

Rinnen- und Furchennivation - Gestalter ökologischer Kleinräume in und an der Frostschuttstufe mediterraner Hochgebirge

Ludwig Hempel

1. Problemstellung

In den mediterranen Hochgebirgen der Alten Welt stoßen verschiedene morphodynamische Bereiche aneinander: Starkregenabtragung, Schneeschmelzvorgänge und frostmorphologische Prozesse. Die letzteren sind mit besonderem Gewicht seit langem Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen, und zwar meistens im Zusammenhang mit Fragen der Vorzeitformung, speziell während des Jungpleistozäns, und in Kombination mit Studien zur Vergletscherung und Paläoklimatologie der Mittelmeerlande.

Den Abtragungs- und Aufschüttungsvorgängen und -formen durch Starkregen und Schneeschmelze ist relativ wenig Beachtung geschenkt worden. Das mag vor allem daran liegen, daß viele mediterrane Hochgebirge aus Kalkgesteinen aufgebaut sind, die infolge hoher Versickerungsraten geringe Abtragungsspuren durch oberirdisch abfließendes Wasser aufweisen. Somit wird das Reliefbild in erster Linie vom Phänomen des Karstes geprägt. Überdies sind die Erosionsspuren auf den von Garrigue oder Phrygana bedeckten Hängen optisch schwer auszumachen. Erst in den sogenannten Stufen der „alpinen Matten“ ergeben sich vom Bewuchs her Möglichkeiten, die Abtragungsvorgänge durch Regen und Schneeschmelze besser zu beobachten.

Die besondere Schwierigkeit in diesen Höhenbereichen liegt aber wiederum in der Tatsache, daß sich in dieser Stufe gleichzeitig der periglaziale Formenkreis ausbreitet, so daß Formen des einen oder anderen morphologischen Vorganges oft schwer eliminiert werden können. Das Problem liegt insbesondere darin, daß verschiedene morphologische Prozesse konvergente Reliefscheinungen hinterlassen. Am auffälligsten ist das bei jenen steileren Hängen zu beobachten, die unter dem Begriff „Glatthang“ zusammengefaßt wurden. Der auslösende Faktor für die Konvergenz der Reliefgestaltung ist das Überwiegen der gravitativen Kräfte gegenüber anderen. Das Ergebnis sind linienhafte, von oben nach unten oft gerade verlaufende Abtragungsfiguren. Sie sind so zahlreich und vergesellschaftet, daß sie das Landschaftsbild in der alpinen Stufe mediterraner Hochgebirge bestimmen. Besonderes geographisches Gewicht bekommen diese geomorphologischen Formen dadurch, daß an sie auch ökologisch signifikante Erscheinungen geknüpft sind. Diese Tatsache gibt Anlaß, die Studie dem Jubilar Ernst BURRICHTER zu widmen, der bereits 1961 einen kritischen Beitrag zur Ökologie mediterraner Landschaften am Beispiel der Waldverhältnisse auf Korsika geliefert hatte.

2. Beobachtungen in ausgewählten mediterranen Hochgebirgen

Die geschilderten Abtragungsvorgänge hinterlassen in hängigen Lagen der Gebirge verschiedene linienhafte Formen. Der Starkregen schafft Spülrinnen, die Schneeschmelze bildet Nivationshohlformen, und die Frostdynamik formt Stein- und Erdstreifen. Diese sich ähnelnden Formen werden von der Gesteinsstruktur nur modi-

fiziert. Eine bekannte Ausnahme sind die Verkarstungsvorgänge. Sie erschweren vergleichende Aussagen von Standort zu Standort, wie die Arbeiten u.a. von HAGEDORN (1969; 1978) oder POSER (1976b) zeigen. An einzelnen Hochgebirgen des europäischen Mittelmeerraumes sollen die Probleme dieser Streifung und ihre Bedeutung für geomorphologische Höhengrenzen aufgezeigt werden.

2.1 Formen am Thessalischen Olymp (Griechenland)

In den Untersuchungen und minutiösen Beschreibungen auch der kleineren Formen auf dem Thessalischen Olymp von WICHE (1955/56) taucht als eine auffallende Erscheinung die Streifung der Hänge in Höhen über 2 000 m NN auf (Photo 1). Es ist der Bereich, der über der obersten Waldstufe liegt. Sie wird auf der Nord- und Ostabdachung von der Panzerföhre (*Pinus leucodermis*) und auf der Süd- und Westseite von der Apollotanne (*Abies cephalonica* ssp. *apollinis*) bzw. der Panzerföhre gebildet.

WICHE (1955/56) hat die würmeiszeitliche Schneegrenze mit 2.350 m NN bestimmt. Pleistozäne Frostverwitterung und -abtragung haben ihre Spuren bis zur Baumgrenze hinterlassen. Neben mehr oder weniger gut ausgeprägten Steinringen sind vor allem Girlandenböden und Steinstreifen Zeichen frostdynamischer Aktivitäten. Während die Girlandenböden nahtlos in das Verbreitungsmuster in anderen griechischen Hochgebirgen passen (vgl. HAGEDORN 1969), werfen Ausbildung und Vorkommen der Steinstreifen Probleme auf. Sie sollen Gegenstand dieser Untersuchungen sein.

