gibt künstliche, welche durch artesische Brunnen (§ 53) bewässert werden. Beiderlei kulturfähige Stätten sollten in Folge sorgfältigen Anbaues bevorzugte Ablagerungsorte des Staubes sein und könnten dadurch im Lauf langer Zeiten eine geringe Vergrößerung erfahren.

Es ergeben sich aus den vorstehenden Erörterungen eine Menge von Gesichtspunkten, unter denen die durch die atmosphärischen Strömungen verursachten Ablagerungen betrachtet werden können. Andere werden im Einzelfall hinzutreten und sollen zum Teil noch in einem anderen Abschnitt (§ 215) Berücksichtigung finden.

Es kommt hier vor Allem darauf an, die Einzelercheinung in ihrem Zusammenhang mit der Gesamtheit der für den betreffenden Erdraum charakteristischen Erscheinungen zu untersuchen. Man kann die äolischen Ablagerungen auf jeder Wiese, auf jedem alten Gemäuer und an vielen anderen vor der Wirkung des fließenden Wassers geschützten Orten erkennen und studieren. Wo das Phänomen sich im Großen zeigt, sind die meteorologischen Verhältnisse in Betracht zu ziehen, vor Allem die vorherrschenden Windrichtungen und die Verteilung der Regenzeiten, sodann die Formen des Bodens und der Charakter der umliegenden Gebiete, besonders derjenigen, welche den Staub zu liefern im Stande sind. In einer Gegend mit schroffem Formenwechsel wird man beobachten, wie der Staub sich an geschützten Stellen in großer Mächtigkeit abgelagert hat, dagegen an anderen, welche der fegenden Kraft des Windes ausgesetzt sind, gänzlich fehlt, und wie diese Erscheinung eine vollkommen gesetzmäßige Verteilung der Unregelmäßigkeiten verursachen kann, während in völlig ebenen Gebieten auch eine ganz gleichmäßige Verteilung der Niederschläge stattfindet. Auch über den Betrag, um welchen der Boden in einem gewissen Zeitraum, z. B. einem Jahrhundert, wächst, sollte man Aufschluß zu gewinnen suchen. Dies wird dort möglich sein, wo Altertümer, welche unter äolischen Aufschüttungen verborgen liegen, sich auf ein bestimmtes Zeitalter zurückführen lassen.

[p.451]

Dritte Abteilung.

Beobachtungen über Erdboden, Gesteine und Gebirgsbau.

[§197] Die Oberfläche des festen Landes besteht einerseits aus einem Felsbau von mehr oder weniger festen Gesteinen, andererseits aus losen Anhäufungen von Schutt und erdigen Massen, welche sich über die meisten Teile des Felsbaues ausbreiten und Vertiefungen in ihm ausfüllen. Das feste Gestein ist teils unzersetzt oder doch nur an seiner äußeren Fläche schwach verändert, teils mit einer lockeren, aus seiner eigenen Umwandlung hervorgegangenen Verwitterungsrinde bekleidet, welche große Mächtigkeit erreichen kann. Diese Art von Bekleidung, welche als auto-gen, zum Unterschied gegen die von auswärts herzugetragene Decke allogener Gebilde bezeichnet werden kann, läßt sich von zweierlei Gesichtspunkten betrachten; denn einerseits bildet sie einen Teil des Felsbaues, insofern als sie aus dessen Gestein, wiewohl in einem veränderten, gewissermaßen pathologischen Zustand, besteht; andererseits gehört sie zu den lockeren Deckgebilden, insofern sie in derselben Weise wie die herzugetragenen losen Massen das feste Gestein verhüllt und die Pflanzendecke trägt.

Geologische Aufschlüsse. Alles Erdreich und Gestein gehört zu den Gegenständen geologischer Untersuchung. Ein Aufschluß ist daher an jeder nicht von Wasser, oder Eis, oder dicht überwuchernder Pflanzenbekleidung bedeckten Stelle gegeben. In den großen Tiefländern der Erde und in den Becken der zentralen Gebiete gibt es weite Strecken, wo diese Aufschlüsse sich auf allo-gene Deckgebilde beschränken. Für die größten Teile des norddeutschen Flachlandes muß man sich zum Beispiel damit begnügen, auf geologischen Karten die verschiedenen Arten und Altersstufen des Gletscherschuttes, des glazialen und postglazialen Schwemmland und des äolisch gebildeten, allerdings nur in dünner Decke auftretenden Bodens von einander abzusondern. Ein weitergehendes Ziel der Forschung aber ist die Kenntnis des in verhältnismäßig geringer Ausdehnung völlig zu Tage anstehenden Felsbaues. Nur die beinahe vegetationslosen Gebirge der Wüste lassen an jedem zu einiger Höhe aufragenden und nicht allzu flachen Gehänge alle Gesteine, aus denen sie bestehen, selbst aus der Ferne klar und scharf erkennen. In der großen Mehrzahl der Fälle stellt man sich die Aufgabe, das Gestein unter den lockeren Deckgebilden, welche sich dem Blick zunächst darbieten, aufzusuchen, Beides von einander zu trennen und aus den Gesteinen ein Verständnis desjenigen Felsbaues zu gewinnen, welcher die Oberfläche ohne das Vorhandensein der Deckgebilde allein bestimmen würde. Wo diese bis zu größerer Tiefe überwiegen, ist es um so wichtiger, die einzelnen Stellen zu finden, an denen jener an die Oberfläche tritt. Gewöhnlich hat man es mit einer Bekleidung zu tun, welche entweder den Felsbau nur streckenweise verhüllt, oder an vielen Stellen zerrissen und durchschnitten ist. Diese

ursprünglich unverhüllten oder durch besondere Umstände ihrer Hülle entkleideten Stellen sind die Orte der geologischen Aufschlüsse, welche man besonders aufzusuchen hat. Ein Graben, eine tief eingefurchte Straße, ein Eisenbahneinschnitt, ein Steinbruch, die Wände eines Stromkanals, die Bunsen und Tobel in Gebirgen, die Felswände und Felsgräte, die einzeln aus Tälern und Flachböden aufragenden Gesteinskuppen, die Steilküste des Meeres — dies sind Stellen, welche über den Felsbau und das Verhältnis der Deckgebilde zu ihm Aufschluß geben können. Derselbe ist um so vollkommener, in je größerer horizontaler oder vertikaler Entwicklung das Gestein bloßgelegt ist, oder sich auf dem Wege der Schlußfolgerung feststellen läßt. Die letztere gründet sich auf die Auffindung möglichst vieler und möglichst nahe an einander gelegener Aufschluß-Stellen, welche gestatten, die Verbindung der Grenzen der einzeln gefundenen Gesteinsarten oder Formationsglieder unter den Deckgebilden hinweg zu verfolgen und auf Karten einzutragen. Bei der Wahl des Reiseweges muß nicht nur dieses Ziel erstrebt werden; es soll auch der Gesteinsverband, die Tektonik des Grundbaues, erkannt werden. Man würde diese unmittelbar zu beobachten im Stande sein, wenn man an mehreren Stellen senkrechte Schnitte quer durch eine ganze Gebirgsmasse legen könnte. Da dies nicht möglich ist, muß man -diejenigen Stellen aufsuchen, wo durch natürliche Einschnitte das dargestellte Ideal am vollkommensten erreicht wird. Einige hierauf bezügliche Winke sind in § 8 gegeben worden.

Zuweilen sind die Aufschlüsse von ermüdender Gleichförmigkeit, indem sie in steter Wiederholung dasselbe Ergebnis liefern. Aber aufmerksame Beobachtung lehrt in solchen Fällen die kleinsten Unterschiede beachten, und man kann jeder Gegend ein Interesse abgewinnen, und oft gerade von der einförmigsten die am weitesten anwendbaren Schlußfolgerungen erlangen. Wo es an Aufschlußpunkten fehlt, z. B. wenn man in einem flachen Talboden einem Gebirge entlang reist, gilt es, die Anhaltspunkte aus verschiedenen Erscheinungen, von denen einige in § 11 angedeutet worden sind, zu sammeln. Der Reisende muß streben, hierfür seinen Blick zu schärfen.

Im Folgenden sind die lockeren Deckgebilde von den Gesteinen des Grundbaues getrennt behandelt. Es schließen sich daran die Beobachtungen über den inneren und äußeren Bau der Gebirge.

[p.456]

Zwölftes Kapitel.

Beobachtungen über den lockeren Erdboden.

[§198] Die aus der Zersetzung des unterlagernden Gesteins hervorgehenden oder aus der Ferne herzugetragenen lockeren Deckgebilde, welche sich fast überall dem beobachtenden Blick zuerst darbieten, sind von großem Interesse und hoher Bedeutung. Die Existenz der gesamten organischen Welt ist an sie unmittelbar geknüpft, und in der Art ihrer Entstehung spiegelt sich die Geschichte der äußeren Einflüsse, welchen jede Erdstelle innerhalb der letzten Epochen unterworfen gewesen ist. Meist ist ihnen nur nebensächlich Aufmerksamkeit gewidmet worden, da der Felsbau diese in höherem Maße auf sich zog. Erst in neuester Zeit hat sie sich ihnen mehr zugewendet, aber doch noch immer in zu geringem Grad. Der Reisende, welcher nach einander verschiedene Gegenden durchzieht, hat Gelegenheit, vielerlei Bodenarten zu beobachten. Er sollte sich daran gewöhnen, sie nicht einfach ihrem Charakter nach zu registrieren, sondern sie als das Resultat von klimatischen Zuständen und von Bildungsvorgängen aufzufassen, zugleich aber ihre Wirkung auf die jetzige organische Welt, und durch diese auf die Existenz und die Kulturbedingungen des Menschen zu prüfen. Er wird dann ihrem Studium sehr anziehende Seiten abgewinnen.

Wir betrachten hier zuerst die Faktoren der Bodenbildung, wobei wir manche frühere Ausführung rekapitulieren, dann die wichtigsten der regional verbreiteten Bodenarten, ferner die Modifikationen, welche die letzteren unter verschiedenen Bedingungen erleiden, und die Schlüsse, welche sich aus der Übereinanderlagerung verschiedener Bodenarten ziehen lassen.

A. Faktoren der Bodenbildung.

Aller lockere Erdboden ist aus der Zerstörung von festem Gestein hervorgegangen. Aber sehr verschieden ist der Grad, in welchem bei der Entstehung der einzelnen an der Zusammensetzung der Oberfläche teilnehmenden Arten desselben verschiedene Agentien mitgewirkt haben, und unendlich verschieden die Zeitdauer, während welcher diese tätig gewesen sein können. Man kann diejenigen Agentien, welche den Boden in erster Linie (primär) aus dem festen Gestein produzieren, ohne ihn von seiner Lagerungsstelle zu entfernen, als eine Klasse zusammenfassen. Einer zweiten gehören diejenigen an, deren Tätigkeit wesentlich darin besteht, die gelockerten Teile nach anderen Stellen zu transportieren, sie aufzubereiten und anzusammeln. Als eine dritte Kategorie lassen sich diejenigen Vorgänge zusammenfassen, bei welchen die losgelösten Bestandteile des Gesteins unmittelbar den Agentien der zweiten Klasse überliefert werden.



a. Primäre Bodenbildner.

Hierzu gehören:

[§199] 1. Der Frost. Inwieweit der Spaltenfrost die Absplitterung des Gesteins und die Entstehung von lockeren Schuttmassen, der Haarfrost hingegen die Lockerung des Bodens verursacht, ist in § 41 dargestellt worden.

2. Die Verwitterung der Gesteine mittelst Feuchtigkeit, Wärme und vegetativer Prozesse. Dies ist ein wichtiger und weit verbreiteter Vorgang. Wo Feuchtigkeit, oder dauernd hohe Wärme, oder Beides fehlt, ist er sehr gering und wird durch die Tätigkeit des Frostes und der Temperaturwechsel ersetzt. So lange die Verwitterungsprodukte sich auf primärer Lagerstätte befinden, unterscheiden sie sich je nach dem Gestein, durch dessen Umwandlung sie entstanden. Die einschlägigen Vorgänge sind in § 42 ff, erörtert worden.

3. Des Einflusses der Auflösung des Gesteins auf die Bodenbildung ist ebenfalls schon (§ 45) gedacht worden. Am großartigsten ist sie bei Kalkstein, welcher einen roten, meist bohnerzhaltigen, zähen und festen Ton als Residuum zurückläßt. Wo man diese Erden mit Sicherheit auf ihren Ursprung zurückführen kann, sollte man sie genau untersuchen, um sie auch in anderen Gegenden, wo der Kalkstein fehlt, oder wo sie sich auf sekundärer Lagerstätte befinden, nachweisen zu können.

4. Die vegetative Tätigkeit greift in die Zersetzungs- und Lösungsvorgänge ein, hilft zur Zerspaltung der Gesteine, führt dem Boden aller Arten neue, für den Fortbestand der Vegetation sehr wesentliche Bestandteile zu und gibt zur Bildung von Bodenarten Anlaß, die wesentlich aus pflanzlichen Substanzen bestehen, wie der Moor, der Torf und der Diatomeenschlamm.

5. Die tierische Tätigkeit vermehrt den Gehalt des Bodens an organischen Substanzen und trägt durch die Ablagerung von kalkigen und kieseligen Gehäusen und Ausscheidungen zur primären Bodenbildung bei. Weitaus am wichtigsten ist diese Funktion am Grund des Meeres.

b. Sekundäre Bodenbildner.

[§200] Durch die Wirkung der vorgenannten Agentien bleibt der gebildete Boden noch auf primärer Lagerstätte. Strömendes Wasser, strömende Luft und strömendes Eis sind diejenigen, welche es nach den sekundären Lagerstätten hinschaffen. Der Hauptunterschied in der Wirkungsweise dieser drei besteht darin, daß Wasser und Luft das Material nach der Größe seiner Bestandteile aufzubereiten und gesondert abzulagern streben, während das Eis keinerlei Aufbereitung ausführt. Jedes von ihnen übt auch Wirkungen der dritten Kategorie aus, indem es dem Felsgestein durch Korrasion neues Material zur Bodenbildung entreißt, aber schon im Moment des Fortnehmens nach anderen Lagerstätten entführt.

6. Das spülende Wasser (§ 73) kann zur Ansammlung des den Berggehängen entnommenen Bodens am Fuß derselben hinreichen. Große Wirkung übt es in regenarmen Gegenden. In diesen ist es häufig das einzige bodenbewegende Agens neben dem Wind. Im Allgemeinen sammelt es auf allen geneigten Flächen den Boden, um ihn

7. dem in Kanälen fließenden Wasser zu überliefern. Es ist erörtert worden (§ 83—87), wie dieses die größten Fragmente im Gebirge zurückläßt, den Kies weiter voranschleibt, den Sand noch

größtenteils in seinem Flußbett behält und nur das feinste Material in den Überschwemmungsgebieten und im Deltaland ausbreitet, sowie auch teilweise in Seen oder in das Meer führt.

8. Die stehenden Gewässer des Festlandes nehmen nur die allerfeinsten Stoffe in die von schwachen Strömungen bewegten inneren Teile ihrer Becken hinein, um sie dort zu Boden fallen zu lassen. Der Hauptabsatz findet in den Schuttkegeln an den Einmündungsstellen der Ströme statt (§ 84).

9. Das Meer übt die gewaltigste Kraft in der Umlagerung der ihm von den Flüssen zugeführten, sowie der von seiner Brandungswelle den Küsten entrissenen festen Massen aus (154) und trägt dadurch im höchsten Maße zur Bodenbildung auf sekundärer Lagerstätte bei.

10. Die strömende Luft vollzieht nach der Darstellung in § 195 eine saigernde Tätigkeit, welche von einer gewissen geringen Korngröße nach abwärts sehr vollkommen ist. Es sind wesentlich drei Kategorien von Produkten, in welche sie das lockere Material zerlegt, nämlich: die zurückbleibenden gröberen Teile, der rundkörnige Sand, welcher fortgeschoben und geschleudert werden kann, und der Staub, welcher weit fortgetragen wird. Es werden dadurch wesentlich verschiedene Bodenarten gebildet.

11. Das strömende Eis besitzt an seiner Sohle und auf seinem Bücken eine mächtige Transportkraft, welche einen Unterschied zwischen feinem und grobem Korn nicht kennt. Es bildet daher Bodenarten von besonderer Beschaffenheit. Dem strömenden Wasser und dem Wind überliefert es außerordentlich bedeutende Massen von Gesteinsfragmenten aller Größen zur Aufbereitung und zum weiteren Transport behufs geordneter Ablagerung und der Herausbildung gesonderter Bodenarten.

12. Auch der lockere, erdige Absatz aus Lösungen muß den sekundären Bodenbildnern zugerechnet werden. Es beteiligen sich daran die Lebensfunktionen der Organismen durch Absatz von kalkigen und kieselligen, größtenteils mikroskopisch kleinen Panzern. Doch treten auch feste kristallisierte Salze in die Zusammensetzung der Bodenarten ein.

Alle auf sekundärer Lagerstätte befindlichen Bodenarten unterliegen wiederum der Tätigkeit der primären Bodenbildner, um durch diejenigen von sekundärem Character abermals und zu oft wiederholten Malen fortgetragen und meist in vervollkommener Aufbereitung abgelagert zu werden.

c. Doppeltwirkende Bodenbildner.

[§201] Hierher gehören diejenigen Agentien, durch welche die Bestandteile der Gesteine im Moment ihrer mechanischen oder chemischen Abtrennung sofort nach anderen Lagerstätten geführt werden; vor Allem:

13. Die explosive vulkanische Tätigkeit. Sie allein schafft lockeres Erdreich unmittelbar aus solchem Gesteinsmaterial, welches vorher an der Erdoberfläche nicht vorhanden war. Die Bereitung ist primär, aber das Produkt der mechanischen Zerstäubung wird unmittelbar nach anderen Lagerstätten getragen und bildet einen Boden, welcher der Verwitterung, und oft der weiteren Fortführung, schnell unterliegt.

14. Die Korrasion durch die Brandungswelle, fließendes Wasser, bewegte Luft und strömendes Eis (§ 63, 194, 112) zeichnet sich ebenfalls dadurch aus, daß dieselbe Kraft, welche die Auflockerung bewirkt, das Material fortträgt.

15. Die Entführung von Bestandteilen in Lösung kann gleichfalls hierher gerechnet werden.

B. Regional und isotopisch verbreitete Bodenarten.

Auf eine systematische Anordnung der Bodenarten, welche eine Trennung der in der Natur wesentlich auftretenden von den unwesentlichen Vorkommnissen nicht kennt, kommt es hier nicht an; es erscheint vielmehr zweckmäßig, den Beobachter auf diejenigen Bodenarten aufmerksam zu machen, welche den Charakter großer Erdräume zusammenhängend (regional), oder an gleichartig wiederkehrenden Erdstellen (isotopisch) charakterisieren. Sie lassen sich je nach dem im Eingang dieses Capitols angedeuteten autogenen oder allögenen Charakter ihrer Bildung in zwei große Klassen teilen, nämlich den Eluvialboden, welcher sich noch an seiner ursprünglichen Lagerstätte befindet und seine Entstehung den primären Bodenbildnern verdankt, und den Aufschüttungsboden, welcher eine seinen Ursprungsgebieten fremde Lagerstätte einnimmt und durch die Kräfte der sekundären Bodenbildner dorthin geführt worden ist. Diese Unterscheidung läßt sich für die großen Züge der Verbreitung durch-führen; im Kleinen und Einzelnen ist sie manchmal nicht mit Konsequenz anzuwenden.

a. Typen des Eluvialbodens.

[§202] 1. Zerfallenes Gestein. — Der Reisende begegnet nicht selten angehäuften Gesteinsblöcken, welche den Felsbau verhüllen.

Sie sind von verschiedener Art, kehren aber unter gleichartigen Verhältnissen in gleichartiger Weise wieder. Da die Zersetzungsfläche groß ist, findet, wenn das Gestein zersetzbar ist und Feuchtigkeit und Wärme vorhanden sind, eine ausgiebige Verwitterung statt. Es gehören hierher:

a) Unbewegte Trümmerblöcke, d. h. große Fragmente anstehenden Gesteins, welche sich noch ganz oder nahezu an ihrer ursprünglichen Lagerstätte befinden. Die Anhäufungen der gerundeten Blöcke von Granit auf mehreren der deutschen Mittelgebirge sind bekannt. Sie finden sich unter ähnlichen Verhältnissen häufig in anderen Gebirgen und verdanken ihre Entstehung der Verwitterung, welche den meist in drei Systemen sich kreuzenden Spalten folgt und die Kerne der Blöcke zurückläßt (§ 46). In höheren Gebirgsregionen und im hohen Norden kommen ähnliche Anhäufungen, auch von anderen Gesteinen, vor, bei denen die Blöcke ihre scharfen Kanten und Ecken bewahrt haben. Sie sind durch Spaltenfrost gelöst.

b) Trümmer der Bergstürze und Felsbrüche.—Wo durch Auslaugung, Lösung oder andere Ursachen das Anhaften anstehender Felsmassen an der Unterlage gelockert wird, oder wo diese vollkommen entzogen wird, entstehen große Anhäufungen von Schuttmassen. Bergabrutschungen (Bergschlipfe) und Bergstürze gehören zu den Mitteln der Talbildung; ihr Material wird vom strömenden Wasser aufbereitet und fortgeführt. Felsbrüche finden in Kalksteingebirgen statt, wenn die Decke ausgelagter Hohlräume nicht mehr genügenden Halt hat (§ 45); ferner bei der seitlichen Erosionsarbeit der Flüsse (§ 67, S. 147), indem sie Felsmassen unterhöhlen; und am großartigsten auf den Brandungsterrassen bei positiver Strandverschiebung (§ 161).

c) Die Schutthalden der Gebirge. Sie wurden in § 83 erwähnt. Man kann Kehlhalden und Flankenhalden unterscheiden. Die ersteren kommen dort vor, wo hinreichender Regen fällt, um die

Felsformen der Gebirge herauszumeißeln, und beschränken sich auf die einspringenden Kehlen der Berggehänge. Wo der Regenfall den Schutt nicht zu entfernen vermag, hüllt dieser die Flanken vollständig ein und überzieht selbst die Kämme, so daß wirkliche Kammhalden entstehen können. Die Fragmente sind durch Verwitterung, Frost und Pflanzenwurzeln gelockert und durch Herabfallen zusammengehäuft.

[§203] 2. Tief zersetztes Gestein. — Wo in regenreichen und waldbedeckten Ländern die in § 48 erörterte, in große Tiefe reichende Verwitterung durch einen während langer Perioden fortdauernden Zersetzungsprozeß stattfindet, bleiben alle Stoffe, mit Ausnahme der in Lösung fortgeführten, an Ort und Stelle. Wegen ihrer weittragenden Bedeutung für spätere Umgestaltungen sind solche Gegenden besonders zu untersuchen, vorzüglich die Art, wie sich der Boden an der Oberfläche unter verschiedenen Wärmeverhältnissen gestaltet, und welche Umgestaltung er erfährt, wenn das Klima sich hinsichtlich seiner Feuchtigkeit ändert und die Verwitterungsprodukte an Ort und Stelle bleiben, eine andere Vegetation aber an die Stelle der früheren getreten ist. Auch ist das Verhalten verschiedener Gesteine hierbei zu berücksichtigen. Geneigte Schichtstellung und häufiger Wechsel des Gesteins sind dem Vorgang günstig.

[§204]. 3. Eluvialboden der Tafelländer. — Mit dem Namen Eluvium ist, im Gegensatz zu dem durch Ablagerung entstandenen Diluvium und Alluvium, in den zentralen Teilen von Rußland der Boden bezeichnet worden, welcher sich dort auf der Oberfläche des festen Gesteins durch atmosphärische Einflüsse allein, abgesehen von dem, was äolische Niederschläge beigetragen haben könnten, gebildet hat. Verwitterung und Frostwirkung sind die Hauptagentien. Aber das erste der beiden, hat auf Tafelländern im Allgemeinen eine untergeordnete Bedeutung; denn die horizontalen Schichtgesteine, aus denen diese bestehen, sind in der Regel entweder Sandstein, dessen toniges Bindemittel oft nur wenig zersetzbar ist, aber durch Auslaugung kalkiger Beimengung oder durch Frost gelockert werden kann; oder tonige Gesteine, für die dasselbe in erhöhtem Maße gilt; oder Kalkstein. Dieser kommt mit Rücksicht auf seine Lösungsrückstände am meisten in Betracht. In den selteneren Fällen, wo permeable Tuffgesteine die Oberflächenschichten von Tafelländern bilden, haben die Verwitterungsvorgänge an den sie zusammensetzenden Silikaten freies Spiel. — Die mechanische Zerstörung jeglicher Art ist auf der Oberfläche von Tafelländern verhältnismäßig gering, weil dieselbe sich mit den Produkten der ersteren bedeckt und die Unterlage schützt. Aber gerade weil sie liegen bleiben, ist meist eine Fluvialdecke von besonderem, wenn auch keineswegs gleichem, sondern bei derselben Gesteinsart vom Klima abhängigem Charakter vorhanden. Sind die Flächen kahl, wie bei den Hamadas der Sahara, so besteht die eluviale Decke nur aus den für den Wind nicht transportfähigen Gesteinsfragmenten, zu denen noch etwas hinzugeweheter Sand kommen kann. Sind sie mit Vegetation bedeckt, so wird im Gegenteil das eigentlich eluviale Material durch äolisch zugeführte Bestandteile vermehrt und durch sie wesentlich in seiner Fruchtbarkeit, die sonst wegen der Einheitlichkeit des zu Grunde liegenden Gesteins gering sein würde, erhöht. Der Eluvialboden ist bei der Aufnahme geologischer Karten wichtig, weil der Beobachter bei einiger "Hebung den durch ihn verdeckten Felsbau aus seiner Beschaffenheit zu erkennen vermag. Dies gilt nicht nur für denjenigen der Tafelländer, sondern auch für mehrere der anderen Typen.

[§205] 4. Gehänge-Lehm. — Mit diesem Namen hat man die in dem gemäßigten feuchten Klima der deutschen Gebirge vorkommenden, durch Eisenoxydhydrat braun gefärbten, oft mit nicht gerollten Gesteinsbrocken erfüllten, zähen Lehme bezeichnet, welche als das aus der

Verwitterung verschiedener Gesteine (insbesondere der kristallinen Schiefer und Eruptivgesteine) hervorgehende, durch spülendes Wasser in die Hohlkehlen und die unteren Teile der Berggehänge zusammengeführte Endprodukt anzusehen sind und in Folge dessen je nach den Gesteinen, von denen sie stammen, ein wenig von einander verschieden sein werden. Besonders wird die Beimengung von Sandkörnern im Fall der Entstehung aus Sandstein, von eckigen Quarzkörnern und Quarzfragmenten im Fall der Bildung aus kristallinen Schiefen mit Quarzgängen etc., einzelne Abweichungen veranlassen. Ist der Lehm aus Basalt oder aus dem Residuum gelöster Kalksteine entstanden, so wird er von solchen Beimengungen frei sein. Es sollte der geographischen Verbreitung dieser Gebilde Aufmerksamkeit geschenkt werden. Sie finden sich nicht in den Tropen und scheinen hohen Breiten ebenfalls zu fehlen, dürften also speziell als ein den feuchten Teilen der gemäßigten Zonen angehöriges Produkt zu betrachten sein. Die Grenzen ihrer Verbreitung in den Mittelmeerländern sind nicht bekannt. Von dem bis in die Tiefe zersetzten Gestein (§ 203) unterscheidet sich der Lehm dadurch, daß dort die Struktur des zu Grunde liegenden Gesteins mit großer Schärfe erkennbar, hier hingegen vollständig zerstört ist, indem die Teilchen durch spülendes Wasser vermengt sind. Er bildet dadurch, ebenso wie mancher Laterit, einen Übergang zu dem Aufschüttungsboden. Vielleicht liegen noch andere Ursachen der besonderen Natur des Lehmest zu Grunde.

[§206] 5. Laterit. — Was der Gehängelehm für die feuchten Gebirgsländer der gemäßigten Zone, und der Löß für die halbtrockenen Steppenländer gemäßigter und tropischer Gebiete, das ist, hinsichtlich der Bestimmung des Bodencharakters über weite Regionen, der Laterit für die regenreichen tropischen Erdräume. Er gehört zu den verbreitetsten Bodenarten, ist aber außerhalb Indiens bis vor Kurzem kaum beachtet und nicht untersucht worden. Der Reisende bemerkt ihn zuerst an der ziegelroten Farbe der Landstraßen und des Alles durchdringenden Staubes. Er erhielt von dieser Eigenschaft durch Buchanan seinen Namen (nach later, der Ziegelstein). Im frischen Zustand ist er fest, aber schneidbar; braun, rot, gelb und weiß gefleckt; tonig und zuweilen etwas sandig. Die hellen und weißen Teile sind weicher als die anderen; daher werden sie an den Flächen eines Anschnittes, z. B. bei dem Ziehen eines Grabens, oder dem Einschneiden einer Straße, leicht vom Regen herausgewaschen. Eine solche Fläche erhält dadurch ein zellig-schwammiges Gefüge. Die stehen bleibenden dunkleren Teile sind Eisenreich. Sie werden bald glänzend braun oder schwärzlich und hart, so daß die Anbruchfläche ein vollkommen schlackenartiges Ansehen erhält. Solche schlackige Krusten klingen zuweilen hohl und sind für vulkanische Gebilde gehalten worden. Vor diesem Irrtum, welcher falsche Angaben über das Vorkommen von Vulkanen in die Literatur gebracht hat, hat sich der Reisende zu hüten. Ein einfaches Durchschlagen der Decke genügt, um den Laterit zu zeigen. Auch ist sie dadurch charakterisiert, daß sie durch Zerreiben ein rotes Pulver ergibt.

Das Eisen ist als Eisenoxyd und Eisenoxydhydrat vorhanden; sein Gehalt (in metallischem Eisen ausgedrückt) beträgt zuweilen 25—36 Prozent. Daher wird der Laterit in manchen Gegenden, besonders Afrikas, zur Darstellung von Eisen benutzt.

Der Laterit findet sich in frischem Zustand dort, wo hohe Wärme, Regenreichtum und üppige Vegetation sich vereinigen. Am besten ist er in Indien bekannt, wo Regur- und Lateritbildung einander ausschließen. Er bedeckt die feuchten Gebiete des tropischen Afrika, insbesondere an der Westküste. Man kennt ihn im Kongo-Becken und im Monbuttu-Land. In Brasilien ist er sehr verbreitet.

Die Entstehungsart des Laterites ist noch unvollkommen bekannt. Man hat ihn irrtümlich für ein Meeresgebilde, für ein Ablagerungsprodukt des Süßwassers und für ein solches der vulkanischen Auswurfstätigkeit gehalten. Als sicher läßt sich anführen, daß er aus der Zersetzung von anstehendem Gestein hervorgehen kann, und zwar unter denselben Bedingungen, welche in kühlerem Klima zur Entstehung des Gehängelehms Anlaß geben. Er bildet die noch ganz an ihrer ursprünglichen Lagerstätte befindliche Verwitterungsdecke, zuweilen vollständig bis zum unzersetzten Gestein, bei Tiefenersetzung aber vielleicht nur in den obersten Teilen. Als Zersetzungsprodukt von Gneis kennt man den Laterit auf Ceylon, in Indien und in Brasilien, als Umwandlungsprodukt toniger Sandsteine wird er bei Pungo Andongo und bei Travancore angegeben; in der Nähe von Goa bildet er sich aus Basalt. Es scheint, daß unter günstigen Verhältnissen in den Tropen die meisten an Tonerdebisilikaten reichen Gesteine in Laterit umgewandelt werden können. Aber auch alluviale und äolische Bildungen sind einer lateritischen Metamorphose fähig. Was in die dichte Vegetation hineingeschwemmt wird und sich zwischen ihr ablagert, und was aus der Atmosphäre zugeführt wird, erleidet Umänderungen in Erden, welche häufig die wesentlichen Merkmale des Laterites, besitzen. Als eine dritte Entstehungsart läßt sich die Vereinigung zusammengeschwemmter Lateritbestandteile zu kompaktem Laterit bezeichnen.

Kann man auch die Tatsache dieser verschiedenartigen Umwandlungsprozesse häufig genug beobachten, so fehlt es doch an jeglicher Erklärung, weshalb die genannten Verhältnisse zur Bildung gerade dieser Bodenart, insbesondere zur Ansammlung des Eisens und seiner Fixierung als rotes Oxyd führen, und weshalb der lehmigen Zersetzung in den feuchten Gegenden gemäßigter Zonen die lateritische in den Tropen gegenübersteht.

Die Eigenschaften des Laterites führen zuweilen besondere Erscheinungen herbei. In Indien unterscheidet man den Hochflächen-Laterit. Auf flach ausgebreiteten Höhen, welche durch tiefe Täler getrennt werden, insbesondere auf dem vulkanischen Gestein des sogenannten Dekkan-Trapp, bildet er eine Decke von 50 bis 200 Fuß Mächtigkeit, die bis zu einer Meereshöhe von beinahe 5000 Fuß hinaufgeht. Die Decke war nach den Berichten der indischen Geologen früher zusammenhängend, ist aber jetzt vielfach unterbrochen. Als Bildungsperiode wird von Einigen die frühe Tertiärzeit angenommen. Wo immer er sich dort auf solcher Lagerstätte befindet, bildet der Laterit öde schlackige Plateaus mit verkümmertem Wuchs von Bäumen und Sträuchern. Als seine ursprüngliche Entstehungsursache kann man nur diejenigen Vorgänge annehmen, welche ihn gegenwärtig hervorbringen. Es muß also dichte Bewaldung vorhanden gewesen sein. Es ist zu untersuchen, ob nicht das Eingraben tiefer Furchen durch fließendes Wasser den Anlaß zu der Umwandlung gegeben hat und noch jetzt stellenweise gibt. Es würde den Laterit auf den Höhen zurücklassen; das Regenwasser würde in den schwammigen Boden einsinken; die Wurzeln der tropischen Waldbäume würden der beständigen Wasserzufuhr beraubt werden, die Wälder würden verschwinden, eine Schlackenrinde sich an der Oberfläche bilden. Da nun der Laterit das bei der Zersetzung übrig bleibende Produkt selbst ist, so kann er weiterhin eine Zersetzung nicht erleiden und bleibt unverändert als Decke liegen, während das darunter liegende Gestein weiterer Verwitterung unterworfen ist. So kann er durch lange Zeitalter an derselben Lagerstätte verharren; nur die Produkte seiner mechanischen Zerstörung werden in die Täler herabgeschwemmt und geben zur Neubildung von Laterit Anlaß.

Mit dem Laterit selbst sollten diejenigen Bodenarten untersucht werden, welche aus seiner Schlammung hervorgehen, wenn er von strömendem Wasser behandelt wird: das gröbere Residuum ebenso wie das feine tonige Material, welches unter dem Einfluß der üppigen Vegetation vielleicht wieder die Lateritstruktur annimmt.

Auch andere Derivate des Laterites sind von Interesse. Es wurde bereits (§ 189.1) angeführt, daß den großen Mengen dieses Bodens, welche durch die brasilianischen Ströme dem Meer zugeführt werden, die rote Farbe des den Meeresgrund weithin und bis zu bedeutenden Tiefen bildenden Schlammes zugeschrieben werden muß. Eine weit hervorragendere Rolle würde der Laterit spielen, wenn die Abrasionswelle über Brasilien hinschritte und den im Verlauf langer Zeiträume, gebildeten roten Boden hinwegräumte, um ihn in transgredierenden Sedimenten wieder zur Ablagerung gelangen zu lassen. Dies ist aber die Entstehungsart vieler Gebilde der Vorzeit gewesen, und es verdient Beachtung, daß die gewaltigsten Anhäufungen rotgefärbter Sedimentmassen in den oft transgredierend auftretenden Schichten des Rotliegenden vorkommen, diesen aber der Zeit nach die Steinkohlenepoche voranging, in welcher, nach Analogie mit der Jetztwelt, die intensivste mit Laterit Bildung verbundene Tiefenersetzung der Gesteine des Festlandes stattgefunden haben muß. Über dieses und viele andere Schichtgebilde früherer Zeitalter wird die genauere Untersuchung des Laterites Licht werfen.

[§207] 6. Vegetationsboden: Humus, Moor und Torf. — Der durch die Verwesung der Pflanzen entstehende Humusboden und seine Bedeutung wurden bereits in § 32 betrachtet; es ist ein Vorgang, welcher sich der Gesteinsverwitterung vergleichen läßt. Ebenso wurde dort auf die bei Mangel an Luftzutritt stattfindende Vermoderung und die daraus hervorgehende Bildung von Torf, Braunkohle und Steinkohle hingewiesen.

Da der Humus weitere Zersetzungen erleidet, so würde ohne seine fortdauernde Erneuerung nur die Asche der Pflanzen in dem Boden Zurückbleiben. Er hat die wichtigen Eigenschaften, Ammoniak in großer Menge zu binden und durch Absorption von Stickstoff aus der Atmosphäre selbst zu bilden; ferner, die Wanne der Sonnenstrahlen in bedeutendem Maße aufzunehmen, sich aber doch wegen seiner hohen spezifischen Wärme nur langsam zu erwärmen, die erlangte Temperatur hingegen um so mehr festzuhalten; endlich, das Wasser gleichsam zu binden, daher ein an sich trockener Boden durch die Beimengung von Humus feucht erhalten wird, während dieser andererseits einen nassen Boden porös und damit trockener macht.

Den Kulturboden und den für die Vegetation überhaupt am meisten geeigneten Boden bilden die tonerdehaltigen und sandigen mit Humus vermengten Bodenarten. Die unten (§ 217) zu nennende Schwarzerde und der Boden der Flußmarschen enthalten in der Regel 5 bis 20 Prozent Humus; sie bilden die fettesten Grasfluren. In Urwäldern ist der Gehalt grösser; in ihnen entsteht oft eine mehrere Fuß dicke Humusschicht aus Blättern, Ästen und Zweigen. Die nordischen Urwälder und Wiesen beruhen wesentlich auf dem Humusreichtum.

Eine trockene, heiße Jahreszeit ist der Humusbildung ungünstig. Daher sind die Mittelmeerländer arm daran; ihnen fehlen die Wiesen. Die mongolischen Steppen enthalten ihn in geringer Menge; die sibirischen und, wie es scheint auch die mandschurischen sind reich daran. Mit der Schnelligkeit der Verwesung hängt der Charakter der Wälder zusammen. In den Urwäldern der Tropen bilden umgestürzte Baumstämme nur selten ein Hindernis des Fortkommens; diejenigen der nordischen Gegenden sind ungangbar wegen der großen Menge umgefallener, mit Moos überwachsener und langsam verwesender Baumstämme, welche zuweilen mehrere Meter hoch angehäuft sind. In Kalifornien und den Mittelmeerländern begünstigt der trockene heiße Sommer die schnelle Verwesung. Dort sind die Wälder licht und ohne Unterholz; sie enthalten wenig Humus; umgefallene Stämme verwesen schnell und häufen sich nicht an. Von ganz anderer Art sollten die Verhältnisse in Alaska sein. Auch wd die Monsune den regelmäßigen Wechsel einer trockenen und einer feuchten Jahreszeit verursachen, ist die Humusbildung beschränkt. Das

Fehlen eigentlicher Wiesen in China hat wahrscheinlich darin seinen Grund; und die dichten Haine locker gestellter aber mächtiger Bambusen, welche die Hügel in großen Teilen der hinterindischen Halbinsel bedecken und nur in , Niederungen dem tropischen Urwald Platz machen, dürften auf der durch das Vorhandensein einer trockenen Jahreszeit veranlaßten Armut an Humus beruhen.

Das Wechselverhältnis von Humus, Klima und Vegetation gestaltet sich außerordentlich verschieden. Die Rolle des ersteren beginnt erst in den Kulturländern gemäßigter Zonen genauer erforscht zu werden. In den weniger kultivierten Gebieten, im hohen Norden und in den Tropen wird der aufmerksame Reisende, der sich mit der Bodenkunde vertraut gemacht hat, reichen Stoff zu neuen Beobachtungen von großem Interesse finden. Hier kann auf den Gegenstand nicht tiefer eingegangen werden; die wenigen Andeutungen mögen genügen.

Die Vorgänge der Torfbildung sind noch unzureichend bekannt. Die gegenwärtigen Erklärungen geben keinen Aufschluß darüber, weshalb dieselbe den tropischen Gebieten und dem größten Teil der südlichen gemäßigten Zone, mit Ausnahme der höheren Gebirge, fehlt, dagegen in der nördlichen gemäßigten und kalten Zone in großer Verbreitung auftritt. Dies ist um so rätselhafter, als die den Torfmooren verwandten Bildungen der Vergangenheit, welche zur Ablagerung der Steinkohlenflöze führten, gänzlich, und diejenigen, aus denen die Braunkohle hervorging, größtenteils unter einem intensiven und sehr feuchten tropischen Klima gestanden haben. Es sind daher über den Gegenstand viele weitere Untersuchungen erforderlich.

Torf entsteht in feuchten sumpfigen Wäldern und in seichten Wasserbecken aus vermodernden Pflanzenstoffen. Eine scharfe Grenze gegen die Humusbildung ist nicht vorhanden; beide Vorgänge sind durch Übergangsstufen verbunden. Die Veränderung der Holzfaser oder Cellulose liegt beiden Vorgängen zu Grunde; aber bei der Verwesung findet wesentlich Oxydation durch Luftzutritt statt; bei der Vermoderung treten bei Luftmangel sogar reduzierende Prozesse ein. Wo Torfbildung vor sich geht, tragen die verschiedensten Pflanzen dazu bei. Einen nicht unwesentlichen Antheil nehmen Moose (besonders von den Gattungen Sphagnum und Hypnum), deren verfilzte Stengel ihn zuweilen allein bilden. Baumwurzeln und umgestürzte Bäume sind jedoch im Ganzen in höherem Grad an seiner Zusammensetzung betheiligt. Anfangs sind die einzelnen Pflanzenteile noch gut erkennbar; der Torf hat dann eine braune Farbe und ist locker; aber mit dem Alter wird er gleichmäßiger, bekommt schwarze Farbe und ein erdiges Aussehen, bei größerer Festigkeit.

Föhren, Rottannen, Weiden, Pappeln und Birken sind häufige Bestandteile der nordischen in der Fortbildung begriffenen Torfmoore; Eichen sind in solchen der Vorzeit als charakteristisches Element gefunden worden. Das Knieholz, Pinus Pumilio, ist bei den Torfen der Hochgebirge tätig. In Nord-Carolina sind Zypressen vorwaltend. An der Westküste von Südamerika, wo die Torfbildung mit der Insel Chiloe beginnt und von dort bis zum Feuerland fortsetzt, gibt es keine Moose als Torfbildner; Liliaceen und Saxifrageen haben die Hauptrolle dabei. Von anderen an der Verwesung betheiligten Pflanzen mögen die Gattungen Calluna, Vaccinium, Empetrum, Andromeda, Leda, Scirpus, Carex genannt werden.

Der Reisende kann aus den verschiedensten Gegenden Materialien zur vergleichenden Kenntnis der Moor- und Torfbildungen sammeln. Von Interesse sind: der Untergrund nach Zusammensetzung und Gestalt; die Mächtigkeit des Torfes; seine Beschaffenheit in verschiedenen Tiefenstufen; die Arten der an der Bildung betheiligten Pflanzen, welche in den einzelnen Lagen verschieden sein können; die Frage, ob Fortbildung stattfindet, oder ob der Vorgang sein Ende erreicht hat, und was in letzterem Fall die Ursachen davon sind (klimatische Änderung, Entwaldung

etc.); welches das Maße des Fortwachsens ist. Bezüglich des letzteren kennt man in Ländern, wo Torf gestochen wird, die Periode der Erneuerung; so soll man in Irland 10 Jahre als hinreichend für die Neubildung einer 3 bis 4 m mächtigen Schicht annehmen; in anderen Ländern ist die Erneuerungsperiode 20, 30, 40 und bis 100 Jahre. In Hochgebirgstälern bemißt sich das Wachstum in Jahrhunderten wahrscheinlich höchstens nach Dezimetern.)

[§208] 7. Lösungsrückstände. — Es ist an einer anderen Stelle (§ 45) der Bodenbildung vermittelt der Ansammlung der Verunreinigungen des in Lösung fortgeführten Kalksteins gedacht worden, sowie der Folgerungen, welche sich daraus auf die ehemalige Masse des letzteren ziehen lassen. Nur in wenigen Fällen hat man diesem Vorgang hinreichend Rechnung getragen; doch verdient er eingehendes Studium, besonders an der Hand des Residualbodens. Sehr rein, in Hinsicht auf das genetische Moment, findet man letzteren in den Höhlen und Grotten des Kalksteins, welche zum Teil von Flüssen durchströmt werden, meistens aber nur durch die Sickerwässer des Gesteins Feuchtigkeit erhalten. Da diese Hohlräume durch Auflösung des Kalksteins entstanden sind, so entspricht ihrem Rauminhalt eine gewisse Menge ungelöst zurückgebliebener Verunreinigungen. Fand fließendes Wasser keinen Zugang, und vermochte das Sickerwasser nicht in Rinnen abzufließen, so sind jene Bestandteile auf dem Boden der Höhlen als eine braune, stark eisenhaltige, meist von Stalagmitbändern durchzogene Erde zusammengehäuft. Wo hingegen fließendes Wasser durch Spalten, Klüfte oder Hohlräume eintreten konnte, verursachte es nicht nur größere örtliche Zusammenschwemmungen des Residualbodens, sondern hat oft noch andere lockere Massen, wie Sand, Kiesel und Tone von außen herzugespült und über jenem in Schichten ausgebreitet. Zuweilen ist das Zufließen periodisch unterbrochen gewesen. Dann können verschiedenartige Ablagerungen mit einander wechseln. Es ist daher bei der Untersuchung des Höhlenbodens stets die Trennung der Lösungsrückstände und der Einschwemmungen zu beachten. Hinreichendes Interesse zur Ausführung solcher Beobachtungen erhält er meist erst dann, wenn sich tierische Reste oder die Merkmale früherer Anwesenheit des Menschen finden. Die einzelnen Ablagerungen bezeichnen dann ebenso viele getrennte Bildungszeitalter. — Findet man Residualboden in trockenen Ländern, so weist er auf einen Wechsel des Klimas, da er nur bei reichlicheren Niederschlägen entstehen konnte.

b. Typen des Aufschüttungsbodens.

[§209] Die fortschaffenden Agentien verschiedener Art haben eine so allgemeine Verbreitung, daß die hierher gehörigen Bodenarten weit größere Erdräume einnehmen als die vorhergenannten.

8. Die groben Sedimente der Gewässer des Festlandes. — Nach der früheren Darstellung (§ 83) sind dies die Rückstände der Aufbereitung, welche die fließenden Gewässer an allen gelockerten Massen, welche sie vorfinden, oder welche ihnen zugetragen werden, vollziehen. Je gröber sie sind, desto geringere Fortschaffung haben sie in der Regel erlitten. Es gehören hierher: der Blockschutt der Wildbäche, der Schotter, Kies und Sand der Ströme und Seen. Die Verbreitung hat entweder die Form langgestreckter Bänder, welche den ehemaligen oder jetzigen

Wasserläufen folgen; oder diejenige fächerförmiger Dejektionskegel. Durch seitliche Einengung der letzteren entstehen Zwischenformen.

a. Die Sturzkegel der Wildbäche stellen ungeordnet über einandergehäufte Trümmernmassen dar, welche durch plötzlich eintretende große Fluten herabgewälzt und an der ersten Stelle des Überganges zu geringem Gefall chaotisch abgelagert wurden. Die Gesteinsstücke sind meist wenig gerollt. Für alle Hochgebirge sind die Sturzkegel charakteristisch, aber am großartigsten finden sie sich in regenlosen Gebirgsländern, wo im Verlauf von Jahren einmal ein sehr heftiger Guß fällt (s. S. 154).

b. Als Schotter bezeichnet man die Zusammenhäufung gerundeter und abgeschliffener größerer Gesteinsgerölle, welche in der Regel mit feinerem Geröll und Sand vermengt sind. Er findet sich in schnellfließenden Gebirgswässern, welche ihn fortdauernd neu bereiten und so weit hinabföhren als sie ihn zu tragen vermögen, bis sie ihn in Seen, in Gebirgstälern, oder am Fuß der Gebirge ablagern. In besonders großer Masse findet man ihn in Gegenden früherer Vergletscherung und in den denselben vorliegenden Gebieten. Man nennt ihn Glazialschotter, insoweit als seine Ablagerungen aus der Glazialzeit selbst stammen. Der in denselben Gegenden später abgelagerte und häufig noch jetzt in den Flußbetten fortbewegte Fluß-Schotter ist zum Teil jenem entnommen. Durch die periodische Änderung der Wassermasse und der Menge der zugeführten Sedimente entstehen Schotterterrassen, welche als Längsstufen der Flüsse (s. § 93) auftreten.

In Folge häufiger Stromänderung bildet der Schotter häufig flache Kegel an solchen Stellen, wo die fließenden Gewässer aus engeren Tälern heraus kommen und Weitungen oder ebenes Land betreten. Münden viele Quertäler an einem langgestreckten Gebirgsrand, so vereinigen sich die Schotterkegel zu einer glacisartigen Schotterabdachung, wie in Südbayern und an der Ostseite der patagonischen Anden.

Von dem Fluß-Schotter ist der See-Schotter zu unterscheiden, welcher durch steilere Neigung der Schichten (§ 84) und regelmäßige Schichtung charakterisiert ist. Für Reisende in China sei hier besonders auf gewisse Ablagerungen an der Südseite des unteren Yang-tsze-kiang aufmerksam gemacht, welche stellenweise von dem Fluß bespült werden und eine ausgeebnete Terrasse von großer Breite bilden. Dieselben bestehen aus einer scheinbar viele Kilometer mächtigen Reihenfolge geneigter Schichten, in denen Schotter, Grus und Sande wechseln, und fallen vom Gebirgsrand weg gegen das Innere der Großen Ebene hin. Ihr Material ist den angrenzenden Gebirgen entnommen.

Man findet die Schotterablagerungen zum Teil als lose Haufwerke, zum Teil in einem mehr oder weniger vorgeschrittenen Zustand kalkiger Zementierung, besonders wenn Kalkstein an der Zusammensetzung teilnimmt. Fast immer lassen sie das Wasser leicht durch und sind, wenn sie mächtig lagern und dem Wasser einen tiefelegenen Ausfluß gestatten, ungünstig für solche Pflanzen, welche viel Feuchtigkeit brauchen. Daher sind hohe Schotterterrassen an Flüssen meist unfruchtbar. Ein toniges Bindemittel vermag das Wasser zurückzuhalten und den Schotter für Waldvegetation geeignet zu machen. Einen ähnlichen Effekt kann die kalkig - sandige Verkitung haben. Den in mächtigen Schichtmassen auftretenden zementierten, oft mit Sand wechselnden Schotter jüngerer Formationen pflegt man als Nagel-fluh zu bezeichnen. Sie bildet zuweilen Gebirgszüge und gibt durch Auflösung Anlaß zu neuen Anhäufungen von lockerem eluvialen und Fluß-Schotter.

Es gibt Schotter, welche nicht den Gewässern der Festländer ihre Entstehung verdanken. -Dahin gehören die Strandschotter. An der Bereitungstätte sind Rollsteine der verschiedensten Größen mit einander gemengt; aber wo der Stoß der unter schieferm Winkel heranrollenden Wellen (§

155) eine seitliche Versetzung und wallartige Anhäufung verursacht, sammelt er die Gerölle von gleicher oder ähnlicher Größe. Solche Wälle, welche große Breite und Mächtigkeit erreichen können, und welche sich ebenso durch den Mangel an Schichtung als durch das Fehlen von Beziehungen zu strömenden Gewässern auszeichnen, werden sich auch im Inneren der vom Meer verlassenen Länder nachweisen lassen. — Schotter und Kies der Wüsten werden zwar immer eine äolische Korrasion erfahren haben (§ 194); aber ihre Entstehung wird nur zuweilen der mechanischen Einwirkung des Windes ganz zuzuschreiben sein; man kann es auch mit trocken gelegtem Stromschotter oder Süßwasserablagerungen zu tun haben.

Die Aufschüttungen von Kies sind von denen des Schotters zunächst hinsichtlich der Größe der Gesteinsbruchstücke verschieden; aber ein wesentliches Merkmal des ersteren besteht auch darin, daß der Quarz in der Regel eine sehr viel bedeutendere Rolle spielt. Dies deutet auf eine ungleich intensivere Abnutzung und Zerreibung der weniger harten Gesteinsstücke. Während der Schotter sich meist auf erster Lagerstätte befindet, hat der Kies wahrscheinlich in der großen Mehrzahl der Fälle eine oftmalige Umlagerung erfahren; er kann durch wiederholte Korrasion aus grobem Schotter entstanden sein. Dies gilt in noch höherem Grad vom Sand, auf dessen Entstehungsart oben hingewiesen wurde. Die Form der Ablagerung Beider durch die Gewässer des Festlandes ist dieselbe wie beim Schotter. Aber die Dejektionskegel [=Auswurfkegel] sind weit flacher (§ 83) und können bei dem Sand große Landstriche von kaum merklicher Neigung der Oberfläche umfassen; oft hat noch eine äolische Umlagerung stattgefunden.

Wo immer der Reisende Ablagerungen von Schotter, Kies und Sand findet, sollte er es im Auge behalten, daß die Tatsache ihres Vorkommens, wenn auch von Interesse an sich, doch ihre Bedeutung erst dadurch erhält, daß jene Gebilde Produkte von mechanischen Umwandlungsvorgängen sind, welchen man nachgehen muß, um die Geschichte einer Gegend kennen zu lernen. Es werden sich oft Erklärungen darbieten, welche hier eine Erwähnung nicht gefunden haben.

[§210] 9. Die feinerdigen Sedimente der Gewässer des Festlandes. — Diese bilden teils für sich allein, teils mit Sand vereint, oder als Beimengung von Kies, die fruchtbaren Flachböden der Flußtäler und ihrer Überschwemmungsgebiete. Vorherrschend sind tonige Bestandteile, als die Rückstände der Verwitterung; dazu kommt zerriebenes, daher noch zersetzungsfähiges Gestein, Kieselmehl, Glimmer, organische Teilchen und Anderes. Obgleich der feinerdige Boden der großen Alluvialtäler in jedem einzelnen Fall aus zahllosen Orten zusammengeschwemmt ist und von verschiedenen Gesteinen stammt, scheint er doch einen regional verschiedenen Charakter zu haben. Wie der Überschwemmungsboden des Gelben Flusses, welcher der feinste tonige Extract des Löß ist, sich von dem des Yang-tsze-kiang und des Stromes von Canton unterscheidet, so scheinen die Sedimente des Nil und die ihnen ähnlichen des Ganges von denen des Irawaddy und der Ströme Hinterindiens verschieden zu sein, und wiederum von anderer Art sind die schwarzen Alluvien von Pasuruan auf Java, welche vulkanischen Gesteinen entstammen und einen Garten von kaum erreichter Fruchtbarkeit bilden. Es wäre von Interesse, die Überschwemmungserden der verschiedenen Ströme zu vergleichen. Es sollten dazu auf Reisen Proben mit guter Auswahl, unterhalb des Bereiches der Dammerde, gesammelt werden. Einige Gesichtspunkte der Untersuchung sind unten (§ 219) für die tonigen Bodenarten überhaupt angegeben.

[§211] 10. Die chemischen Absätze aus Süßwasser.

— In der Regel ist die Rolle dieser Gebilde unbedeutend; aber sie ist von Interesse, wo sie sich nachweisen läßt. Kieselsinter wird nur von heißen Quellen in vulkanischen Gegenden geliefert. Der Süßwasserquarz, ein schwer zu erklärendes, gewöhnlich durch den Einschluß zahlreicher, vorzüglich erhaltener Gehäuse von Süßwasserschnecken ausgezeichnetes Gebilde, tritt nie als lockerer Boden auf. Dagegen kann man diesem den Kalktuff zurechnen, welcher streckenweise die Oberfläche bildet und deren Charakter in Hinsicht auf Vegetation bestimmt. Das großartigste Beispiel bietet die Ebene von Adalia in Lykien, welche ganz aus Kalktuff besteht und mit einem 80 Fuß hohen Steilabfall gegen das Meer endet, nach dem Inneren aber in Terrassen ansteigt. Kleinasien bietet mehrere ähnliche Vorkommnisse.

11. Die marinen Bodenarten.

[§212] Große Teile der kontinentalen Tiefländer und der die Binnenmeere, vor Allem das Kaspische Meer, umgehenden Flachböden sind von früherer Meeresbedeckung befreit und in einzelnen zum Teil sehr breiten Zonen mit Süßwassersedimenten bedeckt worden. Die dem Meer entstammenden Gebiete sind bald sandig, bald tonig, und sollten, wo immer man die Abgrenzung gegen diejenigen des Süßwassers finden kann, getrennt untersucht werden. Regenreichtum vermindert bald den Salzgehalt und erlaubt erst niederen, dann höheren Pflanzenformen die Ansiedelung. Bei Regenarmut entstehen Wüsten. In vielen Fällen, wo der marine Ursprung wahrscheinlich, aber nicht erwiesen ist, ist die Auffindung von Meeresorganismen von Interesse. Der Einfluß des Wechsels von marinem und fluviatilem Boden auf die Verteilung des Ackerbaues, der Ansiedelung und der Kultur wird stets ersichtlich sein, wo eine äolische Aufschüttung nicht vorhanden ist. Diese ändert den Charakter und ist wohl zu beachten. — Einzelne Besonderheiten des dem Meer entstiegene Bodens mit Rücksicht auf Beschaffenheit und Oberflächenformen ergeben sich aus den Erörterungen in § 188, §189.

[§213] 12. Glazialschutt. — Als ein regionales Deckgebilde §213 spielt der Glazialschutt, vor Allem die Grundmoräne, eine sehr wichtige Rolle, und zwar in den Ländern höherer Breiten bis weit in die Ebenen hinein, in wärmeren Regionen nur in Gebirgen. Der Charakter des germanischen und des nordrussischen Flachlandes wird bekanntlich größtenteils durch seine mächtigen Ablagerungen bestimmt. Da er wesentlich aus zertrümmertem und zerriebenem Gesteinsmaterial besteht, so gewährt er den zersetzenden Agentien große Angriffsflächen und eignet sich zum Waldwuchs; wenn er mürbe, gelockert und von Humus durchsetzt ist und das Bodenwasser Abfluß hat, ist er auch für die Bodenkultur günstig. Seine Oberfläche (s. § 106) zeichnet sich durch Unebenheit aus und neigt zur Seebildung, daher zu Brüchen (besonders Erlenbrüchen), Mooren und Moosen. Es ist von Interesse, die Grenzen des Glazialschuttes in den Flachländern aufzusuchen und den Einfluß dieser Grenzen auf spontane Vegetation und Ackerbau zu prüfen. Im östlichen Nord-Amerika fand Pumpelly jenseits der Grenze des Glazialschuttes die regionale Bodenzersetzung; in Rußland liegen jenseits derselben Grenze die durch das Eluvium charakterisierten Gebiete. In beiden Fällen sollte ein Wechsel nach verschiedenen Beziehungen stattfinden. Innerhalb der Regionen des Glazialschuttes treten andere Gebilde auf, besonders in Folge der Umlagerung, welche derselbe durch Wasser und bewegte Luft erfährt. Der Charakter der Flußalluvionen wird ebenfalls dadurch bestimmt.

[§214] 13. Vulkanischer Boden. —

Das durch explosive Tätigkeit zerkleinerte und zum Teil fein zerstäubte Gestein wird rings um den Herd der Ausbruchstätigkeit als ein fremdartiges und echtes Aufschüttungsgebilde abgelagert. So verschieden der dadurch gebildete Boden in petrographischer Hinsicht sein kann, ist ihm doch dieses hervortretende genetische Moment stets eigentümlich. Gerade wie die Vulkane und vulkanischen Gesteine überhaupt, wo immer sie auftreten, so ruft auch der vulkanische Boden in örtlicher Beschränkung eigenartige Bedingungen hervor. Die außerordentliche Angriffsfähigkeit, welche die meist blasig oder schaumig aufgeblähten Gesteinsfragmente den zersetzenden Agentien darbieten, verursacht, zusammen mit der Absorptionsfähigkeit des lockeren Materials für Gase und Wasser, eine große Fruchtbarkeit. Allein dieselbe reicht für sich allein nicht hin; es muß ihr günstige Bewässerung zur Seite stehen um die pflanzennährenden Eigenschaften zur Geltung kommen zu lassen. Lagern die Tuffe in größerer Mächtigkeit, und liegt der Wasserabzug in tief eingeschnittenen Rissen, wie es in einer gewissen Höhenstufe der Aschenkegel der Fall zu sein pflegt, so sinkt das Regenwasser schnell ein, und es gedeiht nur eine Vegetation von Steppengräsern, selbst in so feuchtem und fruchtbarem Klima, wie es in Java und am Fudjyaraa vorwaltet. Tiefer hinab, an der Grenze gegen die flache Umrandungszone der Aschenkegel, ist das Gefälle weit genug vermindert, daß die Gewässer in seichten Furchen rasch hinfließen, ohne zu erodieren und ohne abzulagern; in noch weiterem Umkreis ist die Neigung so gering, daß die Bäche ablagern und über ihr Ufer treten. In dieser Zone ist Grundwasser in mäßiger Tiefe unter dem Boden reichlich vorhanden. Dichter Graswuchs scheint unter natürlichen Verhältnissen die vorherrschende Bekleidung der Oberfläche zu sein. Der Wald bedeckt alte Lavaströme, einzeln aufragende Kegel und gewisse Teile der Auswurfsmassen. Die Kultur, welche in dem Bereich der erodierenden Wasserbäche eine günstige Stätte nur sporadisch findet, verwandelt dieses abgeflachte Land um den Fuß der Vulkane in einen reichen Garten. Die von dem dunklen Boden schnell aufgenommene Wärme wird durch den reichlich sich bildenden Humus festgehalten.

Gänzlich hiervon verschieden sind die Zersetzungsprodukte der festen Massen vulkanischer Gesteine und der im Aufbau der vulkanischen Gebirge eine hervorragende Stelle einnehmenden groben Tuffkonglomerate. Besonders die letzteren ermöglichen eine ausgiebige Verwitterung. Tonige Böden von brauner Farbe in den gemäßigten, von braunroter Farbe in den feuchten Teilen der heißen Zone sind das Ergebnis derselben. Sie sind für Wald Vegetation geeignet. Die dichten Wälder der Hauptmasse der ungarisch-siebenbürgischen vulkanischen Gebirge, sowie der javanischen Vulkane, des Vogelsgebirges und der Rhön geben dafür den ebenso aus zahllosen anderen Beispielen zu entnehmenden Beweis. Aber vielfache Unterschiede betreffs der Bodenbildung bestehen bei den einzelnen Gesteinen mit ihrer von hohem bis zu niederem Kieselsäuregehalt schwankenden Zusammensetzung, nicht minder bei dem gleichen Gestein unter verschiedenen klimatischen Bedingungen. Material zu vergleichenden Studien hierüber kann von Reisenden beigebracht werden.

[§215] 14. Löß und äolische Aufschüttungen überhaupt.— Der Löß gehört zu den bemerkenswertesten unter den regional verbreiteten Bodenarten. Er scheint auf die gemäßigten Zonen beschränkt zu sein, findet sich aber in diesen weit verbreitet und zeichnet sich einerseits dadurch aus, daß er überall, wo die Verhältnisse seine typische Ausbildung gestattet haben, die gleichen Eigenschaften besitzt und in seiner allgemeinen Verbreitung weder durch die

Meereshöhe, noch durch die Höhe über dem Boden der Flußtäler beschränkt ist. Um so mehr sollten diejenigen Fälle beachtet werden, wo auf einem (wohl stets räumlich eng begrenzten) Gebiet solche Schranken in seinem Auftreten festgestellt werden können. Der Zusammensetzung nach als ein kalkreicher Lehm, mit dem er auch die gelbbraune Farbe teilt, zu bezeichnen, unterscheidet er sich doch von dem Gehängelehm in sehr wesentlicher Weise durch ausgezeichnete Porosität und das Auftreten feiner, an verzweigte Wurzeln, besonders von Gräsern, erinnernder Kanäle. In Folge dessen trägt er keine stehenden Gewässer; er saugt das Regenwasser auf und nimmt hygroskopisches Wasser aus der feuchten Atmosphäre auf. Es gibt Quellen an der Grenzfläche seiner Unterlage, aber nicht innerhalb seiner Masse. Er ist ungeschichtet, und die senkrechten Röhrchen, welche häufig mit kohlenurem Kalk inkrustiert sind, geben ihm die Tendenz zu vertikaler Absonderung, insbesondere zur Ablösung senkrecht stehender, etwas schaliger Schollen, wenn hohe, frei anstehende Wände von Löß durch fließendes Wasser unterhöhlt werden. Die Festigkeit ist hinreichend, daß senkrechte und selbst überhängende Wände, wenn keine Störung erfolgt, sich, ebenso wie große gewölbte Räume, durch lange Zeit erhalten. Dennoch ist der Löß so mürbe, daß solche Wände, wo sie den Abfall einzelner Stufen auf andere oder auf einen Talboden vermitteln, in vielen Ländern zur Anlage menschlicher Wohnungen dienen, die mit Leichtigkeit in ihm ausgehöhlt werden. Die mürbe Beschaffenheit macht ihn zerreiblich. Das braungefärbte, tonigkalkige Material läßt sich in die Poren der Haut einreiben; es bleiben dabei kleine Quarzkörner zurück, welche in typischem Löß eine eckige, unregelmäßige Gestalt haben. Ihr Durchmesser ist in einzelnen Fällen zu 0.05 bis 0.025 mm bestimmt worden. Die Messungen sollten für den Löß verschiedener Gegenden wiederholt werden; es scheinen größere Körner vorzukommen. Man erkennt im Löß zahlreiche feine Glimmerblättchen, welche nicht horizontal und in Lagen geordnet, sondern in verschiedenen Stellungen unregelmäßig verteilt sind. Außer mergeligen Konkretionen von unregelmäßiger Gestalt, welche auch in anderen Bodenarten vorkommen, enthält er in der Regel, wenigstens vereinzelt, oft aber massenhaft eingestreut, Gehäuse von Landschnecken. So zahlreich die Individuen sind, so gering ist die Artenzahl. Wasserschnecken sind äußerst sporadisch vorhanden. Dagegen kommen in manchen Gegenden Arten vor, welche, wie die im europäischen Löß verbreitete *Succinea oblonga*, Feuchtigkeit zu lieben scheinen. Da auch die zartesten Gehäuse unzerbrochen sind, stammen sie von Tieren, welche an Ort und Stelle, wo man sie findet, und zwar wahrscheinlich meist in einiger Tiefe unter der Oberfläche, zu welcher sie sich während einer für ihre Ernährung ungünstigen Jahreszeit zurückgezogen hatten, gestorben sind. Außerdem enthält der Löß Knochen von Landsäugetieren, und zwar von grabenden Steppentieren, von grasfressenden Huftieren und von Raubtieren. Die Skelette der grabenden Tiere kommen häufig vollkommen vor, die Knochen der größeren sind in der Regel zerstreut, ganz wie man dies auf der Oberfläche der Steppen sieht.

Der Löß bedeckt gleichmäßig ebene Flächen des Untergrundes. Ist dieser wellig hügelig, so füllt er die Vertiefungen aus, und zwar in solcher Gestalt, daß seine Oberfläche, über die erodierten Teile hinweg ergänzt, entweder eine nach beiden Gehängen gleichmäßig hinanziehende flache Mulde bildet, oder sich nur an ein Gehänge in den höheren Teilen anlehnt und flach konkav nach dem tieferen Teil des gegenüberliegenden, unbedeckt bleibenden Gehanges zieht. Die gleichmäßige Oberfläche einer Lößmulde kann eine sehr geringe Breite haben, aber auch eine solche von 10, 20 und mehr Kilometern erreichen.

Am Boden einer solchen Mulde liegt der Löß selten dem unverritzten Gestein auf, sondern ist gewöhnlich durch eine Schuttlage von ihm getrennt; auch ist der Boden häufig ein Wechsel von Berg und Tal; der Löß zeigt sich dann als das nivellierende Element. Wo er an die seitlichen Gehänge heranreicht, ist er mit Schutt von deren Gesteinen erfüllt, und einzelne Schuttlagen

setzen, die konkave Gestalt der Oberfläche wiederholend, weit gegen das Innere der Lößmulden fort. Sie verursachen eine Unterbrechung in der Stetigkeit, welche, offenbar von einem klimatischen Ereignis herrührend, auch jenseits der Grenzen der letzten Teile von Schutt in dem häufigen Vorkommen von Mergelknuerns erkennbar ist. Der typische, durchaus gleichförmige Löß beginnt immer erst in einiger Entfernung von den einfassenden Gehängen. Wo daher, wie im mittleren Deutschland und Frankreich, der Löß auf unebenem Boden in geringer Mächtigkeit lagert, kommt er sehr selten rein vor, sondern ist von herzugespülten und vom Winde fortgetragenen Teilen des anstehenden Gesteins oder der anstehenden Deckgebilde, insbesondere von Sand, erfüllt. Die Mächtigkeit wechselt von dünnen Lagen, in denen er kaum erkennbar ist, zu mehreren hundert Metern.

Allenthalben ist der Löß ein sehr fruchtbarer Boden, besonders für Cerealien und Steppengräser. Lagert er in dünner Decke, so können Sträucher und Bäume auf ihm gedeihen, indem sie mit ihren Wurzeln solche Erdschichten erreichen, welche die Feuchtigkeit zurückzuhalten vermögen. Aber wo er mächtig ist und von tiefen, die Gewässer abziehenden Furchen durchzogen wird, sinkt das Regenwasser schnell hindurch und fließt ab. Dem Getreide wird daher schon eine kurze Zeit der Dürre verhängnisvoll; mehr als bei anderen Bodenarten bedarf es eines während der Vegetationsperiode gleichmäßig verteilten Regens. Bäume und Sträucher können unter solchen Umständen nicht fortkommen. Pflanzte und bewässert man sie, so senden sie ihre Wurzeln überraschend schnell senkrecht in die Tiefe hinab; aber wenn sie den Löß nicht zu durchdringen vermögen, werden sie durch Zeiten der Dürre getötet.

Alle beschriebene Eigenschaften: Die Zusammensetzung aus staubartig feinem tonigem oder tonigkalkigem Gesteinsmaterial, das Vorkommen des Quarzes in kantigen Körnern, die diffuse Lage der Glimmerblättchen, die Unabhängigkeit von der Meereshöhe und der Höhe über den Flußtälern, die Gleichförmigkeit über weite kontinentale Räume, das Vorhandensein von Wurzelkanälchen durch alle Tiefen hindurch, das Vorkommen der Gehäuse an Ort und Stelle gestorbener Landschnecken in großer Menge und in allen Tiefen, sowie der Skelette und vereinzelter Knochen von Steppentieren und Raubtieren, die konkave Gestalt der Oberfläche, der Mangel an Schichtung — Alles dies erweist zum Teil unmittelbar die vollkommene Analogie mit den auf Steppenboden sich bildenden äolischen Staubsedimenten, von denen vorher (§ 196) die Rede war; zum Teil sind es Eigenschaften, welche, obgleich an der Oberfläche der Steppen nicht erkennbar, doch als die notwendige Konsequenz des Wesens dieser Ablagerungen für deren tiefere Teile gefolgert werden müssen. Die äolischen Sedimente der Steppen sind Löß, und Löß ist durch Erosion aufgeschlossener Steppenboden. Diese Umwandlung ist in den Randgebieten abflußloser Steppenländer deutlich zu beobachten und sollte an solchen Stellen, wo die innere Struktur der Ausfüllungsmasse von Steppenmulden durch eingesenkte Kanäle ersichtlich ist, genauer untersucht werden. Es vollzieht sich dabei eine innere Umwandlung, indem die Salze aus dem Steppenboden ausgelaugt werden, so daß dessen fruchtbare Eigenschaften nun erst ganz zur Geltung kommen.

Es gibt Steppen von verschiedener Art. Sie finden sich, wo ein lockerer Boden unter dem Einfluß des Wechsels einer trockenen und einer feuchten Jahreszeit steht, und die erstere zu lang ist, als daß Bäume sie überdauern könnten. Es kommt wenig darauf an, ob die Regenzeiten kürzer oder länger, die Niederschläge in ihnen reichlich oder gering seien. In einer Gegend bestimmt dürftiges Büschelgras, welches viel Trockenheit vertragen kann, den Charakter der Vegetation; in einer anderen besteht diese aus hoch aufschießenden, saftigen Gramineen verschiedener Gattungen. Es ist nicht wahrscheinlich, daß der Charakter des durch die äolischen Niederschläge gebildeten Bodens im Endresultat des einen und des anderen extremen Falles wesentlich

verschieden sein wird; denn die Art des zugeführten Materials und die zuführende Kraft bleiben sich gleich, ebenso die die innere Struktur bestimmenden tiefen Faserwurzeln. Dagegen werden die Schnecken und die Säugetiere, deren Reste bei der Bodenbildung vergraben werden, verschieden sein. In einem Fall werden es solche Arten sein, welche bei einem geringen Grad von Feuchtigkeit in der besseren Jahreszeit existieren können; im anderen solche, welche während der Dauer derselben stärkeren und gleichmäßig verteilten Regen verlangen. Je nachdem Steppen abflußlos sind oder von Flüssen durchzogen werden, kann ein Unterschied insofern obwalten, als die löslichen Salze bei den ersteren gänzlich im Boden bleiben, bei den letzteren aber zum Teil ausgelaugt werden. Auch auf den Gehalt an kohlensaurem Kalk kann dies einen Einfluß haben, und damit auf die Erhaltung der Graswurzelkanäle.

Es würde von Wert sein, den Boden der verschiedenen Steppen zu untersuchen; und zwar nicht an der Oberfläche, wo der Einfluß der Vegetation große Unterschiede bedingt, sondern in derjenigen Tiefe, in welche nur noch die letzten Faserwurzeln dringen. Brunnengrabungen in der trockenen Jahreszeit würden hierzu die beste Gelegenheit geben. Wo tiefe Furchen den Lößcharakter des Steppenbodens aufschließen und die eigentümliche Terrassenanordnung (§ 58) die Bewohner zur Aushöhlung von Wohnungen einladet, sind Aufschlüsse der tiefen Teile in Menge vorhanden.

[§216] Lößähnliche Bodenarten. — Unter den dem Löß verwandten Bodenarten, welche in größerer Ausbreitung vorkommen, ist zuerst der See-Löß zu nennen, ein charakteristisches Gebilde in solchen Lößgebenden, welche durch das Eingraben von Erosionsfurchen aus abflußlos gewesenen Steppen entstanden sind. Er besteht aus den vormals in den Salzseen und Salzsümpfen gebildeten Niederschlägen. Solche Seen pflegen sehr seicht zu sein und zu Salztümpeln und Salzkrusten auszutrocknen. Mit dem Eintritt der Regen wälzen die Flüsse trübes Wasser herbei, welches aus dem feinsten ausgeschlemmten Lößmaterial besteht. Eine Schicht des letzteren ist abgesetzt, ehe der Zufluß nachläßt oder aufhört. Dadurch entsteht geschichtetes, von verschiedenen Salzen in großer Masse imprägniertes Erdreich. Gleichzeitig mit dem Wachsen der Steppe in der Umgebung schichten sich die Sedimente in dem See übereinander. Sie zeichnen sich deutlich, wenn später Erosion eintritt, fehlen aber selbstverständlich dort, wo Steppen zur Zeit ihres Wachstums von tief eingeschnittenen Flüssen durchzogen wurden, da an solchen Stellen die Bildung von Seen überhaupt nicht stattfinden konnte. Es gibt in den abflußlosen Ländern auch Seen, welche im Lauf der Flüsse liegen und keine Sammelbecken für die Salze, wohl aber für die Sedimente sind. Hier findet gewöhnlich eine ausgedehnte Schilfvegetation statt, deren Wachstum die Schichtung undeutlich macht. Es entstehen Gebilde, die, gleich dem Seelöss, das Wasser an ihrer Oberfläche in Tümpeln stehen lassen, ohne den Salzreichtum von jenem zu besitzen.

Ähnliche Sedimente finden sich, wie bereits oben (S. 82) angedeutet worden ist, in den Deltas von Strömen, wo die jährlich zu wachsende Schlammdecke von den Wurzeln der mit jedem Jahr in ein höheres Niveau rückenden Vegetation so umgestaltet wird, daß die Schichtung ganz verloren gehen kann, und ein von Wurzelkanälen durchzogener, gleich dem Löß aus den Detritus verschiedener Gesteine hervorgegangener toniger Boden das Endprodukt ist. Landschnecken, die auf der nie absterbenden Vegetation leben, können zusammen mit Süßwasserschnecken eingeschlossen werden. Auch diese Gebilde sollten eingehender, als geschehen ist, untersucht werden. Ihre Entstehung ist von der des Löß so verschieden, daß noch bestimmtere Unterschiede, als sie sich im äußeren Charakter dokumentieren, in der Zusammensetzung und Struktur zu erweisen sein dürften.

Es ist nicht wahrscheinlich, daß durch Ablagerung aus Wasser, abgesehen von der eben genannten Art allmählicher, konstant durch Pflanzenwuchs modifizierter Anhäufung, ein löss-ähnliches Gebilde entstehen kann. Bisher ist noch kaum eines beobachtet worden. Von um so größerem Interesse wäre es, den Nachweis in irgend einem Fall zu führen. -Es ist zwar hypothetisch angenommen worden, daß durch langsame Ablagerung toniger Trüben in stehendem Wasser Löß entstehen könne, und diese Vermutung wird gegenwärtig noch oftmals wiederholt. Wo jedoch: die Untersuchung möglich gewesen ist, hat es sich stets erweisen lassen, daß der Niederschlag aus Wasser mit einer Saigerung verbunden ist, indem die gröberen Stoffe, wenn irgend eine Kraft sie bis in die Mitte eines Beckens zu führen vermag, zuerst niederfallen und zusammen mit einem geringen Teil der nächst feineren eine Lage bilden, und auch der Rest sich in einzelnen, in einander übergehenden Lagen absetzt. Die Glimmerblättchen würden erst in den oberen Lagen erscheinen. Periodische Zufuhr einer dem Löß in Zusammensetzung entsprechenden Trübe würde weiteren Schichtenabsatz, konstante Zufuhr aber, wie es bei den Seen (§ 84) erörtert wurde, den Niederschlag in Gestalt eines Schuttkegels mit allmählich sich herabsenkender Oberfläche zur Folge haben. Nur auf dem Boden der Tiefsee scheinen Sedimente gebildet zu werden, welche hinsichtlich des homogenen, feinerdigen Charakters und des Mangels an Schichtung Analogie mit dem Löß darbieten, wie an der weißen Schreibkreide ersichtlich ist; aber ihr fehlen die senkrechten Wurzelkanäle.

Die Frage ist von um so größerer Tragweite, als der äolische Ursprung für den Löß einiger unter denjenigen Gebieten, in denen er eine große Verbreitung hat und vorzugsweise typisch aufzutreten scheint, insbesondere für den des Mississippi-Missouri-Tales, von ausgezeichneten Forschern angezweifelt wird. Sollten hier in der Tat Lößähnliche Gebilde existieren, für welche die Möglichkeit äolischer Entstehung auf Grund bündiger Argumente ausgeschlossen wäre, so würde noch die Frage zu erledigen sein, was aus den seit langen Perioden jährlich herzugeführten, auf der Steppe niedergefallenen und durch kein fließendes Wasser fortgeführten Staubmassen geworden ist. Jedenfalls müssen sie eine Bodenschicht gebildet haben, welche die Vegetation in höheres Niveau brachten, und diese Schicht müßte sich von den tieferen durch verschiedene Struktur abheben.

Sollte der Löß des Mississippi-Tales und einiger Gegenden Deutschlands wirklich aus Wasser niedergeschlagen sein, so würde ein von dem wahren Löß genetisch verschiedenes Gebilde vorliegen, da die Unabhängigkeit von der Meereshöhe jene Entstehungsart für Asien, die meisten Teile Europas und, wie es scheint, auch für Süd-Amerika ausschließt. Es ist aber in sich äußerst unwahrscheinlich, daß ein so eigentümliches Gebilde in ganz gleicher Weise durch zwei so verschiedene Agentien, wie bewegtes Wasser und bewegte Luft, hervorgebracht werden kann.

[§217] Schwarzerde, Regur und ähnliche Bodenarten. — Einige Steppentypen haben zur Unterlage einen Boden, welcher sich durch bedeutenden Humusgehalt in einer der Oberfläche zunächst gelegenen Schicht auszeichnet, während er tiefer hinab die Eigenschaften des Löß besitzt. Am bekanntesten ist die Schwarzerde (Tschornosjom), welche in den Flußgebieten des Dnjepr, des Don und der Wolga einen Raum von dem anderthalbfachen Areal von Frankreich, und außerdem noch große Strecken in dem Gebiet des Ob einnimmt. Sie scheint auch im Gebiet der Weichsel vorzukommen. Der Boden ist sehr feinerdig, besteht wesentlich aus tonigen Bestandteilen, enthält lösliche Salze in größerer Menge als gewöhnlicher Ackerboden, und in den oberen Teilen von 5 bis zu 16 Prozent organischer Substanz. Er überzieht den ebenflächig ausgebreiteten felsigen Untergrund in einer Mächtigkeit, welche bis 20 Meter steigt und bis 1 Meter herabgeht. Wo er im Norden endigt, beginnt die Region des Tafelland-Eluviums (§ 204). Die

Flüsse sind in tiefen Kanälen eingeschnitten. Im urwüchsigen Zustand eine Gras- und Kräuter-Steppe mit reicher Beimengung von Zwiebelgewächsen, ist dies durch Kultur ein Land des Weizens geworden. Früher wurde der Boden für einen Absatz aus Meerwasser oder Süßwasser gehalten; doch wird jetzt der äolische Ursprung kaum noch bezweifelt. Die schwarze Färbung der Oberfläche weicht der Lößfarbe in der Tiefe. Mit der ersteren ist ein fettiger, mit der letzteren ein mürber, poröser Zusammenhalt verbunden.

Ein ähnliches Gebilde ist die Schwarzerde, welche, auch Regur oder Cottonsoil genannt, den dritten Teil des südlichen Indien bedeckt. Auch sie ist ein feinerdiger, in der oberen Schicht von 6 bis 10 Fuß Mächtigkeit schwarzer, darunter braungefärbter, von Kieseln und gröberen Einschlüssen, mit Ausnahme von Mergelknauern (Kunkur genannt), gänzlich freier Boden, welcher im unkultivierten Zustand lockerstehende Gräser von 3 bis 5 Fuß Höhe trägt und dem Baumwuchs abhold ist, unter Kultur hingegen sich besonders für die Pflanzung der Baumwolle eignet. Die schwarze Oberflächenschicht enthält 8 bis 9 Prozent organischer Bestandteile, gibt fortdauernd Ernten ohne Dünger, ist zäh und klebrig, in der trockenen Jahreszeit rissig; die braune Erde der Tiefe scheint sich vom Löß nicht zu unterscheiden. Die Verbreitung folgt einem Gürtel, welcher nicht nur überhaupt in Anbetracht des tropischen Klimas wenig Regen (unter 1200 mm) erhält, sondern auch mit dem südlichen Rußland die Eigenschaft des Wechsels einer nassen und einer trockenen Jahreszeit teilt. Der Regur überzieht gleichmäßig die verschiedensten Gesteine, wie Gneis und „Trapp“. Die Ansicht, daß er ein Eluvialgebilde sei, mußte aus diesem Grund ebenso verlassen werden, wie, aus anderen Erwägungen, seine Erklärung als ein zersetzter Basalt, als ein Meeresgebilde und als ein Absatz aus Süßwasser. Die Analogie mit anderen Bodenarten, welche, mit Ausnahme des Humusgehaltes in der Oberflächenschicht, denselben Charakter haben, macht es zweifellos, daß auch der Regur ein äolisches Gebilde ist.

In beiden genannten Fällen sind die Bodenarten und ihr Vorkommen noch genauer zu erforschen; insbesondere sollte untersucht werden, welche Ursachen der Humusbildung zu Grunde liegen. In den russischen Steppen wird im Frühjahr der Boden mit dem Schmelzwasser einer dünnen Schneedecke getränkt; die Hauptregen fallen im Frühsommer; dann wird es trocken.

Es gibt andere Länder, welche mit Steppen bekleidet sind und wahrscheinlich äolischen Boden besitzen. Dahin gehören die Grasflächen und Parklandschaften der Mandschurei und des Amurgebietes, die Savannen im nordöstlichen Süd-Amerika, die nördlichen Teile des Stromgebietes des Paraguay und Parana, insbesondere die Ebenen des Gran Chaco, und andere Gegenden. Es läßt sich nicht bezweifeln, daß die klimatischen Unterschiede hier manche Unterschiede des Bodencharakters zur Folge haben werden; aber eine äolisch gebildete, dem Löß oder Regur im Wesentlichen entsprechende Deckschicht wird in den genannten Fällen selten fehlen.

[§218] Äolische Bodenkrumen. — Obwohl der Löß im mittleren Europa nach Bodencharakter, organischen Einschlüssen und Verbreitungsart alle Eigenschaften eines äolischen Gebildes besitzt und dadurch das ehemalige, durch die Tierwelt bestätigte Steppenklima bezeugt, bieten doch die gegenwärtigen klimatischen Verhältnisse in Folge der gleichmäßigen Verteilung der Niederschläge sehr geringe Gelegenheit für äolische Bildungen. Allein sie fehlen nicht. Die oberste Bodenschicht sollte vielfach auf die Art ihrer Entstehung geprüft werden. Wo Glazialschutt oder verwittertes Gestein die Unterlage der Ackerkrume bildet, da kann diese aus der Zersetzung jener allein entstanden sein. Anders ist es, ein wo welliger Untergrund von reinem Sand oder Kies, oder von einem nicht zersetzbaaren Gestein, wie Tonschiefer, auch auf

den erhabenen, die Zufuhr von Bestandteilen durch fließendes Wasser ausschließenden Teilen eine unter dem Pflug stehende, humushaltige Ackerkrume trägt. Dieselbe hat häufig eine über weite Strecken gleichbleibende Mächtigkeit von kaum einem Fuß und hebt sich scharf gegen den Kies oder Sand, oder gegen das Gestein ab. Dies ist das weit verbreitete Äquivalent der früher (§ 196) bezeichneten Erdender alten Gemäuer: die durch äolisches Herbeitragen von Bodenbestandteilen gebildete Krume. Jeder Regen schlägt aus der Atmosphäre neues Material nieder, welches von der Vegetation, nachdem sie einmal befestigt ist, zurückbehalten wird. Wie auf den Höhen alter Sanddünen, so wächst der Boden in den Wäldern und auf den Wiesen unserer Gegenden durch äolische Zufuhr. Aber seitdem der Pflug durch den Boden zieht, ist die Verteilung ungleichmäßig geworden. Dieses Wachsen geschieht langsam, und der Boden zeigt nicht die Eigenschaften des Löß; denn feuchtes Klima und Vegetation modifizieren ihn in ähnlicher Weise wie die Oberflächenteile des Regur.

Es fehlt an Beobachtungen über das Wachsen des Bodens in unseren Gegenden. Wer sie im Auge hat, dem werden sich Merkzeichen darbieten. Man sollte die Untersuchung aber auf solche Orte beschränken, an denen die Zufuhr durch Wasser ausgeschlossen ist.

Der Tonboden im Allgemeinen.

[§219] Der wichtigste Bestandteil des Vegetationsbodens überhaupt sind die Tonsubstanzen, d. i. die durch kohlenensäurehaltige Wasser nicht weiter zersetzbaren Rückstände tonerdiger Silicate. Sie treten in großen Massen fast rein auf und sind von verschiedener Farbe, welche wesentlich von der Art der Oxydation des selten fehlenden Eisengehaltes abhängt. Die unter Wasser abgelagerten, nicht nachträglich höher oxydierten Tone sind blau oder weiß. Braungelbe Farbe ist dem Gehängelehm und Löß eigen, sowie dem aus ihnen entstehenden Schwemmboden, rote dem Laterit und den aus der Zerstörung roter Sandsteine und Schiefer hervorgehenden Bodenarten. Der Ton saugt Wasser begierig auf und wird dadurch knetbar und plastisch. Beim Austrocknen wird er rissig und umgibt die Pflanzenwurzeln mit einer harten, sie leicht tödenden Rinde. Durch Frost wird er aufgelockert. Selbst unfähig, die Pflanzen zu ernähren, speichert er die Nährstoffe für dieselben auf. Er absorbiert Gase, besonders Kohlensäure, Ammoniak und Schwefelwasserstoff; ihre Aufnahme wird durch die Gegenwart von Eisenoxydhydrat begünstigt. Auch Salzlösungen nimmt er auf, und die Salze können sich in ihm gegenseitig zersetzen. Alle diese Eigenschaften werden im Strukturlosen Lehm erhöht, wenn er bis zu einem gewissen Grad durch Beimengung fremder Bestandteile gelockert wird. Sand, feines Kieselmehl, kohlen-saurer Kalk, Eisenoxydhydrat, Eisenoxyd, Gips wirken in dieser Richtung; in höherem Grad tut dies die Zersetzung beigemengter Teile von feldspatigen Gesteinen, welche gleichzeitig mineralische Nährstoffe lieferten. Als wichtigste Beimengung aber ist der Humus erkannt worden, indem er die Absorption der Gase, das Festhalten von Wasser und die Zersetzungs Vorgänge befördert. Die Kultur ist bestrebt, die Auf-lockerung und Porosität des humushaltigen Tonbodens zu erhöhen; dies ist einer der Zwecke der Zufuhr von Strohdünger und auf-? lockerndem mineralischem Dünger. Der Löß besitzt die angestrebten Eigenschaften selbst in hohem, zum Teil durch die Kultur kaum erreichbarem Maße.