WICHE (1955/56, S. 30) hat die Streifung an den Hängen des Olymps dem gegenwärtigen Platzregen zugeschrieben. Dagegen konnte der Verfasser (HEMPEL 1972) an einigen Beispielen nachweisen, daß neben Starkregen mediterraner Prägung vor allem auch



Photo 1: Westflanke des Thessalischen Olymps (Griechenland) von ca. 2 000 m bis 2 900 m NN; Streifenmuster an allen Hängen mit mehr oder weniger deutlicher Vegetationsmarkierung (Einzelheiten vgl. Text) (Ludwig Hempel, September 1970).

Schneeschnmelzwasser formenbildend tätig ist. Die Vorgänge gehören in die von BERGER (1967) aufgestellte Reihe der Nivationsformen, die linear ausgebildet sind. Sie werden in Nivationsrinnen (=Schneerieselwasserrinnen), Nivationsfurchen (= Schneeschmelzwasserfurchen) und Nivationstälchen (= Schneemuldentälchen) gegliedert. Daß in der Höhenstufe vorzeitlicher und gegenwärtiger frostdynamischer Prozesse dem Phänomen der Schneeschmelze als formenbildendem Faktor besonders in mediterranen Hochgebirgen große Bedeutung beigemessen werden muß, konnten HÖLLERMANN (1982, S. 154-160) auf Teneriffa und POSER (1957; 1976a und b) auf Kreta nachweisen.

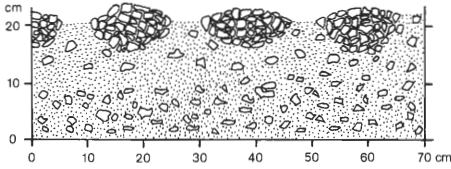
In den sehr detaillierten Angaben der beiden genannten Autoren zur Nivationsformung sind Zusammenhänge in einem größeren Formen- und Formungsverband nicht behandelt worden. Dies dürfte an den lokalen Gesteinsverhältnissen und der Orographie der Untersuchungsgebiete liegen.

Am Olymp erlauben lange Hangpartien über große Höhendistanzen (etwa 800 m) zusammenhängende Beobachtungen aus der gegenwärtigen Frostschnittstufe bis zur heutigen Waldgrenze.

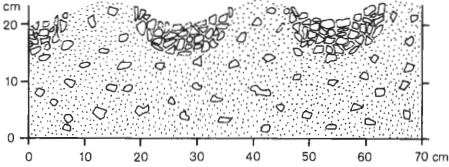
Die Reihe beginnt mit Strukturbodenformen auf der von dolomitischem Kalk gebildeten Bara-Hochfläche in rund 2.400 m NN. Wie schon WICHE (1955/56, S. 30/31) beobachtete, handelt es sich um „kleine Steinringe, mit hochkant gestellten Kalkblättchen im Zentrum und größeren flachliegenden Scherben an den Rändern“ (S. 31). Der Durchmesser beträgt ca. 0,5 m. Der geringe Tiefgang erklärt sich als Ergebnis kurzfristigen Frostwechsels. Ihre Ausprägung ist nur selten gut. Das liegt z.T. daran, daß auf den Verflachungen weidende Ziegen- und Schafherden – wie die Losung zeigt – Initialformen zertreten. Sie sind nämlich fleckenhaft Standorte dichterere Mattenvegetation (*Festuca cyllenica*; *Sesleria nitida*; *Sesleria coerulans*). Wenn man sich in das Bild der zertretenen Formen „eingelassen“ hat, bemerkt man die häufige Verbreitung. Sie reicht auf allen Hangabsätzen und kleineren Plateaus bis zu den Gipfeln über 2.800 m NN.

In Randlage von Flachteilen sind einige Steinringe zu mehr länglichen Gebilden ausgezogen. An anderen Stellen sind streifige Figuren zu beobachten (z.B. Übergang der Bara-Fläche in muldige Hangzonen über dem Talanfang des Sparmios = 200 m südl. Punkt 2.473 m NN; Hangzone oberhalb des Odas nahe Punkt 2.588 m NN). Neben der unmittelbaren Anbindung an Steinringe weist auch die Aussortierung nach feinerem und größerem Kalksteinschutt sie als periglaziale Erscheinungen aus. Die Formen sind wohl in den Dimensionen, nicht aber in der in der Zeichnung ausgewiesenen Qualität identisch mit jenen, die HAGEDORN (1969, Abb. 29 und 30) als Erdstreifen in der Giona in ca. 2340 m NN bei ähnlicher Hangneigung abgebildet hat (Fig. 1.1). Gegenwärtig abfließendes Schneeschnmelzwasser spielt in dieser Hanglage ohne Zweifel eine besondere Rolle, in dem die streifigen Ansammlungen größeren Schutts – obwohl einige Zentimeter höher liegend – nachhaltiger durchspült werden als die erdigen, mit Feinschutt ausgestatteten Partien in der Nachbarschaft. Das Schneerieselwasser bevorzugt in erster Linie jene Schutt Komplexe, die durch die lockere Lagerung Spülwege eröffneten. Dazu hat sicherlich auch die Pflanzendecke beigetragen. Der nahezu geschlossene Bestand von *Festuca* und *Sesleria* auf den Feinerdestreifen erschwert die Spülabtragung. Der sehr lückenhafte Bewuchs auf den steinigen Streifen eröffnet dagegen Abflußbahnen. Allerdings sind an den kleinen Anrissen der Rasen auf den Feinerde- und Feinschuttstreifen hangabwärts gerichtete Bewegungen ablesbar, die offensichtlich rascher als die starr wirkenden Grobschuttstreifen ablaufen. Über die Größenordnungen kann man nichts sagen. HÖLLERMANN (1982, S. 85) rechnet für die Formungen in ähnlicher Situation am Teide Teneriffas mit einem 2-3 mal so hohen Bewegungsablauf.