Bei der Untersuchung der verschiedenen Bodenarten, gleichviel ob sie spontane Vegetation tragen oder zu Kulturzwecken verwendet, werden, ist die Wasserkapazität zu berücksichtigen; sie ist von dem Volumen und der Verteilungsart der Hohlräume abhängig, welche mit Wasser erfüllt werden können. Man bestimmt die Menge Wasser, welche der Boden einerseits durch

Aufsaugen, andererseits durch Aufgießen aufnehmen kann, ohne daß es in Tropfen abfließt. Sie schwankt von 20 bis 70 Prozent. Hohe Wasserkapazität ist günstig für warme Gegenden mit geringer mittlerer Regenmenge, niedrige für Länder, welche im Verhältnis zur Temperatur reiche Niederschläge erhalten. Der Quarzsand faßt am wenigsten, der humusreiche Boden am meisten Wasser. Die Fähigkeit des Bodens, mittelst der Eigenschaft der Kapillarität von unten Wasser aufzusaugen, ist nicht von Bedeutung wo das Grundwasser tief liegt, kann aber sehr wichtig sein, wo dieses in geringer Tiefe sich befindet, wo also eine trockene lockere Erde auf nassem Untergrund ruht (s. § 118). Es beruhen hierauf manche beachtenswerte Erscheinungen in lössbedeckten Ländern; Wo diese Bodenart in großer Mächtigkeit lagert, saugt sie, wie erwähnt, das Regenwasser ein, und es entweicht bald in die Tiefe.

Während daher solche Jahre, in denen häufig Regen fällt, sehr reiche Ernten bringen, reicht eine kurze Dürre hin, um die Saaten zu vernichten. Wo der Löß aber eine geringe Mächtigkeit hat, kann er Trockenheit weit besser ertragen, da er das Wasser von seiner Unterlage aufsaugt. Daß in manchen Fällen die Salze, welche in den tieferen Teilen des Löß angehäuft sind, verhängnisvoll werden können, wurde in § 52 an den Beispielen der Ufer des Gelben Flusses bei Ning-hsia-fu und der mit Effloreszenzen von kohlensaurem Natron, schwefelsaurem Natron und Kochsalz bedeckten Usar im Flachland der Gegend von Delhi erläutert.

Von Interesse würden auch in manchen Gegenden Beobachtungen über das hygroskopische Wasser sein, welches der poröse Boden zum Teil der Luft entnimmt. Zur Nachtzeit findet Verdichtung des Wasserdampfes mit Freiwerden von Wärme statt, zur Tageszeit Verdunstung mit Wärmeverlust. Diese Eigenschaft des porösen Bodens ist zwar bei mangelndem Regen überall von Wichtigkeit, da sie das Wachstum der Pflanzen erhält, dürfte aber an Interesse in manchen Gegenden gewinnen, wo die Vegetation sich vor dem Eintreten der Regen zu entwickeln beginnt, wie dies vom südlichen Arabien berichtet wird. Der Einfluß des Seewindes übt wahrscheinlich häufiger eine derartige Wirkung.

C. Umänderungen des Bodens.

[§220] Der Umänderungen, welche der einmal gebildete Boden weiterhin durch Verwitterung, Lösung, Saigerung und Umlagerung mittelst spülenden Wassers, fließenden Wassers und strömender Luft, sowie durch Frost und durch Vegetation erleidet, ist mehrfach gedacht worden. Es möge hier noch auf einige besondere Agentien, welche Umänderungen herbeiführen können, aufmerksam gemacht werden.

Umänderung durch tierische Tätigkeit. — Größere Tiere führen direkt wenig Umgestaltung herbei. Indirekt befördern sie dieselbe in mancherlei Weise, z. B. durch Auflockerung des trockenen Bodens, wodurch dem Wind ein leichter Angriff geboten wird. Kleine Tiere üben weit größeren, aber wesentlich, wie die Ameisen, auch nur mittelbaren Einfluß aus. Als unmittelbar den Boden umgestaltend sind nur die Regenwürmer durch Darwin bekannt geworden (s. § 35). Sie sind seitdem Gegenstand vielfacher Untersuchung. Um dieselben zweckmäßig auszuführen, sollte man die scharfsinnigen Methoden der Beobachtung der Originalabhandlung entnehmen.

Verschiebung des Bodens durch Frost. — Neben der Auflockerung (§ 41) kann der Boden durch oftmals wiederholtes Gefrieren des von ihm aufgesogenen Wassers, wenn er auf geneigter Felsunterlage ruht, eine langsame Verschiebung seiner ganzen Masse nach abwärts erleiden,

wodurch an seiner Stelle der Gesteinsboden kahl zu Tage tritt. Die auf ihm wachsende Gras- und Strauchvegetation wird dann mit fortbewegt. Beobachtungen darüber sind z. B. auf den Falklands-Inseln gemacht worden. In Hochgebirgen, in Skandinavien und im nordwestlichen Amerika dürfte sich Gelegenheit zu ihrer Bestätigung bieten.

Umänderungen durch menschliche Tätigkeit. — Der Einfluß des Menschen auf die Umgestaltung des Charakters der Erdoberfläche ist Gegenstand eines so vielseitigen und so weiten Forschungsgebietes, daß es dem Scharfblick des Einzelnen überlassen bleiben muß, die bekannteren Gesichtspunkte anzuwenden und je nach dem Land, in welchem die Untersuchung geschieht, neue ausfindig zu machen. Es würde zu weit führen, das Thema eingehend zu behandeln. Einige Bemerkungen mögen genügen.

Die erste Tätigkeit des Ansiedlers in naturwüchsigen Gegenden besteht, nachdem die weniger günstigen Stellen besetzt sind, in der Verminderung des Waldbestandes, welche, bis zu einem gewissen Grad betrieben, segensreich sein, aber, in Waldverwüstung ausartend, die unheilvollsten Folgen für ein Land bringen kann. Es ist in § 30 auf die allgemeine Bedeutung des Pflanzenwuchses für die klimatischen Verhältnisse, in § 71 auf den mechanischen Schutz, welchen die Vegetation dem Boden vor Erosion durch Wasser und Wind gewährt, und in § 92 auf die Beziehungen der in längeren Perioden, zum Teil vermittelt der Vegetation, stattfindenden Wandlungen in der umgestaltenden Tätigkeit der fließenden Gewässer hingewiesen worden. Die Bedeutung des Waldes für den Boden geht daraus deutlich hervor. Die Verminderung seines Bestandes in den Kulturländern mag in ehemaligen Zeiten, als die Transportmittel unvollkommen waren, eine sehr langsame, mit der Ausbreitung dichter ackerbauender Bevölkerung schritthaltende gewesen sein und erst nachdem sie eine gewisse Grenze überschritten hatte, an einzelnen Orten Nachtheil gebracht haben. Im Mittelalter war es ähnlich; doch mögen in Altertum und Mittelalter zu Zeiten verhängnisvolle Verwüstungen größerer Strecken von der Art vorgenommen worden sein, wie die Venezianer sie in den Eichenwäldern des Karst zum Zweck des Schiffbaues und der Gewinnung von Pfählen zu Unterbauten in ihren Lagunen ausgeführt haben. Mit der Verbesserung der Transportmittel im Lauf des gegenwärtigen Jahrhunderts ist der Maßstab der Verwüstung schnell gewachsen, und er dürfte jetzt den höchsten Grad in manchen Teilen von Nord-Amerika erreichen. Angesichts der Änderungen, welche nachweislich im Waldbestand einzelner Erdräume stattgefunden haben, ist man oft geneigt, einen Rückschluß auf das ehemalige Vorhandensein von Wäldern in vielen von denjenigen Gebieten, wo sie jetzt fehlen, zu machen. Hierbei hat man sich vor vorschnellen Schlüssen zu hüten. Salzhaltiger Steppenboden ist überhaupt für Waldwuchs ungeeignet und dürfte, wo er sich findet, seit dem Dasein des ackerbautreibenden und den Wald niederschlagenden Menschen nie mit solchem bestanden gewesen sein. Dasselbe gilt von einem in größerer Mächtigkeit aufgeschichteten lockeren und sehr wasserdurchlässigen Boden, falls derselbe von tief eingeschnittenen Abzugsrinnen durchzogen wird und jährlich eine gewisse Zeit vollkommener Trockenheit zu erleiden hat.

Die Folgen des vollständigen Vernichtens von Waldstrecken für die Umgestaltung des Bodens sind zum Teil solche, welche unter gewissen Bedingungen überall eintreten, zum Teil solche, welche je nach den klimatischen Verhältnissen in einzelnen Ländern verschieden sein können. Nahezu gleichartig sind die Folgen allenthalben, wo von der Waldvegetation mühsam in Besitz genommene steile Berggehänge derselben beraubt werden, indem der Boden, dem der Halt entzogen ist, durch Einfluß des Spülwassers und des Durchtränkens mit Feuchtigkeit abrutscht und abstürzt, um die oberen Gehänge kahl zurückzulassen und die Talgründe mit Schutt zu bedecken. Von letzterem werden den Strömen größere Massen geboten als sie bewältigen können. Sie verteilen sie weiter abwärts über die Täler und überschwemmen damit die Ebene.

Jahreszeiten mit außergewöhnlich starken Regenfällen wirken am meisten in der Richtung der Verbreitung des Schuttes über große, vorher der Kultur zugänglich gewesene Strecken. Kahle Berglehnen mit Schutthalden und öde Talgründe sind die Folge. Die Täler der venezianischen und der französischen Alpen geben die sprechendsten Belege. — Zunächst sind es Tafelländer und weite Flachländer, welche wahrscheinlich unter allen Umständen durch übermäßige Entwaldung nachtheilig beeinflusst werden, weil ihnen dadurch einer der wenigen den Regen begünstigenden Faktoren, welche bei ihnen vorhanden sind, genommen wird. Die Wolkenbildung wird vermindert, die Insolation und Ausstrahlung erhöht, die Gleichmäßigkeit der Niederschläge selbst dann, wenn solche Gegenden von feuchten Winden bestrichen werden, beeinträchtigt.

Weitaus in den meisten Erdräumen richten sich die Folgen der Waldvernichtung nach den vorhandenen klimatischen Bedingungen. Wenn es daher auch in einem einzelnen Fall gelingen sollte, zu erweisen, bis zu welchem Grad der Entwaldung die nützlichen Einflüsse vorwalten, und an welchem Punkt die schädlichen, beginnen, so würde das Resultat doch keineswegs allgemein anwendbar sein. Der Wendepunkt würde in Gegenden mit trockenen Sommern, wie die Mittelmeerlande und Kalifornien, ebenso wie in solchen, welche, wie die iberische Halbinsel, in Folge ihrer Lage selbständige Centren der meteorologischen Vorgänge sind, viel früher eintreten, als in jenen Landstrichen, welchen ihre Lage zu großen Kontinentalgebieten regelmäßig eintretende reichliche Sommerregen bringt, und in welchen die örtlichen Einflüsse auf meteorologische Vorgänge von verschwindender Bedeutung im Vergleich mit den kontinentalen Einflüssen sind. Aus diesen Gründen empfinden das südliche China und die britischen Inseln die Nachteile einer früh geschehenen Entwaldung nur wenig, während sie in Spanien verhängnisvoll gewesen sind. Die Gesamtmenge des jährlichen Niederschlags unterliegt wahrscheinlich keiner Änderung; und dort, wo feuchte Seewinde während der Vegetationsperiode beständig oder sehr vorwaltend wehen, wird auch die Gleichmäßigkeit der zeitlichen Verteilung wenig gestört. Ungünstig gestellt sind dagegen diejenigen Länder, in welchen die Wälder die Bestimmung haben, die Niederschläge, welche außerhalb der Vegetationsperiode fielen, für diese aufzuspeichern. Hier werden, wie in der Ebene, durch Vernichtung der Wälder Insolation und Wärme-Ausstrahlung vermehrt. Es bilden sich größere Differenzierungen in den atmosphärischen Bewegungen. Feuchte Luft wird trocken über den kahlen Stellen; ihre Feuchtigkeit kondensiert sich über den waldbedeckten Strecken.

Die Verteilung der Niederschläge wird unregelmäßiger und spasmodischer, die Regengüsse werden mehr vereinzelt, dabei heftiger und leicht von Hagelfällen begleitet. Zeiten der Dürre halten länger an und führen ohne fernere menschliche Beihilfe zu weiterer Vertilgung der Vegetation. Das Vernichtungswerk, und damit die Umgestaltung des Bodens, setzen sich von selbst fort. Wo die Bodenformen hügelig sind und das Gestein von einer in langen Zeiträumen durch Zersetzung oder äolische Aufschüttung gebildeten Decke fruchtbaren Erdreiches bedeckt ist, wird der von Wald entblößte Boden der höheren und geneigten Teile den mechanischen Angriffen von Wasser und Wind ausgesetzt, besonders dort, wo, wie in den östlichen Randgegenden des adriatischen Meeres, sommerliche Dürre herrscht. Ein Teil wird in den Vertiefungen zusammengespült und kann hier auf eng begrenzten Gebieten die Fruchtbarkeit vermehren, ein anderer wird durch trockene Stürme verweht. Wie im Karst durch Zusammenspülen und Verwehen der Decke von Zersetzungsrückständen des Kalksteins eine Landschaft von ödem nacktem Fels mit oasenartig eingeschlossenen, sehr fruchtbaren Kesselböden entstanden ist, so wird in anderen Gegenden die die Sand- und Kieshügel überziehende, äolisch gebildete dünne Decke fruchtbaren Bodens (§ 218) hinweggenommen, der Sand bloßgelegt, verweht und hinabgespült.

In wenigen Fällen kann man die Zeugnisse aus der Literatur zur Beurteilung der Folgen der Entwaldung mit Sicherheit anwenden. Man hat z. B. aus den Beschreibungen, welche die Alten von den an das Mittelmeer grenzenden alten Kulturländern geben, den Mangel eines verderblichen Einflusses ableiten wollen, indem in ihnen bereits von großer Trockenheit und Öde einzelner Landstriche die Rede sei. Es ist jedoch einerseits in Betracht zu ziehen, daß die Beschreibungen solcher Länder wie Syrien, Klein-Asien, Nordwest-Afrika, insbesondere diejenige von Strabo, welche die eingehendste ist, aus einer verhältnismäßig späten Zeit herrühren, als wahrscheinlich die Waldvernichtung bereits ihren heutigen Grad nahezu, stellenweise vielleicht ganz erreicht hatte; andererseits, daß die ungünstige Verteilung der Niederschläge nach Jahreszeiten selbstverständlich bereits seit vorhistorischen Zeiten bestand, da sie eine Folge der planetarischen Luftzirkulation ist.

Wenn in dieser Weise einzelne Länder nur unwesentlich, andere in sehr erheblichem Grad von der Waldvernichtung beeinflußt werden, nehmen noch andere eine gewisse Mittelstellung ein. Es sind diejenigen, welche in der Vegetationsperiode weniger beständige Regen erhalten und während derselben durch kleine Verschiebungen in der Luftdruckverteilung einer längeren Trockenheit ausgesetzt sein können. Dieselbe wird an ausgedehnteren kahlen Stellen intensiver sein, ihre Periode daselbst verlängert werden, und dies hat wiederum nachtheiligen Einfluß auf die Umgebungen. Das nördliche China befindet sich in dieser Lage. Von manchen Sandhügeln Norddeutschlands ist nach der Entwaldung in Folge desselben Einflusses die dünne Decke äolisch gebildeten Bodens durch Wind und heftige Regengüsse hinweggenommen worden, und aus der gleichen Ursache haben wahrscheinlich die Dünen der Gascogne ihre gefährlichen Wanderungen seit der Vernichtung ihres früheren Waldbestandes begonnen.

Es möge genügen, hier die Verschiedenheit des Verhältnisses anzudeuten. Das Problem ist von seiner Lösung noch weit entfernt und bedarf, um die Grundlage zu einer solchen zu erlangen, der Ansammlung zahlreicher Tatsachen, wie sie sich der Beobachtung des Reisenden darbieten.

Es ist nun weiter der Einfluß der Bodenkultur auf Umgestaltung des Bodens zu beachten. Zu den rohen und primitiven Kulturmethoden gehört das Abbrennen der Grasflächen, wodurch, wie es scheint, der Humus nicht vernichtet wird, wohl aber, wie in § 35 angedeutet, die wohltätig wirkenden Regenwürmer allmählich vertilgt, werden müssen. Das Abbrennen der Wälder, wie es in Hinterindien zum Zweck der Erzielung einiger Ernten von Bergreis, oder in Ceylon zu dem auf längere Dauer berechneten Zweck der Kaffeekultur geschieht, dürfte auch nicht ohne Einfluß sein. Eine Änderung muß sich in den Schwarzerde-Distrikten des südlichen Rußland vollziehen, wo der Boden nach einer kurzen Kulturperiode sich selbst überlassen wird und dann eine von der früheren verschiedene Vegetation hervorbringt. Es ist nicht bekannt, ob in diesem Fall, welcher nur als Typus zahlreicher analoger Fälle hier genannt werden mag, die Änderung der Strukturverhältnisse des Bodens, oder die Entziehung gewisser Bestandteile aus ihm durch das Fortschaffen der Getreide-Ernten, die Umgestaltung der Vegetationsbedingungen veranlaßt. Es ist der Verwehung des gepflügten Bodens durch den Wind als eingreifend für solche Gegenden, in welchen die äolische Bewegung der

Massen unter natürlichen Verhältnissen eine geringe Rolle spielt, gedacht worden. Wo die fruchtbare Bodendecke dünn ist, muß sie im Lauf der Zeit ganz entführt werden. — Solche Gegenden, welche seit Jahrtausenden unter Kultur gewesen sind, ohne eine Bodenzufuhr durch Überschwemmungswässer zu erfahren, sollten auf die Erschöpfung einzelner nährender Bestandteile geprüft werden. Dies gilt z. B. für gewisse fette Alluvialböden von China, welche ohne Düngung keine Erträge zu liefern vermögen.

Von Interesse für die Geschichte der Menschheit sind die Bodenänderungen, welche durch die Anlage von Berieselungsoasen in Ländern mit sehr trockenem Klima herbeigeführt werden. Zentral-Asien, die östlichen und südlichen Randgebiete der turanischen Niederung, die Hochflächen Erans und einzelne Stellen in Syrien und Arabien geben dazu Gelegenheit. Die Oasen dieser Art beruhen in der Ableitung des Wassers der aus den Gebirgen kommenden Ströme auf den wesentlich äolisch gebildeten Steppenboden und in der dadurch bewirkten Auslaugung der Salze aus diesem. Die Ströme, denen ein großer Teil des Wassers entzogen wird, neigen, in Anbetracht des weiteren Wasserverlustes mittelst der Verdunstung und der Aufsaugung des Wassers durch den Boden, zu frühem Versiegen. Während daher einerseits neue Flächen dem vegetationsbedeckten Boden hinzugefügt werden, wird der Wüstenbildung ein größeres Feld bereitet. Die Wüste, nachdem sie einmal begonnen hat, schafft sich selbst die Bedingungen zu ihrem Anwachsen. Der Sand überflutet die Steppe, das Klima wird exzessiver, die Verdunstung nimmt zu, und allmählich wälzt sich der Sand über die Fruchtfelder der Oasen. Diese Vorgänge, durch welche wahrscheinlich eine Reihe ehemals blühender Oasen in den genannten Gegenden teils eine Einschränkung, teils völligen Untergang gefunden haben, sind um so sorgfältiger zu prüfen, als auch Argumente gegen diese Ansicht erbracht worden sind. Eine Klarstellung könnte dazu beitragen, die Ursachen zu erkennen, welche zu einer frühen Kulturentwicklung in den Ländern des Amu und Syr und zu ihrem weit zurückliegenden Verlassen durch die Wanderungen der Völker geführt haben.

D. Aufeinanderfolge verschiedener Bodenarten und organische Reste in ihnen.

[§221] Die bisherigen Bemerkungen betrafen die Bodenarten im Einzelnen. Die meisten der letzteren erwiesen sich als Produkte von Vorgängen, welche, gleichviel ob sie in Wärme, Feuchtigkeit, Trockenheit, Frost, fließendem Wasser, bewegter Luft oder Vegetation ihre Ursache haben mögen, in klimatischen Zuständen beruhen und durch die Bodengestalt und Gesteinsbeschaffenheit der Erdoberfläche modifiziert werden, während einige in Folge einer von der jetzigen abweichenden Verteilung von Meer und Land und noch andere durch Übersättigung eines Landstriches mittelst zertrümmerten vulkanischen Gesteinsmaterials entstanden sind. Daher gibt sich der zeitliche Wechsel der Zustände auf der Erde in dem Wechsel der nacheinander gebildeten und übereinander gelagerten Bodenarten zu erkennen. Sie sind die Denkmale, an deren Hand, im Verein mit den früher erörterten Wirkungen der einzelnen äußerlich arbeitenden Agentien, die Geschichte eines Erdraumes seit der Zeit, als sein Felsbau zuerst einen Teil der Landfläche bildete, erkannt werden kann. Dabei ist aber den fehlenden Gliedern der Reihe, deren Spuren durch jene bewegenden Agentien vertilgt worden sind, Rechnung zu tragen. Die Materialien zu dieser Geschichte zu sammeln, darf der Reisende überall als eine seiner wesentlichen Aufgaben betrachten, und als eine solche, zu deren Lösung es nirgends an Anhalt gebricht. Es gehört dazu, außer der Untersuchung der Beschaffenheit und Lagerung, die Erforschung der organischen Reste in den einzelnen Bodenarten, soweit deren vorhanden sind. In ihnen prägt sich nicht nur die allmähliche Entwicklung der Flora und Fauna eines Erdraumes aus, lassen sich nicht nur die einzelnen Phasen, welche sie durchlaufen haben, und die einzelnen Wechsel, welche in den Organismen stattgefunden haben, erkennen; sondern jede Fauna und jede Flora spiegelt auch eine gewisse Summe von Existenzbedingungen ab. Unter diesen stehen wiederum die

klimatischen obenan. Der Boden schließt den Ring, insofern er zu den Existenzbedingungen gehört und doch zum größten Teil eine Funktion klimatischer Agentien ist.

Neben den Resten von Pflanzen und Tieren sind überall diejenigen des Menschen, seiner Tätigkeit, seiner Wohnstätten und seiner Kultur zu berücksichtigen. Die Bedingungen, unter welchen er existierte, werden durch diejenigen angezeigt, welche für jene anderen Organismen Maßgebend waren. Daher ist seinem Zusammenvorkommen mit bestimmten Typen derselben besondere Beachtung zu zollen. Nicht genug aber muß die größte Sorgfalt in dem Auseinanderhalten der einzelnen Bodenschichten und Bodenarten mit ihren biologischen und menschlichen Überresten empfohlen werden. Es wurde dies bereits bei der Erforschung der Ablagerungen in Höhlen erwähnt, wo es sich zum Teil um äußerst dünne Schichten handelt, welche eine ganz andere Lebewelt umschließen als die darüber oder darunter folgenden.

Unter den Wechsellagen, welche vorkommen, sind einzelne genannt worden, wie die Überlagerung von Sand und Kies durch eine äolische Schicht, oder diejenige von Kulturboden durch Sand. Es mögen hier noch einige Erwähnung finden. Im mittleren China wird der Löß durch Laterit unterlagert; dies deutet auf feuchtes tropisches Klima, welches dem Steppenklimate voranging, und dem letzteren entspricht die Jetztzeit dort nicht mehr. Sande mit rezenten Meeresconchylien werden nicht selten durch tonige Schichten mit Süßwasserschnecken und Resten von Landpflanzen überlagert, denen dann wieder eine äolische Decke folgt. Auf Schottermassen, die stark strömendes Wasser anzeigen, lagert Löß, dessen Bildung gerade dieses Agens vollkommen ausschließt. Der Grundmoräne der ersten Eiszeit sind an vielen Stellen Norddeutschlands geschichtete Sande aufgelagert, denen eine zweite Grundmoräne folgt, und dieser lagern wiederum stellenweise andere Gebilde auf. Bemerkenswert sind die Ergebnisse, welche durch Steenstrup, Nathorst und Blytt aus übereinander lagernden Torfmooren Dänemarks und Norwegens betreffs der nach der Eiszeit geschehenen Wandelungen gewonnen worden sind, indem in den tiefsten, dem Glazialschutt aufgelagerten Mooren eine Glazialflora, in den nächst höheren die Reste von Kieferwäldern, in noch höheren Eichen und Erlen gefunden wurden, denen in unserer Zeit die Buche gefolgt ist. Noch weiter gehende Schlußfolgerungen über klimatische Wechsel im mittleren Europa ergaben die Arbeiten von Woldrich über die aufeinanderfolgenden Floren Böhmens und diejenigen von Nehring über den Wechsel der Faunen.

Diese Beispiele zeigen, wie sorgsam die Reste von Pflanzen und Tieren, ebenso wie diejenigen des Menschen, in aufeinanderfolgenden Tiefenstufen gesammelt werden müssen, auch dort wo es sich um anscheinend ziemlich gleichförmige Ablagerungen handelt. Einen wichtigen Anhalt geben die Reste der Säugetiere. Wo sich Gelegenheit bietet sie zu sammeln, sollte sie nie versäumt werden. Besonders ist auf Zähne zu achten, da sie zur Bestimmung genügen. Wo große Mengen von Säugetierskeletten zusammengetroffen werden, sollten die Umstände untersucht werden, welche zu ihrer Vernichtung und Erhaltung an derselben Stelle führten. Es ist für die Erklärung mancher derartiger Fälle ein Zusammenschwemmen durch Ströme angenommen worden. Eine noch häufigere Ursache dürfte das Versinken der Tiere im Schlamm gewesen sein. Man begegnet im nördlichen China im Überschwemmungsgebiet des Hwang-ho einzelnen ausgedehnten Stellen völliger Verebnung durch gänzlich kahlen und anscheinend trockenen Boden. Versucht man ihn zu betreten, so erweist er sich als ein zäher Brei, welcher aus den feinsten tonigen Bestandteilen des Löß gebildet ist. Herden von Antilopen, Rindern und anderen größeren Säugetieren würden ebenso wie der Mensch, wenn er sich darauf wagte, unrettbar versinken. Die durch Darwin bekannt gewordenen Ansammlungen von Säugetier-Skeletten an der Bianca-Bai (Argentinien) er-innern, ebenso wie diejenigen in Nebraska, auffallend an dieses Verhältnis. Beide Gegenden stehen in naher Beziehung zu Lößländern, und es erscheint nicht

gewagt, für Nebraska die vormalige Existenz der für die Lößbildung und die fluviatile Erosion von Lößländern erforderlichen Bedingungen anzunehmen.

E. Typen der Erdräume nach dem Gesichtspunkt der Bodenbildung.

[§222] Die vorhergehenden Betrachtungen hatten das Ziel, den Beobachter anzuleiten, den Erdboden als ein Produkt physischer, teils im Klima, teils in der Oberflächengestalt und der Gesteinsbeschaffenheit der Unterlage, teils in den Schwankungen zwischen Land und Meer und teils in der Fortbewegung fester Massen beruhender Vorgänge anzusehen und ihn von diesem Gesichtspunkt an jeder Erdstelle zu untersuchen, sowie in der vertikalen Aufeinanderfolge verschiedener Bodenarten die Anzeichen eines Wechsels der äußeren Bedingungen in der Zeit zu erblicken. Man kann nun nach demselben Prinzip, wenn man es mit Rücksicht auf die horizontale Anordnung in der Gegenwart anwendet, Erdräume verschiedener Art unterscheiden. Wie im Kleinen der gepflügte Acker vom Wind abgetragen und die fortgeführte Erde auf Wiesenflächen abgelagert wird, und wie der Gebirgsbach aus einer Strecke der Ablation, einer solchen der Korrasion und des Transportes und einer dritten der Ablagerung besteht, so kann man im Einzelnen vielerlei kleine Unterschiede zwischen nahe benachbarten Stellen festsetzen. Hier soll darauf nicht Bedacht genommen, sondern nur die Unterscheidung großer Erdregionen in ihrem verschiedenen Verhalten ins Auge gefaßt werden. Wenn wir dabei von der Vegetation absehen, so lassen sich die folgenden Typen aufstellen:

1. Regionen der autogenen Bodenbildung durch kumulative Gesteinszerstörung. (Eluvialregionen.)

Hierher gehören alle Erdräume, in welchen die fortschaffenden Agentien zu schwach sind um die übermäßige Anhäufung des autogen gebildeten Bodens zu hindern. Man kann unterscheiden:

a. Regionen der fortschreitenden Lateritbildung. Nach der obigen Darstellung sind hierher die feuchten hügeligen Waldgegenden der Tropen größtenteils zu rechnen.

b. Regionen der kumulativen lehmigen Zersetzung. Sie umfassen im Wesentlichen die feuchten hügeligen Waldgegenden der gemäßigten Zone.

c. Regionen des kumulativen Gebirgsschuttes. Es gibt zweierlei Erdräume, in welchen eine übermäßige Anhäufung des an Ort und Stelle entstandenen Gesteinsschuttes stattfindet. Die eine sind die des Frostschuttes in den bergigen Gegenden hoher Breiten und in den hohen Gebirgen der gemäßigten und tropischen Zone; zu den anderen gehören die Schuttbekleidungen der Steppegebirge.

d. Regionen des Tafelland-Eluviums. Hier beschränkt sich die Gesteinszerstörung auf eine oberflächliche Decke von geringer Mächtigkeit. In vegetationsbedeckten Gegenden sind die fortschaffenden Agentien von geringer Kraft; in Wüsten übt zwar der Wind eine bedeutende Wirkung der Ablation, der Korrasion und des Transportes aus; aber sie reicht häufig zur Entfernung der Decke nicht hin.

2. Regionen des Ebenmaßes von Zerstörung und Fortschaffung.

Überall wo die Produkte der Zerstörung nach kurzer Frist fortgeschafft werden, ist das Gesamtmaß der Denudation am größten, weil den Agentien der letzteren fortdauernd neue Angriffsflächen dargeboten werden. Diese Bedingungen sind in wärmeren Gegenden am vollkommensten

dort erfüllt, wo Regenreichtum, mäßig steiles Gefälle und mäßige Vegetation sich vereinigen. Wo Pflanzenwuchs und Bodenkrume fehlen, mangelt ein wesentlicher Hilfsfaktor der Zersetzung und Lockerung; sind beide zu reichlich vorhanden, so wirken sie der mechanischen Zerstörung entgegen. Ist das Gefälle zu gering, so findet Ablagerung und damit Stillstand der Erosion statt; ist es zu steil, so werden nackte Felsen geschaffen. Es gehören hierher im Allgemeinen die größeren Teile der Gebirge und der steileren Hügelländer.

3. Regionen der überwiegenden Denudation.

Wo die fortschaffenden Agentien so kräftig wirken, daß die bodenbildenden ihnen nicht zu folgen vermögen, und eine Anhäufung von Erdreich nicht stattfinden kann, wird das kahle Gestein entblößt. Als bemerkenswerte Typen sind hervorzuheben:

a. Regionen der glazialen Denudation. Bei Erörterung der Ablation und Korrasion durch Eis (§111, §112) ist des Abschleifens großer Erdräume gedacht worden, insbesondere solcher, welche früher in Folge lang andauernder, kumulativer Zersetzung eine mächtige Decke gelockerten Materials getragen hatten. Die in der Glazialzeit gebildeten Schliefflächen sind zum Teil noch jetzt kahl, überhaupt durch Verwitterung meist wenig angegriffen, tragen aber in Folge reicher Bewässerung und der mehr oder weniger sporadischen Verteilung von Resten der Grundmoräne, sowie in Folge einer allgemeinen, wenn auch in äußerst geringem Maße stattfindenden äolischen Zufuhr von Boden, oft eine Vegetationsdecke, die sich von Moospolstern zu Waldwuchs steigern kann.

b. Regionen der äolischen Denudation. Hierher gehören die vegetationslosen Gegenden, in denen der Wind das Gestein kahl zu fegen vermag, indem er alles feinere Material entführt und den festen Fels, ebenso wie alle größeren Gesteinsstücke zurückläßt. Boden und Gehänge können dabei glatt geschliffen werden. Besondere vielgestaltige Bodenformen entstehen dort, wo vorher durch lange Zeit ein feuchtes Klima geherrscht hatte und die Tiefenzersetzung zu mächtiger Entfaltung gekommen war.

c. Regionen der fluviatilen Denudation. Die in langen Perioden angesammelten Produkte der Zersetzung können in verhältnismäßig kurzer Zeit entfernt werden, wenn die fließenden Gewässer steileres Gefälle erhalten. Eine Strandverschiebung kann dazu hinreichend sein. Häufiger geben tektonische Veränderungen dazu Anlaß. Die Erosionsfurchen vertiefen sich und wachsen nach rückwärts in die Verwitterungsdecke hinein. Sie können deren ganze Masse nach dem Meere führen. Sollte es sich in irgend einem Land erweisen lassen, daß es in der Periode der notwendig großen, mit diesem Vorgang verknüpften Änderungen steht, so wird man die früher (§ 48) angedeuteten abnormen Gestaltungen des unzersetzten Felsuntergrundes wahrnehmen müssen, falls die petrographische Zusammensetzung viel Wechsel bietet. Es wird der Formenreichtum durchfurchter Gebirgsländer an die Stelle des einfacheren Charakters der im Zustand säkularer Verwitterung befindlichen Länder treten. Daß aber auch ungünstige Verhältnisse geschaffen werden können, zeigt der verfestigte Hochflächenlaterit von Indien (§ 206), dessen eigentümliche Eigenschaften sich aus der Tieferlegung des Wasserabzuges herleiten ließen. Überhaupt wird das Einreißen tiefer Furchen in Tafelländer, wenn sie mit lockerem Aufschüttungsboden in größerer Mächtigkeit bedeckt sind, ungünstig wirken, weil das Grundwasser abgezogen wird, und daher in Perioden der Dürre der Boden bis in große Tiefe hinab der Feuchtigkeit ermangelt.

d. Abrasionsregionen. Wo die Brandungswelle abradierend arbeitet und eine schief ansteigende glatte Fläche durch die Gesteine hindurch legt, wird Alles, was sich über ihr befindet, in das Meer geführt (§ 161). Steigt die Fläche ohne Auflagerung transgredierender Gebilde an, so ist sie kahl, und es müssen erst allmählich die Bedingungen für die Wiederansiedelung einer Vegetation geschaffen werden.

4. Regionen der überwiegenden Aufschüttung.

Weitaus die größten Erdräume sind gegenwärtig mit Aufschüttungen in solcher Weise bedeckt, daß sie durch diese ihren Charakter erhalten. Sie werden dadurch ebenso der Vorteile wie der Nachteile, welche den verschiedenen Arten des Aufschüttungsbodens eigen sind, teilhaftig. Man kann unterscheiden:

a. Regionen der marinen Aufschüttung; sie umfassen alle Gegenden, in welchen der trocken gelegte Meeresboden unverdeckt ist und daher den Oberflächen-Character bestimmt.

b. Alluvialböden der Ströme und Seen. Sie begreifen in sich die reichsten Länder und sind bald in kleineren isolierten Flecken, bald in schmalen Zonen entlang den Flüssen, bald in weiten Flächen verbreitet. In letzterem Fall überlagern sie gewöhnlich den flachen Meeresboden.

c. Gletscherschuttland. Dieses grenzt als zusammenhängendes Gebiet an die Gegenden der glazialen Denudation und nimmt große Räume ein, die hier und da von übergelagertem Alluvium unterbrochen werden, oder eine Lößdecke tragen. Unebene Oberfläche, Undurchlässigkeit des Bodens, Reichtum an Seen, Sümpfen, Mooren und verlandeten Seeflächen zeichnen dieses Schuttland aus. Als einen besonderen, dem Gletscherschuttland räumlich eng verbundenen regionalen Typus könnte man noch die durch wässerige Aufbereitung daraus entstandenen Glazialschotter, Glazialsande und Glazialtone hinzufügen, deren Gebiete teils an jene des Schuttes grenzen, teils in ihnen sporadisch und regellos zerstreut sind.

d. Regionen des beweglichen Sandes. Es ist der Saigerung durch den Wind in vegetationslosen Gegenden gedacht worden. Größere Gesteinsstücke und Kies bilden einen unbeweglichen, der Sand einen unvollkommen beweglichen Rückstand, welcher als verderbliche Aufschüttung fortgewälzt wird und über ausgedehnte Landstriche verbreitet werden kann. Viel größeren Umfang haben:

e. Die Regionen der feinerdigen äolischen Aufschüttung. Die letztere erwies sich als beinahe überall vorhanden; aber charaktergebend wird sie erst, wenn die Anhäufung beträchtlichere Mächtigkeit erreicht. Sie liegt der Steppenbildung in den meisten Fällen zu Grunde, indem der feinerdige lockere und poröse Boden für den Effekt einer regenlosen Jahreszeit besonders empfindlich ist. Es lassen sich verschiedene Typen unterscheiden, je nachdem die Steppe abflußlos ist und die Salze im Boden bleiben (Salzsteppe), oder ein Abfluß in vereinzelt, außerhalb der Steppe entspringenden und sie durchziehenden größeren Rinnen stattfindet und damit die Salze zum Teil ausgelaugt werden, wie bei den meisten Savannen, Prärien, Schwarzerde- und Regur-Steppen.

f. Regionen der vulkanischen Aufschüttung. Diese sind vom Klima und von Höhenlagen unabhängig. Der vulkanische Schutt überzieht kleinere und größere Erdräume mit einer Decke

fremdartiger Gebilde, welche ebenfalls Steppen schaffen, wenn die Abzugsrinnen tief genug sind um das Wasser im Boden versinken zu lassen.

5. Regionen der erodierten äolischen Aufschüttung. Wenn tiefliegender Steppenboden von Erosionskanälen durchschnitten ist, so ist die Arbeit in diesen darauf gerichtet, den Boden vollständig hinwegzuschaffen. Die Zwischenstadien bringen den besonderen Typus der Lößregionen hervor. Derselbe kann, wie in den meisten europäischen Lößgegenden, ein sehr vorgeschrittenes Stadium erreicht haben, oder noch die früheren Entwicklungsstufen zeigen, wie in den Ländern, welche Zentralasien im Westen, Süden und Osten begrenzen.

[§223] Es möge genügen, diese Typen der regionalen Bodenbildung zu nennen. In manchen Ländern sind mehrere derselben in vielfachem Wechsel neben einander vertreten. In anderen bezeichnen sie eine Einteilung im Großen. So sind in Rußland die Region der glazialen Aufschüttung, welche dem ganzen Norden den Charakter verleiht, die Region des Tafelland - Eluviums in der Mitte, und diejenige der äolisch aufgeschütteten, von tiefen Stromrinnen durchzogenen Schwarzerde im Süden zu unterscheiden. Hier tritt die Bedeutung der regionalen Bodenarten für Vegetation und Kultur klar hervor. Im Norden und Süden bestimmen sie die Besonderheiten des Landes fast ausschließlich, nur im mittleren Teil kommt der Gesteinscharakter des geologischen Baues reiner zur Geltung. Auf die Verbreitung der Pflanzenarten, insbesondere der Vegetationsformationen, müssen jene von größtem Einfluß sein. Soweit der Ackerbau sich an die isotopischen Alluvialtäler hält, ist er davon unabhängig; aber er muß sich nach den Unterschieden der anderen regionalen Bodenarten richten, so wie er diese aufsucht. Ähnlich sind die Verhältnisse in Indien, wo ebenfalls der Gesteinscharakter nur streckenweise den Charakter der Landschaft und der Flora bestimmt, dagegen die Gebiete des Laterites der Niederungen, des Hochflächenlaterites, des Regur, der weiten Alluvialflächen, des treibenden Sandes und anderer teils regional verbreiteter, teils isotopisch wiederkehrender Bodenarten meist mit großer Schärfe hervortreten. Man kann den ganzen asiatischen Kontinent von diesem Gesichtspunkt ins Auge fassen, und einer besonderen Anwendbarkeit scheint er in Afrika fähig zu sein. Der Reisende sollte ihn überall beachten und Material für eine vergleichende Kunde nicht nur der Bodenarten und ihres kausalen Zusammenhanges mit dynamischen, größtenteils im Klima beruhenden Agentien, sondern auch des Einflusses der Bodenarten auf die organische Welt und den Menschen, d. h. für eine allgemeine geographische Bodenkunde, sammeln.

Schon Humboldt hatte in seiner „Physiognomik der Gewächse“, die Wichtigkeit der „Vegetationsformationen“ erkannt, welche dann unter dieser Benennung von Grisebach einem eingehenden Studium unterworfen worden sind. Er zeigte, daß sie den Charakter einer Gegend in höherem Grade bestimmen, als die Gattungen und Arten der Pflanzen. Im dem Klima fand er einen wichtigen Faktor, welcher der Herausbildung besonderer, in Form und Beschaffenheit von Stengeln, Blättern, Blütenorganen, Epidermis, u. s. w. beruhender Typen, dem Gedeihen von Waldbäumen, oder geselligen Gräsern, oder kaktusartigen Gewächsen in einem, ihrem Fehlen in einem anderen Fall zu Grunde liegt. Nachdem inzwischen durch Englers vortreffliche Forschungen der Gesichtspunkt der Ausbreitung der Pflanzen durch Wanderung in Folge ehemaliger klimatischer Wandelungen und Änderungen in der Verteilung von Land und Meer gebührende Berücksichtigung gefunden hatte, hat in neuester Zeit Hans Reitter (Versuch einer Ökologie der Gewächse, Graz 1885) die Untersuchung auf einen anderen wichtigen kausalen Faktor, nämlich die physiologische Anpassung der Gewächse und ihrer einzelnen Organe an klimatische Bedingungen, zum Gegenstand eingehender Untersuchung gemacht. Es dürfte Botanikern als weitere notwendige Ergänzung dieses Forschungsbereiches das Studium des Einflusses des Bodencharakters auf die Pflanzen und ihre einzelnen Organe und Lebensfunktionen, sowie auf ihre

Anpassung an wechselnde Bodenverhältnisse empfohlen werden. Man hat zwar längst gewisse Beziehungen einzelner Pflanzenarten zu der Natur des unterlagernden Gesteins zu erkennen geglaubt. Aber viel wichtiger erscheinen die Beziehungen, sowohl der Arten, wie auch insbesondere der Vegetationsformationen, zu dem Bodencharakter; sie dürften die zahlreichen Ausnahmen erklären, welche hinsichtlich der Abhängigkeit vom Gestein gefunden worden sind. Die land- und forstwirtschaftliche Bodenkunde hat nicht ermangelt, auch dem hier angeregten Gegenstand nach wissenschaftlichen Grundsätzen und durch Anwendung exakter, hohe Bewunderung verdienender Methoden Rechnung zu tragen; aber man hat dabei wesentlich die nutzbaren Gewächse und die wichtigeren heimischen Bodenarten im Auge gehabt. Dem botanisch gebildeten Reisenden bietet sich Gelegenheit, den Gesichtspunkt viel weiter zu fassen und Materialien für die allgemeinere Berücksichtigung des Faktors der Bodenbeschaffenheit neben demjenigen des Klimas und der Verbreitung der Pflanzen in Folge klimatischer Änderungen zu sammeln.

Es lassen sich noch andere Gesichtspunkte für die regionale Verbreitung besonderer Merkmale des Bodens finden. Einen solchen geben z. B. die an der Zusammensetzung der Oberfläche des letzteren teilnehmenden Stoffe abgestorbener Pflanzenteile. Zu einer Bodenkunde gehört die Verbreitung der Moor- und Torfbildung, der humusreichen und der bei vorhandener Vegetation humusfreien Bodenarten, sowie des pflanzenleeren Bodens. Der letztere ist hier noch besonders zu betrachten.

p.504

Die Wüsten.

[§224] Der pflanzenleere Boden bildet Wüsten. Auch dies ist ein regionaler Typus. Die Wüste hängt morphographisch mit Oberflächenformen nicht zusammen; denn sie kann Flachland, Tafelland und Gebirge umfassen. Morphologisch kann sie allerdings mit der Existenz gewisser Oberflächenformen in ursächlicher Beziehung stehen, insofern z. B. eine Gebirgsumwallung die feuchten Winde abhalten, oder eine ebene Flächenausbreitung den Mangel an Niederschlägen begünstigen kann. Ungleich der Steppe, ist, die Wüste auch an bestimmte Bodenarten nicht geknüpft. Jede der vorhergenannten kann in der Wüste vorkommen, wenn auch die feinerdigen meist nur kurzen Bestand in ihr haben. Charakteristisch für die äußere Erscheinungsform der Wüste ist die Vegetationslosigkeit und der Mangel an Wasser, oder wenigstens die Armut in beiderlei Hinsicht und das Vorkommen des Wassers in solcher Weise, daß es der Vegetation keinen oder nur ganz örtlich beschränkten Nutzen bringen kann. Die Wüste ist daher weitaus in erster Linie eine Funktion des Klimas. Abgesehen von den besonderen Typen derselben, bei denen die Pflanzenarmut durch übermäßige Kälte verursacht wird, findet sie sich vorwaltend dort, wo ein relativ, geringer Feuchtigkeitsgehalt den Zustand der Atmosphäre beherrscht, daher einerseits in den Wegen konstanter, von höheren nach niederen Breiten gerichteter Luftströmungen, andererseits auf der Leeseite von Gebirgen, welche quer gegen eine konstante oder doch bedeutend vorwaltende Luftströmung, auch wenn dieselbe ursprünglich viel Feuchtigkeit enthielt, gerichtet sind. Da in höheren Breiten der Sättigungspunkt tief liegt und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sich niemals weit von ihm entfernen kann, daher Niederschläge schon durch geringe Temperaturwechsel verursacht werden, so bilden sich dort keine durch Feuchtigkeitsmangel bedingte Wüsten. Dieselben sind an Regionen gebunden, welche sich wenigstens während einer Jahreszeit bedeutend zu erhitzen vermögen. Ein anderes Moment, welches sie an wärmere Gegenden bindet, besteht darin, daß hier die Feuchtigkeit, wenn sich zuweilen Niederschläge

ereignen, schnell verdunstet. Der rasche Verlust der Feuchtigkeit kann auch durch andere Umstände veranlaßt werden und kleine örtlich beschränkte Wüstengebiete schaffen. Zu diesen Umständen gehört die Aufschüttung sehr lockeren, das Einsickern und die schnelle Verdunstung in gleicher Weise befördernden Bodens in großer Mächtigkeit, bei tiefer Lage des Grundwasserniveaus. Küstendünen in feuchten Ländern und Anhäufungen von reinem Sand oder Kies oder vulkanischem Tuff bilden oft sporadische Wüstenflecke. Sie können auch durch nackten zerklüfteten Fels, insbesondere Kalkstein, verursacht werden, indem hier ebenso ein schnelles Versinken der Feuchtigkeit und rasche Verdunstung an der Oberfläche stattfinden.

Ein wichtigeres und einheitlicheres Merkmal der Wüsten ergibt sich von dem Gesichtspunkt jener dynamischen Vorgänge, welche bei der Betrachtung der Bodenbildung leitend waren. Wüsten sind die Regionen äolischer Abräumung und äolischer Aufbereitung mit Zurücklassung des Gröberen. Sie stehen dadurch im Gegensatz zu den Steppen, welche die Hauptgebiete der feinerdigen äolischen Ablagerung sind. Die Wüste ist daher die Hauptbereitungsstätte für den Steppenboden und hat dadurch eine wichtige Funktion. Beide grenzen oft dicht aneinander, und man findet kleine Steppenböden sporadisch zwischen Wüstenstrecken, so daß man den Unterschied Beider häufig verkannt hat. Aber derselbe bleibt in allen Fällen bestehen. Der kleinste oasenartige Steppenfleck ist vor der Abräumung durch Wind geschützt und erhält nur dessen feinerdige, zuweilen mit etwas Sand vermischte Ablagerungsprodukte. Sowie die gröberen Reste der Aufbereitung auf die Oase gewälzt werden, wird diese in Wüste verwandelt. Gleichviel ob die Wüste gebirgig oder eben, ob sie über weite Erdräume ausgedehnt sei, oder nur als ein kleiner Fleck einige Hektaren umfasse, überall ist sie schutzlos den bewegenden Kräften der Atmosphäre ausgesetzt.

Es lassen sich verschiedene Typen der Wüsten unterscheiden. Man kann dabei von den Gesichtspunkten der Dynamik, der Zusammensetzung und der äußeren Gestalt ausgehen. Es dürfte gut sein, sie sich einzeln klar zu machen und die Beobachtung durch sie leiten zu lassen. Der dynamische Gesichtspunkt ergibt folgende Typen:

a. Die Eluvialwüste. In dieser ist der Boden mit grobem Schutt bedeckt, welchen der Wind bei der Saigerung zurückließ. Der Ausdruck „Eluvium“ paßt am vollkommensten für die mit kantigen Absplittungsstücken bedeckte Hammada (S. 94). Die Kieswüste, welche in der Sahara Sserig genannt wird, kann aus verschiedenen Gebilden entstehen. Werden die Produkte säkularer Verwitterung durch Wind ausgeräumt, so bleiben, wie in § 195 gezeigt wurde, die größeren Stücke zurück und werden von treibendem Sand völlig glatt geschliffen. Während die zerreiblichen unter ihnen mit der Zeit der beständigen Abfeilung unterliegen, leisten die härteren länger Widerstand, und es bleibt schließlich eine mit runden Kieseln von Quarz bedeckte Fläche übrig. In Konglomeraten und in porphyrischen oder vulkanischen Tuffen können die Kiesel schon vorgebildet gewesen sein, und aus solchen Tuffen mögen vielleicht die für manche Kieswüsten charakteristischen Kiesel von Chalcedon und Achat stammen. Die Möglichkeit eines ähnlichen Ursprungs für die als „versteinerte Wälder“ bekannten Ansammlungen verkieselter Hölzer wurden an einer anderen Stelle (S. 440) angedeutet. — Hierzu kommen, als an Ort und Stelle entstandene Gebilde, die Schuttkegel der Wüstengebirge, deren charakteristische Wiederkehr aus verbreiteten Photographien und Abbildungen bekannt ist.

b. Die Denudationswüste. Es wird wesentlich von dem Charakter des Gesteins abhängen, ob die Produkte seiner Zerstörung, durch Desquamation und Korrasion sogleich vom Wind fortgeführt werden können. Geschieht dies, so bleibt der nackte Fels zurück; es entsteht die Felswüste. Sie ist meist Tafelland oder Gebirge. Die Korrasion ist eine in ihr wesentlich wirkende Kraft.

c. Die Aufschüttungswüste. Diese besteht aus den vom Winde fortgetragenen gröberen Aufbereitungsprodukten. Ihre einzige Form ist die Sandwüste, die aber in ihrer äußeren

Ausgestaltung, je nach der Anhäufung zu Dünen, oder der ebenflächig-welligen Ausbreitung, verschiedene Typen darbieten kann. Feinerdige Stoffe kommen in der Wüste nicht dauernd zur Ablagerung, sondern werden bald weiter getragen.

Von dem Gesichtspunkt der Zusammensetzung wird man zunächst die Felswüste, die Kieswüste, die Splitterwüste oder Hammada und die Sandwüste zu unterscheiden haben. Dazu kommt die salzige Lehmwüste, welche, durch das feste Gefüge des Bodens sehr widerstandsfähig, größere Flächen in der aralokaspischen Niederung einnimmt und zu den ödesten Typen gehört. Sie bildet dort, und auch im Tarymbecken, häufig den glatten Untergrund von Sandaufschüttungen.

Nach den Bodenformen könnte man die Gebirgswüste, mit ihren sporadischen Quellen in den Talschluchten, die Tafellandwüste mit ihren terrassenförmigen Abstufungen gegen jetzige und ehemalige Flußläufe, wie gegen die Küsten hin, die Flachlandwüste, die Beckenwüste, welche z. B. für das eranische Hochland und den südwestlichen Teil des Great Basin charakteristisch ist, und die Dünenwüste unterscheiden.

[p.507]



Dreizehntes Kapitel.

Beobachtungen über Gesteine.

[§225] Wenn die Untersuchung des lockeren Erdreichs zur Erkenntnis der letzten Entwicklungsphasen in der Geschichte eines Erdraums und zum Verständnis der Existenzbedingungen seiner Fauna und Flora, sowie einer der wichtigsten Grundlagen für die menschliche Kultur, beiträgt, -so ist die Erforschung der den festen Grundbau zusammensetzenden Gesteine und der Art ihres gegenseitigen Verbandes erforderlich, um den Erdraum selbst in seiner Plastik für sich allein, im Verhältnis zu umgebenden Erdräumen, und als einen Teil der festen Erdrinde überhaupt zu erfassen. Gehören die Umgestaltungen durch von außen wirkende Agentien, somit auch die Prozesse der Bildung des lockeren Erdbodens, größtenteils dem Forschungsgebiet der physischen Geographie an, so begeben wir uns nun gänzlich in dasjenige Gebiet, welches das Fundament der speziell geologischen Forschung bildet. Die Aufgabe zerfällt in zwei Teile, nämlich die Untersuchung der Gesteine und die Ergründung ihrer Lagerungsverhältnisse. Die letzteren wiederum betreffen einerseits die Altersfolge der Ablagerungen und der sie durchbrechenden Gesteine, andererseits die Tektonik, d. h. die Art, wie die Gesteinsmassen, seien sie geschichtet oder nicht, im Verhältnis zur Oberfläche gestellt und im Verhältnis zu einander zusammengefügt sind. Indem wir die Tektonik einem späteren Abschnitt vorbehalten, beschäftigen wir uns hier nur mit den Gesteinen nach ihren Eigenschaften und ihrer Altersfolge, und zwar sollen im gegenwärtigen Kapitel die vulkanischen Gesteine noch ausgeschlossen werden, um in dem nächsten einer zusammenhängenden Betrachtung unterzogen zu werden. Es handelt sich um Gegenstände, zu deren eingehendem Studium bedeutendere Vorkenntnisse erforderlich sind.

Immerhin wird selbst der Laie gewisse Beobachtungen ausführen können, hinsichtlich der Gesteine aber gut tun, nach den früher (§ 9) angegebenen Regeln möglichst ausgiebig Handstücke zu sammeln.

Eine kurze Betrachtung des Materials, aus welchem der Grundbau der Erdoberfläche besteht, wird zeigen, in welche Klassen, die der Beobachtung des Reisenden sich anbietenden Gesteine zerfallen. Wir werden dann auf die bei jeder einzelnen in Betracht kommenden Gesichtspunkte eingehen.

Allgemeine Zusammensetzung der Lithosphäre. — Die Grundzüge der systematischen Anordnung der Gesteine, welche in dem Aufbau des der Beobachtung zugänglichen Teiles der Erdrinde vertreten sind, hängen eng mit den Grundzügen der Entwicklungsgeschichte der letzteren zusammen, wie sie sich auf induktivem Wege ergeben hat. Die Entstehung einer festen Rinde auf dem ehemals heiß-flüssigen Erdkörper durch Ausstrahlung der Wärme, bei gleichzeitiger Kondensierung hoch überhitzten Wassers auf ihrer Oberfläche, bezeichnet, soweit die Forschung in das Chaos der Urgeschichte einzudringen vermocht hat, den Anfang der Gesteinsbildung. Von dieser ersten Oberfläche aus wuchs die Rinde nach außen durch Aufwärtsdringen heiß-flüssiger Massen aus der Tiefe und durch Absatz von deren Zerstörungsprodukten aus dem Wasser,

während sie nach innen, in weit stärkerem Maße, durch Übergang in einen Zustand hochgradiger Zähflüssigkeit und schließlichcher Erstarrung zunahm. Hier war der Sitz des Vulkanismus, der, als die Rinde dünn war, wenig Widerstand zu überwinden hatte, sich sehr häufig äußerte und die der Erstarrungsoberfläche zunächst gelegenen Teile des Inneren durch Spalten nach außen brachte, später aber, als durch fortschreitende Erstarrung die Widerstände allmählich wuchsen, sich mehr und mehr selten und paroxysmischer äußerte, während zugleich die nach der Oberfläche gelangenden Massen aus größerer Tiefe stammten und, da die Zusammensetzung der Erde von der Oberfläche gegen das Innere sich nach mathematischen Gesetzen ändert, von anderer Beschaffenheit waren als die früheren.

Paroxysmatisch, Paroxysmus:
Plötzlich auftretendes Ereignis, welches auch wieder schnell verschwindet

Der sich zu gleicher Zeit allmählich verdickende äußere Teil der Rinde setzte sich demnach aus zweierlei Produkten zusammen: 1. den in heißflüssigem Zustand aus der Tiefe heraufgedrungenen, stets mit überhitztem Wasser vermengten Massen, welche kristallinisch erstarrten und die Eruptivgesteine abgaben, deren wichtigste Eigenschaft darin besteht, daß ein in ihrer chemischen Zusammensetzung waltendes arithmetisches Gesetz diejenigen unter ihnen, welche normal und in weitaus vorwaltender Masse auftreten, zu einem Ganzen verbindet; 2. den Sedimentgesteinen, welche sich im Wasser absetzten und anfangs aus der Zerstörung der Gebilde der Erstarrungsrinde und der Eruptivgesteine, später aus derjenigen der letzteren und der älteren Sedimente hervorgingen. Sie haben eine regellose, von zufälligen Umständen abhängige chemische Zusammensetzung und sind in Form horizontaler oder wenig geneigter Lagen oder Schichten (normal) abgelagert, während die Eruptivgesteine in von unten nach oben (abnorm) gerichteten Spalten aufstiegen und entweder Hohlräume zwischen den Sedimentschichten anfüllten und sich zwischen diese als Lakkolithe einzwängten, oder sich an der Oberfläche durch Überströmen ausbreiteten; unter besonderen Umständen veranlaßten sie bei der Ankunft an dieser paroxysmatische und explosive Erscheinungen, und verursachten dadurch die Entstehung von Vulkanen. — Da die Sedimentgesteine die äußere Entwicklung von der Erstarrungsoberfläche nach oben darstellen, die Eruptivgesteine aber in ihrer chemischen Zusammensetzung ein Abbild der inneren Entwicklung von der Erstarrungsoberfläche nach unten geben, so haben beide in ihr einen gemeinsamen Berührungspunkt und müssen dort aus demselben Material bestehen. Granit, welcher neben seiner Verbreitung innerhalb der Erdrinde als die Unterlage aller Sedimentgebilde angesehen werden muß, und Urgneis, welcher das tiefste derselben bildet, sind daher eng verwandt und oft identisch. Sie bilden die Ausgangspunkte der Systematik der Gesteinslehre, welche sich nach diesen Grundanschauungen leicht in ihren leitenden Zügen übersehen läßt. Es ist dabei stets festzuhalten, daß es bei den Gesteinen keine scharf getrennten Gattungen und Arten gibt, sondern, wie Granit und Gneis in einander übergehen, so auch jedes Gestein überhaupt durch Änderung der Struktur oder der Zusammensetzung mit gewissen anderen Gesteinen durch Übergänge verbunden ist. Dies erschwert die präzise Anwendung der Nomenklatur.

Übersicht der Gesteine. — Weitaus vorwaltend sind an der Erdoberfläche die aus der Zertrümmerung, Verwitterung und Lösung älterer Gesteine und die oftmals wiederholte Zerstörung und Umlagerang der Zerstörungsprodukte hervorgegangenen Sedimentgesteine. Sie sind als sekundär bezeichnet worden, insofern ihre Bestandteile aus anderswo ursprünglich entstandenen Gesteinen herkommen. Im Gegensatz zu ihnen werden die Erstarrungsgesteine, die sich noch jetzt an dem Ort ihrer Gesteinswerdung befinden, primär genannt. Ihre Bolle im Aufbau des an der Oberfläche sichtbaren Teiles der Erdrinde ist gering.

Im Folgenden sollen die Hauptunterschiede der großen Gruppen der Gesteine dargestellt werden. Wie bei früheren Abschnitten, wird dabei in erster Linie auf die Zusammenfassung dessen, was sich am häufigsten in der Natur zu einem Ganzen verbunden der Beobachtung bietet, Rücksicht genommen werden. Es kommt daher auf eine systematisch geordnete Übersicht nicht an.
*1)

[*1]: Neben den oben (S. 13) genannten geologischen Hilfsbüchern und den größeren, nur für den Fachmann berechneten Handbüchern der Petrographie, können als bequeme und handliche Bücher zur Belehrung und zum Nachschlagen für den Reisenden empfohlen werden:

A. v. Lasaulx, Einführung in die Gesteinslehre, Breslau 1886, und J. Blaas, Katechismus der Petrographie, Leipzig 1882.

1. Die kristallinen Schiefer.

[§226] Die Sedimentgesteine lassen sich zunächst nach Unterschieden § 226. des Alters, denen im Wesentlichen und Ganzen ein durchgreifender Unterschied des äußeren Charakters entspricht, in eine ältere und eine jüngere Reihe trennen. Man bezeichnet sie auch als die archaischen und die sekundären Sedimentgesteine oder das Flözgebirge. Die ersteren reichen, im Alter, von den Anfängen der Sedimentbildung bis zu der Zeit, welche dem ersten nachweisbaren organischen Leben auf der Erde voranging, und sind daher auch als das Urgebirge oder als die Gesteine des azoischen Zeitalters bezeichnet worden; die anderen umfassen die lange Periode, aus welcher die Tiere und Pflanzen ihre Spuren in zahllosen deutlichen Resten hinterlassen haben. In der ersten Reihe walten die durch die kristallinische Ausbildung ihrer Gemengteile ausgezeichneten kristallinen Schiefer weitaus vor, in der zweiten die aus agglomerierten Massen durch Zementation verhärteten Sandsteine, Schiefertone und Kalksteine. Die späteren Gesteine der ersten und die älteren Gesteine der zweiten Reihe sind durch Übergänge mit einander verbunden, insbesondere durch die in ihrer Ausbildung sehr wechselnden Phyllite.

Die angegebene einfache allgemeine Einteilung wird dadurch kompliziert, daß die sekundären Sedimentgesteine häufig eine hochgradige Umwandlung erfahren haben, welche hauptsächlich in der Herbeiführung eines kristallinen Gefüges mittelst molekularer Umsetzung bestand. Veranlaßt wurde dieselbe teils durch Kontakt mit heiß-flüssigen, unter Abgabe von Wärme und erhitzten Lösungen erstarrenden Eruptivgesteinen, teils dadurch, daß jene Gesteine, meist in großer Tiefe unter der Erdoberfläche, dem gleichzeitigen Einfluß hohen Druckes, hoher Wärme und intensiver Stauung und Faltung bei Anwesenheit von Feuchtigkeit durch lange Zeiträume ausgesetzt waren. Es wurden dadurch Abänderungen geschaffen, welche zum Teil den archaischen Gesteinen genau gleichen, zum Teil Übergangsstufen zu deren Charakteren bilden, zum Teil aber auch ihre Repräsentanten unter jenen nicht haben. Alle diese Umwandlungsprodukte bezeichnet man als metamorphische Schichtgesteine. Es ist die schwierige Aufgabe der eingehenderen Forschung, die Tatsache der Umwandlung im Einzelnen nachzuweisen und einerseits die Altersstufe zu ergründen, welche jedem örtlich auftretenden metamorphischen Sedimentgestein in der Reihe der sekundären Schichtgesteine zukommt, sowie andererseits die Epoche und die Agentien der Umwandlung festzustellen. Der Reisende wird dazu selten Gelegenheit haben; für seine Bedürfnisse ist es in der Regel ausreichend, die metamorphischen Sedimentgesteine mit den archaischen als kristallinische Schiefer zusammenzufassen. Dies entspricht auch

der in der Wissenschaft gebräuchlichen Nomenclatur, indem man sich des letzteren Namens in der Petrographie allgemein und bei geologischen Beschreibungen in allen den Fällen, in welchen eine Altersbestimmung nicht möglich ist, zu bedienen pflegt.

Gesteinsarten. — Bei der großen petrographischen Mannigfaltigkeit, in der die kristallinen Schiefer auftreten, ist es erforderlich, sich mit einzelnen charakteristischen Typen gut bekannt zu machen. Viele Gesteine, welche deren Merkmale nicht rein zeigen, werden sich dann als Zwischenstufen erkennen und beschreiben lassen, andere durch die Beimengung besonderer Mineralien ausgezeichnet sein. Als wichtigste, zugleich meist leicht erkennbare Typen sind zu bezeichnen: Gneis, Granulit, Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer, Chloritschiefer, Sericitschiefer, Tonglimmerschiefer, Urtonschiefer (letztere drei die Hauptarten der jetzt gewöhnlich zusammengefaßten Phyllite). Dazu kommen als häufige Einlagerungen: Körniger Kalkstein (Marmor) und Quarzit. Betreffs der Beschreibung dieser Gesteine und ihrer zahlreichen Abänderungen kann auf die angeführten Hilfsbücher verwiesen werden. Man sollte sich in Sammlungen mit ihnen bekannt machen. Eine Vertrautheit kann allerdings nur durch die Praxis gewonnen werden, und selbst diese führt schwer zu vollkommener Beherrschung der außerordentlich großen Menge von Abänderungen und Übergangsstufen. Die mikroskopische Untersuchung vermehrt fortdauernd deren Zahl. Diese Schwierigkeit darf nicht abschrecken. Der Reisende erfüllt seine Aufgabe, wenn er die vorherrschenden und sicher erkennbaren Gesteine angibt.

Entstehungsweise der kristallinen Schiefer. — Da fast jeder Typus der archaischen kristallinen Schiefergesteine irgendwo sein Gegenbild unter den durch Metamorphismus des Flözgebirgs entstandenen hat, so ist es eine nahe liegende Vermutung gewesen, daß die ersteren sämtlich einen entsprechenden Umwandlungsprozeß durchgemacht haben und ursprünglich in denselben Formen wie das Flözgebirge abgelagert worden seien. Diese Folgerung ist häufig gezogen worden, hat aber in solcher Verallgemeinerung geringe Wahrscheinlichkeit, weil die Bedingungen der Lösung, der Zerstörung und des Niederschlages in dem überhitzten und unter hohem Dampfdruck stehenden archaischen Meer andere waren, als in der Zeit vorgeschrittener Abkühlung. Es häufen sich die Gründe für die Annahme, daß in dem entstehenden Ozean, dessen Temperatur auf Hunderte von Graden Celsius anzusetzen ist, ähnliche Gesteine ursprünglich gebildet wurden, wie sie später aus der Umwandlung anderer Sedimente hervorgingen, um so mehr, als das Zerstörungsmaterial, mit welchem in beiden Fällen operiert wurde, aus den gleichen mineralischen Grundstoffen bestand, und der Hauptunterschied darin beruht, daß im Fall des Metamorphismus die Agentien: Druck, Wärme und überhitztes Wasser, nachträglich hinzutraten, während sie bei der Bildung archaischer Gesteine ursprünglich tätig waren. Indessen scheint es, daß ein primär kristallinischer Ursprung doch nur für die außerordentlich umfassende, die Geschichte unermeßlicher Zeiträume darstellende Masse der älteren archaischen Gesteine angenommen werden kann, da bei den jüngeren viele Tatsachen für eine nachträgliche Umwandlung sprechen.

Die Entstehungsweise der archaischen kristallinen Schiefer, welche noch lange zu den großen vielumstrittenen Rätseln in der Geologie gehören wird, ist mit der angedeuteten Annahme einer in den früheren Phasen ursprünglichen und in den späteren Phasen metamorphischen Bildung nicht erschöpft. Geht man zurück auf die früheste erkennbare Phase, so ist deren Repräsentant der Urgneis. Dieser aber ist, wie bemerkt, mit dem Gneis-granit so innig verbunden, daß Beide gleichzeitig und in beinahe gleicher Weise entstanden sein müssen. Es liegt nahe, Beide als Teile der ursprünglichen Erstarrungsrinde des Planeten zu betrachten, wobei in Betracht zu ziehen ist, daß das erstarrende Magma mit hochüberhitztem Wasser so durchdrungen war, daß es sich nur quantitativ von einer wäßrigen Lösung, wie sie nach dem ersten Niederschlag des

Wassers eingetreten sein muß, unterschieden haben kann. Eine bedeutende Rolle in dem Hervorbringen einer schieferigen Struktur und der eigentümlichen Gleichförmigkeit der Streichrichtung, welche, bei steilem Einfällen, den Urgneis weiter Erdräume charakterisiert, dürfte der Flutwelle zuzuschreiben sein, welche damals in der sich bildenden Erdrinde selbst erzeugt wurde und das erstarrende Magma durch Anpressung an schon erstarrte Rindentelle in sukzessive Faltungen legte. Diese Faltungen würden somit keineswegs das Maße anzeigen, um welches damals der Umfang der Erde verkleinert wurde. — Wahrscheinlich fand horizontale Anordnung der inneren Struktur bei diesen ältesten Gebilden nirgends statt, aber auch eben so wenig ein chaotisches Durcheinander, weil die bestimmte Bewegungsform der Flutwelle nur gesetzmäßige Lagerungsformen verursachen konnte. Man sollte daher die ursprüngliche Streich- und Fällrichtung der Urgneise, wo sie über größere Erdräume gleichmäßig ist, behufs allgemeiner Vergleichung genau feststellen. Sie dürfte auf die Richtung von Verschiebungen in späteren Zeitaltern von Einfluß geblieben sein. Eine andere Entstehungsweise ist für gewisse Gesteine, welche alle Charaktere der kristallinen Schiefer haben, in der Streckung und Flaserung gesucht worden, welche eruptive Massen durch Bewegung unter hochgradiger Pressung erfahren mußten. Es sind hierfür eine Anzahl bemerkenswerter Belege beigebracht worden.

a. Die kristallinen Schiefer des archaischen Zeitalters, oder das Urgebirge.

[§227] Das archaische Zeitalter umfaßt überaus lange Zeiträume, während deren erhebliche Umgestaltungen auf der Erdoberfläche vor sich gingen. Von ihrer Art und Bedeutung wird es niemals möglich sein, annähernd vollkommene Vorstellungen zu gewinnen. Das Entstehen der Rinde, das Wechselverhältnis zwischen Erstarrung und Durchdringung mit eruptiven Massen, die in dem Urmeer herrschenden Bedingungen von Lösung und Absatz — dies sind Gegenstände, welche sich über den Bereich der Hypothese hinaus kaum der Erkenntnis erschließen werden.

Mit dem fortschreitenden Alter der Erde fanden Änderungen in den Bedingungen der Gesteinsbildung statt. Die Sedimente aus einem überhitzten wichen allmählich solchen aus einem sich allmählich abkühlenden Ozean, die chemischen Absätze dem Niederschlag mechanisch suspendierter Teile.

Deutlich lassen sich innerhalb des archaischen Zeitalters weitgreifende Transgressionen (s. § 260) jüngerer Gebilde über ältere erkennen. In Anbetracht der Härte der Gesteine, welche der Abrasion unterlagen, geben sie Zeugnis von überaus mächtiger Wirkung der Brandungswelle. Von dieser Zeit an müssen Sedimente entstanden sein, welche denen der späteren Zeitalter immer ähnlicher wurden. Vor allem traten Differenzierungen durch die Zusammenführung des gleichartigen Kornes mittelst der Aufbereitung, sowie der Aussonderung gleichartiger Massen aus Lösungen ein. Man kennt aus dem archaischen Zeitalter Gneise mit gerollten Einschlüssen, welche nur als um-gewandelte Konglomerate zu deuten sind; Quarzite und quarzig-glimmerige Schiefer, welche teils aus reinem, teils aus tonigem Sandstein entstanden zu sein scheinen; sehr feinkörnige und feinschuppige Schiefergesteine, welche trotz der kristallinen Ausbildung der meisten Bestandteile offenbar als Schlammabsätze entstanden sind; kristallische Kalksteine, für deren Entstehung es außer der Absonderung durch organische Wesen eine sichere Erklärung nicht gibt; Graphitlager, welche auf Kohlenbildung schließen lassen; und alle diese Gesteine Wechsellagern mit kristallinen Schiefnern solcher Arten, welche für die früheren Phasen der

archaischen Zeit allein charakteristisch waren. Auch metallische Absätze wurden in großen Massen zusammengeführt.

Den eigentlichen Übergang zu den Gesteinen des Flözgebirges bilden, ebenso hinsichtlich der zeitlichen Aufeinanderfolge als der petrographischen Beschaffenheit, die zu grünen und grauen Phylliten verhärteten Schlammabsätze.

b. Die metamorphischen Gesteine.

[§228]. Wenn man von metamorphischen Gesteinen redet, so meint man im Allgemeinen nicht solche Gesteine, welche, trotz einer erlittenen chemischen Umwandlung, ihre ursprüngliche Beschaffenheit noch deutlich erkennen lassen — wie der zersetzte Gneis, der kaolinisierte Granit, der in Serpentin veränderte Gabbro, der dolomitisierte Kalkstein, der in Anhydrit veränderte Gips, der zu Quarzit erhärtete Sandstein, der verfestigte Kalkstein, oder die von vulkanischen Dämpfen zerfressenen Gesteine — sondern solche, welche eine völlige Umänderung in mineralischem Bestand und Struktur erfahren haben und die Natur des zu Grunde liegenden Gesteins nicht mehr unmittelbar der Beobachtung erschließen. Je nachdem die metamorphischen Gesteine als Umrandungen von eruptiven Massen vorkommen, oder in ausgedehnten, mit solchen nicht unmittelbar zusammenhängenden Arealen auftreten, unterscheidet man den Kontaktmetamorphismus und den regionalen Metamorphismus.

Der Kontaktmetamorphismus bietet sich in solchen Gebieten, wo sekundäre Sedimentgesteine von Eruptivgesteinen durchbrochen werden, der Beobachtung häufig dar. Seine genauere Untersuchung sollte dann niemals unterlassen werden. Vulkanische und porphyrische Gesteine haben meist nur geringe Umwandlungen hervorgerufen, welche sich auf den Einfluß von Wärme und Entfernung des Wassergehaltes mittelst derselben zurückführen lassen. Zuweilen ist in ihrer Umgebung keine Spur einer Einwirkung wahrzunehmen, und wo sie vorhanden ist, beschränkt sie sich auf eine Änderung der Farbe des Nebengesteins, auf eine Anschmelzung desselben, auf die Hervorbringung einer prismatischen Absonderung, welche auf Erhitzung und nachmalige Erhaltung schließen läßt, auf Verkokung von Steinkohle etc. Dagegen sind granitische Gesteine oft von einer Hülle metamorphischer Gebilde in großer Mächtigkeit umgeben. Bildet das Eruptivgestein eine Anzahl mächtigerer Gänge, so ist gewöhnlich der Grad der Umwandlung nicht bedeutend und beschränkt sich auf das Kristallinisch werden des Kalksteins, die Frittung von Sandsteinen, die Verwandlung von tonigen Schiefeln in jaspoidartiges Gestein. Erst wenn jenes selbst in großen stockförmigen Massen auftritt, stellt sich meist eine hochgradige Kontaktwirkung ein, die sich bis zur Entfernung von mehreren tausend Metern erstrecken kann und dabei mit dem Abstand von dem Eruptivgestein an Intensität abnimmt. Die bemerkenswertesten Erscheinungen bietet der Kalkstein, welcher nicht nur selbst vollkommen kristallinisch wird, sondern auch häufig Einschlüsse von kalkhaltigen Silicatmineralien in ausgezeichneter Kristallisation enthält. Es sind die oft wiederkehrenden Kontaktmineralien: Granat, Vesuvian, Glimmer, besondere Typen von Hornblende und Augit (Fassait), Wollastonit, Pleonast, Spinell etc., welche dem Eindringen mineralischer Lösungen von dem Eruptivgestein in den erhitzten Kalk zugeschrieben werden müssen. Da der Kalkstein der Verwitterung am wenigsten Widerstand leistet, so werden die Krystalldrüsen dieser Mineralien oft freigelegt. Ein interessantes Problem bietet hier der Einfluß der Umgebung, in welcher die Kristallisation erfolgte, auf die Kristallform. Bei Tonschiefern hat man zuweilen (z. B. bei den Steiger Schiefeln der Vogesen nach Rosenbusch) eine äußere

Umwandlungszone in Knotenschiefer, eine zweite in Knotenglimmerschiefer, eine dritte (innerste) in Hornfels erkannt. In einem anderen Fall (Kambrische Schiefer der asturischen Gebirge nach Barrois) gibt sich bei der Annäherung an den Granit zuerst eine veränderte Aggregation der Mineralien zu erkennen, insbesondere die Anhäufung des Glimmers zu Knoten und Leisten; in einer zweiten Zone stellt sich dunklerer Glimmer ein, mit Chlorit, Chistolith und Turmalin; in der dritten, dem Granit zunächst liegenden, ist der Tonschiefer in Glimmerschiefer verwandelt. Nur für wenige Fälle liegen genaue Untersuchungen vor. Wo die Tatsache der Umwandlung deutlich erkennbar ist, sollte man besonders bestrebt sein, die Schichtglieder eines und desselben Gesteins von dort, wo es unverändert ist, bis an das Eruptivgestein heran zu verfolgen und Belegstücke für die einzelnen Stadien des Metamorphismus, insbesondere auch die einzeln auftretenden Mineralien, zu sammeln. Wird dabei die Entfernung vom Eruptivgestein notiert, in der jedes Stück gesammelt wurde, so wird das Material für die Untersuchung im petrographischen Laboratorium verwendbar sein. Es ist dann auch der Zusammenhang der Lagerung mit der Eruptivmasse zu untersuchen, die transversale Zerklüftung, welche das letztere vielleicht durch seitlichen Druck ausgeübt hat, die Volumenvermehrung, welche die Schichten durch die Umwandlung erfahren haben können, und eventuell die Änderung, welche die Versteinerungen erlitten haben. Ferner ist darauf zu achten, ob das Eruptivgestein selbst in dem Kontakt Änderungen unterworfen gewesen ist. Dies ist z. B. bei Diabasen der Fall, welche zuweilen, vielleicht in Folge der an der Gesteinsumfassung schneller geschehenden Abkühlung, an diesen Stellen ein variolithisches Gefüge angenommen haben.

Der regionale Metamorphismus ist eine weit verbreitete, aber meist sehr schwierig zu erweisende Erscheinung. Seine genauere Untersuchung erfordert scharfe Beobachtung, gute petrographische Kenntnis und geübte Kraft; um in einer den heutigen Anforderungen entsprechenden Weise ausgeführt zu werden, müssen die Beobachtungen im Felde durch exakte Studien im petrographischen Laboratorium ergänzt werden. Auf Reisen kommt es darauf an, für die letzteren verwertbares Material zu sammeln und gewisse allgemeine Tatsachen festzustellen. Nur auf diese kann hier eingegangen werden. Der Zweck, den man bei diesen Forschungen im Auge hat, ist zunächst ein allgemeiner, indem es gilt, die Kategorien von Vorgängen zu erkennen, welche der Gesteinsumwandlung zu Grunde liegen; sodann eine speziellerer, indem man bestrebt ist, im einzelnen Fall einerseits das geologische Alter der metamorphosierten Ablagerungen, andererseits die Epoche und die besonderen Ursachen der Umwandlung festzusetzen. Nur auf diesen Grundlagen kann die tektonische Entwicklung eines Erdraumes erkannt werden. Es mag beispielsweise an die kristallinen Schiefer des östlichen Griechenland und einiger Inseln des ägäischen Meeres, sowie an diejenigen, welche wesentlichen Antheil an dem Aufbau der Küstencordilleren von Chile und Kalifornien haben, erinnert werden. In beiden Fällen sind die Ansichten zwischen einem archaischen und einem spätmesozoischen Alter der betreffenden Gesteine geteilt. Die Entscheidung der Frage ist ein Kernpunkt für das Verständnis der Anden, und wichtig für dasjenige der ägäischen Küstenländer.

Während der Kontaktmetamorphismus bei Schichtenstellungen jeder Art vorkommen kann, zeigen die vom regionalen Metamorphismus betroffenen Schichtgesteine steile Aufrichtungen, welche wohl oft stellenweise, aber sehr selten in größerer Erstreckung, von horizontaler Lagerung unterbrochen werden. Dies tritt dann am meisten hervor, wenn Sedimente gleichen Alters in einem Erdraum, wo sie tafelartig lagern, unverändert, dagegen in einem benachbarten, wo sie Aufrichtung und Faltung erlitten haben, in weiter Ausdehnung verändert sind. Die Allgemeinheit dieser Erscheinung und ihre Beziehungen zu der Struktur der Gebirge haben, im Verein mit dem inneren Gefüge der betreffenden Gesteine, zu der Erkenntnis geführt, daß der regionale Metamorphismus auf dem Zusammenhang der mechanischen Vorgänge bei der

Gebirgspressung und Faltung mit stofflichen Umsetzungen, d. h. molekularen Umgestaltungen im chemisch - mineralischen Bestand, beruht. Während früher nur den letzteren Rechnung getragen wurde, und eine Umwandlung ausschließlich auf chemischem Weg durch das Eindringen lösender Gewässer möglich erschien, ist das mechanische Moment besonders durch die gründlichen Untersuchungen von Heim, Baltzer, Lossen, Reusch, Johannes Lehmann und Charles Barrois klar gelegt worden. Sie begegneten sich mit den experimentellen Forschungen über die Herstellung von Plastizität in verschiedenen festen Mineralstoffen durch hohen Druck allein, welche von Tresca und Spring ausgeführt wurden. Da der erforderliche Druck nur in großer Tiefe vorhanden ist, und da die metamorphischen Schiefer entweder bruchlos gefaltet sind, oder die Faltung mit gleichzeitiger Bildung gleichmäßig verteilter, kapillarer, mit Mineralsubstanz imprägnierter Brüche stattgefunden hat, so wurde es klar, daß der regionale Metamorphismus durch intensive Faltung, Stauchung, Pressung und Gleitung bei hochgradiger Belastung, d. h. in großer Tiefe, stattgefunden hat und ein Vorgang der Gebirgsbildung ist, so wie daß, wo regional metamorphosierte Gesteine an der Oberfläche sichtbar sind, oder von transgredierenden unveränderten Sedimenten bedeckt sind, außerordentlich bedeutende Gesteinsmassen hinweggeführt worden sind.

Man kann den Begriff des regionalen Metamorphismus auf diejenigen Gesteine beschränken, welche nachweisbar aus sekundären Sedimentgesteinen durch Umwandlung entstanden sind; doch läßt er sich auch auf die späteren archaischen Gesteine ausdehnen, insoweit diese, wie erwähnt, aus der Umwandlung von Schichtgesteinen, welche denen des Flözgebirges ursprünglich sehr ähnlich waren, gebildet zu sein scheinen. Tut man dies, so gilt nicht mehr das Gleiche für die Allgemeinheit der angedeuteten Lagerungsverhältnisse; denn die späteren archaischen Gesteine sind nicht selten in größeren Strecken horizontal gelagert. Es ist möglich, daß bei ihnen das Emporsteigen der Isothermen in Folge der Überlagerung durch sehr mächtige Sedimentmassen, daher das Zusammenwirken von Wärme und hoher Belastung, zur Hervorbringung des Metamorphismus hinreichend gewesen ist, da die dynamischen Wirkungen lateralen Druckes nicht immer bei ihnen angenommen werden können.

Ein neues Moment kam in die Theorien über die Entstehungsart der kristallinen Schiefer durch die Forschungen von Beusch über solche von silurischem, und diejenigen von Johannes Lehmann über solche von archaischem Alter. Ersterer fand bei Bergen Schiefer, Sandsteine und Konglomerate des Silur, ebenso wie gleichförmig eingelagerte Massen von Eruptivgesteinen, bei Anwesenheit deutlicher Merkmale von Streckung, Stauchung, Verschiebung, Gleitung und starken Druckwirkungen, gleichmäßig in kristalline Schiefer umgewandelt. Klastische Gesteine sind in Gneis und Granulit verwandelt, Diorit in Dioritschiefer, Granit in Gneis. Entsprechend sind in anderen Gegenden schieferige und flaserige Gesteine von der Struktur der Porphyre (sogenannte Porphyroide) gefunden und als Porphyre, welche durch Druck die schieferige Anordnung erhielten, erklärt worden. Lehmann hat der Theorie des mechanischen Metamorphismus der Eruptivgesteine durch Streckung unter großem Druck in seinem hervorragenden Werk „Untersuchungen über die Entstehung der altkristallinen Schiefergesteine“ (Bonn 1884) eine weitere Ausdehnung gegeben. Die Übergangsstufen des Granites durch Mikrogranit und Granulit in Felsitporphyr haben nach ihm ihre Parallelreihe in den Gneisen, welche entweder unmittelbar als solche erstarrten, oder durch Streckung ihre schieferige und flaserige Struktur erhielten. In derselben Weise können, nach seinen Forschungen, andere großkristallinische Gesteine in schieferige übergeführt werden, wobei die letztere Struktur zuweilen sehr vollkommen wird. Andere Schiefergesteine (insbesondere Biotitgneis, Cordierit-gneis, Granatgneis) erklärt Derselbe durch Injektion von granitischen und anderen eruptiven Magmen. Die Intensität der Gleitung läßt sich an kollateralen Erscheinungen beobachten, z. B. an der Streckung der in Gneis verwandelten

Konglomerate, wobei die Gerölle zu Lamellen und flächenartigen Ausbreitungen ausgewalzt sind.

c. Beobachtungen über kristallinische Schiefer im Allgemeinen.

[§229] Die archaischen, ebenso wie die aus dem Metamorphismus sekundärer Sedimentgesteine hervorgegangenen kristallinischen Schiefer setzen teils getrennt, teils in engster und durch sorgsamste Forschung, kaum lösbarer Vereinigung, den Felsbau ausgedehnter Erdräume für sich allein zusammen und veranlassen häufig den Charakter einer Landschaft. Sie bilden die gewaltigsten Gipfelzonen in den meisten großen Kettengebirgen, und gewöhnlich ist in diesen die Hauptwasserscheide an sie gebunden. Es bestehen aus ihnen zum großen Teil die Zentralzonen der Alpen, die höchsten Kämme des Himalaya, des Kwenlun und der Anden. In Canada, in Skandinavien, in Indien, in Brasilien, im nordöstlichen China, an der westlichen und östlichen Umrandung der Südhälfte von Afrika bilden sie ein in großen Flächen entblößtes, in anderen weiten Strecken von unveränderten Schichtgesteinen überlagertes Grundgebirge, dessen sanfte, oft von scharf eingeschnittenen Tälern unterbrochene Formen in scharfem Kontrast zu den wilden Gräten und zackigen Kämmen stehen, welche denselben Gesteinen in den Hochgebirgen eigentümlich sind.

Die Beobachtung kann sich innerhalb verschiedener Gradabstufungen halten. Schon die Feststellung der Anwesenheit und Verbreitung von kristallinischen Schiefen innerhalb gewisser Grenzen entlang dem Reiseweg ist ein beachtenswertes Resultat. Man sollte aber auch anzugeben suchen, welche besondere Gesteine allein herrschen oder vorwalten, und dieselben durch gut gewählte Belegstücke zur Darstellung bringen. Leicht ist es, die Züge von kristallinischem Kalk oder Marmor zu beachten, welche den Gneisen oder Glimmerschiefen, oder anderen Gesteinen eingeschaltet sind; auch kann man manche akzessorische Mineralien, wie Granat, Staurolith und andere, ohne Schwierigkeit erkennen und bestimmen. Wo Gänge von Granit, Pegmatit (oder Schriftgranit, der häufig Turmalin führt) oder Quarz vorkommen, sollte die Beobachtung darauf gerichtet sein, ob sie unter einander ein analoges (und welches) Streichen verfolgen.

Eine andere Klasse von Beobachtungen bezieht sich auf die Lagerungsverhältnisse. Die Hauptrichtungen des Streichens und Fallens sollten in allen Fällen möglichst häufig bestimmt werden. Sichere Aufschlüsse über die Lagerung kann man aber nur von Querdurchschnitten in Wasserrißen, Schluchten und Quertälern erwarten, an denen die Gebirge der kristallinischen Schiefer reich zu sein pflegen. Die Untersuchung ist in der Regel schwierig auszuführen; sie setzt große Übung voraus und verlangt eingehendes Studium der örtlichen Verhältnisse. Wie bei den für die Sedimentgesteine angeführten Regeln (§ 232) ist es auch hier zu empfehlen, sich mit gewissen besonders charakteristischen Schichten und Schichtfolgen so eingehend vertraut zu machen, daß man sie leicht erkennt, wenn man ihnen unter verschiedenen Lagerungsformen wieder begegnet. An ihrer Hand wird es am besten gelingen, eine Vorstellung von den stattgehabten Biegungen, Brüchen, Verwerfungen und Überschiebungen zu gewinnen. An Stellen heftiger Stauungen sollte man Handstücke von gebogenen und geknickten Schichten, sowie solche mit gebrochenen und gestreckten Einschlüssen sammeln, um die Untersuchung der Vorgänge des mechanischen und molekularen Metamorphismus an den Strukturverhältnissen mit Hilfe des Mikroskops zu ermöglichen. Die Methode des Studiums der Dynamik an der Hand dieses

Instrumentes ist von neueren Forschern, insbesondere von Heim und Johannes Lehmann, mit großem Erfolg angebahnt worden und kann nicht genug zu weiterer Anwendung empfohlen werden.

Hieran schließen sich die Beobachtungen über die Altersbeziehungen. Von der Entwicklung archaischer Formationen gewinnt man ein allgemeines Bild, wenn man die Gesteinsfolge in großen Gruppen von den inneren Teilen eines daraus zusammengesetzten Gebirges nach den äußeren hin festsetzt. In der Regel walten in einer ältesten großen Gruppe die Gneise weitaus vor, in einer zweiten, jüngeren, die Glimmerschiefer, in einer dritten entweder Phyllite, oder grüne schieferige Gesteine, unter denen Chloritschiefer, Hornblendeschiefer, Talkschiefer charakteristische Typen bilden. Doch sind die letzteren auch häufig mit Glimmerschiefer und Gneis eng verbunden. Es ist noch in verschiedenen Ländern zu untersuchen, ob sich die für Canada aufgestellte Abteilung zweier großer archaischer Epochen, nämlich der laurentischen und der huronischen, allgemeiner durchführen läßt, oder ob sich nicht für einzelne Erdräume eine größere Zahl von Bildungsepochen unterscheiden lassen, wie dies für England und Schottland in einer allerdings noch von mancher Seite bestrittenen Weise versucht worden ist. In erster Linie geben einen Anhalt dazu die großen Transgressionen einer jüngeren Abteilung über eine ältere. Wo auch nur auf beschränktem Raum glatt abgeschnittene archaische Schichtenköpfe von anderen archaischen Gebilden ungleichförmig überlagert werden, kann ein Anhalt gegeben sein, um das gleiche Verhältnis unter schwieriger erkennbaren Bedingungen wieder zu finden. Beobachtet man dann noch eine zweite Transgression, welche jünger ist als die erste, so hat man es mit drei verschiedenen Zeitaltern zu tun; denn eine Transgression über steil stehenden Schichten bezeichnet stets einen gewaltigen Abschnitt in der Entwicklungsgeschichte, indem nach dem Absatz der Schichten des unteren Teiles eine erste Periode der Zusammenfaltung und Aufstauung zu festländischen Gebirgen, und eine zweite Periode der Zerstörung dieser Gebirge durch Abra- sion eingetreten sein muß.

Ein archaisches Alter von Schichtgesteinen darf mit Sicherheit nur dann angenommen werden, wenn dieselben von kambrischen Gebilden, als den ältesten versteinierungsführenden, in solcher Weise überlagert werden, daß die Annahme einer Überschiebung der letzteren über die ersteren ausgeschlossen ist, wie es z. B. bei der horizontalen Lagerung des Kambrium auf den steilen archaischen Schichtenköpfen im nordöstlichen China der Fall ist. Im jedem anderen Fall, mit Ausnahme der entschiedenen Gneisgranite, ist die Möglichkeit der Entstehung aus sekundären Sedimentgesteinen durch Metamorphismus nicht ausgeschlossen. Man wird dann zunächst nach den Wahrscheinlichkeitsgründen zu suchen haben, welche entweder für das höhere, oder für das jüngere Alter sprechen. Sind diejenigen für das letztere vorwiegend, wie es bei den großen metamorphischen Hüllen der Granitmassive der Fall ist, so ist die Untersuchung auf die Feststellung des genaueren Alters zu richten. Den sichersten Anhalt geben Versteinerungen, deren Spuren zwar fast immer vollständig verschwunden, aber doch in manchen Fällen, selbst in Glimmerschiefer, nachgewiesen worden sind. Man kann dann versuchen, aus der Schichtenfolge auf den ursprünglichen Charakter der veränderten Gesteine zu schließen. Es ist überhaupt zu berücksichtigen, was oben (§ 228) über den Metamorphismus im Allgemeinen gesagt worden ist.

2. Die sekundären Sedimentgesteine, oder das Flözgebirge.

[§230] Mit der Ablagerung der Schichtenfolge, in welcher das älteste nachweisbare organische Leben auftritt, beginnt die lange Reihe derjenigen geologischen Epochen, welche durch die Entwicklung der Pflanzen und Tiere mittelst unendlicher Reihen von Zwischenformen zu der heutigen Lebewelt der Erde charakterisiert sind. Da das gewaltige Agens der Abrasion die Ablagerungen des Festlandes oftmals wieder vernichtete, bieten sich aus den ältesten Zeiten beinahe ausschließlich, aus den späteren weitaus vorwaltend die Sedimente des Meeres heute der Beobachtung dar. Das Studium der Meerestiere liegt daher auch fast allein der Einteilung in das paläozoische, das mesozoische und das känozoische Zeitalter zu Grunde. In jeder einzelnen der Epochen, welche man innerhalb eines jeden dieser Zeitalter unterscheidet, lagerten sich in den Ozeanen Sedimente von denselben oder ähnlichen Arten ab, wie sie oben (§ 189) als Gebilde der Jetztzeit und als von den Festlandsströmen und der Küstenzerstörung herstammend beschrieben worden sind, insbesondere die mehr oder weniger stark gerollten groben Bruchstücke der durch Abrasion zertrümmerten Massen, der Sand, die aus der Zerreibung und Zersetzung der Feldspatgesteine hervorgehenden tonigen Massen, die Auswurfsprodukte übermeerischer und untermeerischer Vulkane, dazu die kleinen und großen Gehäuse der Kalk- und Kieselerdeabsondernden Tiere. Es entstanden durch Verhärtung mittelst Zementation, chemischer Umwandlung und Druck: Psephite oder Konglomerate, Psammite oder Sandsteine, Pelite oder tonige Sedimentgesteine, vulkanische Tuffe, und Kalksteine von größerer oder geringerer Reinheit.

Diese wenigen Gesteine, welche in Zusammensetzung, Korngröße, Farbe, Mächtigkeit der einzelnen Schichten, Festigkeit, Gehalt an fremdartigen Einschlüssen, zu denen die Reste von Pflanzen und Tieren gehören, und nach anderen Beziehungen vielfachem Wechsel unterworfen sind, bauen die gesamte Sedimentrinde der Erde auf. Bald ist ein einzelnes von ihnen in großer Gleichförmigkeit tausende von Fuß mächtig und bestimmt in großer Erstreckung allein den Charakter einer Landschaft; bald findet eine vielfache Wechsellagerung statt, wobei gleichartige Schichten in einem Fall eine bedeutende Dicke haben, in einem anderen bis zu der eines Papierblattes herabgeben können. Mit diesen Gesteinen und ihren Benennungen, wie sie die systematische Petrographie lehrt, sollte Jeder weit genug vertraut sein um bei Beschreibungen zuverlässige Bezeichnungen geben zu können; denn es ist nicht tunlich, diejenigen Sedimentgesteine, denen man auf Reisen begegnet, durch gesammelte Handstücke in auch nur annähernder Vollständigkeit zur Anschauung zu bringen. Wichtiger für die wissenschaftliche Geologie ist es, die geologische Epoche angeben zu können, welcher jedes einzelne Gestein angehört; denn das durch die eingeschlossenen organischen Reste gegebene historische Moment ist der einzige Anhalt, um diese Ablagerungen als solche, unabhängig von ihrer Gesteinsbeschaffenheit im Einzelfall, in einer für die ganze Erdoberfläche anwendbaren Weise zu gliedern. Die Namen und die Bedeutung der „Formationen“, wie man sie bisher nannte, muß man kennen und richtig zu gebrauchen verstehen. Zur Vorbereitung für eine Reise sollte man sich mindestens die Kenntnis der Leitfossilien derjenigen Formationen, welche man zu erwarten hat, anzueignen suchen.

Den sekundären Sedimentgesteinen hat der Reisende am häufigsten zu begegnen Gelegenheit, da sie an dem Aufbau fast aller Gebirge den hervorragendsten Antheil nehmen und manches allein zusammensetzen. Es ist, wie erwähnt, die Hauptaufgabe geologischer Forschung in einer neuen Gegend, die Grundlagen zur Feststellung des Altersverhältnisses derselben zu suchen: die Sedimentgesteine zu gliedern. Dem Anfänger erscheint sie sehr schwierig, aber gerade hier macht Übung den Meister. Die einfache Angabe, daß in einer Gegend Kalkstein, oder Sandstein, oder Schiefer vorkommt, ist, wenn auch nicht wertlos, doch durchaus ungenügend. Man hat

stets nach den drei Gesichtspunkten des Gesteinscharakters, des Schichtenverbandes und des geologischen Alters vorzugehen.

a. Beobachtungen über Gesteinscharakter.

[§231] Einige kurze Hinweise mögen hier genügen. Im Wesentlichen sind festzustellen:

1. Bei Sandsteinen: Farbe, Grad der Festigkeit, Größe des Kornes; ist es ein reiner Quarzsandstein, oder ist er tonig oder kalkig? wie dick sind die einzelnen Schichten? sind die Schichtungsflächen eben, oder wellig, oder zeigen sie Spuren des Wellenschlages? sind sie glimmerig? kommen kohlige Pflanzenspuren oder schilfartige Reste vor? Hinsichtlich der Festigkeit kann Jeder nach eigenen Bezeichnungen eine Scala von losem Sand bis zum harten Quarzit einführen.

2. Bei Konglomeraten: Größe der Einschlüsse; sind dieselben kantig und eckig? zeigen sie Spuren der Abnutzung? oder sind sie, was gewöhnlich *der Fall ist, vollkommen gerollt? sind sie, wenn dies zutrifft, scheibenförmig oder eiförmig, in die Länge gezogen oder in allen Dimensionen gleich? Woraus bestehen die Rollstücke, aus einer Gesteinsart oder aus mehreren, und welches sind diese? Lassen sich die betreffenden Gesteine in der Nachbarschaft anstehend finden? Dies ist ein wichtiger Punkt, da das Konglomerat jünger ist als die Felsarten, von denen es Bruchstücke enthält, und aus dem Fehlen gewisser Gesteine unter den Einschlüssen oft geschlossen werden kann, daß es älterer Entstehung ist als jene. Sind hingegen einzelne der in den Einschlüssen vorkommenden Gesteine in der Umgegend nicht anstehend, so ist den Vermutungen über ihre Herstammung ein weites Feld geöffnet. Sie können durch Eis transportiert sein; dies ist für mehrere Fälle angenommen worden, besonders wenn die Blöcke eine ungewöhnliche Größe erreichen. Es ist indes zu beachten, daß grobe Konglomerate häufig die Basis transgredierender Schichtenfolgen bilden, und dann ihre Erklärung durch Abrasion am nächsten liegt, dieser Vorgang aber auf die Abrasionsfläche Blöcke von Gesteinen bringen kann, welche in höherem Niveau anstehend waren und durch die Entziehung der Unterlage herabstürzten (§ 153, 161). Man wird daher in der Annahme des Eistransportes, welche andere weittragende Voraussetzungen involviert, sehr vorsichtig sein müssen. Wenn man jedoch in sehr feinerdigen tonigen Gesteinen, welche aus Ablagerungen eines tieferen Meeres entstanden, größere Gesteinsblöcke findet, wird man die Erklärung durch Eistransport schwer umgehen können. — Es ist ferner das die Einschlüsse bindende Zement zu untersuchen. Ist es sandig, kieselig, tonig, kalkig, oder aus dem zerkleinerten Material benachbarter Eruptivgesteine bestehend (tuffartig)? welches ist seine Farbe? Auch die Festigkeit des Konglomerates und die Mächtigkeit seiner Schichten sind anzugeben. Von Interesse sind Beobachtungen und Studien über geborstene Einschlüsse und die gegenseitige Verschiebung der Bruchstücke, über Quetschung und über die Eindrücke einzelner Rollsteine auf der Oberfläche anderer. Man kann diese eigentümlichen Erscheinungen an Belegstücken in jeder für unterrichtszwecke dienenden größeren Sammlung kennen lernen.

3. Bei Schiefertönen sind ebenfalls Farbe, Korn, sandige oder kalkige Beschaffenheit, Verteilung von Glimmerblättchen auf den Schichtungsflächen zu beobachten; ferner die mehr oder weniger vollkommene und ebenflächliche Schieferung. Die Tonschiefer unterscheiden sich für die Beobachtung mit unbewaffnetem Auge durch dichteres Korn, festere Beschaffenheit, vollkommene Schieferung (Dachschiefer, Tafelschiefer), seidenglänzendes Ansehen, Vorkommen von Einschlüssen (Eisenkies, Kalkspat), häufigere Durchsetzung durch Quarzschnüre; sie zerfallen oft in Griffel oder Stengel in Folge einer durch Druck entstandenen zweiten (transversalen)

Schieferung. Letztere ist häufig vorhanden und dann meist weit vollkommener als die der Schichtung parallele Schieferung; sie kann die letztere ganz unkenntlich machen (s. § 264).

4. Bei Kalksteinen: Farbe, Bruch, Härte, kristallinische oder dichte Textur. Bei den dichten Kalksteinen, welche für die Formationsbestimmung wichtiger sind, kommt dann weiter in Betracht: Ist das Gestein geschichtet? in dünne Lagen oder dicke Bänke? sind die Schichtflächen eben, oder wellig? oder ineinandergezackt? liegt zwischen den Schichten schieferige Substanz? Ist der Kalkstein tonig, kieselig, dolomitisch oder bituminös? hat er homogene Textur, oder ist er oolithisch, oder erdig (Kreide)? enthält er Einschlüsse von Feuerstein oder Hornstein, und wie sind diese verteilt? Ist der Kalkstein von weißen Kalkspatadern durchsetzt? führt er Erze? ist er zellig? neigt er zur Höhlenbildung?

Ähnlich sind die Fragen, die man bei anderen, nicht so häufig vorkommenden Schichtgesteinen zu stellen hat, und von denen einige, wie die vulkanischen Tuffe, noch behandelt werden sollen.

Wenn man ein in großer Mächtigkeit auftretendes Gestein in dieser Weise beobachtet und sich seine Eigentümlichkeiten eingeprägt hat, ist es gut, die Aufmerksamkeit auf die Oberflächenformen zu richten, welche demselben in dem gegebenen Fall eigentümlich sind. Gewisse Kalksteine und Sandsteine zeichnen sich in dieser Beziehung so aus, daß man ihre Verbreitung häufig von weitem erkennen kann. Doch gehört große Übung dazu um mit Vertrauen zu Werke gehen zu können. Der Reisende, welcher im Landschaftszeichnen Fertigkeit besitzt, sollte sich die getreue Wiedergabe des für die einzelnen Gesteine charakteristischen landschaftlichen Elementes anlegen lassen.

b. Beobachtungen über Schichtenverband.

[§232] Die Angabe der äußeren Eigenschaften ist zur Charakterisierung nicht hinreichend. Denn ganz gleichartige oder ähnliche Schichtgesteine treten in verschiedenen Formationen auf, und man kommt auf Fehlschlüsse, wenn man aus der Ähnlichkeit auf Identität schließt. So bezeichnet die Zeit, als man alle in den Alpen auftretenden Kalksteine mit dem Namen „Alpenkalk“ belegte und sie nicht weiter zu gliedern verstand, einen unreifen Standpunkt, bei welchem die Alpengeologie ein dunkles * Feld blieb. Klarheit kam erst hinein, als man anfang, einzelne Kalksteine nach den Altersverhältnissen von einander zu unterscheiden. Dies aber kann der Beobachter in einem neuen Land von vorn herein tun. Das Mittel dazu ist, nicht bloß einzelne Schichtgesteine zu unterscheiden, sondern bestrebt zu sein, gleich Schichten Systeme aufzufinden, und diese als Elemente zur Vergleichung zu verwenden. Ein Schichtensystem ist ein Verband gleichmäßig gelagerter Schichtgesteine von verschiedener Art. Wenn zum Beispiel ein durch Hornsteinführung ausgezeichnete Kalkstein, dessen Hangendes und Liegendes (d. i. das darunter und das darüber Lagernde) nicht bekannt sind, eine Schiefereinlagerung von 100 Fuß Mächtigkeit und bestimmtem Charakter enthält, so bildet die Reihenfolge von unten nach oben: Kalkstein, Schiefer, Kalkstein, ein einfaches Schichtensystem. An diesem Verband wird man den Kalkstein wie den Schiefer mit Sicherheit wiedererkennen, wenn man ihnen in nicht zu großer Entfernung von dem ersten Ort begegnet, und sie von anderen Kalksteinen und anderen Schiefen zu unterscheiden vermögen.

Je komplizierter ein Schichtensystem, desto schwieriger wird die Aufgabe es zu entwirren, aber auch desto wichtiger. Es sind dabei stets die folgenden einfachen Regeln im Auge zu behalten:

1. Wo Schicht auf Schicht in längerer Reihenfolge übereinanderlagern, seien sie horizontal oder geneigt, da ist die tiefere (mit seltenen Ausnahmen) älter als die darüberliegende; 2. fast alle Schichten sind ursprünglich in Ebenen abgelagert, welche von der Horizontale gar nicht oder wenig abweichen, und konnten in eine stärker geneigte Lage erst durch spätere Störung gebracht werden; 3. wenn horizontale oder schwach einfallende Schichten stark geneigten angelagert oder deren Schichtenköpfen aufgelagert sind, so ist die Aufrichtung der geneigten Schichten zwischen den Ablagerungsperioden beider geschehen. An der Hand dieser Grundsätze sollte der Reisende (und dies kann auch dem Geübteren nicht genug anempfohlen werden) bei dem Betreten einer neuen Gegend den ersten sich darbietenden oder absichtlich aufgesuchten deutlichen und reichhaltigen Schichtenaufschluß auf das sorgfältigste, mit dem Notizbuch in der Hand, studieren. Außer an Flüssen, welche Schichtgebirge quer durchsetzen, und in tief eingerissenen Querschluchten, bieten sich Gelegenheiten, wo immer man einen Teil eines Gebirges aus Schichten aufgebaut sieht, welche durch das leisten- oder mauerartige Vortreten gewisser Schichtglieder eine ungleichmäßige Zusammensetzung schon von Weitem erkennen lassen. Die unterste Reihe gleichartiger Schichten, z. B. diejenige eines braunen tonigen Sandsteins, bezeichne man mit einem beliebigen Buchstaben des Alphabetes (z. B. g, notiere ihre Mächtigkeit (z. B. 60 Meter) und Gesteinsbeschaffenheit, und bestimme ihr Streichen und Fallen. Nun geht man aufwärts in das Hangende und fährt in der Bezeichnung der nächsten Schichten nach der Reihe des Alphabetes fort. Gleichviel ob ein Komplex gleichartiger Schichten aus einer 200 m mächtigen Folge von Kalkstein oder einer nur 10 cm dicken Schiefereinlagerung bestehe, Alles wird aufgezeichnet und mit kurzen aber prägnanten Gesteinsbeschreibungen begleitet. Mit einer in dieser Weise schriftlich niedergelegten Schichtenfolge hat man schon gleich im Anfang einen Schlüssel gewonnen, den man so oft anwendet, als man einer einzelnen, oder einer kleinen Reihenfolge der am ersten Platz gesehenen Schichtengruppen begegnet. Je nachdem sich am nächsten Ort andere Glieder nach oben oder unten anreihen, fährt man mit dem Alphabet nach vorwärts oder nach rückwärts fort; und nach kurzer Zeit wird man jedes bereits gesehene Gestein nicht nur sofort wieder erkennen, sondern auch wissen, welches Glied in der Reihe es bildet, und welche anderen man zunächst darüber oder darunter zu erwarten hat. Zugleich werden sich in der Reihenfolge allmählich Änderungen einstellen, die sofort beschrieben werden müssen. Kommt man aber, vielleicht nachdem man ein Tal überschritten hat, zu einer Schichtfolge, die mit der früheren keine Ähnlichkeit hat, und also einer jüngeren oder älteren Formation angehört, so suche man so bald als möglich sich auch für diese in der eben beschriebenen Weise einen "Schlüssel zu verschaffen. Man wird dann auch die zweite Reihe zu verfolgen und an ihren untergeordnetsten Gliedern wieder zu erkennen vermögen, und an einem dritten Ort entdecken, ob sie über oder unter der ersten lagert, das heißt, ob sie jünger oder älter als diese ist. In ähnlicher Weise fahre man weiter fort. Dabei ist es gut, von vornherein Benennungen für sein* ausgezeichnete Schichtengruppen (z. B. eine solche, in welcher gewisse rote Schiefertone oder grünliche Sandsteine bei allem sonstigen Wechsel stets wiederkehren), oder für besonders mächtige und charakteristische Formationsglieder (z. B. einen Kalkstein von einer gewissen Mächtigkeit, der sich vor anderen Kalksteinen durch bituminöse Beschaffenheit auszeichnet), nur für den Gebrauch im eigenen Tagebuch, einzuführen, und zwar am besten nach Lokalitäten; also z. B. der schwarze Kalk (m) vom Ort A, der rote Schiefer (h) vom Berg L u. s. f. So wird nach und nach eine kleine Geologie der Gegend erwachsen, mit einer zunächst ausschließlich für sie geltenden Terminologie.

Nicht immer bieten sich so günstige Verhältnisse, daß man vollständige Schichtenreihen gleich auffinden und verzeichnen kann. Dann muß man fragmentarische Beobachtungen sammeln, aus denen sich nach und nach das Vollendetere entwickelt. Dies läßt sich am besten an einem

Beispiel zeigen. Aus einem Talboden kommt man häufig zu einem einzeln aufragenden Hügel oder einem kleinen Hügelizeug, der aus einer einzigen Gesteinsart besteht. Es sind besonders die härteren, welche bei der allgemeinen Erosion in dieser Weise zurückgelassen werden, zum Beispiel die verhärteten reinen Quarzsandsteine oder Quarzite. Man bestimmt das Streichen und Fallen der Schichten dieses Gesteins. Daraus zeigt sich, wo die tiefsten derselben zu suchen sind; und an der betreffenden Stelle wird es wahrscheinlich gelingen, das Liegende des Quarzites, z. B. schwarze Tonschiefer, zu finden. Der Quarzit habe eine Mächtigkeit von 500 Meter. Es kommt nun darauf an, sein Hangendes, das heißt, die ihn überlagernden Schichten, zu kennen. Das gelingt vielleicht nicht gleich: aber indem man das Problem im Auge behält, kommt man doch schließlich an eine Stelle, wo man es lösen kann. Vielleicht zeigt es sich, daß dem Quarzit nichts regelmäßig aufgelagert, sondern ein anderes Schichtensystem in solcher Weise angelagert ist, daß es sich deutlich als jünger erweist, so daß man schließen muß, es habe sich in einer Periode, als der Quarzit bereits ein Riff bildete, abgelagert. Nun wird man beim Weiterreisen die erste Schichtenfolge vom Quarzit und Schiefer abwärts zu verfolgen, und die jüngere nach allen Dimensionen zu erforschen haben.

Der Laie sollte, wie es der Fachmann tut, alle Beobachtungen über Schichtung sogleich graphisch darstellen. Wenige Linien drücken das Verhältnis besser aus als eine lange Beschreibung. Die gebräuchliche Art der Darstellung besteht in der genauen Einzeichnung der Einfallslinien auf einer senkrechten Ebene, die man sich rechtwinklig zur Streichrichtung der Schichten gelegt denkt. Durch ihre vollständige Zusammenstellung entlang eines Abhanges, oder über einen Gebirgszug hinweg, erhält man das „geologische Profil“, das, wenn mit Sorgfalt gezeichnet, den Bau eines Gebirges am klarsten zum Ausdruck bringt.

Nichts schützt mehr vor falschen Schlüssen über den Gebirgsbau und ist förderlicher für die richtige Vorstellung von demselben, als die sorgfältige und unablässige Aufzeichnung solcher Schichtenprofile mit genauer Angabe von Streichen und Fallen. Wo die Erinnerung selbst nach wenigen Stunden unvollkommene und lückenhafte Ergänzungen macht, da ergibt die graphische Darstellung von selbst das Richtige, und bei der Rückkehr von einer Reise ist nichts geeignet, das Gedächtnis in wirksamerer Weise zu unterstützen, Darum aber sind auch Schichtenprofile, die nicht mit vollkommener Exaktheit gezeichnet sind, ganz besonders im Stande, irre zu führen. — Wer Beobachtung, Sammlung von Handstücken und Einzeichnung fortdauernd verbindet, der wird bald von selbst alle jene Verhältnisse entdecken, welche man in Lehrbüchern als Lagerungsformen und Schichtenstörungen beschrieben findet. Wo Schichten wellig aufgebogen sind, da ist die Streichrichtung der Falten und die beiderseitige Neigung zu notieren. Dieser Gegenstand soll in dem Abschnitt über Gebirgsbau (Cap. XV) noch ausführlicher behandelt werden.

c. Beobachtungen über das geologische Alter.

[§233]. Die stratigraphischen Beobachtungen geben über das relative Altersverhältnis der in einer abgegrenzten Gegend vorkommenden Schichtgesteine Aufschluß. Aber die Resultate erhalten ihren wahren Wert erst dann, wenn es auf Grundlage von Versteinerungen gelingt, einerseits die Stellung der einzelnen aufgefundenen Schichtensysteme in der Geschichte der Erde festzustellen, andererseits an ihrer Hand die Richtigkeit der aus den stratigraphischen Untersuchungen gezogenen Schlüsse zu prüfen und zu kontrollieren. Mit niemals nachlassender Sorgfalt sollte man nach organischen Resten suchen und jeden Anhalt, der sich in den Pflastersteinen

einer Stadt, an den Pfeilern einer Brücke, in dem Baumaterial von Häusern, Mauern und Tempeln, oder in Kunstprodukten bietet, benutzen, um nach dem Herstammungsort darin gesehener Versteinerungen zu fragen und dann den Fundort aufzusuchen. Bei der Begehung von Gebirgen sind die in § 8 angegebenen Regeln zu befolgen. Wer Übung hat und mit Eifer sucht, der wird gewiß in irgend einer Schicht Versteinerungen finden. Einige Anhaltspunkte dazu wurden auf S. 29 gegeben. Die Stellung eines Gesteins in der ganzen Reihe der in der Gegend auftretenden Schichtgebilde sollte nach den vorhergegangenen Beobachtungen bekannt sein. Auf den Zetteln, welche den Fundort der Versteinerungen angeben, ist die Schicht genau, mit Verweisung auf das Tagebuch und die Profile, zu bezeichnen. Findet man dann noch Versteinerungen in anderen Schichten höher hinauf oder tiefer hinab in der Reihe, so wird sich dadurch auch das Alter aller dazwischenliegenden Schichten mit einiger Sicherheit interpolieren, oder der Betrag der in den Ablagerungen vorhandenen Lücken festsetzen lassen. In Anbetracht der Wichtigkeit der Altersbestimmung muß man aus einer Schicht, von welcher man noch keine Fossilien besitzt, auch das Unbedeutendste und Unvollkommenste sammeln.

3. Die Eruptivgesteine oder Erstarrungsgesteine.

[§234] Äußere Merkmale.— Als Erstarrungsgesteine bezeichnet man alle diejenigen Gesteine, welche durch ihre Struktur und Zusammensetzung auf Grund gewonnener Erfahrungen erkennen lassen, daß sie, in gewisser wenn auch nicht immer genauer Analogie mit den heutigen Laven-, durch Erstarrung eines in schmelzflüssigem Zustand befindlich gewesenen, wesentlich aus Silicaten bestehenden Magma entstanden sind. Eruptiv werden sie deshalb genannt, weil sie aus der Tiefe gegen die Erdoberfläche hin emporgestiegen sind. Soweit man die Kanäle in denen dies geschah, kennt, haben sie die Gestalt von Spalten, welche die verschiedensten Gesteine im Allgemeinen in vertikaler Richtung durchsetzen. Die wesentlichen äußerlichen Merkmale der durch Erstarrung entstandenen Gesteine bestehen: 1. in ihrem Mangel an Schichtung, wiewohl dünnflüssige Magmen sich zuweilen in zahlreichen und sehr gleichmäßigen dünneren und dickeren Lagen übereinander ausgebreitet haben und in ihrer Gesamtheit mächtige Komplexe darstellen, deren strukturelle Anordnung an Schichtung erinnert; 2. in einem bei normalster Ausbildung deutlich* kristallinischen Gefüge, welches sehr feinkörnig (mikrokristallinisch) werden und durch eine Reihe von Zwischenstufen in das Glasartige übergehen kann; 3. in der Zusammensetzung aus mehreren Mineralspezies, welche, neben dem häufig vorkommenden Quarz, fast ausschließlich Silicate sind. Dieselben Eigenschaften, mit Ausnahme der glasigen Struktur und des Mangels an Schichtung, finden sich bei vielen kristallinischen Schiefen. Es wurde bereits (§ 228) erwähnt, daß die Eruptivgesteine die Charaktere der letzteren durch Streckung und Auswalzung annehmen können.

Lagerstätten. — In der Art des jetzigen Vorkommens der erstarrten Silicatgesteine gibt sich diejenige der Lagerstätten zu erkennen, welche das eruptive Magma in dem letzten Stadium vor seinem Festwerden eingenommen hat. Dieselbe kann verschieden sein.

a. Eine erste Klasse von Lagerstätten läßt sich, wie Suess wahrscheinlich zu machen gesucht hat, nur dadurch erklären, daß das Magma große im Inneren der Erdrinde befindliche Hohlräume ausfüllte, welche, im Zusammenhang mit der sein Empordringen selbst ermöglichenden Spaltenbildung und den ihr zu Grunde liegenden tektonischen Vorgängen, durch Spannung oder Stauung von Erdrindenteilen hervorgebracht wurden und tief unter der jeweiligen Oberfläche

gelegen waren. Es entstanden dadurch ausgedehnte, unregelmäßig gestaltete Massen, welche als Batholithe (von Suess) bezeichnet worden sind.

b. In anderen Fällen hat sich das Magma zwischen andere Gesteine, besonders zwischen geschichtete, in solcher Weise eingedrängt, daß es die darüber befindlichen emporwölbte und brot- oder kuchenförmige Massen bildete; man muß annehmen, daß sich alsdann dem seitlichen Eindringen und dem Emporhoben der oberen Decke ein geringerer Widerstand entgegengesetzte, als dem Emporsteigen des Magmas selbst zur Oberfläche. Für diese Vorkommnisse ist von Gilbert der Name Lakkolithe eingeführt worden. Sie sind, ebenso wie die Batholithe, an der Oberfläche der Erde nur dann erkennbar, wenn die auflagernde Decke entfernt worden ist.

3. Eine dritte Form des Auftretens sind die Gänge, d. h. Spaltenausfüllungen. Die Gänge durchsetzen von unten nach oben, oder in seitlichen Richtungen, oft in sehr unregelmäßiger, dann auch wieder in regelmäßiger Anordnung, manchmal einheitlich, in anderen Fällen vielfach verzweigt, die verschiedensten Gesteine, sehr häufig auch die schon erstarrten Eruptivgesteine selbst. Die zu Grunde liegende Spaltenbildung ist ein Teil der mit den Eruptionen zusammenhängenden und in ihrem Gefolge fortsetzenden tektonischen und Erstarrungs-Vorgänge. Die Ausfüllung geschah entweder mit unveränderten Teilen des eruptiven Magmas, welches dann zu beschleunigter Erstarrung gelangte, oder mit Sekretionen aus demselben, vielleicht auch zuweilen mit umgeschmolzenem Nebengestein. Im Gegensatz zu diesen Injektionsgängen, deren Ausfüllungsmaterial den Eruptivgesteinen zugerechnet wird, aber durch Übergänge mit ihnen verbunden, sind diejenigen Gänge zu nennen, welche durch Ausfüllung von Spalten mit mineralischem Material in Folge von kristallinischer Ausscheidung aus aufsteigenden wässerigen Lösungen, sowie in Folge von Sublimationsvorgängen gebildet worden sind. Insofern sie in Zusammenhang mit dem Empordringen von eruptivem Magma stehen, bilden sie nur einen Teil der Mineralgänge und erzführenden Gänge.

d. Den bisher genannten Lagerstätten im Inneren der Erdrinde steht als vierte Form des Auftretens das Überquellen des Magmas an der Erdoberfläche und die Anhäufung von Bergen festen Gesteins auf ihr gegenüber.

e. Eine fünfte Form ist das mit explosiver Tätigkeit verbundenen Emporsteigen zur Oberfläche. Dies ist das Wesen der Vulkane.

Man kann die ersten drei Formen von Lagerstätten als endogene, die beiden letzten als exogene zusammenfassen. Der Bildungsvorgang bei den ersteren ist entweder Injektion in vorgebildete Hohlräume, oder Intrusion in Räume, welche sich das eingepreßte Magma durch Auseinanderreiben des Gesteins selbst schuf; bei den exogenen besteht er in Ejektion an die Oberfläche der Erdrinde.

Innere Verschiedenheit. — Das Magma stammt aus der Tiefe; denn von ihr ist es aufgestiegen. Man hat zuweilen versucht, es durch Umschmelzung von Gesteinen innerhalb der äußeren Sedimentrinde der Erde zu erklären. Dies kann indes nicht allgemein angenommen werden, weil sonst die Eruptivgesteine die regellose chemische Zusammensetzung der Sedimentgesteine haben müßten; doch läßt sich der angegebene Ursprung für eine Anzahl örtlich beschränkter und meist nur in Gängen auftretender Eruptivgesteine voraussetzen, für welche in der Tat die Abnormität in der chemischen Zusammensetzung bezeichnend ist. In den großen und normalen Ausbruchsmassen der verschiedenen Zeitalter der Erde waltet das bereits angedeutete, mit dem spezifischen Gewicht in Zusammenhang stehende, von Robert Bunsen entdeckte und von Sartorius in seiner Bedeutung erfaßte Zahlengesetz in der chemischen Zusammensetzung. Die Gesamtheit der Gemenge derselben stellt eine durch dieses Gesetz verbundene Reihe dar, welche

als ein Ausdruck für die Anordnung derselben Gemenge an ihren Ursitzen, nach Tiefenzonen von der Erstarrungsoberfläche gegen das Innere der Erde hin, zu betrachten ist. Jedes Eruptivgestein, mit Ausnahme jener Umschmelzungsprodukte, ist als Vertreter einer dieser konzentrischen Zonen anzusehen. Überträgt man die Zahlenwerte auf die letzteren, so ergibt sich für diese das Grundgesetz, daß der Kieselsäuregehalt der das Erdinnere zusammensetzenden chemischen Gemenge von den äußeren Zonen nach den tieferen konstant abnimmt, und andere Bestandteile, darunter besonders das Eisen, in derselben Richtung zunehmen. Ebenso wächst das spezifische Gewicht gegen die Tiefen hin. Die Eruptivgesteine haben, abgesehen, von den wenigen Umschmelzungsprodukten, ihren ursprünglichen Sitz unterhalb der Basis der Sedimentgesteine und stellen in ihrem räumlichen Nebeneinander gewissermaßen das nach außen gekehrte Erdinnere dar. Nur so ist es zu erklären, daß die ältesten unter ihnen vorwiegend kieselsäurereich (78 bis 60%) und von verhältnismäßig geringem spezifischem Gewicht (2.5), die jüngsten vorwiegend kieselsäurearm (60 bis 40%) und spezifisch weit schwerer sind.

Ursachen der äußeren Verschiedenheit. — Die sehr verschiedenartige äußere Ausbildung der Eruptivgesteine, selbst solcher welche durch Erstarrung aus chemisch ganz gleichartigem Magma hervorgegangen sind, macht sie stets zu einem anziehenden Gegenstand der Untersuchung. Mehrfache Umstände liegen jener wechselvollen Ausgestaltung zu Grunde. Zunächst haben die Unterschiede in dem chemischen Bestand des Magmas große Unterschiede in den Arten der sich aus«scheidenden Mineralien zur Folge gehabt. Sodann ist der Grad der Zähflüssigkeit oder Leichtflüssigkeit, in welchem die Masse sich vor dem Festwerden befand, eine sehr variable Größe, wie es sich an den Lagerungsformen alter Gesteine und noch unmittelbarer bei den Laven der heutigen Vulkane beobachten läßt. Sodann kommt der Gehalt an Wasser in Betracht, welchen alle eruptiven Magmen besaßen, dessen Rolle sich aber nur unvollkommen erkennen läßt. Wahrscheinlich ist er von Einfluß auf den Flüssigkeitsgrad, auf die Verschiebbarkeit der Teilchen, auf die Zusammenfügung der Moleküle zu Kristallen und auf die Art des Schwebens der fertig gebildeten Kristalle in dem noch nicht erstarrten Teil des Magma gewesen.

Von größter Bedeutung für die Art der äußeren Ausbildung ist die längere oder kürzere Dauer des Abkühlungsprozesses. Wie man bei den wasserfreien Glasflüssen weiß, daß sich bei langsamer Erkaltung Kristallindividuen abscheiden, während schnelle Erstarrung glasige Textur veranlaßt, so ist es auch bei den wasserhaltigen Magmen und bei denen, welche ihren Wassergehalt verloren, der Fall gewesen. Wo große innere Räume mit ersteren ausgefüllt waren, vollzog sich die Abkühlung allmählich innerhalb langer Zeiträume; bei kleinen Gangausfüllungen geschah die Erstarrung schnell; noch rascher konnte sie an freier Oberfläche unter der Atmosphäre oder einer Wasserdecke vor sich gehen. Auch die Druckverhältnisse mußten Einwirkungen ausüben, unter denen besonders diejenige auf das Festhalten oder das Entweichen lassen des eingeschlossenen Wassers wesentlich ist. Endlich konnte die Erstarrung entweder durch lange Zeiträume bis zu ihrer Vollendung gleichmäßig vor sich gehen, oder sie konnte durch Druckentlastung, durch erneutes Fortströmen der erst in einzelnen Bestandteilen verfestigten Massen und andere Umstände Phasen der Verzögerung und der Beschleunigung durchmachen. Es konnte ein partieller Rückgang in dem Schmelzfluß stattfinden; durch Pressung und Gleitung konnten die fertig gebildeten Kristalle verschoben und zerbrochen werden. Dies sind nur einige der vielfachen Bedingungen, unter denen die Erstarrung der Eruptivgesteine sich vollzog.

[§235] Textur. — Aus den angegebenen Ursachen erklären § 235. sich die vielfachen Unterschiede in der Textur. Als die hauptsächlichsten Ausbildungsformen derselben sind hervorzuheben: der granitische, der porphyrische, der trachytische und der glasartige Typus. Doch sind einerseits diese durch Übergangsstufen (zu granitoporphyrischer, porphyrotrachytischer und

selbst granitotrachytischer Textur) mit einander verbunden; andererseits sind sie nicht erschöpfend. Als untergeordnet, wiewohl häufig vorkommend, ist noch die entweder blasige oder schaumige Aufblähung zu erwähnen, welche wahrscheinlich durch Verwandlung des in dem Magma eingeschlossenen Wassers in Dampf bei Aufhebung eines vorhanden gewesenen Druckes entstanden ist.

Bei dem granitischen Typus der Textur sind alle Bestandteile zu Mineralien zusammengetreten, welche sämtlich vollkommen und nach allen Richtungen gleichmäßig, vielfach in einander greifend und an ihren Begrenzungsflächen sich gegenseitig störend, auskristallisiert sind. Diese Art der Ausbildung deutet auf eine ungestörte Erstarrung, die in Anbetracht der umfangreichen Gesteinsmassen, welche dieselbe Struktur in allen Teilen in gleicher Ausbildung zeigen, von sehr langer Dauer gewesen muß. — Die porphyrische Textur ist dadurch ausgezeichnet, daß größere, oft sehr vollkommen ausgebildete Kristalle eines oder mehrerer Minerale in einer Grundmasse liegen, welche wesentlich aus denselben Mineralien in weit kleineren und meist sehr kleinen Individuen besteht, zuweilen aber sich in einzelnen Teilen unter dem Mikroskop als glasig erweist. Hier kommt offenbar die zeitliche Aufeinanderfolge einer ersten Phase sehr langsamer und einer zweiten weit schnellerer Abkühlung und Erstarrung zum äußerlich sichtbaren Ausdruck. Ob die Grundmasse vollkommen mikrogranitische, oder teilweise glasige Textur annahm, scheint wesentlich von der Dauer der Zeit, welche der Erstarrung in der zweiten Phase gewährt war, abgehängt zu haben. Es dürften sich selbst drei verschiedene Stadien in manchen Fällen unterscheiden lassen. — Bei der trachytischen Textur ist ebenfalls eine feinkörnig-kristallinische Grundmasse vorhanden; aber glasig gebliebene Teile fehlen nie, werden wesentlich und können dem Gestein den Charakter geben. Häufig ist das Gefüge stark porös und rissig, wodurch die Bruchflächen ein rauhes Ansehen erhalten. Meist sind, wie bei der porphyrischen Textur, einzelne Mineralien in größeren Kristallen ausgeschieden; aber häufig fehlen sie. Sie deuten eine erste Erstarrungsphase an. Die die letzte Phase bezeichnende glasige Masse zeigt häufig unter dem Mikroskop, oft auch mit unbewaffnetem Auge erkennbar, ein geflossenes Aussehen, die sogenannte Fluidalstruktur. Die Kristalle fügen sich der fluidalen Anordnung.

Beziehungen zwischen Lagerstätten und Textur.

— Je mehr die geologische Forschung fortgeschritten ist, desto klarer hat sich ein Zusammenhang zwischen den vorhin beschriebenen Arten der Lagerstätten und den durch die Petrographie enthüllten Arten der Textur, d. h. den äußeren Kennzeichen der Erstarrungsvorgänge, herausgestellt. Dadurch wird die Textur zu einem geologischen Moment von hervorragender Wichtigkeit. Die Annahme gewinnt an Boden, daß alle Gesteine mit granitischer Textur, vielleicht mit Ausschluß der ältesten, deren Entstehungsart unbekannt ist, in bedeutenden Tiefen unter der Erdoberfläche verfestigt worden sind. Sie sind entweder Ausfüllungen großer zusammenhängender Räume, oder gangartige Verzweigungen von solchen Ausfüllungsmassen aus. Man findet sie als Kernteile von Gebirgen in solcher Weise, daß ihre eigene Basis fast niemals sichtbar wird, die Hüllen aber durch ihre Lagerung Zeugnis geben, daß sie die Überreste ehemals hochaufragender und im Lauf der Zeit abgetragener Gebirge sind, welche die granitischen Kerne hoch überwölbten. Die porphyrischen Gesteine zeigen ein solches Verhältnis nicht. Man kennt die Basis, auf welcher sie ruhen, in so vielen Fällen, daß man sie auch in allen anderen nicht in großer Tiefe vermuten darf. Als sie an die Lagerstätte gelangten, an denen man sie jetzt findet, waren die großen, wohl ausgebildeten Kristalle längst ausgeschieden, die Grundmasse aber noch

flüssig. Die in ihrer letzten Erstarrungsphase begriffenen Anhäufungen befanden sich schon damals entweder frei an der Oberfläche, teils des Festlandes, teils des Meeresbodens, oder sie waren als Lakkolithe von Schichtmassen überwölbt, welche eine verhältnismäßig geringe Belastung bildeten. Die porphyrische Struktur ist auch an Apophysen des Granites gefunden worden, welche durch Eindringen in nicht erhitztes Gestein eine schnelle Erstarrung erfuhren. Die trachytische Textur kennt man ausschließlich an solchen Gesteinen, welche an der Oberfläche der Erde erstarrten.

Man darf voraussetzen, daß zu jeder Zeit, wenn ein eruptives Magma von tieferen nach höheren Regionen innerhalb der Erdrinde emporstieg, verschiedene Teile desselben entweder alle, oder einzelne der genannten Arten von Lagerstätten eingenommen haben und somit den verschiedenen Bedingungen der Erstarrung, nämlich entweder einer langsamen und gleichmäßigen, oder einer im Anfang langsamen und nachher beschleunigten, oder einer durchwegs rasch verlaufenden, ausgesetzt gewesen sind. Das Empordringen bis zur Oberfläche sollte sich in den frühesten Zeiten, als die Sedimentrinde eine geringe Dicke hatte, im reichsten Maße vollzogen haben. Aber gerade aus den archaischen und älteren paläozoischen Epochen kennt man fast nur die granitischen Gesteine. Sie sind durch dieselben denudierenden und abradierenden Agentien, welche die durch Erstarrung an der Erdoberfläche oder in geringer Tiefe unter ihr verfestigten Gesteine zerstört haben, bloßgelegt worden. Die Überreste von Eruptivgesteinen der letztgenannten Art sind insbesondere unter den Bestandteilen solcher Sedimentgesteine zu suchen, welche aus Tuffablagerungen jener Zeitalter entstanden sind, und diesen ist daher hervorragende Aufmerksamkeit zu widmen. Steigt man herab in die Gebilde jüngerer Zeitalter, so bieten sich der Beobachtung in mehr und mehr ausschließender Weise solche Eruptivgesteine dar, welche an der Erdoberfläche, oder als Lakkolithe geringer Tiefen mit porphyrischer Textur erstarrten; die granitischen Ausbildungsformen derselben Zeitalter treten in entsprechendem Maße zurück. Denn nur selten ist die Zerstörung bis auf dieselben herabgegangen, während gleichzeitig der Zeitraum, während dessen die exogenen Eruptivgesteine der Denudation erliegen konnten, immer kürzer wird. In großer Masse finden sich diese zuerst in der Epoche des Rotliegenden, in manchen Gegenden auch in derjenigen der Trias. Sie haben den porphyrischen Typus. Nur stellenweise zeigt sich daneben granitische und eben so selten trachytische Textur. In der Kreide-Epoche beginnen, noch mit stark porphyrischem Typus, die Vorläufer der die ganze Erde umfassenden großen Eruptionsperiode der Tertiärzeit, welche in unserer Zeit ihre Nachwehen hat. Es folgen ihnen in großer Mannigfaltigkeit Gesteine, in denen die trachytische Textur typisch wird. Aus dieser Zeit kennen wir die Tiefengesteine noch nicht mit Sicherheit; aber wir dürfen annehmen, daß dasselbe Magma, welches an der Oberfläche zu Rhyolithen, Andesiten und Basalten erstarrt ist, in großen Erdtiefen bei ungestörter Erkaltung die granitische Textur der Syenite, Diorite und Diabase angenommen hat; denn das Magma hat nach Beschaffenheit und Zusammensetzung in älteren und neueren Zeiten wahrscheinlich gar nicht oder wenig gewechselt; die Unterschiede seiner Ausbildung zu Gesteinen beruhen in den Erstarrungsvorgängen.

[§236] Systematik. — Gleichzeitig mit der allmählichen Entwicklung dieser Anschauungen an Stelle der früheren hat die Systematik der Eruptivgesteine gewisse Wandelungen erfahren. Aus der Beobachtung des Vorkommens in der Natur und der augenfälligsten äußeren Merkmale erwachsen, wurde sie bald auf die mit unbewaffnetem Auge (makroskopisch) erkennbaren Mineralien, die Textur und das spezifische Gewicht gegründet. Dann kam ihr die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung zu Hilfe. In neuerer Zeit hat die wachsende Exaktheit der mikroskopischen und kristallophysischen Untersuchungsmethoden zu der Erkenntnis ganzer Reihen von Gesteinstypen an Stelle von Einzeltypen der früheren Zeit und zu einem erheblichen Anwachsen der Nomenklatur geführt, während andererseits das betreffs der chemischen Zusammensetzung

waltende Zahlengesetz, die durch Beobachtung und Experiment gewachsene Einsicht in die genetischen Ursachen der Texturunterschiede und die zunehmende Übersicht der Verhältnisse des Alters und der Lagerung mehr und mehr dazu verhülfen haben, den inneren Zusammenhang der Eruptivgesteine auch in seiner geologischen Bedeutung zu erfassen. Es wird dadurch möglich, unter einfachen und einheitlichen oberen Gesichtspunkten die überwältigend erscheinende Mannigfaltigkeit zu gliedern und das Wesentliche vom Unwesentlichen zu scheiden. Wenn dennoch die verschiedenen Einteilungen sehr von einander abweichen, so ist dies in dem Spielraum begründet, welcher betreffs der Rangabstufung der systematischen Prinzipien gewährt ist. Wenn man z. B., wie dies von Einigen geschieht, die chemische Zusammensetzung als das oberste wählt, so erhält man eine einzige, nach dem Kieselsäuregehalt geordnete Reihe, welche nach dem Gesichtspunkt der Textur in wesentlich drei parallele Reihen zerlegt werden kann. In der Regel werden mineralische Zusammensetzung und Textur als Ausgangspunkte für die Einteilung der Eruptivgesteine angenommen. Nach beiden Gesichtspunkten ergeben sich eine Anzahl wohl charakterisierter und im Allgemeinen leicht erkennbarer Haupttypen, welche durch Reihen von Zwischentypen mit einander verbunden sind, während gleichzeitig gewisse, nach andern Richtungen abweichende Nebentypen sich um jeden einzelnen Haupttypus gruppieren. Man hat indes seit den Zeiten der ersten systematischen Versuche noch einen dritten Faktor berücksichtigen müssen, welchen man früher als den des geologischen Alters auffaßte, während es den eben entwickelten heutigen Anschauungen besser entspricht, ihn als eine Funktion der Erstarrungstiefe und der Erstarrungsdauer zu betrachten. Indem man nämlich die Gesteine mit granitischer Textur in ihrem Vorkommen an die kristallinen Schiefer und ältesten Sedimentgesteine gebunden, diejenigen mit porphyrischer Textur¹ zwar auch schon mit den alten Formationen vorkommend, aber überwiegend in dem Mittelalter der Erde, insbesondere in den Schlußgebilden der paläozoischen und den Anfangsgebilden der mesozoischen Ära, diejenigen mit trachytischer Textur in der Tertiärzeit kulminierend, wiewohl in der oberen Kreide beginnend und bis in die Jetztzeit hineinreichend, fand, griff man zu der nahe liegenden Erklärung, daß die dreierlei Gesteinsreihen Altersphasen bezeichnen. Zugleich zeigte sich, daß die granitischen Gesteine die ganze Reihe der chemischen Gemenge von den kieselsäurereichen bis zu den basischen, aber mit außerordentlichem Überwiegen der ersteren, umfaßt; daß die porphyrischen und die trachytisch-basaltischen Gesteine ebenfalls, jede für sich, die ganze Reihe in sich begreifen, aber in jener die Gemenge mit mittlerem Kieselsäuregehalt, in dieser die basischen an Masse vorwalten. Indes verschwand die scharfe Sonderung nach Altersphasen, als man einerseits in alten Schichten, wenngleich sehr untergeordnet, Überreste exogen erstarrter Eruptivgesteine, sowie in granitischen Gängen eine porphyrische Ausbildung fand, andererseits die kristallinische Umhüllung mancher Eruptivgesteine b mit granitischer Textur sich als ein metamorphosierter Mantel jüngerer, zum Teil mesozoischer Schichtgebilde erwies.

Die früher auf Altersstufen gegründete Sonderung besteht also fort, hat aber eine veränderte Erklärung und Bedeutung erhalten.

Est ist immerhin für den, welcher keine eingehendere petrographische Studien gemacht hat, nicht leicht, sich in den verschiedenen petrographischen Systemen zurecht zu finden. Wer sich nur mit den leitenden Zügen der Geologie vertraut zu machen und auf ihrer Grundlage zu forschen wünscht, sollte es sich angelegen sein lassen, einzelne Typen so genau kennen zu lernen, daß er ihre Namen mit Sicherheit anzuwenden im Stande ist. Es genügt, unter den granitischen Gesteinen die Typen: Granit, Tonalit, Syenit, Diorit, Diabas und Gabbro, unter den porphyrischen: Quarzporphyr, quarzfreien Porphyr (Syenitporphyr), Quarzporphyr, quarzfreien Porphyr (Diorit-porphyr), Augitporphyr und Melaphyr, unter den trachytisch-basaltischen Gesteinen die unten (§ 240 ff.) zu erwähnenden gut unterscheiden zu können. In der Natur findet man in

gewissen Gegenden entweder nur die granitischen, oder nur die porphyrischen Gesteine in einem Eruptionsbezirk vereinigt; in anderen beobachtet man beide Reihen zusammen, dann aber in der Regel die porphyrischen (abgesehen von Gangausbildungsformen) als Erzeugnisse einer gesonderten späteren Eruptionsepoche. Granitische Gesteine kommen häufig allein vor; porphyrische treten meist in solchen Gegenden auf, wo auch jene eine Rolle spielen.

Beobachtungen an granitischen Gesteinen.

[§237] Der Granit ist ein Gestein, dem man stets gern begegnet. Er ist leicht erkennbar, bildet immer ein wichtiges Element im Gebirgsbau, unterbricht oft geologische Einförmigkeit in wohlthätiger Weise und schmückt viele Landschaften mit schönen Formen. Die Festsetzung seines Auftretens und seiner Verbreitung ist an sich von Interesse. Nimmt er am Aufbau eines Gebirges teil, so sollte man untersuchen, ob er die höchsten Kämme zusammensetzt, oder ob er sie in Zonen oder in einzelnen Stöcken begleitet, oder ob seine Verbreitung mit der Richtung des Gebirges in keinem erkennbaren Zusammenhang steht.

Es lassen sich zwei ganz verschiedene Formen unterscheiden, in denen der Granit auftritt. Die erste ist in engem Verband mit Gneis, so daß beide Gesteine nicht nur in einander übergehen, sondern ein einziges, örtlich variierendes Gestein zu bilden scheinen. Die Glimmerblättchen, die im Granit regellos zerstreut sind, ordnen sich in Flasern, deren Parallelismus bald nur an einer größeren Fläche schwach hervortritt, bald zu vollkommener Ausbildung gelangt. Die Übergänge wechseln manchmal in kleinen Zwischenräumen. Dies ist der vorher genannte Gneisgranit oder Urgranit. Er ist überall, wo man ihn beobachtet hat, als das älteste Gebilde der betreffenden Gegend erkannt worden. Wo ein Gebirgskamm aus ihm besteht, nimmt er kühne, zackige Formen an, wie der Urgneis selbst. — Aller andere. Granit gibt durch die Art seines Auftretens zu erkennen, daß er eruptiver Natur und in die Räume zwischen anderem Gestein eingedrungen ist. Er bildet breite Ausfüllungen zwischen den zerborstenen Schollen des Sedimentgebirges, setzt die Kerne von Bergen zusammen, deren Flanken aus kristallinen Schiefnern bestehen, nimmt die Form sogenannter Stöcke (d. h. unregelmäßiger, aus unbestimmbarer Tiefe abnorm durch die Schichtgebirge durchgreifender Massen von verschiedenster Gestalt) an, und tritt in Gängen von zuweilen sehr bedeutender Mächtigkeit auf. Wo er in Bergen aufragt, hat er nicht selten eine dem Abschnitt einer Kugel oder eines Ellipsoids vergleichbare flach gewölbte Oberfläche. Ist ein solcher Stock durch eine niedergehende Felswand in seinem Inneren aufgeschlossen, so sieht man eine Anordnung in konzentrische Schalen, die man oder weniger scharf von einander abgesondert sind. Wo an Stellen dieser Art Steinbruchsarbeit stattfindet, oder der Spaltenfrost intensive Wirkung ausgeübt hat, erkennt man meist noch außerdem das Vorhandensein zweier Kluftrichtungen, die senkrecht auf den Schalenflächen und rechtwinklig zu einander gerichtet sind.

Es scheint in der Tat, daß flache Wölbung und die Ausbildung von drei Kluftrichtungen in Folge der Kontraktion typische Eigenschaften der eruptiven Granite sind. Ragt ein Massiv frei auf, so wirken die entlang den Klufflächen fortarbeitende Verwitterung, die Erosion und unter Umständen der Spaltenfrost zusammen, um einzelne Schalen in Blöcke von mehr oder weniger kubischer Gestalt zu zerlegen. Die Felsmassen nehmen durch die entlang den Hauptklüften am stärksten fortschreitende und gleichzeitig in allen erreichbaren Fugen arbeitende Verwitterung,

sowie durch das Zusammensinken und Herabstürzen der ihrer Unterlage beraubten Trümmer die in § 46 beschriebenen abenteuerlichen Gestalten an, welche von den scharfkantigen Käm- men des Urgranites verschieden sind und sich im Großen durch plumpere, mehr gerundete, im Kleinen durch castellartige und andere, durch rechtwinkliges Zusammentreten von senkrechten und horizontalen Linien veranlaßte Formen auszeichnen. Die Mannigfaltigkeit derselben wird vermehrt durch die Haufwerke großer gerundeter Blöcke, welche bald phantastisch zu kleinen natürlichen Bauwerken aufgetürmt sind, bald zwischen sich Hohlräume lassen, die durch das Hinwegräumen von Granitgrus leicht künstlich erweitert werden können.

Der Zusammenhang zwischen der Schalenstruktur und den genannten Eigentümlichkeiten der äußeren Gestalt ist in vielen Fällen klar, z. B. bei dem großartigen Vorkommen auffallend jugendlichen Granites von der als Tonalit bekannten, durch besondere Mineralzusammensetzung . charakterisierten Abänderung in der kalifornischen Sierra Nevada. Es ist wahrscheinlich, daß jene Struktur, auch wo die ehemalige äußere Oberfläche nicht mehr erkennbar ist, den eigentümlichen Gestaltungen und Umrißformen der Gebirge von eruptivem Granit zu Grunde liegt. Dieser Frage ist ebenso Aufmerksamkeit zu schenken, wie den Ursachen der Schalenstruktur. Sie weisen auf die Erstarrung derartiger Granitmassen in geschlossenen Tiefenräumen hin. Bemerkenswert ist das häufig an jene gebundene Vorkommen von Versenkungen, welche mehrere tausend Fuß erreichen können und zuweilen die Formen der später zu nennenden Becken- und Grabenversenkungen haben. Eine solche veranlaßte, nach Whitney, die kühnen Gestalten der Wände des Yosemite-Tales, und die anologe Erscheinung liegt der Trennung zweier gewaltiger Granitmassive in der Nähe von Kaulimönn an der Westgrenze von Korea zu Grunde. Angesichts dieses Umstandes, sowie der Erscheinung, daß große Anhäufungen eruptiver Granite zuweilen an nachweisbaren Bruchlinien jüngeren Alters stehen (Brixen, Adamello, Cima d'Asta), liegt die Vermutung nahe, daß manche steil und unvermittelt aufragende Granitmasse der bei Versenkung eines Teiles stehen gebliebene Best eines größeren Massivs ist, und daß dort, wo eruptiver Granit besonders großartig auftritt, häufig eine Tendenz zu späteren Versenkungen vorhanden gewesen ist. Viele Beispiele ließen sich hier anführen. Wo ein Granitgebirge steil auf anders gebau- tes Land abfällt, sollte stets auf Anzeichen von Vertikalverschiebung geachtet werden.

Unter den zahlreichen anderweitigen Gesichtspunkten, welche sich bei der Beobachtung von Granitmassiven darbieten, seien hier noch einige erwähnt. Dazu gehört das Aufsuchen der Unterlage, oder überhaupt des Abschlusses nach unten. Es gehört zu den Eigentümlichkeiten des Granites, daß man ihn, trotz der großen vertikalen Mächtigkeit in der er oft entblößt ist, nur stellenweise, aber kaum irgendwo kontinuierlichen größerer Erstreckung, andere Gesteine überlagernd nachzuweisen vermochte. Man kann in der Tat sagen, daß seine Unterlage unbekannt ist. Darin beruht der wesentlichste Unterschied seines Vorkommens von den Lakkolithen, welche zwar dieselbe gewölbte Oberfläche haben, aber, wie es scheint, nie bis in große Tiefe reichen. Sodann ist das Aussenden von Gängen in das Nebengestein bemerkenswert. Sie fehlen selten. Bald sind sie gering an Zahl aber sehr mächtig, bald in großer Anzahl vorhanden aber klein und vielfach verzweigt, bald ist das Nachbargestein von einem dichten Netzwerk von schmalen Schnüren und Adern durchzogen. Es ist ebensowohl der Einfluß der Erstarrung in weiteren oder engeren Spalten auf die Ausbildung des eingedrungenen Magmas, als der Grad der Einwirkung auf das Nebengestein (§ 228) zu beachten.

Von Interesse ist in jeder Gegend das Alter des Granites. Er ist selbstverständlich jünger als jedes Gebilde, das von ihm durchsetzt worden ist, dagegen älter als jedes ihn überlagernde Sediment, welches im Kontakt eine Umwandlung nicht erfahren hat. Eine solche Überlagerung findet aber bei dem Granit kaum anders als auf transgredierendem Wege statt und bezeichnet eine

beträchtliche Lücke in der Zeit zwischen seiner Erstarrung und der Ablagerung des Sedimentes. Verhältnismäßig selten erweisen sich Granite, auf Grund transgredierender Überlagerung durch unveränderte kambrische Schichten, als sicher von archaischem Alter, wie z. B. im nördlichen China, wo außerdem mehrere spätere Eruptionsepochen des Granites bis zum Carbon nachweisbar sind. In Europa haben Granite häufig an Gesteinen von silurischem und devonischem Alter Kontaktmetamorphismus hervorgerufen; im Felsengebirge und der Sierra Nevada scheinen sie solche aus der Jura-Epoche verändert zu haben. Die Feststellung der Altersverhältnisse der metamorphosierten Sedimentgesteine und der Granitausbrüche gehört zu den wichtigen, aber auch schwierigen Aufgaben des Geologen.

Das Studium der Kontakthülle kann dazu führen, das Vorkommen des Granites voraussetzen zu dürfen, wo man ihn nicht unmittelbar beobachten kann, und ihn eventuell nachher in einem Aufschluß unter den Kontaktgebilden nachzuweisen, wie dies durch v. Lasaulx am hohen Venn, durch Löwl im westlichen Böhmen geschehen ist. Am genauesten sind die Kontakthüllen im Erzgebirge untersucht worden, wo man deren eine größere Anzahl kennt. Sie zeichnen sich an der Oberfläche in großen elliptischen Durchschnitten; einige lassen den flachgewölbten Granitkörper darunter erkennen, bei anderen ist er verborgen.

Wo große Granitmassive durch steile Wände aufgeschlossen sind, sollte man nicht unterlassen, die petrographischen Abänderungen zu untersuchen. Zunächst ist die Untersuchung auf die von Beyer beobachteten Schlieren zu richten, d. h. verschiedene konzentrisch angeordnete, aber in einander verlaufende Ausbildungsformen und petrographische Abänderungen des Gesteins, welche der genannte Beobachter durch das stetig wiederholte Nachdringen von eruptivem Magma in den Kern der bereits vorhandenen Masse und das Auseinandertreiben der letzteren in Folge dieses Vorganges erklärt. Die Richtigkeit dieser Auffassung hat an Wahrscheinlichkeit gewonnen, seitdem Spring bei der Pressung fester, unter sehr hohem Druck Plastizität annehmender Massen durch enge Öffnungen eine ähnliche innere Anordnung, wie sie hier vorausgesetzt wird, gefunden hat. Sollte sie bei Graniten und anderen Ausbruchsgesteinen durch fernere Beobachtungen erwiesen werden, so würde dies von Wichtigkeit für die mechanische Erklärung der Eruptionen als eines Vorganges von langer Dauer und allmählicher Wirkung nach außen sein. Die Schlierenstruktur ist auch von Bedeutung als Argument gegen die seit Hutton, Babbage und Herschel mehrfach vertretene Ansicht, daß die Granite im Allgemeinen durch Umschmelzung von Sedimentgesteinen mittelst des Aufsteigens der Chthonisothermen entstanden seien; denn wenn dies richtig wäre, so müßten Abänderungen vielfach vorhanden und in parallelen Zonen angeordnet sein. — Manche petrographische Besonderheiten nach Textur und Mineralbestand bieten auch die Ganggesteine, welche zum Teil den Granit selbst durchsetzen, zum Teil im Nebengestein auftreten.

Andere Beobachtungen betreffen die Gesamtheit der Erzeugnisse eines Ausbruchsherd. Man findet nämlich in der Regel eine gewisse, bald enger, bald weiter begrenzte, bald unregelmäßig gestaltete, bald zonenartig gestreckte Region durch große Massen granitischer Gesteine ausgezeichnet, andere Regionen daneben aber frei davon. Gewöhnlich ist ein kieselsäurereiches Gestein, wie Granit, Granitit, Tonalit oder Syenit, weitaus vorherrschend. Daneben finden sich Diorite und großkristallinisch erstarrte basische Magmen, wie Gabbro und Hypersthenfels. Es sind dann die gegenseitigen Altersverhältnisse dieser einzelnen Glieder festzustellen. Unter den Ganggesteinen, welche nicht nur den Granit, sondern auch die kristallinen Schiefer der Umgebung häufig in einer großen Zahl von Gängen durchsetzen, sind Pegmatit und Quarz besonders zu nennen. Der letztere, kann zur Altersbestimmung verwendet werden, falls der Zusammenhang der von ihm erfüllten Gänge mit dem Ausbruch des Granites erwiesen werden kann. Man

findet dann die Schichten bis zu einer bestimmten Altersstufe hinab, auch ohne sonstige wesentliche Veränderung, von ihnen durchschwärmt, während in den jüngeren jede Spur von Quarzgängen fehlt. Diese Gänge sind häufig erzhaltig. In Kalifornien sind sie die eigentliche Quelle des Goldes.

Einer besonderen Erwähnung verdienen die Diabase, welche sich als die vulkanischen Gesteine der paläozoischen Ära erwiesen haben. Es sind an zahlreichen Orten deckenartige Ergüsse derselben, welche viel Analogie mit denen des Basaltes haben, nachgewiesen worden. Sie wiederholen sich oft mehrfach übereinander und Wechsellagern zuweilen mit Tuffablagerungen, deren Material ebenfalls den Charakter des Diabas trägt. Die Erscheinung ist um so mehr befremdend, als saure Gesteine in ähnlicher Lagerung aus den älteren Epochen dieses Zeitalters nicht nachgewiesen worden sind.

Beobachtungen an porphyrischen Gesteinen.

[§238] In den Epochen des Perm und der Trias haben bedeutende Ausbrüche an vielen Erdstellen stattgefunden und große Massen von Erstarrungsgesteinen auf der damaligen Oberfläche des Festlandes sowie auf dem Boden des Meeres und ausgedehnter Binnenseen zur Ablagerung gebracht. Dieselben sind fast durchwegs porphyrisch ausgebildet. Sind auch vollkommen glasig erstarrte Gesteine selten vorhanden, so zeigen doch viele durch die glasige Textur eines Teiles der Grundmasse eine so nahe Analogie mit den jungeruptiven Gesteinen, daß man sie in Handstücken mit diesen verwechseln würde. Trotz dieser nahen Berührung haben die Gesteine der Porphyrgebirge im Großen und Ganzen ihren besonderen, leicht zu erkennenden Charakter, der sie von den tertiären Eruptivgesteinen trennt. Ebenso finden sich vielfache Übergänge zu den granitischen Gesteinen, und doch stehen sie auch deren Gesamttypus als etwas Verschiedenes und Abweichendes gegenüber. Quarzporphyre (selten granitoporphyrisch ausgebildet), Porphyrite, Augitporphyre und Melaphyre sind beinahe ausschließlich vertreten. Wo die Ausbrüche an Küsten oder am Meeresboden geschahen, haben sich ausgedehnte Tuffschichten abgesetzt. Andere aus Zerstörungsprodukten der Porphyre bestehende Schichten deuten auf häufige Niveauschwankungen in jener Zeit und ausgiebige Zerstörung der Eruptionsmassen durch die Brandungswelle. Porphyrische Gesteine sind auch vielfach von höherem paläozoischem Alter. Andererseits findet man sie mit Ablagerungen des Lias und Jura verbunden. Dann gelten natürlich für sie die gleichen Bemerkungen. Aber die Beobachtung konzentriert sich auf sie dort, wo sie an der Schwelle des mesozoischen Zeitalters in besonders großen Massen und großer Mannigfaltigkeit zur Oberfläche gelangten, vielleicht als exogene Teile desselben Magmas, welches in größeren Tiefen zu granitischen Gesteinen erstarrte und den Metamorphismus silurischer und devonischer Schichtgebilde hervorrief.

Diejenigen Formen, in welchen die Porphyrgesteine vorwaltend auftreten, sind die von weit ausgedehnten Decken zwischen den Schichtgesteinen, von langgestreckten oft sehr mächtigen Gängen und Gangzügen, von großen, mitten zwischen den Sedimentschichten aufgehäuften Kuppen, welche durch Erosion häufig freigelegt sind, und von lagerartig übereinander ausgebreiteten, zu bedeutender Mächtigkeit aufgeschichteten Massen, in denen wohlausgebildete Porphyre, Reibungsbreccien, gewaltige Gänge und tuffartige Schichtgebilde mit einander wechseln. Sie zeigen nicht selten in großem Maßstab alle Besonderheiten, welche man bei

untermeerischen Ablagerungen der Produkte jüngerer Vulkane wahrnimmt. Insbesondere stellen die Augitporphyre von Südtirol einen Herd reiner vulkanischer Tätigkeit dar. Es fehlen zwar Schuttkegel von explosiv zerkleinertem Material, nicht aber dieses selbst, welches in Schichten ausgebreitet ist. Zu beachten ist das häufige Vorkommen von Breccien, in denen eckige Porphybruchstücke durch porphyrisches Gestein verbunden sind, aber auch Bruchstücke anderer Gesteine vorkommen. Die Art der letzteren kann über Altersverhältnisse und über den Mechanismus des Vorganges Aufschluß geben. Ferner sind die außerordentlich mächtigen Tuffmassen bemerkenswert, besonders wenn sie, wie in dem großen Verbreitungsgebiet porphyrischer Gesteine bei Ningpo in China, gänzlich ungeschichtet sind und an senkrechten Steinbruchswänden in vertikale krummflächige Schalen von über hundert Fuß Höhe zerklüftet. Von Interesse ist die Beziehung der Absonderungsform der festen Porphyre zu der Art ihrer Lagerung. Säulenförmige, plattige, kugelige und polyedrische Absonderung kommen vor.

Es ist ferner den Altersbeziehungen der einzelnen Arten der in einer Gegend innerhalb einer zusammengehörigen Eruptionsepoche aufgestiegenen porphyrischen Gesteine Rechnung zu tragen. Die gangförmigen Durchsetzungen und die zwischengelagerten Schichten geben Anhalt dazu.

Eine andere Art des Auftretens der Porphyrgesteine findet sich ausgedehnt in dem Bergland im Norden des Golfes von Petschili. Linear gestreckte, hoch aufragende Gebirgszüge sind dort ganz aus denselben aufgebaut. In der scharfwinkligen Abzweigung sekundärer Züge von dem Hauptzug läßt sich das Spaltensystem erkennen, über welchem die Eruptivgesteine sich auftürmten. Die Mannigfaltigkeit der Gesteine und die gangförmigen Durchsetzungen lassen auf ein lange fortgesetztes, sukzessives Emporquellen des Magmas schließen; ob dasselbe mit explosiver Tätigkeit verbunden gewesen ist, läßt sich nicht mehr erkennen. Da gleichzeitige Meeressedimente und Tuffablagerungen fehlen, muß man annehmen, daß die Ausbrüche auf dem Festland vor sich gingen. Eine Anordnung in Lagen ist zuweilen erkennbar* ebenso eine säulenförmige Zerklüftung in rechtem Winkel zu den Absonderungflächen. Die Säulen zerfallen durch Querteilung in polyedrische Bruchstücke von wenig wechselnder Größe, welche die Berggehänge teilweise bedecken. Die letzteren zeigen viele staffelartige Absätze. Die merkwürdigsten Formen bilden die Kämme, welche in einer Unzahl von Obelisken und Nadeln aufragen. Diese Porphyrgebirge sind als Gegenstand eingehender Untersuchung über innere Zusammensetzung und Ursachen der äußeren Formen zu empfehlen.



Vierzehntes Kapitel.

Beobachtungen über Vulkane und jungeruptive Gesteine.

[§239] Wie die Vulkane der Landschaft besonderen Reiz zu geben pflegen, und die Phänomene ihrer Tätigkeit das Interesse jedes Beschauers fesseln, so zeichnen sich die Gegenden, in welchen sie sich erheben, im Allgemeinen durch die Fülle der Motive aus, welche sie ebenso für die exakte wissenschaftliche Untersuchung, wie für die dem Reisenden gewöhnlich nur gestattete flüchtigere Beobachtung darbieten. Diese Gegenstände, soweit' sie sich auf die der vulkanischen Tätigkeit zu Grunde liegende, aus dem Inneren der Erde wirkende Kraft beziehen, bilden ein geschlossenes, vielfach verbundenes Ganzes und sind meist in größerer oder geringerer Vollständigkeit auf demselben Schauplatz vereint. Sie werden daher hier gemeinsam behandelt.

Ein Vulkan ist ein Berg, welcher aus von unten nach oben in heiß-flüssigem Zustand emporgedrungenem und entweder teilweise oder ganz durch explosive Tätigkeit zertrümmertem Gesteinsmaterial aufgebaut ist und in Folge der periklinalen Anordnung des Materials der einzelnen Ausbrüche um eine zentrale Achse eine mehr oder weniger vollkommene Kegelgestalt besitzt. Der Berg kann wenige Dekameter, oder mehrere Kilometer hoch sein; die Achse kann immer an derselben Stelle gewesen sein, oder ihre Lage mit der Zeit ein wenig geändert haben; das Gesteinsmaterial kann insgesamt, durch Explosionen in Fragmente zertrümmert, als Schlacken, Rapilli und Asche über die Kegelfläche verteilt, oder überwiegend in Gestalt von Lavaströmen auf ihr hinabgeflossen sein — dadurch werden nebensächliche Änderungen verursacht; die Hauptzüge sind, neben dem angegebenen Ursprung des Gesteins: die zu jeder Zeit auf einen Ort konzentrierte Ausbruchsstelle, die radiale Aufschüttung um die durch denselben Ort bezeichnete Achse, das Vorhandensein von Anzeichen einer explosiven Tätigkeit und eines in der Achse befindlichen Kraters. Tätig ist ein Vulkan, wenn sich periodisch Ausbrüche an ihm ereignen; als erloschen wird er bezeichnet, wenn solche in historischer Überlieferung nicht stattgefunden haben, aber Struktur und Zusammensetzung den Schluß gestatten, daß die Entstehung des Berges derjenigen der tätigen Vulkane analog gewesen ist. Zuweilen finden sich in Gasexhalationen und Quellen kochenden Wassers noch Nachwehen der früheren Tätigkeit; zuweilen sind auch solche nicht mehr vorhanden.

Neben den oft in großer Zahl auf kleinem Areal zusammen vorkommenden erloschenen und tätigen Vulkanen finden sich in der Regel, und zwar meist in sehr viel bedeutenderer Entwicklung, Anhäufungen von Gesteinen, welche den Laven von jenen nahe verwandt sind, aber Berge und langgestreckte Gebirge gleichmäßig aufbauen, in denen die Gesteine nicht periklinal, sondern einer Längsachse parallel in Zonen angeordnet, ' oder in Gestalt weit ausgebreiteter Tafeln abgelagert sind, und bei welchen die explosive Tätigkeit nicht als wesentliches Moment erscheint. Solche Anhäufungen sind die Erzeugnisse von Massenausbrüchen. Die Beobachtung zeigt, daß sie einer Periode eruptiver Tätigkeit von sehr langer Dauer angehören, und daß das Aufwerfen von Vulkanen nur ein verhältnismäßig unbedeutender, die Endphase von jener

bezeichnender Vorgang ist. In vielen Fällen gelingt es, die Anfangsphase der Ausbrüche nach geologischer Zeitrechnung festzusetzen. Stellt man diese Fälle vergleichend zusammen, so gelangt man zu dem allgemeinen, wenn auch nicht ausnahmsfreien Ergebnis, daß der Gesamtperiode der Eruptionen in jedem einzelnen Erdraum eine lange Periode der Ruhe vorhergegangen war, diese aber ihrerseits jenem vorher (§ 238) erwähnten Zeitalter gewaltiger Ausbrüche aus der Tiefe gefolgt war, welches in der Karbonzeit begann, in der Permischen Epoche kulminierte und in derjenigen der Trias ihre sporadischen, aber stellenweise, wie in den Alpen, noch immer bedeutenden, in manchen Gegenden der Östlichen und westlichen Hemisphäre selbst bis

in die Jura-Epoche hinein dauernden Nachwehen hatte. So weit Anfang und Ende dieser früheren Ausbruchsperiode auseinander lagen, sind die Gebilde derselben doch, wie erwähnt, durch die räumliche Zusammengehörigkeit an jeder durch sie bezeichneten Erdstelle zu einem Ganzen verbunden. Dies gilt ebenso für die hier in Rede stehende Periode, welcher die Vulkane angehören. Sie scheint stellenweise ihre ersten Vorboten schon vor dem Ende der Kreide-Epoche, in den Anden von Süd-Amerika vielleicht schon in den letzten Stadien der Jura-Epoche gehabt zu haben. Aber in den meisten Erdräumen sind die Epochen des Jura und der Kreide Zeiten des Mangels an unterirdischen Kraftäußerungen gewesen, während die Epoche des Tertiär in allen Kontinenten durch deren besondere Intensität ausgezeichnet war. Entweder begann die Ausbruchstätigkeit in ihr, oder sie steigerte sich in ihr, falls sie früher angefangen hatte. Jeder einzelne Herd hat seine eigentümliche Entwicklung, jeder seine besondere Zeit intensivster Äußerung, die sich dann allmählich abschwächte. Die Schauplätze der vulkanischen Tätigkeit an der Erdoberfläche sind die nach außen geöffneten Enden von Spaltensystemen. Diese waren größtenteils viel ausgedehnter als in der permotriadischen Zeit. Sie sind Bruchzonen, welche zum Teil Kontinente in ihrer ganzen Ausdehnung durchziehen und die meisten Herde jener älteren Ausbruchsperiode als Teile in sich begreifen.

Aus dem langen jungeruptiven Zeitalter kennt man in der östlichen Hemisphäre keine granitischen Felsarten mit Sicherheit. Diejenigen Gesteine, welche sich der Beobachtung darbieten, weichen in ihrer Gesamtheit, trotz vielfach naher Berührungen und Verwandtschaften, auch von den porphyrischen so weit ab, daß man sie seit dem Beginn ernster Gesteinsstudien mit besonderen Namen belegt hat, und dieselbe Trennung auch bei den jetzigen strengen systematischen Prinzipien der Petrographie im Ganzen aufrecht erhalten wird. Die allgemeine Bezeichnung „vulkanische Gesteine“, unter der sie häufig vereinigt wurden, kann indessen fallen gelassen werden, einerseits weil vulkanische Tätigkeit auch in sehr frühen Perioden der Erdgeschichte stattgefunden hat, andererseits weil die Ausbruchsgesteine des letzten Zeitalters, wenn auch räumlich den Vulkanen der Jetztzeit nahe verbunden, doch hinsichtlich der Art ihrer Entstehung nicht auf sie beschränkt sind. Wir bedienen uns daher für die gesamte Abteilung des Namens „jungeruptive Gesteine“. Auf dem westlichen Kontinent gehören vielleicht eine Anzahl in großer Ausdehnung aufgeschlossener granitischer Gesteine, welche Sedimente der Jura-Epoche umgewandelt zu haben scheinen, dem Alter nach hierher. Nach Lagerung und Erstarrungsmodus weichen sie indes von den als Lakkolithe geringer Erdtiefen, sowie von den als externe Ausbruchsmassen auftretenden Gesteinen der Tertiärzeit so weit ab, daß sie mit den granitischen Gesteinen der verschiedenen früheren Zeitalter zu vereinigen sind. Sie beeinflussen nicht das einheitliche Band, welches dort in besonders deutlicher Weise die gesamte Reihe der an der Außenfläche des Planeten, oder in geringer Tiefe unter ihr erstarrten jüngeren Ausbruchsmassen umschlingt.

Die von den Vulkanen ausgeworfenen und ausgeströmten Gesteine haben noch eine andere, so eben angedeutete Verwandtschaftsbeziehung zu Felsarten früherer Zeitalter. Denn auch in der paläozoischen und im Beginn der mesozoischen Ära fanden Ausbruchserscheinungen statt,

welche denen der heutigen Vulkane genau entsprachen. Auf diese weit zurückliegenden Vorgänge, deren mineralische Erzeugnisse tief unter den Schichtmassen vergraben sind, und welche nur dem Auge des geübten Geologen erkennbar sind, wurde bereits hingewiesen (S. 539). Sie hängen auf das engste mit der gesamten eruptiven Tätigkeit damaliger Zeit zusammen und bilden nur einzelne Phasen in ihr. Geologisch, ebenso wie als Beobachtungsobjekt, schließen sie sich daher dorthin viel näher an, als an die Vulkane der heutigen Zeit, und die Gebilde dieser haben ihre engste Verwandtschaft mit der Gesamtheit der jungeruptiven Gesteine, an die sie sich an jeder Stelle als jüngstes Glied einer zusammengehörigen Familie anschließen.

Es sollen im Folgenden erst die an die jungeruptiven Gesteine nach Art und geologischem Auftreten, dann die an die Vulkane und an die durch sie bezeichneten Erdräume überhaupt sich knüpfenden Beobachtungen erörtert werden.

1. Haupttypen der jungeruptiven Gesteine.

[§240] Das Material, aus welchem die Vulkane und die Gebirge von jungeruptivem Ursprung bestehen, tritt uns nach seinen augenfälligsten, im Aggregatzustand der Massen beruhenden Merkmalen in dreifacher Gestalt entgegen, nämlich: 1. als festes homogenes Gestein, welches durch Erstarrung einer größeren heiß-flüssigen Masse entstanden ist; 2. als lockeres, zuweilen aber nachträglich verfestigtes Trümmergestein, welches aus der Zertrümmerung von jenem zur Zeit des Ausbruches oder aus der Zerstäubung heiß-flüssiger Massen hervorgegangen ist; 3. als Gestein von homogener Masse, welches Trümmer umschließt und mit ihnen Breccien bildet.

Die Magmen, deren Ausbruch und Erstarrung der Existenz aller dieser Gesteine zu Grunde liegt, stellen die gesamte Reihe chemischer Gemenge vom geringsten zum höchsten Kieselsäuregehalt dar, welche für die Eruptivgesteine überhaupt charakteristisch sind; es finden sich in der Zusammensetzung hin und wieder Abweichungen von dem Reihungsgesetz, welche aber nicht hinreichen, die Bedeutung des letzteren einzuschränken. Eine große Mannigfaltigkeit der Erscheinung wird durch die verschiedenartige Ausbildung in Folge der Erstarrungsvorgänge bedingt. Für das Auge bieten die Gesteine alle Abstufungen von vollkommen glasiger durch porzellanartige (lithoidische) und steingutartige zu einer sehr feinkörnigen und selbst mäßig grobkörnigen Textur, bei welcher eine vorwaltende Zusammensetzung aus kleinen Kristallen deutlich bemerkbar ist. Entweder ist das ganze Gestein nur in dieser Weise beschaffen, oder es sind größere Kristalle von einem oder mehreren Mineralen darin deutlich ausgeschieden. Die Grundmasse zeigt unter dem Mikroskop unendlich viele Abstufungen. Auf diese soll hier nur andeutungsweise eingegangen werden, da bei der Beobachtung in der freien Natur nur das makroskopische Verhalten berücksichtigt werden kann. Die zahlreichen durch Besonderheit der Struktur erkennbaren Abänderungen beruhen indes nicht allein in den verschiedenen äußerlichen Erstarrungsbedingungen, sondern auch in einer zur Zeit der Eruption verschiedenen Beschaffenheit des Magma. Wie Hopkins schon 1847 andeutete, stellen wir uns bei einem geschmolzenen Metall vor, daß kein Teilchen von endlicher Dimension in festem Zustand bleibt, und dies gilt ebenso für geschmolzenes Glas. Bei den Lavaströmen der Vulkane hingegen besteht ein großer Teil der Masse aus zwar kleinen, aber endlich begrenzten Teilchen, welche einzeln ihre Festigkeit behalten, während ihre relative Beweglichkeit durch andere Teile der Masse, welche einen höheren Flüssigkeitsgrad haben, unterhalten wird. Diese innere Beweglichkeit wird durch elastische Dämpfe gesteigert,

welche aufwärts zu dringen suchen. Die festen Teilchen können größere Kristalle sein, welche sich bei dem Herausstoßen und Fließen der Lava an einander stoßen, und dabei abgerundet und gebrochen werden. Zwischen vollkommener Schmelzung und dem durch zahlreiche feste Teile bedingten breiartigen Zustand sind sehr viele Zwischenstufen möglich, welche, in Folge der schnellen Erstarrung der flüssigen Bestandteile nach der Eruption, zum äußerlich erkennbaren Ausdruck in der Textur kommen.

Man hat die hier in Betracht kommenden Gesteine zum Teil nach ihrer Erstarrungsmodifikation, zum Teil nach den Unterschieden ihrer mineralischen Zusammensetzung benannt; und zwar pflegt der erstere Gesichtspunkt dann leitend zu sein, wenn der zweite wegen des Mangels oder des beschränkten Auftretens ausgeschiedener Mineralien nicht angewendet werden kann. Besondere glasige Erstarrungsmodifikationen. — Solche Abänderungen, welche durch schnelles Erstarren eines Glasflusses, wenn auch zuweilen mit Einschluß einzelner vorher gebildeter fester Kristalle, entstanden sind und daher vollkommen das Aussehen von Gläsern haben, nennt man Obsidian. Durch schaumige Aufblähung bei glasiger Textur entsteht Bimsstein; durch ein verschwommen kugeliges Gefüge, bei welchem die Erstarrungskontraktion die Absonderung sehr feiner, konzentrisch angeordneter Lamellen verursacht hat, Perlstein; durch das Eintreten der Entglasung in Folge beginnender Kristallisation Lithoidit. Diese Modifikationen, welche sich den Zuständen des Glases, des Emaille und des Porzellans bei künstlichen Schmelzflüssen annähernd vergleichen lassen, sind (mit Ausnahme des nur aus Rhyolithgemenge entstehenden Perlsteins) unabhängig von der chemischen Zusammensetzung. Sie können für das ganze Gestein allein und rein obwalten, oder durch Einschlüsse von Kristallen, von kleineren und größeren radialfaserigen Kugeln, den sogenannten Sphäroliten, sowie von großen, unregelmäßig blasenartig gestalteten, schalig gekammerten (an den Kammerwänden mit Kryställchen besetzten) Einschlüssen, welche als Lithophysen bezeichnet worden sind, Abänderungen erfahren. Ein an die mikroskopisch erkennbare Fluidalstruktur erinnerndes Aussehen tritt auch äußerlich häufig hervor. Dazu kommt sehr oft eine Anordnung in Lamellen, die den Eindruck von Schichtung geben und von der Dicke eines Papierblattes bis zu derjenigen von einigen Millimetern wachsen können. Sie verdicken sich um eingeschlossene Kristalle; daher machen diese das lamellare Gefüge unregelmäßig. In erstaunlicher Abwechslung finden sich diese und zahlreiche andere Modifikationen von Gesteinen mit glasiger Textur bei den kieselsäurereichen Gemengen, welche bei vollkommener Ausbildung den Rhyolithen entsprechen. Je basischer das Magma, desto einförmiger werden die glasigen und lithoidischen Abänderungen; auch treten diese und die Bimssteine in relativem Mengenverhältnis zurück. Aus stark basischem Magma entstehen überhaupt keine Bimssteine.

Einteilung nach der Zusammensetzung. — Erst bei denjenigen Erstarrungsmodifikationen, bei welchen die Ausscheidung von Kristallen verschiedener, von den Abstufungen der chemischen Mengung abhängiger Mineralien klar erkennbar ist, oder andere besondere Eigentümlichkeiten stetig vorhanden sind, tritt das Einteilungsprinzip der mineralischen Zusammensetzung für die Nomenklatur bestimmend ein. Man kann nach absteigendem Kieselsäuregehalt unterscheiden:

- 1) Die Ordnung der Rhyolithe,
- 2) Die Ordnung der Trachyte,
- 3) Die Ordnung der Andesite,
- 4) Die Ordnung der Propylite,
- 5) Die Ordnung der Basalte.

Schöne Einteilung, noch nicht komplett, aber die Richtung stimmt. Die Propylite werden in der weiteren Diskussion, auch hier von Richthofen, als mögliche Umwandlungsprodukte von Andesiten angesehen

Die Gesteine der ersten Ordnung sind hell, diejenigen der fünften schwärzlich gefärbt. In denen der anderen Ordnungen walten verschiedene Abstufungen von Mittelfarben.

[§241] a. Die Rhyolithe umfassen die Gesteine mit überschüssigem Gehalt an Kieselsäure (75 bis 77 Prozent im Mittel), welche daher, falls die Erstarrungsart es ermöglichte, zum Teil als kristallisierter Quarz ausgeschieden ist. Abänderungen, welche deutliche Quarzkristalle umschließen, wurden früher „Trachytporphyr“ genannt. Für andere Ausbildungsformen existierte damals noch keine Benennung. Später (1859) wurden sämtliche den kieselsäurereichsten Stufen angehörige Gesteine unter dem Namen „Rhyolith“ zusammengefaßt. Bald darauf (1861) wurde der Name „Liparit“ für eine porphyrische Varietät von den Liparischen Inseln angewendet. Der Priorität und der von Anfang an umfassenderen Anwendung wegen wird hier der Name Rhyolith für die ganze Abteilung beibehalten, obgleich die Benennung Liparit zuweilen, dem sonstigen Brauch entgegen, verallgemeinert worden ist. Die Rhyolithe entsprechen als Magma, d. h. nach ihrer chemischen Zusammensetzung, den Graniten und den Quarzporphyren, und in Folge dessen haben sie auch eine diesen analoge Ausbildung von Mineralbestandteilen. Sie sind hellfarbige Gesteine; weißliche, gelbliche und hellrötliche Farbentöne walten vor. Bei porphyrischer Ausbildung können Kristalle von Quarz, Sanidin, Plagioklas, schwarzem Glimmer und Hornblende ausgeschieden sein; aber auch von Quarz allein, oder von Quarz und Sanidin. Die niemals ganz fehlende Grundmasse, welche stets freie Kieselsäure enthält, besitzt bald ein mikrokristallinisches Gefüge aus den genannten Mineralien nebst beigemengter Glasmasse; bald hat sie ein geflossenes, an die verschiedensten Arten von Glas-, Email- und Porzellanflüssen erinnerndes Aussehen; bald ist sie dicht, und dann zuweilen von Quarzhärte, bald porös und schaumig. Mehrere der genannten glasigen Ausbildungsformen kommen nur als Erstarrungsmodifikationen von Rhyolithen vor; vor allem, wie erwähnt, die Perlsteine und die Einschlüsse von Lithophysen. Die mit ihnen verbundenen Bimssteine sind langfaserig und seidenglänzend. Lithoidisches Gefüge, Absonderung papierdünner Lamellen und Ausscheidung von Sphärolithen Anden sich bei den Rhyolithen am häufigsten.

Selten erscheint der Rhyolith in einer granitähnlichen Ausbildung der Gemengteile (Nevadit). Der Sanidin, ein rissiges Ansehen und reichliche Glasmasse lassen ihn auch dann vom Granit leicht unterscheiden. Man glaubt einen in seinen innersten Teilen angeschmolzenen und dann rasch erstarrten Granit zu sehen. Es ist vielleicht in der Tiefe beinahe erstarrtes, mit einem Rest von zähflüssiger Substanz an die Oberfläche gelangtes und hier schnell abgekühltes Magma. Man kennt das Gestein aus dem Staat Nevada und aus Neu-Seeland. Es wäre von Interesse, es anderswo nachzuweisen.