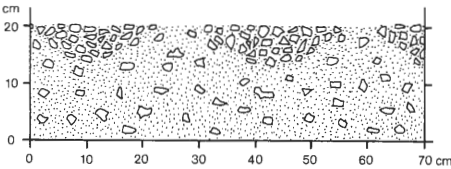
Insgesamt bildet sich auf diese Weise das weitflächig verbreitete Streifenmuster an den Hängen des Thessalischen Olymps, das bis zur oberen Grenze des Waldes zu verfolgen ist. Daraus könnte mühelos der Schluß gezogen werden, daß die heutigen frostdynamischen Formenbildungen mindestens bis rund 2000 m NN herabreichen. Gemes-



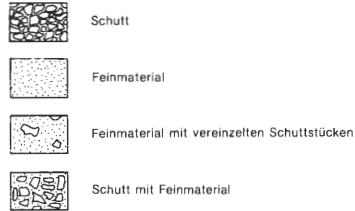
Periglazialform:
Schwebende Steinstreifen
(aus: HAGEDORN 1969, Abb. 30)



Nivationsform:
"Steinstreifen" durch Schneerieselwasser zu einer
Nivationsrinne freigespült



Periglazialform, dekapiert:
Durch Nivation abgetragene, nach BROSCHE (1978, Fig. 5)
schwebende Steinrahmen



Entwurf Ludwig H. mp. I Zeichnung J. in H. mp. I

Figuren 1.1-3: Miniaturformen der Stein- und Erdstreifen.

sen an den periglazialen Stufen anderer griechischer Hochgebirge und insbesondere an den Untergrenzen der Strukturböden von Giona (2 350 m NN), Parnaß (2.350 m NN), Chelmos (2 300 m NN) und Ziria (2 150 m NN), wie sie HAGEDORN (1969, Tab. 4, S. 129) zusammengestellt hat, würde eine solche Lage durchaus möglich sein. Bei genauerem Studium der Streifenmuster allerdings kann ein solcher Schluß nicht aufrecht erhalten werden. Unabhängig von der Höhenlage und offensichtlich eher von orographischen Verhältnissen abhängig wechseln die Schuttstreifen ihr Profil. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit aller Beobachtungsmöglichkeiten seien hierfür folgende Beispiele angeführt: auf dem Skamnia zwischen 2 200 und 2 400 m NN; auf der Bara zwischen 2 100 und 2 200 m NN oberhalb der Militärstation; auf dem Odas bei 2 300 m NN.

Die Streifen mit größerem Schutt bilden die tieferen Rinnen, die mit mehr Feinmaterial und gemischt-großen Schuttscherben sind erhaben (Fig. 1.2). Prüft man die Anteile der Schuttbestandteile in beiden Komplexen, so stellt man gleiche Verhältnisse vom feineren bis zum größeren Schutt fest. In den Rinnen fehlt lediglich das Feinmaterial (Ton, Lehm). Es ist ausgespült, wobei Schneeschmelzwasser die stärksten Einflüsse ausgeübt hat. Aus dem solifluidalen Steinstreifen ist eine Schneerieselwasser Rinne im Sinne von BERGER (1967, S. 64) geworden. Der Schutt sackt nach Ausspülung des tonig-lehmigen Feinmaterials in sich zusammen und bildet eine seichte Hohlform. Der Abtragungsvorgang scheint sehr unregelmäßig vorzugehen, was offensichtlich sowohl auf die Beschaffenheit der verkarsteten Gesteinsoberfläche unter dem Schutt als auch auf das Verkanten der sackenden Kalkscherben zurückzuführen ist. Nicht selten findet man am Ende eines Nivationsriesels Feinerdeanschwemmungen oder kleine,

wenige Zentimeter hohe Kegel, die sich mit kurzer Lebensdauer in Flachbereichen im Gehänge gebildet haben. Die Abtragung in den hohlen Formen, den Rinnen, wird gegenüber den erhabenen Hangteilen noch dadurch gesteigert, daß sich dort sehr viel Schnee ansammelt.