Die Rhyolithe wurden in ihrer Gesamtheit erst spät erkannt, haben sich aber seitdem als eine weit verbreitete und wichtige Gesteinsgruppe erwiesen. Ungarn und Siebenbürgen, das Great Basin in Nord-Amerika, Neu-Seeland und, wie es scheint, Bolivien sind Hauptverbreitungsgebiete. Als Ausfluß alter Vulkane kennt man sie außerdem in Island und auf den liparischen Inseln. Als Lava heutiger Vulkane ist der Rhyolith nicht beobachtet worden. Als formgebendes Glied im Gebirgsbau tritt er am meisten im Great Basin auf; er bildet aus eigenem Schutt aufragende, mit Nadeln besetzte scharfe Kämme, weil er in Folge der Erstarrungsabsonderung leicht in Trümmer zerfällt.

Es ist die Aufgabe des Reisenden, die verschiedenen Abänderungen der Rhyolithe in ihrem gegenseitigen Verband zu untersuchen und die Lagerungsverhältnisse einer jeden von ihnen zu beobachten. Es gibt kaum ein anderes Gestein, welches durch den Reichtum seiner Erscheinungsformen in gleichem Grad zum Sammeln von Handstücken einladet. Um so mehr muß dies mit Sorgfalt geschehen. Das Handstück sollte nicht ein zufällig angetroffenes Gestein, sondern

die gut festgesetzte Lagerungsform eines nach allen geologischen Beziehungen genau untersuchten Gesteins darstellen.

[§242] b. Die Trachyte entsprechen im Kieselsäuregehalt (62 bis 64% im Mittel), wie in der mineralischen Zusammensetzung, den Syeniten und quarzfreien Porphyriten. Es kommen helle Farben vor, wie bei Rhyolithen, aber häufiger sind Mittelfarben von grauen und bräunlichen Tönen. Wie bei jenen, tritt eine Grundmasse häufig allein auf, aber weit öfter umschließt sie in porphyrischer Art Kristalle, besonders größere von Sanidin und kleinere von Plagioklas, dazu Hornblende und schwarzen Glimmer. Glasige und lithoidische Textur kommen vor, aber weit weniger als bei dem Rhyolith. Gewöhnlich ist die Grundmasse feinkörnig, besonders in den der Oberfläche nahe befindlichen Teilen, wo ein poröses, rauhes Gefüge diesen Charakter deutlicher hervortreten läßt; das Mikroskop zeigt ihre Zusammensetzung aus Mikrokristallen der grösser ausgeschiedenen Mineralien nebst glasiger und zuweilen felsitischer Masse.

Man trifft die Trachyte als Erzeugnisse von Massen-Ausbrüchen aus Spalten. Sie bilden dann langgezogene Rücken. Auch unter den Erzeugnissen vulkanischer Tätigkeit finden sie sich.

Ein eigentümliches Gestein ist der Phonolith, dessen chemische Zusammensetzung beinahe denselben Kieselsäuregehalt (60%) aufweist, wie die Trachyte, während der Mineralbestand der Grundmasse ein Gemenge von Sanidin und Nephelin nebst einigen anderen untergeordneten Mineralien, mit nur geringen Spuren von Glasmasse, erkennen läßt. Unter den größeren ausgeschiedenen Kristallen sind flache Tafeln von Sanidin an ihren glänzenden Spaltungsflächen leicht zu erkennen. Das Gestein ist fast stets von dichtem Gefüge, oft splitterig im Bruch, von dunklen Farben (grünlich braun bis grünlich grau), neigt zu plattiger, fast schieferiger Absonderung und gibt beim Anschlägen von Bruchstücken einen hellen Klang. Wie die fremdartige Zusammensetzung, so ist das Vorkommen des Phonolithes bemerkenswert. Man kennt ihn überhaupt nur in wenigen Erdräumen, die meist in Europa liegen. In ihnen findet er sich sporadisch, und wesentlich in Gestalt vereinzelter dom- oder glockenförmiger Kuppen.

[§243] c. Die Andesite haben unter allen jungeruptiven Gesteinen nächst dem Basalt die größte Verbreitung. Sie besitzen im wesentlichen eine dunkelgraue bis schwärzliche Farbe und entsprechen mit einem Kieselsäuregehalt von 57 bis 60%, der sich bei gewissen quarzhaltigen Abänderungen auf 66 steigern kann, den Dioriten und Porphyriten, entfernen sich aber von ihnen in dem äußeren Charakter. Plagioklas mit Hornblende oder Augit, oder mit diesen beiden, wozu in gewissen Fällen Quarz kommt, sind die bestimmenden, in deutlich erkennbaren Kristallen ausgeschiedenen Mineralien. Sie sind in einer mikrolithischen Grundmasse eingeschlossen. Selten fehlen sie, so daß das Gestein nur aus der letzteren besteht. Zuweilen ist es als Obsidian erstarrt. Auch kommen Bimssteine vor; sie sind rundbläsiger, schwammig und haben eine graue oder grünliche Farbe. Man unterscheidet Hornblende-Andesite und Augit-Andesite. Die quarzföhrnden Abänderungen Beider wurden von Stäche Dacit genannt; ihr Auftreten ist in manchen Gegenden, besonders in Siebenbürgen, von Interesse und Wichtigkeit.

Die Andesite setzen linear angeordnete große Gebirgszüge zusammen. Dieselben bestehen grobenteils aus Reibungsbreccien und haben im Ganzen sanfte, einförmige Gestalt. In feuchten Gegenden sind sie meist dicht bewaldet, da die Zersetzung einen für Baumvegetation geeigneten Boden hervorbringt. Das festere, homogene, oft plattig abgesonderte Gestein ragt stellenweise in Gestalt einzelner Kuppen über die Kammlinien auf. Es bildet mächtige Gangmassen und felsige Vorsprünge; seltener setzt es größere Teile des Gebirges allein zusammen. Außerdem sind Andesite als Ausbruchsmaterial von Vulkanen, besonders der älteren und bereits erloschenen,

verbreitet. Bei jetzt tätigen Vulkanen walten die Augit-Andesite (früher zum Teil als Trachydolerit bezeichnet) vor den Hornblende - Andesiten vor.

[§244] d. Die Propylite unterscheiden sich in ihrer Gesamtheit durch ihren allgemeinen Gesteinscharakter und ihre dem unbewaffneten Auge auffallenden Merkmale so weit von allen anderen jüngeren Eruptivgesteinen, daß sie selbst in einer Zeit, als man Rhyolithe, Trachyte und Andesite unter der einen Benennung „Trachyt“ zusammenfaßte, von allen Beobachtern unter anderen Namen ausgeschieden und jenen gegenübergestellt wurden. Die Wahl dieser Namen (Grünstein, Dioritporphyr, Trachydiorit, Grünsteintrachyt) deutet den engen Anschluß an, in welchem die betreffenden Gesteine zu den Älteren „Grünsteinen“, insbesondere zu den Dioriten, stehen, denen sie in vielen ihrer außerordentlich zahlreichen Modifikationen zum Verwechseln ähnlich sind. Die Zugehörigkeit solcher Typen zu den Propyliten zeigt sich in ihrem geologischen Zusammenvorkommen mit anderen Typen, welche sich von den Dioriten im Aussehen entfernen, und mit welchen jene ersten zusammen eine große Gruppe von Gesteinen bilden, die sich gegenseitig durchsetzen und in ihrer Gesamtheit eine ganz bestimmte geologische Stellung an der zeitlichen und räumlichen Basis aller jung eruptiven Gesteine einnehmend wie dies in § 248 näher ausgeführt werden wird. Wo sie auftreten, finden sie sich in großen Massen, aber größtenteils verhüllt durch Andesite und Trachyte, von welchen sie durchbrochen und überlagert werden. Gewöhnlich ist die Texturausbildung porphyrisch. Die Grundmasse hat braungrüne und grau-grüne Färbung; in ihr erkennt man Kristalle von mindestens Einem Feldspat (aus den Plagioklassen) und Hornblende, selten auch Augit. Häufig ist die Hornblende grün und faserig, und die grüne Färbung überträgt sich auf diejenige des ganzen Gesteins. Ein besonderer Charakterzug der Propylite liegt noch in dem Umstand, daß eine Anzahl der größten Silbererzgänge in verschiedenen Ländern darin auftreten.

Eine andere, ebenfalls äußerlich und im geologischen Auftreten erkennbare Beziehung haben die Propylite zu den Andesiten, welche ihnen stets im Alter folgen. Es finden sich zahlreiche Übergangsstufen zwischen beiderlei Gesteinen: ein Umstand der um so weniger überraschen kann, als in der gesamten Reihe der Eruptivgesteine, von den ältesten bis zu den jüngsten, je zwei einander benachbarte Gruppen durch solche Übergänge verbunden sind. Sie vermögen die große geologische Sonderung und die augenfällige Verschiedenheit der charakterischen Typen nicht aufzuheben.

Auch die mikroskopische Analyse hat diese Unterschiede, nach Zirkels Untersuchungen, scharf hervortreten lassen, was um so bemerkenswerter ist, als es wesentlich dieselben Mineralien sind, welche an dem Gemenge des Propylites und des Andesites teilnehmen. Durch den Mangel an Glasbasis und die Ausbildungsart der Hornblende zeigen auch auf diesem Weg der Untersuchung die Propylite eine unmittelbare Annäherung an die Diorite und Dioritporphyre. Was Zirkel für amerikanische Gesteine* gefunden hatte, wurde von Doelter für solche aus Ungarn bestätigt.

Im Gegensatz zu dieser Anschauung von der Selbständigkeit des Propylites sind andere Forscher (Rosenbusch, Szabo, Wadsworth und G. F. Becker), ebenfalls auf Grund mikroskopischer Analyse, zu der Ansicht gekommen, daß der Propylit zum Teil zersetzter Andesit, zum Teil wirklicher Dioritporphyr aus älterer Zeit sei, und zwei derselben (Szabo und Becker) haben ihre Folgerungen durch geologische Beobachtung gestützt. Es ist hier nicht der Ort, die Argumente für die eine und die andere Anschauung abzuwägen. Doch möge die Aufmerksamkeit reisender Geologen auf den Gegenstand gerichtet werden. Man sollte das geologische Vorkommen von Propylit und Andesit, wo sich Beide finden, und besonders an solchen Orten, wo (wie an den meisten Stellen des Vorkommens in Ungarn) ältere Eruptivgesteine nicht auftreten, dagegen die Altersverhältnisse jener beiden Felsarten durch das Vorkommen gleichzeitiger Sedimente bestimmbar

sind, genau festzustellen trachten. Eine Untersuchung der Zersetzungsprodukte des Andesites, sowohl der an freier Atmosphäre, als der durch die Tätigkeit von Solfataren gebildeten, wird vermutlich der Theorie der Entstehung des Propylites aus Andesit vermittelt einer nach der Festwerdung geschehenen Umwandlung kaum günstig sein. Man trifft in Andesitgebirgen viele Zersetzungsstufen. Sie sollten sorgfältig gesammelt und studiert werden. Wenn atmosphärische Agentien Propylit aus Andesit herzustellen vermöchten, so müßten die großen Gebirgszüge des letzteren mit einem Propylitmantel bedeckt sein, was nirgends der Fall ist. Sollten dagegen vulkanische Dämpfe die Umgestaltung hervorzubringen im Stande sein, so müßten in den Felsmassen, welche die Andesitvulkane von Java und Ecuador aufbauen, Propylite fleckweise verteilt vorkommen. Bis jetzt sind sie dort in dieser Stellung nicht nachgewiesen worden. Sind somit diese beiden Entstehungsweisen des Propylites mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen, so bleibt immerhin noch die Möglichkeit, daß diejenigen externen Ausbrüche, welche die neue Ära der jungeruptiven Gesteine nach vorhergegangener langer Ruheperiode einleiteten, mit gewissen, noch nicht näher zu erkennenden Vorgängen verbunden waren, die in dem Eruptionsmagma, sei es vor seinem Ausbruch, sei es bei der Kristallisation, besondere, die Ausbildungsart der mineralischen Ausscheidungen und die Textur beeinflussende innere Umänderungen veranlaßten. Über Ursache und Modalität der Ausbrüche ist so wenig bekannt, daß solche Vorgänge; welche dem gleichen chemischen Gemenge, bei Ausscheidung gleichartiger Mineralien, doch zwei wesentlich verschiedene Ausbildungsformen geben würden, nicht abgewiesen werden können. Vergleicht man das häufige Vorkommen von Flüssigkeitseinschlüssen in den Feldspatzen und Quarzen der Propylite, und ihr fast gänzlich fehlendes Auftreten in den Andesiten, mit dem umgekehrten Auftreten von Glasbasis, so scheint hierin ein tiefgreifender, mit dem ursprünglichen Zustand des Magma zusammenhängender Unterschied begründet zu sein; denn es dürfte wohl kaum anzunehmen sein, daß durch nachträgliche Zersetzung Flüssigkeitseinschlüsse gebildet wurden.

Der gegenwärtige Stand der Frage dürfte sich dahin bezeichnen lassen, daß einige namhafte Vertreter der strengen, aber doch wesentlich auf künstlichen Prinzipien beruhenden petrographischen Systematik in den beiderlei Gesteinen zusammengehörige, auf Gleichartigkeit der Gemengteile beruhende Modifikationen derselben Gesteinsart erblicken und die Abweichungen durch nachträgliche Umwandlung und einen dadurch entstandenen „pathologischen“ Zustand erklären, während die geologische Untersuchung äußerlich erkennbare und zeitlich wie räumlich von einander geschiedene Typen wahrnimmt. Eine Berechtigung dürfte somit auf beiden Seiten vorhanden sein, und die Wahl der Trennung oder Vereinigung nur von dem Standpunkt abhängen, von welchem aus man die Gesteine betrachtet.

Heute würden wir propylitische Alteration sagen, eine Form der hydrothermalen Vorgänge oder Metasomatose

Der Beobachter der Natur steht auf dem geologischen Standpunkt. Weitere Untersuchung muß lehren, ob die Trennung sich, wie es der Verfasser auf Grund eigener Beobachtung für wahrscheinlich hält, wird aufrecht erhalten lassen. Es ist zu berücksichtigen, daß verschiedenartige Ausbildung des gleichartigen Mineralgemenges in anderen Fällen als hinreichendes Merkmal zur Unterscheidung verschiedener Gesteinstypen einstimmig anerkannt, und auch hier nur die Anwendung desselben Prinzipes beansprucht wird. [*1]

[*1]: Bei der Korrektur dieses Blattes geht mir die wichtige Abhandlung von A. Hague und J. Iddings on development of crystallization in the igneous rocks of Washoe Nevada (Bull. U. S. Geol. Survey No. 17, 1885) zu. Es ist darin der Einwand, welchen Becker in seinem trefflichen großen Werk über dieselbe Gegend gegen die Selbständigkeit des Propylites erhebt, insofern widerlegt,

als bewiesen wird, daß die früher als Propylit bezeichneten Gesteine daselbst nicht zu den Eruptivgesteinen älterer Epochen gehören, wie Becker angenommen hatte, sondern tertiär, mithin den jungeruptiven Gesteinen einzureihen sind. Daß Becker sie mit den Namen „porphyrischer Diorit“, „körniger Diorit“ etc. bezeichnet hat, ist ein weiterer Beleg für das den alten Grünsteinen entsprechende Aussehen der in Rede stehenden Gesteine. Dennoch sind auch Hague und Iddings auf Grund sehr sorgfältiger Prüfung zu dem Schluß gekommen, daß in Anbetracht der Analogie in den Arten der mineralischen Bestandteile, sowie mit Rücksicht auf die vielfachen Übergangsstufen, der Propylit dem Hornblende-Andesit beizurechnen und durch Umänderung aus ihm entstanden sei. Die obigen Bedenken gegen diese vollständige Vereinigung können damit noch nicht als aufgehoben betrachtet werden. Es wird besonders darauf ankommen, in anderen Gegenden die Altersverhältnisse der dem Propylit entsprechenden Gesteine und der Andesite sorgfältig zu prüfen.

[§245] e. Die Basalte umfassen die Reihe der basischen Gemenge unter den jungeruptiven Gesteinen und vertreten die Diabase und Augitporphyre der älteren Perioden. Es sind schwärzlich graue bis schwarze Gesteine, welche in einer Reihe von Erstarrungs-modifikationen auftreten. Eine derselben, welche ein Gemenge von deutlich erkennbaren Kristallen darstellt, wird als Dolerit bezeichnet; die feinkörnig-kristallinen Abänderungen führen den Namen Anamesit, die dichten sind die eigentlichen Basalte.

Die mikroskopische Analyse hat zur Unterscheidung, von zwei verschiedenen Gemengen geführt, in deren einem Plagioklas, Augit und Olivin die Hauptbestandteile sind, während Nephelin und Augit das andere darstellen. Man unterscheidet danach: Plagioklas-Dolerit, Anamesit und Plagioklas-Basalt als die erste, Nephelin - Dolerit und Nephelin - Basalt als die zweite Gruppe. In beiden ist ein Gehalt an Magnet Eisen als dunkel färbendem Bestandteil wesentlich. Da indes beiderlei Gruppen äußerlich nicht zu unterscheiden sind, so genügt es, sich die drei Hauptformen der Textur einzuprägen. Die genaue Untersuchung mitgebrachter Handstücke vermag dann erst festzustellen, welcher von beiden Gruppen (zu denen als eine dritte, untergeordnete, noch die des Leucitbasaltes kommt) das gefundene Gestein angehört.

Unter den Erstarrungsmodifikationen des Basaltes ist noch zunächst die obsidianartige zu nennen, welche jedoch mit anderen Benennungen belegt wird. Die Bimssteinbildung findet unvollkommen statt, obgleich flüssige Basaltmasse zu langen feinen Glashaaren ausgezogen wird. Dagegen kommen häufig blasenartige Hohlräume in Anamesiten und Basalten vor und geben durch Auskleidung und Ausfüllung mit Mineralien Anlaß zur Bildung von Mandelsteinen.

Dolerite und Anamesite sind meist porös; der Basalt zeigt ähnliche Auflockerung nahe der Oberfläche; schon in geringer Tiefe jedoch ist er kompakt und steinig. Häufig ist er außen verschlackt.

[§246] Vulkanische Trümmergesteine. — Zunächst den großen festen Massen der homogenen Gesteine, welche als Lavaströme, als weit ausgebreitete Decken, als einzeln aufragende Kuppen und als ganze Gebirgszüge auftreten, sind die Trümmergesteine zu untersuchen, welche aus jenen entstanden sind, und in welchen sich daher deren Artenreihe wiederholt. Es kommen hier zunächst diejenigen in Betracht, welche als lose Auswürflinge aus Kratern die Flanken der Vulkane zusammensetzen. Die herkömmlichen, den Größenverhältnissen entnommenen Ausdrücke: vulkanische Blöcke (mehrere Fuß Durchmesser, außen verschlackt, innen fest), vulkanische Bomben, Rapilli, vulkanischer Sand, vulkanische Asche, lernt Jeder bei dem ersten Anblick auf der Lagerstätte richtig anwenden. Sie ordnen sich in der Regel nach der Größe von dem Kraterand gegen den

Fuß des Kegels; nur die feinste Asche, und insbesondere der Bimsteinsand, breiten sich weit darüber hinaus aus und können vom Wind nach fernen Gegenden fortgetragen werden. Diese Materialien bilden Schichten, welche allseitig vom Kegel abfallen, und sind häufig von radial eingeschnittenen Wasserrillen durchschnitten. Sie werden leicht zementiert. An den Trümmern erloschener Vulkane kann man sie in tiefen Durchschnitten beobachten und die Natur Jener daran kennen. Aus der Untersuchung der festeren Stücke läßt sich die Art des Gesteins festsetzen, das in einer gewissen Epoche vom Vulkan ausgeworfen wurde.

Eine zweite Form, in welcher Trümmergesteine erscheinen, sind die Schlammströme, welche durch das Zusammenschwemmen von Auswürflingen in Folge der die Eruptionen zuweilen begleitenden wolkenbruchartigen Regengüsse oder des plötzlichen Tauens einer Decke von Schnee und Eis entstehen. Man erkennt sie an dem gänzlichen Mangel der Schichtung, an der Menge scharfeckiger Einschlüsse von der verschiedensten Größe, welche in dem aschenartig zerkleinerten Material, das die Grundmasse bildet, unregelmäßig zerstreut sind; ferner an dem Umstand, daß sie die tieferen Teile ihrer Unterlage ausfüllen und oft eine bedeutende Längenerstreckung bei geringer Breite haben. Sie sind ein wichtiges Element in vulkanischen Gebirgen, und wer sie kennen gelernt hat, findet sie auch als Begleiter vulkanischer Ausbrüche in älteren Perioden. Man verwendet die vulkanischen Schlammstromgesteine wegen ihrer Lockerheit und Leichtigkeit, die sie trotz fester Zementation auszeichnet, gern zu Baumaterial. Die dritte Form des Auftretens sind die Tuffgesteine, die sich vor den vorigen durch Schichtung auszeichnen. Es sind Ablagerungen von Auswürflingen und sonstigem zur Eruptionzeit zerstortem Ausbruchsmaterial, welche unter Wasser stattfanden. Die einzelnen Bestandteile sind darin nach der Größe in Schichten geordnet. Schlamm und Tuff variieren je nach der Art des Gesteins aus dem sie entstanden sind.

Endlich sind diejenigen Gesteine zu erwähnen, welche in einer homogenen Erstarrungsmasse eckige Bruchstücke von Gesteinen umschließen und zumeist als Reibungsbreccien zu bezeichnen sind. Die Trümmer sind entweder 1) gleichartig mit dem einschließenden Gestein; oder sie bestehen 2) aus vulkanischem Gestein anderer Art, oder 3) aus ganz fremdartigem Gestein. — Reibungsbreccien der ersten Art sind am großartigsten in Andesitgebirgen entwickelt und bilden zuweilen das Hauptmaterial ausgedehnter Böcken. Sie entstehen wahrscheinlich, indem die zu einer Kruste erstarrte Oberflächenschicht einer im ruhigen Zustand befindlichen Heißflüssigen Masse durch neues Andrängen der letzteren zerberstet, und die Trümmer in den hervorbrechenden Strom eingeschlossen werden.. — Gesteine der zweiten Art sind bei vulkanischen Ausbruchsmassen häufig. Ihr Studium ist für die Eruptionsgeschichte wichtig, weil das eingeschlossene Bruchstück älter ist als die umschließende Masse. — Die Gesteine der dritten Art sind von allgemeinerem Interesse und zeichnen sich zuweilen, besonders wenn die Einschlüsse aus Kalkstein bestehen, durch das Vorkommen schöner Mineralien aus. Man nimmt zu ihrer Erklärung an, daß die vulkanische Masse bei ihrem Aufwärtsdrängen Bruchstücke des Nebengesteins losriß. Die letzteren geben daher Aufschluß über den geologischen Bau der Unterlage der Vulkane.

2. Verbreitung und Tektonik.

[§247] Es gibt große Regionen der Erdoberfläche, welche gänzlich frei von jungeruptiven Gesteinen sind, während man letztere in anderen Gegenden außerordentlich verbreitet findet. Sie fehlen einzelnen Kettengebirgen und treten in andere formgebend ein. Große Tafelländer

zeigen keine Spur davon, andere erhalten in weiten Strecken ihren Charakter durch diese Gesteine. Den großen Tiefländern fehlen sie am meisten, mit Ausnahme ihrer Bänder. Kaum findet man sie vereinzelt, wohl aber in großen, entweder kontinuierlichen oder unterbrochenen Zügen; in anderen Fällen, ohne erkennbare Längstreckung, entweder in scheinbar regelloser Anordnung vieler getrennter Ausbruchsmassen, oder ausgedehnte Tafelländer allein zusammensetzend. Die Züge begleiten häufig die großen Leitlinien im Bau der Erdoberfläche, wo aus den tiefsten Teilen ozeanischer Becken die Kontinentalmassive ansteigen, und dann sind sie den breiten Gebirgsrändern der letzteren aufgesetzt, so auf den Inselreihen Ost-Asiens und auf der langgedehnten Anschwellung der Anden. In anderen Fällen sieht man sie auf der Innenseite von Faltingsgebirgen angeordnet, teils in Linien welche einigen Parallelismus mit deren Achsen erkennen lassen, teils in einer Reihe einzelner Bruchfelder. Wieder in anderen Fällen begleiten sie Bruchzonen, welche Faltingsgebirge quer durchsetzen, oder die Ränder von Graben-versenkungen, wie bei der Jordanfurche und derjenigen des Rothen Meeres. Diese Grundlinien ihrer allgemeinen Verbreitung, zu denen noch andere kommen, lassen den Zusammenhang der Ausbrüche jungeruptiver Gesteine mit den Verschiebungen der Erdrinde erkennen, welche die gegenwärtige Konfiguration der Oberfläche derselben wesentlich bestimmt und sich in den letzten Zeitaltern ereignet haben. Auch in Betreff der Einzelverbreitung innerhalb des einen oder des anderen Erdraumes hat die genaue Untersuchung häufig einen Zusammenhang mit Dislokationen ergeben. Aber es fehlt die Erklärung, weshalb große Verschiebungen und gebirgsbildende Vorgänge hier von Ausbrüchen begleitet, dort davon frei geblieben sind. Es fehlt überhaupt noch viel um die Ursachen der Verbreitung zu verstehen.

Bei der geologischen Untersuchung jungeruptiver Gesteine an irgend einer Stelle ihres Auftretens liegt, mehr als bei den meisten anderen Gesteinen, die Gefahr nahe, sich durch die Mannigfaltigkeit der Einzelercheinungen von dem Erfassen der Verhältnisse im Großen abhalten zu lassen. Es gibt diminutive Herde der Ausbruchstätigkeit, wo auf dem Raum einiger Quadratkilometer eine Fülle verschiedener Gesteine erscheinen, jedes eine eigene Phase in der Geschichte des kleinen Ausbruchsherde darstellend und mit Besonderheiten betreffs der mineralischen Zusammensetzung, der Textur, der Absonderung und der Rolle im äußeren Aufbau ausgestattet. Einige von ihnen, welche überdies durch ihre bequeme Lage zur Untersuchung lockten, sind auf das genaueste studiert worden und haben die Petrographie um manche Einzeltypen bereichert. Aber man sollte nicht vergessen, daß an einem isolierten Herd die Ausbruchstätigkeit nicht zu der vollen und freien Entwicklung gekommen ist, wie dort, wo sie größere Erdräume umfaßt, und daß in dem kleinen Laboratorium, aus welchem ihre Erzeugnisse hervorgingen, verhältnismäßig viele kleine Nebenvorgänge, insbesondere Umschmelzungen, stattfinden konnten. Es sind daher auch die allgemeinen Gesetze der Äußerung der eruptiven Tätigkeit ihnen nicht unmittelbar zu entnehmen. Diese Gesetze sind aus der Kombination der im Großen zu beobachtenden Erscheinungen abzuleiten, und es ist dann erst in zweiter Linie zu ergründen, wie die Altersfolge der Gesteine an dem kleinen Herd und andere Besonderheiten desselben sich zu den großen und gesetzmäßigen Zügen ausgedehnter, durch dieselben Gesteine charakterisierter Erdräume verhalten. Finden Abweichungen statt, so kann man wohl von Ausnahmerscheinungen reden, aber die großen Gesetze werden damit nicht umgestoßen.

Die jungeruptiven Gesteine zeigen eine Reihe von Formen interner und externer Lagerstätten.

Die internen sind: Gänge, Lakkolithe und Lagergänge. Sie wurden früher (§ 234) besprochen.

Die externen lassen sich bezeichnen als: longitudinal, perizentrisch, periklinal und tafelförmig. Sie sind nicht streng geschieden, sondern durch Übergänge und Zwischenformen mit einander verbunden.

Longitudinal sind die Kammgebirge, welche ganz aus jung eruptiven Gesteinen aufgebaut sind, wie die siebenbürgische Hargitta und das ungarische Vihorlat-Gutin-Gebirge, deren jedes über 200 km lang ist, und das Eperi es-Tokayer-Gebirge, welches beinahe die Hälfte dieser Länge erreicht. Sie sind offenbar die Erzeugnisse von Ausbrüchen aus Spalten, deren Beziehungen zu dem Gebirgsbau in diesem Fall klar sind. Die Gesteine sind im Wesentlichen zonal angeordnet. Die Spalte selbst bildet die Längsachse für die Verbreitung derselben. In anderen Fällen sind keine so kontinuierlichen Kammgebirge entstanden, man sieht nur reihenförmig angeordnete Massen von Eruptivgesteinen; und es kommt vor, daß eine einzige, wenig ausgedehnte Masse mit einer Längsachse der alleinige Repräsentant einer Ausbruchsspalte ist.

Als perizentrisch kann man gewisse glocken- oder domförmige Massen bezeichnen, welche isoliert oder in Gruppen auftreten. Sie sind von v. Seebach „homogene Vulkane“ genannt worden. Andere betrachten sie als die inneren Kerne von Kratervulkanen, indem das Aufschüttungsmaterial durch Erosion entfernt worden sei. Sollte diese Ansicht richtig sein, so müßte man stellenweise an derartigen Glockenbergen noch Teile des Aufschüttungsmaterials finden. Von Interesse würde das Studium der inneren Struktur eines pericentrischen Glockenberges sein. Ist derselbe nicht der Kern eines früheren Vulkans hat er also nicht einen Hohlraum ausgefüllt, so muß er durch Aufquellen flüssigen Materials aus einer Öffnung entstanden sein. Dann aber muß dieses Material einen sehr hohen Grad von Zähflüssigkeit besessen haben und schnell erstarrt sein, da es sich sonst ausgebreitet haben würde. Immerhin ist es möglich, daß eine Reihe aufeinander folgender Ausbrüche durch einen zentralen Kanal, wobei das Material jedes früheren vor Beginn des nächsten verfestigt wäre, einen Kegel auf freier Oberfläche aufbauen würden. Aufschluß hierüber läßt sich erwarten, wenn man einen derartigen Berg durch Erosion angeschnitten findet, allerdings nur bei fehlender Vegetation. Auch Steinbrucharbeit kann die Untersuchung ermöglichen. Die meisten Glockenberge bestehen aus Phonolith, Trachyt oder Propylit.

Periklinal ist die Lagerung an Vulkanen. Ausbruchsmaterial und Laven gehen von einer konstanten, zuweilen auch in ihrer Lage wechselnden Vertikalachse aus und lagern sich in einem Kegelmantel um dieselbe.

Tafelförmige Lagerung ist den Basalten eigen. Der hohe Grad dünnflüssigen Zustandes, in welchem sie an die Oberfläche gelangten, spricht sich in dem Umstand aus, daß basaltische Tafelländer zuweilen hunderte von Quadratmeilen ausgedehnt sind und allenthalben aus einer scheinbar gleichartigen Überlagerung von Tafeln gleichen Gesteins bestehen. Selbst die Laven des Kilauea, welche die dünnflüssigsten der Jetztzeit sind, würden sich, wenn ein einziger Ausbruch eine hinreichende Masse derselben lieferte, nicht so weit auszubreiten vermögen, weil sie während des Fließens durch konstante Wärmeabgabe erstarren müßten. Allerdings würde, wenn vor der Erkalte eine zweite und dieser eine dritte Überflutung folgte, jede von diesen sich weiter ausbreiten als die vorhergehende; die zehnte und zwanzigste Flut könnte sich schon sehr weit ausdehnen. Aber die Aufeinanderfolge der Basaltflutungen scheint nur selten schnell gewesen, sondern vielmehr häufig durch Perioden der Bodenbildung und einer Ansiedelung von pflanzlichem und tierischem Leben unterbrochen worden zu sein. Diese Verhältnisse werden sich am besten beobachten lassen, wo Ströme in basaltischen Tafelländern (z. B. am Columbia) tief eingeschnitten sind, besonders wenn die Vegetationsdecke gering ist.

Wie der Kilauea zeigt, kann die Lagerung von basaltischen Tafeln periklinal geschehen, falls der Ausbruch aus einer zentralen Öffnung und nicht, wie es bei den großen Tafelländern anzunehmen sein dürfte, aus Spalten geschieht.

Wenn man diese verschiedenen Lagerungsformen vergleichend betrachtet, so ergibt es sich, daß man, wie schon im Eingang dieses Kapitels angegeben wurde, zwei Arten des Ausströmens der Eruptivgesteine annehmen kann, nämlich Massenausbrüche und vulkanische Ausbrüche; doch ist auch hier eine scharfe Grenze keineswegs zu ziehen.

Die bei weitem überwiegende Masse jüngerer Eruptivgesteine kam durch die ersteren zur Oberfläche. Es war ein Überströmen aus Öffnungen von Kanälen, die mit einem inneren, mit dem Magma erfüllten Behältnis kommunizierten. Die Reibungsbreccien, bei welchen Grundmasse und Fragmente im Gesteinscharakter übereinstimmen, geben, besonders in Andesit Gebirgen, durch ihre massenhafte Anhäufung Zeugnis, daß die Ausbrüche sich sporadisch wiederholten, und bei jedem späteren eine bereits erstarrte Decke zertrümmert wurde. Dies kann nicht ohne bedeutende explosive Erscheinungen geschehen sein, und manche Einlagerungen von Trümmermaterial scheinen zu beweisen, daß solche vorhanden waren. Aber sie waren nicht auf einzelne Punkte konzentriert, sondern ereigneten sich, wie es scheint, bald an dieser, bald an jener Stelle einer Spalte. Der weitaus vorwaltende Vorgang war das Emporquellen von flüssigem Magma. Die großen Kammgebirge von jungeruptiven Gesteinen, die weit ausgedehnten basaltischen Tafelländer und vermutlich auch die Glockenberge sind Erzeugnisse der Massenausbrüche; es sind diesen also die longitudinale, die perizentrische und die im Großen tafelförmige Form der Lagerung eigentümlich.

Gering an Bedeutung, trotz ihrer die Aufmerksamkeit auf sich lenkenden Rolle, sind im Verhältnis zu den vorigen die vulkanischen Ausbrüche. Die Art, in welcher sie an die Verbreitung der Massenausbrüche gebunden sind, über deren Grenzen sie nur im Sinn der Verlängerung der Spalten, oder der Stellung auf quergerichteten Spalten hinausgehen, läßt sie nur als die letzten Phasen derselben Tätigkeit erscheinen, welche sich in jenen manifestierte. Sie wurzeln in denselben Ansammlungen flüssigen Magmas in der Tiefe, aus denen jene hervorgingen. Die empordrängende Kraft aber hat sich beinahe erschöpft. Sie ist auf einzelne Stellen konzentriert und äußert sich in einem geringen Emporquellen von Magma, dagegen wesentlich in einer explosiven Tätigkeit und einer periklinalen Lagerung um die senkrechte Achse der Ausbruchsöffnung. Dies sind die charakteristischen Merkmale der vulkanischen Tätigkeit.

Selbstverständlich sind die Endstadien in verschiedenen Gegenden in sehr verschiedenen Zeiten eingetreten. Es gibt Vulkane, deren Tätigkeit sehr früh begann und bald erlosch, andere, bei denen sie sich durch lange Perioden, zum Teil bis heute, forterhielt, noch andere, deren erste Ausbrüche in einer verhältnismäßig kurz zurück liegenden Zeit stattfanden. Sie sind wie die Korallenriffe, von denen einzelne eine kurze Lebensdauer gehabt haben, andere heute noch fortwachsen, noch andere erst seit Kurzem ihre Existenz «begonnen haben. Aber ihnen scheint ein viel längerer Bestand in der Gesamtheit gesichert.

3. Altersfolge der jungeruptiven Gesteine.

[§248] Wo immer Sedimentgesteine von jüngeren Eruptivgesteinen durchsetzt werden, oder letztere von den ersteren überlagert werden, kann man, falls es gelingt das Alter der Schichtgebilde durch Versteinerungen festzustellen, auch das relative Alter der Eruptivgesteine zu denselben bestimmen. Wichtiger ist es, Tuffablagerungen zu finden, deren Bildung mit gewissen

Eruptivgesteinen gleichzeitig erfolgte. Sind sie untermeerisch abgesetzt, so enthalten sie häufig Reste einer Meeresfauna; sind sie in Süßwasser niedergeschlagen, so kommen nicht selten Blätter oder Stämme von Landpflanzen, Gehäuse von Landschnecken, Knochen und Zähne von Wirbeltieren in ihnen vor.

Eine andere Aufgabe ist es, das gegenseitige Altersverhältnis der einzelnen Arten jung eruptiver Gesteine in verschiedenen Gegenden festzustellen. Wo deren mehrere vorkommen, erkennt man es: 1) an der Überlagerung einer Gesteinsart durch eine andere, z. B. der Abhänge eines Andesitgebirges durch Ströme von Rhyolith, oder einer trachytischen Masse durch eine Basaltdecke, wobei das überlagernde Gestein das jüngere ist; 2) an den Gängen, in welchen ein Gestein durch das andere aufsteigt, indem das letztere fest gewesen sein muß, als die Gangmasse hindurch gepreßt wurde; 3) an Einschlüssen von Bruchstücken einer Gesteinsart in homogener Masse einer anderen, wobei die Bruchstücke der älteren angehören; 4) an der gegenseitigen Überlagerung verschieden zusammengesetzter Tuffgesteine, welche sich zur Zeit der einzelnen Ausbrüche unter Wasser absetzten. Wenn z. B. weißer Tuff von langfaserigem Bimsstein, wie er aus Rhyolithsubstanz gebildet wird, auf dunklen Tuffschichten von Andesitsubstanz liegt, so ist ersteres Gestein jünger als das letztere.

Das Fehlen von Datierungsmöglichkeiten von magmatischen, hier vulkanischen Gesteinen führte zur Idee der zeitlichen – petrographischen Korrelationen, welche später so nicht aufrechterhalten werden konnte. Dieses spiegelte sich auch oftmals in der Benennung wider: Quarzporphyr für paläozoische Rhyolithe zum Beispiel.

Die Frage nach den Altersverhältnissen ist von rein örtlichem Wert bei den Lavaströmen der Vulkane. Sie sind bei diesen verhältnismäßig leicht zu bestimmen, und dies sollte so oft als möglich geschehen, da die Eruptionsgeschichte jedes Kegels ihr Interesse hat, und ein umfassendes Vergleichungsmaterial doch vielleicht einmal Schlußfolgerungen von allgemeinerem Wert gestatten wird. Ebenso ist die relative Altersfolge an den oben angedeuteten isolierten und diminutiven Herden von Massenausbrüchen von durchaus lokalem Interesse. Bedeutung erhält die Frage nur dann, wenn sie von großem Gesichtspunkt für die Gesamtheit der Massenausbrüche eines durch Reichtum an verschiedenen Gesteinsarten charakterisierten ausgedehnten Erdräumens ins Auge gefaßt wird, und wenn die in verschiedenen solchen Erdräumen gewonnenen Ergebnisse vergleichend betrachtet werden.

Der ausgedehnteste Schauplatz tertiärer Ausbruchstätigkeit auf den Kontinenten überhaupt ist die von dem Felsengebirge und der Sierra Nevada eingeschlossene Region; der bedeutendste in Europa liegt am Südrand der Karpaten. In beiden weit getrennten Erdräumen hat sich für die Massenausbrüche hinsichtlich des Alters die konstante Reihenfolge:

- 1) Propylit,
- 2) Andesit,
- 3) Trachyt,
- 3) Rhyolith,
- 5) Basalt herausgestellt.

Auf amerikanischem Boden wurde dem Gegenstand durch die vortrefflichen Untersuchungen von Clarence King, Arnold Hague, C. E. Dutton, G. K. Gilbert, F. V. Hayden und Andere die eingehendste Aufmerksamkeit gewidmet, und es ist trotz der unvergleichlich klaren Aufschlüsse, welche dort der Wüstencharakter veranlaßt, nicht gelungen, einen einzigen nennenswerten Ausnahmefall nachzuweisen. Ein Vorbehalt ist nur noch betreffs des Propylites bis zur endgültigen Erledigung der Frage seiner Selbständigkeit zu machen. Doch bilden nach den vorherigen Auseinandersetzungen gerade die Altersverhältnisse ein Hauptargument für dieselbe, neben seinem petrographischen Charakter.

Diesem ersten bemerkenswerten Gesetz ist ein zweites hinzuzufügen, welchem schon auf Grund der bis jetzt zur Vergleichung vorliegenden Untersuchungen eine allgemeinere Gültigkeit zugeschrieben werden kann. Es bestehen nämlich in jedem durch reichhaltige und mannigfaltige Vertretung jungeruptiver Gesteine ausgezeichneten großen Erdraum zwei Epochen der Entstehung der Eruptionsspalten. Denjenigen der ersten entströmten nach einander; Propylit, Andesit, Trachyt und Rhyolith, denjenigen der zweiten ausschließlich Basalte. Die Ausbruchstätigkeit war in beiderlei Gebieten selbständig.

Während die vier erstgenannten Gesteine an einander gebunden sind, treten die Basalte insofern selbständig auf, als sie ihr eigenes Verbreitungsgebiet haben. Sie finden sich zum Teil mit jenen zusammen; aber sie setzen deren Züge weit über deren alte Grenzen hinaus 'fort, verbinden durch sporadisches Erscheinen in der Längsrichtung deren getrennte Eruptionsgebiete und geben zugleich den letzteren eine viel größere seitliche Ausbreitung, indem sie in rechtwinkeligem Abstand von den älteren Ausbruchszügen bis zu größerer Entfernung allein noch auftreten. Durch den Überflutungscharakter machen sich die Basalte besonders bemerkbar. Sie übertreffen die anderen unter den jung eruptiven Gesteinen nicht nur durch die große Zahl ihrer Ausbruchsstellen, sondern auch durch die räumliche Ausdehnung, welche sie auf der Erdoberfläche einnehmen.

Angesichts der beiden angeführten Gesetzmäßigkeiten gewinnen die Untersuchungen über die Altersverhältnisse der Massenausbrüche in solchen Gegenden, von denen sichere Nachrichten noch nicht vorliegen, ein besonderes Interesse. Es gibt einzelne sehr mächtige Vulkane, (wie der erloschene Lassens Peak in Kalifornien), wo die Altersfolge sich vom Andesit bis zum Basalt gerade so wiederholt, wie sie in den Massenausbrüchen stattfindet. Auch auf sie ist daher von dem gleichen Gesichtspunkt, im Unterschied von kleineren Vulkanen, Rücksicht zu nehmen. Unter den Problemen, welche sich darbieten, kann das Verhältnis gewisser basischer Gesteine bezeichnet werden, welche vor Eröffnung der gesetzmäßigen tertiären Ausbruchstätigkeit an die Oberfläche gelangten, wie z. B. der „Trapp“, welcher in Vorder-Indien ein Tafelland von außerordentlicher Ausdehnung und Mächtigkeit zusammensetzt. Seine Ausbruchszeit, wird an das Ende der Kreide-Epoche gesetzt. Besonders erwünscht sind genaue Untersuchungen über die jüngeren Ausbruchsgesteine in den südamerikanischen Anden. Die grünen Porphyre, welche von Chile bis Ecuador eine wesentliche Rolle im Aufbau der westlichen Cordillere spielen, entsprechen im Gesteinscharakter den Propyliten. Die großen Tuffmassen, von denen sie begleitet sind, erweisen eine externe und vielleicht untermeerische ursprüngliche Ablagerung. Sie scheinen dem letzten Teil der Jura-Epoche und vielleicht dem Anfang der Kreide Epoche anzugehören; und dennoch folgen auf ihnen Andesite und außerordentlich mächtige Rhyolithe, und die eruptive Tätigkeit setzt in den Riesenvulkanen der heutigen Zeit fort. Es hat den Anschein, als ob hier der Anfang der Ausbruchstätigkeit in eine frühere Zeit zurückreiche als in anderen Erdräumen, die in der Reihenfolge der Gesteine begründete Entwicklung aber die nämliche gewesen sei; doch gestattet der geringe Grad der Kenntnis über jene Gegenden nicht, diesen Schluß mit Sicherheit zu ziehen.

Es möge genügen, hier auf die Tatsache des Vorhandenseins der genannten Altersbeziehungen in einigen durch jungeruptive Gesteine in außergewöhnlichem Maße charakterisierten Erdräumen, hinzuweisen und die Aufmerksamkeit der Reisenden auf die eigentümliche Gesetzmäßigkeit zu lenken. Es liegt nahe, an dieselbe, wie es mehrfach versucht worden ist, Theorien über die Modalität der Ausbruchstätigkeit und des Vulkanismus überhaupt zu knüpfen. Da jedoch dieselben noch vielfach in dem Bereich der Hypothese befangen sind, die Beobachtung auf

Reisen aber sich auf das Tatsächliche beschränken muß, so erscheint es richtiger, das spekulative Gebiet hier nicht zu betreten.

4. Untersuchung eines Vulkans.

[§249] Jeder Vulkan bildet, im Gegensatz zu seinen Umgebungen, § 249. wie zu anderen Vulkanen, ein individualisiertes Ganzes und eignet sich dadurch zu einem gesonderten Studienobjekt. Die Untersuchung gewinnt an Interesse, wenn die Vorgänge der Neugestaltung durch vulkanische Tätigkeit noch fort dauern. Bei erloschenen Vulkanen hat man aus der Beschaffenheit und der Art der Zusammenfügung des Materials die ehemaligen Vorgänge zu ergründen. Es kommen dabei eine Reihe von Gesichtspunkten in Betracht.

a. Unterlage und Umgebung.

Ein Vulkan besteht aus Aufschüttungsmassen. Dieselben ruhen auf einem von ihm selbst verschiedenen Fußgestell.

Berühren sich die Aufschüttungen mehrerer Vulkane, so bleibt dieses in größerer Erstreckung verborgen; erst an den äußersten Grenzen der Kegel kommt es zum Vorschein, doch wird es zuweilen durch Erosion eines Teiles der Aufschüttung bloßgelegt. Das Fußgestell kann ein jungeruptives Gebirge, der Vulkan dem Kamm oder den Flanken desselben aufgesetzt sein (z. B. Rhyolithvulkane auf Andesitgebirgen in Ungarn); zuweilen erhebt er sich aus einer Einsenkung innerhalb des vulkanischen Gebirges. In anderen Fällen besteht die Unterlage aus Tuffen (z. B. in Satsuma, Japan, aus Bimssteintuffen, welche Basaltvulkane tragen); oder sie kann ein Vulkan selbst sein. In diesem Fall ist entweder der jüngere Vulkan ein Schmarotzer, welcher den Flanken des älteren aufsitzt und in dessen noch erhitzten, in seitliche Spalten eingedrungenen Lavamassen wurzelt; oder die Ausbruchsstelle des aus tieferen Regionen nach oben führenden Hauptkanals hat ihre Lage gewechselt, und ein neuer hoher Vulkan erhebt sich exzentrisch über dem halbzerstörten Kegel eines älteren. Häufig ist jedoch älteres vulkanisches Gestein überhaupt nicht nachweisbar; der Kegel ruht auf kristallinen Schiefen oder Flözgebirge. Der Bau der Unterlage kann also sehr mannigfaltig sein. Ihre sichtbaren Teile werden zuweilen durch Auswürflinge fremden Gesteins ergänzt.

Manche Kegel sitzen der Unterlage unvermittelt auf. Sie ist dann klar erkennbar, falls nicht die Auswurfsmassen nach außen in Tuffschichten übergehen, welche jene bedecken. Ist sie sichtbar, so sollte man untersuchen, ob merkbare Verwerfungen und Zerklüftungen mit der Entstehung des Vulkans verbunden gewesen sind. Andere Vulkane hingegen, und darunter viele der größten, erheben sich aus einem Einbruchskessel. Ein solcher Kegel ist in weiterem Umkreis von einem ringförmigen, meist nicht allseitig geschlossenen, nach innen gerichteten Steilabbruch umgeben, an welchem die verschiedensten, das angrenzende Land zusammensetzenden Gesteine (vulkanisches Tuffland, kristallinische Schiefer, Flözgebirge) entblößt sind. Ihre Lagerung hat keinen erkennbaren Zusammenhang mit den Grenzlinien der Versenkung. Der Ätna und der Fudjiyama erheben sich aus solchen Trichterkesseleln; ihre Lavaströme finden die äußerste Grenze an den Umfassungswänden; bis zu diesen reicht das reichbevölkerte Gartenland, welches sich

auf dem flachen Fuß des Kegels ausbreitet. Es gibt andere Fälle, in denen Vulkane aus der Querversenkung eines Gebirges aufsteigen. Aus einem derartigen Einbruch erheben sich der Lassen Peak und Mount Shasta in Kalifornien.

Nicht immer ist das Verhältnis so einfach und so deutlich erkennbar. Da aber die Herstellung eines Kanals, welcher den Herd des Vulkanismus im Erdinneren mit der Oberfläche verbindet, stets das Ergebnis gewaltiger mechanischer Vorgänge gewesen ist, so wird es an Spuren der letzteren niemals fehlen. Das Augenmerk ist daher in allen Fällen auf das Verhältnis der Vulkane zu dem Gebirgsbau zu richten.

b. Verhältnis zu anderen Vulkanen.

Zuweilen tritt ein Vulkan so isoliert auf, daß das Verhältnis zu anderen, die sich in größerer Entfernung befinden, erst nach genauer Erforschung der ganzen zwischen beiden gelegenen Gegend erkannt werden kann. Weit öfter sind mehrere einander nahe benachbart, und dann sind sie meist teilweise, öfters sämtlich auch schon erloschen. Ihre Niederlegung auf einer Karte zeigt bald, daß sie nicht regellos angeordnet sind, sondern ein Gesetz der Verteilung erkennen lassen. Selten kann man schon von dem Gipfel eines Vulkans aus die vollkommen geradlinige Anordnung anderer erkennen, wie in dem ausgezeichneten Fall der Kegelreihe: Kirischima, Sakurashima, Kaimon - Dake und Iwogashima auf der japanischen Insel Kiu-schiu, zu denen noch weiter nördlich der Aso-yama gehört, während andere Vulkane, wie der Unsen-yama, auf Linien stehen, welche zu der ganz geraden Hauptlinie quer gerichtet sind. Häufiger findet sich eine Anordnung in leicht gekrümmter Bogenlinie. Auch dann ist auf die quergestellten Vulkane zu achten. Von besonderem Interesse ist es, festzusetzen, ob die Herde der Ausbruchstätigkeit stetig gewesen oder gewandert sind, und im letzteren Fall, ob die Wanderung entlang der Hauptlinie, oder auf den quergestellten Linien erfolgt ist. Findet sie auf den Querlinien eines Bogens statt, so haben diese eine radiale Anordnung, und es ist festzustellen, ob die Wanderung gegen das Centrum hin, oder von ihm hinweg geschah.

Dies ist der formale, auf die großen Züge der Tektonik bezügliche Gesichtspunkt. Es bieten sich zahlreiche andere Momente für die vergleichende Betrachtung benachbarter, oder zu einem und demselben Gebirgszug analog gestellter Vulkane. Dahin gehören die Beziehungen zwischen ihrer beiderseitigen Ausbruchstätigkeit und ihrer aus den Ausbruchsmassen erkennbaren früheren Entwicklungsgeschichte.

c. Äußere Gestalt und Zusammensetzung einfacher Vulkane.

Zertrümmertes Gestein und zerspritztes oder zerstäubtes Magma, das aus dem Krater ausgeworfen wurde und durch sein Niederfallen aus der Luft einen Kegel um den Schlot, herum anhäufte, dazu Ströme von Lava, welche von einer Ausbruchsstelle an den Flanken oder auf dem Gipfel radial auf dem Kegelmantel hinabflossen, setzen einen Vulkan zusammen. Zuweilen sind die Produkte der explosiven Tätigkeit allein, ohne Spur von Lavaerguß, vorhanden; zuweilen ist die Lava weitaus vorherrschend; für sich allein setzt sie einen Vulkan nicht zusammen. Der explosive Charakter wenigstens eines Teiles der Ausbrüche gehört zu dem Wesen desselben. Von

den sogenannten homogenen Vulkanen war oben (S. 569) die Rede. Dieser Name kann nicht als glücklich gewählt bezeichnet werden, da die betreffenden glockenförmigen Kuppen der wesentlichen Charakterzüge eigentlicher Vulkane ermangeln.

Bei dem Niederfallen häuft sich das gröbste Material dem Krater zunächst an und bildet um ihn einen Aufschüttungskegel von großen Blöcken. Der Neigungswinkel hat hier sein Maximum. Er kann 34 Grad nicht übersteigen, beträgt aber meist nicht mehr als 30 bis 28 Grad. Fände die Aufschüttung nur an dieser Stelle statt, so würde der Kegel dieselbe Neigung bis gegen den Fuß hin haben. Allein das Material von der nächst kleineren Blockgröße wird allseitig etwas weiter nach auswärts geschleudert; und in derselben Folge wird jede geringere Korngröße nach einer weiter auswärts gelegenen Zone getragen. Daher wird in jeder von diesen die Neigung geringer; sie nimmt erst schnell ab auf 20°, 15° und 10°; dann immer langsamer, bis sie in der den Fuß des Kegels bildenden Zone nur noch 2° bis 1° beträgt; die letzte Zone, in welcher zerstäubtes Material sich vollkommen horizontal ablagert, ist unendlich ausgedehnt und gehört nicht mehr dem Vulkan an. Die Ablagerungsform ist derjenigen der Schutthalden in Seen (§ 84) durchaus analog. Während aber hier die Kurven verschiedener Schuttkegel in ihren steilen Teilen am weitesten von einander abstehen und in ihren horizontalen Teilen sich mit einander verbinden, haben sie bei Vulkanen die entgegengesetzte Stellung; denn das normale Profil eines Vulkans besteht aus zwei am Gipfel mit ungefähr 30° Neigung beginnenden Linien, die sich in leichter konkaver Krümmung nach entgegengesetzten Seiten herabsenken, bis sie beinahe horizontal werden. Diese Gestalt wird jedoch zunächst durch Luftströmungen modifiziert, welche auf die Ablagerung der groben Blöcke keinen merklichen Einfluß haben, dagegen mit zunehmender Feinheit des Kornes das Vorherrschen der Ablagerung in einer bestimmten Richtung zur Folge haben. Sind sie konstant, so ziehen sie den Kegel in den tieferen Teilen gewissermaßen nach einer Richtung aus; je mehr sie wechseln, desto weniger werden sie die Endgestalt ändern. Die Winde haben somit dieselbe Funktion, wie die Meeresströmungen bei der Gestaltung der Kegel der untermeerischen Teile von Korallenriffen (§ 183) und Vulkanen (§ 187).

Im höheren Grade greifen die Lavaströme differenzierend in die Gestaltung ein. Die älteren sind von den jüngeren Auswurfstoffen erst überwölbt und dann von ihnen vergraben worden. Da aber die Mächtigkeit einer Auswurfsschicht im großen Durchschnitt vom Zentrum nach der Peripherie abnimmt, so sind die dem ersten näher gelegenen Teile früher und höher verdeckt als die entfernteren, die als lange Hügelzüge aufragen, sich gegen den Ringwall, falls ein solcher vorhanden ist, stauen, dem Boden der vom Vulkan ausgehenden Flußtäler weit über die Kegelhänge hinaus folgen, die Gewässer ableiten und diejenigen von Nebentälern zu Seen aufstauen. Wo zwei Lavaströme an einander kommen, läßt sich ihr gegenseitiges Altersverhältnis leicht festsetzen; sind sie räumlich getrennt, so ist dieses schwer zu bestimmen. Die Gestalt der Lavaströme ändert sich sehr nach dem Flüssigkeitsgrad, den die geschmolzene Masse bei ihrem Austritt hatte. Besonders zähflüssig waren solche rhyolitische Laven, welche grobkristallinisch (zu Nevadit) erstarrt sind. Die Enden ihrer Ströme sind hoch und steil, diese selbst hoch gewölbt. Das Extrem von Leichtflüssigkeit zeigen, wie erwähnt, die basaltischen Laven, die sich in flachen Decken ausgebreitet und, gleich einer Wasserschicht, die aufragenden Teile des Bodenreliefs umströmt haben. Bei manchen Lavaströmen hat nach Erstarrung der äußeren Rinde das Innere am unteren Ende einen Ausweg gefunden und ist fortgeströmt, so daß jene Rinde als eine feste Hülle zurückblieb. Auch wo dies nicht der Fall ist, sollte man, falls zufällige Aufschlüsse es gestatten, die inneren und die äußeren Teile der Lavamasse getrennt untersuchen. In jenen ist das Gestein meist kompakt, in diesen blasig aufgetrieben.

Ein anderes gestaltendes Moment sind die Schlammströme, auf deren Entstehungsart bereits hingewiesen wurde. Sie wälzen sich an den Gehängen breit hinab und reißen die Aschenteile der äußersten Kegelhülle mit sich, um die unteren, flachen Regionen der letzteren mit ihren Fluten von Gesteinsmaterial zu bedecken, oder, indem sie in Tälern hinabströmen, lange Ausläufer von dem Vulkan aus zu bilden. An den Gehängen der Sierra Nevada in Kalifornien sind sie in größartigstem Maßstab entwickelt und durch spätere Erosion deutlich aufgeschlossen.

Ferner ist der kleinen Schmarotzerkegel zu gedenken, welche in einer Zone unterhalb der halben Kegelhöhe auftreten und bei manchen Vulkanen in Menge vorhanden sind. Jeder von ihnen ist ein kleiner Vulkan mit Aschenauswürfen, und häufig mit einem Lavastrom. Bei ihnen tritt in der Regel der Lavastrom aus einer von ihm selbst geöffneten Bresche im Kraterwall heraus. Hufeisenförmige Kraterwälle sind daher häufige Erscheinungen. Das Aufwerfen dieser kleinen Schmarotzerkegel ist zuweilen das Werk weniger Tage; dann ist die Quelle der Eruptionskraft erschöpft.

Die Gestalt der Vulkane erleidet ferner Veränderungen durch fließende Gewässer. Je vollkommener die Kegelform ist, desto ausgezeichneter ist die Anordnung der von ihnen gegrabenen radialen Rillen. Sie mehren sich nach unten an Zahl. Jede von ihnen hat ihren Sammeltrichter, der oft die vollendete Form eines Kares mit steilen Wänden hat, ihre Erosionsstrecke und ihr Ablagerungsgebiet, in welchem die Anordnung eines Schuttkegels stattfindet (s. § 83). Dort ist Entwässerung, hier Bewässerung. Bei Kesselumwallung münden die Gewässer in Bäche, die der Peripherie für eine Strecke folgen, um dann durch eine Lücke in der Umwallung, oder durch eine Erosionsfurche zu entweichen. — Da in regenreichen Gegenden die spülende Wirkung an den Gehängen bedeutend ist, während bei trockenem Klima die niederfallenden lockeren Stoffe allein die Form bestimmen, so sollte die Profilkurve der Gehänge in beiden Fällen verschieden sein. Dies kann nur durch sorgfältige Messungen festgestellt werden.

d. Zusammengesetzte Vulkankegel.

Schon die Schmarotzerkegel verursachen eine Komplikation der Gestalt. In weit größerem Maßstab manifestiert sich diese, wenn aus einem breit abgestutzten Kegel ein zweiter, gewöhnlich etwas exzentrisch, sich erhebt. Dies ist bekanntlich der Fall bei den meisten großen erloschenen und tätigen Vulkanen. In dem abgestutzten Teil findet sich dann gewöhnlich in der ganzen Ausdehnung zwischen den oberen Rändern seines Kegelmantels eine tiefe Versenkung, deren Umwallung von jenen Rändern an steil nach innen abstürzt. Der jüngere, innere Kegel steigt aus ihr auf und füllt sie ganz oder teilweise aus. Es bleibt eine ringförmige Rinne, das Atrium, zwischen seinen sanften Abfällen und den Steilabstürzen des Ringwalles. Beide Kegel stellen zwei, zuweilen der Zeit nach weit von einander entlegene, durch eine gewaltige Katastrophe getrennte Phasen der Geschichte des Vulkans dar. Es ist von Interesse, in solchen Fällen ein genaues, durch viele Höhenmessungen gestütztes kartographisches Bild des letzteren zu entwerfen und die Untersuchung des Materials an möglichst vielen, auf der Karte anzugebenden Stellen auszuführen. Der Betrag der fortgeführten Masse läßt sich annähernd berechnen, wenn man die Größe der Grundfläche des fehlenden Teils und die Neigungswinkel der Abfälle des stehen gebliebenen in Betracht zieht.

Besondere Aufmerksamkeit sollte der Frage zugewendet werden, in welcher Weise die Abstützung des älteren, als Basis dienenden Vulkans erfolgt ist. Es sind dafür drei Theorien aufgestellt worden. Nachher einen soll Erosion allein, nach der zweiten Explosion, nach der dritten Einbruch

die Erscheinung erklären. Es scheint, daß jede von ihnen in einzelnen Fällen ihre Berechtigung hat.

Der Erosion leisten die lockeren vulkanischen Anhäufungen geringen Widerstand. Wenn ein Sammeltrichter sich in Folge günstiger Bedingungen stärker vergrößert hat als sein Nachbar, so schreitet die fernere Erweiterung der Vertiefung rasch fort. Es bilden sich große, von steilen Wänden umragte Kessel (Calderas), welche ihre Gewässer mit allen von ihnen mitgenommenen Zerstörungsprodukten durch einen einzigen engen Erosionskanal (Baranco) nach außen senden. In diesem Kessel kann ein neuer Vulkan aufsteigen. — Eine Fortführung von Material von ähnlichem Betrag, wie sie sich hier in einem langen Zeitraum allmählich vollzieht, kann durch Explosion mit großer Schnelligkeit geschehen. Den auffälligsten Beweis gab diejenige, welche die Gestalt des Krakatau so wesentlich verändert hat. Doch sind sie auch früher von Java beschrieben worden, und man kennt ihre sicheren Spuren an vielen Maaren. Wahrscheinlich ist die Explosion darauf zurückzuführen, daß das in dem Magma eingeschlossene überhitzte Wasser, zu Folge einer durch die Überwindung der stetig anwachsenden Spannung veranlaßten, von dem Magma zur Oberfläche reichenden Aufspaltung, plötzlich unter geringen Druck kommt, sich in demselben Augenblick innerhalb der am günstigsten gelegenen Schicht in Dampf verwandelt und mit der es umschließenden flüssigen Masse herausgeschleudert wird, dadurch die zunächst tiefer liegenden Schichten entlastet werden, derselbe Vorgang sich in ihnen wiederholt, und in dieser Weise Entlastung und Explosion nach immer tiefer liegenden Teilen fortschreiten. Selbstverständlich ist der ganze Vorgang das Werk eines sehr kleinen Zeittheiles. Das Magma wird in demselben Moment zu Bimsstein aufgebläht und theils in Stücken, theils in feinsten Zerstäubung in große Höhen der Atmosphäre geschleudert. Die größeren Stücke fallen nieder, die feinen werden von den Luftströmungen fortgetragen. Die angegebene Ursache kann nur als wahrscheinlich bezeichnet werden. Tatsachen sind: die Explosion, die Zerstückelung, und die Absprengung des oberen Theiles des vormaligen Kegels. Es bleibt nur dessen unterer Teil zurück. In das Innere des an Stelle des Kraters entstandenen weit geöffneten Beckens hat nach derartigen Ereignissen noch kein Beobachter geblickt. Wahrscheinlich ist das Absprengen häufig eine Ursache der Abstützung großer vulkanischer Kegel gewesen. Die ungeheuren Trümmersmassen, welche in den Umgebungen abgelagert werden, sind meist von den darauf folgenden Aschenausbrüchen verdeckt. — Als dritte Ursache ist der Einbruch zu bezeichnen. Kesselförmige, häufig mit Seen ausgefüllte Versenkungen sind, wie früher (§ 120) bemerkt wurde, eine oft zu beobachtende Erscheinung in vulkanischen Gegenden. Sind sie von einem Kranz ausgeworfener Massen umgeben, so sind sie durch Explosion zu erklären; fehlt jede Spur von Auswürflingen, so kann nur eine Versenkung zu Grunde liegen. Dies gilt z. B. für die Kessel, aus denen sich, wie vorher angegeben, einzelne Vulkane selbst erheben. Auf der Höhe ihrer Umwallungen sucht man vergeblich nach den Trümmern der verschwundenen Gesteine; die letzteren können nur in die Tiefe hinabgesunken sein. Wenn aber dieser Vorgang überhaupt in vulkanischen Gegenden vorkommt, so darf man ihn von vorn herein in erster Linie unter einem Auswurfskegel erwarten, da nach beendeter Eruptionstätigkeit die im Inneren befindlichen Lavamassen durch Erkaltung sich zu einem kleineren Volumen zusammenziehen müssen, wenn auch wohl in jedem einzelnen Teil derselben der Vorgang auf kurze Zeit durch Volumenvermehrung bei der Kristallisation unterbrochen wird. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß Versenkung die häufigste Ursache der Abstützung des älteren Theiles zusammengesetzter Vulkankegel ist.

e. Ausbruchstätigkeit.

Bei einem Vulkan, dessen Tätigkeit man beobachten will, sollten Gestalt des Berges und des Kraters genau bekannt sein, ebenso die bereits geschehenen Veränderungen Beider. Tritt ein Ausbruch ein, so sind zu beachten: die denselben häufig vorbereitenden Erderschütterungen, ihre Ausdehnung, die Art ihrer Fortbewegung und, wo möglich, ihr Zentrum; die zur Zeit obwaltenden meteorologischen Verhältnisse, besonders der Luftdruck; Sitz und Art der Gas- und Dampf-Exhalationen; Schmelzen des Schnees; Versiegen von Brunnen u. s. w. Steigern sich diese gewöhnlichen Vorläufer der Ausbrüche allmählich, oder beginnen die letzteren plötzlich? In welcher Weise geschieht der erste Ausbruch? Findet eine plötzliche Explosion statt? Ein Maß für die Stärke derselben gibt sich zu erkennen: in dem Grad der Veränderung der Gestalt und Größe der Kraters; in der Höhe, bis zu welcher die Trümmer im Verhältnis zu ihrer Größe geschleudert werden; in der Entfernung vom Centrum, in welcher Fragmente von einer gewissen Größe noch niederfallen. Es sind dann die Häufigkeit und Stärke der folgenden Explosionen, die Entfernung bis zu welcher die feine Asche getragen wird, die weiteren Veränderungen des Kraters, die Bildung seitlicher Spalten, durch welche Dampf entweicht, zu beobachten. Die ausgeschleuderten Trümmer sind mit Rücksicht auf ihre Größe und Gestalt, ihre Anordnung beim Herniederfallen, ihre Gesteinsart und ihre Textur zu untersuchen; sind diejenigen des ersten Ausbruchs gleichartig mit denen späterer Explosionen? Die entweichenden Gase sollten, wo möglich, an Ort und Stelle geprüft werden, falls man Gelegenheit hat, dies an verschiedenen Gasausströmungsstellen auszuführen und an einzelnen Stellen mehrfach in Zwischenräumen zu wiederholen. Untersuchungen hierüber sind schwierig und können nur von Denen unternommen werden, welche, mit den betreffenden Methoden vertraut und den erforderlichen Apparaten ausgerüstet, dieses Ziel im Besonderen verfolgen. Aus den bisherigen Forschungen, um welche sich vorzüglich Deville, Bunsen und Fouque verdient gemacht haben, hat sich ergeben, daß die einem tätigen Vulkan entströmenden Gase, abgesehen von dem weitaus vorwaltenden Wasserdampf, an solchen Stellen, wo die Temperatur etwas über 500°C. beträgt, aus Chlorüren von Natrium, Kalium, Mangan, Eisen und Kupfer, an etwas weniger heißen Stellen (bei Temperaturen zwischen 300 und 400 °) aus Chlorwasserstoff und schwefeliger Säure, an solchen von etwas über 100° C. aus Chlorammonium und Chlorwasserstoff, an solchen von ziemlich genau 100° aus Kohlensäure und Schwefelwasserstoff bestehen, während in noch weiteren Abständen von dem Herd der größten Hitze, bei niederen Temperaturgraden, Kohlensäure allein entweicht. Es ist wahrscheinlich, daß in den Gasen der unnahbaren zentralen Herde auch Fluorverbindungen eine wesentliche Rolle unter den Emanationen spielen. Dies wird sich nur aus den Sublimationsprodukten erweisen lassen. Man trifft die letzteren als Auskleidungen von Spalten und Rissen an abgekühlten Stellen an. Sie besitzen mineralogisches Interesse an sich, sind aber besonders wichtig als Zeugen solcher Vorgänge, welche sich der unmittelbaren Beobachtung entziehen.

Bei Lavaströmen sind zu beobachten: der Ursprungsort; die Art der Öffnung des ersten Kanals; der Querschnitt des Stromes an einzelnen Stellen; der Grad der Zäh- oder Leichtflüssigkeit; die Natur der von der Oberfläche der Lava aufsteigenden Dämpfe und Gase; das Maß der Geschwindigkeit, mit der der Strom an einzelnen Stellen hinabfließt; der Grad der fortschreitenden Abkühlung und Erstarrung; endlich die Art des daraus hervorgehenden Gesteins. In letzterer Hinsicht ist zu beachten, ob einzelne Mineralien vor dem Festwerden in größeren Kristallen ausgeschieden gewesen und bei dem Fortschieben der Masse zerrissen und zerborsten worden sind.

Tritt nach einer Periode der Tätigkeit der Vulkan in den Ruhestand zurück, so sollte Aufmerksamkeit auf die Frage gerichtet werden, ob ein Zurücksinken des Kraters und seiner Umgebungen stattfindet.

Um an tätigen Vulkanen nützliche Beobachtungen anzustellen, bedarf man längerer Zeit, oder muß häufiger an denselben Ort zurückkehren. Sie sind daher besonders Solchen zu empfehlen, welche in der Nähe leben. Der Reisende kann den eigenen längeren Aufenthalt einigermaßen durch das Einziehen von Erkundigungen ersetzen und sollte möglichst viele Tatsachen über die Geschichte eines als tätig erkannten Vulkans festzustellen suchen.

5. Allgemeine Beobachtungen in vulkanischen Gegenden.

[§250] Eine Fülle verschiedenartiger Beobachtungen lassen sich an die Umgebungen tätiger Vulkane und der Ausbruchsstellen jüngerer Eruptivgesteine überhaupt knüpfen. Es möge hier nur auf einige der leichter anzustellenden hingewiesen werden.

a. Ausströmen von Dämpfen, heißem Wasser und Gasen.

Teils unmittelbar mit tätigen oder erloschenen Vulkanen verbunden, teils in ihrem Umkreis, aber nur bis zu geringer Entfernung, begegnet man Erscheinungen, welche mit dem Vorhandensein von Sitzen hoher Wärme unter verschiedenen Stellen der Oberfläche, sowie mit mechanischen Vorgängen in der Tiefe in ersichtlichem Zusammenhang stehen. Wärme und Arbeit des im Gefolge eruptiver Tätigkeit dort vorhandenen Laboratoriums werden zum Teil durch Vermittlung des Wassers nach der Erdoberfläche übertragen. Hochoverhitztes Wasser strömt mit mancherlei Gasen beladen aus und gibt durch meist bedeutenden Gehalt an gelösten mineralischen Stoffen Zeugnis von den Angriffen auf Gesteinsmassen, welche es an dem Ort, von dem es kommt, oder auf seinem Wege ausgeübt hat. Seltener entweichen Gase allein ohne Vermittlung des Wassers.

In der Art dieser Tätigkeit gibt es eine lange Reihe qualitativer und quantitativer Abstufungen. Diejenigen Schauplätze, wo sie am intensivsten ist, werden Solfataren genannt. Bald strömt Wasserdampf mit großer Heftigkeit aus; bald brodeln kochendes Wasser in starken Quellen. Unter den am Geruch erkennbaren Gasen sind Schwefelwasserstoff und schwefelige Säure bezeichnend. Wahrscheinlich ist nur das erstere ursprünglich vorhanden und wird zum Teil in das letztere durch Oxydation verwandelt. Chlorwasserstoff scheint ein sehr seltener Bestandteil zu sein. Die Gesteine werden jedenfalls entlang den Wegen der Dämpfe heftig angegriffen, besonders aber in den der Oberfläche zunächst gelegenen Teilen stark zersetzt; es bilden sich Ansammlungen von Schlamm, als dem Rückstand der Zersetzung, welcher selbst ein brodelnder Pfuhl wird. In ihm setzt sich häufig Schwefel ab. Derselbe kann sich zu bedeutenden Lagerstätten häufen, die, wie bei Girgenti, nach Erlöschen der Solfatarentätigkeit abbauwürdig werden. Auch Gips und Alaun werden gebildet. Weiße, giftig gelbe, orangerote und braune Farben herrschen in dem zerfressenen Gestein; der Schlamm pflegt hellgrau zu sein.

Krater im Zustand der Ruhe bewahren durch lange Zeit die Tätigkeit von Solfataren. Außerdem finden sich diese sporadisch zerstreut in Kesseln und Spalten, sowie an den Gehängen vulkanischer Gebirge, manchmal unmittelbar von üppigster tropischer Vegetation umgeben. Man trifft sie auch in anderen Gesteinen der Umgebungen. Die Einwirkung ist besonders intensiv in

vulkanischem Trümmergestein, wo das lockere Bindemittel dem unter Hindernissen durchbrechenden Wasserdampf tausend feine Kanäle anweist. Der Besuch solcher Stellen ist dem Reisenden zu empfehlen, da ihre Beobachtung ein Verständnis für eine wichtige Klasse vulkanischer Vorgänge und für eine Art von Zersetzungsprozessen gibt, deren leicht wieder zu erkennenden Produkten man häufig an Orten, wo längst jede Spur fortdauernder Tätigkeit aufgehört hat, begegnet. Man findet sie nicht nur in den aus jüngeren Eruptivgesteinen aufgebauten Gebirgen und in deren Umgebungen, sondern trifft sie auch in Verbindung mit der vulkanischen Tätigkeit früherer Zeitalter der Erde. Es ist dann nicht immer leicht, sie mit Sicherheit zu erkennen.

Die Quellen kochenden Wassers sind zuweilen intermittierend, indem mehr oder weniger heftige Ergüsse, die sich bis zu einem Emporschleudern zu bedeutender Höhe steigern können, in regelmäßigem Rhythmus durch Ruhepausen unterbrochen werden. Nach dem bekannten isländischen Prototyp hat man ihnen den Namen Geysir gegeben. Außer den vielfachen Studien, welche über die Erscheinung in Island vorliegen, ist sie durch Hochstetter in Neu-Seeland und durch amerikanische Geologen am Yellowstone eingehend erforscht worden. Das Werk des Ersteren (Neu-Seeland, Stuttgart 1863) gibt dem Reisenden Fingerzeige zu Beobachtungen über diesen Gegenstand, sowie über vulkanische Gegenden überhaupt. Eine sorgfältige Zusammenstellung aller das Geysir Phänomen betreffenden Tatsachen, sowie eine Aufzählung der sehr reichhaltigen Literatur darüber hat Peale (in Hayden's twelfth annual Report, Washington 1883) gegeben. Man hat bei den Geysiren insbesondere die Intervalle der regelmäßig pulsierenden Tätigkeit, die Art der Eruptionen, die Beschaffenheit der wesentlich aus Kieselsinter bestehenden Absätze und die Formen der Anhäufungen derselben zu beobachten. Zuweilen findet man die letzteren an Stellen, wo jetzt kochendes Wasser nicht mehr ausströmt.

Abgesehen von Solfataren und Geysir Erscheinungen kommen heiße Quellen vor, welche die bei den ersteren erwähnte Gesteinszersetzung an der Oberfläche nicht ausüben und sich von den Geysiren durch beständiges Fließen unterscheiden. Sie sind häufig an frühere Eruptionstätigkeit unmittelbar gebunden und finden sich z. B. mit Vorliebe an solchen Stellen, wo steile Abbrüche von Granitgebirgen von Basaltausbrüchen begleitet sind; zum Teil trifft man sie weit von den Ausbruchsherden entfernt, aber doch entlang Linien, welche diese mit einander verbinden; zum Teil heften sie sich an Dislokationslinien, welche der Spuren von Gesteinsausbrüchen ermangeln. Bei allen heißen Quellen, einschließlich der beiden zuerst genannten Typen, sind zu beobachten: der Temperaturgrad; das Gestein, aus welchem das Wasser entspringt; die Quantität des entströmenden Wassers; das Vorhandensein oder Fehlen von Schwefelwasserstoffgeruch; der Gehalt an Kohlensäure, an Kochsalz und anderen Mineralstoffen; die Absätze aus dem Wasser, wie Kieselerde, kohlensaurer Kalk, Eisenoxydhydrat etc., falls deren überhaupt vorhanden sind; die Lage der Quellen im Verhältnis zu Gebirgen, zu Gesteinsgrenzen und Gesteinsarten, zu Spalten und Verwerfungen. In manchen Fällen bietet sich auch Gelegenheit, in den Absätzen mikroskopische Organismen zu beobachten.

Im Anschluß hieran sind die Kohlensäuerlinge zu nennen, welche größtenteils die spätesten und letzten Nachwehen eruptiver Tätigkeit zu sein scheinen. Die Orte, wo sie vorkommen, sollten auf Karten aufgetragen werden. Sie ordnen sich in der Regel in langgestreckte Zonen, welche meist in enger Beziehung zu der Verbreitung jungeruptiver Gesteine stehen. Von um so größerem Interesse ist ihr Vorkommen außerhalb dieser Gebiete.

Als frei ausströmendes Gas tritt besonders die Kohlensäure auf. Man bezeichnet die Orte dieser Erscheinung als Mofetten. Sie sind an vulkanische Gegenden gebunden und bezeichnen ebenfalls die letzten Stadien der Ausbruchstätigkeit.

Eine andere, auf dem Vorhandensein eines unterirdischen Wärmeherdens beruhende, in vielen Fällen an die Nachbarschaft von Stätten ehemaliger oder noch fortdauernder vulkanischer Tätigkeit gebundene Erscheinung ist das Ausströmen von Kohlenwasserstoffgasen. Wahrscheinlich von der Zersetzung organischer Substanzen herrührend, können sie durch die innere Erdwärme allein erzeugt werden und finden an verschiedenen Stellen einen Ausweg nach der Erdoberfläche; aber der Anlaß zu ihrer Bildung ist erhöht, wo durch besondere Umstände Wärme erzeugt wird. Dies kann z. B. durch Verschiebungen innerhalb der Erdrinde geschehen. An eine dadurch bezeichnete Linie heftet sich das Ausströmen brennbarer Gase an beiden Enden des Kaukasus. Nur in der Erscheinungsart, nicht im Wesen verschieden sind die Schlammvulkane oder Salsen: kleine Schlammkegel, aus deren Gipfel schlammiges und salzhaltiges, meist Kohlensäure und Kohlenoxyd enthaltendes und mit Erdöl vermischtes Wasser durch stark entweichendes Kohlenwasserstoffgas herausgestoßen wird. Sie haben ebenfalls ihre Haupt Verbreitung in vulkanischen Gegenden.

Alle hier genannte Erscheinungen bilden eine Reihe von Stadien durch welche die vulkanische Tätigkeit allmählich zum Erlöschen kommt. Man kann sie daher in einer und derselben Gegend neben einander beobachten. Sie sind ein zeitliches Analogon für die räumliche Verteilung der Gasemanationen, welche man während eines vulkanischen Ausbruches wahrnimmt.

b. Zersetzungsprodukte.

[§251] Das Interesse der Umänderungen, welche die Gesteine in Verbindung mit den erwähnten Erscheinungen erleiden, beruht einerseits darin, daß die intensivsten aller im Großen auftretenden zersetzenden Agentien betätigt sind, und ihre Wirkungssphäre innerhalb gewisser enger Grenzen eingeschlossen ist, andererseits in dem Umstand, daß die in jedem einzelnen Fall affizierte Erdstelle die Gestalt eines von innen nach außen gerichteten, durch einen Kanal oder eine Spalte in seiner Form vor-gezeichneten Schlotens oder einer, nach oben wahrscheinlich sich verzweigenden Scheibe haben muß. Es sollten also Zersetzungsprodukte von bestimmter Art in bestimmter Weise angeordnet sein. Ihre Bildung geschah durch Vorgänge, die von innen nach außen wirkten; aber mit dem Nachlassen des Andrängens von unten wird mehr und mehr das Wasser die gleichen Wege zum Eindringen nach der Tiefe benutzt und eine Änderung in der Anordnung der löslichen Stoffe von oben nach unten hin zur Folge gehabt haben. Außerdem wird ein Unterschied zwischen den höheren und tieferen Teilen darin bestehen, daß jene in weit größerer Horizontalausdehnung durch die zersetzenden Agentien affiziert sind. Dies gilt besonders, wie schon in § 187 angedeutet wurde, für diejenigen Einwirkungen von Gasausströmungen, welche unter hohem Wasserdruck auf wassererfüllte vulkanische Gesteinsmassen einwirkten.

Unter den Produkten des Absatzes und der Umwandlung sind die schon genannten Lagerstätten des Schwefels zu erwähnen; ferner das Vorkommen von Gips, besonders an solchen Stellen, wo vulkanische Dämpfe auf Kalkstein eingewirkt haben. Die vulkanischen Gesteine selbst sind in der mannigfachsten Weise umgewandelt. In einem ersten Stadium, wie man es an tätigen Solfataren beobachtet, sind die Zersetzungsprodukte von löslichen Salzen, besonders Alaun, Gips und anderen Sulfaten erfüllt. Später können diese ausgelaugt werden. Es entstehen einerseits festere, zellige Gesteine, andererseits lockere Erden. Bemerkenswert ist der Alaunfels, welcher aus verschiedenen Gesteinen, insbesondere aus Tuffen und Breccien, durch starke solfatarische

Einwirkung entsteht. Bei Bereghszász in Ungarn liegt seiner Bildung ein quarzreicher Rhyolith zu Grunde. Die Art, in welcher die Quarzkristalle zerfressen sind, läßt darauf schließen, daß das Gestein vor der Periode der schwefeligen Dämpfe der Einwirkung von fluorhaltigen Gasen ausgesetzt gewesen ist, Dieses Verhalten verdient anderweitig geprüft zu werden.

Unter den weicheren Erden ist neben mancherlei Tönen insbesondere die Porzellanerde zu nennen. Sie kann aus der Umwandlung vulkanischer Tuffgesteine entstanden sein; aber auch andere Gesteine sind in der Nähe vulkanischer Herde in dieselbe verwandelt worden. Die große Lagerstätte von Imäri in Japan beruht auf der Einwirkung von Solfatarentätigkeit auf mürbe tonige Sandsteine; sie zeichnet sich durch den schnellen und häufigen Wechsel in dem Grad der Umwandlung aus, so daß dort die beste Porzellanerde ganz unregelmäßig zwischen nicht abbauwürdigen Mitteln verteilt ist. An Bedeutung und Interesse nehmen die erste Stelle die den Wegen der vulkanischen Dämpfe folgenden Gangbildungen ein, insbesondere die edlen Erzlagerstätten. Sie sind in manchen Gegenden an die Propylite und Dacite, seltener an andere jungeruptive Gesteine gebunden.

Schon eine kurze Beschreibung der Alterationsprozesse

c. Anordnung und Ablagerung der Ausbruchsmassen.

[§252] Da bei jedem einzelnen Vulkan, und ebenso bei jedem aus jüngeren Eruptivgesteinen aufgebauten Gebirge, eine Reihe von Ausbrüchen nach einander stattgefunden haben, und jedes spätere Gestein die früheren von unten nach oben durchsetzte und sich an der Oberfläche, falls es dieselbe erreichte, über jene ausbreitete, so würde man die Geschichte der Eruptionen genau verfolgen können, wenn es gelänge, den ganzen Bau in seiner innersten Anordnung klar zu durchschauen. Dies ist ein Ziel der Beobachtung. Man wird immer nur dahin gelangen, Bruchstücke des Baues an einzelnen Stellen deutlich zu erkennen; aber durch deren Zusammentragen und Vergleichen kann man viele Lücken ausfüllen. Um den inneren Bau eines Vulkans betrachten zu können, ist es erforderlich, daß Teile des Kegels zerstört seien. Die feste Lava bildet ein Gerüst, welches der Erosion schwieriger unterliegt als die Anhäufungen der Auswürflinge. Selten ist das erstere so deutlich erkennbar wie an dem besonders durch Beyer erforschten Venda in den Euganeen. Die Lava steht in radialen senkrechten Blättern, welche Spaltenausfüllungen darstellen; von dem einzelnen Blatt geht an einer höheren oder tiefem Stelle des ehemaligen Kegelmantels der äußere Lavaström aus. An einem einfachen Vulkan erstreckt sich dieser periklinal herab; an einem zusammengesetzten erfüllt er als Segment eines Ringes einen Teil des Atrium. In beiden Fällen bildet die Lagerung einen seltsamen Kontrast zu dem Bau des inneren Skelettes. Wo immer an einem erloschenen Vulkan, der sich an den Besten periklinaler Lagerung von Tuffen am sichersten erkennen läßt, diese zum Teil fortgeschafft sind und das Lavagerüst dadurch entblößt worden ist, sollte man dieses eingehend studieren.

Die Geschichte der Ausbrüche läßt sich wie an der Hand einer mit einfachen Zügen geschriebenen Chronik deutlich verfolgen, wo deren Produkte in einem Süßwassersee abgelagert wurden, und dessen Sedimente später durch einen Wasserriß aufgeschlossen worden sind. Eine Schicht grober Auswürflinge zeigt die Eröffnung einer Eruption an. In den darüber gelagerten Schichten findet eine oszillierende Abstufung durch verschiedene Korngrößen bis zu den feinerdigsten Tuffen statt, und nicht selten endet die Ablagerungsreihe mit polierschieferartigen, infusorienreichen, von Blattabdrücken erfüllten tonigen Schichten, welche eine lange Zeit völliger Ruhe

darstellen. Sie ist unvermittelt durch die groben Auswürflinge eines neuen Ausbruches überlagert. Auch ihnen folgen feine Schichten, und so setzen die Niederschläge als Merkzeichen für die Pulsschläge der Ausbruchstätigkeit fort. Wo nicht Absatz im Wasser stattfand, fehlen die Merkmale der Ruhezeit, und die Regelmäßigkeit der Aufeinanderfolge ist dann durch Erosion gestört. Bei lacustrinem Niederschlag hingegen geben Blätter und zuweilen Insekten und andere Tiere einen Anhalt, um die Ausbruchsepochen in die geologische Chronologie einzuordnen. Wo dünnflüssige Basalte hervorgequollen sind, lagern auch wohl Decken dieses Gesteins zwischen Infusorienschichten.

Innerhalb großer, aus jung eruptiven Gesteinen aufgebauter Gebirge, wie zum Beispiel derjenigen von Ungarn, finden sich oft zahlreiche Becken mit Süßwasserablagerungen erfüllt, in welchen, neben dem Wechsel von Tuffen und feinerdigen Sedimenten, die Kieselerde in den Formen von Kieselgur, Polierschiefer, Halbpalmen aller Art und verkieseltem Holz eine große Rolle spielt.

Untermeerische vulkanische Tätigkeit gibt sich durch oft sehr mächtige übereinander geschichtete Tuffablagerungen zu erkennen. Ruheperioden sind an Küsten durch feinerdige Schichten mit organischen Besten, unter denen in warmen Meeren Korallenbauten die wichtigsten sind, charakterisiert. Tuffaufschüttungen am Boden des offenen Meeres sind aus jüngerer Zeit kaum bekannt. Es wäre von Interesse, sie zu beobachten und die Eruptionsstelle zu finden, um die Art der Lagerung der Tuffe um sie herum zu untersuchen. Den Maximalwinkel der periklinalen Lagerung kennt man nicht. Es wurde oben (§ 187) angedeutet, daß man wahrscheinlich die Form eines sehr flachen Kegels finden würde, dessen Abweichungen von regelmäßiger Gestalt einen Schluß auf die herrschenden Strömungen gestatten würden.

Grösser gestaltet sich das Problem, wenn es sich um die Zusammensetzung und den Aufbau von Gebirgen handelt, welche aus jungeruptiven Gesteinen zusammengesetzt sind. Die Methoden der Untersuchung wurden in § 248 angegeben.

[p.593]



Fünfzehntes Kapitel.

Beobachtungen über den Bau der Gebirge.

[§254] Wir haben es als eines der wesentlichen Ziele des Forschungsreisenden bezeichnet, ein Verständnis der Bodenformen zu gewinnen, das heißt, den ursächlichen Zusammenhang von äußerer Gestalt, innerem Bau und den Vorgängen, welche Beiden zu Grunde liegen, zu erfassen. Die Beobachtungen, auf welche in den vorhergehenden Kapiteln hingewiesen worden ist, beziehen sich auf die äußerlich gestaltenden Agentien und den stofflichen Bestand. Es erübrigt, die innere Architektur des durch die Gesteine aufgebauten Gerüsts zu erörtern. Die Betrachtung schließt mit der Darstellung der Gebilde der Plastik, wie sie sich aus den verschiedenen Gestaltungsmomenten als deren letztes Resultat ergibt.

Unter dem Namen „Gebirgsbau“ ist die innere Struktur aller Festlandsgebilde zu verstehen, gleichviel ob ihre Profillinie eine konvexe Gestalt habe, wie es bei den eigentlichen Gebirgen der Fall ist, oder ob sie eben oder konkav sei, wie bei den Ebenen und Tälern, welche man wegen ihrer äußeren Gestalt als den Gegensatz von Bergen oder Gebirgen zu betrachten gewöhnt ist. Das Fundament für die Betrachtung des Gebirgsbaues in diesem Sinn besteht vornehmlich in der Feststellung der Lagerungsformen der geschichteten Gesteine, nicht nur weil sie den weitaus vorwaltenden Bestandteil in dem Baumaterial des der Beobachtung zugänglichen Teiles der Erdrinde bilden, sondern auch weil sich das Grundverhältnis des inneren Gefüges zur äußeren Gestalt wesentlich aus ihnen ergibt. Erst in zweiter Linie treten dann die Eruptivgesteine ein, deren Lagerungsformen bereits erörtert worden sind.

A. Lagerungsformen des Schichtgebirges.

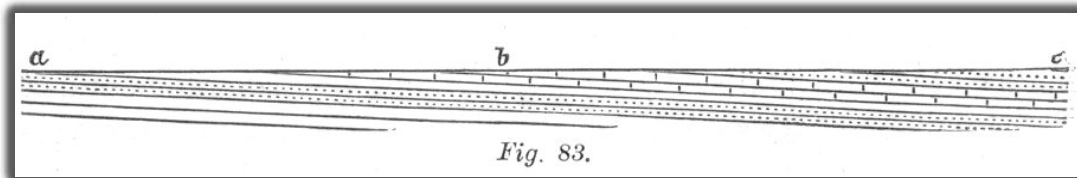
Man begegnet den Schichtgesteinen unter sehr verschiedenen Stellungen, deren Hauptunterschied darin besteht, daß sie in gewissen Fällen die Lage, welche sie ursprünglich angenommen hatten, noch annähernd oder ganz innehaben, in anderen aber aus derselben verschoben worden sind. Die Verschiebung kann mannigfaltige Form annehmen.

1. Ursprüngliche Lagerungsformen.

[§255] Im Allgemeinen sind die Schichtgesteine aus horizontaler Ablagerung im Meer oder in großen Süßwasserbecken hervorgegangen. Wo man eine bedeutende Abweichung von der

Horizontale findet, hat man es daher fast in allen Fällen mit einer nachträglich erfolgten Störung zu tun. Es kommen aber doch einige Fälle vor, in welchen die Ablagerung selbst schon in geneigter Stellung erfolgte. Man kann die folgenden ursprünglichen! Ablagerungsformen unterscheiden:

a. Die horizontale Lagerung. — Dieselbe kann sich, der Beobachtung in räumlich sehr beschränktem und in sehr ausgedehntem Maßstab darbieten. Wo ersteres der Fall ist, pflegt, man eine Neigung von 1 bis 2 Grad, welche für das Auge kaum merklich ist, noch als „söhlig“ zu bezeichnen. Doch sollten auch geringe Abweichungen von der Horizontale beachtet werden. Findet sie in Tafelländern konstant nach einer Richtung statt, so ist sie für viele Verhältnisse, insbesondere für den Abfluß- der Gewässer, von großer Bedeutung. Auch auf die Gestaltung, der Oberfläche kann sie erheblichen Einfluß ausüben, besonders wenn in den Schichten Gesteine von verschiedener Härte und: Lösungsfähigkeit mit einander wechseln. Steht z. B. auf der in Fig. 83 dargestellten, als sehr ausgedehnt anzunehmenden Fläche- ac bei a und c mürber Sandstein und bei b kieselig Kalkstein oder festes Konglomerat an, so wird sich leicht in der durch b bezeichneten, weithin fortstreichenden Zone eine Anschwellung herausbilden, auch wenn die Schichten eine geringere Neigung haben, als in der Figur dargestellt ist.



b. Die ursprünglich muldenförmige Lagerung. — In einem Becken oder Trog schmiegen sich die Sedimente den Wänden an und erhalten dadurch eine muldenförmige Gestalt. Das Verhältnis ist selten mit Sicherheit zu beobachten und im Ganzen wenig bekannt. Wird eine gleichmäßig suspendierte Trübe niedergeschlagen, so werden die Schichten ihre größte Mächtigkeit auf dem horizontalen Boden haben und sich nach den höheren Teilen der geneigten Seitenwände hin auskeilen. Werden aber fortdauernd feste Stoffe von den Seiten oder von einzelnen Stellen derselben herzugetragen, so werden hier die Schichten, wie es bei Seebecken oder im Ozean der Fall ist (s. §§ 84, 189), am mächtigsten, am Boden hingegen um so dünner sein, je grösser, bei gleicher Zufuhr, die Ausdehnung des flachen Bodens ist.

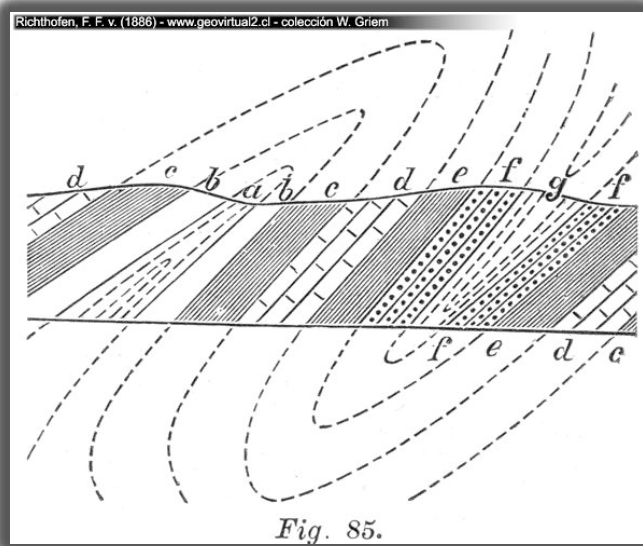
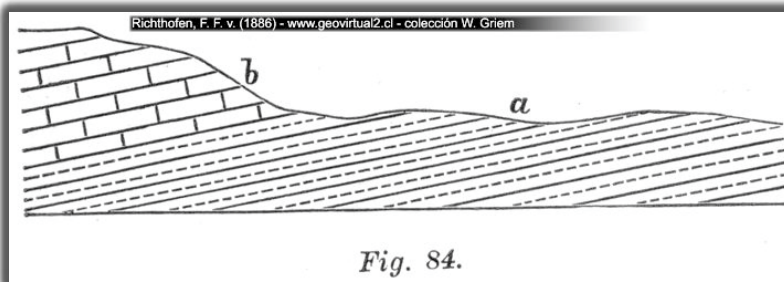
c. Die ursprünglich periklinale Lagerung. — Diese Form besteht in einem allseitigen Abfall von einer vertikalen Achse und wird durch die von ihr aus nach außen abnehmende Dicke der einzelnen Schichten bezeichnet. Sie ist oben (S. 570) als ein charakteristisches Merkmal der Vulkane des Festlandes genannt worden, sollte sich aber ebenso bei den submarinen Vulkanen (§ 187) finden. Auch das aus der Zerstörung der Korallenriffe hervorgehende Material muß periklinal gelagert sein (§ 183).

d. Ursprünglich geneigte Schichtenstellung. — Der bei der muldenförmigen Lagerung genannte Fall der Bildung eines Schuttkegels mit geneigten Schichten tritt zuweilen in so großer Ausdehnung auf, daß die Muldenform völlig zurücktritt. Es ist des Falles in China gedacht worden, wo man quer gegen die Streichrichtung mehrere Kilometer weit über die Köpfe gleichförmig geneigter Schichten hingeht, in welchen man ein aufgerichtetes System von Sedimentgesteinen zu sehen vermeint, während man es nur mit außergewöhnlich ausgedehnten, ursprünglich geneigten

Ablagerungen der genannten Art zu tun hat. Dieser Fall mahnt zur Vorsicht bei der Beurteilung ähnlicher Verhältnisse. — Ein anderer Fall, in welchem man auf Wegen von hunderten von Kilometern gleiches Streichen und Fallen beobachtet, liegt im Urgneis vor. Es ist (S. 514) auf die Möglichkeit hingewiesen worden, daß diese Lagerung eine Wirkung der Flutwelle sein könne, welche sich in der werdenden festen Rinde der Erde bildete und sie in rhythmische Bewegung versetzte.

2. Einseitige Neigung der Schichten in Folge nachträglicher Störung.

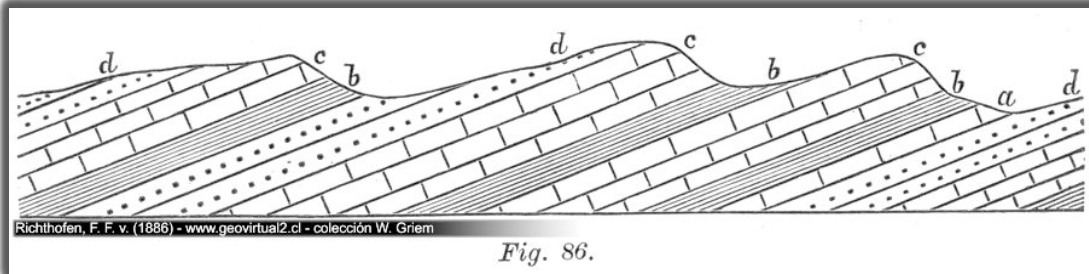
[§256]. Mit Ausnahme der genannten Fälle kann man bei jedem mächtigen System nach der gleichen Richtung einfallender, einander paralleler Schichten annehmen, daß es in Folge einer Störung aus seiner früher horizontalen Lage gewichen ist. Die Neigung kann unter verschiedenen Winkeln stattfinden. Sie kann flach, bis steil und sehr steil sein; die Schichten können vollkommen senkrecht („saiger“ oder „auf dem Kopf“) stehen und selbst über die senkrechte Stellung hinaus „überkippt“ sein. Man findet einseitige Neigung oft auf große Strecken. Flach einfallende Schichten werden dann häufig, steil einfallende fast immer durch die Oberfläche abgeschnitten. Diese stellt die Fläche dar, bis zu welcher herab die Abtragung durch von außen wirkende Agentien sich vollzogen hat. Geht man auf ihr hin, so bieten sich der Beobachtung die abgeschnittenen Querenden der Schichten, oder die „Schichtenköpfe“. Man hat an ihnen das Streichen und Fallen festzusetzen und die Aufeinanderfolge der Schichtgesteine zu beobachten. Querrisse, Quertäler, oder die



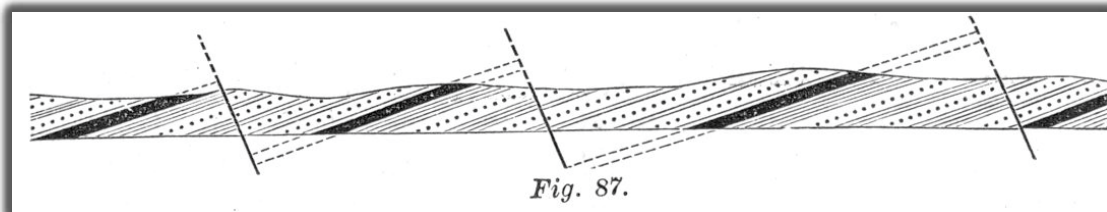
Wände von Flußkanälen eignen sich meist noch besser zur Untersuchung als die Oberfläche. Jede Gruppe gleichartiger Schichtgesteine ist in ihrer Mächtigkeit zu bestimmen, welche dem

Ausmaße des recht-winkligen Abstandes der Schichtenflächen von einander entspricht. Es können unter der Gleichartigkeit des Einfallens verschiedene Lagerungsverhältnisse verborgen sein. Man kann es (wie in Fig. 84) mit einer einseitig herabgesenkten oder gehobenen Folge regelmäßig übereinander liegender Schichten zu tun haben. Der Beweis dafür ist dann her ist, besonders in älterem und steilgestelltem Gebirge, die Aufmerksamkeit darauf zu richten, ob die Reihe der Schichten, welche man in der Richtung quer gegen das Streichen nach einander überschritten hat, bei Fortsetzung des Weges in umgekehrter Folge

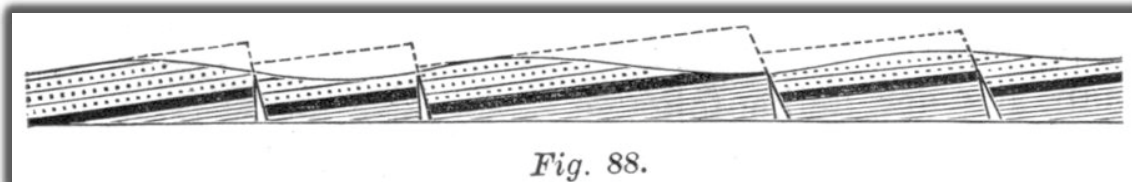
wiederkehrt, um sich dann vielleicht noch einmal in der zuerst beobachteten normalen Anordnung zu wiederholen. In diesem Fall würde das geneigte Schichtensystem eine in ihrem oberen Teil abgetragene liegende Falte, oder eine Reihe isokliner Falten darstellen. Wenn man z. B. bei einer Talwanderung an einem Berggehänge die in Fig. 85 veranschaulichte Schichtenreihe aufgeschlossen sieht, so darf man aus der Reihenfolge c-d-e-f-g-f-e-d-c-b-a-b-c-d schließen, daß



man es mit Faltungen zu tun hat, deren ältestes Schichtenglied a ist, und die man sich in der durch die punktierten Linien angedeuteten Weise zu rekonstruieren versuchen kann. — Es tritt auch nicht selten der Fall ein, daß dieselbe Reihe von Schichten in gleicher Aufeinanderfolge einmal oder mehrere Male wiederkehrt. Dann ist zu prüfen, ob eine Schuppenstruktur (§ 260) vorliegt. Dieser Fall ist in Fig. 86 veranschaulicht. Man könnte leicht glauben, es mit einem Profil einer Talwand mehrfache Einlagerungen von Steinkohlenflözen zwischen Schiefertönen und



Sandstein sieht, so ist es oft sehr schwer zu unterscheiden, ob wirklich mehrere Flöze vorhanden sind, oder, wie in Fig. 87, ein einziges, aber mehrfach verworfenes Flöz. Unzweifelhaft ist dies in



dem in Fig. 88 dargestellten Fall, wo auch ein einseitiges Schichtenfallen stattfindet. Es können also bei einseitig geneigter Schichtenstellung die folgenden Fälle vorliegen:

- a) Die Schichtgesteine sind ursprünglich in geneigter Stellung abgelagert.
- b) Das Schichtensystem ist durch einseitige Senkung oder Hebung in eine geneigte Lage gekommen. Je nach örtlicher oder zeitlicher Abstufung in der Einwirkung der Kraft kann der Einfallswinkel gleich bleiben, oder sich allmählich ändern.
- c) Zwei verschieden-altrige Schichtensysteme, deren eines ungleichförmig auf dem anderen lagert, können nach einer Richtung einfallen; dann ändert sich der Winkel plötzlich.
- d) Die Schichten sind Teile von schiefen, oder von Isoklinen Falten.
- e) Die Schichten sind Teile übereinander geschobener Schuppen.
- f) Die Schichten sind durch Verwerfungen gebrochen.

Es kann auch eine Komplikation dieser Einzelfälle vorhanden sein.

3. Bruch und Absenkung.

[§256 sic!] Bruch und Verwerfung. — Zu den gewöhnlichsten Erscheinungen im geschichteten Gestein, wie in der Lithosphäre überhaupt, gehört das Vorkommen von Brüchen. Man sieht die Kontinuität des Gesteins entlang einer vertikalen oder schief einfallenden Fläche, der Bruchfläche, gelöst, und diese setzt durch eine Reihe von Schichten oder ein ganzes Schichtensystem hindurch. Sie kann sehr geringe und außerordentlich bedeutende Dimensionen haben. Ein großes Kontinentalgebiet kann in seiner ganzen Erstreckung von einheitlichen Brüchen durchzogen sein. Sie finden sich in tafelartig gelagertem ebenso wie in geneigtem Schichtgestein, und können Faltungen des letzteren quer oder diagonal durchsetzen.

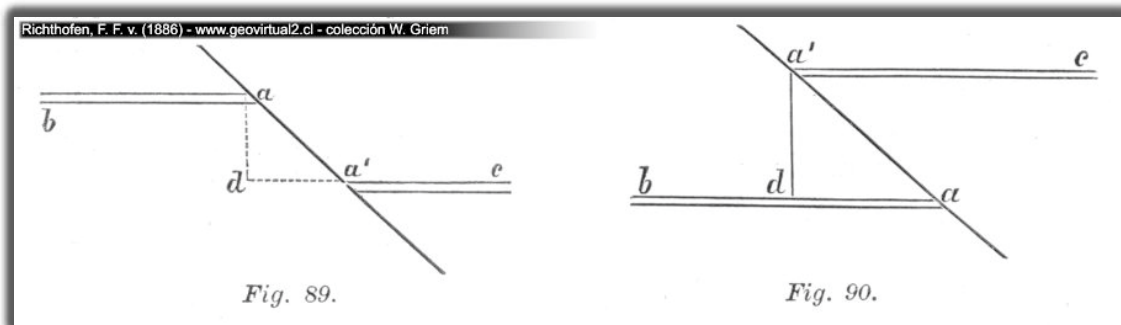
Die Entstehung von Brüchen beruht in der Auslösung von Spannungsdifferenzen. Insoweit diese ihre unmittelbare Ursache in der Zusammenziehung des Gesteins durch Austrocknung oder durch Abkühlung aus erhitztem Zustand haben, kommen sie hier nicht in Betracht; die dadurch entstehenden Trennungsflächen gehören den großenteils nur graduell von den Brüchen verschiedenen Klüften an, welche in § 262 ff. abgehandelt sind. In größerem Maßstab werden Spannungsdifferenzen durch solche Vorgänge in der Unterlage veranlaßt, welche die Tendenz haben, örtliche Unterschiede im Niveau hervorzubringen. Die überliegenden Gesteine suchen alsdann sich den Ungleichheiten anzupassen. Jene Vorgänge können ihren Sitz in geringer Tiefe haben, z. B. wenn sie in einer ungleichmäßigen Volumenverminderung in Folge der Lösung von Gestein durch die Wasserzirkulation, oder in einer lokalisierten Volumenvermehrung durch chemische Prozesse bestehen; Bruchbildungen von geringer Intensität aber großer Zahl werden in der Regel die Folge sein. Die zu Grunde liegenden Vorgänge können aber auch ihren Ursprung in der Kontraktion des Erdinneren durch Wärmeverlust haben und werden dann Bruchbildung in großartigem Maßstab veranlassen. Wahrscheinlich gibt es in den Erdtiefen auch Vorgänge, welche mit Volumenvermehrung verbunden sind. Dahin gehört insbesondere die gleichzeitig mit der Abkühlung des Planeten sich regional vollziehende Überführung zähflüssiger Magmen in den kristallisierten Zustand, welche vielleicht durch manche, die tektonischen Bewegungen begleitende Vorgänge örtlich gesteigert werden kann. Auch die dadurch entstehenden Spannungsdifferenzen würden ihre Auslösung in sehr ausgedehnten Brüchen finden. Zwischen den genannten Extremen gibt es unendlich viele Mittelstufen. Es ist gegenwärtig noch nicht möglich, aus der beobachtbaren Wirkung an der Oberfläche bestimmte Schlüsse auf die Art der Vorgänge in der Tiefe zu ziehen. Doch wird es vielleicht gelingen, die Art des Ansatzes der Kräfte, welche die Bruchbildung verursachten, in einzelnen Fällen zu bestimmen. Zuweilen scheint eine Art von Torsion (s. § 266) stattzufinden, indem, nach Daubree's Versuchen, die Brüche eine gewisse Analogie mit denen haben, welche hervorgebracht werden, wenn eine feste Platte spröden Materials an den zwei entgegengesetzten Seiten in Schraubstöcke gespannt und einer von diesen um einen geringen Betrag gedreht wird, während der andere in unveränderter Lage bleibt.

Die beiden durch eine Bruchfläche getrennten Teile einer Schichtmasse befinden sich entweder in unveränderter gegenseitiger Lage, oder sie sind gegen einander verschoben. Die Richtung dieser Verschiebung kann von oben nach unten, oder umgekehrt sein, oder in der Horizontale liegen; sie kann auch diagonal sein, d. h. schief nach unten oder nach oben verlaufen. Ihr Ausmaß

kann sich auf wenige Centimeter beschränken, aber auch hunderte und tausende von Metern betragen. Diese Bewegung wird ganz allgemein als Verwerfung bezeichnet. Die Bruchfläche wird dadurch zur Verwerfungsfläche oder Dislokationsfläche.

Die einzelnen Arten der Verwerfung bieten sehr wesentliche Verschiedenheiten dar. Zunächst kann die Dislokationsfläche senkrecht stehen oder gegen den Horizont geneigt sein. In letzterem Fall sind die Winkel in der Regel steil; solche zwischen 45° und 90° sind weitaus vorwaltend. Doch ist die senkrechte Stellung selten; im Allgemeinen fallen Dislokationsflächen schief aber unter steilen Winkeln ein.

Die zwei Hauptfälle bestehen darin, daß in dem einen der „hangende Flügel,“ d. i. der auf der Dislokationsfläche ruhende Teil, im Verhältnis zu dem „liegenden Flügel“ nach abwärts, im anderen nach aufwärts verschoben erscheint. Sie sind in Fig. 89 und 90 dargestellt. In der ersteren



ist der Teil $a'c$ der früher kontinuierlich gewesenen Schicht $ba c$ schief hinabgeglitten, in der zweiten schief nach aufwärts geschoben. Es ist klar, daß in dem ersten Fall eine Raumerweiterung in der Horizontalen um den Betrag da , d. h. eine Streckung rechtwinkelig zur Streichrichtung der Bruchspalte, im zweiten hingegen eine Raumverminderung um den Betrag da , d. h. ein Zusammenschieben in der Horizontale stattgefunden hat. In jenem ist die Streckung mit Hinabgleiten, in diesem das Zusammenschieben mit einem Aufwärtsschieben verbunden.

Man hat die beiden Formen der Dislokation als normale und abnorme Verwerfung bezeichnet. Doch dürfte es zweckmäßiger sein, sich der Namen Abgleitung oder Absenkung für die sogenannte normale und der Bezeichnung Aufschiebung für die abnorme Verwerfung zu bedienen. Die letztere ist bei dem Bergbau als „Wechsel“ bekannt. Die Dislokationsfläche erscheint im ersten Fall als Abgleitungsfläche, im letzten als Aufschiebungsfläche oder Wechselfläche. Der Effekt auf das Maße der Streckung oder Zusammenschiebung im Raum vermindert sich selbstverständlich mit der größeren Steilheit des Einfallswinkels der Bruchspalte, und wird =0, wenn diese senkrecht steht.

Eine Dislokation in horizontaler Richtung ist als laterale oder Seiten-Verschiebung zu bezeichnen. Kombiniert sich diese Richtung mit einer der vorher genannten, so kann man von einer schiefen Absenkung und einer schiefen Aufschiebung sprechen. Zur Beobachtung aller einschlägigen Erscheinungen sind Bergwerke am besten geeignet, besonders solche im Schichtgebirge; sodann Eisenbahntunnels, Straßeneinschnitte und die Wände von Quertälern. Der geübte Geologe vermag auf ihr Vorhandensein aus den Lagerungsverhältnissen zu schließen. Ihre Auffindung ist eine der wichtigsten Aufgaben bei der Aufnahme geologischer Karten. Verwerfungen gehören zu den häufigsten Erscheinungen, sind aber an Zahl und Betrag regional sehr verschieden. Der Gesamtausschlag, den sie auf die räumliche Trennung früher zusammenhängend gewesener Teile derselben Schicht oder auf das Zusammendrängen derselben auf einen Bruchteil des früher in Anspruch genommenen Raumes haben können, ist zuweilen sehr bedeutend.

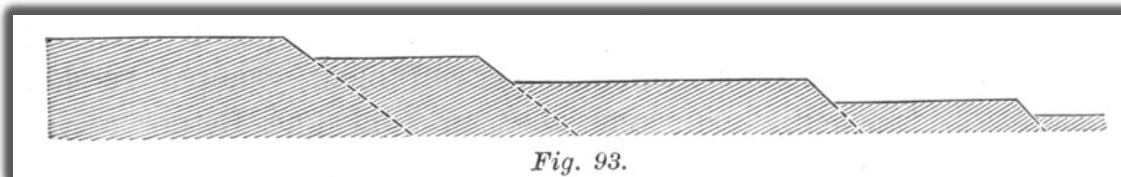
[§257] Die Absenkung. — Die sogenannte normale Verwerfung, welche in Abgleitung oder Absenkung besteht, ist am häufigsten und am leichtesten zu beobachten. Es können hierbei eine Reihe verschiedener Fälle eintreten:

a) Bei einer einfachen Abgleitung hat sich nur das Herabsenken eines Bruchflügels gegen den anderen entlang einer einzelnen Brachfläche vollzogen.

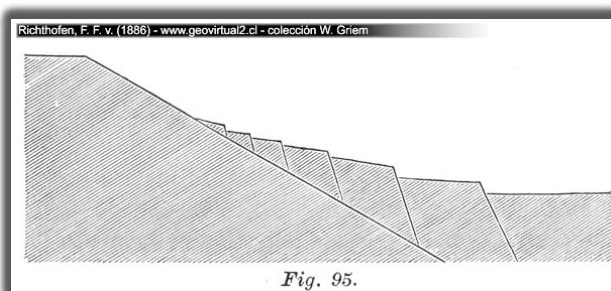
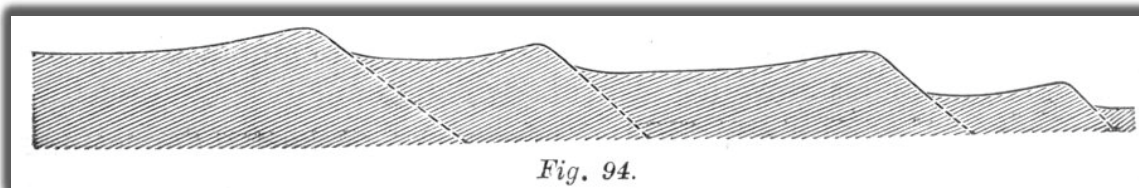


b) Die Abgleitung kann mit einer Schleppung der Schichten verbunden sein. Man hat dies als eine monoklinale Falte oder als eine Flexur (Suess) bezeichnet; wir behalten die letztere Benennung bei, da die Lagerungsform mit dem Begriff einer Falte nicht übereinstimmt. Denn bei dieser ist Zusammenschub, bei der Flexur aber Ausdehnung das leitende Prinzip. Man kann die stehende und die geneigte Flexur unterscheiden. Aus der Darstellung in Fig. 91 und 92 ist ersichtlich, daß im ersten Fall wahrscheinlich eine senkrechte, im zweiten eine geneigte Bruchfläche in den tieferen Schichten zu Grunde liegt.

c) Die Absenkung ist häufig nicht auf eine einzelne Bruchfläche beschränkt, sondern vollzieht sich entlang einer Reihe nahezu paralleler Bruchflächen. Man kann eine solche Lösung des Verbandes als Staffelbruch, die Bewegung als Staffelleitung oder Staffelsenkung bezeichnen. An



jedem Bruch oder an einzelnen derselben kann die Flexur an Stelle der Gleitung treten. Es finden sich hierbei zwei Fälle. Entweder breitet sich jede einzelne Staffel ebenflächig bis zum Abfallsrand aus (Fig. 93); oder jede steigt gegen den Rand hin an (Fig. 94). Der erstere Fall deutet auf

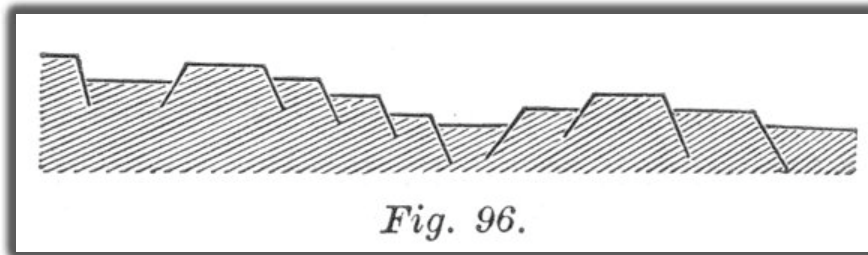


größere Raumerweiterung als der letztere. Doch ist dieser der häufigere. Die randlich aufgebogenen Teile bilden zuweilen Gebirge mit ebenmäßiger Höhenlinie, welche sanft in die obere Staffel übergehen und mit steilem Bruchrand nach der tieferen Staffel abfallen. Dies findet sich z. B. bei den Staffellabfällen an der Ostseite des Tafellandes von Schansi (China), bei denen des Kaplandes und,

wie es scheint, auch bei denen, über welche man von dem Tafelland von Afghanistan nach dem

Indusland hinabsteigt. Dies sind aufgebogene Tafellandstaffeln. — Es scheint, daß Staffelbrüche zuweilen als sekundäre Erscheinungen einer größeren Gleitung in Folge einer im Hangendflügel durch die Reibung entstehenden Spannung auftreten, wie dies in Fig. 95 veranschaulicht ist. Durch Eindringen mineralischer Lösungen oder Aufsteigen mineralhaltiger Dämpfe können Systeme paralleler Gänge entstehen. Dieses von Becker für den Comstock - Gang angenommene Verhältnis ist vielleicht auf einzelne Fälle von Gebirgsstaffeln anwendbar.

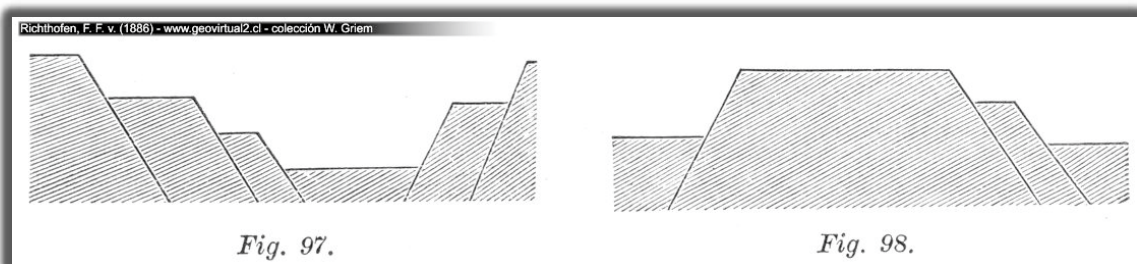
d) Die Staffelsenkungen können gleichsinnig oder wechselsinnig sein, je nachdem sie sämtlich nach derselben Richtung oder nach verschiedenen Richtungen erfolgt sind. Die Wechselsinnigkeit ist bei den durch Bergbau aufgeschlossenen Verwerfungen der Steinkohleberge und bei Tunneldurchschnitten häufig zu beobachten (Fig. 96). Formgebend für die Gebirgsbildung wird



sie in zwei, betreffs ihres Effektes einander entgegengesetzten Fällen. Der eine besteht darin, daß ein zwischen zwei Bruchflä-

chen von mehr oder weniger parallelem Streichen eingeschlossener Erdrindenteil hinabsinkt. Es wird, dadurch eine furchenartige Vertiefung veranlaßt. Die Form ist von Suess als Grabensenkung bezeichnet worden. Die Klufflächen können senkrecht niedergehen, wie es bei dem auf S. 544 erwähnten Beispiel des Yosemite-Tales der Fall zu sein scheint; oder sie können gegen einander nach der Tiefe konvergieren und dann entweder einfach oder in Staffeln abgesetzt sein. Letzteres findet bei den Grabensenkungen des Toten Meeres und des Oberrheintales zwischen Schwarzwald und Vogesen statt.

— Der andere Fall besteht darin, daß von einer festbleibenden Mittelzone ans Absenkungen nach zwei von einander hinweggekehrten Richtungen stattgefunden haben. Jene Mittelzone bleibt dann als ein erhobener Teil stehen; sie wird von Suess als Horst bezeichnet. Beide Formen sind von hoher Wichtigkeit, besonders die letzte. Der Geologe hat ihre Existenz auch dort zu erkennen, wo in Folge späterer Einflüsse durch zerstörende Agentien die durch die wechselsinnigen Staffelsenkungen geschaffenen Unebenheiten in der Plastik verschwunden sind. In Fig. 97



und 98 sind die Erscheinungen der Grabenversenkungen und der Horste schematisch dargestellt, und zwar die am häufigsten vorkommenden, auf schiefen Dislokationsflächen beruhenden, daher auf Zerrung und Streckung deutenden Fälle. Da bei dem Vorkommen in der Natur die Oberfläche denudiert ist, ist man auf die Beobachtung der Brüche und der an der Nebeneinanderlagerung von jüngeren und. älteren Gebilden erkennbaren Absenkung angewiesen, um Hohlformen als Gräben und aufragende Berge als Horste zu erkennen.

e) Als eine besondere Form normaler Versenkungen sind die Kesseleinbrüche zu bezeichnen. Sie entstehen, wenn dem Gestein auf örtlich beschränktem Raum die Unterlage entzogen wird. Dies

kann durch Fortführung einer Masse mittelst Lösung veranlaßt werden, z. B. eines Gipskörpers oder einer Steinsalzlinse. Im Kalksteingebirge ist die Erscheinung häufig, und in kleinem Maßstab ereignet sie sich in Gegenden, wo Bergbau getrieben wird. Es scheint, daß sich in der Regel um ein mittleres Bruchfeld konzentrische Brüche bilden, an denen ein staffelförmiges senkrechtes Abgleiten stattfindet. Es kann dadurch Anlaß zur Entstehung von Seen gegeben werden (§ 120). Eine typische Erscheinung sind die Kesseleinbrüche für vulkanische Gegenden. Es wurde oben (S. 576) auf die kreisrunden Kessel hingewiesen, aus denen sich viele Vulkane, darunter einige der bedeutendsten, erheben. Der Durchmesser derselben kann mehrere Meilen betragen.

f) Nur durch den größeren Umfang und das Verhältnis von Breite und Höhe der Staffeln sind die Schüsselsenkungen und Beckensenkungen von den vorigen verschieden. Sie treten in verhältnismäßig kleinem Maßstab auf, wo Sedimente in muldenförmiger Lagerung eine Bucht ausfüllen, wie es bei Deltas häufig der Fall ist. Das an einer anderen Stelle (§ 87) erwähnte Nachsinken findet wahrscheinlich in der Form von Staffeln mit schiefen Gleitflächen statt. Man kennt eine analoge Erscheinung in größerem Maßstab bei Tertiärbecken von denen das Meer sich zurückgezogen hat, z. B. im Wiener Becken, wo Staffeln mit geneigten Gleitflächen sicher erwiesen sind. Wiederum in größerem Maßstab beobachtet man ein entsprechendes Verhalten in weiten, mit Meeressedimenten verschiedenen Alters in Flächenausbreitung erfüllten Erdräumen, welche von älterem gefaltetem Gebirge umrahmt werden. In solcher Weise ist sie von Suess für die Schichtungs-Tafelländer zwischen Schwarzwald und Böhmerwald erwiesen worden. Derselbe Forscher hat ähnliche, durch Horste unterbrochene Staffelsenkungen in den alpinen Umrandungen des adriatischen Beckens erkannt. Dies weist darauf hin, daß geotektonische Vorgänge großen Stiles die Veranlassung der Erscheinung sein können. Es mag hierbei erwähnt werden, daß gewisse Tatsachen auf eine Umrandung des pazifischen Beckens durch Staffelbrüche größten Maßstabes hindeuten.

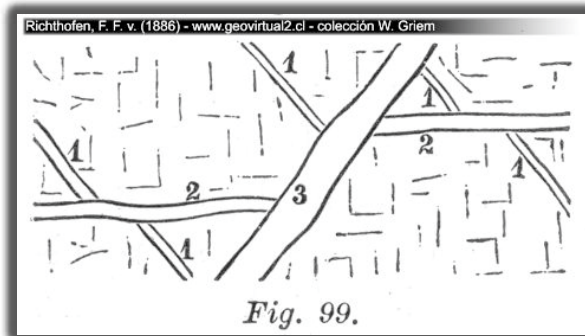
g) Während die Erscheinungen der letzten Klasse, wo sie im Kleinen auftreten, schwierig zu beobachten sind und, wo sie in den Kontinentalbau gewaltig eingreifen, nur durch die Kombination zahlreicher, oft weit zerstreuter Untersuchungen, zu denen aber der Reisende wichtige Beiträge liefern kann, gefolgert werden können, bieten sich der Beobachtung unmittelbarer Verwerfungserscheinungen einer anderen Klasse. Dies sind die Quer- und Diagonal-Absenkungen von Faltungsgebirgen. Die letzteren sind meist in ihrem Verlauf so regelmäßig, daß jede große Abweichung leicht in die Augen fällt, besonders wenn Talbildung damit verbunden ist.

Verfolgt man einen mit Absenkung verbundenen Bruch in seinem Streichen, so bleibt er entweder, so sehr auch der Betrag der Senkung wechseln mag, in seiner ganzen Erstreckung gleichförmig, insofern die Neigung der Bruchfläche nach derselben Seite gerichtet ist; oder er erweist sich als ungleichförmig, indem die beiden Flügel die Rollen wechseln. Dies kommt besonders bei Brüchen von großer Längenausdehnung vor. Man sieht dann an einer mittleren Stelle die beiden Flügel ohne Verwerfung neben einander stehen. Nach einer Richtung von derselben aus ist das Einfallen der Bruchfläche dem der anderen Richtung entgegengesetzt, so daß dieselbe die Gestalt einer Schraubenfläche annimmt. Man kann dies als Schraubenbruch bezeichnen, resp. als Schraubensenkung, wenn die Verwerfung nach beiden Seiten normal ist. Derselbe Flügel, welcher nach einer Richtung der liegende ist, wird daher nach der anderen der hangende. Die äußere Erscheinung kann die Formen einer einfachen Absenkung, einer Flexur und eines Staffelbruches darbieten, und diese können streckenweise einander ersetzen. Wahrscheinlich liegt allen Schraubenbrüchen Torsion zu Grunde.

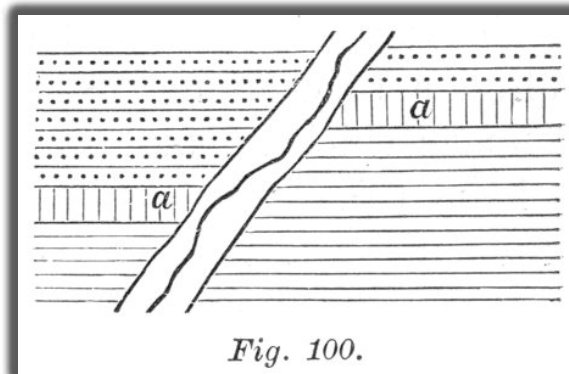
4. Bruch und seitliche Schiebung.

[§258] Die seitliche Verschiebung an Bruchflächen ist eine gewöhnliche Erscheinung. Sie kann ohne Absenkung eintreten, aber auch mit dieser verbunden sein. Für ihre Kenntnis ist gleichfalls das auf praktischen Rücksichten beruhende Studium in Bergwerken grundlegend gewesen. Die Gleitrichtung des Hangendflügels ist häufig an der Streifung des Lettenbesteges [Heute: Harnische] von Erzgängen und tauben Klüften zu erkennen. Sie ist selten unmittelbar, sondern meist

schief nach abwärts gerichtet, zuweilen auch ganz horizontal. Deutlich tritt die laterale Verschiebung an Gängen hervor, welche von einem anderen Gang durchsetzt und „verworfen“ werden. In der als Horizontalprojektion aufzufassenden Fig. 99 ist es ersichtlich, daß zwei mit 1 bezeichnete Gänge durch den Gang 2 seitlich verworfen sind, während dieser eine ähnliche Verschiebung durch den Gang 3 erfahren hat. Hierbei sind sämtliche Gänge als vertikal stehend angenommen. Sind sie geneigt, so kann dasselbe Bild durch einfache gerade Absenkung hervorgerufen werden. — In ähnlicher Weise findet man, daß ein Schichtensystem, welches von einer Kluft oder einem Gang durchsetzt wird, jenseits dieser Störungslinie seitlich verschoben erscheint; doch ist auch in solchem Fall zu beachten, daß nur bei vertikaler Schichtenstellung die Entfernung der beiden Stellen, an denen eine und dieselbe Schicht ihr Ende auf der einen und auf der anderen Seite der Kluft erreicht, den Betrag der lateralen Verschiebung genau ergibt, während bei geneigten Schichten die vertikale Verschiebung allein hinreicht, um die seitlichen Enden einer gebrochenen Schicht von einander zu trennen. Da das Wasser die Abgleitungsflächen mit Vorliebe zur Ausbildung von Erosionstälern aufsucht, so gibt sich die laterale Verschiebung durch Vergleichung der Schichtenstellung an den entgegengesetzten Wänden von Quertälern zu erkennen, wie dies in Fig. 100 durch die Lage der Schichtgruppe a zu den Seiten eines Flußtals veranschaulicht ist.

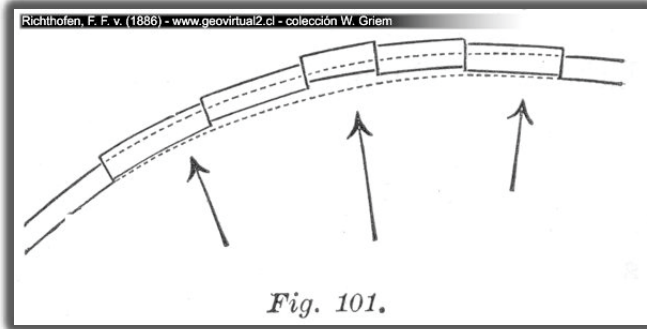


Auch Längsverwerfungen in Faltungsgebirgen können mit lateraler Verschiebung verbunden sein; doch wird sich dies selten nachweisen lassen.



Die Erkenntnis, daß in Faltungsgebirgen Querverwerfungen vorkommen, und diese in der Regel, vielleicht immer, mit lateraler Verschiebung verbunden sind, ist für das Verständnis des Gebirgsbaues von hoher Wichtigkeit geworden, überall verdient die Erscheinung die eingehendste

Beachtung. In den Alpen ist sie an vielen Stellen bekannt. Ein durch zwei derartige Bruchflächen aus dem Gebirge quer oder diagonal herausgeschnittener Gebirgstheil wurde von Suess ein Blatt genannt. Wie bei den Absenkungen vollzieht sich auch bei seitlichem Druck die Auslösung der Spannungsdifferenzen in der Regel in mehreren gleichsinnig gerichteten Verschiebungen, so daß man von Staffelverschiebungen und Staffelblättern reden kann. Figur 101 gibt ein schematisches Bild der durch diese Vorgänge herbeigeführten Verschiebungen.



Der Bogen stellt in seinem punktierten Teil die ursprüngliche Lage einer Faltungszone dar; die Pfeile geben die Richtung und relative Stärke der schiebenden Kraft an. Die entstehenden Zerreißen und Verschiebungen können zahlreich sein, dicht neben einander liegen und aus geringen Einzelbeträgen sich zu einem größeren Gesamtausmaß steigern. Es kann aber auch die Zerreißen an wenigen, von einander entfernt liegenden Stellen stattfinden, und doch die Verschiebung denselben Betrag erreichen wie im ersten Fall. Noch häufiger als bei der Absenkung findet ein Schleppen der Schichten statt; es gibt eine Schiebungsflexur im Gegensatz zu der vorher betrachteten Senkungsflexur.

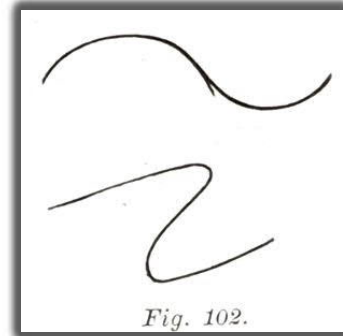
5. Schichtenfaltung.

[§259] Während die Absenkung fast in allen Fällen auf einer Streckung und Raumerweiterung beruht, und auch die seitliche Schiebung mit einer Zerrung verbunden ist, ist die viel augenfälligere Erscheinung der Schichtenfaltung das Produkt eines Zusammenschiebens auf einen kleineren Raum. Dies gilt in erhöhtem Grad von der eng mit ihr zusammenhängenden Aufschiebung, wie in § 256 angegeben wurde.

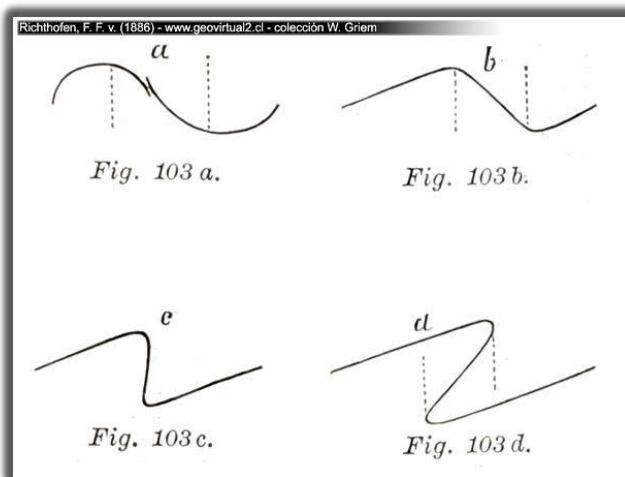
Es sind jedoch zwei der Faltung äußerlich ähnliche Fälle auszuscheiden, welche eigentlich in eine besondere Kategorie zusammengefaßt werden müßten, da sie auf besonderen Ursachen ganz anderer Art beruhen. Bei ihnen findet eine einzige Wölbung nach aufwärts oder nach abwärts statt. Die Formen der ersteren Art kann man als Kuppelwölbungen bezeichnen. Sie sind in Amerika über Lakkolithen (§ 234) nachgewiesen worden, dürften aber eine häufiger vorkommende Erscheinung in der äußeren Hülle von diesen, wie auch vielleicht in derjenigen von Batholithen sein. Man sollte sie ferner an solchen Stellen als möglich voraussetzen, wo eine lokalisierte Volumenvermehrung in einer tieferen Schicht (z. B. durch Verwandlung von Gips in Anhydrit) stattfindet. Ihnen gegenüber steht die Kesselmulde, welche durch das Nachsinken horizontaler Schichten an solchen Stellen, wo durch Lösung ein unterirdischer Hohlraum gebildet wird, zu erklären ist. Beides sind jedoch nur örtliche Erscheinungen, welche zwar an sich Interesse haben, wo immer sie vorkommen (s. § 120 Nr. 26), aber eine nennenswerte Rolle in der allgemeinen Architektonik nicht spielen.

Von ungleich größerer Wichtigkeit im Gebirgsbau ist die faltige Biegung der Schichten, welche in dem seitlichen Zusammenschieben einer ebenflächig ausgebreitet gewesenen Schichtmasse

beruht. Da der Raum nach unten ausgefüllt ist, kann die Faltenbildung, mit seltenen Ausnahmen, nur in einer Emporwölbung bestehen. Indem es nun aber kaum vorkommt, daß eine Falte isoliert auftritt, sondern stets mehrere derselben einander parallel verlaufen, entsteht zwischen je zwei Wölbungen eine Mulde, deren Boden jedoch, wenn eine andere Bewegung in der Erdrinde nicht hinzukommt, wahrscheinlich nie tiefer liegt als die vormalige ebenmäßige Fläche. Wölbung (oder „Sattel“) und Mulde entsprechen zwar äußerlich dem Wellenberg und Wellental des bewegten Wassers, sind aber, als Resultat aktueller Zusammenschiebung, in ihrem Wesen von den Wasserwellen durchaus verschieden. Das genetisch Formgebende ist die Wölbung; da aber morphographisch die Mulde eine gleiche Bedeutung hat, so bezeichnet man als Falte die in Fig. 102 für zwei verschiedenartige Fälle im Querschnitt dargestellte Kombination eines Gewölbes und einer Mulde. Beiden gemeinsam ist die ausgesprochene Längsrichtung, deren Ausmaß dasjenige der Querachse meist um ein vielfaches übersteigt. Während aber die Ausdehnung der Längsachse einer Falte von der ursprünglichen Dimension der ungefalteten Schichten kaum verschieden ist, Fig. 102



bleibt die Querachse um einen erheblichen Betrag hinter derselben zurück. Der Gesamteffekt der Faltung ist eine Raumverminderung in der Richtung quer gegen die Längsachse. Die Ursache derselben kann nur in einem ungefähr in der Richtung der Horizontale, d. i. der Tangente der Erdoberfläche, rechtwinkelig zur Längsachse wirkenden Druck beruhen, welchem sich auf der anderen Seite der Falte ein Widerstand bot. Es ist daher bei jeder Falte eine Stoßseite und eine Widerstandsseite zu unterscheiden. Wie die Falten, welche man durch Zusammenschieben eines auf ebener Fläche ausgebreiteten Tuches erhält, verschiedene Gestalt und Anordnung annehmen, je nachdem man den Stoß von einer eng begrenzten Stelle oder gleichmäßig von einer Linie aus ansetzt, so läßt der wechselnde Verlauf der Schichtenbiegungen auf eine örtliche Änderung der Stoßkraft in Hinsicht auf Intensität und Art des Ansatzes schließen. Wie bei dem Tuch, herrscht das Bestreben, an der Stelle der stärkeren Stoßwirkung die Falten konvexer zu gestalten und die benachbarten, weniger stark bewegten Teile derselben gleichsam mitzuschleppen. Es kann daher in gewissen Strecken eine intensivere, seitlich davon eine sich allmählich abschwächende Faltung stattfinden, falls nicht Querbrüche den mittleren, am stärksten gestoßenen Teil herauslösen und die Übertragung der Kraft auf die seitlichen Teile verhindern. Vollzieht sich die volle Ausbildung der Falte, so werden zugleich die seitlichen Teile bogenförmig zurückweichen, und zwar um so mehr, je intensiver der Stoß auf den mittleren Teil erfolgt.

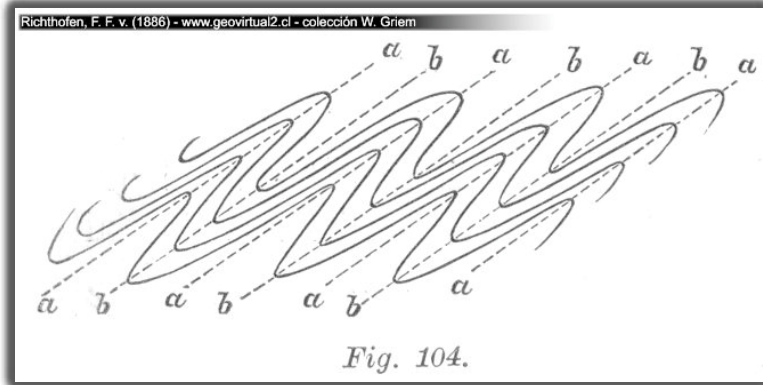


In großen Regionen der Erdoberfläche ist die Faltung der Schichtgebilde das Grundprinzip der Gebirgsbildung und tritt in endlosem Wechsel auf. Sie erlangt dadurch eine hohe Bedeutung; Man unterscheidet stehende und liegende Falten. Die stehenden sind entweder gleichförmig oder ungleichförmig, je nachdem eine vom Scheitel gezogene Lotlinie den Querschnitt des Sattels halbiert (Fig. 103 a) oder in zwei ungleiche Teile zerlegt (Fig. 103 b), deren einer auf Null herabgehen kann, wenn

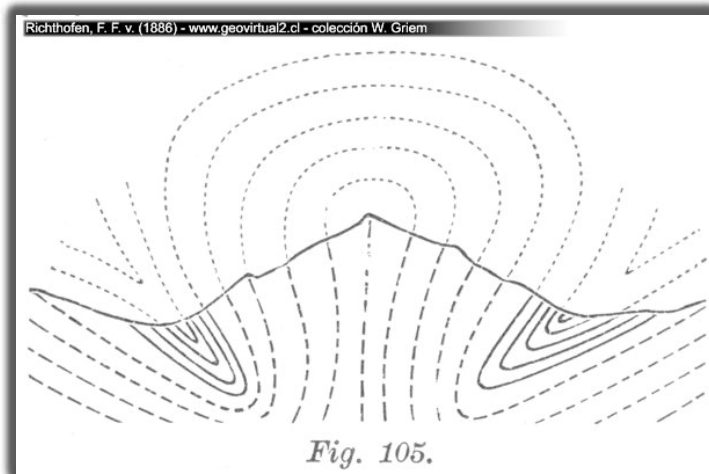
die Lotlinie mit einem der beiden Schenkel zusammenfällt (Fig. 103 c). Ist ihre Lage gänzlich jenseits der letzteren, so spricht man von einem liegenden Gewölbe und einer liegenden Falte. (Fig. 103d). Das ungleich stehende Gewölbe ist auch als normale bezeichnet worden. Bei einer stehenden Falte wird die Lagerung der Schichten des Gewölbes antiklinal, diejenige der Mulden synklinal genannt. Eigentlich müßten beide Bezeichnungen auch für das relative Verhältnis der beiden Gewölbeschenkel und der beiden Mulden-schenkel bei liegenden Falten angewendet werden. Doch hat man sich an die angegebene Beschränkung der beiden Ausdrücke gewöhnt.

Als Achsenebene bezeichnet man die Ebene, welche den Krümmungswinkel der

Gewölbe halbiert. Man kann jedoch auch sprechen; sie pflegen den ersteren parallel zu sein. In Fig. 104 sind mit aa die Gewölbeachsen, mit bb die Muldenachsen bezeichnet.



Solche Falten, bei denen in Folge mehrfach wiederholter starker Umbiegung die Schenkelflächen nicht nur unter einander, sondern auch den Achsenebenen parallel sind, bezeichnet man als isoklinal. Sie sind stets dichtgedrängt und bekunden eine hochgradige Zusammenschiebung.



Wenn zwei Muldenachsen nach der Tiefe konvergieren, so stehen die Schichten fächerförmig (Fig. 105). Wahrscheinlich wird diese, den kristallinen Kernen mancher Hochgebirge, wieder Schweizer Alpen, eigentümliche Anordnung dadurch hervorgebracht, daß die tief gelegenen Teile isoklinaler Falten gegen einander gepreßt werden, während der geringere Widerstand in den oberen Teilen,

zusammen mit der Schwerkraft, dort ein Auseinandergehen gestattet.

6. Bruch und Überschiebung.

[§260] Eine Schiebung nach vorwärts und aufwärts hat in allen den Fällen stattgefunden, wo die zu beiden Seiten einer geneigten Verwerfungsfläche ausgeführte Beobachtung zeigt, daß in gleichem Niveau im Hangendflügel ältere Schichten auftreten als im Liegendflügel (s. Fig. 90 auf S. 600). Die Aufschiebung kann in eine Überschiebung verwandelt werden, welche daran kenntlich

wird, daß man ältere Schichtgebilde in unmittelbarer Auflagerung auf erheblich jüngeren findet. Dem Prozeß der Aufschiebung und Überschiebung muß, gerade wie bei der Absenkung, die Bildung eines Bruches vorangegangen sein. Aber während in jenem Fall die Bewegung entlang der Bruchfläche nach dem Gesetz der Schwere geschah, vollzieht sie sich hier demselben entgegen; und während dort Zerrung, Raumerweiterung und Verminderung der Dicke der Erdrinde stattfanden, waltet hier ein Zusammenschieben, die Unterbringung einer gestreckten Schichtmasse auf einen kleineren Raum, und eine Verdickung der Erdrinde. Dort ist der Zug das Veranlassende, und zu der durch ihn gegebenen horizontalen Komponente kommt eine vertikale mit der Richtung nach abwärts; bei der Überschiebung liegen Stoß und Druck zu Grunde; auch hier ist eine Komponente horizontal, aber im entgegengesetzten Sinn, eine zweite ist vertikal aber mit der Richtung nach aufwärts. Die letztere ist in vielen Fällen nur eine Ablenkung der horizontalen Bewegung in Folge der Stauung an dem Widerlager und vollzieht sich unter starker Reibung. Doch ist ihre Ursache wahrscheinlich häufig von anderer Art und mit den Vorgängen verbunden, welche die Bewegung ursprünglich veranlaßten. Es ist klar, daß Faltung und Überschiebung eng mit einander verwandt sind. Daher ist auch die letztere nicht nur räumlich häufig an die erstere gebunden: die beiden Bewegungen sind auch in der Regel gleichsinnig gewesen und werden in einander verwandelt. Wo mit dem Prozeß der Faltung die Bildung eines Längsbruches verbunden ist, da wird man kaum die Überschiebung vergeblich suchen. Aber wie die Faltung allein vorkommt, so auch die Überschiebung ohne dieselbe.

Ob die lateral wirkende Kraft in erster Linie die Bildung eines Bruches oder diejenige einer von größeren Brüchen nicht durchsetzten Falte zur Folge hat, hängt ab:

1. von dem Grad der Biegsamkeit des Gesteins, welche durch tonige Beimengung befördert wird;
2. von der Schnelligkeit der Bewegung im Verhältnis zur Stärke des Druckes;
3. von der Belastung, indem stark belastete Schichten in größeren Erdtiefen auch bei großer Sprödigkeit noch biegsam und dehnbar sind, während in der Nähe der Oberfläche dasselbe Gestein unter sonst gleichen Verhältnissen häufig brechen würde;
4. von der Dauer der Einwirkung des Druckes, indem die Fortdauer desselben eine schiefe Falte in der Achsenebene sprengen und den hangenden Teil über den liegenden hinwegzuschieben vermag.

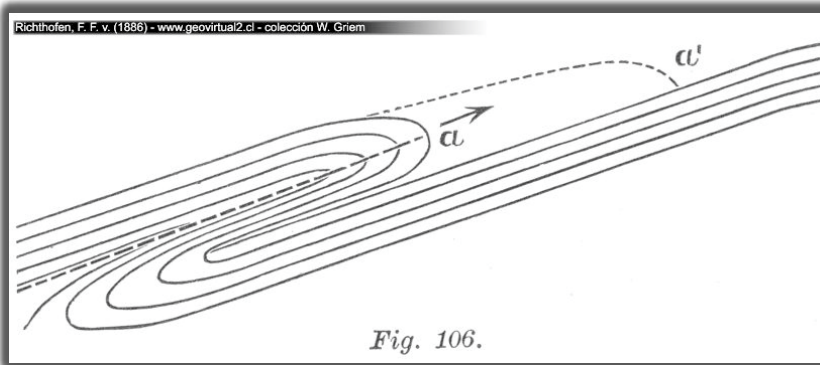
Die Kenntnis der Überschiebungen ist noch unvollkommen. Da sie zu den wichtigsten Erscheinungen bei der Gebirgsbildung gehören, sind vielfache neue Beobachtungen sehr erwünscht, besonders in solchen Gebirgen, bei welchen Vegetationslosigkeit den Bau klar zu erkennen gestattet. Es lassen sich gegenwärtig nur zwei Fälle unterscheiden:

a) Die einfache Aufschiebung ohne Faltung. Man nimmt sie häufig wahr; aber, wie es scheint, nur an solchen Stellen, wo die Beobachtung sich auf die Bewegung zu beiden Seiten einer Bruchspalte beschränkt, und die höheren Teile durch Denudation entfernt sind. Es ist nicht sicher, ob die Erscheinung gänzlich ohne Faltung eintreten kann, und ob nicht vielmehr in solchen Fällen die gefalteten Teile verschwunden sind. Die Aufschiebung kann in staffelförmiger Wiederholung stattfinden.

b) Die Schuppenstruktur. Dieser Name wurde von Suess einer bekannten und in Faltungsgebirgen häufig beobachteten Form der Anordnung gegeben, wobei, oft in auffallend gleichförmiger

Lagerung, eine und dieselbe Schichtenfolge sich in einem Querschnitt des Gebirges mehrfach in solcher Weise wiederholt,

daß über den jüngsten Schichten derselben unmittelbar wieder die ältesten lagern, wie dies schon bei der Erklärung zu Fig. 86 (S. 597) angegeben wurde. Man würde die Ursache der Erscheinung leichter verstehen können, wenn nicht diejenigen Teile, welche den Schlüssel zu geben vermöchten, einestheils durch Denudation entfernt, anderenteils im Inneren des Gebirges verborgen wären. Zur Erklärung kann man annehmen, daß eine Reihe isokliner Falten in ihren Achsenebenen gesprengt, und die oberen Teile nach vorn geschoben wurden, so daß nur eine



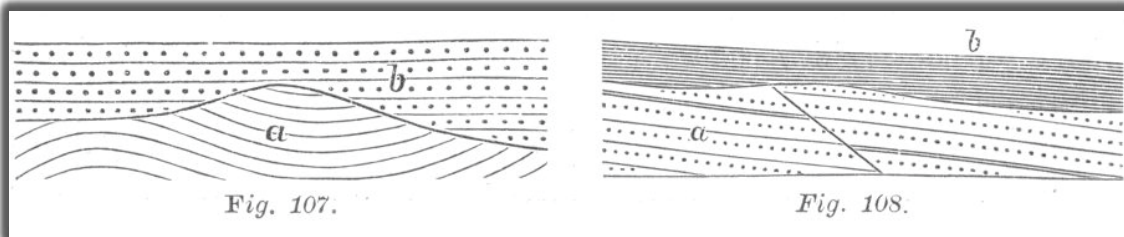
Reihe oberer Hälften von Falten über einander lagern. Die Schuppenstruktur würde dann nur als eine durch Fortwirken der schiebenden Kraft ins Extrem ausgebildete faltige Überwallung erscheinen. Es ist versucht, in Fig. 106 die-

sen Vorgang annähernd zur Anschauung zu bringen. Wird die obere Hälfte der linksseitigen Falte auf der (durch die gestrichelte Linie bezeichneten) Achsenebene nach vorn geschoben, so kann a an den Ort a¹ zu liegen kommen. Denudation würde die Spuren der bei a vorhandenen Schichtenbiegungen entfernen. Im Inneren des Gebirges würde eine Faltenmulde liegen und der Beobachtung verborgen sein. Schon bei der faltigen Überwallung würde der liegende Faltenflügel gestreckt, zerrissen und zum Teil zerdrückt werden. An der weiteren Vorwärtsbewegung würde er überhaupt nicht teilnehmen. — Es ist jedoch möglich, daß durch eine Staffelreihe von einfachen Aufschiebungen ein ähnliches Resultat herbeigeführt werden könnte. Es ist ein charakteristisches Merkmal für den Außenwand vieler Gebirge, z. B. für den Nordrand der Alpen und den Südrand des Himalaya, daß die älteren Formationen, welche entweder in einander gefaltet oder in Schuppenstruktur angeordnet sind, entlang weit ausgedehnten Linien über die jüngeren hinweggeschoben worden sind. (Miozän wird durch Eozän, dieses entweder durch Kreide, oder, wie in Vorarlberg, durch Trias überlagert). Ein ähnliches, sehr großartiges Verhältnis ist am Nordrand der Ardennen durch die Aufschlüsse des Steinkohlenbergbaues nachgewiesen worden und hat überraschendes Licht auf die tektonische Geschichte dieser Gegend geworfen. Hier war die Untersuchung eine äußerst schwierige. In anderen Fällen können an der Hand einiger weniger Versteinerungen und sorgsam aufgenommenener Profilzeichnungen die größten Überschiebungen, ebenso wie kleine Erscheinungen derselben Art, leicht nachgewiesen werden. Wo immer sie vorhanden sind, sollte man sie im Fortstreichen verfolgen und möglichst genaue Bilder der Tektonik entwerfen.

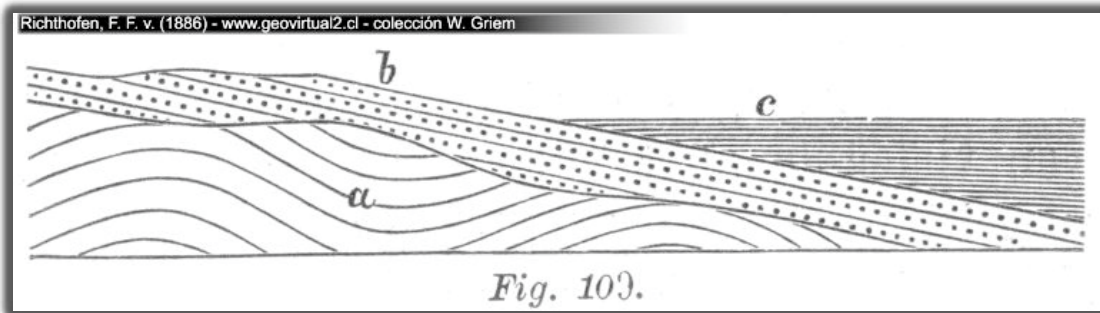
B. Relative Ablagerungszeiten des Schichtgebirges.

[§261] Es ist ein Ziel der geologischen Forschung, die verschiedenen Phasen morphologischer Entwicklung, welche jedes Gebirge, und jeder Teil der Erdoberfläche überhaupt, durchlaufen hat, zu ergründen, um daraus die Geschichte der Kontinente abzuleiten. Die im Vorhergehenden

erörterten Lagerungsformen zeigen die Umgestaltungen, welche ein einzelnes Schichtensystem erlitten haben kann. Es kommt nun weiter darauf an, das Zeitalter kennen zu lernen, in welchem jedes von ihnen abgelagert wurde, sowie die Zeit oder die Zeiten, in welchen die Lagerungsform eine Umgestaltung erfahren hat. Das Zeitalter der Ablagerung kann als ein absolutes bezeichnet werden, insofern sich aus der Versteinerungsführung diejenige Epoche der Erdgeschichte ableiten läßt, in welcher die Schichten abgesetzt wurden; als ein relatives insofern als es sich um ein Früher oder Später der Bildung im Vergleich zu anderen Schichtgebilden derselben Gegend handelt. Es ist gewöhnlich als ein günstiger Fall zu bezeichnen, wenn es gelingt, in mehreren wichtigen Schichtgruppen bestimmbare organische Beste zu finden. Betreffs der anderen ist man in



der Regel darauf angewiesen, das relative Altersverhältnis zu jenem zu bestimmen. Dazu ist es erforderlich, die Beziehungen der Lagerung des einen zum anderen durch sorgfältige Beobachtung festzustellen. Sie sind am einfachsten, wenn auf einem ebenmäßig ausgebildeten Schichtensystem a ein anderes, b, gleichförmig aufgelagert ist, wie in Fig. 84 (Seite 596). Ist aber a gefaltet oder verworfen (wie in Fig. 107 und 108) und b darüber horizontal gelagert, so hat zwi-



schen der Ablagerung von beiden Schichtgruppen eine Kraftäußerung stattgefunden, welche innere Bewegung verursachte und eine Phase in der Gebirgsbildung bezeichnet. Dieselbe kann von kürzerer oder längerer Dauer gewesen sein. Es kann dann b mit a gemeinschaftlich eine zweite Phase von Bewegungen erfahren haben und eine dritte Schichtgruppe c horizontal über beiden gelagert sein (Fig. 109). Dann ist das Verhältnis von a zu b und dasjenige von b zu c festzustellen. Es handelt sich also immer um die gegenseitigen Beziehungen von zwei Schichtensystemen an den Flächen ihrer Berührung. Je vollkommener dieselben durch alle an dem Aufbau eines Gebirges teilnehmenden Schichtensysteme verfolgt und die Lagerungsformen von diesen im Einzelnen beobachtet werden, desto ausgiebiger wird es gelingen, die Entstehungsgeschichte des Gebirges zu erkennen. Eine Zusammenstellung der wesentlichen Formen gegenseitiger Lagerung zweier Schichtensysteme dürfte einen Anhalt zu der Untersuchung im einzelnen Fall zu geben geeignet sein.

1. Der einfachste Fall ist die fortgesetzte gleichförmige Auflagerung. Wenn Sedimente mit nahezu parallelen Schichtflächen übereinander gelagert sind, und die eingeschlossenen Organismen eine zeitliche Unterbrechung nicht erweisen lassen, so ist es klar, daß ein ununterbrochener Absatz im Meer oder in einem Süßwasserbecken stattgefunden hat. Der Beobachter hat

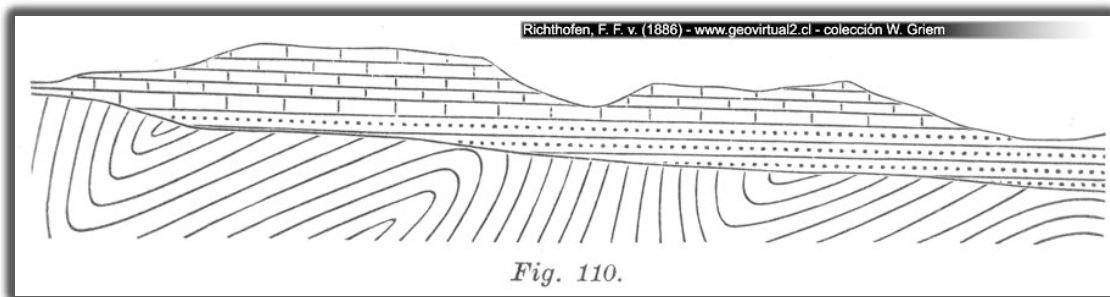
dann, abgesehen von der Untersuchung der Lagerungsformen, nur die Aufgabe, aus dem wechselnden Gesteinscharakter die verschiedenen Bedingungen zu ergründen, unter denen die Ablagerung sich vollzog. Der Niederschlag eines mächtigen Schichtensystems ist das Produkt sehr langer Zeiträume, in welchen die Verhältnisse der Meerestiefe, der Entfernung vom Land u. s. w. vielfach gewechselt haben können. Inwiefern diese Wechsel sich in der Verschiedenheit des Gesteins (Konglomerate, Sandsteine, tonige Gesteine, Kalksteine) zu erkennen geben, ist aus dem oben über die Ablagerungen am Meeresboden gesagten (§ 189) zu ersehen. Der Charakter der eingeschlossenen Tiere und Pflanzen gestattet die Schlußfolgerungen bestimmter zu gestalten.

2. Eine seltenere, aber wohl zu beachtende Erscheinung ist die unterbrochene gleichförmige Auflagerung. Es gibt nämlich Fälle, wo mächtige Schichtensysteme ganz gleichförmig, über einander lagern, die Versteinerungen aber eine Lücke in den Absätzen erkennen lassen. So werden in großen Teilen des nördlichen China die Schichten der kambrischen Epoche unmittelbar und gleichförmig von Kalksteinen überlagert, welche die Fauna des Kohlenkalkes führen, so daß Silur und Devon hier vollkommen fehlen. Dabei ist in Betracht zu ziehen, daß die den Kohlenkalk zunächst unterteufenden Schichten auf eine Erstreckung von vielen hundert Kilometern einen durchaus gleichbleibenden, zugleich sehr eigentümlichen Charakter haben. Man hat analoge Fälle früher durch die Annahme erklärt, daß die Schichten der älteren Epoche während der Zeit, aus welcher Ablagerungen nicht vorhanden sind, Festland gebildet hätten. Wäre dies richtig, so müßten dieselben durch die Agentien des Festlandes erodiert, und die Sedimente der nächsten Meeresbedeckung auf unebener oder abradierter, jedenfalls örtlich verschiedenartig gestalteter Unterlage abgesetzt worden sein. Wo dies, wie in China, nicht der Fall ist, ist nur der eine Schluß gerechtfertigt, daß die Oberfläche der kambrischen Schichten während der Epochen des Silur und Devon Tiefseeboden gewesen ist, auf welchem nur ganz unbedeutende gleichförmige Niederschläge stattfanden, und daß sie erst in der Karbonzeit wieder der Oberfläche des Meeres nahe genug lagen, um neue, und zwar kalkige Niederschläge aufzunehmen. Verhältnisse dieser Art dürften sich vielfach nachweisen lassen.

3. Man beobachtet zuweilen, in sehr kleinem wie in sehr großem Maßstab, den Fall, daß ein schwach geneigtes Schichtensystem, dessen Oberfläche keine Spuren von Bearbeitung durch festländische Agentien zeigt, durch ein horizontales überlagert wird. In anderen Fällen ist das erstere wellig oder faltig gebogen, oderverworfen, und das zweite ohne Beteiligung an solchen Störungen, aufgelagert, ohne daß jedoch die Oberfläche des ersteren eine festländische Denudation oder Abrasionswirkungen erkennen läßt. Wo dies vorkommt, ist es klar, daß das ältere System tektonische Umgestaltungen in der Lage seiner Schichten nach der Ablagerung von diesen und vor derjenigen des zweiten Systems erfahren hat, ohne daß die Meeresbedeckung unterbrochen worden ist. Da indes solche Umgestaltungen sich in der Regel sehr langsam vollziehen, so findet man, falls die Aufschlüsse deutlich sind, wahrscheinlich weit häufiger (wie z. B. in den Trias-Lias-Ablagerungen des Rothen Beckens in der chinesischen Provinz- Sz'—tschwan) einen allmählichen Übergang von den stärker gestörten durch weniger bewegte bis in ungestörte Schichten.

4. Eine vierte Form ist die Transgression auf Abrasionsflächen. Sehr häufig findet man ein Schichtensystem auf den ebenflächig abgeschnittenen Schichtenköpfen eines oder mehrerer anderer Schichtensysteme angelagert. Die letzteren können Stellungen von sehr flacher bis zu der steilsten Neigung haben. Zu dem Begriff der transgredierenden oder übergreifenden Lagerung genügt es, daß (umgekehrt wie bei dem ersten der unter 3. angeführten: Fälle) die Schichten der älteren Formation gegen die Unterfläche der auflagernden enden, daß sie also durch eine Kraft

von solcher Art, wie sie auf dem Boden des Meeres nicht besteht, abgeschnitten sind. In jedem solchen Fall, auch wenn das ältere System noch so flach lagert, ist dieses Festland gewesen und erst durch die Abrasionswelle (§ 161) zur Unterlage des jüngeren hergerichtet worden. Dies ist wohl zu beachten, um die Geschichte manches Erdraumes mit flacher Schichtenlagerung, wie z. B. der russischen Tafel, zu verstehen. Ruhen hingegen die transgredierenden Schichten auf den Köpfen steiler Schichten, so wird die Trennung der Bildungsepochen durch einen langen Zeitraum, die Aufrichtung und Faltung der älteren Schichten, die Abschleifung durch Abrasion vollkommen deutlich. Die durch die letztere aufgearbeiteten Zerstörungsprodukte gaben das Material zu den transgredierenden Gebilden. Daher bestehen diese in der Regel zu unterst aus klastischen Gesteinen, unter denen sehr grobe Konglomerate häufig vorkommen. Doch finden sich auch Kalksteine zuweilen, als unterstes Glied. Nach früheren Erörterungen muß alsdann eine Fortführung der klastischen Zerstörungsprodukte angenommen werden. Fig. 110 stellt ein einfaches Beispiel der Transgression dar. Stellt man sich die Abrasionsfläche in Fig. 75 (S. 357) mit Sedimenten bedeckt vor, so hat man ein Beispiel wiederholter Transgression.



Die hohe geologische Bedeutung der Transgression ist gleichwertig mit derjenigen der Abrasion. Beide erstrecken sich über weite Kontinentalflächen, beide haben sich in mancher Gegend wiederholt ereignet. Die ausgedehnten Transgressionen bezeichnen die wichtigsten Hauptabschnitte in der Geschichte der Erde. Daher ist ihr Nachweis an jeder einzelnen Stelle nicht nur von hohem Belang um diese selbst zu verstehen, sondern auch von Bedeutung für die vergleichende genetische Betrachtung größerer Erdräume. Wo transgredierende Schichten auf einer Abrasionsfläche horizontal lagern und eine Bedeckung durch andere Meeressedimente nicht tragen, da markiert ihre Ablagerung den letzten abradierend vordringenden Einbruch des Meeres und die letzte große Phase in der Entwicklungsgeschichte der betreffenden Gegend. Unter ihnen liegt die ganze vergangene Geschichte des Erdraumes verborgen.

Da die Transgression auch über Tafelländer hinübergreift und die Abrasion hier zuweilen nur geringe Wirkung ausüben kann, so ist es nicht ausgeschlossen, daß transgredierende Schichten streckenweise auf eine Unterlage, welche Festland war, gleichförmig aufgelagert sind.

5. Die Transgression ohne Abrasion, oder die Ingression. Es ist an anderen Stellen (z. B. § 166) dargestellt worden, wie unter besonderen, nicht selten vorkommenden Umständen das Meer in die Unebenheiten des Festlandes eindringen kann, ohne durch Abrasion die Oberfläche desselben umzugestalten und eine besondere Fläche als Fußgestell für die Ablagerung der Zerstörungsprodukte und anderer Sedimente zu schaffen. Unter diesen Bedingungen befinden sich die kleinen Becken mit geringer Entwicklung der Brandungswelle und oft zugleich mit Gezeiten von verschwindender Größe; ferner diejenigen Stellen, wo Korallenwälle und Blockanhäufungen sich schützend vor die Küste lagern. Dringt das brandende Meer bei positiver Strandverschiebung vor, so wird es nicht selten durch Pforten, wie sie sich besonders bei Längsküsten die von mehreren parallelen Gebirgszügen begleitet werden, darbieten, in größere Inlandbecken dringen

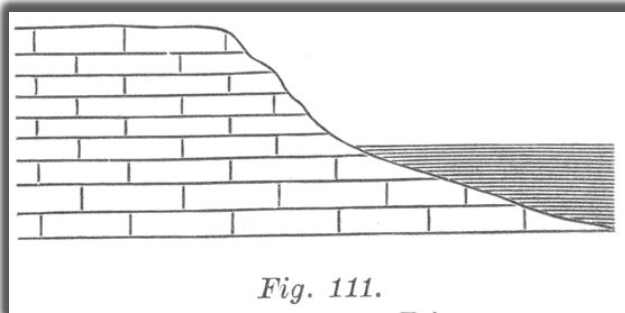
und diese mit einem verhältnismäßig ruhigen Wasserspiegel ausfüllen. Man kann dieses Eindringen als Ingression bezeichnen. Während die Brandungswelle in großer Erstreckung Sedimente von gleichartigem Charakter schafft, ist hier Individualisierung im Kleinen die Regel. Das Meer erfüllt die durch das fließende Wasser und andere Agentien gebildeten Hohlformen des Festlandes, und diese, mit allen Unebenheiten, dienen als Basis für die Ablagerungen, welche aus örtlich verschiedenem Material gebildet werden. In Bezug auf die Lagerung der Gesteine sind die neuen Gebilde transgredierend, aber ihre Unterlage kann eine wechselvolle Gestalt besitzen. Ströme setzen klastisches Material in den meerbedeckten Furchen ab, die sie sich meist selbst gegraben hatten; aber den offenen Teilen derselben Becken fehlen die Stoffe für mächtigere Ablagerungen weitverbreiteter feinerdiger Sedimente, da das Meer sie sich ohne Brandungswelle nicht zu schaffen und ohne Strömungen nicht weit zu transportieren vermag. Örtliche Trümmerschichten und verschiedenartige Zusammenschwemmungen werden an vereinzelt Stellen der Küste vorkommen. Sind Vulkane vorhanden, so werden sie die örtliche Differenzierung erhöhen. Ein anderes Moment ingredierender Ablagerung wird dadurch hervorgerufen, daß derartige überflutete Gründe für eine reiche und zugleich vielfachem örtlichem Wechsel unterliegende Entfaltung von organischem Leben geeignet sind. Die Schichten enthalten oft kohlige Beimengungen und Kohlenflöze. Dazu kommen fossilienreiche kalkige Ablagerungen, welche in der mannigfaltigen Zusammensetzung ihrer Fauna zuweilen an die belebtesten Gründe der gegenwärtigen Küstenmeere erinnern.

Den Haupttypus derartig eingelagerter, fremdartiger und den verschiedensten Bodenformen aufliegender Sedimente bieten die durch die örtliche Verschiedenheit ihres Charakters ausgezeichneten Gosau-Schichten der Nordalpen. Wären die Umgebungen des Rothen Meeres von reichlicheren Niederschlägen benetzt, so würde dieses ein noch besseres Beispiel von der Mannigfaltigkeit der Ingressionsgebilde geben, als es tatsächlich gewährt. In kleinerem Maßstab ist dies bei dem adriatischen, dem ägäischen, dem Marmara-Meer, oder dem Persischem Meer der Fall. Bei dem ersten Vordringen des Meeres über die Unebenheiten des Festlandes dürfte zuweilen eine Art von selektiver Ablagerung stattfinden, indem z. B. riffbauende Korallen, wenn ihnen nicht andere kalkabsondernde Tiere oder Pflanzen ein Fußgestell gebaut haben, sich wahrscheinlich an gewissen für sie günstigen Stellen, und zwar vorwiegend auf Kalkstein, ansiedeln und nebst den zahl-reichen auf ihnen lebenden Schaltieren Felsen aufbauen werden, während die Gründe mit sandigem oder tonigem Boden keine so intensive Erhöhung erfahren und mit Sedimenten anderer Art allmählich überdeckt werden dürften. Manche scheinbare Anomalien, welche nicht bloß die Gosaugebilde betreffen, scheinen dadurch wenigstens teilweise eine Erklärung zu finden.

6. Heteropische Ablagerungen. Die Vergleichung der beiden zuletzt genannten Kategorien veranschaulicht die Bedeutung und den Begriff der „Facies“, welcher sich ebenso auf den Gesteinscharakter der Niederschläge, wie auf Fauna und Flora anwenden läßt. Gleichzeitige Ablagerungen von verschiedener Facies sind von v. Mojsisovics als heteropisch bezeichnet worden. Daß Schichtgesteine von ganz abweichendem petrographischem Charakter und mit nicht minder verschiedenen organischen Resten zur selben Zeit entstanden sein können, wurde zuerst für solche festgestellt, welche an weit von einander entfernten Erdräumen in großem Maßstab auftreten. Insbesondere wurde es erwiesen, daß Küstenablagerungen einer Erdstelle den Tiefseebildungen einer anderen entsprechen. So wurde der Synchronismus des aus klastischen Gebilden bestehenden Kulm und des Kohlenkalkes sicher gestellt, und eine noch viel weiter gehende Verschiedenheit stellte sich bei der Vergleichung der Schichten der oberen Trias in den Alpen und den vorliegenden Gebieten Mitteleuropas heraus. Durch Arbeiten in Südtirol wurde es klar, daß an einander dicht benachbarten Orten außerordentlich große Unterschiede im Charakter

gleichzeitig gebildeter Sedimente obwalten können; denn während dort in der Epoche der oberen Trias Dolomitriffe aufwuchsen, welche alle Zeichen von Korallenbauten tragen, lagerten sich daneben vulkanische Tuffe, bald reiner, bald mit Korallenmaterial vermengt, ab. Bieten sich auch die Erscheinungen selten in so großem Maßstab und so scharfer Trennung dar, so ist doch jetzt der heteropische Charakter an benachbarten Erdstellen in zahlreichen Fällen, besonders bei ingredierender Ablagerung, bekannt. Es ist von Interesse, diese Beobachtungen, die allerdings einer sicheren Feststellung der Verhältnisse bedürfen, zu vermehren.

Auch auf dem Boden der offenen Ozeane können heteropische Ablagerungen dicht an einander grenzen. Es genügen, betreffs jetziger Vorgänge an die Driftablagerungen von nordischen Eisbergen bei deren Eintritt in den Golfstrom zu erinnern; sie müssen ganz verschieden von denjenigen Sedimenten sein, welche sich außerhalb des Weges der Eisberge auf dem Boden der warmen Strömung niederschlagen.



7. Es mag endlich hier noch ein Lagerungsverhältnis Erwähnung finden, welches als parallele Anlagerung bezeichnet werden kann. Sie tritt dort ein, wo Tafelland frei ausstreicht, und an dem Fuß des dadurch gebildeten Abhanges andere Schichten von jüngerem Alter (s. Fig. 111) lagern. Man wird es dann in einem gewissen Stadium ihre Wirksamkeit abschloß. Dies scheint z. B. den Verhältnissen der Umgebungen des Ustiurt zu entsprechen. Noch häufiger wird Ingression das gleiche Verhältnis veranlassen.

C. Die Zerklüftung der Gesteine.

[§262] Es ist in vorhergehenden Abschnitten bereits mehrfach von §262. den Ablösungsflächen die Rede gewesen, von welchen alle Gesteine, mit wenigen Ausnahmen, mehr oder weniger durchsetzt sind. Es wurde derjenigen, welche in den Oberflächenteilen den Zersetzungsvorgängen die Wege bahnen (§ 42) oder durch Frost geöffnet (§ 41) und dadurch besonders deutlich erkennbar werden, gedacht, und der Einfluß erwähnt, welchen sie auf die Wege des erodierenden Wassers haben (§ 82). Beispiele ergaben insbesondere der Granit (§ 237), der Porphyr (§ 238), der Quadersandstein und die Schiefergesteine. Sie sind an jedem Steinbruch und in jedem durch festes Gestein getriebenen Eisenbahneinschnitt sichtbar, und der Bergbau erschließt sie in allen Tiefen, zu denen er eindringt. Kommen zwei verschiedene Gesteine neben einander vor, so gewahrt man, daß die Klüfte nach Anordnung und Gestalt in beiden verschieden sind. Sie setzen daher nicht von einem Gestein in das andere fort. Beobachtet man die Schichtgesteine genauer, so findet man oft feinere Fugen, welche jeder Schicht eigentümlich sind und nicht von einer in die andere übergehen. Dagegen zeigen sich größere Klüfte, welche Systeme verschiedener Schichten und auch andere eingeschaltete Gesteine durchsetzen. Das sind die im Vorhergehenden (§ 256) betrachteten Brüche, denen entlang nicht nur kleine, sondern auch sehr große und ausgedehnte Verwerfungen vorkommen. Auch die Klüfte sind häufig mit kleinen Verschiebungen, Gleitungen und Rutschungen verbunden, was nicht nur an der gegenseitigen Stellung der einzelnen von Klüften eingeschlossenen Gesteinskörper, sondern auch oft an der

Anwesenheit glänzender Rutschflächen erkennbar ist. Dieselben zeigen die Spuren des Gleitens unter starkem Druck, sind mit den Produkten der Abreibung bekleidet und haben eine Streifung, welche die Richtung der Bewegung anzeigt. Sie sind nur gewissen Gesteinen eigen. Die Gesteinsklüfte sind zum Teil klaffend und sichtbar, und dann häufig mittonigen, durch die Wasserzirkulation mechanisch herbeigeführten Mineralteilen, oder mit metamorphosiertem, durch Gleitung zerriebenem Gesteinsmaterial, oder mit chemisch niedergeschlagenen Mineralien (Quarz, Kalkspat, Gips, Eisenkies, Oxyde von Eisen und Mangan) ausgefüllt; zum Teil sind sie latent, indem das Auge auf der Bruchfläche keine Spur von ihnen wahrnimmt, ein Schlag mit dem Hammer aber das Gestein nach ihnen zerspringen läßt. Diese kommen besonders bei sehr feinkörnigen Schiefen und bei Eruptivgesteinen vor. Bei dem Formatisieren von Handstücken lernt der Geologe sie oft in unangenehmer Weise kennen.

Verschiedene Ursachen können der Gesteinszerklüftung zu Grunde liegen. Sie lassen sich in drei Gruppen teilen, nämlich:

1. solche, welche allein in einer Änderung der physikalischen Eigenschaften des Gesteins beruhen;
2. solche, welche aus tektonischen Bewegungen unmittelbar hervorgehen;
3. solche, welche ihre Veranlassung in Druck und Pressung haben.

[§263] 1. Unter denjenigen Ursachen, welche in der Änderung der physikalischen Eigenschaften beruhen, ist zunächst a) Die Kontraktion hervorzuheben, welche stark erhitzte Gesteine bei der Erkaltung erleiden. Sie hat eine Absonderung zur Folge, welche zuweilen in sehr regelmäßigen Formen geschieht, wie dies bei den Eruptivgesteinen (§ 237) und den Kontakterscheinungen (§ 228) erörtert wurde, und ist auf diese Fälle beschränkt. Es sollte darauf geachtet werden, ob die Kontraktionszerklüftung, je nachdem das Gestein auf freier Oberfläche, oder unter Wasserbedeckung, oder in Gangspalten, oder in größeren und unregelmäßigen intrusiven Massen erstarrt ist, nur dem Grade nach, oder auch mit Rücksicht auf Verlauf und Gestalt der Klüfte verschieden ist.

b. Die Aufblähung des Gesteins durch chemische Prozesse verursacht die Entstehung offener Risse und Spalten.

c. Eine Zerklüftung kann durch Wechsel von Hitze und Kälte hervorgebracht werden (§ 39); es scheint daß das Zerspringen nicht allein nach latenten Klüften geschieht, sondern daß wirklich ganz neue Klüftflächen durch die Spannung gebildet werden.

d) Wasserhaltige Erden und Gesteine werden durch Austrocknen zerklüftet. Während sich in schlammigem Boden an freier Oberfläche offene Risse und Sprünge bilden, wird wahrscheinlich schon in geringer Tiefe die Erscheinungsform davon abweichend sein. Es ist kaum bekannt, in welcher Art sie sich äußert, wenn Meeresboden in Tafelland verwandelt wird, und das darin enthaltene Wasser abfließt. Die Kontraktionsformen sollten in jeder Schicht einer individualisierten Tendenz folgen; aber Kohäsion und Druck werden die Übertragung derselben von einer Schicht in die zunächst darüber und darunter lagernde zur Folge haben. Vermutlich wird daraus eine Gleichartigkeit und Regelmäßigkeit der Anordnung mindestens durch jedes System gleichartiger Schichten resultieren. Es läßt sich jedoch gegenwärtig nicht entscheiden, welcher Antheil an den Ablösungsklüften in plastischen Sedimentgesteinen der Kontraktion zukommt. Vielleicht wird den tektonischen Einflüssen eine allzu große Bedeutung beigemessen. Zu bemerken ist,

daß die weiße Schreibkreide in den Oberflächenteilen, wo sie wiederholter Durchfeuchtung und Austrocknung ausgesetzt ist, von Kontraktionsklüften durchsetzt wird, in der Tiefe aber sie nicht erkennen läßt. Erdige Massen scheinen sich im Allgemeinen ähnlich zu verhalten.