Diese Strukturen des Schuttmantels – von KLAER (1962, S. 98) für den Hohen Libanon kurz als dort bedeutsam erwähnt – scheinen vor allem im Hinblick auf die Ausprägung von Standortunterschieden wichtig. Biologische Zeugnisse dieser unterschiedlichen Reliefformen und Standorte sind dichte *Festuca*-Rasen mit Sommerblüher wie *Scilla bifolia*, *Corydalis spec.*, *Potentilla deorum*, *Viola spec.* u.a. auf den Hängen und Hochteilen sowie nahezu vegetationslose Verhältnisse in den steinigen Rinnen. Auf Grund der Feuchteverhältnisse sollte man das Umgekehrte erwarten. Lange Andauer der Schneedecke und vor allem die großen Hohlräume in den ausgespülten Rinnen verhindern einen Pflanzenwuchs. Nach Abschluß der Schneeschmelze sowie im Sommer und Frühherbst sind die Nivationsrinnen sehr trocken und dadurch extremeren Temperaturengängen ausgesetzt.

Hangabwärts gehen die Nivationsrinnen in Nivationsfurchen im anstehenden Gesteinsuntergrund mit deutlich erosiven Merkmalen über. Der Riesel „frißt“ sich erosiv und korrosiv regelrecht in seine Spülbettsohle ein. Hier ändern sich die Vegetationsverhältnisse insofern, als infolge des tieferen, bis 1 m betragenden Einschnitts auch den benachbarten höheren Hangpartien das Wasser rascher entzogen wird. Diese Standorte trocken eher aus, die Grasdecke ist schütter und die Zahl der Frühblüher wie *Scilla bifolia*, *Crocus spec.* und *Ornithogalum spec.* nimmt deutlich zu.

Einzelne Nivationsfurchen gehen mit zunehmender Hangneigung in kleine Muldentäler über, die auch in tiefen Lagen um 2.000 m NN lange Zeit Schneefüllungen enthalten. Ihre Entstehung und Weiterbildung verdanken sie aber nicht so sehr den Nivationsvorgängen als vielmehr dem Starkregenabfluß. Er ist in diesen Lagen infolge großer Einzugsgebiete besonders heftig, wie der Verfasser schon früher (HEMPEL 1972, S. 301-314) durch Regelungsmessungen nachweisen konnte.

Zieht man das Fazit aus diesen Beobachtungen, so ergeben sich folgende Aussagen für die Höhengrenzen der Formungsprozesse am Thessalischen Olymp:

1. Auf allen ebenen Partien des Hochgebirges bis 2.400 m NN herab finden sich Steinringe als rezente Strukturformen. Ihre bescheidene Ausprägung entspricht den bekannten Bedingungen auf Kalkgestein. Ihr Erhaltungszustand wird vom Tritt des weidenden Viehs bestimmt.

2. Die Untergrenze der rezenten Steinstreifen bzw. Erdstreifen an den Hängen ist sehr wechselnd und hängt von der allgemeinen Orographie ab. Sie liegt zwischen 2.200 m und 2.400 m NN. WICHE (1955/56) hatte die Hangstreifen – in Unkenntnis ihrer verschiedenen Genesen – als Formen der „Schuttpülung in gestreckten Rinnen“ allein dem Starkregen und der Schneeschmelze zugeschrieben. Im übrigen sind die Streifen bei trockenen Bodenverhältnissen oft sehr schwer zu erkennen, worauf mit einem eindrucksvollen Beispiel schon HÖLLERMANN (1982, S. 84 sowie Bilder 7a und 7b) hingewiesen hat.

3. Nivation spielt bei der streifigen Hanggestaltung des Gebirges vor allem auf der Westseite eine große Rolle. Diese Vorgänge verwischen die Grenzen frostdynamischer Prozesse, so daß paläoklimatische Aussagen – wenn es um genauere Höhenangaben geht – erschwert werden.

2.2 Formen in der Sierra Nevada (Spanien)

Eine spezielle geomorphologische Bearbeitung erfuhr die Sierra Nevada Spaniens letztmals durch BROSCHE (1978). Er hat alle bis dahin veröffentlichten Untersuchungen unter der Fragestellung nach dem rezenten und vorzeitlichen periglazialen Formenschatz verarbeitet. Dazu gehören u.a. die Studien von PASCHINGER (1954), HEMPEL (1958; 1960; 1966), MESSERLI (1965) sowie SOUTADÉ & BAUDIÈRE (1970).

Die Höhenstufung der rezenten periglazialen Formenwelt ist nach den genannten Autoren – kurz skizziert – folgende:

- N-Seite: zwischen 2.000 und 2.200 m NN: kleine Terrassetten; einzelne durchgebogene Vegetationsgirlanden selten;
 ab 2.300 bis 2.400 m NN: Felder von Vegetationsgirlanden (gehemmte Solifluktion, Photo 2) bzw. ungebundener Wanderschutt zwischen Rasen-, Ginster- und Wacholdervegetation;
 ab 2.400 bis 2.500 m NN: zungen- und wulstartige Formen der gebundenen Solifluktion;
 oberhalb 2.700 m NN: schlecht ausgebildete Strukturformen (stark deformierte Ringe, Photo 3);
 um 2.800 m NN: Miniaturstreifenböden.
- S-Seite: ab 2.300 m NN: Rasenterrassetten;
 ab 2.500 bis 2.600 m NN: wulstige bzw. zungenförmige Formen;
 um 2.500 m NN: Miniatur-Strukturböden;
 um 2.600 bis 2.700 m NN: Erdknospen, Feinerdbeete in Schuttpanzern;
 um 2.700 m NN: ausgedehntes Erdstreifenfeld.

Von dieser Formenwelt, die z.T. in kaltzeitlichen Kar- und Nivationsformen verbreitet ist, interessieren die streifigen Erscheinungen. Sie sind fast ausschließlich auf Glimmerschiefergestein ausgebildet und liegen über 2.800 m NN. Schon bei Beobachtungen auf der Nordabdachung der Sierra Nevada 1957 bis 1965, veröffentlicht in HEMPEL (1958; 1966), fielen unter den streifigen Stein- und Erdformen zwei verschiedene Typen auf. Der eine Typ weist in den Streifen echte Sortierungsunterschiede auf. Die Steinstreifen – ca. 0,5 m im Durchmesser – bestehen aus meist senkrecht gestellten, groben Scherben ohne Feinerdteile, während die Erdstreifen bis 0,3 m breit sind und nur wenige Schuttstücke aufweisen. Diese Sortierung reicht bis maximal 0,3 m Tiefe. An den steileren Hängen über 20° wird an diesen Stellen der anstehende Glimmerschiefer erreicht. Auf flacher geböschten Partien liegt über dem festen Untergrund noch eine bis 0,3 m dicke Decke unsortierten Materials. Das Gesamtbild entspricht ganz der von POSER (1933) entwickelten Definition eines rezenten, schwebenden Steinstreifens (vgl. auch Fig. 1.1).

Optisch besonders betont wird diese Sortierung und die Verteilung von grobem und feinem Material durch die Pflanzenbedeckung. Auf den mehr erdigen Streifen wachsen bei einem Bedeckungsgrad um 50% vor allem *Festuca clementei*, *Arenaria aggregata*, *Draba hispanica*, *Jasione* spec. und *Gentiana* spec., während die Schuttstreifen bis auf Einzelexemplare von *Viola* spec., *Draba hispanica* und *Butinia bunioides* nahezu vegetationsfrei sind.

Von diesen relativ schmalen Formen sind als zweiter Typ breitere Stein- und Erdstreifen zu unterscheiden, die nach Metern zu rechnende Abstände bzw. Ausdehnung haben. Sie werden von SOUTADÉ & BAUDIÈRE (1970, S. 727-729) aus Höhen von 3.290 m NN in NW-Exposition bei 20° bis 25° Hangneigung auf Glimmerschiefer beschrieben.



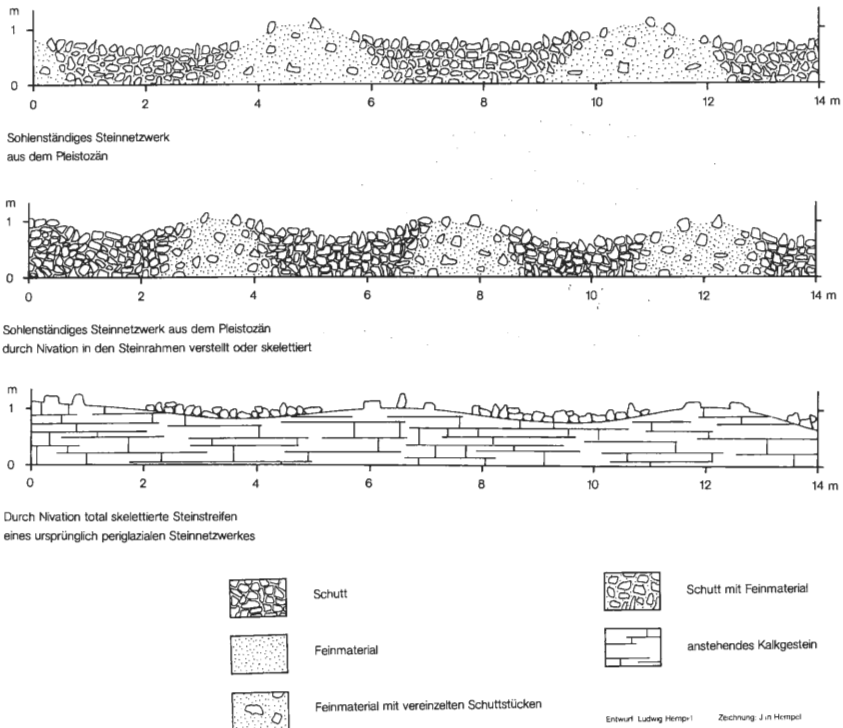
Photo 2: Nordhang der Sierra Nevada (Spanien) unterhalb der Veleta (1 : 3 392 m NN) in ca. 2 800 m NN (tiefer herabreichend bis ca. 2 600 m NN); Felder von rezenten Vegetationsgirlanden (gehemmte Solifluktion) auf Glimmerschiefer (Ludwig Hempel, September 1957).



Photo 3: Nordhang der Sierra Nevada (Spanien) unterhalb der Veleta (3. 392 m NN) in ca. 3 200 m NN; Initialformen der Frostsartierung in Ringen auf Glimmerschiefer (Ludwig Hempel, August 1974).