[§264] 2. Die bei weitem überwiegende Rolle bei der Bildung der Klufflächen haben die tektonischen Bewegungen. Die Beobachtungen über die Lagerung der Schichtgesteine (§ 255 ff.) führen zu dem Ergebnis, daß die letzteren, um in die Lage zu gelangen, in welcher wir sie gegenwärtig als Glieder des Gebirgsbaues sehen, Bewegungen unterworfen gewesen sind. Zum Teil waren es Bewegungen innerhalb der Masse der Erdrinde, welche die äußeren Schichten unmittelbar mit ergriffen haben, zum Teil haben die letzteren besondere Bewegungen erfahren, welche entweder durch die ersteren unmittelbar induziert wurden, oder auch, von ihnen ganz unabhängig, auf kleineren örtlichen Gestaltungsvorgängen beruhen. Wird ein Gesteinskörper nicht in seiner ganzen Masse völlig gleichmäßig und gleichsinnig verschoben, sondern finden örtliche Differenzen, wenn auch noch so gering, in dem Maße der Bewegung statt, so werden Spannungen hervorgerufen. Jedes Gestein ist, vermöge seiner Elastizität, im Stande, diesen einen gewissen Widerstand entgegenzusetzen; aber jedes hat auch eine Elastizitätsgrenze, die gemessen und in Zahlen ausgedrückt werden kann und bei verschiedenen Gesteinen durch verschiedene, zum Teil sehr weit von einander abweichende Größen dargestellt wird. Wird dieselbe durch den Betrag der Spannung überschritten, so erfolgt an der Stelle des geringsten Widerstandes eine Lösung der Kohäsion durch Bildung einer Kluft oder Spalte, die nicht notwendig klaffend und äußerlich sichtbar ist, sondern den Zusammenhang der Teile in einer latent bleibenden Weise lösen kann. Es tritt jedoch hierzu noch ein anderer wesentlicher Faktor, welcher die Spannung aufzuheben vermag, so daß Spaltenbildung bei dem gegebenen Betrag derselben nicht erfolgt. Dies ist die Plastizität der Gesteine. Sie besteht in einer Verschiebbarkeit der Teilchen und ist ebenfalls bei einzelnen Gesteinen sehr verschieden. Vermöge derselben akkommodiert sich das Gestein den Spannungsdifferenzen und kommt in der neuen Lage (ganz wie eine an ihren Enden aufliegende, in der Mitte sich allmählich abwärts krümmende Stange Siegelack) wieder in Gleichgewichtszustand, vorausgesetzt daß die Bewegung langsam genug geschieht, um in keinem Moment ein Überschreiten der Elastizitätsgrenze durch die Spannung zu gestatten. Das Maße der fortschreitenden Bewegung, bei welcher die Biegung ohne Bruch möglich ist, ist daher bei jedem Gestein ein anderes; es ist sehr gering bei Quarz und Kalkstein, und wird mit dem Prozentsatz des Gehaltes an tonigen Bestandteilen, so wie durch die Beimengung von Glimmerblättchen erhöht. Indes hat auch die Biegung ohne Bruch bei unbelastetem Gestein, mag die Bewegung noch so langsam sein, in den meisten Fällen eine Grenze. Wird ein aus wechselnden Lagen von Kalkstein und tonigen Sandsteinen bestehendes Schichtensystem einer allmählichen Biegung unterworfen, so kann es daher geschehen, daß die Sandsteinschichten vollkommen gebogen, diejenigen des Kalksteins aber vielfach gebrochen werden. Es ist dabei gleichgiltig, ob die Biegung durch Wölbung nach oben, oder durch den Zug der Schwere nach unten, wie bei 4er Flexur, oder durch Torsion geschieht. Bei der letzteren scheint sich die Anpassung der inneren Anordnung an die neue Gestalt am schwierigsten zu vollziehen.

Elastizität und Plastizität der Gesteine ändern sich mit dem Druck, welchem die letzteren während der Einwirkung der deformierenden Kraft ausgesetzt sind. Nach der Annahme von Heim, welche nachträglich durch die wichtigen Experimente von Spring gestützt worden ist, werden unter hohem Gebirgsdruck, in großer Tiefe unter der Erdoberfläche, sehr starre Gesteine so vollkommen plastisch, daß sie wie Schichten von Ton gebogen werden können. Ein Stadium des Überganges zu diesem Zustand scheint durch diejenigen Fälle erwiesen zu werden, wo Gesteine, welche, wenn an der Erdoberfläche einer starken Biegung unterworfen, in ihrer ganzen Masse brechen würden, eine durch das Mikroskop in Dünnschliffen erkennbare tausendfältige innere

Zerbrechung und eine Ausheilung aller diminutiven Brüche durch Mineralsubstanz zeigen. In solchen Fällen scheint die Belastung, nicht hinreichend gewesen zu sein, um den Zustand vollkommener Plastizität hervorzubringen.

Die Einwirkung von Vorgängen äußerer Bewegung auf Kohäsionsänderungen und innere Struktur der Gesteine kann sich also zwischen weiten Grenzen bewegen. Klaffender Bruch, Zerklüftung, Biegung mit diminutiver innerer Zerreißung und Wiederverkittung, und bruchlose Biegung sind als typische, durch Übergänge verbundene Formen dieser Einwirkung zu bezeichnen. Die Natur des Gesteins, seine Elastizitätsgrenze, der Grad seiner Plastizität, die Art des Ansatzes der bewegenden Kraft, das Maße derselben, ihr langsames oder schnelleres Wirken, der Verband durch einschließende Schichten, endlich der Druck durch Belastung oder Pressung, dazu wohl auch der Grad des Wassergehaltes — dies sind die wesentlichen Faktoren, von denen die Äußerungsform der mechanischen Einwirkungen abhängt.

[§265] 3. Als eine dritte Klasse von Ursachen der Klüftbildung bezeichnen wir solche, welche ihre Veranlassung in Druck und Pressung haben. Sie können, wie sich aus Experimenten ergibt, ohne Beteiligung äußerer Bewegung wirksam sein. Da indes mit den gebirgsbildenden Bewegungen Pressungen im stärksten Maßstab verbunden und die Richtungen derselben mancherlei Änderungen unterworfen sind, so stellen sich Zerklüftungen durch Druck auch sehr häufig mittelbar als eine Folge von ihnen ein. Der Effekt der Pressung ist eine Absonderung der Gesteine in Platten, welche rechtwinklig zu der Druckrichtung stehen. Die Erscheinung ist als transversale Schieferung bekannt. Die Klüfte sind latent und manifestieren sich wesentlich in einer mehr oder weniger vollkommenen Spaltbarkeit (daher der englische Name cleavage bezeichnender ist). Sie können mit der Schichtung zusammenfallen, sind aber häufiger unter verschiedenen Winkeln gegen dieselbe gerichtet. Ist das Gestein sehr gleichartig, so kann die Schichtung ganz zurücktreten; aber gewöhnlich ist sie an verschiedenen Färbungen und an petrographischen Abänderungen der einzelnen ursprünglichen Lagen erkennbar. Die Schieferung setzt manchmal ebenflächig durch Faltungen und Schichtenkrümmungen hindurch. Zuweilen findet sie nur nach einer Ebene statt; öfter wird eine Ebene vollkommener Spaltbarkeit von anderen durchsetzt, wo diese weniger ausgezeichnet ist. Sie können nach einander, vielleicht auch gleichzeitig, hervorgebracht sein. Das Gestein zerfällt dann durch Erschütterung, z. B. mittelst eines Hammerschlages, in polyedrische, aber ebenflächig begrenzte, zuweilen griffelförmige Stücke. Man findet die transversale (oder „falsche“) Schieferung wesentlich in stark gefalteten Schichtgebirgen, daher am meisten in paläozoischen Formationen, aber auch vielfach in jüngeren, z. B. in den eozänen Schichten von Glarus. Der Beobachter hat sich davor zu hüten, sie mit der Schichtung zu verwechseln. In diesem Irrtum verfällt man um so um leichter, als die Streichrichtung der Schieferung in der Regel mit derjenigen der Schichtenbiegungen zusammenfällt. Häufig findet man die Gesteine, welche diese Schieferungserscheinung darbieten, von Brüchen und Verwerfungen durchsetzt, welche meist einen ebenflächigen Verlauf haben. Sie sind manchmal mit Infiltrationsmineralien ausgefüllt.

Als den die transversale Schieferung veranlassenden inneren Vorgang hat man durch Beobachtung und Experiment die Tatsache erkannt, daß die Mineralteilchen, vor Allem die Glimmerblättchen, sich rechtwinklig zur Druckrichtung stellen. Es ist damit oft eine Streckung verbunden, die an den zerbrochenen und in die Länge gedehnten Versteinerungen deutlich wird. Die Fragmente derselben sind linear angeordnet und zuweilen staffelartig gegeneinander verschoben.

Beobachtungen über die mechanische Umgestaltung der Struktur der Gesteine.

[§266] Die klassischen, durch Beobachtungen in der Natur gestützten experimentellen Untersuchungen von Daubröe haben viel zum Verständnis des Phänomens der Bildung von Bruchspalten und Klüften in den Gesteinen beigetragen. Abgesehen davon hat sich die Forschung zwar in hohem Grade den Verwerfungen und den mit Mineral erfüllten Gangspalten, aber in verhältnismäßig geringem Maße der Klüftung zugewendet. Es kommt besonders darauf an, den Gesamtbereich der mit letzterer verbundenen Erscheinungen in ihrem gegenseitigen Zusammenhang und in ihren Beziehungen zum Gebirgsbau zu erfassen. Sie helfen dann zum Verständnis der tektonischen Vorgänge und tragen viel zur Erklärung der Oberflächenformen bei. Indessen sind Beobachtungen hierüber nur dann gut verwertbar, wenn sie mit großer Sorgsamkeit ausgeführt werden. Dazu aber fehlt es dem Reisenden häufig nicht nur an Zeit, sondern auch an Gelegenheit. Er sollte sich damit begnügen, Richtung und Einfallen der größeren Bruchflächen und Verwerfungen zu bestimmen. Auch wo transversale Schieferung über größere Gebirgstelle verbreitet ist, trägt ihre Festsetzung zur klaren Auffassung allgemeinerer Verhältnisse bei. Aber von geringem Nutzen sind vereinzelte Beobachtungen über die untergeordneten Erscheinungen der Klüftung. Will man sie eingehender ausführen, so muß man die Gelegenheiten dazu mühsam aufsuchen. Deutliche Aufschlüsse sind in der Regel spärlich vorhanden. Am häufigsten begegnet man ihnen in den kahlen Regionen der Hochgebirge und an allen Stellen wo Spaltenfrost das Gestein zertrümmert, ferner in den Gebirgen der Wüste, in beschränkterer Weise an den Wänden von Quertälern und Wasserrissen. Reichlicher sind sie dort vorhanden, wo viel menschliche Arbeit im Gestein durch Bergbau, Straßenbau und Steinbruchs-Abbau frische Anbrüche an zahlreichen Stellen freilegt. Wo dies der Fall ist, sollte man nicht unterlassen, das Streichen und Fallen der Klufflächen und die Winkel, unter den sie sich schneiden, häufig zu bestimmen. Anfangs scheint dies kleinlich und nicht erfolgversprechend. Aber aus längeren Beobachtungsreihen, bei denen man nicht unterlassen darf, die Natur des Gesteins genau zu bezeichnen, werden sich bald gewisse Gesetzmäßigkeiten ergeben. Ist das Gebirge gefaltet oder gebrochen, so wird sich der Zusammenhang mit tektonischen Vorgängen ergründen lassen. Es ist ferner auf die mineralische Ausfüllung der kleinsten wie der größten Gänge zu achten. Zuweilen sind Gänge derselben Richtung mit dem gleichen Mineral, diejenigen von anderer Richtung mit anderem Mineral erfüllt. Vielleicht ist auch ein Zusammenhang dieser Gänge mit Injektionsgängen von Eruptivgestein (§ 234) oder mit dem Vorkommen des letzteren in größeren Ausbruchsmassen zu erkennen.

Die Untersuchungen von Daubree haben die Wichtigkeit der Torsion als einer Ursache der Spaltung und Klüftung des Gesteins erwiesen. Schichtgesteine, welche für das Auge ebenflächig ausgebreitet erscheinen, sind in Folge der großen Spannung, welche durch eine geringe Torsionsbewegung hervorgerufen wurde, von zwei und mehr Systemen paralleler Brüche und Klüfte durchsetzt. Das Experiment beweist, daß dieselben gleichzeitig entstehen können. Die Brüche der Hauptrichtung kreuzen sich mit denen einer zweiten in solcher Weise, daß diese zum Teil von einer Seite nur bis zu einem Hauptbruch heranreichen, ohne jenseits fortzusetzen, oder daß die jenseitige Fortsetzung in einigem Querabstand geschieht, so daß man nach früheren Anschauungen einen verworfenen Bruch zu sehen glauben würde. Beobachtungen in der Natur sollten das Experiment bestätigen; doch ist der Beweis durch sie schwer zu führen, weil es sich meist um die Frage der Verschiebung von Schichtgesteinen in der Sichtung der Schichtflächen handelt, wo der Charakter des Gesteins sich nicht ändert. Die Bedeutung der Torsion für die Erklärung der Natur der Tafelländer liegt darin, daß diese Kraft hier viel häufiger das Hauptprinzip der Bruchbildung, der Differenzierungen in der tektonischen Gestaltung, und damit auch der Erosionsrichtungen bilden wird, als dort wo die Schichtgesteine gefaltet sind. In diesem Fall tritt

zwar die Torsion bei jedem einzelnen Faltungsflügel unzweifelhaft (im Verhältnis zur Ausdehnung der in Betracht kommenden Flächen) viel intensiver und mit häufiger wiederholten Ansätzen gestaltend ein; aber sie ist doch dann die Kraft vom zweiten Bang und ordnet sich der fallenden Bewegung unter; daher wird auch die letztere primär, die Torsion nur sekundär auf die Erosionsvorgänge einwirken.

Da theoretisch angenommen werden darf, daß große feste Schollen der Erdrinde sich hinsichtlich ihres Elastizitätsverhältnisses im großen Ganzen ähnlich verhalten wie flach ausgebreitetes Tafelland, so dürften die Formen der Spaltung und Zerklüftung des letzteren geeignet sein, einen Anhalt für die Erklärung der Spaltenbildung in ausgedehnten Teilen der Erdrinde zu geben. Auch hier ist die Torsion wahrscheinlich ein wesentlicher Faktor. Durch sie allein dürfte beispielsweise die radiale Anordnung großer, mit gleichsinniger Absenkung verbundener Brüche, wie sie sich im kristallinen Gebirge der Provinz Schantung in China findet, erklärt werden können. Es wäre daher von Interesse, ähnliche Erscheinungen in Tafelländern nachzuweisen und dort dem Ursprung und der Wirkungsweise der bewegenden Kraft nachzugehen.

Außer durch Brüche, erleiden die Schichtgesteine noch manche andere innere Umgestaltung in Folge äußerer Bewegung. Dahin gehört die Auswalzung und Streckung einzelner Teile, im Gegensatz zur Stauung und Verdickung anderer. Es wurde bereits angeführt, daß transversale Schieferung mit Streckung verbunden ist. Beide Erscheinungen aber finden sich vereinigt bei der Faltung, welche überhaupt die größte Mannigfaltigkeit innerer Transformation darbietet und reichen Stoff zum Studium gewährt. Die feineren Strukturverhältnisse sind besonders durch Heim und Johannes Lehmann studiert worden. Sie geben sich bei den kleinen Fältelungen der kristallinen Schiefer ebenso wie bei den großen Schichtungsfalten, besonders den liegenden, zu erkennen. Die Mächtigkeit der Schichten ist am größten an der Gewölbebiegung, am geringsten an den Gewölbeschenkeln. Hier sind häufig die Versteinerungen in die Länge gestreckt, zuweilen auf den vierfachen, selbst auf den zwölffachen Betrag des ursprünglichen Maßes. Der untere Gewölbeschenkel einer liegenden Falte kann bis zu völliger Zerreißung gestreckt sein. Ein Gegensatz anderer Art, der für die Frage der Talbildung wichtig wird, besteht zwischen der Außenseite und der Innenseite eines Gewölbes. An der letzteren werden die Schichten auf einen kleinen Baum zusammengepreßt; sie werden dabei gestaut und zerdrückt, kräftig zusammengefaltet und über einander verschoben; daher entsteht dort viel Spaltenbildung im Kleinen, die oft durch dichtes Geäder von Kalkspat oder Quarz kenntlich wird. Auf der Außenseite hingegen waltet ein starker tangentialer Zug. Er kann die Kohäsion überwinden und zur Bildung radialer, klaffender Spalten führen, welche in der Richtung der Falte streichen. Zwischen Außen- und Innenseite ist eine neutrale Schicht. Eine größere Stauung und Verdichtung findet im Inneren der Muldenbiegungen statt. Wird ein System gefalteter Schichtgesteine abradiert, so wird daher das Gestein in den Schichtenwölbungen gelockert, in den Mulden verdichtet sein. Die ersteren gewähren den zerstörenden Agentien geringeren Widerstand als die letzteren.

In Folge dessen bilden sich Täler in den Antiklinalen; dieselben werden durch Rücken mit synklinaler Schichtenstellung getrennt (§ 80).

Inwieweit metamorphische Vorgänge mit der durch die Bewegungen der Gesteine unter hohem Druck geleisteten Arbeit Zusammenhängen können, wurde an einer anderen Stelle (§ 228) erörtert. Sie sind nur das extremste Glied in der Reihe der Änderungen, welche die gebirgsbildenden Kräfte in der inneren Struktur der Gesteine hervorrufen.

[p.631]



Sechzehntes Kapitel.

Die Hauptformen der Bodenplastik.

[§267] Aufragendes Land und Flachböden — dies sind die beiden wesentlichsten Kontraste in den plastischen Formen der Erdoberfläche, welche in sehr wechselndem Maßstab dem Reisenden überall auf den Festländern entgegentreten. Man kennt sie im Kleinen als Berg und Tal, in größerer Anlage als Gebirge und Flachland, im größten Maßstab als Kontinente und Meeresboden. Das Merkmal des aufragenden Landes, sei es ein Berg, ein Gebirge oder ein Gebirgsland, ist die, wenn auch meist ohne Symmetrie und scheinbar regellos, so doch stets gewölbte Gestalt der wechselvolle Fläche, welche über alle hervorragenden oder ausspringenden Teile gelegt wird. Im Gegensatz dazu sind die Flachländer entweder eben, oder einseitig geneigt, oder muldenförmig eingesenkt. Alle diese Gestalten geben sich am deutlichsten an Profillinien zu erkennen. Da es sich nur um relative Verhältnisse handelt, kommt die Meereshöhe nicht in Betracht; und die Furchen, in denen das Wasser fließt, sind von untergeordneter Bedeutung, so lange man die allgemeinsten Formen der Bodenplastik ins Auge faßt.

Wenn es wiederholt als eine Hauptaufgabe des Reisenden bezeichnet wurde, die Bodenformen morphologisch zu verstehen, so ist die Erforschung des inneren Gebirgsbaues nur eine vorbereitende Stufe. Für die Erfassung der äußeren Gestalt dürfte es zweckdienlich sein, gewisse Kategorien der Typen der überhaupt vorkommenden Elemente der Plastik auszusondern. Überaus mannigfaltig sind die Formen, denen man begegnet, oder welche auf Karten dargestellt werden. Ihre systematische Gliederung ist daher schwierig, und es ist noch kaum möglich, das Problem in einigermaßen befriedigender Weise zu lösen, da noch zu wenige Gebirge und Flachländer so bekannt sind, daß sie mit einander verglichen werden können. Mancher dahin gerichtete Versuch wird unternommen werden, ehe es gelingen wird, eine den zu stellenden Anforderungen genügende Einteilung zu finden. An dieser Stelle können nur einige skizzenhafte Umrisse gegeben werden. Vielleicht reichen sie hin, den Reisenden zu veranlassen, durch genaue und zweckentsprechende Beobachtungen neues Material zu sammeln und neue Typen kennen zu lernen.

Um die in Betracht kommenden Gesichtspunkte zu verstehen, muß man sich der Agentien bewußt sein, welche der Bildung verschiedener Bodenformen zu Grunde liegen, und den Effekt kennen, welchen sie einzeln auszuüben im Stande sind. Diese Einwirkungen bilden Gegenstände besonderer Beobachtungen. In den vorangegangenen Teilen dieses Buches ist auf sie hingewiesen worden. Es waren diejenigen Kräfte zu unterscheiden, welche ihren Sitz unterhalb der Erdoberfläche, also innerhalb der festen Erdrinde oder in unbekanntem Tiefen unter derselben

haben, und diejenigen, welche die Oberfläche des Planeten von außen umgestalten. Unter den Wirkungsäußerungen der erstgenannten Kategorie von Kräften waren hervorzuheben:

1. Die Bildung von Brüchen, denen entlang ein Flügel, meist staffelförmig, um tausende von Metern herabsinken kann (§ 257); es werden dadurch linear oder zonal angeordnete Niveaudifferenzierungen verursacht. In der Regel ist die steil abfallende Lippe des stehengebliebenen Flügels aufwärts gebogen, und ein flacher Abfall nach der entgegengesetzten Seite gerichtet.
2. Das Aufwärtsdringen von schmelzflüssigem Magma durch Bruchspalten. Dasselbe erstarrt in ausgedehnten Massen in größeren oder geringeren Tiefen unter der Erdoberfläche (Batholithen und Lakkolithen), oder erfüllt Spaltenräume (Gänge), oder gelangt an die Oberfläche und wird hier zum Teil in zusammenhängenden Massen angehäuft, zum Teil durch explosive Tätigkeit in Gestalt von Trümmern kegelförmig abgelagert.
3. Die Faltung des Schichtgesteins, die faltige Überwallung, die Aufschiebung auf geneigten Bruchflächen und die Überschiebung (§§ 259, 260). Dadurch werden zonale Emporwölbungen über das vorher vorhanden gewesene Niveau veranlaßt.

Alle diese Vorgänge haben die Tendenz, nach außen gerichtete Unebenheiten, also unmittelbar Berge und Gebirge, oder auch nur große ungestaltige Auftreibungen, welche einen großen Erdraum umfassen können, hervorzubringen.

Die von außen wirkenden Kräfte sind, mit Ausnahme derjenigen der auf kosmischer Anziehung beruhenden Flutwelle, Umsetzungen der durch die Wärmestrahlen der Sonne erzeugten Kraft. Ihre Wirkungen bestehen in:

1. Abrasion; wir erkannten in dieser Arbeit, welche als eine von den innersten Teilen ausgehende Abtragung der Gebirge bezeichnet werden kann, die großartigste und wirksamste Vernichtung der Unebenheiten des Bodens.
2. Aufschüttung der durch die Brandungswelle und die Flüsse dem Meere zugeführten festen Stoffe in einer die Küsten in verhältnismäßig geringem Abstand begleitenden Zone; ein kleiner Teil feiner Stoffe wird in die zentralen Teile der ozeanischen Becken geführt. Die Aufschüttung geschieht transgredierend auf der Abrasionsfläche, oder, bei Ingression des Meeres, auf verschieden gestaltetem Boden.
3. Denudation, d. h. Abtragung der Gebirge von außen nach innen, durch die Arbeit der Atmosphären, des Spaltenfrostes, des spülenden und fließenden Wassers und des strömenden Eises. Die Gebirge werden an der Außenseite umgestaltet. Die Tendenz zum vertikalen Eingraben von Kanälen schafft entweder unmittelbar kühne Formen; oder es wird in einem Fall durch Schuttumhüllung, in einem anderen durch Tiefenersetzung ein ruhender Zustand herbeigeführt, dem dann eine um so größere Umgestaltung folgen kann.
4. Aufschüttung der Zerstörungsprodukte auf den tieferen Teilen des Festlandes. Fließendes Wasser schafft geneigte Flächen, ruhiges Wasser weitaus vorwaltend ebene Böden; atmosphärische Aufschüttung bringt gleichmäßig beiderlei Formen hervor; das strömende Eis hinterläßt unebenes Schuttland.

Die Kräfte der ersten Art schaffen den rohen Block; diejenigen des Meeres streben seine aufragenden Massen bis zu einem gewissen Niveau herab vollständig fortzunehmen, um die hinweggeführte Masse in horizontaler Schichtung abzulagern; die Kräfte der Atmosphäre und des Festlandes hingegen arbeiten an seiner Ausmeißelung, mit der Tendenz schließlicher Nivellierung.

Aus diesem Zusammenwirken gehen die verschiedenen auf der Erdoberfläche vorkommenden Bodenformen hervor. Um die Kategorien der letzteren zu unterscheiden, ist es notwendig, erst die Talbildungen zu betrachten; denn sie sind ein Hauptmoment in den Gestaltungen der Gebirge und geben einen wichtigen Anhalt zur Charakterisierung der Haupttypen derselben.

A. Die Hohlformen des Festlandes: Senken und Täler.

[§268] In verschiedener Art gestalten und gruppieren sich die Hohlformen im Relief des Festlandes. Zwischen weit von einander entfernten Anschwellungen senkt der Boden sich in Gestalt einer großen flachen Mulde herab. Einzelne Gebirgszüge werden durch minder breite Einsenkungen von einander geschieden. Und wenn man die einzelnen kleineren und größeren Gebirge nach ihrer Plastik untersucht, so bieten die Täler ein mannigfaltiges Bild. Das eine übersteigt der Reisende, indem er einem langgestreckten Längsthal zwischen regelmäßigen Bergrücken folgt, dann durch eine Querschlucht nach einem in höherem Niveau gelegenen Längstal, und vielleicht auf ähnlichem Weg nach einem dritten und vierten gelangt, um dann über die Einsattelung in einem wasserscheidenden Rücken nach jenseitigen Talsystemen hinüberzusteigen. Bei einem anderen Gebirge wandert er vom ersten Eintritt an in einem engen und tiefen, nur hier und da seine Richtung etwas verändernden und sich stellenweise ein wenig erweiternden Quertal aufwärts und gelangt aus ihm unmittelbar nach der Höhe des wasserscheidenden Kammes. Wiederum in einem anderen Fall führt ihn eine bequeme Talstraße längs einem Strom auf ebenem Weg quer durch ein Gebirge hindurch, so daß er nur dessen getrennte Teile zu beiden Seiten aufragen sieht. Dann wieder steigt er auf einem Quergrat zwischen zwei unzugänglichen Schluchten nach der Zinne einer Gebirgsmauer hinan und befindet sich, wenn er sie erklommen hat, auf einer Hochfläche, auf welcher dieselben Flüsse, deren Engen er im Unterlauf nicht zu folgen vermochte, langsam und ohne tief eingeschnittene Kanäle in sanften Mulden hinschleichen. Wenige Gegenstände bieten ihm so wechselreichen Stoff zur Beobachtung. Es zeigt sich, daß Gebirge, deren innerer Bau große Analogie darbietet, hinsichtlich der Anordnung und Gestalt der Täler sehr verschieden von einander sind, und man wird gewahr, daß, um ein Gebirge nach seinem physischen Charakter, wie nach seiner Bewohnbarkeit, seiner Kultivierbarkeit und seiner Rolle in den Verkehrsbeziehungen zu verstehen und zu beschreiben, die eingesenkten Furchen eine noch wichtigere Rolle haben, als die meist zu ausschließlich berücksichtigten Höhenverhältnisse der Kämme und Gräte. Die Art, wie die Täler eingesenkt sind, bedingt im Verein mit der Tektonik die äußere Gliederung.

Der Begriff eines Tales wird verschieden gefaßt. Bald versteht man darunter nur die weiteren, mit ebenem Boden versehenen Einsenkungen im Bergland; bald dehnt man ihn auf jede enge Schlucht und jeden vom Wasser benutzten, nicht allzu kleinen Riß aus; dann erweitert man ihn noch mehr und wendet ihn auf die Summe aller Hohlformen an, deren tiefste Stellen von einem und demselben Strom durchzogen werden. Der allgemeine deutsche Sprachgebrauch ist in dieser Beziehung arm; Gebirgsbewohner verfügen über einen reicheren Schatz von Ausdrücken, die aber dem Bewohner des Flachlandes nicht verständlich sind und sich wissenschaftlich größtenteils nicht verwerten lassen. Die genannten Fassungen des Begriffes „Tal“ sind teils der landschaftlichen Physiognomie entnommen, teils der Hydrographie. Für die physische Geographie aber ist das Tal ein Begriff der Oroplastik. Von deren Gesichtspunkten ist es daher aufzufassen. Man erkennt sofort, daß der landschaftliche Begriff zu eng ist, der hydrographische dagegen viel zu weit. Ein Fluß durchströmt eine Reihe verschiedenartiger oroplastischer Einsenkungen; die

Verbindung derselben durch den Wasserlauf ist von hoher Wichtigkeit; aber sie ist ein zufälliges und veränderliches Moment. Faßt man die von einem Fluß, z. B. dem Rhein und seinen Zuflüssen, durchströmten Hohlformen näher ins Auge, so sieht man leicht, daß einzelne von ihnen auch ohne die Wasserader bestehen würden, andere hingegen von ihr abhängig sind. Auch ist es offenbar, daß die Furche, welche von dem Wasser unmittelbar durchströmt wird, an einzelnen Stellen ein sekundäres Moment innerhalb einer größeren, selbständigen Hohlform ist, an anderen aber für sich allein die einzige bestehende Hohlform darbietet. Dadurch werden von Grund aus zwei Kategorien gesondert. Man kann diejenigen Hohlformen, welche in dem Relief ursprünglich begründet sind, oder durch tektonische Vorgänge darin geschaffen wurden, als selbständige Täler, die durch Wasser und Eis gebildet als Skulpturtäler bezeichnen. Sie sind in zahlreichen Fällen leicht von einander zu unterscheiden. In vielen anderen ist es zweifelhaft, ob die Unabhängigkeit der Entstehung von den von außen wirkenden Kräften oder die Ausarbeitung durch dieselben in dem Endergebnis der äußeren Gestalt überwogen habe; es wird dann darauf ankommen zu entscheiden, welche Kraft die primär wirkende gewesen ist. In jedem größeren Stromlauf sind mehrere selbständige Täler durch Skulpturfurchen mit einander in Verbindung gesetzt.

Unter den selbständigen Hohlformen lassen sich theoretisch zwei Arten unterscheiden. Die einen können als ursprüngliche Hohlformen bezeichnet werden. Es sind die beckenöder muldenförmigen Einsenkungen des Meeresbodens, welche bei der Umgestaltung des letzteren in Festland bestehen bleiben und die von den Anschwellungen abrinneenden Gewässer in sich aufnehmen. Bei trockenem Klima können sie die Gestalt abgeschlossener Becken bewahren, bei feuchtem werden sie die erste Richtung der Hauptlinien des Abflusses bestimmen. Sie sind ein wichtiges Element in den Tafelländern und in den Zentralgebieten der Kontinente, da die ursprüngliche Gestalt in beiderlei Gebieten häufig noch erhalten ist. Aber sie sind überall von Bedeutung gewesen und haben dieselbe auch in stark gestörten Gebieten noch vielfach bewahrt. «Wir werden uns dennoch hier des nur theoretisch allgemein zulässigen Ausdruckes „ursprüngliche Hohlformen“ nicht bedienen, weil es selten möglich ist, die Momente der ursprünglichen Gestalt und der späteren tektonischen Veränderungen von einander zu trennen. Es erscheint zweckmäßiger, die großen „Zentral-becken der Kontinente“, wie sie auf Seite 280 bezeichnet wurden, für welche im Großen und Ganzen der hier vorausgesetzte Ursprung gilt, als eine Kategorie, nämlich diejenige der Landsenken, zusammenzufassen. Die zweite unter denjenigen Kategorien, welche keine ursächlichen Beziehungen zu erodierenden Agentien haben, besteht aus den tektonischen Hohlformen Sie werden durch Faltung, Überschiebung und Absenkung hervorgebracht. Der weiteren Verfolgung dieser Unterscheidungen mag die Erörterung eines morphographischen Momentes vorangeschickt werden.

[§269] Richtung, Lage und Gestalt der Täler. — Unabhängig von der genannten Einteilung kann man den Hohlformen nach ihren Beziehungen zur Gebirgsgliederung besondere Bezeichnungen geben. Je nach der Lage im Inneren von Gebirgen, oder an deren Außengrenzen, oder in Flachböden kann man unterscheiden: Gebirgstäler, Saumtäler und Täler der Flachböden. — In denjenigen Gebirgen, in welchen Faltung, Überschiebung und dicht gedrängter Staffelbruch einen Parallelismus der inneren Gliederung verursachen, sondert man die an diesem teilnehmenden Längstäler von den nahezu rechtwinkelig oder unter schiefen Winkeln gegen ihn gerichteten Quertälern und Diagonaltälern. In Tafelländern und in Flachböden überhaupt fehlen diese Formen, weil analoge Beziehungen zwischen innerem Bau und plastischer Gliederung nicht bestehen. Am nächsten kommen ihnen in diesen die Bruchrandtäler, welche dem Fuß von Absenkungswällen folgen, ferner die Furchen, welche die letzteren quer durchbrechen, und diejenigen Stromfurchen, deren Richtung durch den Boden ursprünglicher Hohlformen, oder durch geringe

konkave Biegungen des Tafellandes bestimmt wird. Häufiger sind hier die neutralen Stromfurchen, bei denen solche Einflüsse nicht zu erkennen sind, die aber doch in ihrem Verlauf teilweise durch Kluftrichtungen bestimmt sein können.

So wenig sich auf diese für Beschreibung und Charakteristik wertvollen Unterschiede eine durchgreifende systematische Einteilung der Täler begründen läßt, so wenig kann sich eine solche auf die Lagerung der Schichten stützen. Von diesem bei der Beobachtung stets zu berücksichtigenden Gesichtspunkt unterscheidet man: Synklinale, antiklinale und isoklinale Täler in Faltungsgebirgen. Die Begriffe sind aus früheren Erörterungen klar (s. § 59). Ergänzende, auf horizontale Lagerung bezügliche Benennungen sind nicht eingeführt worden, würden sich aber leicht zur Vervollständigung hinzufügen lassen.

Sehr verschieden sind die Formen der Täler. Jedes einzelne Tal ist in dieser Beziehung individualisiert. Wo der Boden flach ist, kommen, abgesehen von dessen Ausfurchung, die Formen der Mulde, des Troges und des Beckens vor. Die erste ist in der Längsrichtung wenigstens nach einer Seite geöffnet, die zweite und dritte sind in dieser Richtung nach beiden Enden geschlossen; bei dem Trog überwiegt die Längsrichtung; bei dem Becken ist diese der Querrichtung ungefähr gleich. Alle drei Formen können symmetrisch oder asymmetrisch gestaltet sein, je nachdem das Querprofil eine geringe oder eine bedeutende Differenz in der Neigung der einander gegenüberliegenden Gehänge zeigt. Die Asymmetrie wird am größten bei den Saamtälern der Gebirgsgrenzen und bei den in Tafelländern durch Absenkung hervorgebrachten Tälern; hier kann sich eine Talwand der Vertikale, die andere der Horizontale nähern. Die genannten Gestalten finden sich bei den ursprünglichen Hohlformen, wenn auch oft außerordentlich unregelmäßig. Ebenso wird stets eine von ihnen vorhanden sein, wo die Tektonik Hohlformen hervorruft. Jede von ihnen kann auch durch die Skulptur allein geschaffen werden. Außerdem aber schafft diese die Formen von Furchen, Rinnen und senkrechten Einschnitten. Diese ermangeln eines breiten flachen Talbodens.

Wir kehren nun zu dem genetischen Gesichtspunkt zurück und betrachten gesondert: die Landsenken, die tektonischen Täler und die Skulpturtäler.

1. Die Land senken. [1*]

[§270] Wenn wir, im Gegensatz zu den Hohlformen der Gebirgsgliederung, diejenigen der kontinentalen Gliederung als eine selbständige, wenn auch keineswegs scharf abgetrennte Kategorie unterscheiden, so verstehen wir darunter die weiten Einsenkungen, welche teils die großen Gebirgsgruppen, teils die einzelnen Gebirge voneinander sondern. Wir bezeichnen sie, den Tälern gegenüber, als Senken. Sie wurden bereits in §§ 122, 123 in ihren Beziehungen zur Seebildung, sowie nach dem Gesichtspunkt der Änderungen, welche sie erleiden können, betrachtet. Es ergab sich, daß sie zwar größtenteils als ursprüngliche Hohlformen zu betrachten sind, aber teils durch die späteren Bewegungen in der Erdrinde große Umgestaltungen erfahren haben, teils auch ihnen allein ihre Entstehung verdanken. Besonderen Charakter erhalten sie durch die Art und Form der Ausfüllung, welche häufig in den tiefsten Teilen noch von Wasser bedeckt ist. Oft auch werden sie von Stromfurchen in verzweigtem Netz durchschnitten.

[*1]: Der Ausdruck „Landsenken“ ist der „Allgemeinen Orographie“ von C. v. Sonklar (Wien 1873) entnommen, wo er jedoch nur für weite und flache Senken innerhalb des Flachlandes

angewendet wird. Im übrigen konnte diesem verdienstvollen Werk hier nicht gefolgt werden, da die Betrachtung in demselben zu sehr von morphographischen Gesichtspunkten ausgeht.

Man kann nach der relativen Lage der Isohypsen, d. h. nach dem Relief, die Flachsenke, die Tiefsenke und die Randsenke unterscheiden; die erstere liegt ganz im Flachboden oder ist von sanft aufsteigendem Land umgeben; die zweite ist von hohen Gebirgen umragt; die dritte hat dieses zur einen, Flachland zur anderen Seite.

Der Horizontalumriß ergibt auch hier die Formen der Muldensenke, der Trogsenke und der Bekensenke.

Das Verhältnis zur kontinentalen Plastik führt zur Unterscheidung der Tieflandsenke, der Hochlandsenke und der Tafellandsenke.

Endlich gehen aus der Lage zu Kontinent und Ozean die zentrale oder Binnensenke und die peripherische Senke hervor.

Die großen, im kontinentalen Relief von Afrika sich zeichnenden Becken des Tsad, des Kongo und des Ngami würden als zentrale Flachbeckensenken, das Tarymbecken als eine zentrale Tiefbeckensenke, die dsungarische Mulde als eine zentrale Tiefmuldensenke zu bezeichnen sein. Die Unterscheidung „abflußlos“ und „abfließend“ könnte als Bezeichnung eines wichtigen Merkmals hinzugefügt werden. Ausgezeichnete Beispiele von Randsenken bieten: die von Indus, Ganges und Brahmaputra durchströmte Depression im Süden des Himalaya, diejenige des Tigris und Euphrat, diejenige des Wei-Tales in China (Provinz Schensi), diejenige im Norden der Pyrenäen. — Für Hoch(land)beckensenken und Hochmuldensenken sind die Beispiele im Great-Basin, in den Anden von Ecuador, Peru und Bolivien, in Tibet und auf dem erasischen Hochland leicht zu finden. Es sind Senken zwischen einzelnen Gebirgszügen innerhalb eines Gebirgslandes; sie werden in ihrer Gestalt durch den sie erfüllenden Aufschüttungsboden erheblich beeinflußt.

Derartige morphographische Bezeichnungen werden gegenwärtig zur Charakteristik der großen kontinentalen Hohlformen noch hinreichen müssen. Kann man auch in manchen Fällen darüber hinausgehen und z. B. bezüglich des großen Flachlandes im nordöstlichen China von einer peripherischen Bruchlandsenke sprechen, so würde es doch gewagt sein, das genetische Moment, welches noch zu ungenügend bekannt ist, allgemeiner zu betonen.

2. Die tektonischen Täler.

[§271] Unter dieser Bezeichnung sind alle diejenigen Gebirgs- und Saumtäler zusammenzufassen, welche ihre primäre Entstehung als

Hohlformen in der Plastik der Deformation der Erdrinde durch Bewegungen in derselben verdanken. Sie sind stets durch Erosion nachträglich umgestaltet worden. Häufig ist die ursprüngliche Form gut erhalten und die primäre Bildungsart noch deutlich ersichtlich; aber jene kann auch bis zur Unkenntlichkeit entstellt sein. Je nachdem Faltung oder Verwerfung zu Grunde liegt, kann man zwei Hauptabteilungen unterscheiden:

a. Tektonische Faltungstäler. Dies sind longitudinale Hohlformen, welche bei dem Zusammenschub durch Faltung und Überschiebung entstanden sind. Sie sind auf die eigentlichen

Faltungsgebirge beschränkt. Hinsichtlich der Beziehungen zur inneren Gebirgsanordnung gehören hierher wesentlich Längstäler. Es lassen sich als Typen unterscheiden:

1. Scheiteltäler, welche durch Schichtenaufbruch auf dem Scheitel einer Wölbung entstanden sind und daher von antiklinal gelagerten Schichten eingefaßt werden. Es sind eigentliche longitudinale Aufspaltungen.

2. Sohlentäler, welche in den Faltungsmulden, daher in synklinal gelagerten Schichten, liegen. Die letztere Form ist häufiger als die erstere; aber beide gehören nicht zu den gewöhnlichen Erscheinungen in Faltungsgebirgen. Sie finden sich in solchen unter diesen, bei denen die Faltung einen nur mäßigen Grad erreicht hat. Dr. Löwl bezeichnet das Scheiteltal als Anarrhegma, das Sohlental als Symptygma.)

3. Flankentäler. So kann man diejenigen longitudinalen Hohlformen benennen, welche in isokline Schichten eines einfachen Schichtensystems eingesenkt sind. Es ist möglich, daß sie durch tektonische Bewegung gebildet werden können. Als Produkte der Gebirgsskulptur sind sie häufig.

4. Schuppentäler (paraklastische Täler L. z. Th.) können alle auf Überschiebung und Aufschiebung im Inneren der Faltungsgebirge beruhenden longitudinalen Hohlformen

genannt werden, gleichviel ob man es mit liegenden Falten oder mit vollkommener Schuppenstruktur (s. § 260) zu tun habe. Die Schichten beider Flügel sind in Folge von Denudation fast immer nach derselben Sichtung, und zwar meist gegen das Innere des Gebirges hin, vollkommen oder beinahe isoklin geneigt; aber es ist zu beachten, daß in den früheren Stadien der Denudation die Schichten des Hangendflügels eine andere Neigung gehabt haben müssen. Schuppentäler sind eine häufige Erscheinung in Nordtirol und Vorarlberg.

5. Überwallungstäler (heteroptygmatische Täler L.). Dies sind weite Saumtäler an der äußeren Seite der Faltungsgebirge. Der von der Richtung der Gebirgsachse herkommende laterale Druck hat die Faltungen hinübergereißt über die vorliegende Scholle der Erdkruste. Da diese in der Regel gegen das Gebirge hin sich senkt, so entsteht eine breite Hohlform, die auf einer Seite von den Abfällen des Faltungsgebirges begrenzt ist, während die Scholle zugleich den Boden und das langgezogene Gegengehängen bildet. Diese Hohlformen, welche hier mit Rücksicht auf die Gebirgsstruktur eingereiht werden, sind in vielen Fällen identisch mit den vorher genannten Randsenken. Fast stets sind sie bis zu beträchtlicher Höhe von Sedimenten ausgefüllt, und meist dienen sie einem großen, die Flüsse des Gebirges aufnehmenden Strom zum Bett. Das Glacis der vom Gebirge herabgeführten Sedimente hat in der Regel den Strom in größere Entfernung von den Faltungen nach einem höheren Teil des angrenzenden Schollenflügels hin verlegt. Die Stromläufe des Tigris, der Donau im Norden der Alpen und im Süden der transsilvanischen Alpen, die Oberläufe des Dnjestr, Pruth und Szereth mögen als Beispiele dienen.

b. Tektonische Absenkungstäler. Während die abnorme Verwerfung oder Überschiebung wahrscheinlich nur Längstäler verursacht, welche auf die eigentlichen Faltungsgebirge beschränkt sind, bringt es die Natur der normalen Verwerfung oder Absenkung mit sich, daß die Lösungen des Verbandes sowohl parallel den Gebirgsrichtungen wie quer zu denselben geschehen, und daß sie nicht nur in den eigentlichen Faltungsgebirgen, sondern ebenso in Abrasionsgebirgen und im Tafelland vorkommen. Das Wesentliche der Entstehung ist die Bildung eines Bruches und die Abwärtsbewegung eines Flügels, womit eine Horizontalverschiebung verbunden sein kann. Es ist oben (§ 256) dargestellt worden, daß senkrechte Verschiebung bezüglich der horizontalen Dimensionen des Baumes eine Veränderung nicht anzeigt, das Hinabgleiten auf einer schief

einfallenden Bruchfläche hingegen das Merkmal einer Raumerweiterung, also einer Dehnung ist. Es ist wahrscheinlich, daß die Ausbrüche vulkanischer Gesteine an die Verschiebungen der letzteren Art gebunden sind. Die Zahl der vorkommenden Typen ist groß. Nur einige wesentliche sollen hier hervorgehoben werden.

6. Längsbruchtäler (kataklastische Täler L. z. Th.). Wir verstehen hierunter die Hohlformen, welche longitudinalen, d. h. dem allgemeinen Schichtenstreichen parallelen Absenkungen folgen. Sie gehören zu den wichtigsten und bedeutendsten Talformen der Gebirgsländer und finden sich ebenso in den eigentlichen Faltungsgebirgen, wie in Rumpfgebirgen und auf breiten Abrasionsflächen. Bei den ersteren scheinen sie auf die Innenseite beschränkt zu sein. Beispiele bieten: Die Innenseite der östlichen Karpaten in Ungarn und Siebenbürgen, das Pustertal in den Alpen. Ungleich größere Bedeutung haben sie in alten abradierten Gebirgen. Von bedeutenderen Beispielen können genannt werden: der steile Ostabfall der Sierra Nevada in Kalifornien, die Südostseite des Erzgebirges, die Südseite des Balkan, der Nordabfall des Thüringer Waldes, die Nordabfälle der Kwenlun-Ketten. Alle diese Fälle haben das gemeinsame Merkmal, daß die Hohlform zwar einheitlich ist, aber in eine größere Anzahl von Talstrecken zerfällt, welche von Strömen in kürzerer Erstreckung eingenommen werden. Die Ursache liegt in dem Umstand, daß die genannten Gebirge Schollen sind, deren flache Neigung nach der dem Längsbruchtal entgegengesetzten Seite gerichtet ist. Dorthin rinnen die Gewässer ab, und die Wasserscheide liegt meist dicht an der Hohlform. Die Zuflüsse der letzteren erhalten wenig Speisung und vermögen selbst bei reichlichem Regenfall in dem harten Gestein nur langsam rückwärts zu arbeiten. Daher werden sie durch Schuttkegel wenig abgedrängt und halten sich nahe an den Fuß des Gebirges. Sie stehen dadurch im Gegensatz zu den Überwallungstälern. Die ihnen zu Grunde liegende Bewegung ist lateraler Zug, und dem entsprechend sind sie häufig von Ausbrüchen von Eruptivgesteinen, besonders solchen des jüngsten Zeitalters, begleitet, was bei den auf Zusammenschiebung beruhenden longitudinalen Hohlformen nicht der Fall ist. Ein Längsbruchtal kann mit einer Grabenversenkung, wenn sie schmal ist, vollständig zusammenfallen; so ist diejenige zwischen Schwarzwald und Vogesen, welche sich den genannten Gebirgen analog verhalten, ein doppelseitiges Längsbruchtal. Es kann aber auch ein Längsbruchtal nur ein randliches Gebilde in einer sehr breiten Grabensenkung sein, wie es bei derjenigen der Fall ist, welche zuerst Hochstetter zwischen Balkan und Rhodope erkannt hat. Hier sind zwei Längsbruchtäler durch ein zwischen ihnen aufragendes, aber im Verhältnis zu den Einfassungen tief versenktes Gebirge getrennt. Andere Längsbruchtäler gibt es, welchen die Ströme des stehen gebliebenen Gebirges zueilen. Ein großes Beispiel bietet der obere Han-Fluß an der Südseite des östlichen Kwenlun in China. — In vielen Fällen, wo transgredierende Schichtgebilde den abradierten Grundbau verhüllen und Bruchtäler in jenen auftreten, mögen die letzteren ebenfalls durch die Streichrichtung des Grundbaues bestimmt werden.

7. Blattverschiebungstäler (paraklastische Täler L.) Der Blattverschiebung (§ 258) liegt eine Zerberstung des Faltungsgebirges quer zur Streichrichtung zu Grunde, während in ihrer Äußerung das horizontale Vorwärtsschieben des einen Teiles das charakteristische Moment bildet, gegen welches die zweite Bewegungskomponente, nämlich die vertikale Senkung, zurücktritt. Ein Schleppen der Schichten in horizontalem Sinn, ähnlich wie es bei der Flexur (§ 257) in vertikalem Sinn stattfindet, scheint, wie erwähnt, eine häufig begleitende Erscheinung zu sein. Man kann dies als horizontale oder Blatt-Flexur bezeichnen; sie ist an einer in der Horizontalprojektion (also auf der geologischen Karte) S-förmig erscheinenden Krümmung des Schichtenstreichens kenntlich. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß zuweilen Hohlformen unmittelbar durch diese

Gebirgsbewegung gebildet worden sind, da dieselbe mit Streckung verbunden ist; aber auch wenn die verschobenen Teile dicht aneinander gedrängt waren und der Betrag der Verschiebung gering war, hat die Erosion an den meist vertikalen Bruchflächen fortgearbeitet und Kanäle ausgehöhlt, an deren gegenüberstehenden Wänden die Diskontinuität der Schichten deutlich zu beobachten ist (s. Fig. 100, S. 607).

8. Grabensenkungstäler (bikataklastische Täler L.). Die Natur dieser Täler ergibt sich unmittelbar aus dem Begriff der Grabensenkung (§ 257). Sie kommen im gefalteten Gebirge ebenso wie im Tafelland vor und können sehr bedeutende Dimensionen erreichen. Bei einer vergleichenden Zusammenstellung aller bis jetzt bekannt gewordenen hierher gehörigen Hohlformen, welche als ein dankbares Studienobjekt zu empfehlen ist, würde man vermutlich ein vielfach verschiedenes Verhalten finden. Dem senkrechten Niedergehen des Granites im Yosemite-Tal (s. S. 544) entsprechen wahrscheinlich viele ähnliche Fälle von geringer Ausdehnung, welche Plastik und Wasserabfluß in eigentümlicher Weise beeinflussen. Während es hier an begleitenden Erscheinungen fehlt, heften sich an die großen, staffelförmig niedergehenden und auf Streckung der Erdrinde beruhenden Grabenversenkungen fast stets Vulkane und heiße Quellen (Gräben des Jordan-Tals und des Rothen Meeres, Oberrheintal, Quer-versenkung der Sierra Nevada (oben S. 577), große diagonale Grabensenkung des mittleren Japan nach Naumann u. s. w.). — Man kann in Faltungsgebirgen Längsgräben, welche dem allgemeinen Schichtenstreichen parallel sind, und Quergräben unterscheiden, dagegen die entsprechenden Hohlformen der Tafelländer, bei welchen diese Ausdrücke keine Bedeutung haben, als Tafelgräben bezeichnen. Es scheint bei Längsgräben häufiger als bei Quergräben vorzukommen, daß die getrennten Schollen gegen den Grabenrand ansteigen, wie in den Fällen von Schwarzwald und Vogesen und den Gebirgen an der Westseite des Rothen Meeres.

9. Endbruchtäler. Wo ein in großer Länge regelmäßig fortlaufendes Gebirge plötzlich quer zu seinem Streichen abgebrochen ist und verschwindet, ist an seiner Stelle eine Hohlform vorhanden. Man kann die Querfläche, an welcher es abschneidet, als einen Endbruch bezeichnen. Beispiele dafür gehen das Ostende des Kwenlun zwischen dem 113. und 114. Längengrad und das Ostende der Alpen bei Wien. Solche Täler sind selten. Auch sind sie unvollkommene Gebilde, da sie meist Teile größerer Verebnungen bilden. Aber sie sind wichtig für die Oberflächengestaltung und für den Verkehr.

10. Tafelbruchtäler. Mit dieser Bezeichnung können vorläufig die auf Bruch und Absenkung beruhenden Täler der Tafelländer zusammengefaßt werden. Von Interesse sind besonders die Täler am Fuß der einzelnen Wallabbrüche bei Staffelsenkungen, wie sie in Fig. 94 (S. 602) im Querschnitt erkennbar sind.

11. Kesselbruchtäler (ringförmige Kataklasten L.). Jeder Kesselbruch (§ 257) schafft eine Hohlform im Relief. Ihre Entstehung beruht nur in manchen Fällen auf Vorgängen im tiefen Inneren der Erdrinde. Wo Auslaugung die Ursache des Einbruchs ist, ist eigentlich die Einordnung der betreffenden Hohlform unter die tektonischen Täler nicht mehr vollkommen zulässig, indem ein Element der Skulptur gestaltend eintritt. Kesselbruchtäler dieser Art kommen in den verschiedensten Gegenden vor und sind überall als Seebehältnisse (§ 120) oder als Kulturstätten wichtig, weil fruchtbares Erdreich in ihnen zusammengeschwemmt wird. Hierher gehören die noch nicht näher untersuchten Ringwallbecken im westlichen Makedonien. Eine andere Form sind die von Vulkanen ausgefüllten Kesselbrüche (s. S. 576 u. 581). Hier nimmt die meist in einzelne Becken geteilte Hohlform eine ringförmige Gestalt an.

3. Die Skulpturaler.

[§272] Wo immer Verwitterung, Spaltenfrost, fließendes Wasser, strömendes Eis und bewegte Luft tätig sind, arbeiten sie an einer Erdstelle an der Ausmeißelung der äußeren Formen, an einer anderen an der Verhüllung derselben. Sie wirken denudierend und ziselierend an den Flanken jeder ursprünglichen und jeder tektonisch gebildeten Hohlform und können deren Gestalt ganz verändern, bleiben dann aber selbst nur ein sekundäres Agens, und ebenso erscheinen die von ihnen ausgewaschenen Furchen an solchen Stellen als ein Element zweiten Ranges. Von Skulpturtälern im eigentlichen Sinn kann von systematischem Prinzip nur die Rede sein, wo die Skulptur das primäre Agens ist, also zunächst dort wo überhaupt eine tektonische Hohlform nicht vorliegt; dann aber auch in den exponierten Teilen der letzteren. Sie können in ihrer Ausgestaltung durch tektonische Verhältnisse, welche nicht direkt mit der Bildung von Hohlformen verbunden sind, insbesondere die Gesteinszerklüftung, in hohem Grade beeinflußt werden; aber alsdann ist die Erosion das primäre Agens, die Tektonik tritt in den zweiten Rang zurück.

Der Antheil, welchen die genannten Agentien einzeln und unter verschiedenartigen Umständen an den Formveränderungen der Erdoberfläche nehmen, ist in früheren Kapiteln (Cap. VI, VH, XI) gekennzeichnet worden. Die bewegte Luft ist das am weitesten verbreitete unter ihnen; aber ihre Wirkung besteht mehr in regionaler Abtragung und regionaler Aufschüttung, als in dem Hervorbringen von Hohlformen. Für diese ist das fließende Wasser das allgemeinste und in der Summierung der Effekte wirksamste Agens, während das strömende Eis in seiner Tätigkeit regional beschränkt ist. Die Grundformen der durch die Skulptur geschaffenen Hohlformen sind: Die Furche mit abgeböschten Wänden und ebenem Böden, die durch die spitzwinkelige Vereinigung der Talwände charakterisierte Kinne, und die Kerbe oder der senkrechte Einschnitt. Aber je weicher die Gesteine und je feuchter das Klima, desto mehr können durch seitliche Erosionsarbeit und durch das von unten nach oben geschehende Fortwachsen der in eine Hauptfurche seitlich einmündenden Erosionskanäle die Formen der Mulde, des Troges und des Beckens ausgebildet werden. Das strömende Eis übernimmt in einzelnen Erdräumen die Aufgabe, die Skulpturtäler weiter auszugestalten. Die Trichter wandelt es in Kare um (§ 112); aus der Furche und Kinne schafft es glatt ausgeschliffene Felsmulden, deren flache Sohle mittelst konkaver Krümmung in die steilen Flächen der Wände übergeht. Es vertieft durch Ausräumung die Randsenken an den Stellen, wo die anderen Agentien die größten Schuttanhäufungen schaffen (§ 111). In Bezug auf Talbildung erscheint daher das Eis als ein umgestaltendes, nicht als ein primär schaffendes Agens, wie es das Wasser in hohem Maße ist.

Um die Skulpturtäler in Kategorien zu sondern, muß man sich erinnern, daß die Erosionsgeschichte jedes festländischen Gebietes mit der ersten Trockenlegung desselben begann, und die rinnenden Gewässer zuerst der Neigung des vormaligen Meeresbodens folgten (s. S. 189). Der Meeresboden aber ist entweder die Oberfläche einer submarin abgelagerten Schichtmasse, welche einem älteren gefalteten und in der Kegel abradierten Grundgebirge auflagert, oder sie besteht — und dies ist der seltenere Fall — aus einer beinahe unverhüllten Abrasionsfläche. Hieraus läßt sich eine erste und für das Verständnis der Skulpturtäler wichtige, bereits früher (§ 80, 81) ausgeführte Einteilung ableiten; nämlich:

1. Unmittelbar in das Grundgerüst eingeschnittene Skulpturtäler;

2. Durch übergelagerte Schichten hindurch in das Grundgerüst eingeschnittene Skulpturtäler; wir nannten sie epigenetische Täler;

3. solche Skulpturfurchen, welche nur in die auflagernden Schichten, d. h. in Tafelland, eingeschnitten sind, ohne das Grundgebirge zu erreichen; dies sind die Tafellandtäler.

Da das Vorschreiten der Brandungswelle bei der allmählichen Bildung der Abrasionsfläche, falls diese durch gefaltetes Gebirge zieht, in der Regel rechtwinkelig zum Streichen des letzteren geschieht, und sie sich bei der Trockenlegung im Allgemeinen in derselben Richtung zurückzieht, so wird die erste Anlage der Erosionsfurchen auf einer unverhüllt aus dem Meer aufsteigenden Abrasionsfläche ebenfalls rechtwinkelig zum Schichtenstreichen erfolgen. Daher ist die Quersfurche die Grundform in Abrasionsgebirgen. Wo sich auf dem Meeresgrund Schichtmassen abgelagert haben, können sie die, ihre Unterlage bildende Abrasionsfläche ebenmäßig bedecken., so daß die Neigung unverändert bleibt; der häufigere Fall ist aber der, daß in Folge wechselnder Mächtigkeit die Neigung eine andere' wird. Bei Tafellandtätern (§ 74) ist daher die Richtung eine neutrale; sie folgt bei jeder Rinne der größten Neigung. Bei epigenetischen Tälern hingegen findet sich am häufigsten eine diagonale Richtung; d. h. sie ist schiefwinkelig zur Streichrichtung der gefalteten Schichtgesteine. Es finden dann in diesen die in § 79 dargestellten Zerlegungen statt.

Wenn nach der ersten Bildung der Erosionsfurchen auf trocken gelegtem Meeresboden die Vermehrung des Gefälles ein tieferes Einschneiden gestattet, treten dreierlei Tendenzen ein. Die eine ist diejenige des Beharrens in der Richtung der Vertikale, d. h. die senkrechte Vertiefung der bestehenden Kanäle, welche in der Richtung von unten nach oben fortschreitet (§ 67); die zweite ist die Anpassung an das Gestein, wobei dessen Härteunterschiede, Lagerung (§§ 77, 78) und Zerklüftung (§ 82) Abweichungen von der ursprünglichen Richtung verursachen; die dritte ist die Bildung von Zuströmungsfurchen ersten Grades, welche wiederum solche zweiten Grades u. s. f. veranlassen. Jede Zuströmungsfurche; vertieft sich von unten nach oben. Das Maße, in welchem dies geschieht, hängt zum Teil von der Tiefe ab, welche die aufnehmende Furche erreicht hat; sodann von der Härte und Lagerung der Gesteine, und von der Masse des fließenden Wassers.

Diese Tendenzen kommen in den großen Schollen und Tafelländern, welche keine wesentlichen Umgestaltungen mehr erfahren haben, am reinsten zur Geltung. In anderen Erdräumen haben nachträglich tektonische Vorgänge störend eingegriffen. Durch Faltung und Überschiebung entstehen tektonische Längstäler rechtwinkelig zu den unmittelbar eingeschnittenen Quersfurchen, schiefwinkelig zu den epigenetischen Tälern; durch normale Verwerfung bilden sich Hohlformen in jeder beliebigen Richtung zu jenen, ebenso wie zu den Tafellandfurchen. Die Gewässer werden zum Teil gezwungen, ihnen zu folgen und mit ihrer Richtung die Art ihrer Arbeit zu ändern. Durch Faltung werden neue Wasserscheiden gebildet; die Gewässerrinnen von ihnen quer gegen die Streichrichtung derselben, zum Teil in den alten, zum Teil in neu gebildeten Kanälen hinab; auch diese neuen Kanäle vertiefen sich von unten nach oben, am stärksten auf der Regenseite des Gebirges, und können allmählich die Falte durchschneiden, um die Gewässer aus einem jenseits gelegenen tektonischen Tal, oft durch das Hinzutreten von Aufschüttungen in demselben unterstützt (§ 67), abzuleiten. So kommt es, daß in Faltungsgebirgen die tektonischen Längstäler herrschen, dieselben aber gewöhnlich streckenweise in einzelne Tröge geteilt sind, welche durch Quersfurchen in Verbindung mit einander stehen. Diese Furchen können zum Teil von der frühesten Abflußentwicklung des Gebirges herrühren, zum Teil sind sie späterer Entstehung.

Es ist nicht schwierig, die wesentliche Entstehungsursache dieser Querverbindungsfurchen in der Erosion zu erkennen; sie kann durch die Anwesenheit eines Blattverschiebungsbruches oder durch Torsionszerklüftung unterstützt worden sein. Nicht so leicht ist es, die durch Erosion ursprünglich gebildete Längsfurche von dem tektonischen, durch Erosion sekundär umgestalteten Längsthai zu unterscheiden. Wenn wir hier den Begriff der Längsfurche auf diejenigen Fälle beschränken, wo die Erosion allein eine Furche in der Streichrichtung der Schichten eingegraben hat, so besteht ihr charakteristisches Merkmal darin, daß sie' in der Regel in Antiklinen eingeschnitten sind (s. S. 172). Wo dies nicht der Fall ist, haben sie doch

wahrscheinlich ihre erste Bildung in antiklinalen Schichten gehabt und sind nur durch die Fortbildung nach der Tiefe (§ 77) in anders gelagerte Schichten gekommen. Als Ursache dieses selektiven Vorgehens der Erosion wurde bereits der Umstand angegeben, daß an den Gewölbebiegungen die Schichten gelockert, in den Mulden hingegen dichter zusammengepreßt sind. Daher bilden die letzteren mit ihrer Synklinalen Schichtenstellung häufig parallele Rücken zwischen den Längsfurchentälern und senden ihnen Gewässer in Querschnitten zu. Alle diese Verhältnisse sind am reinsten in solchen Abrasionsgebirgen zu finden, bei denen tektonische Verschiebungen nach ihrer letzten Trockenlegung nicht stattgefunden haben.

Es erscheint als eine müßige Aufgabe, bei den Skulpturtälern eine weitere Einteilung in Kategorien zu versuchen. Der Hauptunterschied besteht in den Gestalten, welche durch Wasser und Eis hervorgerufen werden. Im Übrigen sind die Erscheinungsformen teils nur graduell verschieden, teils beruhen sie in der Richtung der Täler zum Streichen der Schichtgesteine, teils in der äußeren Ausgestaltung durch klimatische Verhältnisse und in nachträglichen Änderungen durch tektonische Vorgänge. Die zahlreichen Gesichtspunkte, welche sich dem Reisenden für die Beobachtung bieten, werden sich früheren Ausführungen entnehmen lassen. Besonders möge die Aufmerksamkeit noch einmal auf die epigenetischen Täler und auf die Zerlegung diagonal gerichteter Skulpturfurchen durch tieferes Einschneiden in zwei Richtungen, wenn die Schichtgesteine geneigte Lagerung haben, gelenkt werden. In solchen Fällen ist es oft schwierig zu entscheiden, ob die tektonischen Vorgänge oder die erodierenden Agentien den primären Antheil an den äußeren Formen gehabt haben.

[§273] Ein Gegenstand, über welchen noch wenig vergleichendes Material vorliegt, betrifft die Art der Anordnung der Täler, welche sich häufig mit den Verzweigungen der Stromsysteme eng berührt, aber sich keineswegs mit denselben deckt. Eine Zusammenstellung der vorkommenden Fälle dürfte ein nicht unwichtiges Vergleichungsmoment für die Betrachtung der Gebirge geben. Von einzelnen bemerkenswerten Formen mögen beispielsweise die Talzüge hervorgehoben werden, welche für gewisse Typen von Gebirgen und für einzelne Gebirgsabfälle charakteristisch sind. Ein Talzug ist eigentlich eine einzige langgedehnte Hohlform, welche in der Regel entweder der Absenkung oder der Faltung ihre Entstehung verdankt, aber durch Querscheiden in eine Reihe einzelner Talbecken oder Taltröge gesondert wird. Die Judicarien-Linie, der Südostabfall des Erzgebirges und der Südabfall des Balkan geben ausgezeichnete Beispiele, für die Umwandlung einer durch Absenkung entstandenen Hohlform in einen Talzug. Ein Zug großer beckenförmiger Senken begleitet den Nordabfall des Kwenlun in seiner ganzen Erstreckung. Reich an Talzügen sind alle regelmäßigen Faltungsgebirge. — Verschiedene Täler gruppieren sich zu Talsystemen. Man kann homotypische, deren Glieder sämtlich dem gleichen Typus angehören, und heterotypische, bei denen verschiedene Typen sich vereinigen, unterscheiden. Homotypisch sind vor Allem die Systeme der Erosionstäler im Tafelland. Auch diejenigen in Rumpfgebirgen bewahren oft die Homotypie in hohem Grade; so die nach Westen gerichteten Talfurchen der Kalifornischen Sierra Nevada; diejenigen welche an der Ostabdachung des skandinavischen

Gebirges quer hinabziehen, und diejenigen des großen Tsinling-Gebirges in China. Hier stellt sich eine untergeordnete Heterotypie in dem Vorkommen einzelner Längsfurchen ein. Dagegen kommt diese in hervorragender Weise in allen Faltungsgebirgen zur Ausbildung, besonders dort, wo breite Zonen regional gefaltet sind. Die einzelnen gesonderten Strecken der den Faltungen folgenden tektonischen Talzüge wechseln mit rechtwinkelig dazu gestellten, meist engen Erosionsfurchen. Man kann dies als wechselständig-heterotypische Talsysteme bezeichnen. Die Dinarischen Züge, das Zagros-Gebirge, der nordwestliche Himalaya, die Gebirgswelt im Westen des Irawaddy, vor Allem das südöstliche China, geben Beispiele hiervon.

Ein anderer, die Wege der Ströme in ihrem Verhältnis zu den Gebirgen berücksichtigender Gesichtspunkt leitet zu der Unterscheidung von Gehängetälern und Durchgangstälern. Die ersteren bilden Systeme, welche einem Gebirgsgehänge angehören, die letzteren durchsetzen ein Gebirge und gewähren Durchgang durch dasselbe; sie werden auch Durchbruchtäler genannt; doch involviert diese Bezeichnung eine Theorie der Entstehung. Ein Gehängetal kann durchgreifend sein, indem es die Achsenkette oder irgend eine Hauptkette durchbricht und seinen Ursprung auf einer jenseits gelegenen Nebenkette nimmt. Ein Durchgangstal wird von einem Fluß durchströmt, welcher von einem anderen, oft weit entfernten Gebirge, oder doch wenigstens von einem selbständigen Gebirgsglied herkommt. Es kann auch ein aus verschiedenartigen Gebirgssystemen zusammengesetztes Gebirgsband durchziehen. Der Rhein von Bingen bis Bonn bietet ein ausgezeichnetes Beispiel. Kleinere stellen die Pforten dar, durch welche die Donau bei Preßburg, bei Waitzen, und am Eisernen Thor strömt, sowie die durch die South-Downs entweichenden Flüsse. In größerem Maßstab findet sich die Erscheinung am Indus, Setledsch und Brahmaputra, am Yarkand-Fluß, am oberen Hwang-hö und an demselben Fluß unterhalb Tungkwan, und am Hun-hö, wo er nordwestlich von Peking die Nanköu-Kette durchströmt. Noch großartiger bietet sie sich am Yang-tsze-kiang und Mekong. Reich an Beispielen sind Ostindien, Kleinasien, die pyrenäische Halbinsel und die Randgebiete der Südhälfte von Afrika. Sehr auffallend ist das ähnliche Verhältnis bei dem Isker. Die ursächliche Erklärung, welche in jedem einzelnen Fall verschieden sein wird, bietet in der Regel erhebliche Schwierigkeiten. Es scheint, daß man es in vielen, vielleicht in den meisten Fällen mit einer epigenetisch eingeleiteten Erosion zu tun hat; aber oft dürften noch andere Momente hinzukommen.

Eine andere Erscheinung, von welcher, gleich der vorigen, noch einmal bei den Wasserscheiden (§ 288) und Paß-Übergängen die Rede sein wird, betrifft die Paßfurchen, welche ein Gegenstück zu den Talzügen bilden. Bei diesen wird ein tektonisches Tal, bei jenen eine Skulpturfurche durch eine Anschwellung der Sohle in Abschnitte geteilt, deren Gewässer verschiedenen Stromsystemen angehören.

B. Kategorien der Oberflächenformen.

[§274] Wenn wir auf die Bemerkungen im Eingang dieses Kapitels zurückgehen und Gebirge und Flachböden als die beiden Grundformen der Oberflächengestalten betrachten, so lassen sich verschiedene Gesichtspunkte anwenden, um innerhalb dieser beiden großen Klassen weitere Einteilungen vorzunehmen, oder, worauf wir uns hier beschränken, gewisse Typen herauszuheben. Man hat dies besonders bei den Gebirgen versucht. Seit langer Zeit werden Kettengebirge, welche eine entschiedene Längsachse haben, und Massengebirge, welche eine solche nicht besitzen, unterschieden; doch faßt man unter jeder dieser beiden Benennungen, besonders unter

der letzteren, sehr verschiedenartige orographische Gebilde zusammen. Einen Schritt weiter gingen B. v. Cotta und C. F. Naumann, von denen der Eine die Gesteinszusammensetzung, der Andere die äußere Gestalt als Einteilungsgrund wählte. Beide Prinzipien haben sich nicht als zweckmäßig erwiesen. Besser erscheint es, das genetische Moment zu verwenden und die Gebirge nach der Äußerungsart der ihrer Entstehung zu Grunde liegenden Kräfte einzuteilen. Da aber bei jedem Gebirge verschiedene Kräfte zusammengewirkt haben, um die heutige Gestalt hervorzubringen, so ist, ähnlich wie bei anderen im Vorhergehenden versuchten Einteilungen, in jedem einzelnen Fall als Einteilungsgrund diejenige Kraft voranzustellen, welche die Gestalt primär veranlaßt, das heißt, das Gebirge als solches aus Massen, welche vorher keine Gebirgsnatur hatten, geschaffen hat. Es lassen sich dann Unterabteilungen auf Grund der sekundär umgestaltenden Kräfte unterscheiden. Allerdings gelangt man, wie bei den meisten Gegenständen der physischen Geographie, auch bei dieser Methode nicht zu scharfen Sonderungen, weil die Formen in einander übergehen und zuweilen zwei verschiedenartige Kraftäußerungen gleichwertig neben einander stehen. In letzter Linie lassen sich auch die äußeren Formen als Einteilungsgrund verwenden.

Man kann zunächst unter den Gebirgen ganz allgemein diejenigen, welche durch die Wirkung der Kräfte des Erdinneren ursprünglich als Gebirge gebildet worden sind, mögen sie nachträglich durch äußere Agentien noch so sehr umgestaltet worden sein, von denen unterscheiden, welche ursprünglich kein Gebirge, sondern Flachboden gewesen sind und erst durch die Einwirkung äußerer Agentien die Gebirgsnatur erhalten haben. Die letzteren lassen sich als Erosionsgebirge von allen anderen sonders. Nach dieser Abtrennung kann man bei den übrigbleibenden Gebirgen einen Unterschied nach dem mit der Entstehungsart unmittelbar zusammenhängenden Verhältnis zur Unterlage erkennen. Es gibt Gebirge, welche auf einer Deformierung der Erdoberfläche selbst oder vielmehr der der Beobachtung zugänglichen Teile der Erdrinde beruhen, und andere, welche in ihrer ganzen Masse in unabhängiger Stellung auf einem relativ älteren Teil der Erdoberfläche als Berge oder Gebirge unmittelbar aufgesetzt worden sind. Dies sind aufgesetzte oder parasitische Gebirge. In der geographischen Literatur ist häufig von „aufgesetzten Gebirgen“, besonders auf sogenannten „Hochebenen“ oder „an deren Rändern“ die Rede. Der Reisende sollte sich an eine präzisere Ausdrucksweise gewöhnen. Denn fast in allen jenen Fällen handelt es sich entweder um tektonische Gebirge, welche höher ansteigen als benachbarte Flachländer, aber nur aufragende, und nicht aufgesetzte, Teile eines größeren Gebirgsanzuges sind, oder um den randlich aufgewölbten Teil eines Tafellandes. Wirklich aufgesetzte Berge bilden: die Vulkane; dann die an der Oberfläche aufgetürmten Massen von Eruptivgesteinen, besonders von jüngeren; ferner die Korallenriffe, die Dünen und das hügelige Gletscherschuttland. Alle solche Berge sind parasitisch, insofern sie zur Zusammensetzung der Unterlage gar keine und zu der inneren Struktur derselben nur teilweise, und auch dann nur eine entfernte und mittelbare Beziehung haben; eine solche besteht noch am meisten bei den Eruptivgesteinen und den Vulkanen, beschränkt sich aber auch bei ihnen auf den genetischen Zusammenhang mit Brüchen, welche in ihrem allgemeinen Verlauf durch einen größeren Teil der Erdrinde auch die unmittelbare Unterlage durchsetzen. Überall sind sie fremdartige Eindringlinge, welche wohl ein Ornament des Bauwerkes bilden, aber nicht notwendig in die Architektur hineingehören. Auch den anderen genannten Arten von Gebirgen ist die parasitische Natur eigen. Indessen ist es klar, daß diese nur eine Eigenschaft ist, die zwar mit der Entstehungsart zusammenhängt, aber das Ergebnis verschiedenartiger genetischer Vorgänge sein kann. Sie ist daher als ein Einteilungsgrund erster Ordnung nur dann zu verwenden, wenn diese Vorgänge gleichzeitig berücksichtigt werden. Wir unterscheiden als zwei verschiedene Ordnungen: die Ausbruchs- oder Ejektionsgebirge und die Aufschüttungs-Gebirge oder, vielleicht richtiger, die aufgeschütteten Berge.

Auch nach der Lostrennung der Erosions- und parasitischen Gebirge bleiben noch die meisten Gebirge der Erde, darunter die mächtigsten derselben, übrig. Zweierlei Entstehungsursachen liegen ihnen zu Grunde, nämlich teils Bruch und Absenkung, teils Faltung und Unterschiebung: zwei (nach der Darstellung in § 256) in ihrem Mechanismus einander entgegengesetzte Arten von Vorgängen, die aber häufig, wie zur Ergänzung und Ausgleichung, an einander gebunden sind. Alle dadurch entstandenen, auf Deformierung von Erdrindenteilen beruhenden Gebirge können als tektonische Gebirge zusammengefaßt werden. Aber es erscheint zweckmäßig, den Begriff auf diejenigen Fälle zu beschränken, wo die äußere Plastik eine unmittelbare, wenn auch oft durch erosive Vorgänge noch so sehr verwischte Folge der tektonischen Vorgänge ist, und in dieser Beschränkung die Namen Bruch- oder Schollengebirge und Faltungsgebirge anzuwenden, dagegen in eine besondere Kategorie die große Zahl derjenigen Fälle zusammenzufassen, wo die äußere Plastik in erster Linie durch Abrasion und Skulptur verursacht wird. Dies sind die Abrasionsgebirge oder Rumpfgebirge.

Anscheinend sind die Flachböden allen Gebirgen gegenüber zu setzen, nicht nur wegen der Verschiedenheit der Gestalt, sondern auch insofern die Flachböden im Großen und Ganzen aus der Ablagerung der Zerstörungsprodukte der Gebirge hervorgehen. Ein vollkommener Gegensatz zu ihnen besteht aber nur betreffs der tektonischen und des größeren Teils der parasitischen Gebirge. Weiter geht er nicht. Die Abrasionsgebirge erscheinen zum Teil in völliger Verflachung, und die eruptiven Basalte breiten sich in ebenen Tafeln aus, welche theoretisch als parasitisch aufgesetzte und völlig abgeflachte Berge bezeichnet werden müßten. Andererseits nehmen die Flachböden durch Erosion einen unebenen Charakter an. Durch weiteren Fortgang entsteht das Erosionsgebirge, welches somit nur eine Abart der Flachböden ist.

Im Folgenden soll auf die einzelnen der genannten Kategorien näher eingegangen werden.

I. Tektonische Gebirge.

[§275] Weitaus die Mehrzahl derjenigen Gebirge, welche die großen Züge der kontinentalen Plastik bestimmen, verdankt ihre Entstehung tektonischen Vorgängen, d. h. Bewegungen in der Erdkruste, welche eine Deformierung der Oberfläche hervorbringen; und zwar einerseits dem Absinken eines Flügels entlang einer Bruchfläche, andererseits der Faltung, Überschiebung und faltigen Überwallung. Insofern die äußere Gestalt primär durch diese Vorgänge bestimmt wird, können zwei Kategorien unterschieden werden.

a. Bruchgebirge oder Schollengebirge.

Ein mit Absenkung verbundener Bruch zerlegt eine Platte oder Tafel in zwei Schollen. Diejenige der letzteren, welche die höhere Lage einnimmt, kehrt der anderen die Schollenbruchseite zu, welche in der Regel steil ist. Die Höhenlinie dieses Abfalles ist die Schollenkante; an sie lehnt sich nach der entgegengesetzten Seite die Schollenfläche, welche entweder horizontal oder (und zwar wohl stets von der Kante hinweg) geneigt ist, und in letzterem Fall entweder eine schiefe Ebene bildet oder konkav ist. Man kann diejenige mit horizontaler Fläche eine Plattscholle, die mit geneigter ebener Fläche eine Keilscholle, die mit geneigter konkaver Fläche eine Hohl-scholle nennen. Alle diese Formen finden sich bei ganz verschiedenem innerem Bau. Die Schollenkante ist eine imaginäre, stets durch äußere Agentien längst zerstörte Linie. An ihre Stelle

tritt in Wirklichkeit der Schollenkamm oder die Schollenfirst, welche die aktuelle Linie höchster Erhebung bezeichnet. Die Haupteinteilung der Schollengebirge dürfte darauf zu gründen sein, ob ein Abbruch oder ein System von Abbrüchen dasselbe nur an einer Seite oder an zwei einander entgegengesetzten Seiten begrenzt. Wir unterscheiden danach 1. einseitige Schollengebirge und 2. Horstgebirge.

1. —Einseitige Schollengebirge oder Schollenrandgebirge. Diese haben die Eigentümlichkeit, daß sie nur von der Bruchseite gesehen Gebirgscharakter darbieten, von der Flächenseite hingegen entweder einen solchen überhaupt nicht erkennen lassen, oder als eine sanft ansteigende Bodenschwelle von geringer relativer Höhe über dem Standpunkt des Beobachters erscheinen. Letzteres ist der häufigere Fall, da Keilschollen und Hohlschollen weit öfter vorkommen, als Plattschollen. Die Schollenfirst hat meist in ihrer Gesamtheit einen ziemlich ebenmäßigen Verlauf, kann aber durch tiefe Einschaltung eine reiche Einzelgliederung und selbst einen wilden Charakter erhalten. Sie bildet nicht immer eine Hauptwasserscheide. Die fließenden Gewässer haben auf der Bruchseite ein steiles Gefälle, und wenn auch jede Wasserader ein verhältnismäßig kleines Sammelbecken besitzt, so ist doch häufig Gelegenheit zu starker rückschreitender Erosion vorhanden, besonders dann, wenn die Steilseite Seewinden ausgesetzt ist, welche an ihr die Feuchtigkeit verdichten können, und wenn die Gesteine leicht zerstörbar sind. In Folge dessen durchbrechen einzelne Wasserfurchen die Firstlinie und erreichen die oberen Randgebiete der Schollenfläche jenseits der First. Die Gewässer auf dieser haben sanftes Gefälle nach der entgegengesetzten Seite, und trotz der oft sehr ausgedehnten Sammelbecken vermögen sie sich nur langsam von ihrem Unterlauf aus in die Gesteine einzugraben. Es geschieht daher leicht, daß ihre Quellgebiete allmählich von einzelnen Gewässern der Bruchseite erobert werden. Diese graben sich oft so steilwandige und tiefe Kanäle, daß der Aufstieg nach der Staffel in ihnen unmöglich ist und auf den zwischen je zweien derselben sich von der First herabziehenden Gräben geschehen muß. Es kommt auch, wiewohl selten, vor, daß ein großer Ström, wie der Colorado, das Tafelland in seiner ganzen Ausdehnung durchströmt und das Bruchrandgebirge durchbricht. Eine solche Stromrinne ist entschieden der ursprüngliche Abfluß und hat nicht die dargestellte Entstehung durch kleine und räumlich (enger begrenzte Vorgänge).

Selten ist an dem Rand eines Tafellandes eine einfache Absenkung vorhanden. Weit häufiger findet sich die Form der einseitigen Staffelbruchgebirge, bei denen jede Staffel in gleichem Sinn den Steilabbruch nach derselben Seite zu kehren und gegen denselben hin aufgebogen zu sein pflegt. Die Lagerungsverhältnisse können durch Schichtenschleppung manche Komplikation erfahren. Jede Staffel hat ihr besonderes System von Abzugskanälen für das Wasser. Da aber auch bei jeder die vorher für den Einzelfall angeführten Gesetze gelten, so kann die rückschreitende Erosion von dem Fuß des letzten Außenabfalls aus nach und nach die ganze Reihe der Staffeln durchschneidet, so daß die meist vielfach gekrümmten Abflußkanäle rechtsinnig zum allgemeinen Abfall, aber widersinnig zur Aufbiegung der Schichten in jeder Staffel gerichtet sind. Seebildungen sind nicht selten vorhanden, noch häufiger die Sedimentausfüllungen ehemaliger Seen. Einige Beispiele von gebirgsbildenden Staffelbrüchen wurden oben (§ 257) angeführt. Es gibt wahrscheinlich manche Fälle, bei denen das Durchgreifen der Wasserscheide seine Ursache in dem Bestehen von Querspalten hat, welche vom Wasser benutzt werden konnten. Bei dem östlichen Wasserabfluß von Arkadien zum Beispiel, welcher jetzt seinen Weg durch Klüfte im Kalkstein nimmt, läßt es sich als sicher annehmen, daß im Lauf der Zeit die verborgenen Kanäle eine Umgestaltung in offen» Abzugsfurchen erfahren werden. Dieser Vorgang mag sich bei vielen aus Kalkstein bestehenden Staffelngebirgen bereits vollzogen haben.

Die Einteilung der Schollenrandgebirge nach der Gestalt des Querschnittes, wie nach der Einheit oder Vielheit des Bruches, gründet sich auf äußere Merkmale, welche jedoch mit der Gebirgsbildung in unmittelbarem Zusammenhang stehen. Einen anderen Gesichtspunkt ergibt die innere Zusammensetzung. Es sollen hier nur die drei Fälle genannt werden, denen der Reisende am häufigsten begegnet; nämlich:

- (1) die Tafelscholle, d. h. eine aus Tafelland herausgebrochene Scholle, an deren Bruchseite man nur die flachgelagerten Schichten des ersteren erkennt;
- (2) Die Abrasionsscholle, welche einen Teil eines abradierten Gebirges bildet;
- (3) die Transgressionsscholle, in welcher die Bruchseite das abradierte Grundgebirge entblößt, während die Schollenfläche aus transgredierenden Gebilden besteht.

Jede von diesen kann die Formen des einfachen und des Staffelbruches und die drei oben genannten Gestalten des Querschnittes bieten.

Ein staffelförmiges Tafelschollengebirge mit Hohlform der einzelnen Schollen bildet der hochgebirgige Ostrand des Tafellandes von Nord-China gegen die Große Ebene, wie er in der Provinz Schansi in schönen Durchschnitten entblößt ist. Hier hatte die rückschreitende Erosion eine Reihe der Staffeln zu überwinden. — Ein Beispiel einer keilförmigen Tafelscholle ist der schwäbisch-fränkische Jura. Hier ist der First [original: die First] sehr weit von der ehemaligen Kante aus zurückgeschritten; die Erosionskanäle aber haben sich bis jenseits der Firstlinie eingegraben; die Bruchseite haben sie nach dem Härtewechsel der Schichten in leistenförmige Parallelrücken zerlegt, in deren jedem der keilförmige Querschnitt sich wiederholt.

Ein Gerüst radial angeordneter einfacher Transgressions Schollen, und zwar von Keilform mit hochragender First, bilden die Urgneis-Gebirge des westlichen Teiles der Provinz Schantung in China mit ihren aufgelagerten kambrischen und karbonischen Schichten, welche sich von jeder First sanft hinabziehen. Die Erosion hat wegen der Festigkeit des Gesteins die Bruchseite wenig anzugreifen vermocht. Selten ist die Keilform mit größerer Entschiedenheit ausgesprochen. Analoge Gebilde sind der Schwarzwald und die Vogesen. Auch der Balkan dürfte hierher zu rechnen sein, während der Mons porphyrites im Westen des Rothen Meeres das entsprechende Bild einer in horizontales Tafelland übergehenden Hohlscholle mit Transgression (nach Schweinfurts Profilen) gewährt. Als eine Abrasionsscholle von keilförmiger Gestalt dürfte das Erzgebirge zu betrachten sein; selbst das gesamte Skandinavische Gebirge stellt «fiesen Typus dar. Doch können beide auch den Rumpfgebirgen zugerechnet werden.

Alles dies sind Schollenrandgebirge, insofern der First der Seite des Abbruches zunächst gelegen ist, und der Gebirgscharakter entweder ausschließlich oder vorwaltend bei dem Anblick von dieser aus hervortritt.

2. — Eine besondere Form, auf welche weiterhin zu achten ist, ist das Flexurgebirge. Der Begriff der Flexur, welche, wenn sie schief nach abwärts gerichtet ist, auf Streckung deutet, ist oben (§ 257) erklärt worden. Der gewaltige Zug des Nanköu-Gebirges im Norden von Peking ist eine einzige große Flexur, welche vor der karbonischen Epoche gebildet war. Ein Flügel der sehr mächtigen kambrischen Schichten zieht unter schiefem Winkel tief hinab, teils unter die Ebene von Peking, teils unter ein angelagertes weites Gebirgsland, welches größtenteils aus karbonischen Schichtmassen aufgebaut ist. Der andere Flügel bleibt auf der Höhe jenseits und zerfällt durch Staffelbruch in eine Anzahl hoher, nach Südost steil abfallender Schollengebirge. Die innerste Staffel, in welcher die Gneisunterlage erscheint, bildet den Band der Hochfläche der

Mongolei. Nur Süßwassergebilde (Jura) sind den Vertiefungen der gigantischen gebrochenen Scholle eingelagert. Wie jede Staffel hoch ansteigt, so auch, und zwar am höchsten, diejenige, an welcher die Flexur stattfindet. Hier haben sich gewaltige Injektionen und Ejektionen zum Teil granitischer, meist aber porphyrischer Gesteine ereignet, welche durch den Kontaktmetamorphismus (§ 228), den sie in den kambrischen Schichtgesteinen hervorgerufen haben, zu beweisen scheinen, daß sie wenigstens zum Teil mit den Erdrindenbewegungen, welche die großen Brüche veranlaßten, in Zusammenhang stehen. Doch haben sich diese Bewegungen bis in späte Zeit fortgesetzt und sind noch zweimal, in der Jura-Epoche und im Zeitalter des Tertiär, mit dem Hervordringen von Eruptivgesteinen verbunden gewesen. Dies ist wohl das einzige bekannte große Flexurgebirge. Solche von kleinerem Maßstab dürften häufiger anzutreffen sein.

3. Hat das Absinken nach zwei entgegengesetzten Seiten stattgefunden, so daß ein mittlerer Teil stehen blieb, so bildet dieser ein Horstgebirge. Die Bedeutung der hierher gehörigen Abteilung von Gebirgen beginnt mehr und mehr erkannt zu werden. Es hat sich an diesem Beispiel erwiesen, wie wichtig oft die Einführung eines Namens für eine Erscheinung, die man früher zwar kannte, aber nur umständlich im einzelnen Fall zu beschreiben vermochte, sein kann. Es lassen sich, seitdem Suess die bergmännische Bezeichnung „Horst“ auf Erscheinungen des Gebirgsbaues übertragen hat, alle entsprechenden Fälle in eine Kategorie vereinigen, und man hat bereits angefangen, ihnen in weit höherem Grad nachzuspüren als dies früher der Fall gewesen ist. Einzelne besondere Typen beginnen sich herauszuheben. So die Tafellandhorste, von denen das Gebirge von Palästina, im Gegensatz zu dem benachbarten Tafellandgraben des Jordan-Tales und des Toten Meeres ein Beispiel gibt. In den Faltungsgebirgen ragen Kernteile zuweilen horstartig auf; man könnte sie Kernhorste nennen. Als ein solcher, der durch zwei Längsbrüche begrenzt wird, ist die Cima d'Asta durch Suess erwiesen worden. Am wichtigsten und bedeutendsten aber sind die Horste in den Rumpfgebirgen. Diese Rumpfhorste werden unten (§ 279) erwähnt werden.

Andere Typen lassen sich nach dem Gesichtspunkt der Stellung der Verwerfungsflächen zu der Streichrichtung des inneren Baues unterscheiden. Als ein charakteristischer Typus treten die Diagonalhorste hervor. Sie bestehen aus einem Gebirgsstück, welches durch zwei Bruchflächen in schiefem Winkel zur inneren Streichrichtung aus einem vormalig in letzterer ausgedehnt gewesen Gebirge herausgeschnitten ist. Die neueren Forschungen haben diesen Typus mehrfach in Attika erwiesen, und die Insel Euböa gibt durch ihre bedeutende Längenerstreckung bei geringer Breite das am meisten charakteristische Beispiel. Die große Insel Kiuschiu in Japan ist im Wesentlichen ein Diagonalhorst, herausgeschnitten aus dem regionalen Faltungsgebirge, welches aus dem südlichen China dort hinüberzieht. Japan zählt mehr derartige Beispiele, und in China scheint hierher das ausgedehnte Gebirge des Ta-pa-schan zu gehören. Als Querhorste sind analoge Gebirgsstücke zu bezeichnen, welche ungefähr unter rechtem Winkel zur Streichrichtung durch Bruchflächen abgetrennt und, in Folge von Absenkung an ihnen, als Reste stehen geblieben sind. Hierher dürfte das asturisch-kantabrische Gebirge nach der Darstellung von Barrois gehören. Als die naturgemäßeste Form erscheinen die Längshorste, bei denen das Streichen der begrenzenden Bruchflächen demjenigen, welches die innere Struktur beherrscht, parallel ist.

Die alten Schollenteile der Erdoberfläche, gleichviel ob von Sedimenten überlagert • oder ob frei davon, neigen in besonderer Weise zu Bruchbildungen und Absenkungen, wenn auch in regional sehr verschiedenem Grad. Wo dieselben häufig sind, werden Horste eine typische Erscheinung sein. Ihr Nachweis durch geologische Beobachtung wird stets als ein wesentlicher Beitrag zum

Verständnis eines Erdraumes betrachtet werden können. Doch sollte man sich davor hüten, die neu eingeführte Benennung voreilig und ohne hinreichende Begründung anzuwenden.

b. Faltungsgebirge.