Die Sortierung reicht bis 0,5 m Tiefe, der Oberfläche des Gesteinsuntergrundes (Fig. 2.1). Es ist ein sohlenständiges Netzwerk im Sinne von POSER (1933). Diese Formen sind – was die großen Leitlinien anbetrifft – fossil. Steinstreifen und Feinerdestreifen sind fertig ausgebildet. Lediglich auf den Erdstreifen kann man gelegentlich frostdynamische Aktivitäten in Form von kleinen Erdknospen erkennen. Sie haben die Grasdecken insbesondere von *Festuca* in Minigirlanden versetzt. Im übrigen sind die Angaben und die Zeichnung dieser Formen von SOUTADÉ & BAUDIÈRE (1970, S. 729 und Tab. III) in Bezug auf die Stellung der Blöcke und Steine in den Steinstreifen, im Vergleich mit den Geländebefunden 1974, unkorrekt. Es liegen höchstens 30% auf Kanten, 70% liegen mehr auf der plattigen Seite. Das zeigt auch das veröffentlichte Photo (p XXX c). Damit ergibt sich ein Hinweis darauf, daß die ursprünglich ohne Zweifel auf frostdynamische Sortierungsvorgänge zurückzuführende Anordnung nachträglich verändert wurde.

Daß sich solche sekundären Einflüsse auf ehemals solifluidal gebildete Steinstreifen recht kräftig ausgewirkt haben können bzw. noch auswirken, zeigen die Beobachtungen in der unmittelbaren Nachbarschaft. Dort sind die sohlenständigen Steinnetzwerke – ihrer wenigen Feinerde beraubt – zu Hohlformen rinnenförmig um ca. 10-15 cm „ingesunken“ (Fig. 2.2). Sie sind bevorzugt Bahnen des Schneesmelzwassers. Das heutige orographische Bild entstammt somit gegenwärtigen Nivationsvorgängen. Die Schmelzwasserriesel befreien die locker gestellten Steine in den Streifen von Feinerde-
resten und verstellen sie auf diese Weise (Photo 4). Von der Gründlichkeit solcher Spülvorgänge konnte ich mich im Frühjahr 1958 und in verschiedenen Jahreszeiten 1960, 1966 und 1974 überzeugen. Darüber hinaus ist es auch denkbar, daß durch Bewegung und Druck der aufliegenden Schneemassen die Schuttstücke stellenweise verrutscht



Figuren 2.1-3: Makroformen der Stein- und Erdstreifen.



Photo 4: Nordhang der Sierra Nevada (Spanien) am Mulhaćen (3 478 m NN) in ca. 3 400 m NN; fossile Streifen, von Nivationsvorgängen deformiert, teils nur freigespült (Ludwig Hempel, September 1959).



Photo 5: Nordflanke der Sierra Nevada (Spanien) zwischen 2 600 und 3 000 m NN; Schneefelder (größer 2 m mächtig) und Wächten an ostexponierten Kanten und Talhängen (ca. 4-5 m mächtig) als Ausgangsgebilde für Abtragung durch Schneedruck (Ludwig Hempel, April 1959).

sind. Nach den Angaben bzw. Messungen von BERGER (1967) beginnen Schneegleiten und -rutschen schon bei Hängen ab 20° Neigung (Fig. 4, S. 31). Der Schneedruck erreicht bei Schneehöhen von z.B. 110 cm etwa 280 kg pro m² und kann je nach Alterung gegen Winterende über 400 kg/m² ausmachen. Solche Schneehöhen sind von der Sierra Nevada, insbesondere an den in Frage stehenden Hängen, gemessen worden (Photo 5). Auch die Monatswerte der Temperaturen – maßgeblich mitverantwortlich für die Konservierung von Schnee – ergeben (nach den gemessenen Werten auf der Albergue Universitario in 2.500 m NN) für Höhen um 3.000 m NN und 3.200 m NN nur 4 bzw. 2 Monate mit positiven Durchschnittswerten:

Sierra Nevada				
	2500 m	3000 m	3200 m	NN
Januar	- 6,6	- 9,6	- 10,8	
Februar	- 3,8	- 6,8	- 8,0	
März	- 1,5	- 4,5	- 5,7	
April	- 1,5	- 4,5	- 5,7	
Mai	2,2	- 1,2	- 5,4	
Juni	6,9	3,9	- 0,3	
Juli	10,1	6,6	2,4	
August	10,7	7,2	3,0	
September	6,8	3,3	- 0,9	
Oktober	1,7	- 1,3	- 5,5	
November	- 1,3	- 4,3	- 8,5	
Dezember	- 3,2	- 7,2	- 11,4	

Wenn man weiter bedenkt, daß rund 80% des Niederschlags in den kalten Monaten fallen und die Gesamtjahresmenge laut Tabelle von MESSERLI (1965, S. 35 und Fig. 6), zitiert nach BROSCHE (1978, Tab. 9, S. 133), zwischen 1.200 und 2.400 mm liegt, so dürften Schneehöhen von zeitweise 2 m in weitflächiger Verbreitung keine Seltenheit sein. Die entstehenden Drucke erreichen pro m² eine halbe Tonne. Ihre Andauer dürfte, gemessen an den Angaben von PRILL (1955), für Höhen um 2.000 m NN ca. ein halbes Jahr betragen.

Was für die Hänge an der Veleta (3.392 m NN) gilt, trifft auch für einzelne undeutliche Streifenflecken auf dem Cerro de los Machos (3.327 m NN) und dem Hauptgang (W) des Mulhaén (3.478 m NN) zu. Auch die streifigen Großformen innerhalb der Schuttdecken auf der Südabdachung des Mulhaén vor allem oberhalb von Blockzungen (vgl. BROSCHE 1978, S. 37, S. 81) sind, was die heutige Grob-Feinmaterialverteilung anbetrifft, in erster Linie auf Nivationsvorgänge (= Schneerieselwasser) zurückzuführen. Das bedeutet, daß die Grundformen der Schutt- und Blockzungen nicht jetztzeitigen Abtragungsprozessen entstammen. Insofern stimme ich eher der Meinung PASCHINGERS (1957, S. 203) als der von BROSCHE (1978, S. 83) zu.

Im übrigen ist die Vegetation ökologisch bemerkenswert signifikant. Im Grobschutt der nivalen Stufe der „Geröllflur“ sind mit den geschlossenen Arealen *Festuca spec.* die Endemiten *Potentilla nevadensis*, *Ranunculus glacialis*, *Linaria glareosa* oder *Plantago nivalis* nur verstreut in Einzelexemplaren vertreten. Dagegen bilden im Feinschutt und auf den Erdstreifen *Pyrethrum hispanicum* mit seinen Kriechtrieben sowie die kriechende Kreuzifere *Ptilotrichum purpureum* neben *Festuca*-Arten ausgedehntere Bestände.

Das Fazit: Die geschilderten Großformen können nicht als Indikatoren für gegenwärtige solifluidale Formung benutzt werden. Damit entfällt auch ihre Verwendung bei Fragen zur Lage von rezenten Frostformengrenzen.

Anders ist das bei Streifenmustern in gleicher Höhenlage, die als Miniaturformen ausgebildet sind. BROSCHE (1978, S. 78/79 und Fig. 5) beschreibt und zeichnet am El Chorillo in 2.710 m NN und bei 3,5° Hangneigung (Südseite des Hauptkammes der Sierra Nevada) ein Feld von 50 m mal 80 m, in dem Erdstreifen im Glimmerschiefer liegen. „Schwebende Steinrahmen reichen 7-8 cm in die wellblechartig hochgewölbte Schutt-Erdmasse hinein“, wie BROSCHE berichtet. Das auffallende ist, daß ein Sortierungshorizont fehlt. Genau die gleichen Beobachtungen kann man an anderen Stellen des zentralen Hochgebirges machen. Auf nordexponierten Hängen liegen Steinstreifen aus Glimmerschiefer mit einem Tiefgang von 10-15 cm und einer Breite von bis 30 cm – heute frostdynamisch „wurzellos“ – in oft 100 m² großen Feldern (Fig. 1.3). Diese Hänge liegen in den höchsten Karen der Sierra Nevada (vgl. HEMPEL 1958, Karte Abb. 1, S. 271). An diesen Hängen tritt auch bei flachen Neigungen im späten Frühjahr und Frühsommer ein reger Spülprozeß ein. Das Schneeschmelzwasser rinnt phasenweise je nach Wetterlage so heftig ab, daß dabei nicht nur die erdigen Partikel mitgenommen werden, sondern auch kleine Steine hangabwärts transportiert werden. Anschwemmungen in verschiedenster Größe am unteren Hangauslauf zum alten Karboden belegen die Aktivitäten des Schneerieselwassers. Die Bogenlängen der Schutt-Feinerde-Fächer reichen von 20 cm bis 70 cm. Ihre Oberfläche wird dekapitiert. Damit fehlt heute der Sortierungshorizont, das Wahrzeichen einer solifluidalen Genese. Wahrscheinlich werden von diesen fluvialen Abtragungen auch die steinigen Streifen angegriffen. Durch Sickerspülung im lockeren Schuttverband können die ursprünglich mehr kantig gestellten Schuttstücke verschoben worden sein. Die Steinstreifen fallen jedenfalls durch eine mehr plattige Lage des Schutts auf. Das ist auch in der Abb. 36 bei BROSCHE (1978, S. 78) gut zu erkennen.

Die geschilderten Zustände auf dem Karboden scheinen sehr lange Zeit im Jahr anzudauern. Darauf weisen Zeigerpflanzen der Schneetälchenflora hin wie *Saxifraga nevadensis* und *Ranunculus acetosellaefolius* bzw. *glacialis* sowie das rasenbildende *Galium nevadense*.

Es bieten sich zwei Erklärungen an. Diese Lage kann einmal auf eine nachträgliche Veränderung eines ursprünglich voll ausgebildeten oder in Ausbildung begriffenen Frostmusterbodens hinweisen. Damit hätte man bezüglich der Grenzen frostdynamischer Prozesse in der Sierra Nevada einen verwendbaren Indikator. Zum anderen kann das Fehlen eines Sortierungshorizontes auch dadurch erklärt werden, daß von Anfang an andere, nicht frostdynamische Prozesse das Relief geformt haben. Dafür käme in erster Linie die Nivation in Frage. Die gleichmäßige Anordnung der Einzelformen entspräche dem Formungsrhythmus in relativ homogenen Lockermassen und gleicher orographischer Ausgangsform (Karwand). Damit entfielen die Möglichkeit, aus dem Formenfeld Rückschlüsse auf besondere frostdynamische Höhengrenzen zu ziehen. Ich neige mehr der ersten Erklärung als dekapitierte Frostmusterform zu, weil die Erdstreifen am oberen Rand des Feldes steinärmer sind und daher eine Aussortierung der groben Komponenten wahrscheinlich machen.