[§276]. Die meisten großen Gebirge und Gebirgsländer der Erde haben bei aller äußeren Verschiedenheit ein gemeinsames Merkmal, welches in einer durch Schichtenfaltung bedingten inneren Struktur besteht. Der Vorgang der Faltung und der mit ihrer extremen Ausbildung gewöhnlich verbundenen Überschiebung ist, wie in § 259 erörtert wurde, das Symptom eines seitlichen Zusammenschiebens der oberen Rindenteile eines Erdraumes auf einen in der Richtung der Bewegung verkleinerten Raum vermöge eines ungefähr in der Tangente der Erdkrümmung wirkenden Druckes. Die Fortführung der Beobachtung auf die weiteren Umgebungen hat in einer Reihe von solchen Fällen, wo der Vorgang sich in jugendlicher Zeit ereignet hat (wie bei Alpen und Himalaya), die Schlußfolgerung gerechtfertigt, daß die bewegten Teile gegen einen von demselben Faltungsprozeß nicht mit betroffenen, sich scheinbar starr verhaltenden Teil der Erdrinde gestaut worden sind und, da die Faltung mit Emporwölbung verbunden ist, die randlichen Gebiete der festen Scholle überwallen konnten. Es scheint sogar, daß, wenn diese Überwallung in bedeutendem Maße stattfand, die hohe Belastung den starren Rindenteil niederzudrücken vermochte. — Hiervon dürften andere Fälle zu unterscheiden sein, in welchen ein starrer Rindenteil gegen einen nachgiebigen gepreßt, vielleicht auch nach dem Schema von Fig. 90 (S. 600) aufgeschoben wurde, wobei dann in dem nachgiebigen eine Reihe von Faltungen, deren Intensität an der Berührungsfläche am stärksten ist und von dort aus bis zu völligem Verschwinden abnimmt, hervorgebracht wurde. Zu dieser Annahme leiten Erscheinungen wie sie der nördliche Harzrand darbietet.

Alle Gebirge, deren Gebirgsnatur und Gliederung auf dem aktiven Vorgang der Faltenbildung beruhen, oder doch darin ihre nächstliegende primäre Veranlassung haben, stehen den durch Absenkung entstandenen als eine große Klasse gegenüber, da die letzteren, wie bemerkt, auf Streckung und Raumerweiterung deuten. Sie können jedoch ihren Charakter vollständig verlieren, wenn sie nach gänzlichem Erlöschen der auf faltiges Zusammenschieben gerichteten Vorgänge ihrer äußeren Gestalt und Gliederung entkleidet werden. Sie werden dann selbst zu starren und, wie es scheint, besonders verfestigten Schollen der Erdrinde, welche weiterhin manche passive Umgestaltung erleiden können. In dieser Form, als ein reines Element innerer Struktur von Erdrindenteilen, ist die Schichtenfaltung weit über die hier zu besprechenden Faltungsgebirge hinaus verbreitet; wir werfen zuerst auf diese auszuscheidenden Bildungen einen vorläufigen Blick, um das, was der gegenwärtigen Kategorie zufällt, schärfer zu sondern.

Es gehören dahin diejenigen Gebiete, wo Gneis und Gneisgranit das Grundgebirge zusammensetzen. Sieht man von den ältesten Gneisen ab, bei welchen, wie auf S. 514 angedeutet wurde, die steile Schichtenstellung vielleicht nicht auf Zusammenfaltung ehemals gestreckt gewesener Gebilde beruht, so besteht die Unterlage horizontaler oder schwachgeneigter Ablagerungen, gleichviel welchen Alters dieselben seien, fast überall, so weit die Beobachtung reicht, aus aufgerichteten und wirklich gefalteten Schichtgebilden, welche entweder archaischen Alters, oder durch Metamorphismus aus Sedimenten verschiedener minder hoch hinauf reichender Epochen hervorgegangen sind, oder auch geringere Umwandlung erfahren haben. In der Regel werden die Faltungen von einer Abrasionsfläche durchzogen, auf welcher die relativ jüngeren Sedimente

auflagern. Vor der Abrasion erhob sich offenbar an derselben Stelle ein auch in seiner äußeren Gestalt durch Faltung charakterisiertes Gebirge; aber dasselbe ist verschwunden; wir haben es nicht mehr mit einem eigentlichen Faltungsgebirge zu tun, sondern mit einer verhüllten Abrasionsplatte. Nur die innere Struktur des ersteren ist geblieben. Sind auch solche Gebilde verdeckt, so ist doch ihre Bedeutung für den Gebirgsbau sehr groß, und die Lagerungsformen der von dem Fußgestell getragenen Massen können ohne die Kenntnis der Struktur des letzteren nicht verstanden werden. Die vernichteten Merkmale der äußeren Gestalt sind auch dort nicht wieder hergestellt worden, wo ein solches Gebiet in größerer Höhe über dem Meer gelegen ist, und die fließenden Gewässer tiefe Furchen durch die überlagernden Schichten hindurch in die Unterlage hinein geschnitten haben; selbst nicht in dem Fall wenn die Erosion die Bedeckung hinweggenommen und die Oberfläche der Abrasionsscholle bloßgelegt hat.

Man findet andere Gebiete, wo breites und zuweilen hohes Gebirgsland aus intensiv gefalteten und dadurch steil aufgerichteten Schichten zusammengesetzt ist, ohne, wie im vorigen Fall, durch andere Sedimente überlagert zu sein, wo aber die Oberfläche denselben glatt abgeschliffenen Charakter hat, wie dort die Fläche auf welcher die jüngeren Schichtgebilde liegen. Auch in diesem Fall hat das Gebirge einst weit über die glatte Oberfläche hinaus aufgeragt; aber nach dem Erlöschen der faltenden Kräfte sind die aufragenden Teile, und zwar gerade diejenigen, in welchen sich ehemals die innere Faltung als primär veranlassende Ursache in der äußeren Plastik widerspiegelte, durch die Abrasion hinweggenommen worden. Solche Gebirge sind Torsos vormaliger gewaltiger Massen. Wir werden sie als Rumpfgebirge kennen lernen. Skulpturtäler sind die Grundform ihrer Aushöhlungen. Außerdem können Hohlformen durch Absenkung entstanden sein.

Im Gegensatz zu diesen hinsichtlich ihrer inneren Struktur größtenteils gefalteten Abrasionsplatten und Abrasions- oder Rumpfgebirgen erscheint es zweckmäßig, den Begriff der eigentlichen Faltungsgebirge auf diejenigen Gebirge zu beschränken, welche der Faltung nicht allein die innere Struktur, sondern auch die äußere Gestalt verdanken, und in welchen in Folge dessen das tektonische Längsthai das äußerlich bestimmende Prinzip ist.

Es gibt sehr verschiedene Typen von eigentlichen Faltungsgebirgen; und doch ist es schwierig, sie nach einem leitenden Prinzip in gewisse Kategorien zu teilen. Es fehlt dazu noch an einer hinreichenden Zahl genau aufgenommener Profildurchschnitte. Der Reisende sollte sich deren sorgfältige Anfertigung angelegen sein lassen, wo immer er bemerkt, daß der Faltenbau den äußeren Gebirgscharakter bestimmt. Es möge hier insbesondere auf den Unterschied der Homöomorphie und der Heteromorphie des Querschnittes hingewiesen werden. Obgleich nämlich der Querschnitt jedes Faltungsgebirges an seinen beiden Enden verschiedene tektonische Verhältnisse zeigt, so scheint es doch, daß dieser Unterschied in gewissen Fällen dem Grade nach, in anderen der Art nach besteht. Ersteres ist der Fall, wenn die Faltung von einem Ende des Querprofils zum anderen das leitende Moment, aber von verschiedener Intensität ist. Ein Unterschied in der Art der tektonischen Verhältnisse findet statt, wenn sie an einem Ende des Querschnittes auf Zusammenschiebung, an dem anderen auf Zerrung deuten. Es scheint, daß man nach diesem Gesichtspunkt zwei verschiedene Ordnungen von Faltungsgebirgen unterscheiden darf.

[§277] 1. — Homöomorphe Faltungsgebirge. Dies sind Gebirge, in deren ganzer Ausdehnung die Faltung als das herrschende und die äußere Plastik primär veranlassende tektonische Element erkennbar ist. Lange Faltungskämme, in denen alle Formen von Falten, bis zur Schuppenstruktur, vertreten sein können, walten in den aufragenden Teilen, Längstäler unter den Hohlformen. Diese aber sind durch meistens kurze und schroffe Querrfurchen mit einander

verbunden. Durch die Kombination entsteht eine Vereinigung zu wechselständig-heterotypischen Talsystemen (§ 273).

Es gibt einen zonalen und einen regionalen Typus homöomorpher Faltungsgebirge. Der ausgezeichnetste Vertreter des zonalen Typus ist der Jura, welcher durch die Runzelung eines Systems gleichartig gelagerter Schichten gebildet wird. Er nimmt eine sanft gekrümmte Zone paralleler, durch Längstäler getrennter Faltungszüge ein. An demjenigen Ende des Querschnittes, welches zunächst dem inneren begrenzenden Bogen liegt, ist die Zusammenschiebung intensiv gewesen; die Falten sind hoch und zahlreich. Von da aus vermindert sich deren Amplitude allmählich gegen die äußere, konvexe Seite hin, bis die Falten in horizontal gelagertes, aus denselben Schichten bestehendes Tafelland übergehen. Im Osten reichen die Faltungen im Querprofil bis an die feste Scholle des Schwarzwaldes heran.

Die regionalen Faltungsgebirge des homöomorphen Typus, oder die Rostgebirge, zeichnen sich dadurch aus, daß die Oberflächenteile eines ausgedehnten Erdraumes nicht nur in großer Längenerstreckung, sondern auch in beträchtlicher Breite in parallele Falten gelegt sind. Dies ist der Fall in dem Gebirgsland, welches das ganze südöstliche China einnimmt. Man kann dort mehr als 100 deutsche Meilen quer gegen die Faltungsrichtung reisen und begegnet, abgesehen von einigen später gebildeten beckenartigen Versenkungen, immer nur der gleichen Erscheinung langgedehnter, geradgestreckter, paralleler Kämme von ähnlich bleibender Tektonik. Die Faltungszüge unterscheiden sich von einander nicht wesentlich in Bau und Zusammensetzung, und obwohl einzelne von ihnen größeres Ausmaß haben als andere, so sind doch eigentliche Zentralketten oder Kernzüge, in dem Sinn wie sie bei den Alpen und dem Himalaya vorkommen, nicht zu erkennen. Die Zusammenfaltung geschah schon vor dem Ende der paläozoischen Ära und war frühzeitig beendet. Da aber eine Abrasion nicht erfolgt ist haben sich die tektonischen Längstäler als primäre Hohlformen erhalten. Allerdings hat später eine intrudierende Überlagerung großer Gebiete durch mächtige Süßwassersedimente stattgefunden; aber sie haben wesentlich, wie es scheint zur Erhaltung der alten Formen beigetragen. Ihre Durchfurchung hat die Entstehung epigenetischer Skulpturtäler in dem früher (§ 81) dargestellten Sinn veranlaßt. Auch haben sich nachträglich große Absenkungen und Ausbrüche porphyrischer Gesteine ereignet; aber die tektonischen Hohlformen sind als leitende Züge in der äußeren Ausgestaltung nicht geschwunden. Sie haben besonders zu der sehr vollkommenen Ausbildung des Riastypus in den Küstenformen (§ 141) beigetragen.

[§278] 2. — Heteromorphe Faltungsgebirge. Die großen bogenförmigen Kammgebirgszüge der Erde, welche, wie die Alpen, die Karpaten, die Apenninen, der Himalaya und die das eranische Hochland im Südwesten umschließenden Gebirge, dem jugendlichen Alter ihrer letzten formgebenden Bewegungen die Erhaltung der tektonischen Längstäler als primärer Hohlformen verdanken, haben, im Gegensatz zu den vorgenannten Gebirgen, die Eigentümlichkeit gemeinsam, daß die von jedem von ihnen eingenommene Zone zwei von einander morphographisch wesentlich verschiedene Seiten, eine konvexe oder äußere, und eine konkave oder innere darbietet. Dieser Unterschied der Gestalt beruht auf Bindenbewegungen von verschiedener und zum Teil entgegengesetzter Art. Ein Querschnitt zeigt an der Vorderseite ein Drängen faltender Bewegungen bis zu völliger und bedeutender Überwallung des Vorlandes. Die Rückseite ist gewöhnlich von jener durch hochaufragende Kernmassen getrennt. An ihr kommt Faltung noch als ein sekundärer, einzelne Bewegungen begleitender Vorgang vor; im Ganzen aber tritt sie als gestaltendes Moment zurück gegen die den Charakter bestimmenden Erscheinungen großer Brüche und Absenkungen. Die Gebirge haben hier vielfach die Gestalt mächtiger, gebrochener, gegeneinander verschobener und stellenweise gestauter, später äußerlich durch Erosion

umgestalteter Tafeln. Auf der Vorderseite sind die Schichtgesteine auf einen Bruchteil des früher von ihnen eingenommenen Areal (der Breite nach) beschränkt; sie sind in Faltungen von wunderlichen Formen übereinandergewälzt, in Gestalt von Schuppen übereinandergeschoben; das Ältere lagert häufig über dem Jüngeren und quillt am äußersten Saum gewissermaßen über dieses hinweg. Die Erdrinde ist, offenbar in Folge einer Pressung, verdickt und verdichtet. Auf der Rückseite hingegen ist ein lockeres Gefüge. Die Oberflächenteile der Erdrinde sind auf einen größeren Raum, als sie vorher einnahmen, auseinandergezerrt. Die Brüche, denen entlang die Absenkungen erfolgten, sind zum Teil der Streichrichtung der Kernmassen parallel; zum Teil stellen sie sich als Bogensegmente großer Becken oder schüsselförmiger Versenkungen dar; zum Teil sind sie unter verschiedenen Winkeln quer zur Hauptrichtung gestellt. Wie bei der auf Seite 602 beschriebenen, auf analoger Kraftäußerung beruhenden, aber zu einem verschiedenen tektonischen Resultat führenden Flexur, oder wie bei den großen Grabenversenkungen, sind auch auf der Rückseite der heteromorphen Faltungsgebirge Injektion und Ejektion von Eruptivgesteinen häufig mit den großen gestaltenden Vorgängen verbunden gewesen: ein Zeichen, daß die feste Erdrinde in ihrem ganzen Vertikalbetrag von diesen betroffen worden ist.

Die Ursachen der beiden verschiedenen, in ihren Wirkungen einander scheinbar aufhebenden Bewegungsarten sind nicht bekannt, und es wird vieler fortgesetzter Beobachtungen in Gebirgen dieser Art bedürfen, ehe es möglich sein wird, eine für verschiedene Fälle giltige Theorie aufzustellen. Man sollte besonders auf diejenigen Erscheinungen achten, welche das Emporwachsen" der zentralen Kernzüge zu ihrer das übrige Gebirge überragenden Höhe betreffen. Jedenfalls muß dasselbe durch sehr lange Zeiträume, vielleicht mit vielfachen Unterbrechungen, fortgedauert haben. In Folge unausgesetzter stärkster Denudation in den am höchsten aufragenden Teilen wurden die Kernzüge während ihres Emporwachsens von den aufgelagerten Sedimentmassen entblößt, bis sie nur noch ans den nackten Kernmassen des kristallinen, zum Teil aus paläozoischen Schichtgesteinen metamorphosierten Grundgebirges bestanden. In den französischen West-Alpen glaubt man steile, dem Inneren des Gebirges zufallende Längsbrüche zu erkennen, denen entlang Aufschiebungen (im Sinn von Fig. 90 S. 600) gegen die Vorderseite des Gebirges hin sich vollzogen; und zwar werden dieselben als staffelförmig in solcher Weise dargestellt, daß jede der Gebirgsachse nähere Staffel höher aufgeschoben ist, als die gegen die Vorderseite hin zunächst gelegene. Dieses von Lory gefundene Verhältnis scheint für die Erklärung des Mechanismus der gesamten Bewegungen sehr wichtig zu sein. Man könnte geneigt sein, ein Voran- und gleichzeitiges Aufwärtsschieben eines die Innenseite in sich, begreifenden Hangendflügels auf einer unter diesen sich herabsenkenden Bruchfläche gegen den konvexen und gefalteten Gebirgstheil, oder vielmehr gegen die demselben als Widerlager vorliegende und von ihm überwallte starre Scholle anzunehmen. Durch eine oder mehrere derartige schuppenartig angeordnete Aufschiebungen würde sich die Baumverminderung auf der einen, die mit Absenkungen verbundene Baumerweiterung auf der anderen erklären lassen. Doch selbst wenn ein Mechanismus dieser oder ähnlicher Art erwiesen werden sollte, würde man von einer Erklärung der zu Grunde liegenden Kraft noch sehr weit entfernt sein.

Als ein allgemeiner und wichtiger Gesichtspunkt für die Geschichte solcher Gebirge kann es bezeichnet werden, das Zeitalter derjenigen Abrasion kennen zu lernen, welche den intensiver zusammen gefalteten Grundbau zum letzten Mal abgeschliffen und die Reihenfolge der nachträglichen Sedimentbildungen eingeleitet hat. Daher sind vereinzelte transgredierende Auflagerungen auf den Gesteinen der Kernzone ganz besonders zu beachten. Sie bezeichnen das Ende einer früheren, längst abgeschlossenen, vielleicht ganz unabhängigen Faltungsperiode und den Beginn einer Zeit ruhiger Ablagerung. Es ist charakteristisch für die großen Faltungsgebirge, daß diejenigen Sedimentformationen, welche außerhalb der Kernmassen den Hauptanteil an der

Zusammensetzung haben, ungewöhnlich große Mächtigkeit erreichen, und in ihnen solche marine Ablagerungen herrschen, welche an dem Boden heutiger Meere die Region jenseits der Küstenzone gegen die großen Tiefen des offenen Ozeans zu bezeichnen pflegen, während die von den Faltungen überwallte starre Scholle häufig gleichaltrige Schichtgebilde von geringer Mächtigkeit und von dem Charakter der Ablagerungen der Lithoralzonen (§ 189) trägt. Die Rückseite bewahrt in der Regel den Typus der mächtigeren Gebilde der ersteren Art mit Vorherrschen von Kalksteinen; aber sie kommen an ihr häufig zu einem verhältnismäßig frühen Abschluß und machen ingredierenden Ablagerungen Platz, welche die tieferen Teile ausfüllen und den Rand begleiten, während sich entlang der Vorderseite noch lange klastische Sedimente absetzten, welche sukzessive in die äußeren Randzonen des Gebirges hineingefaltet wurden. So ist es die allerdings nicht ausnahmsfreie Regel bei Alpen, Apenninen, Karpaten und Himalaya.

Von Wichtigkeit ist es, diejenigen Vorgänge aufzufinden mit welchen die Geschichte der Bewegungen, die zu der Gebirgsbildung führten, eingeleitet wurden, insbesondere also zu beobachten, bis zu welchem Zeitpunkt die Verhältnisse zu beiden Seiten keine oder geringe Verschiedenheit boten, und wann sich zuerst bedeutendere Unterschiede einstellten. Wahrscheinlich war mit der zunehmenden Entwicklung des Kernzuges eine wachsende Differenzierung beider Seiten des Gebirges verbunden. Man wird also zu untersuchen haben, durch welche Reihe geologischer Epochen nach der letzten nachweisbaren Transgression ein ungestörter Absatz von Sedimenten, wie er an der Gleichförmigkeit der Lagerung erkennbar ist, fortsetzte; in welchem Zeitalter auf der einen und der anderen Seite, oder nur auf einer von ihnen, eine ungleichförmige Auflagerung beginnt; von welcher Art die dem Wechsel zu Grunde liegenden tektonischen Vorgänge waren; wie die fernere Entwicklung der Sedimentformationen ist; in welcher Art und zu welchen Zeitpunkten die eruptiven Gesteine eingreifen; bis zu welchem Zeitalter herab die Schichtgebilde eine Umwandlung im Kontakt mit denselben erfahren haben, u. s. f.

Die Querschnitte heteromorpher Faltungsgebirge sind nach allen diesen Richtungen an verschiedenen Stellen ihrer Längserstreckung zu untersuchen. Denn der Bau erleidet im Fortstreichen bedeutende Änderungen. Schuppenstruktur geht in regelmäßige Faltungszüge über; eine Falte verschwindet, und in ihrem Streichen, aber oft nicht in unmittelbarer Fortsetzung, erscheinen eine oder zwei andere Falten. Es kann auch der Bau des ganzen Gebirges Wandlungen unterliegen, insofern die Heteromorphie nachläßt und vielleicht in manchen Fällen völlig verschwindet. So läßt z. B. bei den geradgestreckten Ostalpen die Asymmetrie im Vergleich zu westlicheren Teilen mehr und mehr nach. Die Faltungen bleiben zwar auch im Osten bedeutender auf derjenigen Seite, welche sich im Westen als die äußere deutlich kennzeichnet; aber sie sind gegen das östliche Ende hin auch auf der inneren Seite vorhanden; zugleich haben die Absenkungen hier nur noch eine geringe, mit Gesteinsausbrüchen fast gar nicht mehr verbundene Rolle. Das geringe Aufsteigen der Kernzone gibt Zeugnis von einer weit geringeren Konzentration der Bewegung. Der Bau nähert sich demjenigen der homöomorphen Faltungsregionen.

Sollte das schuppenartige Aufschieben auf schiefen Bruchflächen der Bildung der Faltungsgebirge ursächlich zu Grunde liegen, so dürfte man erwarten, daß ähnliche Erscheinungen vorkommen können, wie sie sich bei anderen Bruchflächen finden: z.B. ein Wechsel in Form einer Schraubenfläche, wodurch in einem Teil der letzteren das Absenken oder das Aufschieben des entgegengesetzten Flügels stattfinden würde, als in einem anderen im Fortstreichen gelegenen Teil. Einem derartigen Verhältnis entsprechen die von Suess mit großem Scharfsinn am Kaukasus entdeckten Erscheinungen.

Andere Änderungen im Fortstreichen können in Unterschieden in der Sedimentbildung bestehen. In den Alpen sind sie in der Richtung von West nach Ost in so hohem Grade erwiesen, daß

es scheint, als ob die Entwicklung der einzelnen Teile eine vielfach verschiedene gewesen sei, ehe dieselben zu einem Gebirge vereinigt wurden. In höherem Maße scheinen sich der nordwestliche und der östliche Himalaya von einander zu unterscheiden, worauf unter Anderem ihre gänzlich verschiedene Talanordnung hinweist. Man wird zu der Vermutung geführt, daß eine von dem großen Bogenverlauf beherrschte, aber erst später eingetretene tektonische Bewegung Teile, welche vorher ihre gesonderte Entwicklung gehabt hatten, mit einander zu einem einheitlichen Gebirge verband.

Diese wenigen Bemerkungen mögen genügen, um auf die hohe Bedeutung der Probleme hinzuweisen, welche sich bei dem Studium der großen heteromorphen Faltungsgebirge der Erde darbieten. Wer Gelegenheit dazu hat, sollte seine Anschauungen in den Alpen schulen, wo Heim in der Schweiz und Suess in Österreich die ausgezeichneten Forschungen zahlreicher Geologen im Verein mit ihren eigenen zur Zusammenstellung großartiger, auf die Erklärung des Mechanismus der Gebirgsbildung hinzielender Gemälde verwendet haben. Wer es sich zur Aufgabe gemacht hat, dort einen Teil der nördlichen Faltungsgebiete und der südlichen Absenkungsregionen so eingehend zu studieren, daß ihm der Bau des einen und der anderen völlig klar vor Augen steht, der wird vorbereitet sein, ähnliche Verhältnisse in anderen Ländern zu untersuchen, und wer sich für eingehende Forschung in diesen rüstet, sollte dort erst seine Kräfte zu üben suchen. Zu den großen bogenförmigen Faltungsgebirgen sind die Inselbogen von Ost-Asien zu rechnen. Aber wenn man sie mit den Alpen, oder dem Dinarischen Bogen, oder dem Himalaya vergleichen will, muß man sich bewußt sein, daß man es in der Hauptsache mit den zerrissenen und gelockerten rückwärtigen Teilen, zuweilen auch mit Teilen der Kernzüge zu tun hat, die gefalteten Außenzonen aber größtenteils in den Meerestiefen liegen. Von um so größerem Interesse ist es, wenn man diese stellenweise auffinden kann, wie es z. B. betreffs der Faltungszonen des größten aller Bogen, nämlich desjenigen, welcher die Inseln Java und Sumatra umfaßt, auf dem Festland im Westen des Irawaddy-Tales der Fall ist.

II. Rumpfgebirge oder Abrasionsgebirge.

[§279] Nach der auf S. 662 gegebenen Erklärung bezeichnen wir mit diesem Namen eine große Zahl von Gebirgen, welche ganz oder zum Teil die innere Struktur der Faltungsgebirge besitzen, d. h. aus aufgerichteten Schichtgebilden bestehen, aber die durch Faltung primär bedingten äußeren Formen, also vor Allem die tektonischen Täler und Faltungsrücken, durch Abrasion verloren haben. Sie zeichnen sich im Allgemeinen durch flachgerundete Formen aus. Zuweilen neigt sich die Oberfläche nach allen Seiten gleichmäßig herab, zuweilen findet nach einer oder nach zwei Seiten ein steilerer Abfall statt. Die räumliche Ausdehnung ist außerordentlich verschieden; manche Rumpfgebirge haben ein sehr geringes Areal, andere nehmen große Kontinentalgebiete ein; in einem Fall findet man sie als untergeordnete Glieder größerer Gebirgsländer, in einem anderen bestimmt der Typus weithin den orographischen Charakter selbständig. Hier sieht man eine flache ungegliederte Wölbung von allseitig nahezu gleichförmiger Ausdehnung; dort eine entschiedene Längserstreckung, und zugleich eine Auflösung in parallele breite Rücken, die durch breite Hohlformen getrennt werden.

Fast alle Rumpfgebirge stellen nur die innersten Kerne vormaliger Faltungsgebirge dar, Kristallinische Schiefer, teils von archaischem Alter, teils durch Metamorphismus des Flözgebirges entstanden, nehmen in steiler Faltung den Hauptanteil an der Zusammensetzung. Die

Flözgebirgszonen, welche ehemals vorhanden waren, konnten bei der Abrasion in völlig ebener Verflachung abgetragen werden; aber die gleiche Kraft vermochte nicht, den harten und zähen kristallinen Kern in gleichem Maße zu bewältigen; daher ließ sie ihn als mehr oder weniger flach ansteigende gerundete Wölbung bestehen.

Diese Wölbung, welche oft noch in großen Strecken unverletzt erhalten ist, oft aber nur noch erkennbar ist wenn man eine Fläche über die vorspringenden Teile legt, unterscheidet die Rumpfgebirge von den flach ausgebreiteten Abrasionsplatten; eine scharfe Grenze zwischen den beiden genetisch zusammengehörigen Kategorien ist jedoch nicht vorhanden. Eine völlige Identität kann zwischen Rumpfgebirgen und Abrasions-Schollen-gebirgen bestehen; denn manches unter den ersteren ist ein durch Bruch und Absenkung aus einer Abrasionsplatte herausgelöster, relativ erhobener Teil und besitzt alle Eigenschaften eines Horstes oder einer Keilscholle.

Die meisten Rumpfgebirge, nämlich diejenigen welche keine ausgesprochene Längsachse haben, fallen unter den vielumfassenden herkömmlichen Begriff „Massengebirge“; diejenigen mit entschiedener Längsachse werden in der Regel den „Kettengebirgen“ zugerechnet.

Man ist früher der Ansicht gewesen, daß subaerische Denudation, vor Allem die Kraft fließender Gewässer, hinreichend sei, um die einfache Oberflächengestalt der Rumpfgebirge hervorzubringen. Aber es ist leicht ersichtlich, daß die Abrasion durch die fortschreitende Brandungswelle allein im Stande gewesen ist, diejenigen Teile, welche früher frei und hoch aufragten, in einer gleichmäßigen Fläche hinwegzuschleifen. Denn diese einfache Grenzfläche steht im Widerspruch zu der Mannigfaltigkeit der inneren Struktur; die subaerische Denudation aber würde bestrebt gewesen sein, diese in noch schärferer Weise, als es durch die tektonischen Vorgänge geschehen war, zum äußeren Ausdruck kommen zu lassen. Theoretisch kann man allerdings die Folgerung ableiten „ daß dieselbe bei sehr lange fortgesetzter Einwirkung ein gegliedertes Gebirge zu einer flachen Wölbung reduzieren würde; aber die von der Wölbungsfläche begrenzte Masse würde nur an den Stellen ehemaliger Rücken aus festem Gestein, in den zwischengelegenen Teilen aus Detritusauffüllung bestehen, und das erstere würde von der Oberfläche aus tief hinab zersetzt sein. Bei Rumpfgebirgen ist die glatte Felsfläche kontinuierlich gewesen, und tiefgehende Zersetzung ist nur zuweilen später hinzugetreten. — Ein zweites Argument besteht in dem schon genannten Umstand, daß die in derartige Gebirge eingesenkten Hohlformen nicht durch die Faltungen hervorgerufen, wenn auch durch dieselben sekundär beeinflusst worden sind. Herrschend sind die Skulpturtäler, und die primäre Hohlform der Rumpfgebirge ist, wie erwähnt, die durch Erosion allein geschaffene Querfurche. Abweichungen werden durch die häufige Einsenkung epigenetischer Erosionsfurchen veranlaßt.

Es entspricht der Art der Entstehung und späteren Durchfurchung der Rumpfgebirge, daß abgeflachte und sanft gewölbte Formen in ihnen vorwalten. Es fehlen schroffe Gipfel; die Kämme bieten einfache Profillinien, da die Höhen von Gipfeln und Pässen wenig von einander abweichen. Ausnahmen von dieser Regel bilden solche Stellen, wo die rückschreitende Erosion eine tiefe Einschaltung durch den Kamm gegraben hat, oder wo in Folge epigenetischer Talbildung die Hauptwasserscheide in eine der Flanken zu liegen gekommen ist. Zuweilen findet man einen Kamm mit einfacher Profillinie von einzelnen grabenartigen Schartenpässen unterbrochen. In solchem Fall sollte man untersuchen, ob nicht der jetzige Kamm durch eine Längsabsenkung gebildet wurde, deren Bruchfläche die tief eingegrabenen Quertäler einer Flanke quer durchschnitt und deren obere Strecken mit dem ehemaligen Kamm nach einem tieferen Niveau versinken ließ. Es läßt sich kaum ein anderer Vorgang denken, welcher Schartenpässe hervorzubringen vermocht hätte. Nicht selten findet es sich, daß ein Rumpfgebirge in seiner ganzen Breite von einem Strom quer durchbrochen wird. Dies kann auf epigenetischer Talbildung beruhen;

doch können auch andere Vorgänge, z. B. die eben genannten Absenkungen, zu Grunde gelegen haben.

Ist auch bei Rumpfgebirgen die Querfurche die Grundform der Talbildung, so gehen doch von jeder Querfurche zahlreiche Längsfurchen aus, welche im Allgemeinen der Richtung des Schichtenstreichens folgen, aber häufig einen gewundenen Lauf haben. Jede von ihnen sendet wiederum Querfurchen aus. Aber schon die ersteren sind reine Skulpturformen, welche sich in der Richtung von unten nach oben bilden, dabei die Antiklinalen der Faltungen aufsuchen (s. S. 172) und wegen der schweren Arbeit in dem harten Gestein oft in ihrer Entwicklung weit zurück sind. Folgt man den Längsfurchen aufwärts, so hat man in der Mehrzahl der Fälle bis auf die unverletzte oder wenig angegriffene Abrasionsfläche anzusteigen um nach dem oberen Ende derjenigen Längsfurche zu gelangen, welche am nächsten in der Verlängerung der ersten liegt; selten setzt sie deren Richtung unmittelbar fort. Es gibt eben nicht geradlinig fortstreichende Faltungsmulden, welche dem erodierenden Wasser die Wege anwiesen. Daher fehlt es an Talwasserscheiden. Sind auch die Längsfurchen durch die Verlockung, welche sie an ihrem tief eingesenkten Boden zur Ansiedelung geben, nicht selten wichtige Lebensadern in Rumpfgebirgen, so stehen sie doch den breitsohligen großen Längstälern der eigentlichen Faltungsgebirge an Bedeutung wesentlich nach. Bei den meisten Gebirgen dieser Art ist überhaupt das Längsthal ganz untergeordnet. Doch kann es sich in größerer Breite ausbilden, wo die Abrasionsfläche eine muldenförmige Einlagerung weicherer Gesteine durchschneidet, und diese der Erosion unterlegen ist.

Die innere Struktur der Rumpfgebirge zeigt die Richtung, in welcher einst die faltige Stauung, Überschiebung und Überwallung geschehen war. Man kann daher auch bei ihnen eine innere und eine äußere, oder eine Rückseite und eine Vorderseite unterscheiden. Die Beobachtung hat sich den aus dieser ersten Entstehungsphase stammenden Erscheinungen zuzuwenden. Oft ist deren Entzifferung eine schwierige Aufgabe. Sodann ist das Schicksal zu prüfen, welchem die Gebirgsmasse nach ihrer Abrasion unterworfen gewesen ist. Es kann sehr verschieden gewesen sein. In vielen Fällen fehlt es gänzlich an Merkzeichen, daß nach jener Zeit stauende Bewegungen noch stattgefunden haben. In anderen scheint es, daß die gefaltete Masse als starrer Gesamtkörper passiv geschoben wurde und die vor ihr lagernden Sedimentgebilde bis zu denen eines gewissen Zeitalters herab in Falten zusammengestaut hat; dies dürfte kaum ohne eine Aufschiebung derselben Masse auf einer geneigten Bruchfläche geschehen sein. Wiederum in anderen Fällen ist, wie in § 278 angedeutet wurde, einer früh geschehenen Abrasion mächtige Sedimentbedeckung und in einer späteren Zeit gewaltige aktive Stauung gefolgt; der ganze Charakter wurde geändert, es entstanden die großen bogenförmigen Faltungsgebirge der Jetztzeit. Achsenlinien und Richtung der Stauung mögen dann häufig andere als früher gewesen sein. — Abermals in anderen Fällen ist das zum zweiten Mal und nach einer zuweilen die erste diagonal schneidenden Richtung gefaltete Gebirge durch eine zweite Abrasion abgegeschliffen und in ein seitdem starr gebliebenes Rumpfgebirge verwandelt worden. In solchen Fällen erkennt man deutlich im inneren Bau die Interferenz der beiden Faltungsrichtungen. Dieser doppelte Vorgang hat sich auf der chinesischen Halbinsel Schantung vor dem kambrischen Zeitalter vollzogen. Er ist für zwei spätere geologische Epochen in dem Bau des Harz und des Fichtelgebirges nachgewiesen worden.

Das häufigste und allgemeinste Schicksal der Rumpfgebirge aber hat darin bestanden, daß sie als starre Massen von großen Brüchen durchzogen wurden, und die dadurch getrennten Schollen Bewegungen entlang den Bruchflächen erfuhren. Wo immer man ein solches Verhältnis nachweisen kann, ist es eine wesentliche Aufgabe, zu untersuchen, ob die Bewegung in einer

Aufschiebung oder in einer Absenkung (Fig. 90 und 89, S. 600) bestanden hat. Das Erstere scheint verhältnismäßig selten der Fall gewesen zu sein, während die Absenkung außerordentlich häufig nachgewiesen worden ist. Man dürfte daraus folgern, daß in den von starren Schollen eingenommenen Gebieten Streckung sich innerhalb der äußeren Teile der Erdrinde in höherem Grade vollzieht, als Stauung.

Die besonderen Formen, welche aus der Zerlegung eines abradierten Erdrindenteiles in Schollen und aus deren relativer Vertikalverschiebung hervorgehen, wurden in § 275 betrachtet. Es liegt hier einer der Fälle vor, wo die konsequente Anwendung systematischer Prinzipien auf Schwierigkeiten stößt. Ist auch die Bildung des Rumpfgebirges oder der Abrasionsplatte der primäre Vorgang, so ist doch häufig die Gebirgsnatur als Element der Plastik viel wesentlicher in der Verwerfung begründet. Schollengebirge und Horstgebirge sind zuweilen nur besonders gestaltete Typen von Abrasionsgebirgen. Man wird bei der Bezeichnung durch Namen beiderlei zu Grunde liegende Vorgänge berücksichtigen müssen.

Es sollte besonders beobachtet werden, welches Verhältnis die großen Brüche zu der inneren Struktur haben; ob sie den Faltungen parallel, oder quer gegen dieselben, oder diagonal gerichtet sind; ob die Längsbrüche auf der Seite liegen, nach welcher die Faltungen überschoben sind, gegen welche hin also die Achsenebenen nach oben gerichtet sind, und ob auf dieser Seite Aufschiebung oder Absenkung stattgefunden hat; oder ob die Längsbrüche an der Rückseite gelegen sind. Es scheint, daß dies der häufigere Fall, und daß hier Absenkung die Regel ist. Zuweilen ist in nachfolgender Zeit eine glatte Abrasionsfläche durch die starkverworfenen Schollen gelegt und das Ganze durch spätere Absenkung abermals in Schollen geteilt worden, die gegen einander verworfen wurden.

Hervorragende Rumpfgebirge in Europa sind: die skandinavischen Gebirge; das Bergland von Schottland; die westlichen Halbinseln von England und der Bretagne; das Rheinische Schiefergebirge im weitesten Sinn; das Zentralplateau von Frankreich; Vogesen und Schwarzwald; das bayerisch-böhmische Waldgebirge; das Fichtelgebirge; wahrscheinlich das Erzgebirge; die böhmisch-mährischen Höhen; die Sudeten; der Harz; das galizisch-kantabrisch-asturische Gebirge; das Rhodope-Gebirge und viele andere. Es gehören hierher die breiten Gebirgsanschwellungen von Guyana und Brasilien; der Kwenlun, und wahrscheinlich der Altai. In manchem Gebirgsland, das aus den ältesten Formationen in steiler Schichtenstellung aufgebaut ist, erkennt der Reisende erstaunt bei dem Umblick von einem Höhenpunkt, wie sämtliche Kämme und Gipfel in weiter Umgebung eine imaginäre Fläche berühren, die ebenmäßig sanft ansteigt, oder eine leichte Wölbung hat. Diese ursprüngliche Abrasionsfläche zeigt sich deutlich in den Gebirgen von Wales, und ebenso in denen von Schantung und Liautung in China, in welchen seit Beginn der mesozoischen Ära Skulpturtäler allein eingeschnitten worden sind. An diesen Fällen hat sich, wie (§ 165) erwähnt, der Begriff der Abrasionsfläche in einer für jeden von ihnen unabhängigen Schlußfolgerung entwickelt.

Viele der genannten Rumpfgebirge tragen noch Überreste von transgredierenden Gebilden, welche sie einst in größerem Umfang bedeckten. Sie sind die Produkte der letzten Abrasionen. In den meisten Fällen ist es wahrscheinlich, daß der Abrasionsprozeß sich mehrfach wiederholt hat, um die außerordentlich große Abschleifung hervorzubringen. Doch läßt sich dies mit Sicherheit nur dann erweisen, wenn Reste ehemaliger Transgressionen sich vorfinden. Sie verdanken ihre Erhaltung an vereinzelt Stellen (wie dies in Fig. 75 auf S. 357 schematisch dargestellt ist) zuweilen Absenkungen, welche sich vor der letzten Abrasion ereigneten. Dies ist z. B. der Fall bei dem Rheinischen Schiefergebirge. Hier fanden ehemals Überschiebungen am Nordrand statt. Es ist von hervorragenden belgischen Geologen berechnet worden, daß dort an der Stelle

des jetzigen belgischen Flachlandes eine Gebirge von ungefähr 6000 Meter Höhe hinweggeschliffen worden ist. Dies ist die Vorderseite der Faltungen. Auf der Rückseite fanden zahllose kleine Verwerfungen und einige außerordentlich bedeutende normale Absenkungen in der Streichrichtung der Faltungen statt; insbesondere eine entlang der Südseite des Hunsrück, und eine zweite, welche auf beinahe 4000 Meter vertikaler Höhe berechnet worden ist, bei Saarbrücken, dessen Steinkohlenflöze dadurch erhalten worden sind. Die von Norden kommende Abrasionswelle hat Alles, die härtesten wie die weichsten Gesteine beinahe vollkommen ebenemäßig abgeschliffen. Hier deuten die klastischen Gesteine der Steinkohlenformation, des Rotliegenden und des Buntsandsteins auf eine Reihe von Abrasionen, welche der letzten, deren geologische Zeit sich nicht bestimmen läßt, vorangegangen sind. Die Vorgänge der Skulptur haben in dem ganzen großen Gebiet von den Ardennen bis zum Taunus und der Pfalz ihre Arbeit erst in geringem Maße ausgeführt, daher die Fläche der letzten Abrasion noch in großen Strecken beinahe unverletzt ist. Ähnliche Wiederholungen des gewaltigen Vorganges der Zerstörung durch das Meer lassen sich, mit nicht minder großen, der letzten Abrasion vorangegangenen Absenkungen verbunden, im chinesischen Kwenlun nachweisen, und dürften in vielen anderen Fällen zu beobachten sein.

Der Geologe hat oft bei dem Studium eines Gebirges den Wunsch, dasselbe in seinen innersten Teilen aufgeschlossen zu -sehen. Die Abrasionsgebirge gewähren Gelegenheit dazu. Hier ist die Struktur häufig in Tiefen von mehreren Kilometern unter den ehemaligen Gebirgshöhen zu beobachten. Die Schwierigkeiten des Studiums sind aber dadurch vermehrt. Die klassischen Untersuchungen am Harz, die sorgfältigen Beobachtungen in Skandinavien, in Nord-Schottland, im Erzgebirge und Fichtelgebirge haben gezeigt, wie außerordentlich verwickelt der Bau dieser innersten Kerne ehemaliger Faltungsgebirge ist.

Rumpfbirge bieten sich der Beobachtung des Reisenden in kleinem wie in großem Maßstab häufig dar. Sie besitzen nicht die Mannigfaltigkeit und die Reize landschaftlichen Charakters, welche den Faltungsgebirgen eigen sind. Aber als Forschungsobjekte gewähren sie hohes und sehr vielfaches Interesse. Die Besonderheiten ihrer äußeren Formen: die einfachen Flächen der Gesamtwölbung, die wenig gebrochenen Linien der Umrisse, der Mangel höher Gipfel und tiefer Pässe, das Vorherrschen der Querrinnen unter den Talbildungen, die Verschiedenheit der Gehänge und des Vorlandes an beiden Längsseiten, überhaupt alle Züge der äußeren Plastik, können erst aus dem Erfassen solcher Gebirge als Abrasionsüberreste und der Betrachtung der Umgestaltung eines dem Meer entstiegene flachen Gewölbes verstanden werden. Man lernt an ihrer Oberfläche den inneren Bau der Gebirgstiefen kennen, und sie bieten vorzügliche Gelegenheit, zum Studium von Erosionserscheinungen. Wo immer tiefe und schroffe Erosionsrinnen in einem Gerüst von steilem Schichtenbau ebene Flächen auf den Höhen zwischen sich lassen, wie dies in Skandinavien, im Altai und im Rheinischen Schiefergebirge in gleicher Weise zur Geltung kommt, da hat man es mit einem Rumpfbirge zu tun. Die Untersuchung kann zunächst darauf gerichtet werden, ob dasselbe früher mit transgredierenden Schichtmassen bedeckt gewesen und von ihnen entblößt worden ist. Man wird dies zum Teil an dem Vorhandensein epigenetischer Täler und an der Lage der Wasserscheiden erkennen. Es können aber auch noch Überreste der Schichtmassen vorhanden sein, wovon z. B. die kühn aufstrebende Gipfelmasse des aus horizontal gelagertem Sandstein bestehenden Roraima auf dem Gebirge von Guyana ein schönes Beispiel gibt. Es sollte sodann auf das Vorhandensein einzelner Überreste früherer Transgressionen geachtet werden. Die kleinste Spur, deren Alter durch Versteinerungen nachweisbar ist, kann zur Entdeckung einer wichtigen Phase in der Geschichte des Gebirges führen. Für Verwerfungserscheinungen bieten die Rumpfbirge größtenteils ein unbegrenztes Feld der Beobachtung. Dieselben gewinnen an Interesse, wenn sie mit dem Vorhandensein von

Eruptivgesteinen oder, wie auf dem französischen Zentralplateau und Teilen des Rheinischen Schiefergebirges, mit dem Vorkommen von Vulkanen verbunden sind.

III. Ausbruchsgebirge.

[§280] Es ist in den Abschnitten über die älteren und jüngeren Ausbruchsgesteine von den Formen die Rede gewesen, welche die bis zur Erdoberfläche aufgestiegenen und hier emporgetürmten oder ausgebreiteten Massen annehmen. Die von ihnen gebildeten Berge sind sämtlich parasitisch in Beziehung auf die Tektonik des Erdrindenteiles, auf dem sie auftreten; sie waren einst aufgesetzt, wenn man das Verhältnis zu ihrer Unterlage in Betracht zieht. Dies gilt ebenso bezüglich ihrer gegenwärtigen Stellung in vollem Maße von den tätigen Vulkanen und von den meisten der ihnen vorangegangenen Ausbruchsmassen exogen erstarrter jungeruptiver Gesteine. Zum Teil jedoch wurden diese später von Schichtmassen umhüllt. Letzteres ist in noch höherem Maße bei den meisten Porphyren der älteren Zeit der Fall. Dann verlieren sie den Charakterzug, demjenigen Boden, welcher ringsherum die Oberfläche bildet, aufgesetzt zu sein, und bei vollkommener Schichtenbedeckung hören sie auf ein Gebirge darzustellen. Durch Denudation kann dieses wieder hergestellt werden. Andererseits können solche Eruptivgesteine, welche endogen in größeren Tiefen erstarrten, bloßgelegt werden und, wie es bei den widerstandsfähigen Gabbros und Hypersthen - Gesteinen oft vorkommt, vollkommen isolierte, kuppenförmige Berge bilden, welchen der parasitische Charakter nicht minder beiwohnt, als den Vulkanen.

Ausbruchsgesteine treten in großen Massen in solcher Weise auf, daß sie, wiewohl Fremdlinge, doch integrierende Teile anderer Gebirge sind. Dann wieder findet man sie mit einem hohen Grad von Selbständigkeit besondere Gebirge und isolierte Berge zusammensetzend. Sie können mit Bodenformen jeglicher Art verbunden sein und den verschiedensten Gesteinen aufsitzen. Vulkane, welche den Typus am vollkommensten darstellen, steigen über den Kämmen der Anden auf; sie bilden deren höchste Spitzen und erheben sich an ihrem Fuß. Anderwärts sind sie Tafelländern aufgesetzt oder steigen aus tiefem Meeresgrund an. Man sollte diesen parasitischen Charakter beachten, wenn man ein Gebirge wie die peruanischen Anden beschreibt. Höhe und Form des tektonischen Gebirges sind für sich getrennt zu behandeln. So auszeichnend die aufgesetzten Kegel für die Physiognomik der Landschaft, für die Vegetation, für die Schaffung von Kulturboden, für örtliche Differenzierung klimatischer Verhältnisse und für die Erhöhung der Zahlenwerte der Gipfelhöhen sind, und so unzertrennlich sie sich mit dem Bild von den Anden verbunden haben, kann man deren eigentlichen Bau und Kammverhältnisse doch nur verstehen, wenn man sich jene Schmarotzergebilde abgehoben denkt und als Berge eigener Art, die jenen Kammgebirgen aufsitzen, für sich betrachtet.

IV. Aufschüttungsgebirge.

[§281] Auf wenige Kategorien beschränken sich die Fälle, in welchen sich, abgesehen von den Ausbruchsgesteinen, Gebirge von außen auf einen Teil der Erdoberfläche aufgesetzt finden. Sie sind oben genannt worden. Es sind die Korallenriffe mit ihren Schuttkegeln, welche als gebirgsbildender Faktor bereits (§ 185) besprochen worden sind; ferner die Dünen, welche über fremdartigen Boden hingetragen werden (§ 195); endlich der Gletscherschutt, welcher als ein

parasitisches ursprüngliches Hügelland anderem Boden jeglicher Art aufsitzt (§ 106). Man könnte auch noch die großen Gletschermassen als aufgesetzte Eisgebirge bezeichnen.

V. Flachböden.

[§282] Es empfiehlt sich aus Zweckmässigkeitsrücksichten, welche an gegenwärtiger Stelle leitend sein müssen, die verschiedenen Arten von Flachböden als ein Formelement zusammenzufassen obwohl dies mit Rücksicht auf die äußere Gestalt geschieht. Wollte man den Gesichtspunkt der Entstehungsart auch hier walten lassen, so würden nur die durch Schwemmprozesse entstandenen Flachländer den Gebirgskategorien gegenüber zu setzen sein. Einzelne Typen der Flachböden, wie die Abrasionsplatten und die Übergusstafelländer, sind nur abgeflachte Gebirgsbildungen, und die äolische Schuttbildung steht in engster genetischer Beziehung zu den Dünen; die dadurch geschaffenen Schuttebenen können als flache Staubdünen bezeichnet werden. So sind alle bisher genannten Kategorien von Gebirgen, mit Ausnahme der tektonischen, unter den Typen der Flachböden vertreten.

a. Abrasionsplatten. — Solche Abrasionsplatten, welche nicht die gewölbte Gestalt der Rumpfgebirge haben, sondern eben ausgebreitet sind, findet man selten ohne Bedeckung durch transgredierende Sedimente. Das bemerkenswerteste Beispiel eines Mangels der letzteren bietet die Ebene, in welcher der aus kristallinen und granitischen Gesteinen zusammengesetzte Grundbau Südrußlands abgeschliffen ist. Seine innere Struktur läßt darauf schließen, daß an derselben Stelle einst die Kernmassen eines mächtigen Faltungsgebirges aufstiegen. Die abradierende Welle, die dasselbe wahrscheinlich zu wiederholten Malen, jedesmal in tieferem Niveau, in Angriff nahm, vermochte allein diese Endwirkung hervorzubringen. Nur graduell verschieden hiervon sind die Oberflächen des rheinischen Schiefergebirges und des französischen Zentralplateaus, welche wir ihrer Höhenlage wegen zu den Rumpfgebirgen rechneten. Es besteht eben, wie bereits bemerkt, zwischen diesen und den durch Abrasion gebildeten Flachböden nur ein Unterschied in der äußeren Form.

b. Marines Flachland. — Hierunter verstehen wir das durch Trockenlegung des Meeresbodens gebildete Flachland. Es gehören dazu die meisten der weiten Tieflandstrecken der Erde, wenn man sie in* ihrer Gesamtheit betrachtet; denn es scheint unter ihnen wenige zu geben, welche nicht vormals vom Meer bedeckt gewesen sind und ihm den Grundzug ihrer Gestaltung, die außerordentlich flache Abdachung, verdanken. Im Einzelnen findet sich viel fluviatiler und äolischer Aufschüttungsboden darüber ausgebreitet, während andere Teile zu Erosionshügelland umgestaltet sind. In einem dem ursprünglichen noch jetzt sehr genäherten Zustand befindet sich das Flachland der aralokaspischen Niederung.

c. Schichtungstafelland. — Wenige Ausdrücke in der physischen Geographie werden so ungenau angewendet, wie die als synonym gebrauchten: „Tafelland“, „Plateau“ und „Hochebene“. Das Wort „Plateau“ wurde in der Mitte des vorigen Jahrhunderts von Buache für hochgelegene, nach allen Seiten abfallende Landstriche angewendet; es kann in der deutschen Sprache entbehrt werden. Der Ausdruck „Tafelland“ sollte auf diejenigen Fälle beschränkt werden, wo Tafellagerung, d. h. ebenflächige, nahezu horizontale Lagerung, den Charakter bestimmt. Dies kann nur dann der Fall sein, wenn den Agentien der Skulptur Gelegenheit gegeben ist, die Tafellagerung ersichtlich zu machen. Gebirgsländer, deren Hohlformen, wie in Tibet und auf dem iranischen Hochland, durch Schuttauffüllung in flache Becken verwandelt worden sind, sollten niemals, auch wenn die letzteren noch so flach und weit sind, als „Plateau“ oder „Tafelland“ bezeichnet

werden. Am unziemlichsten ist der für derartige Fälle häufig angewendete, bereits in § 274 erwähnte Ausdruck: Plateau (auch wohl „Tafelland“) mit aufgesetzten Randgebirgen“, da, gerade umgekehrt, die Gebirge das Ursprüngliche, diejenigen Gebilde hingegen, welche Flächenausbreitungen schaffen, ihnen aufgesetzt sind. Sie sind für die Menschen und die allgemeine Physiognomik wichtig, aber im Gebirgsbau spielen sie die Rolle einer unwesentlichen, sporadischen äußeren Bekleidung. — Vorsicht ist in der Anwendung der Bezeichnung „Hochebene“ anzuraten. Der Reisende liest allerdings nicht selten von der Hochebene von Mexico, von Quito, von Tibet und von derjenigen der Mongolei. In allen diesen Fällen steht der Charakter des Landes im Widerspruch mit dem Begriff der Bezeichnung. Hochebenen kommen einerseits in größerer Ausdehnung vor, und dann hat man es stets mit Tafelländern zu tun und wendet zweckmäßiger diesen viel bezeichnenderen Ausdruck an; andererseits finden sie sich in kleinerem Maßstab, wo feste Ausfüllungen an Stelle binnenländischer Seen getreten sind, daher als Böden von Becken. Dies sind, bei hoher Lage, echte Hochebenen, und auf sie ist der Name zu beschränken. — Die Fähigkeit zu weit umfassenderer Anwendung besitzt der Ausdruck „Hochfläche“, überdies als man von einer muldenförmigen, einer beckenförmigen, einer ansteigenden, einer welligen etc. Hochfläche, sowie von verschiedenartigen Anordnungsformen mehrerer Hochflächen reden kann, während sich das Wort „Hochebene“ nicht dafür einsetzen läßt. — Auch „Hochland“ wird mit den oben genannten drei Worten identisch angewandt. Es ist zweckmäßiger, es nur im Gegensatz zu „Tiefeland“ zu gebrauchen, und hochgelegenes Land im Allgemeinen, insbesondere aber solches, in welchem Flächenausbreitungen und Gebirge mit einander wechseln damit zu bezeichnen. So kann man von dem Hochland von Tibet, dem eranischen und pamirischen Hochland, oder von demjenigen von Ecuador sprechen und in ihnen Gebirge und Hochflächen von einander sondern.

Diejenigen Erdräume, auf welche wir, in der angedeuteten Beschränkung, hier die Bezeichnung Tafelland ausschließlich anwenden, welche sich also neben einer ebenmäßig ausgebreiteten Oberfläche durch horizontalen Schichtenbau auszeichnen, können in verschiedenen Meereshöhen liegen, sehr geringe und sehr weite Ausdehnung haben, und sich einseitig, oder an zwei Seiten, oder nach allen Seiten an darüber aufragendes Gebirge anlehnen.

Eigentlich bestehen sie aus denselben Ablagerungen, welche das marine Flachland bilden, oder vielmehr den diesem zu Grunde liegenden Schichtenbau zusammensetzen. Aber von Tafellandcharakter kann man erst sprechen, wenn sie zu Schichtgesteinen verfestigt sind. Ist dies der Fall, so kann die Oberfläche eines Tafellandes unter Umständen nur so weit über dem Meeresniveau liegen, um eben trocken zu sein. Aber bestimmter zeichnet sich der Charakter erst bei etwas höherer Lage. In der Regel findet ein steiler Abfall nach einer Seite statt, zuweilen nach mehreren, und in manchen Fällen (wie bei dem Ustiurt-Tafelland, einem echten „Plateau“ im Sinn von Buache) nach allen Seiten. Die Abfälle können Abrasionsklippen sein und die Grenze bezeichnen, bis zu welcher die Brandungswelle in einem tieferen Niveau vorgedrungen ist. Sie können aber auch durch einfachen Bruch und Versenkung oder durch Staffelbruch verursacht sein und werden dann meist aufgebogene Ränder haben. Wo immer ein steiler Abfall vorhanden ist, verursacht er einen einseitigen Gebirgscharakter. Man glaubt vom Fuß aus ein wallartiges Gebirge vor sich zu haben, und wenn man hinaufsteigt, befindet man sich auf Tafelland. Staffelaabsenkung verbreitert, wo sie vorkommt, die durch Gebirgsnatur ausgezeichnete Randzone.

In allen Fällen sind die Einschnitte und Verzweigungen der Stromfurchen von Interesse. Ist es auch selbstverständlich, daß bei der ersten Trockenlegung die Gewässer der Neigung des Bodens folgten, so gelingt doch dem Wasser ein tieferes Einscheiden erst dann, wenn an der Stelle, wo es ein Tafelland oder eine Stufe desselben verläßt, ein stärkeres Gefall geschaffen wird. Dies

geschieht z. B. durch die Bildung eines Bruchabfalls. Die Flüsse werden dann in ihren ursprünglichen Rinnen zu verharren streben, was auch die späteren, besonders in Verwerfungen sich äußernden tektonischen Vorgänge sein mögen. Zerklüftung durch Torsion wird die einmal bestehenden Hauptrinnen nachträglich wenig beeinflussen, wohl aber die Gestalt der sich rückwärts einschneidenden Rinnen zweiten Grades und weiter zurückliegender Grade bestimmen. Es ist in § 75 dargestellt worden, wie das Profil der Rinnen von dem Gesteinscharakter, dem Klima und der Lage und Beschaffenheit der Quellgebiete der Ströme abhängt. Das Modell für scharf geschnittene Rinnen ist das Tafelland am Colorado, welches auch ein unvergleichliches Studienobjekt für den Schichtenbau von Tafelländern und die dieselben durchsetzenden Absenkungsbrüche dargeboten hat. Im Gegensatz dazu ist das rings von Gebirgen umschlossene, ein Areal von mehr als 200,000 Quadratkilometern umfassende Tafelland der Provinz Sz'-tshwan in China, welches aus tonigsandigen Schichtgesteinen besteht, und in welches der Yang-tsze-kiang und seine zahlreichen, von allen Seiten zueilenden schiffbaren Zuflüsse bis über 2000 Fuß tief eingeschnitten sind, dadurch charakterisiert, daß wegen des feuchten Klimas die Gehänge bis zu der über alle Furchen ebenmäßig hinwegziehenden Hochfläche des Tafellandes allmählich abgebösch sind.

Die Sedimentgesteine der Schichtungstafelländer ruhen in den meisten Fällen auf Abrasionsflächen. Geht die Erosion auf diese nieder, und ist das Gefälle auch dann noch stark genug daß die Gewässer sich tief eingraben können, so behalten die Furchen ihre Richtung; es entstehen epigenetische Furchentäler; die transgredierenden Schichtmassen des Tafellandes können bis auf geringe Reste oder vollständig entfernt werden; eine fremdartige Skulptur prägt sich in der Erosion des unter der Abrasionsfläche gelegenen Grundgebirges aus; an Stelle des Tafellandes wird ein Erosionsgebirge gebildet.

Afrika ist der Kontinent der Tafelländer. Dort sind die Beobachtungen ganz besonders auf die mit deren Natur verbundenen Erscheinungen zu richten; mannigfaltige Belehrung über dieselben ist von dort gekommen und weiterhin zu erwarten.

d) Übergußtafelland. — Wo Basaltfluten sich deckenartig ausbreiten (s. S. 570), da entsteht eine ebene Oberfläche; lagern verschiedene Ströme über einander, so kann ein ganz daraus zusammengesetztes Tafelland gebildet werden. Häufiger findet sich eine einzige Decke des Gesteins, nicht selten über Schichtungstafelland ausgebreitet. Sie schützt die Unterlage vor Zerstörung (§ 76), weicht aber schließlich in einzelnen Teilen; es entstehen zerlappte Formen, welche durch die scharf begrenzten Umrisse der in schwarzen senkrechten Wänden abgebrochenen Basalttafel gezeichnet werden, und bei weiterer Auflösung sondern sich einzelne Tafelberge ab: es bildet sich ein Typus von Erosionsgebirgen.

e) Stromflachland. — Die in einem früheren Abschnitt (§ 83 ff.) betrachteten Ablagerungen der fließenden Gewässer entstehen allenthalben wo diese lose Massen mit sich führen und das Gefälle so gering ist, daß es dieselben nicht weiter zu tragen vermag. Sie haben dadurch die weiteste Verbreitung, nehmen aber überall nur schmale Zonen ein; die größte Entfaltung erreichen sie als Decke marinen Flachlandes.

f) Flachböden der atmosphärischen Aufschüttung. — Obgleich unter allen Formen der Flächenausbreitung am allgemeinsten vorkommend, werden doch diese nur in einzelnen Gegenden so typisch, um den Grundzug im physischen Charakter zu geben. In trockenem Gebirgsland werden Muldenflächen gebildet, indem der Gehängeschutt die steiler einfallenden Flanken, der äolische Staub die flachen mittleren Teile zusammensetzt, und Übergangsstufen von der Randzone gegen das zentrale Areal hin stattfinden. Über ebenem Land hingegen tritt nur die äolische

Aufschüttung formgebend auf. Ihr Charakterzug ist Horizontalausbreitung und Nivellierung der kleineren, in den Zentralgebieten der Kontinente auch der größeren Unebenheiten des Bodens.

VI. Erosionsgebirge.

[§283] Werden Flachböden jedwelcher Art durch die äußeren Agentien § 283. so weit ausgefurcht, daß ein gewisses Gleichgewicht zwischen Hohlformen und stehen gebliebenen Teilen eintritt und der Charakter ebenmäßiger Flächenausbreitung für das ungeübte, oder nicht kombinatorisch erfassende Auge verschwindet, so wird Hügelland und, wenn die Erosion bis zu großer Tiefe geschah, Bergland gebildet, bei welchem, im Gegensatz zu den meisten vorher genannten Kategorien von Gebirgen, die inneren Erdkräfte nicht das Veranlassende sind. Die Formen hängen von einer Reihe verschiedener Umstände ab, wie Art und Härtegrad der Gesteine, Lageform derselben, Intensität der Einwirkung der zerstörenden Agentien.

Einzelne Fälle sind im Vorhergehenden angedeutet worden. Die Abrasionsfläche kann in manchen Fällen weit vorgeschrittener Ausfurchung, wie in denen von Wales und Liautung, noch rekonstruiert werden. Bei weiterem Fortschritt dürfte dies kaum mehr möglich sein. Die Umgestaltung des Tafellandes ist im Quadersandstein der sächsisch-böhmischen Schweiz und der Gegend von Adersbach, sowie am Colorado ersichtlich, wo die der Erosion am meisten ausgesetzten Teile in Hügelland und Bergland verwandelt sind, die weniger exponierten den Tafellandcharakter bewahrt haben. In Sz'-tschwan wird der Topograph Hügelland erblicken, der Geologe erkennt sofort das Tafelland. Eine noch weiter gehende erosive Umgestaltung ganz analoger Art hat das Tertiärland erfahren, welches das siebenbürgische Becken ausfüllt und ehemals eine ebene Oberfläche besaß. In höherem Grad ist der Charakter in der Regel bei dem Überguftafelland bewahrt, weil die auflagernde feste Gesteinsdecke die Tafelgestalt in jedem Teil so lange behält, bis sie ganz zerstört ist. Aus rezenten, nicht gestörten Aufschüttungen des Meeresbodens entsteht meist sanftes Hügelland. Dies ist bei jüngeren Tertiärablagerungen vielfach ersichtlich. Selbst die atmosphärischen x Aufschüttungen werden dort, wo sie sehr mächtig lagern, durch Erosion in Bergland verwandelt. Wo im nördlichen China oder in der Gegend von Lhasa ehemalige Salzsteppen in Lößland umgestaltet sind (§ 215), kann man von wahren Lößgebirgen sprechen.

[§284]. Wenn man die ganze Reihe von Formen der Gebirge und Flächenausbreitungen überblickt, so erkennt man, daß sie in einander verwandelt werden können. Gebirge werden durch Abrasion in zweierlei Flächenausbreitungen zerlegt, welche zum Teil neben einander, zum Teil übereinander angeordnet sind, nämlich die Abrasionsplatte und das submarin gebildete, transgredierende Aufschüttungsflachland. Dieses kann trocken gelegt und den Kontinentalmassen hinzugefügt werden. In ähnlicher Weise wird das durch die festländische Denudation den Gebirgen entnommene Zerstörungsmaterial in Flächen abgelagert. Jede Flächenausbreitung, welcher Art sie auch sei, kann wieder in ein Gebirge verwandelt werden, entweder durch Bewegungen in der Erdrinde oder durch Erosion. Es ist ein Kreislauf von Vorgängen, in welchem der gegenwärtige Zustand des Planeten und jedes einzelnen Teiles der Oberfläche der Kontinente eine Phase darstellt. Dieser Wandelungen muß man sich bewußt sein, um die Formen in ihrer Bedeutung zu verstehen. Man kann, um sich den Kreislauf zu vergegenwärtigen, mit jeder beliebigen Phase beginnen. Setzt man als erste die marine Ablagerung, so haben wir:

1. Aufschüttung von Zerstörungsprodukten auf dem Meeres-grund; Ablagerung horizontaler Schichten; Bildung eines Flachbodens;
2. Schwankungen des Meeresspiegels und Bewegungen große* Teile der Erdrinde; dadurch Trockenlegung des marinen Flachbodens;
3. Bruch und Absenkung, oder:
4. Faltung, Bruch und Überschiebung, faltige Überwallung; alles dies entlang gewissen Zonen; Entstehung tektonischer Gebirge;
5. als begleitendes Moment der tektonischen Vorgänge: Bildung aufgesetzter parasitischer Gebirge durch Eruptionen;
6. Einwirkung äußerer Agentien auf die erhabenen Teile; und zwar einerseits Abrasion, oder Zerstörung der Gebirge von ihren innersten Teilen aus; andererseits Denudation, oder Zerstörung von außen; Bildung von Rumpfgebirgen, von Abrasionsplatten, die in Scholleilgebirge zerlegt werden können, und von Erosionsgebirgen;
7. Aufschüttung der Zerstörungprodukte in den Vertiefungen und auf den Flachböden des Festlandes sowie auf dem Boden der Wasserbecken.

Damit kommen wir an die als Ausgang gewählte Phase zurück. Das Endziel der zerstörenden Vorgänge, die Nivellierung, wird niemals erreicht.

C. Elemente des äußeren Gebirgsbaues.

[§285] Wenn der Reisende an ein Gebirge gelangt, so bieten sich ihm aus der Ferne die äußeren Gestalten desselben dar; und wenn er es durchschreitet, hat er Gelegenheit, einzelne an seinem Wege gelegene Teile genauer zu sehen. Der Gesamtanblick gewährt ein unvollkommenes Bild; erst die Kenntnis der Teile füllt es aus und berichtigt es; wer aber nur die letzteren zu sehen bekäme, würde sich ein Bild des Ganzen nicht machen können. Gerade so verhält es sich mit dem Verständnis für die Ursachen der äußeren Gestalt, welches der Forschungsreisende erstrebt. Er muß suchen, einen allgemeinen Begriff von der Gesamtstruktur des Gebirges und den Agentien, welche bei seiner äußeren Ausgestaltung besonders wirksam gewesen sind, zu gewinnen; dann wird es ihm leichter werden, den Einzelbau der Glieder zu verstehen. Andererseits wirkt deren sorgfältiges Studium auf die Berichtigung und Vervollständigung der Gesamtaufassung zurück. Man sollte sich bemühen, dies stets im Auge zu behalten und das Einzelne nicht als etwas für sich Bestehendes, sondern in bestimmter Weise einem größeren Ganzen Eingeeordnetes zu betrachten. Zu diesem Zweck muß man lernen, unablässig vergleichend und kombinatorisch vorzugehen, um die Bedeutung des kleinsten morphographischen Elementes richtig zu erfassen und ihm seine Stellung in dem Wirkungsbereich genetischer und dynamischer Vorgänge, sowie in dem Gesamtgerüst, von dem es einen Teil bildet, anzuweisen. Nur auf diesem analytischen Weg vermag der Reisende dahin zu gelangen, die großen Gebirge, welche er durchwandert, als Elemente im Bau ausgedehnterer Erdräume scharf und in ihrem inneren Wesen zu erfassen.

Nachdem die Täler der Gebirge bereits an einer anderen Stelle erörtert worden sind, möge es genügen, noch einzelne wichtigere Elemente hervorzuheben und auf einige Gesichtspunkte, von denen sie betrachtet werden können, aufmerksam zu machen.

. Bei Übersteigung eines Gebirges stellen sich der Beobachtung der Reihe nach dar : der Fuß, die Abfälle oder Abdachungen mit ihren Verzweigungen und eingesenkten Tälern, die Höhenregion mit dem Kamm, dann die Abdachungen der entgegengesetzten Seite bis zu ihrem Fuß. Ebenso ist die Reihenfolge bei dem Übergang über ein einzelnes Glied des Gebirges.

1. Der Gebirgsfuß.

[§286] Theoretisch ist der Gebirgsfuß die Grenzlinie der Gebirgsabfälle gegen die benachbarte Flächenausbreitung, oder des Gebietes der Abtragung durch Gewässer und Eis gegen dasjenige der Ablagerung der Zerstörungsprodukte. Zuweilen ist sie in der Tat scharf gezeichnet; aber häufiger ist in Beziehung auf äußere Formen und inneren Bau eine Zone des Überganges vorhanden, indem entweder, besonders in trockenen Gebieten, lange Schutthalden sich von den Gehängen herabziehen und jene Linie verhüllen, oder fließende Gewässer die an das Gebirge sich anlehenden Ablagerungen aus früherer Zeit tief durchfurcht und in ein Hügelland aufgelöst haben. Die geologische Karte zeigt alsdann meist weit schärfer als eine orographische die Grenze von Gebirge und Hügelland, sowie diejenige zwischen Hügelland und weiter hinausgeschobenem Flachland an. Der ungeübte Blick nimmt nur allmähliche Übergänge in den Formen wahr. Aber selbst geologische Farben vermögen in manchen Fällen eine Grenze nicht anzugeben, z. B. dort, wo Faltenwölbung, wie im Fall des Jura, durch allmähliche Abschwächung in tafelförmige Schichtenausbreitung übergeht. Häufig kann man überhaupt von einem Gebirgsfuß nicht sprechen; z. B. dann, wenn, wie an der Südseite des Riesengebirges, die Abfälle in bergiges Land von größerer Ausdehnung übergehen. Nur genaue Erforschung der inneren Struktur vermag alsdann das Gebirge aus seiner bergig aufgelösten Hülle herauszuschälen. Für das Verständnis des Charakters verschiedenartiger Länder sind diese Verhältnisse von höchster Wichtigkeit. Die Verbindung von orographischer und geologischer Kartendarstellung mit sorgfältiger Beschreibung ist allein im Stande, sie zu richtiger Anschauung zu bringen und das Zusammengehörige von dem Fremdartigen zu trennen. Von Interesse ist der Kontrast, welcher sich meistens, z. B. in eminenter Weise bei den Pyrenäen und dem Himalaya, zwischen den Verhältnissen der Plastik und Struktur an den Gebirgsgrenzen der entgegengesetzten Flanken darbietet. Je mehr man diese Beziehungen betrachtet, desto mehr ist man geneigt, den Ausdruck „Gebirgsfuß“ als selten anwendbar zu verlassen und an seine Stelle „Gebirgsgrenze“ zu setzen. Dieser Begriff führt dazu, ein Gebirge als eine zusammengehörige Masse von besonderer Struktur aufzufassen, welche in der Regel in umhüllende Gebilde hinabtaucht, die entweder selbst gebirgigen Charakter haben, oder Flachland sein können. Vergleichendes Studium dürfte dazu helfen, für diese Verhältnisse bestimmtere Bezeichnungen zu finden, als sie durch die etwas unbeholfenen Beschreibungen, auf die man jetzt angewiesen ist, gegeben werden.

2. Die Kämme der Gebirge.

[§287] Während der „Gebirgsfuß“ ein relativer, im Einzelfall oft schwer zu bezeichnender und nicht selten theoretisch bleibender Begriff ist, knüpft sich eine konkretere Vorstellung an den Ausdruck „Gebirgskamm“. Es würde aber doch in der Mehrzahl der Fälle schwer sein, eine genaue Definition des Wortes zu geben und den Kamm gegen die Flanken scharf abzugrenzen.

Die Vorstellung bleibt eine allgemeine und unsichere. Sie knüpft an eine Linie an, welche die höchsten Punkte der einzelnen Querschnitte eines Gebirgszuges oder Bergrückens mit einander verbindet, und welche als die Kammlinie oder Firstlinie bezeichnet wird. Läuft dieselbe über eine gleichmäßige oder ausgezackte Schneide, so beginnen die beiderseitigen Flanken an dieser; der Kamm fällt alsdann eigentlich mit der Kammlinie zusammen, wenn auch der praktische Sprachgebrauch den Begriff körperlich faßt und auf den höchsten Grat der Gebirgsmasse ausdehnt. Schließt sich der Linie beiderseits eine ebene oder flach konvexe Fläche an, so ist dies die Kammfläche oder Scheitelfläche; an sie setzen die Flanken oft scharf und unvermittelt an. Die Scheidung ist dann eine bestimmtere, und doch wird in der Regel die Bezeichnung „Kamm“ auf solche Flächen nicht mehr angewendet.

Jeder Gebirgszug oder Bergrücken hat eine äußerliche Quergliederung, welche wesentlich durch Erosion geschaffen ist und darin besteht, daß zwischen den in die Flanken geschnittenen Hohlformen rippenförmig angeordnete Rücken stehen geblieben sind. Diejenigen unter ihnen, deren Höhenlinie kontinuierlich abfällt, pflegt man nur als Gliederungen der Flanken, diejenigen, deren Höhenlinie ebenmäßig verläuft oder nach dem ersten Abfall einmal oder in mehrfacher Wiederholung ansteigt, ehe sie ihr Ende erreicht, als Gliederungen des Hauptrückens anzusehen. Sie können als Jochrücken und Jochzüge bezeichnet werden. Die Firstlinie, in der die Jochflanken sich vereinigen, ist der Jochkamm. Auch an dessen Stelle tritt oft eine Scheitelfläche. Der Jochrücken kann seinerseits ebenfalls (in dem angegebenen Sinn) entweder gegliederte Flankenabfälle haben, oder selbst gegliedert sein und nach beiden Seiten Höhenrücken dritten Ranges, mit selbständigen Kämmen aussenden. Die meisten Kämmen beschränken sich auf eine mehr oder minder reiche Quergliederung. Doch kommt es vor, daß ein Kammzug sich gabelt; wo er ausstreicht, ziehen nicht, selten mehrere Jochrücken in radialer Stellung hinab. Bei Einzelbergen, insbesondere Vulkanen, findet diese Radialstellung ringsum statt; doch werden bei ihnen die aufragenden Rippen wegen ihres kontinuierlichen Abfalls in der Regel nur als Flankengliederungen betrachtet und ihren Firsten ein Anspruch auf den Namen „Kamm“ nicht gewährt.

Die Kämmen, ihr Verlauf, ihre Gestalten und Verzweigungen gehören zu den wesentlichen und charaktergebenden Elementen im äußeren Bau der Gebirge. Der Reisende sollte bestrebt sein, sie in ihren Formen scharf zu erfassen, genaue Profillinien zu zeichnen, den Gesteinsbau dabei anzugeben und die Bildungsvorgänge zu ergründen, welche in jedem einzelnen Fall die besondere Gestalt veranlaßten. Er wird dadurch, wenn er zugleich die Höhenverhältnisse in größerer Erstreckung annähernd feststellt, wichtigeres Material sammeln, als wenn er sich mit der selbstverständlichen Aufgabe begnügt, sporadische Höhen von Gipfeln und Pässen so genau als seine Mittel es erlauben zu bestimmen. Wenn man jedoch für die einzelnen Formen bezeichnende Ausdrücke zu finden sucht, wird man leicht gewahr, wie sehr es noch an einer brauchbaren Nomenklatur und Systematik der orographischen Elemente fehlt.

Auch bei diesem Gegenstand ist es nützlich, die Fragestellung nach einer Reihe von Gesichtspunkten zu tun.

a. Ist der Bau des Gebirges bekannt, so läßt sich der Gesichtspunkt der ursprünglichen Entstehungsart obenan stellen. Es ist offenbar, daß einzelne Kämmen ihr Dasein tektonischen Vorgängen in erster Linie verdanken. Man kann sie, wenn hierüber ein Zweifel nicht obwaltet, als tektonische Kämmen bezeichnen. Je nachdem Faltung oder Verwerfung zu Grunde liegt, sind der Faltungskamm und der Bruchkamm oder Schollenkamm (im Sinne von § 275) zu unterscheiden. Der Jura, die äußeren Zonen der Karpaten und der Apenninen und viele andere Gebirge bieten Beispiele für die erste, die früher genannten Schollengebirge solche für die zweite Kategorie. Die Faltungskämme sind gewöhnlich in Mehrzahl vorhanden und einander parallel. Auch die Schollenkämme können in Folge von Staffelbruch in paralleler Wiederholung auftreten. Sie besitzen, ebenso wie jene, von Hause aus einfache Formen, haben aber durch Erosion nachträglich oft erhebliche Umgestaltung erlitten. Zu einer besonderen (dritten) Kategorie, nämlich derjenigen der Erosionskämme, gibt jedoch das letztgenannte Agens nur dann Anlaß, wenn es der Kamm-bildung primär zu Grunde liegt. Dies ist am vollkommensten dort der Fall, wo die Erosion einen vormaligen Flachboden durch Ausfurchung in bergiges Land verwandelt hat. Daher spielt diese Kategorie in allen Abrasionsgebirgen, auch wenn deren Außenfläche gewölbt ist, eine bedeutende Rolle. Eben so rein tritt sie in stark durchschnittenen Tafelländern auf. Außerdem sind die Flanken tektonischer Kämmen durch das Einreißen von Furchen in querstehende Erosionskämme zerlegt. In diesem sehr häufigen Fall sind die letzteren akzessorische Gebilde und ordnen sich als Glieder einem anderen Haupttypus unter. Bei weiterem Fortschreiten der Erosion kann der ursprüngliche Charakter des tektonischen Kammes vollständig verloren gehen, so daß die Deformierungsvorgänge nur durch Schlußfolgerung als das der Gestaltung primär zu Grunde liegende Moment zu erkennen sind. — Endlich ist als eine vierte Kategorie der Aufschüttungskamm zu nennen, welcher allen parasitischen Gebirgen und Gebirggliedern eigen ist.

Auch die über die Kämmen sich erhebenden Gipfel und die in sie eingeschnittenen Pässe, als die beiden wichtigsten besonderen Elemente in jenen, können auf ihre Entstehungsart geprüft werden. Man wird finden, daß alle eingesenkten Kammpässe und die meisten Gipfel der Erosion ihre Entstehung verdanken, und zwar die letzteren zum Teil in Folge ihrer Lage zu den Erosions-furchen, wie dies in Fig. 28 auf S. 145 dargestellt wurde, zum Teil in Folge der Widerstandsfähigkeit, welche die Gesteine, aus denen sie bestehen, vermöge ihrer Härte oder ihrer Lagerung bieten. Selten werden sich höhere Gipfel *als unmittelbare Erzeugnisse tektonischer Vorgänge erweisen. Dagegen sind als eine wichtige Kategorie die Aufschüttungsgipfel zu trennen. Zu diesen gehören vor Allem die Vulkane. Sie haben allerdings, wie immer, eine parasitische Stellung und können jedem Teil des Gebirges aufsitzen; aber die Fälle sind nicht selten, in denen sie unmittelbar über einem Gebirgskamm aufragen und die Firstlinie über sie hinwegzieht.

b. Ein anderer Gesichtspunkt bietet sich in dem Verhältnis der Streichrichtung zur Lagerung der Gesteine. In allen Gebirgen mit geneigtem Schichtenbau kann man longitudinale, transversale und diagonale Kämmen unterscheiden, und zwar unabhängig von der Frage nach der Art der Entstehung. Longitudinal, d. h. dem Schichtenstreichen ganz oder nahezu parallel, sind in der Regel die Hauptkämme. In Folge dessen haben die von diesen sich seitlich herabziehenden, oder überhaupt winkelig zu ihnen gestellten Jochkämme eben so häufig eine transversale oder diagonale Richtung. Die geneigten Schichten ziehen quer über sie hinweg, weil die Entwässerungsfurchen, welche deren Ausmeißelung veranlassen, derselben transversalen Richtung folgen. Der Härte-wechsel der Gesteine kommt an den Jochflanken und auf der Jochfirst viel mehr zur Geltung als bei dem Hauptkamm; daher haben die Jochkämme meist weit unebenere und wechselvollere Höhenprofile. Transversale Kämmen werden manchmal zu wesentlichen Gliedern der Gebirge und können eine bedeutende Längserstreckung erreichen. Ihre Querglieder sind meist dem

Hauptkamm mehr oder weniger parallel. Dies sind also wieder Längskämme, und mancher unter ihnen kann größere Erstreckung in der Richtung des Schichtenstreichens haben.

c. Es ist ferner die Art der Gesteine zu untersuchen, welche an einem Kamm in seinem Verlauf auftreten. Jedes derselben neigt zu gewissen Formen, und dies ist selbst bei den Abänderungen eines einzelnen Gesteins zu verfolgen. So ist jeder Teil der nördlichen und südlichen Alpen durch eine Reihe verschiedenartiger und verschiedene Altersstufen darstellender Kalksteine charakterisiert. Wer den Blick dafür schärft, vermag schon aus der Ferne an den Formen der Umrisse und Gehänge die einzelnen Abänderungen, zum Teil mit vollkommener Sicherheit, zu erkennen. Diese Unterschiede können hier nicht im Einzelnen erläutert werden. Es möge genügen, diejenigen zwischen Kerngebirgskämmen und Deckgebirgskämmen im Allgemeinen hervorzuheben. In einem und demselben Gebirge haben die kammbildenden Agentien in so weit gleichartig gewirkt, daß beiderlei Gebilde sich scharf von einander abheben; aber sobald man verschiedene Gebirge mit einander vergleicht, weichen die den gleichen Gesteinsgruppen angehörigen Formen sehr weit von einander ab. Wenn im Vorhergehenden die Kategorien der homöomorphen und heteromorphen Faltungsgebirge und der Rumpfgebirge mit Rücksicht auf die primär gestaltenden Faktoren gesondert wurden, so kommen die äußeren Unterschiede derselben nicht allein in der Art und Anordnung der Hohlformen, sondern auch in der Entwicklung der Kämmen des Grund- oder Kammgebirges und des als Decke auflagernden Flözgebirges zur Geltung. Obgleich die Rumpfgebirge wesentlich aus den festen Kernmassen bestehen, finden sich doch in ihren Hauptkämmen nur äußerst selten die kühnen, zackigen Formen, welche den Kerngebirgskämmen der Alpen eigentümlich sind.

d. An der Hand der genannten Unterscheidungen lassen sich die Gestalten der Kämmen größtenteils verstehen. Sie bieten eine außerordentliche Mannigfaltigkeit dar. Manche Gebirge sind auf der Höhe flächenartig ausgebreitet, ohne hervorragende Gipfel oder tiefe Einschartungen zu besitzen. Sie gleichen einer schwach konvexen Platte, in welche die Furchentäler mit weitaus vorherrschender Querrichtung steilwandig eingerissen sind, und zwar begegnen sich deren obere Enden von den entgegengesetzten Seiten her nur an einzelnen Stellen. Die anstatt des Hauptkammes vorhandene ebene oder mäßig gewölbte Fläche ersetzt auch in ihren Verzweigungen zwischen den Quertälern die quergerichteten Jochkämme. Dies ist typisch für die Rumpfgebirge, wenn die Erosion überhaupt erst einen mäßigen Grad erreicht hat, oder doch die Abtragung der Gehänge mit der Vertiefung der Furchen nicht gleichen Schritt gehalten hat, wie in Skandinavien, im Altai und im Rheinischen Schiefergebirge. Der Begriff „Kamm“ ist hier in seiner gewöhnlichen morphographischen Fassung eigentlich nicht anzuwenden, und doch haben die Reste der Abrasionsfläche die oro-plastische Stellung der Kämmen. Man kann diese Form als Plattenkamm oder Abrasionskamm bezeichnen. Von ähnlicher Gestalt sind die Tafelkämme in unvollkommen erodiertem Tafelland. Weit ausgebreitete Kammtafeln ersetzen hier oft die Stelle der Gebirgskämme.

Den Gegensatz dazu bildet der Zackenkamm, wie er den mit Gletschern bedeckten Kernzügen der Alpengebirge eigentümlich ist. Die Anschwellungen erheben sich zu schroff und kühn gestalteten Gipfeln; die Einsenkungen der Firstlinie zwischen ihnen erinnern in ihrer Gestalt an nach unten gekehrte gleichgeformte Gipfelinien. Im Querprofil waltet der scharfe Grat vor. Die Mannigfaltigkeit wächst in den Firstlinien der Jochkämme, wo Härtewechsel und Lagerung der Gesteine die durch ungleiches Maße vollzogener Erosion veranlaßte Unruhe der Formen oft in außerordentlicher Weise steigern. Dazu kommt die Komplikation vermittelt der häufigen Unterbrechung durch Jochformen dritten Grades, welche der Parallelstellung der Zonen harten

Gesteins ihr Dasein verdanken und als einfache oder verzweigte Käme über die Jochrücken quer hinwegziehen.

Zwischen den beiden genannten extremen Formen gibt es eine Menge von Übergangsstufen. Man beobachtet sie am vollkommensten in der allmählichen Umgestaltung der Rumpfgebirge. Es können hier verschiedene Verhältnisse obwalten. In der ursprünglich zu Grunde liegenden, durch Abrasion hervorgebrachten Oberflächenform sind die Höhenunterschiede nicht bedeutend; aber eine Zone größter Anschwellung ist doch vorhanden, und zwar ist sie in der Regel dem allgemeinen Schichtenstreichen parallel. Sind nach beiden Querrichtungen die Abdachungen langgedehnt, so schneiden die Gewässer von beiden Seiten her ihre Abflüßrinnen von unten nach oben ein, und zwar um so tiefer, je grösser das Produkt von Gefall und Wassermasse ist. Die in gleichen relativen Höhen befindlichen Punkte der Sohlen der Talfurchen liegen dann in denjenigen, welche an demselben Abhang befindlich und benachbart sind, viel näher bei einander, als in denen, die an den entgegengesetzten Flanken von einander hinweg gerichtet sind. In Folge dessen erleiden die durch Erosion geschaffenen Querrücken eine schnellere Umgestaltung als der Hauptrücken. Während dieser in seiner Kammlinie wellige Formen annimmt und große, breit gerundete Gipfelmassen zeigt, entwickelt sich auf den langgezogenen Querjochen die Gestalt stellenweise gezackter Käme. Dies ist das Verhältnis des oft genannten gewaltigen Tsinling-Gebirges an den Grenzen des nördlichen und des südlichen China, wo die unruhigen Formen der überaus wilden Querrücken mit ihren Einschaltungen und ihren Unterbrechungen durch einzelne herauspräparierte und wohl entwickelte, die harten Gesteine bezeichnende fragmentarische Längsrücken die Macht der Erosion erkennen lassen, während im Gegensatz dazu der Hauptkamm im Ganzen noch einfach gerundete Formen zeigt; da aber die Nordseite kürzer ist, haben die Gewässer derselben, trotz geringerer Niederschläge, den Hauptkamm an einzelnen Stellen tief eingeschartet und die Wasserscheide an ihnen nach Süden verschoben. Zugleich ist der Zackenkamm in der Quergliederung der Nordseite viel vollkommener entwickelt als in derjenigen der Südseite. — In einem noch weit vollkommeneren Grade hat die Erosion das aus Gneis bestehende, flachgewölbte Rumpfgebirge von Liautung durchfurcht.

Hier ragt Alles in wilden Zackengebirgen auf. Obgleich die Höhen wenig über 1000 m hinausgehen, sind doch die Formen alpiner Kernzüge entwickelt. Dasselbe ist der Fall im östlichen Schantung. Wo aber im westlichen Teil dieser Provinz der Typus von Keilschollen mit transgredierend aufgelagerten Tafeln von Schichtgestein sehr vollkommen ausgebildet ist (s. S. 557), ist die aus archaischen Gesteinen bestehende Schollenfirst der Hauptkamm; von ihm senken sich langgedehnte, quengerichtete Jochrücken von Tafelland allmählich hinab. Das steile Gefälle der Bruchseite hat es den Gewässern ermöglicht, den Hauptkamm zackig zu gestalten, während die Querrücken noch breite Kammflächen tragen.

Noch einige andere Formen mögen Erwähnung finden. Es kommt in dem Kammprofil eines Gebirges zuweilen ein Absinken in Gestalt großer Staffeln vor, welches in quer gegen das Streichen des Kammes gerichteten Verwerfungen seine Veranlassung haben kann. Im Unterschied von diesen Staffelkämmen läßt sich der Name Treppenkamm für eine weit davon abweichende Form breiter Tafelkäme anwenden, bei denen die Schichten nicht horizontal lagern, sondern in der Richtung des Kammstreichens flach geneigt sind. Arbeitet die Erosion die weicheren Schichten heraus, so bieten die Abbrüche der härteren das Profil einer liegenden Treppe. Bei steiler Schichtenneigung bildet sich auf Querjochrücken die Gestalt eines Sägenkammes oder Sägengrates heraus. Die Firstlinie zeigt Formen, welche den Zähnen einer Säge vergleichbar sind, indem sie aus einer in weichen Schichten gelegenen tiefen Einschaltung steil, oft beinahe senkrecht, bis

zu einer Spitze ansteigt, von der sie schief nach einer anderen ähnlichen Ein-sattelung herabzieht, und dies sich mehrfach wiederholt.

e. Ein anderer Gesichtspunkt, nach welchem die Kämme sich unterscheiden, betrifft die Art ihres Fortstreichens. Es gibt gestreckte und mäandrische Kämme. Der eine wie der andere kann fortlaufend (kontinuierlich) oder unterbrochen sein. Unterbrochen ist ein Kamm, wenn er von einem oder mehreren Tälern quer durchschnitten und dadurch in Kammfragmente abgeteilt wird. Früher hat man solche getrennte Glieder nicht als zusammengehörig betrachtet; erst das geologische Studium, verbunden mit genauen Aufnahmen, hat zu der Erkenntnis geführt, daß die Durchgangstäler nur zufällige Einschnitte sind und, trotz der hohen Bedeutung der sich öffnenden Verkehrspforten, den orologischen Charakter des kontinuierlich gewesenen Kammes nicht wesentlich beeinträchtigen. Die mäandrisch verlaufende Kammlinie kann ihre Gestalt dem Vorhandensein wenig zurückgreifender, durch Erosion geschaffener Taleinschnitte verdanken. Sie erscheint dann morphographisch als eine zwar gewundene, aber einfache und zusammenhängende Firstlinie und löst sich erst bei morphologischer Betrachtung in zwei Hauptelemente, nämlich in eine unterbrochene gestreckte Kammlinie und bogenförmig verlaufende Ansätze an den Unterbrechungsstellen, auf.

3. Die Wasserscheide.

[§288] Die letzte Erörterung leitet unmittelbar über zu einem der wichtigsten Elemente im äußeren Gebirgsbau, nämlich den Wasserscheidelinien. Jeder Bergrücken und jede Erhebung überhaupt ist in der zugehörigen Kammlinie scheidend für das durch den Regen darauf niederfallende Wasser. Die Stellung der Scheiden innerhalb der einzelnen Abflußsysteme ist aber sehr verschieden. So viele Rangabstufungen zwischen den Verzweigungen der letzteren bestehen, so viele gibt es zwischen den Wasserscheiden, und in jedem Gebirgstheil, ebenso wie in jedem Gesamtgebirge, besteht eine, welche von hydrographischem Gesichtspunkt den ersten Rang beansprucht.

a. Je nach der Lage im Verhältnis zu einzelnen Gebirgsgliedern kann man als Haupttypen die Kammwasserscheide und die Talwasserscheide bezeichnen. Die Kammscheide ist der normale Fall. Sie ist scharf gezeichnet, wenn dies von der Firstlinie selbst gilt. Aber gerade dann haben die Gewässer, welche von beiden Seiten gegen einander arbeiten, bereits einen Einfluß auf! die Verlegung der Firstlinie und mancherlei mäandrische Abweichungen derselben von der ursprünglichen Kammlinie ausgeübt. Sind hingegen an Stelle der Firstlinie breite Scheitelflächen vorhanden, so kann die Lage der Kamm scheidende ganz unbestimmt werden. Wo Rumpfgebirge noch solche Flächen tragen, wie es bei denjenigen Skandinaviens der Fall ist, entspringen manche Flüsse aus Moorflächen, in denen eine Scheidelinie nicht erkennbar ist. Die flachen Bodenschwellen zwischen Kongo und oberem Sambesi, oder diejenigen zwischen den einzelnen Stromgebieten des östlichen Südamerika, haben ebenfalls nur Wasserscheidelflächen, aber, wie es scheint, größtenteils in normaler Lage entlang der kulminierenden Zone der Kammfläche. Es finden sich in den genannten Gegenden eigentümliche Verhältnisse, welche eines eingehenden Studiums wert sind.

Die Talwasserscheiden sind von verschiedener Art. Der Name wird hier spezieller für diejenigen angewendet, welche tektonische Längstäler und Absenkungstäler quer durchziehen. In beiderlei Tälern findet man nicht selten die bereits angedeutete Erscheinung, daß eine und dieselbe

Hohlform in ihren einzelnen Strecken von verschiedenen Abflußsystemen benutzt wird. Diejenigen Rinnsale der letzteren, welche zwei benachbarten Abteilungen angehören und innerhalb der Hohlform liegen, begegnen sich an einer quer gegen deren Streichen gerichteten, oft sehr niedrigen und für das Auge kaum bemerkbaren Wasserscheide. Es entstehen dadurch die § 273 genannten gegliederten Talzüge. In vielen Fällen sind nur zwei, in anderen sind mehrere trogförmige Glieder vorhanden. Die in jedem derselben sich sammelnden Gewässer entweichen in Faltungsgebirgen durch Querfurchen, und zwar nicht selten nach entgegengesetzten Seiten, nach verschiedenen Strömen und verschiedenen Meeren. Wo eine Hohlform am Fuß eines Schollenabbruches in ähnlicher Weise in Abteilungen gegliedert ist, nehmen die Flüsse ihren Ausgang in der Regel nach der Seite der herabgesenkten Scholle, zuweilen mit bemerkenswerten Durchbrüchen; um so rätselhafter ist es, wenn man, wie bei dem Isker, welcher die hoch aufragende Scholle des Balkan durchbricht, das Gegenteil findet.

Da die Querscheide in einem tektonischen Längsthal dem Verkehr geringere Schwierigkeiten entgegensetzt, als die Querfurchen, durch welche die Flüsse entweichen, selbst wenn diese schiffbar sind, so hat in Hinsicht auf Verkehr, Ausbreitung der Bevölkerungen und politische Besitzverhältnisse die Querscheide viel mehr einen verbindenden als einen trennenden Einfluß, und die einzelnen Teiltröge eines Talzuges schließen sich oft enger an einander, als jeder von ihnen an den Unterlauf des ihm zugehörigen Flusses. Doch kann das Verhältnis sich anders gestalten, wenn die Querscheiden große Höhe und Breite haben, die Querfurchen dagegen hinreichend breit sind, um den Verkehr zu gestatten. Es kommt also immer auf das gegenseitige Verhältnis an. Als größere Beispiele sind die beiden vollkommen homologen Fälle der Oberläufe von Indus, Setledsch und Sanpo einerseits, und von Rhone, Reuss und Rhein andererseits bemerkenswert. Ebenfalls Beispiele großer Anlage bieten sich in den südamerikanischen Anden, zwischen den West- und Ost-Cordillern in Peru und Ecuador. In letzterem Land scheinen die vulkanischen Anhäufungen die größeren Höhen der Wasserscheiden zu veranlassen. Unter den zahlreichen Fällen in den Alpen mögen hier die Querscheiden zwischen Drau und Rienz am Toblacher Feld, die unmerkliche Scheide zwischen Rhein und Linth und die Troggliederung des Längstals von Salzach und Enns genannt werden. Das südliche China bietet Beispiele ohne Zahl. Weiter nördlich ist der wichtige Talpaß zwischen Han und Kialingkiang (China II p. 591) zu nennen. Wie gering die trennende Rolle der Talwasserscheiden in den großen durch Absenkung entstandenen Hohlformen ist, zeigen die früher genannten Beispiele vom Südfuß des Balkan und vom südöstlichen Fuß des Erzgebirges. Ganz anders ist es im Inneren unvollkommen erodierter Abrasionsgebirge. So sehr auch die Längsfurchen bei diesen zuweilen entwickelt sind, begegnen sich doch, wie bemerkt, deren obere Enden selten in der Weise, daß dadurch ein Talzug gebildet wird, und in der Regel bedingt die Wasserscheide eine Trennung in den Verkehrsverhältnissen.

Dem genannten Typus sind zwei andere verwandt, nämlich die Furchen Wasserscheide und die Beckenwasserscheide. Die erstere ist vorhanden, wenn sich innerhalb einer Quer- oder Diagonalfurche eine relativ niedrige Anschwellung erhebt. Sie wird dadurch zur Paßfurche (S. 651); die Gewässer rinnen nach den entgegengesetzten Seiten hinab. Eine Zerlegung in mehr als zwei Abflußgebiete dürfte kaum vorkommen. Die merkwürdigsten Beispiele finden sich einerseits nahe dem Ostrand des Tsinling-Gebirges („China“ II p. 498), wo eine tiefe und enge Furche die über 2000 m hohen Kämme quer durchschneidet, und in ihrer Sohle, nur wenig mehr als 200 m über dem Meer, die Wasserscheide zwischen Hwang-hö und Yang-tsze-kiang gelegen ist; andererseits in den Alpen der Südinsel von Neu-Seeland, wo Haast ein ähnliches Verhältnis fand. In den europäischen Alpen ist der Paß des Reschenscheideck als ein Fall zu nennen, wo innerhalb einer Furche die Wasserscheide fast unmerklich ist, während sie in den durch den Brenner und den Achensee bezeichneten quergerichteten Furchen erheblich höher ansteigt. Wenn man Fälle

zur Vergleichung sammelt, sollte man auf die Haupterfordernisse dieser Kategorie achten, nämlich daß eine deutlich ausgesprochene Furche quer durch ein Gebirgsglied zieht, und in ihr eine Wasserscheide gelegen ist, welche -erheblich unter der Höhe der Furchenränder zurückbleibt.

Die Beckenwasserscheiden finden sich besonders in Löß- 1 ändern und bestehen darin, daß in einem und demselben flachen Becken verschiedene Gewässer ihren Ursprung nehmen, und jedes von ihnen einen der umwallenden Höhenzüge unabhängig durchbricht. Diese Fälle sind besonders dann schwer zu erklären, wenn die durchbrochenen Gebirge aus kristallinen Schiefern bestehen, wie es z. B. nördlich von Ta-tung-fu (im nördlichen China) der Fall ist. Leichter verständlich ist ihre Ursache, wenn die Einfassungen aus Kalkstein bestehen, wie es im Peloponnes vorkommt. Eine entferntere Ähnlichkeit mit solchen Fällen hat die vierfache Wasserscheide der Gegend des Enneberg in Süd-Tirol.

Was die Entstehung dieser verschiedenen Typen von Talwasserscheiden betrifft, so läßt sich darüber etwas Allgemeines nicht aufstellen; die Frage ist von Fall zu untersuchen. In Betracht zu ziehen sind die folgenden Möglichkeiten:

1) Das unmittelbare Rückschreiten zweier Erosionsfurchen, welche sich in ihren oberen Teilen begegnen und beiderseits die sie trennende Scheide zu erniedrigen streben. Da dies jedoch immer nur in unvollkommenem Maße erreicht werden kann, so dürften zwar einzelne relativ hohe Furchenwasserscheiden diesem Vorgang ihren Ursprung verdanken; aber für die Erklärung der Bildung flacher Talwasserscheiden ist er unzureichend. Auch für die ersteren muß die Begegnung in einer kontinuierlichen Rinne auf besonderen Umständen beruhen.

2) Das einseitige Rückschreiten eines tief gelegenen Wasserlaufes gegen den höher gelegenen Boden eines Längstales, und das Abzapfen der bis zu dem Vereinigungspunkt in demselben herabkommenden Gewässer (§ 67). Es wurde bereits dargestellt, wie dann bei n in Fig. 29 (S. 146) eine neue Wasserscheide gebildet wird.

3) Schuttauflüßungen und Wallbildungen überhaupt. Wird ein Tal sehr hoch abgedämmt (s. § 91), so kann das Wasser einen neuen Ausweg finden und ihn permanent beibehalten. Werden den von einem Furchenpaß herabfließenden Gewässern so große Schuttmassen zugeführt, daß ihr Bett bis nahe an das Niveau des ersteren erhöht wird, so wird derselbe relativ erniedrigt.

4) Absenkungen quer gegen die Streichrichtung eines Tales. Finden sie in solcher Weise statt, daß die frühere Wasserscheide tiefer zu liegen kommt, als der Talsohlenrand in dem höher stehenden Flügel, so wird ein See entstehen, und wenn er das Niveau der früheren Wasserscheide erreicht hat, über diese abfließen. Es wurde (oben § 279) angedeutet, daß durch denselben Vorgang die in manche Kämme eingekerbten Lückenpässe zu erklären sein dürften.

5) Epigenetische Talbildung (§ 81). Sie konnte besonders bei diagonaler Richtung durch die Zerlegung der einzelnen Flußläufe in Längs- und Querstrecken die in Rede stehende Erscheinung hervorbringen.

6) Die Auflösung der Gesteine. Die Ablenkung des Donauwassers nach der Aachquelle zeigt deutlich, wie sich hier im Lauf der Zeit eine Talwasserscheide bilden würde. Diese Ursache dürfte häufig zu Grunde liegen.

Damit ist die Reihe der möglichen -Ursachen keineswegs erschöpft. Tektonische Ereignisse verschiedener Art und manche mit der früheren Vergletscherung zusammenhängende Vorgänge konnten im Stande sein, in die Sohle eines Gebirgstales eine Wasserscheide zu legen. Man sollte besonders prüfen, ob die Ausbildung der Hohlform der Entstehung der Wasserscheide

voranging. Die Talwasserscheiden bieten in jedem Einzelfall ein interessantes, oft aber sehr schwierig zu lösendes Problem.

b. Ein anderer Gesichtspunkt betrifft die Lage im Verhältnis zur allgemeinen Gebirgsanordnung.

Als normale Wasserscheide ist diejenige zu bezeichnen, welche mit der Hauptkammlinie eines Gebirges in deren ganzer Erstreckung, oder doch größtenteils, zusammenfällt. Dies findet sich oft in sehr vollkommener Weise bei den aus kristallinen Schiefen bestehenden Kernzügen der Faltungsgebirge. Ein Beispiel bietet die Kette der Tauern, wo die Wasserscheide in einer größtenteils durch schroffe Gräte scharf gezeichneten Linie liegt.

Sehr häufig, wahrscheinlich in der Mehrzahl der Fälle, kommt es vor, daß der Hauptkamm nur in einzelnen kurzen Strecken oder gar nicht die Hauptwasserscheide bildet, sondern an einer oder mehreren Stellen von Flüssen durchbrochen wird und diese mit seinen beiderseits herab-rinnenden Gewässern als ein zwar wichtiges aber doch untergeordnetes Glied speist, während die Flüsse an einem minder hohen, meist parallelen Nebenkamm entspringen. Dem Begriff der durchgreifenden Täler (§ 273) entsprechend bezeichnen wir dies als eine durchgreifende Wasserscheide. Entspringt der Fluß auf dem ersten rückwärtigen Nebenkamm, so ist die Wasserscheide einfach durchgreifend; durchbricht er auch diesen und entspringt auf dem nächsten jenseits gelegenen Kamm, so ist sie zweifach durchgreifend u. s. w. In größtem Maßstab ist diese Form für den Hauptteil des Himalaya charakteristisch, indem dessen Hochgipfelkette von einer Anzahl weiter nördlich auf minder hohen Zügen entspringender Flüsse durchbrochen wird (s. S. 175).

Eine übermäßige Entwicklung des Durchgreifens der Wasserscheiden findet dann statt, wenn ein Strom ein ganzes Gebirge in einem Durchgangstal (§ 273) durchfließt und auf einem oder mehreren jenseits gelegenen Gebirgen entspringt. Beispiele sind oben genannt worden. Im Verhältnis zu dem Gebirge, in welches die Rinne einheitlich eingesenkt ist, hat der Fluß eine zurück-liegende Wasserscheide.

Der Typus der durchgreifenden Wasserscheiden, welcher, wie sich bei der Betrachtung der Paß-übergänge zeigen wird, eine hohe Wichtigkeit für den Verkehr besitzen kann, ist sehr verbreitet. In den Anden Süd-Amerikas findet er sich in steter Wiederkehr bei den nach der Regenseite fließenden Gewässern. In jedem einzelnen Fall ist die Kammlinie in ihrer wasser-scheidenden Rolle durch einen mehr oder weniger komplizierten Bogen abgelöst, welcher den reichlichen Niederschlägen seine konkave Seite zukehrt. Neuere Forschung hat erwiesen, daß einige Flüsse der westpatagonischen Fjordküste in den Vorhügeln der Ostseite des Gebirges entspringen und dieses in seiner ganzen Breite durchbrechen. Das Durchgreifen der Wasserscheiden der zum Amazonas gerichteten Ströme durch die mächtigen Gebirgszüge von Peru und Bolivien ist in hohem Grade auffallend. Wo dann, weiter nördlich, beide Gehänge der Anden reichliche Regen empfangen, wie in Ecuador, da greifen auch die Wasserscheiden von beiden Seiten hindurch; östliche Flüsse entspringen auf der westlichen, westliche auf der östlichen Cordillera; diese wie jene teilen sich in Folge dessen in die einzelnen Strecken des großen, von beiden Bergrücken eingeschlossenen Talzuges. In den Alpen sind analoge Fälle vielfach vorhanden, und sie lassen sich in den meisten Faltungsgebirgen wahrnehmen, von denen genaue Karten vorliegen.

Die Entstehung durchgreifender Wasserscheiden ist wahrscheinlich in den meisten Fällen eine Folge des Sieges, welchen der durch Gefälle und Wassermasse begünstigte Strom in dem von G.

K. Gilbert als „Kampf um die Wasserscheide“ bezeichneten Vorgang über seinen an der entgegengesetzten Seite eines Kammes arbeitenden Nebenbuhler errungen hat (s. oben §§ 67, 72). Es ist selbstverständlich, daß der Vorgang die Bildung von Talwasserscheiden begünstigt.

c. Wenn man den Gesamtverlauf der Wasserscheide eines Strombeckens betrachtet, so ist dieselbe innerhalb der Gebirge aus Teilstrecken der genannten Arten zusammengesetzt. Ihre Anordnung in jedem einzelnen Gebirge ist (wie schon in § 88 hervorgehoben wurde) ein Resultat aller Vorgänge, welche auf dasselbe seit den Anfängen seiner Entstehung eingewirkt haben, und wurde zum Teil durch Verhältnisse, wie sie in noch früherer Zeit, seit der ersten Trockenlegung des betreffenden Landstriches, bestanden, beeinflußt. In Tafelländern ist die Anordnung unregelmäßig, weil die Beziehungen zur inneren Struktur gering sind, und diese in der Regel zu wenigen festen Linien besitzt, um den Wandelungen der Wasserscheide örtliche Grenzen vorschreiben zu können. In Abrasionsgebirgen hingegen bieten die Verzweigungen eines Stromsystems oft die Regelmäßigkeit von Blattrippen, wobei die ursprüngliche Querfurche die Rolle der Hauptrippe behält. Die einzelnen Teilbecken der Stromsysteme liegen neben einander wie Blätter, die mit ihren Spitzen den Kamm des Gebirges erreichen. Bei ihnen herrscht bezüglich der räumlichen Ausdehnung die Querscheide, welche bald noch durch weite Scheitelflächen bezeichnet, bald durch vorgeschrittene Erosion mannigfach und unregelmäßig gestaltet ist. Nur wenig beteiligt sich in jedem einzelnen Teilbecken die Hauptkammscheide. An ihr kommt häufig ein Durchgreifen vor, und zwar vollzieht sich dasselbe bei stark asymmetrischem Bau in der Regel von der kurzen Steilseite aus gegen den langgestreckten Abfall hin, und auf dessen Kosten.

In ganz anderer Gestalt sind die Strombecken in Faltungsgebirgen eingesenkt. Hier bieten sie die unregelmäßigsten Umrisse. Zuweilen sind sie wie in einander verzackt; in langen Armen greift eines in das andere ein und lagert sich in weiter Ausbreitung über dessen obere Teile hin. Das eine nimmt den Abfluß des Hauptkammes in überwiegendem Maße für sich in Anspruch und greift mehrfach durch ihn hindurch; ein anderes vermag ihn kaum noch mit einer Spitze zu erreichen, oder muß ihm überhaupt fern bleiben. Der Kampf um die Wasserscheide hat während der ganzen Geschichte des Gebirges fortgedauert und ist nicht beendet. Je breiter und von je regelmäßigerer Anordnung die Faltungszonen sind, desto mehr entwickelt sich an Stelle der fortlaufenden Querscheiden die überspringende Wasserscheide. Daher ist diese für die regionalen Faltungsgebirge am meisten charakteristisch. Sie folgt einem Längskamm für eine Strecke, setzt dann, als Talwasserscheide, quer durch eine Mulde, folgt dem nächsten Parallelkamm bald in der gleichen Richtung wie dem vorhergehenden, bald in der entgegengesetzten, um abermals quer über eine Mulde hinweg nach einem dritten Kamm, oder auch nach dem ersten zurück zu springen. Dies wiederholt sich mit stetem Wechsel. Die Scheiden des Hauptstromes und diejenigen seiner Zuflüsse — alle folgen demselben Prinzip der Anordnung. Daher findet man hier die am meisten gegliederten Talzüge, die vollkommenste Zusammengehörigkeit der Trogstrecken, in die jeder von ihnen geteilt ist, die Absonderung von parallelen Talzügen, welche durch enge Querfurchen mehr von den ersten getrennt als mit ihnen verbunden sind. Dies ist die mehrfach erwähnte Anordnung in den Rostgebirgen des südöstlichen China, im westlichen Hinterindien, im nordwestlichen Himalaya, im Jura, in den Alleghenies.

Der Reisende wird neben den angegebenen Typen der Wasserscheiden noch manche andere finden, deren Erwähnung der Raum nicht gestattet. Was sich bei Gebirgen im Großen vollzieht, das bildet sich zum Teil auch im Kleinen aus. Wie die Erosionserscheinungen, so kann auch das Problem der

Wasserscheiden überall studiert werden, wo Wasser in zahlreichen, verschiedentlich verteilten und unter verschiedenen Umständen befindlichen Rinnen fließt. Die Geschichte der

Wasserscheiden eines Gebirges ergänzt sich mit derjenigen des inneren Baues zur Geschichte des Gebirges selbst. Sie ist daher überall ein wichtiges Studiengebiet.

4. Die Gebirgspässe.

[§289] Als Pässe, d. h. Stellen des Überganges über Gebirgs-Wasserscheiden, dienen dem praktischen Verkehr wesentlich die tieferen Einsenkungen in den Linien der letzteren, oder, wenn solche nicht vorhanden sind, diejenigen Teile eines Kammes, nach welchen man aus zwei einander gegenüberliegenden Talfurchen am bequemsten hinaufsteigen kann. Der Einteilung der Wasserscheiden entsprechend kann man Kammpässe und Talpässe unterscheiden.

a. Die Kammpässe vermitteln den Übergang über Hauptkämme oder über Jochkämme. Daher gibt es Hauptkammpässe und Jochkammpässe, oder kürzer: eigentliche Kammpässe und Jochpässe. Neben diesem Unterschied in der Lage bestehen andere in den Formen. Von diesem Gesichtspunkt lassen sich als Haupttypen nennen: der Wallpaß, welcher über eine Scheiteifläche führt; der Sattelpaß, nach welchem sich die Kammlinie von beiden Seiten allmählich herabsenkt, während das Querprofil eine gerundete oder oben verebnete Wölbung mit meist ungleichmäßigem Anstieg von beiden Seiten her darstellt; der Schartenpaß, welcher ein ähnliches, wenn gleich meist schärfer und winkeliger gezeichnetes Längsprofil hat, aber im Querschnitt die Gestalt einer Schneide darbietet; und der Lückenpaß, welcher durch einen schroffen und unvermittelten, oft beinahe senkrechten, kerbartigen Einschnitt in die Kammlinie gebildet wird.

Der Wallpaß ist denselben Arten von Gebirgen eigentümlich, bei welchen die Scheitelfläche an Stelle des Kammes tritt (s. S. 688, 692), also besonders den unvollständig erodierten Abrasionsgebirgen und Tafelländern. Er kann von geringer, aber auch von sehr bedeutender Breite sein. Fortschreitende Erosion verwandelt ihn je nach der Art und Lagerung des Gesteins entweder in einen Sattelpaß oder unmittelbar in einen

Schartenpass, so daß diese beiden Formen in demselben Gebirge neben dem Wallpaß vorkommen können. Der letztere ist der vorwaltende Typus in Skandinavien und in den südamerikanischen Anden. Die Unebenheit der Scheitelfläche hebt den Charakter des Wallpasses nicht auf, wenn sie ihn auch modifiziert. Man könnte den Ausdruck Sattelpaß dann anzuwenden beginnen, wenn die Einsattelung entschieden ausgesprochen und das Werk der Erosion der am Paß entspringenden Wasserläufe ist.

Der Sattelpaß und der Schartenpaß sind die normalsten und häufigsten Formen der Gebirgspässe. In den Hauptkämmen, besonders wenn diese dem Schichtenstreichen folgen, haben sie gewöhnlich im Profil der Kammlinie eine symmetrische Gestalt. In den Jochkämmen hingegen ist Asymmetrie des Längsprofils (in der Firstlinie) die Regel, während das Querprofil bei ihnen häufig symmetrisch ist. Dies ist eine Folge ihrer Querstellung zum Streichen der meist schief einfallenden Schichten. Nicht selten sieht man auf einer Seite hoch und schroff aufragende Felswände, während auf der anderen die Höhenlinie oder auch eine sanfte Scheitelfläche allmählich ansteigt. In den nördlichen Kalkalpen sind derartige Fälle sehr häufig. Man kann zuweilen über eine Reihe von Jochkämmen hinweg ein der Gestaltung zu Grunde liegendes System, weicher Schichten (z. B. der Kössener oder Raibler Schichten) an der Hand solcher Einschnitte deutlich verfolgen. Wer ein geübtes Auge besitzt, vermag Anhaltspunkte dieser Art bei geologischen

Orientierungs-Aufnahmen zu verwerten und die Einzeichnungen auf der Karte bis zu größerer Entfernung von seinem Aussichtspunkt auszuführen.

Der Lückenpaß ist eine seltene Erscheinung. In transversalen Kämmen, daher besonders in Jochkämmen, entsteht er bei saigerer Schichtenstellung, wenn ein leicht zerstörbares Gestein anderen, die schwer zerstörbar sind, eingeschaltet ist. Es entstehen dann langgezogene Einkerbungen mit senkrechten Wänden, welche der Streichrichtung folgen und sich im Querprofil außerordentlich scharf zeichnen. Schwer sind diejenigen Lückenpässe zu erklären, welche longitudinale Kämmen als enge Gassen quer durchziehen. Man kennt sie in den Pyrenäen. Auch im Rätikon kommen sie vor. Hier ist der auf S. 671 genannte Entstehungsgrund zu berücksichtigen.

b. Die Talpässe fallen mit den Tal Wasserscheiden zusammen. Ihre Bedeutung ergibt sich aus dem, was oben (§ 288) über die letzteren gesagt wurde. Besonders tritt sie hervor, wenn die Talpässe vermöge ihrer Lage die Funktion der unten (S. 707) zu nennenden Wechselfässe erhalten.

5. Die Paßübergänge.

[§290] Im gewöhnlichen Sprachgebrauch, der sich auf die Verkehrs- und strategische Geographie übertragen hat, wird der Begriff „Paß“ weiter gefaßt, als es für die systematische Orographie zulässig ist, und auf solche Stellen im Allgemeinen angewendet, wo in Folge physischer Bedingungen der Verkehr aus einem offeneren Gebiet nach einem anderen in eine enge Gasse gezwängt, oder auf eine einzige Linie beschränkt wird. Dies ist z. B. dort der Fall, wo ein Fluß in einer bestimmten Strecke von Felswänden eingeengt wird (wie am „Paß“ Lueg und am „Paß“ Finstermünz). Engpässe solcher Art kommen hier nicht in Betracht. Eine andere Bedeutung des Wortes „Paß“ ist diejenige eines nutzbaren Überganges über die Einsattelung an einer Wasserscheide; man pflegt dann die in letzterer gelegene Paß-Höhe von der die beiderseitigen Anstiege in sich begreifenden Paß-Straße zu unterscheiden. In der Tat gewinnt ein Paß erst Bedeutung, wenn man ihn als Verkehrsstelle auffaßt. Wo immer man größere Reisen ausführt, hat man Gelegenheit, verschiedene Paß-Übergänge kennen zu lernen. Man sollte dann nicht nur ihre physischen Bedingungen studieren, sondern auch die Ursachen zu ergründen suchen, denen sie ihr natürliches Bestehen, ihre Beschaffenheit und ihre Benutzung im Vorzug vor anderen Pässen verdanken. Sie erweisen sich bei vergleichender Betrachtung als außerordentlich verschieden, und doch findet man vielfach gemeinsame Eigenschaften. Es sollen hier nur einige der letzteren in so weit erörtert werden, als sie für größere Verkehrsstraßen über die Wasserscheiden zwischen verschiedenen Strombecken charakteristisch sind.

a. Ein unmittelbarer Paßübergang ist derjenige, welcher unvermittelt über die Achsenkette eines Gebirges hinwegführt. Pässe dieser Art sind in der Regel die schwierigsten und werden selten zur Anlage großer Verkehrsstraßen benutzt.

In heteromorphen Faltungsgebirgen kommen sie, gewöhnlich neben Typen anderer Art, häufig vor; es gehören hierher diejenigen Übergänge über die Tauernkette, welche von Norden nach Süden führen; ebenso die Pässe, welche man von der oberen Rhone, dem Vorder-Rhein und dem oberen Inn nordwestwärts übersteigt. Unvermittelt werden insbesondere die Rumpfbirge und Keilschollen überschritten. Daher sind die Fjordküsten fast ausnahmslos vom

Hinterland so vollkommen abgeschieden. Beispiele kleinerer Art geben die deutschen Rumpfgebirge: der Harz, das Erzgebirge, das Riesengebirge, der Schwarzwald und andere. Hier hat man in der Regel die Scheitelfläche von der Steilseite zu erklimmen, um jenseits allmählich und leicht herabzusteigen. Ist aber die Erosionsarbeit in einzelnen Furchen so weit vorgeschritten, daß sie von beiden Seiten in den Kamm eingreift, so werden niedrigere Übergangsstellen geschaffen. Darauf beruhen die wenigen Verkehrswege, welche die Chinesen, immerhin noch mit großer Schwierigkeit, über das Tsinling-Gebirge anzulegen vermocht haben.

b. Ungleich bequemer und wichtiger sind die durchgreifenden Paßübergänge, welche mit dem Durchgreifen der Wasserscheiden (s. S. 700) Zusammenhängen. Der Verkehr sucht daher bei allen Gebirgen, wo sie vorhanden sind, derartige Stellen auf. Sie gewähren den Vorteil, daß man eine Hauptkette überwindet, ohne sie zu überschreiten, indem man, der Sohle der Durchbruchfurche folgend, nach einem Tal des jenseitigen Gehänges gelangt. Von ihm aus steigt man über einen Kamm von geringerer Höhe nach dem Ursprung eines anderen Stromsystems, dem man dann abwärts folgt. Es beruht hierauf z. B. die Benutzung der Oberläufe von Dora Baltea und Dora Riparia zu Paßübergängen.

e. Nur eine Abart des letzten Typus sind die Übergänge über die Furchenpässe. Die Furche ist eine in das Gebirge quer gegen die Streichrichtung eingesenkte natürliche Straße. Sie ist von höchster Bedeutung, wenn sie eine wasserscheidende Hauptkette durchzieht. Der Paß liegt zuweilen in der Achse der letzteren; aber öfter ist er nach einer Seite von derselben verschoben, indem einer der beiden an ihm entspringenden und von einander hinweg gerichteten Flüsse größere Arbeit vollzogen hat, als der andere. Dann durchschreitet man, wie z. B. am Brenner, die Kammlinie in einem tief eingesenkten Tal. Derartige Paßübergänge gewähren dem Verkehr große Bequemlichkeit, aber sie sind im Ganzen seltene Erscheinungen.

d. Wenn auch im einzelnen Fall an Bedeutung in der Regel gegen die Furchenpässe, dort wo diese sich finden, zurückstehend, hat doch eine andere Form, welche wir als diejenige der Wechselfälle bezeichnen, in allen eigentlichen Faltungsgebirgen wegen ihrer Häufigkeit und ihrer Benutzung durch die weitaus überwiegende Zahl großer Verkehrsstraßen eine erheblich höhere Wichtigkeit. Die Kategorie begreift solche Talpässe, welche die Glieder von zwei Stromsystemen der entgegengesetzten Seiten des Gebirges von einander trennen. Wenn ein Zufluß des einen mit seinem Quellgebiet durch die Hauptkette hindurchgreift, um die Gewässer einer jenseits gelegenen parallelen Kette an sich zu ziehen, so bildet er in der Regel in dem von beiden Ketten eingeschlossenen tektonischen Längsthal einen Trog. Greift nun ein Fluß des entgegengesetzten Gebirgsgehänges von dort her durch die Nebenkette hindurch, um die Hauptkette zu entwässern, so bildet sein oberes Quellgebiet ebenfalls einen Trog, welcher demselben Talzug wie der erste angehört. Ein Verkehrsweg, welcher auf der ersten Seite hinauf und durch die Hauptkette hindurch führt, hat daher nur über eine Talwasserscheide zu setzen, um den Talboden des zweiten Troges und von ihm aus eine Furche zu erreichen, in deren Tiefe oder an deren Gehängen er die Nebenkette durchsetzt. In diesem Fall hat die Straße keinen Kamm zu überwinden.

Ist auch die Natur dieser Paßübergänge besonders auffallend, wenn sie das Überschreiten einer hohen Achsenkette ersparen, so sind dieselben doch noch weit häufiger in solchen Gebirgen, welche* eine eigentliche Achsenkette nicht besitzen, sondern aus zahlreichen parallelen Bücken von wenig verschiedenem Wert bestehen. Im südöstlichen China, wo die meisten Flüsse von der Nähe ihrer Quellen an schiffbar sind und die Fahrstraßen ersetzen, erleichtern die zahlreichen, im Verlauf der überspringenden Wasserscheiden gelegenen Wechselfälle den Verkehr ungemain. Es gehören hierher viele der wichtigsten Paßübergänge in den Apenninen und den Alpen. Liegen auch bei manchen in Folge erosiver Vorgänge die Talwasserscheiden relativ ziemlich

hoch, so ist doch der Anstieg zu ihnen mit ungleich geringeren Schwierigkeiten verbunden, als die Übersteigung der Kämme.

Viele anderweitige Beobachtungen über die äußere Gliederung der Gebirge ergeben sich aus dem, was in früheren Abschnitten dieses Buches über die mechanische Arbeit von fließendem Wasser und Eis, über Seebildung, Talbildung und inneren Gebirgsbau gesagt worden ist. Sie mögen dem Forschungsreisenden in ausgedehntem Maßstab anempfohlen werden. In den bestehenden Lehrbüchern ist wenig Anhalt dazu geboten. Auch hier konnten nur Umrisse und allgemeine Winke gegeben werden; eine ausführliche Darstellung des Gegenstandes liegt außerhalb des Rahmens des gegenwärtigen Werkes. Die Anordnung der Gebirge und der verschiedenen Formgebilde der Erdoberfläche überhaupt, der Gegensatz, in welchem die großen Faltungsgebirge zu den aus Rumpfgebirgen, Tafelland und Flachländern bestehenden starren Schollen stehen, die Art der Angliederung eines Gebirges an das andere, welche bald in der Form der Anschauung, bald in derjenigen der Verwachsung und Interferenz geschieht, die Bildung großer mehrseitig oder allseitig von Gebirgen umrandeter Becken — diese Gegenstände müßten, nebst vielen anderen, der Erörterung unterzogen werden, wenn Vollständigkeit erreicht werden sollte. Aber diejenigen Winke, welche gegeben worden sind, werden die Aufmerksamkeit des geübten Reisenden von selbst auf die Erwägung einzelner derartiger Probleme richten.

[p.709]



Siebzehntes Kapitel.

Beobachtungen über nutzbare Mineralien

[§291] Der Begriff „nutzbare Mineralien“ ist weit und unbestimmt. Ein Erz oder Mineral, welches in einer Gegend von höchstem Nutzen ist, kann in einer anderen fast oder ganz wertlos sein. Der Reisende sollte nun zwar überall in weniger bekannten oder unbekanntem Ländern seine Aufmerksamkeit diesem Gegenstand zuwenden, da die Möglichkeit, Ergebnisse von praktischer Bedeutung zu gewinnen, häufig vorhanden ist. Aber gleichzeitig sollte er mit Sorgfalt alle Umstände prüfen, welche die Gewinnung und die Verwertung eines Minerals betreffen, um nicht unerfüllbare Hoffnungen zu erwecken oder erfolglose Unternehmungen zu veranlassen. Vorsicht ist besonders denen anzuraten, welche entweder überhaupt nur unbestimmte Vorstellungen von den Bedingungen der Verwertbarkeit besitzen, oder ihre Erfahrungen einem Land entnehmen, wo Gewinnungskosten, Wert des Minerals und Verfrachtungsmittel in günstigem Verhältnis stehen. Solchen wird es oft schwer, eine andere Kombination der verschiedenen Bedingungen in richtiger Weise zu würdigen. Ausgezeichnete Kenner haben Mißgriffe begangen, wenn sie von einseitiger Erfahrung ausgegangen sind.

Es ist nicht möglich, betreffs der praktischen Gesichtspunkte bestimmte Regeln anzugeben. Eine mäßig reiche Erzlagerstätte kann bei schlechten Beförderungsmitteln und großer Entfernung von dem Ort der Zugutemachung gewinnbringend sein, eine andere, noch reichere, allein durch den Umstand eines regenlosen Klimas dem Abbau unüberwindliche Schranken entgegensetzen oder durch die Lage in einer schwer zugänglichen Gebirgsgegend jeden Gewinn ausschließen. Sind billige Arbeitskraft, gutes Brennmaterial, Wasserkraft und leichte Beförderungsmittel vorhanden, so ist oft eine arme Lagerstätte noch mit Erfolg auszubeuten. Es ist eben eine Summe von Bedingungen erforderlich, von denen in seltenen Fällen alle einen positiven, häufiger dagegen einige einen positiven, andere einen negativen Wert haben. Oft kann nur die sorgfältigste Berechnung angeben, ob die Gesamtsumme positiv oder negativ ist.

Im Folgenden sollen nur die wichtigsten unter den nutzbaren Mineralien in Kürze behandelt werden.

1. Steinkohlenlagerstätten.

[§292] Wo Steinkohle bergmännisch nicht gewonnen wird, kann nur ein glücklicher Zufall auf ihre Entdeckung führen. Denn selbst wenn man mit Hilfe von Versteinerungen das Vorhandensein der Steinkohlenformation nachweist und sie in einer solchen Weise entwickelt findet, wie sie in anderen Ländern die günstigste für die Führung von Kohle ist, kann man doch einerseits nicht mit Sicherheit auf deren Vorkommen rechnen, und andererseits selten hinreichende Aufschlüsse erhalten, um darüber etwas festzustellen. In vielen Ländern haben die Eingeborenen die Eigenschaften der Steinkohle kennen gelernt und beuten sie so weit aus als ihre einfachen

Mittel es erlauben. Gelingt es, die Orte auszukundschaften wo dies geschieht, so geben sie passende Anhaltspunkte für den einzuschlagenden Reiseweg; denn man darf an ihnen, neben der Möglichkeit praktisch wichtiger Erfolge, stets allgemein wertvolle geologische Aufschlüsse erwarten, für die es sonst oft schwer ist einen Fingerzeig zu erhalten.

Kommt man an einen Ort wo Bergbau getrieben wird, so hat man zuerst den Charakter der Kohle, des Flözes welches sie führt und der einschließenden Schichten zu untersuchen. Ist die Kohle von schwarzer oder schwarzbrauner Farbe? oder gibt sie, wenn sie schwarz ist, beim Zerreiben oder Ritzen ein braunes Pulver? ist sie fest oder zerfallend, spröde oder mild, mit dem Messer schwierig oder leicht zu ritzen? hat sie einen muscheligen, splitterigen oder erdigen Bruch? ist sie in Lagen abgeteilt (schieferig) oder homogen, oder spiegelklüftig? enthält sie Verunreinigungen (erdige oder schieferige Bestandteile, Schwefelkies, dünne Blättchen von Dolomit), oder ist sie frei davon? brennt sie ohne Flamme und Rauch, oder auch nur mit einer schwach bläulichen, nicht leuchtenden Flamme (in beiden Fällen Anthrazit), oder mit schwacher gelber und wenig rossender Flamme (magere Kohle), oder mit langer stark rossender Flamme (fette Kohle)? Geschieht beim Verbrennen ein Aufkochen und Zusammenbacken der Stücke (kokende oder backende Kohle), oder verbrennen sie ohne merkliche Änderung und ohne sich zu vereinigen (Schmiedekohle)? Bleibt viel oder wenig Asche zurück? ist diese im ersteren Fall fein und leicht, oder bleibt sie in Stücken (Klinker)? Brennt die Kohle leicht bei offener Luft, oder bedarf sie eines starken Zuges? Wird am Orte selbst Koks bereitet und wie geschieht dies? wie sind die Öfen konstruiert, in denen die Eingeborenen die Kohle verbrennen?

Den Charakter des Flözes kann man nur durch Befahren der Grobe wirklich kennen lernen. Dies ist oft nicht ausführbar und man ist auf Ausfragen angewiesen. Die Angaben über die Mächtigkeit lassen sich kontrollieren, indem man die Länge der Grubenhölzer, welche als Stützen dienen sollen, mißt. Es fragt sich dann, ob die Kohle in der ganzen Mächtigkeit des Flözes gleich ist, oder in den hangenden oder liegenden Teilen einen anderen Charakter annimmt. Es ist ferner zu erforschen, ob mehrere Flöze übereinander aufgeschlossen, und durch wie viel Zwischenmittel sie von einander getrennt sind. Man erhält darüber meist unbefriedigende Auskunft, da die angewendeten einfachen Methoden gewöhnlich nur den Abbau eines Flözes durch eine Grabe erlauben. Wenn die Flöze unter einem Winkel gegen die Oberfläche geneigt sind, so wird in der Regel eine im Schichtenstreichen gelegene Reihe von Groben ein Flöz bezeichnen. Findet sich dann in gewissem Abstand eine andere, parallele Reihe von Gruben, so sollte man aus der Beobachtung der Schichten zu ermitteln suchen, ob sie ein zweites Flöz, und ob fernere Reihen von Gruben noch andere Flöze bezeichnen, oder ob man es mit Verwerfungen nach der in Fig. 87, 88 (S. 598) dargestellten Art zu tun hat. In Gebirgsgegenden kann man die Flöze oft an Talgehängen oder an den Wänden von Erosionsfurchen in Schichtendurchschnitten aufgeschlossen sehen. Sie sind dort so verändert, daß man den Charakter der Kohle und die Mächtigkeit nicht beurteilen kann; aber die Frage der Mehrheit der Flöze und ihrer Abstände läßt sich alsdann lösen.

Das Studium der einschließenden Schichten ist wichtig, teils weil man nur dadurch die geologische Epoche bestimmen kann, welcher die Kohle angehört, teils weil man vermittelt derselben in den Stand gesetzt wird, festzusetzen, ob andere Flöze, die man in derselben Gegend findet, sich mit dem ersten in gleicher Lagerung befinden, oder von ihm hinsichtlich der Stellung in der Schichtenreihe verschieden sind. Fast immer sind Steinkohlenflöze von dunklen Schiefertönen, welche aus Schlammabsätzen entstanden sind, begleitet, entweder nur im Liegenden, oder im Liegenden und Hangenden, während die einzelnen Flöze mit ihren zugehörigen Schiefen durch Schichten von Sandstein und Konglomeraten von einander getrennt sind, und das oberste häufig

noch durch sehr mächtige Folgen meist roter Sandsteine überlagert wird. Die Schiefer führen fast stets Pflanzenabdrücke, diejenigen des Liegenden hauptsächlich die Wurzelstöcke, diejenigen im Hangenden die Stengel und Blätter. Wenn Flöze geringe Mächtigkeit haben, werden zur Erleichterung des Abbaues Teile der hangenden Schiefer, seltener Teile der liegenden, mit gefördert und auf Halden gestürzt. Hier hat man sorgfältig nach Pflanzenresten mit deutlich erhaltener Blattnervatur zu suchen, aus denen das Alter der Formation bestimmt werden kann. Es gibt auch Kohlenflöze, welche zwischen Schichten von Kalkstein lagern; doch auch sie sind fast ausnahmslos von Schiefeln begleitet. Der Kalkstein wird an der Grenze der Schiefer gewöhnlich mergelig und umschließt Meeresconchylien, welche eine noch sicherere Altersbestimmung als die Pflanzen erlauben. Besonders wertvoll ist die letztere, wenn die Versteinerungen aus Schichten stammen, die zwischen den Flözen liegen.

Die Steinkohle kann in Schichten von sehr verschiedenem Alter auftreten. Sie fehlt gänzlich den archaischen Formationen und kommt im Silur und Devon so selten und untergeordnet vor, daß man auf ihr Aufsuchen nicht viel Mühe verwenden sollte, wenn Versteinerungen auf diese Altersstufen des Schichtgebirges schließen lassen. Erweisen sie hingegen diejenige des weit verbreiteten und meist durch Fossilführung gut charakterisierten Kohlenkalkes oder des ihn vertretenden, schwer erkennbaren Kulm, so befindet man sich an der Basis der eigentlichen „produktiven Steinkohlenformation.“ Der Kohlenkalk oder Bergkalk ist meist sehr mächtig und bildet ein wichtiges Glied im Bau vieler Gebirgsländer. Er führt zuweilen Steinkohlenflöze, die aber meist von untergeordneter Bedeutung sind. Erst die Sandsteine und Schiefertone, welche sich oft viele tausend Fuß mächtig über ihn lagern, enthalten weitaus den größten Teil des Steinkohlenreichtums der Erde. In einigen Ländern zerfallen sie in die zwei deutlich getrennten Glieder des Carbons und des Rotliegenden, in anderen bilden sie eine kontinuierliche, untrennbare Reihe. Wegen ihrer leichten Zerstörbarkeit sind sie über weite Landstriche den denudierenden Agentien vollständig unterlegen und haben den Kohlenkalk als Oberflächengebilde zurückgelassen. Bei horizontaler Lagerung sind sie erhalten, wenn andere Schichtgesteine oder schützende Decken von Eruptivgesteinen oder festen Konglomeraten sich darüber ausbreiteten, oder wohl auch, wenn das aus Carbon bestehende Tafelland sich dauernd in relativ tiefer Lage befand. Wo hingegen die steinkohlenführenden Schichten an den Faltungen und Verwerfungen der Gebirge teilnehmen, wurden einzelne Teile von ihnen stark exponiert und durch Denudation leicht entfernt, während andere, und zwar besonders die Muldentteile der Falten, in tiefe und geschützte Lage kamen. Man findet daher das produktive Carbon in der Mehrzahl der Fälle in muldenförmiger Lagerung, welche die Auffindung und Untersuchung ebenso wie den Abbau erschwert.

Alle Sedimentformationen, welche jünger als Carbon sind, können Steinkohlenflöze enthalten. Lias und Jura sind oft reich daran und scheinen, nach den aus den fossilen Pflanzenresten gezogenen Schlußfolgerungen, in dem vom Himalaya bis zum südlichen Australien gelegenen Teil der Erde diejenigen Zeitalter darzustellen, welche der Bildung von Steinkohlenflözen am günstigsten waren. Auch in der Kreide-Epoche sind solche von guter Beschaffenheit abgelagert worden, z. B. in Japan und an der Westküste von Amerika. Das Tertiär umschließt sehr häufig Flöze von Braunkohle, die aber auch von Bedeutung sein können.

Ein durch Kohlenflöze ausgezeichnetes Gebiet wird innerhalb der Grenzen, in welchen dieselben kontinuierlich verbreitet sind, als ein Kohlenfeld bezeichnet. Ein Grubenfeld nennt man ein solches Gebiet, in welchem eine räumlich zusammengehörige Gruppe von Grubenwerken gelegen ist. Oft sind mehrere weit von einander getrennte Grubenfelder innerhalb eines Kohlenfeldes gelegen und von einander durch solche Teile des letzteren getrennt, in welchen ein Abbau wegen der Kosten, welche er verursachen würde, nicht stattfindet.

Wo immer der Reisende Steinkohle findet, sollte er sich bestreben, eine genaue Aufnahme des Kohlenfeldes herzustellen. Die Arbeit wird wesentlich erleichtert, wenn Grubenwerke Aufschluß über die Lagerung geben. Mit Compass, Bleistift und Papier verfolgt man die Lagerung bis zu den Grenzen gegen ältere Formationen, wenn sich diese feststellen lassen, und verfertigt eine Skizze von dem gesehenen Teil des Kohlenfeldes, sowie Entwürfe der Lagerungsverhältnisse, mit genauer Einzeichnung aller Streichrichtungen und Fallwinkel. Der einfachste Fall ist gegeben, wenn kohlenführende Schichten ungestört in einer von älteren Gesteinen im Halbkreis begrenzten Bucht gelagert sind. Besonders findet man tertiäre Braunkohle, sowie überhaupt jüngere Kohle, häufig unter solchen Verhältnissen. Zuweilen sind es nur kleine Becken, zuweilen sind sie von außerordentlicher Größe (wie das gegen 4500 deutsche Quadratmeilen umfassende aus der Jura-Epoche stammende Steinkohlenbecken der Provinz Sz'-tshwan in China). Durch Auseinandertreten der beiden Flügel entstehen Übergänge dieser Buchteinlagerungen in solche Kohlenfelder, deren Schichten einem Gebirge vorliegen und demselben angelagert sind, und endlich in solche, welche eine ganze Mulde zwischen zwei Gebirgen ausfüllen. Größere Schwierigkeit bietet sich der Untersuchung, wenn durch nachträgliche Störungen die kohlenführenden Schichtensysteme Verwerfungen und Faltungen erfahren haben, von Eruptivgesteinen durchbrochen und zum Teil durch Erosion fortgeführt sind. Die Kohlenschichten werden dann zu Nebenzonen von Faltungsgebirgen aufgebogen, oder bilden welliges Land zwischen zwei Gebirgen, oder sind hier und da in einem, zwischen anderen Schichtgesteinen eingeklemmten und hoch aufgerichteten Fragment einer alten Buchteinlagerung mitten in Gebirgen anzutreffen. Solche Umstände sind von der größten Wichtigkeit für die Bestimmung des ökonomischen Wertes des Kohlenfeldes. Wissenschaftliche Ausbeute erhält man oft am reichsten von solchen Lagerstätten, welche nur einen untergeordneten praktischen Wert haben; es sollte daher keine ihrer geringen Bedeutung wegen übersehen werden.

Der ökonomische Wert eines Kohlenfeldes hängt außer von der Lagerung und der Beschaffenheit der Kohle auch von der geographischen Lage ab. Wo Bergbau stattfindet, ist es von Interesse zu wissen, wie weit das Produkt gegenwärtig verführt wird, und wie weit es bei Verbesserung der Verkehrsmittel verführt werden könnte. Die Entfernung nach einem Hafenplatz oder einem schiffbaren Fluß sollte stets erfragt und die Gelegenheit zur Anlage vollkommenerer Beförderungsmethoden erforscht werden. Auch sind Angaben über die beim Bergbau angewendeten Methoden, die Mittel zur Förderung und Wasserhebung, den Betrag der täglichen Förderung, die Kosten derselben, die Höhe des Tagelohns, die Preise der Materialien stets erwünscht; sie müssen sofort in das Notizbuch eingetragen werden. Man kann damit unmittelbar die Untersuchung über die Möglichkeit der Einführung eines vervollkommeneten Betriebes verbinden.

2. Erzlagerstätten im festen Gestein.

[§293] Der Reisende sollte nie unterlassen, zu erfragen, woher das Eisen, Kupfer, Blei, Zink, Silber, Gold, das die Eingeborenen anwenden, bezogen wird. Nur nach oft wiederholter Erkundung kann er einigermaßen sicheren Aufschluß bekommen. Ergibt sich daraus, daß er Gelegenheit hat, eine Erzlagerstätte zu besuchen, so sollte er sie nicht versäumen.

Manche gehen in wenig bekannte Länder mit der Erwartung, neue, auch den Eingeborenen nicht bekannt gewesene Lagerstätten von Erzen und Mineralen zu entdecken. Betreffs der Steinkohle

kann es allerdings gelingen, wenigstens sichere Spuren ihres Vorkommens und begründeten Anhalt für Schürfung zum Zweck der Prüfung der Abbauwürdigkeit zu finden. Hinsichtlich der Lagerstätten von Metallen aber wird dies nur in äußerst seltenen Fällen sofort der Fall sein. Der „eiserne Hut“, welcher aus den zersetzten Massen am Ausgehenden der Erzgänge besteht und dem Kundigen dieselben anzeigt, während er sie dem Unkundigen verbirgt, ist in vegetationslosen Felsgebirgen oft weithin kenntlich; man sollte dann die Mühe nicht scheuen, die unscheinbaren, rostbraun gefärbten Bestandteile desselben genau zu untersuchen; aber in der Regel ist er durch Pflanzenwuchs oder Erdboden vollständig verhüllt. Zufällige Funde im Schutt leiten oft zuerst zu der Auffindung von Erzspuren. Sucht man ihren Herstattungsort auf, so kann es gelingen, eine Erzlagerstätte zu entdecken. Aber dies ist schwierig und setzt Erfahrung voraus. Übung darin haben sich die sogenannten, meist wissenschaftlich ganz ungebildeten „Prospektors.“ von Kalifornien, den amerikanischen Weststaaten überhaupt und Australien auf rein empirischem Weg in einem oft bewunderungswerten Grad erworben, und sie sind im Allgemeinen am erfolgreichsten, was neue Funde in jenen an kahlen Stellen sehr reichen Gegenden betrifft. Aber Vieles entgeht auch ihrem Blick. Überall bereitet sorgfältige geologische Erforschung am besten und sichersten die Wege, um im Lauf der Zeit die Lagerstätten von Mineralen und Erzen aufzufinden. Insbesondere hilft sie dazu, die Gebiete, in welchen man nach Erzen oder Kohlen suchen kann, räumlich einzuschränken, dagegen diejenigen, in denen jedes Suchen aussichtslos sein würde, von vornherein auszuschließen. Leuchtet auch, z. B. bei neuem Kolonialbesitz, der Vorteil einer kostspieligen geologischen Erforschung und Kartierung nicht sofort ein, so kann sie doch nicht allein durch unmittelbare Auffindung des Nutzbaren praktischen Erfolg haben, sondern auch insbesondere durch die angedeutete räumliche Beschränkung des für Bergbau in Betracht zu nehmenden Areals einen weit größeren Betrag von Kosten, als sie selbst verursacht, ersparen. Man gewinnt durch sie eine feste Grundlage. An ihrer Hand kann man gleichsam bei Tageslicht suchen, während man ohne sie auf das Tappen im Dunklen angewiesen bleibt.

Eisenerze sind besonders wichtig, wenn sie in einer steinkohlenführenden Formation auftreten. Sie halten sich dann gewöhnlich an schieferig-tonige Einlagerungen, denen sie in kleineren oder größeren Nestern inneliegen; seltener bilden sie fortlaufende Lager. Toneisenstein und Brauneisenstein walten unter solchen Verhältnissen vor. Es ist die Art der Verteilung, die relative Menge des Erzes und seine Qualität zu untersuchen. Belegstücke sollten sowohl von den besten Sorten als von den an Masse vorwaltenden gesammelt werden. Eine beachtenswerte Form des Vorkommens findet sich häufig an der Grenzfläche von Kalkstein und überlagernden tonigen Gebilden. Es wurde in § 45 der eisenhaltigen Massen gedacht, welche Vertiefungen des zu Tage anstehenden Kalksteins ausfüllen. Man beobachtet sie in ähnlicher Weise, aber zu weit reicheren Erzen konzentriert und in viel größeren Ansammlungen, wo klastische Sedimente den Kalkstein überdecken. Die Oberfläche des letzteren ist dann stark zerfressen; in großen unregelmäßigen Höhlungen liegen Eisenerze mit bunten Tönen. Man sollte untersuchen, ob sie ihre »Entstehung der Auflösung

und Fortführung eines Teiles der Kalksteine verdanken. Werthvoll sind derartige Vorkommnisse besonders, wenn sie an der oberen Fläche des Bergkalkes auftreten, und steinkohlenführende Schichten darüber lagern. Die Tone können dann für Verhüttungsprozesse Wichtigkeit haben. — Magneteisenstein und Roteisenstein bilden Lagerstätten von großartigem Umfang, vorwaltend in kristallinen Schiefen. Bei ihnen sind die folgenden Punkte zu berücksichtigen: Welches sind die begleitenden Gesteine? (es ist besonders auf Hornblendeschiefer, Chipritschiefer, kristallinen Kalkstein und Serpentin zu achten). Finden sich massive Erzkörper in regelmäßigen Zwischenlagern (Mächtigkeit, Anzahl, Fallen und Streichen, Art der trennenden Mittel), oder in mächtigen, linsenförmigen oder stockförmigen Massen (Ausdehnung derselben)? Wie verhält

sich deren längste Achse zum Streichen und Fallen der Schichten? Sind die Nebengesteine von Erzen imprägniert (Fahlbänder)? Welche Mineralien finden sich als Verunreinigungen in den Erzkörpern? — Eisenkies tritt, abgesehen von seinem überaus häufigen untergeordneten Vorkommen, in sehr ausgedehnten Zwischenlagern und Reihen ungeheurer Linsen in Tonschiefern und Glimmerschiefern auf. Er wird zur Darstellung von Eisen nicht verwendet, ist aber in dieser Art des Auftretens in neuerer Zeit durch den gewöhnlich vorhandenen geringen Gehalt an Kupfer zu einem wichtigen Erz für die Gewinnung dieses Metalles geworden (besonders in Südspanien). — Spateisenstein findet sich, gleich den genannten Erzen, in Gestalt großer Einlagerungen in den älteren Formationen. Die Entstehungsweise dieser verschiedenen mächtigen Erzkörper ist ein noch ungelöstes Problem. — Auch der Raseneisenstein, welcher sich unter dem Einfluß der Vegetation an sumpfigen Stellen bildet, ist zuweilen von Bedeutung.

Die anderen Metalle kommen, mit Ausnahme einiger nicht unwichtiger Kupfererzlagerstätten, vorwiegend auf Erzgängen vor, d. h. in Spalten, welche verschiedene Gesteine durchsetzen und auf dem Wege chemischen Niederschlages, insbesondere, wie es scheint, durch Auslaugung des Nebengesteins, durch Sublimation von unten und durch aufsteigende Thermalwässer, ausgefüllt worden, sind. Ihre Bildung hängt in der Regel mit Vorgängen zusammen, welche das Aufsteigen von Eruptivgesteinen durch andere Spalten zur Folge hatten. Das

Studium der letzteren in Erzdistrikten wird dadurch besonders wichtig; denn allgemeine Schlüsse lassen sich erst aus der Ansammlung zahlreicher Tatsachen ziehen. Da die jüngsten Schichtgebilde auch nur von den jüngsten Eruptivgesteinen, die älteren aber von denen verschiedener Zeitalter durchbrochen werden konnten, so ist es wahrscheinlich daraus zu erklären, daß, je älter eine Formation, desto grösser im Allgemeinen ihr Reichtum an Erzgängen und die Mannigfaltigkeit derselben ist.

Bei dem einzelnen Erzgang ist zu untersuchen: das Streichen und Fallen; die Mächtigkeit in verschiedenen Teilen; ferner die Grenze gegen das Nebengestein; das Gangmittel kann scharf gegen dasselbe abgegrenzt sein und ist dann gewöhnlich durch eine dünne, lertige Lage (Besteg) davon getrennt, oder 'es kann (und dies ist oft am Hangenden der Fall) allmählich in dasselbe übergehen, indem zahlreiche Bruchstücke des Nebengesteins dem Gangmittel inneliegen, und das letztere in zersetzte Massen von jenem eingreift, oder sich in kleinen Gängen und Schnüren hinein verzweigt. Es kann dann eine Zertrümmerung des Hangendgesteins durch Gleitung vorliegen, wie dies in Fig. 96 auf S. 603 dargestellt ist. Überhaupt ist jeder Gang auf die Verschiebung der beiden einschließenden Gesteinskörper zu untersuchen. Dieselbe liegt, da große Bruchflächen stets uneben sind, der Erscheinung zu Grunde, daß eine Gangspalte Stellen der Erweiterung und der Verengung hat und sich an anderen Stellen vollkommen schließt. — Es ist ferner das Gangmittel zu untersuchen, ob es Quarz, Kalkspat, Eisenspat, Flußspat, Schwerspat, oder nur Erz ist; ferner die Erzverteilung: sind die Erze eingesprengt, oder in abwechselnden, den Seitenwänden parallelen Lagen angeordnet? und wie ist die Aufeinanderfolge? Finden sich hohle, mit Drusen bekleidete Räume, und wie folgen in diesen die Mineralien auf einander? Selten ist ein Gang in seiner ganzen Ausdehnung in gleicher Weise von Erzen erfüllt; sondern wenn man einen horizontalen Querschnitt durch den Gang legt, wechseln in gewissen Entfernungen erzarme und erzreiche Mittel. Es hat sich an vielen Gängen gezeigt, daß die reichen Mittel einzelne Erzkörper darstellen, welche in schiefer Richtung nach der Tiefe ziehen. Der Abbau wird darüber Aufschluß geben. Ebenso hat sich oft gezeigt, daß die Erzführung aufhört oder sich ändert, wenn der Gang in ein anderes Gestein übersetzt; auch darüber sind Tatsachen zu sammeln.

Wo mehrere Gänge vorhanden sind, hat man ihre Anordnung zu untersuchen; namentlich ist festzustellen, ob sie sämtlich in ihren Flächen einander parallel gerichtet sind, oder ob sie

einzelne, verschieden streichende Systeme paralleler Gänge darstellen; ob sich die Gänge kreuzen, und an den Kreuzungsstellen Anreicherung des durchsetzenden Ganges stattfindet, oder ob sich zuweilen zwei Gänge mit einander vereinigen (scharen), und ob dies auf die Erzführung von Einfluß ist. Auch ist zu beachten, ob sich verschiedene Gänge oder Gangsysteme nach Gangmittel und Art der Erze von einander unterscheiden. Aus dem Studium der Eruptivgesteine der Umgebungen wird sich ergeben, ob die Wahrscheinlichkeit vorliegt, daß verschiedene derselben mit verschieden gerichteten Mineralgängen in genetischer Verbindung stehen. Bei einem System paralleler Gänge wird in der Regel Staffelbruch (§ 257) vorliegen.

Gold findet sich vorwaltend auf Quarzgängen, welche in Formationen jeden Alters, am meisten aber in den archaischen und metamorphisch kristallinen Schiefen auftreten. Es ist meist an Eisenkies gebunden und kommt vielfach mit Erzen von Kupfer, Blei, Silber etc. zusammen vor. Gänge, welche wegen ihres Goldgehaltes abbauwürdig sind, treten nicht vereinzelt auf, sondern sind regionenweise angeordnet. Gelingt es, einen zu entdecken, so kann man daher die Untersuchung mit Aussicht auf Erfolg fortsetzen. Im Ausgehenden findet man das Gold in der Regel in freier Ausscheidung; in der Tiefe ist es zwar auch in gediegenem Zustand vorhanden, aber größtenteils an Eisenkies oder andere Erze gebunden. Hat man sichere Prüfungsmittel, z. B. ein Lötrohr, nicht zur Hand, so kann man sich behufs der Erkennung daran halten, daß, sobald man bei Anblick eines gelben, glänzenden Metalls im Zweifel ist, ob es Gold sei, dasselbe sicher Gold nicht ist; denn wo man dieses wirklich sieht, ist man nie im Zweifel. Doch gilt Letzteres keineswegs umgekehrt. Eine rohe Prüfung des Goldgehaltes kann man vornehmen, indem man ein Stück Gangquarz mit einem Quarzkiesel auf einem größeren Gesteinsblock zerschlägt und zu Pulver zerreibt und dieses in einer Pfanne oder einem Hornlöffel auswäscht. Durch geschickte

Manipulation kann man das Gold an einer Stelle am Boden des Gefäßes ansammeln. — Goldfunde können dadurch wichtig werden, daß sie Ansiedler anlocken, welche bald zu anderen Zweigen des Erwerbes greifen. Es gibt nur noch wenige Länder, deren Inneres so unerforscht ist und von einer so primitiven Bevölkerung bewohnt wird, daß man noch die Entdeckung an sich besonders wertvoller Goldschätze, d. h. solcher Lagerstätten, welche bei leichtem Abbau großen Gewinn geben, als möglich erachten kann.

Silbererze haben vielfach verschiedenes Vorkommen, meist in Verbindung mit zahlreichen anderen Erzen. Die Hauptmasse des Silbers wird jedoch aus Gängen gewonnen, die in Propylit aufsetzen (§ 244); sie stehen anscheinend in genetischer Verbindung mit Ausbrüchen von Rhyolith oder Trachyt. Es wäre von Interesse, zu erfahren, inwieweit die Silbererzgänge von Mexico und Peru dieser Art des Vorkommens angehören. Gänge im Propylit sind oft sehr mächtig und enthalten außerordentlich große Erzkörper. Silbererzgänge in Kalkstein sind meist unregelmäßig, indem sie mit dem reichsten Erz erfüllte Weitungen enthalten, die durch schmale Schnüre verbunden sind. Regelmäßige, aber meistenteils weniger wichtige Silbererzgänge finden sich in allen älteren Formationen.

Vielfach wird Silber aus Bleierzen gewonnen, besonders wo diese auf Gängen vorkommen. Bleierzgänge sind allenthalben häufig, aber nur eine verhältnismäßig geringe Zahl von ihnen ist abbauwürdig. An vielen Orten finden sich in Kalksteinen verschiedener Formationen Putzen und Nester von Bleiglanz, und stellenweise wachsen diese zur Ausfüllung großer Hohlräume an; sie sind dann unregelmäßig durch das Gestein verteilt und durch Schnüre verbunden. Gewöhnlich ist der Bleiglanz mit Zinkblende und anderen Schwefelmetallen vergesellschaftet.

Kupfer erreicht seine größte technische Bedeutung im Kupferkies, der gewöhnlich mit Eisenkies verbunden ist und in sehr großen Massen auftritt. Das Vorkommen ist demjenigen der

Lagermassen des Eisenkieses ähnlich. Kupfererzgänge sind ebenfalls häufig und zuweilen sehr wichtig, stehen aber im Ganzen an Bedeutung hinter jenen großartigen Anhäufungen zurück. Man hat sich betreffs dieser Metalle besonders vor vorschnellen Schlüssen zu hüten. Nicht selten trifft man außerordentlich

reiche Kupfererze, findet aber bei näherer, oft sehr kostspieliger Untersuchung, daß sie in zahlreichen zerstreuten, äußerst unregelmäßigen und nicht abbauwürdigen Gängen von geringer Mächtigkeit vorkommen. Kühne Hoffnungen und große Spekulationen sind durch diese Truggebilde angeregt und vernichtet worden.

Zinnerz tritt in der Regel in sogenannten Stockwerken auf. Das Gestein (gewöhnlich Granit, in Japan Sandstein, in Nord-Mexico angeblich Trachyt) ist entlang gewisser Richtungen von kleinen Schnüren durchschwärmt, welche Zinnerz nebst anderen Mineralien führen.

Quecksilbererze (Zinnober) haben die unregelmäßigste Verteilung. Das Gestein, in dem sie aufsetzen, ist gewöhnlich von kleineren Gängen und Gangtrümmern durchzogen, zwischen denen sich hier und da eine größere Anhäufung des Minerals findet. Die ausgedehnteste und reichste Quecksilberregion der Erde scheint diejenige zu sein, welche die chinesische Provinz Kweichow durchzieht und sich bis nach Yunnan erstreckt. Sie ist noch ununtersucht. Überhaupt bietet dieser südwestliche Teil von China ein vielversprechendes Gebiet für die Forschung über Erzlagerstätten, indem er einen großen Reichtum an Kupfer, Zinn und Zink birgt, auch Gold, Silber und Blei dort gewonnen werden.

Die Orte, an welchen Erzbergbau, insbesondere auf Gängen, betrieben wird, sollten stets auch im Hinblick auf das Vorkommen gut kristallisierter oder seltener Mineralien untersucht werden, da dieselben sich hier am meisten finden und in größter Menge an die Oberfläche gefördert werden. Doch kann man auf diesem Gebiet ohne Specialkenntnisse nicht mit Erfolg sammeln. Wer sie besitzt, bedarf keiner Anleitung.

Unter den verschiedenen Gesichtspunkten, welche sich von geologischer Seite bieten, möge hier nur auf einen hingewiesen werden. Aus vielfachen Untersuchungen scheint es hervorzugehen, daß diejenigen Gegenden, wo jungeruptive Gesteine zum Ausbruch gelangten, meistens auch in früheren Perioden der Erdgeschichte der Sitz einer Ausbruchstätigkeit gewesen sind. Nach dem eben Gesagten ist die Entstehung von Erzgängen an das Auftreten von Eruptivgesteinen gebunden. Nun gibt es Gegenden, in denen die mit dem Ausbruch der jungeruptiven Gesteine verbundenen Vorgänge anscheinend nicht vermocht haben, Erzgänge hervorzubringen, und solche Gegenden besitzen überhaupt wenige oder keine Erzgänge, indem auch die früheren mit Gesteinsausbrüchen verbundenen Ereignisse ihre Bildung nicht veranlaßt haben. Dagegen gibt es andere Länder (z. B. der Innenrand der Karpaten und fast die gesummte Zone der Anden von Nord- und Süd-Amerika), wo der Vulkanismus der Tertiärzeit außerordentlich reiche Erzgänge hervorgerufen hat. In solchen Ländern ist auch die Ausbruchstätigkeit früherer Zeiten mit der Entstehung bedeutender Erzlagerstätten verbunden gewesen. Ob dies ein allgemein geltendes Gesetz ist, muß weitere Beobachtung entscheiden. Die Bildungszeit der einzelnen Erzgänge festzusetzen, ist die dazu notwendig zu lösende Aufgabe. Das Gesetz bezieht sich nicht in derselben Form auf solche Gegenden, wo jungeruptive Gesteine nicht auftreten.

3. Erzlagerstätten im Schwemmland.

[§294] Wenn die Erze durch denudierende Agentien von den Lagerstätten im festen Gestein, auf welchen sie räumlich eng begrenzt und konzentriert auftreten, hinweggenommen und den Schwemmgebilden überliefert werden, so wächst das Gebiet ihrer Verbreitung ungemein an. Sie werden in zertrümmertem Zustand, zum Teil als feinkörniger Sand, den Schichtgebilden einverleibt. Je gleichmäßiger dies stattfindet, desto mehr schwindet die Möglichkeit ihrer technischen Ausbeutung. Allein, wie die die Verhüttung vorbereitenden Prozesse darauf beruhen, die Erze mit ihren Gangmitteln zu feinem und gleichmäßigem Korn zu zerstampfen, um dann die ersteren von den letzteren mit Benutzung ihres höheren spezifischen Gewichtes durch verschiedene Methoden der Aufbereitung auszuscheiden, so bedingt auch in der Natur jener Unterschied des spezifischen Gewichtes eine Aufbereitung der feinkörnig zerriebenen Massen, wenn sie den auf alle Teile mit gleicher Kraft einwirkenden bewegenden Agentien, insbesondere denen des fließenden Wassers, der Brandungswelle und der strömenden Luft, unterworfen werden. Dieser Vorgang der Saigerung ist als ein wichtiges Moment der physischen Geographie bereits an verschiedenen Stellen (z. B. §§ 83, 154, 195) besprochen worden. Hier kommt er insoweit in Betracht, als bei der Sonderung nach spezifischem Gewicht und Korngröße die schweren Bestandteile sich ansammeln, und die Erze zuweilen eine Konzentration erreichen, welche derjenigen in Gängen gleichkommt, oder sie selbst noch übertrifft. Dies gilt insbesondere von den schwersten Metallen und Erzen, wie dem Platin, welches seines seltenen Vorkommens wegen hier übergangen werden mag, dem Gold und dem Zinnstein. Ist auch in jedem Fall das Maße der bewegenden Kraft verschieden, welches erforderlich war, um das Gestein fortzuschaffen, die metallischen Bestandteile aber liegen zu lassen, so sind doch im Allgemeinen die in Gebirgen gelegenen alten Flußbetten am geeignetsten gewesen, die Ansammlung der schweren Massen in sich aufzunehmen; denn da im Gebirgsbereich der Ströme die Kräfteverteilung einem [häufigen Wechsel unterworfen ist, so finden sich immer einzelne Stellen, welche für eine mehr oder weniger vollkommene Saigerung bei gewisser Korngröße geeignet waren.

Goldführende Schwemmgebilde sind weit verbreitet. Besonders finden sie sich dort, wo Flußbetten in kristallinisches Gebirge eingesenkt sind, und unterhalb solcher Stellen. Am vorteilhaftesten für lokalisierte und konzentrierte Ansammlung ist der Erosionskanal (§ 66), besonders wenn er quer gegen das Streichen steilstehender kristallinischer Schiefer gerichtet ist. Die verschiedene Härte derselben bedingt zahllose Unebenheiten des Strombettes; oberhalb jedes durch eine härtere Schicht veranlaßten Riegels vollzieht sich die Aufwirbelung eines kleinen Beckens im weichen Gestein, (§ 78). Hier können die größeren Goldkörner sich beständig ansammeln, und die Ansammlung sich erhalten und vergrößern, wenn durch fortschreitende Erosion die Aushöhlung an derselben Stelle und in derselben Schicht nach stetig wachsender Tiefe verlegt wird. Diese durch Aufnahme größerer Goldklumpen ausgezeichneten, sogenannten „pockets“ des kalifornischen Goldgräbers finden sich anderwärts unter ähnlichen Verhältnissen, wenn auch selten von ähnlichem Reichtum, wie sie dort vorgekommen sind.

Das unebene Felsbett im Erosionskanal hält auch kleine Goldteilchen in Menge fest; doch wechseln dieselben mit fortschreitender Vertiefung des Bettes ihre Lage und werden aus den Strudellöchern bei Hochwasser herausgewirbelt. Sie gelangen in das Gebiet, in welchem die Schotter sich ablagern, und werden mit diesem bei Hochwasser weiter getrieben. Das am feinsten verteilte Gold wird oft weit hinabgeschwemmt und sammelt sich 46* gern in den Höhlungen konstanter Schotterbänke. Im Han-Fluß in China wird jährlich bei niederem Wasserstand derselbe Schotter nach Gold durchwaschen. So lange er im Fluß bleibt, fängt er bei jedem Hochwasser neue Mengen auf; entfernt man ihn, so wird kein Gold mehr abgelagert.

Man wird kaum irgendwo so günstigen Verhältnissen begegnen, wie in Kalifornien, wo in einem aus kristallinen Schiefem bestehenden, von goldreichen Quarzgängen an vielen Stellen durchsetzten, von der Brandungswelle abradierten und nachher einer Tiefenersetzung (§ 48) unterlegenen Gebirge alte längst verlassene Strombetten quer über die breiten Jochrücken ziehen, welche die in späterer Zeit tief eingeschnittenen Erosionsquerfurchen von einander trennen, und überdies die mächtigen Schotterablagerungen der ehemaligen Ströme durch darübergelagerte Decken von vulkanischem Schlamm vor Zerstörung geschützt worden sind. Hier hat man das Gold 1) aus den Quarzgängen, 2) aus dem Gehängeschutt, in welchem das zerfallene reiche Ausgehende der Gehänge verteilt war, 3) aus den Betten der jetzt strömenden Flüsse, und 4) aus den genannten verlassenen Strombetten gewonnen. Die leicht zementierten Schottermassen der letzteren, welche nur in ihrem tiefsten Teil abbauwürdig waren, wurden durch Sprengmittel gelockert und durch die Kraft von Wasserstrahlen, die unter hohem hydraulischem Druck standen, fortgespült. Die hier gesammelten Erfahrungen können zum Anhalt dienen, um andere ähnliche, wenn auch weniger günstige Verhältnisse des Vorkommens aufzufinden und technisch zu benutzen.

Weitaus die Mehrzahl der Lagerstätten des Goldes ist so arm, daß sie nicht ausgebeutet werden. Wo man sie bearbeitet hat oft die Tatsache der Gewinnung von Gold zu der Vermutung geführt, daß das betreffende Land reich an diesem Metall sein müsse. Doch wird sich der sorgfältige Reisende überzeugen, daß der Gewinn in der großen Mehrzahl der Fälle geringer ist als der Tagelohn in derselben Gegend. Häufig beschäftigen sich die Eingeborenen mit Goldwäschen nur in der Jahreszeit, in welcher die Feldarbeit ihnen nicht genügenden Verdienst gewährt, und werden durch die kleine Ausbeute an edlem Metall gerade nur in den Stand gesetzt, ihr Leben zu fristen. Man sollte in solchen Fällen untersuchen, ob der Grund des geringfügigen Gewinnes in der Anwendung unvollkommener Methoden liegt. Durch Benutzung der Kraft schnell strömenden Wassers an Stelle der menschlichen Arbeit kann man gewiß häufig, auch ohne sich zu den großen hydraulischen Anlagen Kaliforniens zu versteigen, die Kosten verringern. Es ist daher bei der Untersuchung von goldführenden Ablagerungen darauf zu achten, ob die Einführung einer solchen Kraft möglich sei, und wenn dies der Fall ist, ob die Kosten und Schwierigkeiten im Verhältnis zu dem Reichtum der Ablagerung stehen. Wer Übung hat, kann aus der Menge des Goldes, das in je einer Pfanne von bestimmtem Inhalt aus dem von verschiedenen Stellen entnommenen Boden ausgewaschen wird, den Goldgehalt der Ablagerung mit annähernder Richtigkeit in Zahlen ausdrücken. Den Schwankungen derselben muß dabei Rechnung getragen werden.

Zinnführendes Schwemmland kommt in einzelnen Gegenden vor. Der Zinnstein findet sich darin in runden Körnern von verschiedener Größe. Die Auffindung neuer Lagerstätten von Schwemmozinn, welche gewöhnlich auch zur Entdeckung des Ursprungsortes führt, wäre von bedeutendem praktischem Interesse.

Eisenführendes Schwemmland ist so weit verbreitet als das Schwemmland selbst. Doch ist das Eisenerz (Magnet Eisenstein, Titaneisenstein und Roteisenstein) selten so konzentriert, daß es technisch abbauwürdig ist. Der Gegenstand verdient mehr Berücksichtigung als er bisher erfahren hat.



4. Andere nutzbare Produkte des Mineralreiches.

[§295] Außer den Steinkohlen und den Erzen, auf welche der Blick des Reisenden sich in erster Linie richtet, wenn er mit den geologischen Beobachtungen praktische Ziele verbindet, birgt das Mineralreich noch eine Reihe anderer Produkte, welche unter günstigen Umständen über den eigenen Bereich ihres Vorkommens hinaus nutzbar gemacht werden können. Auch wenn dies in unmittelbarer Aussicht nicht steht, sollte man sie beachten, zumal ihr Vorkommen stets auch ein wissenschaftliches Interesse bietet. Einen Anhalt geben auch hier zunächst diejenigen Mineralstoffe, welche in der Industrie des bereisten Landes und im täglichen Leben Verwendung finden; man sollte deren Fundorte und natürliches Auftreten kennen zu lernen suchen.

Edelsteine haben ihre ursprüngliche Lagerstätte im festen Gestein und sind in diesem meist sehr sporadisch zerstreut, so daß ihre Gewinnung aus demselben schwierig und kostspielig ist. Dennoch ist sie bei einigen, wie z. B. dem edlen Opal, dessen Vorkommen man nur in Tuffen jungeruptiver Gesteine kennt, darauf beschränkt. Die meisten Edelsteine kommen außerdem auf sekundären Lagerstätten, im Schwemmland, vor. Diejenigen, welche sich durch große Härte auszeichnen, leisten der Zertrümmerung und Abreibung Widerstand und können daher als größere Stücke von sandigen und erdigen Sedimenten eingeschlossen werden. Wenn sie gleichzeitig höheres spezifisches Gewicht als die gewöhnlichen Bestandteile des Schwemmlandes besitzen, unterliegen sie einer Aufbereitung und sammeln sich vorwiegend an einzelnen begünstigten Stellen an. Indessen scheint die Bildung eines lediglich aus Fragmenten von Edelsteinen nebst einzelnen Erzstücken von größerer Härte bestehenden Sandes sich nur durch die unablässige Aufbereitung auf dem Brandungsstrand, wo auch Zertrümmerung stattfindet, zu vollziehen. Im Schwemmland der Festländer geht die Zusammenführung wohl niemals so weit. Doch enthält dasselbe in solchen Ländern, wo es überhaupt Edelsteine als Erosionsprodukte aufnehmen konnte, an manchen Stellen eine weit größere Menge von ihnen als an anderen. Man gewinnt sie zum Teil durch Schlemmen, ähnlich wie Gold und Zinnstein. Dies gilt besonders von dem Diamant. Die bisher bekannten Lagerstätten der genannten Art geben den wichtigen Fingerzeig, daß man dort, wo Edelsteine im Schwemmland überhaupt angetroffen werden, eine größere Menge derselben zu finden hoffen darf. Von Interesse, aber nicht von praktischer Wichtigkeit, ist es in allen derartigen Fällen, die Gesteine aufzusuchen, aus welchen die edlen Mineralien stammen.

Von denjenigen Mineralien, welche man außerdem noch zu Schmucksteinen verwendet, stehen an Interesse die bei den Chinesen als Yü, in Europa als Jade bezeichneten Varietäten von Nephrit voran. Ihrer Härte wegen behalten sie in den Schuttmassen der Gebirgsgewässer die Gestalt großer, völlig gerundeter Blöcke und werden auf der altberühmten Lagerstätte bei Khotan, vorwiegend, auf der später entdeckten in Ober-Birma ausschließlich in dieser Form gewonnen. Der Herstattungsort im festen Gestein ist an letzterem Ort unbekannt, an ersterem zum Teil aber bisher noch unvollkommen, erforscht worden. In beiden Gegenden sind weitere genaue Untersuchungen erwünscht. Außerdem sind noch einige andere Vorkommen von Nephrit, insbesondere in Neu-Seeland, bekannt. Jeder fernere Fund ist von Interesse. — Ähnlich verhält es sich mit dem Bernstein, dessen wenige außereuropäische Fundstätten noch fast unerforscht sind.

Unter den technisch verwendbaren Mineralstoffen spielt der Graphit eine nicht unwesentliche Bolle. Er bildet mehr oder weniger mächtige schieferige Einlagerungen in Gneis, körnigem Kalkstein und Glimmerschiefer, kommt aber auch in weniger stark metamorphosierten Schichten vor. Er kann durch Umwandlung von Steinkohle entstehen; ob er immer daraus entstanden ist, ist ein Problem von gleicher Wichtigkeit mit der Frage, ob mächtige Kalksteine nur durch Mitwirkung organischer Tätigkeit niedergeschlagen werden konnten; denn beide Fragen hängen

mit der zusammen, ob in dem archaischen Zeitalter organisches Leben existiert hat. Man begegnet Lager von Graphit nicht selten und sollte sie stets eingehend untersuchen. Bezüglich der technischen Verwertbarkeit gibt man sich leicht Illusionen hin, da die besten Sorten einen sehr hohen Handelswert besitzen. Bei den minder guten fällt dieser schnell auf einen sehr geringen Betrag herab, und gerade die größeren Lagerstätten enthalten unreinen, gewerblich nicht verwendbaren Graphit.

Der Schwefel ist das technisch wichtigste Produkt der vulkanischen Tätigkeit. In Gegenden wo diese noch fort dauert, und ebenso in solchen wo sie erloschen ist, findet man ihn an die Zersetzungsprodukte der Solfataren (§ 250) gebunden. Doch sind wenige Lagerstätten bedeutend genug, um die Ausbeutung zu lohnen. Die Auffindung neuer, ergiebiger und gut gelegener Stätten würde von hohem Wert sein. — Weit seltener ist das Vorkommen des Borax, oder auch der freien Borsäure. Das Ausströmen der letzteren in Toskana und das außerordentlich bedeutende Auftreten des Borax in dem von alten Vulkanen überragten Clear Lake Kaliforniens und in dem Boden der Umgebung desselben, machen es wahrscheinlich, daß die massenhafte Produktion dieser Substanzen auf der Ausscheidung und der Stoffumsetzung an vulkanischen Herden beruht. Da bis in die Neuzeit Tibet das Land gewesen ist, von welchem fast die Gesamtmasse des in den Handel kommenden Borax stammte, würde es von großem Interesse sein, die dortigen Lagerstätten, welche sich ebenfalls in Seen und salzigen Inkrustationen zu befinden scheinen, kennen zu lernen.

Man sollte überall zu erkunden suchen, woher die Eingeborenen das Steinsalz beziehen. Es wird zum Teil aus dem Meerwasser, zum Teil aus Krusten im Boden ausgetrockneter Salzseen, zum Teil aus Salzsole, die dem Boden in Gestalt von Quellen entströmt, oder durch Bohrlöcher erreicht wird, zum Teil aus festen Steinsalzkörpern gewonnen. Die Bewohner kennen in der Regel fast jedes zur Ausbeutung geeignete Vorkommen. Dem Reisenden bleibt die Aufgabe weiterer Erforschung desselben. In den meisten Fällen aber kann diese nur durch kostspielige Arbeit geschehen.

Es ist bereits auf das Interesse hingewiesen worden, welches die Salze der Steppen bieten. Es möge hier besonders des Natronsalpeters gedacht werden, dessen Hauptfundstätte die trockenen Westgehänge der Anden von Chile und Peru sind. Seine Herstammung ist Gegenstand mancher Spekulationen gewesen. Man hat aus den in dem eisernen Hut der Silbererzgänge derselben Gegenden in großer Menge vorkommenden Chlor- und Jod-Verbindungen, im Verein mit dem Auftreten von Salzen, unter denen das genannte die erste Stelle einnimmt, den Schluß gezogen, daß jene Gebirge in einem kurz vergangenen Zeitalter bis zur Höhe von mehreren tausend Metern vom Meer bedeckt gewesen seien. Da dies aus anderen Gründen wenig Wahrscheinlichkeit hat, ist zu untersuchen, ob nicht die beständige Zufuhr von Meeressalzen durch die fast ununterbrochen wehenden Südwestwinde (§ 192) den angegebenen Effekt auf die Ansammlung von Salzen und die Umwandlung der Erze hervorgebracht haben könne. — In denselben Gegenden spielt der 'Guano eine Bolle, da er sich in dem trockenen Klima durch lange Perioden ansammeln und erhalten kann. Wo die Seevögel ähnliche Existenzbedingungen finden, die Trockenheit aber zuweilen durch etwas Regen unterbrochen wird, dürfte die Auslaugung des Guano zur Bildung phosphorsaurer und salpetersaurer Verbindungen Anlaß geben. Der ebenfalls technisch wichtige phosphorsaure Kalk dürfte wenigstens in einzelnen Fällen derartigen Vorgängen seine Entstehung verdanken.

Die Zersetzungsrückstände der Gesteine sind im Vorhergehenden mehrfach genannt worden. Abgesehen von der Wichtigkeit der daraus hervorgehenden Bodenarten für Vegetation und Landwirtschaft, haben die Töpfertone und die Porzellanerde eine technische Bedeutung. Bei den

ersteren ist sie meist örtlich, während die letztere einer Industrie von allgemeinerem Interesse dient. Die Porzellanerde kann aus verschiedenen Gesteinen durch Zersetzung mittelst der aus der Atmosphäre zugeführten Agentien entstehen, insbesondere aus Granit und Porphyr. Die kräftige Einwirkung vulkanischer Ausströmungen vermag sie auch aus anderen Gesteinen zu schaffen. Meist bildet die Porzellanerde einen Bestandteil zersetzter Gesteinsmassen und muß durch Schlemmen daraus gewonnen werden. Alle zur feineren Töpferei und zur Porzellanfabrikation, insbesondere auch zur Herstellung der Glasur verwendeten Materialien sollten nach Beschaffenheit, Lagerstätten und, wo möglich, Entstehungsart untersucht und gleichzeitig gesammelt werden.

Es sei hier endlich der flüssigen Kohlenwasserstoffe gedacht, welche seit wenigen Dezennien eine so große Rolle im Welthandel und im Haushalt der Menschen spielen. Das Petroleum oder Erdöl findet sich als Imprägnation von Schiefern, Sandsteinen und Kalksteinen, und dies muß als seine ursprüngliche Lagerstätte betrachtet werden, auf der es sich aus organischen Substanzen gebildet hat. Zuweilen ist es an der Oberfläche kaum wahrnehmbar, nimmt aber gegen das Innere und die Tiefen hin an Menge zu. Außerdem begegnet man ihm auf sekundärer Lagerstätte, indem es dem Gestein langsam entströmt und eine schwärzliche Schicht auf dem Wasser von Quellen und Tümpeln bildet. Schöpft man sie ab, so wird sie bald wieder ersetzt. Ebenso kommt das Erdöl in dem Schlamm und dem Wasser der Schlammvulkane vor. In jedem derartigen Fall darf man annehmen, daß an dem Herstattungsort, d. h. in gewissen Gesteinen, insbesondere gegen die Erdtiefen hin, größere Massen vorhanden sind. Wiederholen sich die Anzeichen an der Erdoberfläche an vielen Stellen, und strömt brennbares Gas aus, so darf jener Schluß mit erhöhter Sicherheit gezogen werden. Aber die Möglichkeit gewinnbringender technischer Ausnutzung läßt sich allein durch Bohrversuche entscheiden; die sorgfältigste Erforschung an den der Beobachtung zugänglichen Stellen ist immer nur vorbereitende Arbeit.

Es würde zu weit führen, alle nutzbaren Stoffe des Mineralreiches hier einzeln zu behandeln. Der Begriff ist, wie bemerkt, kein absoluter. Vieles, wie z. B. die zum Bauen und zur Ornamentik verwendeten Gesteine, dient nur den Zwecken eines Ortes oder einer engbegrenzten Gegend. Manches auf ein kleines Gebiet beschränkte Gewerbe, wie die Glasindustrie, die Steinschleiferei, die Herstellung von Gegenständen aus Marmor, Alabaster, Serpentin, Speckstein, Bergkristall und anderen Mineralien, gründet sich auf das lokalisierte Vorkommen eines Minerals, oder die besonders brauchbare Abart eines Gesteins. Was in vorhergehenden Kapiteln wiederholt hervorgehoben wurde, gilt auch hier: Keine Erscheinung darf dem Forschungsreisenden zu geringfügig sein; auf jede muß er sein Auge richten; der geübte und geschärfte Blick vermag oft in dem Kleinen das Fundament zu finden, um Größeres richtig zu beurteilen und durch oft wiederholte sorgfältige Kombination weittragende Schlußfolgerungen zu ziehen.