Faßt man die Ergebnisse der Beobachtungen in der Sierra Nevada Spaniens zusammen, so kann man folgendes sagen:

1. In Höhen über 2.700 m NN findet man Steinstreifen als Altformen, die der Nivationsformung unterliegen und deren „Feinerde“-Streifen durch gegenwärtig gehemmte Soli-

fluktion verändert werden. Sie sind zur Bestimmung der gegenwärtigen Frostmusterbodengrenze ungeeignet.

2. In gleicher Höhenlage liegen die Miniatur-Streifen-Formen (Stein- oder Erdstreifen). Sie werden gegenwärtig gebildet.

3. In Höhennachbarschaft der unter 1. und 2. genannten Erscheinungen findet man Felder mit streifigen Miniaturformen, denen ein Sortierungshorizont fehlt. Die Nivation ist die derzeit dominante Formungskraft. Hinweise auf eine mögliche Dekapitierung solifluidal angelegter Steinstreifen sind vorhanden. Diese Vorkommen sollten bei der Höhengrenzangabe ausgeklammert werden.

2.3 Hinweise auf Formen in anderen Hochgebirgen: Peloponnes und Kreta

2.3.1 Peloponnes

Über streifige Schuttsortierung in Gebirgen der Peloponnes hat bereits HAGEDORN (1969) in monographischer Form berichtet. Eigene Beobachtungen bestätigen den Eindruck, daß alle rezenten periglazialen Formen nur kümmerlich ausgebildet sind. Dies gilt sowohl für die Schutthalden wie für die Formen gehemmter und gebundener Solifluktion. Es trifft erst recht auf Formen der Materialsortierung zu. Hauptgrund für die Formungsschwäche dürfte das Kalkgestein mit seiner dichten und tiefen Klüftigkeit sein. Die Vielzahl der Karstformen ist ein deutliches Zeugnis.

Darüber hinaus spielt für die Qualität der frostdynamischen Formen die Nivation eine große Rolle. Nach Tagen der Schneeschmelze konnte auf dem Chelmos und auf der Ziria eine Vielzahl von Verschwemmungen und Spülvorgängen beobachtet werden. Abtragung und Aufschüttung schufen ein Bild von bruchstückhaften Formen, wie es auch HAGEDORN (1969) von der Ziria beschrieben hat. Er hat dort festgestellt (S. 75), „daß das Grobmaterial zwischen den Erdstreifen über die Stirn der 10-15 cm hohen Vegetationsgirlanden hinweggewandert ist bzw. sie durchbrochen hat“. Dazu paßt auch die Feststellung von Chelmos, daß sich Erdstreifen direkt auf den Flächen der Vegetationsgirlanden entwickelt haben.

In der Tat schafft das abfließende bzw. rinnende oder rieselnde Schneeschmelzwasser allenthalben entweder neue Gebilde auf aktiven Solifluidalformen oder benutzt frostdynamisch gebildete Strukturen als Erosions- und Akkumulationsbereiche. Naturgemäß sind die mehr linienhaften Figuren (Steinstreifen, Erdstreifen) bevorzugte Bahnen des Schmelzwassers. Die erdigen Streifen tragen im Gegensatz zu den steinigen, ausgespülten Partien eine relativ dichte Pflanzendecke von *Agrostis alba*, *Cystopteris filix fragilis*, *Silene vulgaris* oder *Sedum annuum*. Dies weist darauf hin, daß in den erdigen Streifen frostdynamische Prozesse selten sind. Im übrigen ist die starke Einwirkung der Schneewasserriesel auch in verkarsteten Hochgebirgen Griechenlands nicht neu. HAGEDORN (1969, S. 77) hat am Taygetos kräftige Unterhöhlungen an Rasenstufen durch abfließendes Schmelzwasser registriert.

Was die Schneemenge anbetrifft, so ist diese in den Hochgebirgen der Peloponnes so groß, daß auch nach längeren Verdunstungszeiten noch lange Zeit – vor allem im Mai und Juni – Rieselwasser zur Reliefformung in den Stufen oberhalb des Waldes vorhanden ist. Das beweisen die meteorologischen Daten für die Stationen Tripolis mit 661 m NN und Dimitsana mit 966 m NN in der Zentralpeloponnes bei MARIOPOULOS (1938). Auch die minutiösen Beobachtungen und Beschreibungen von PHILIPPSON (1948, S.

127-130) über die Schneebeziehungen z.B. auf dem Chelmos oder Taygetos 1888, 1889 und 1928 vermitteln einen guten Eindruck von der möglichen Aktivität für die Reliefbildung.

Fazit: Neben den konvergenten Großformen periglazialer und nivaler Genese gibt es kleinere Formen der Nivation, die sich innerhalb der vorgegebenen frostdynamisch gebildeten oder in Bildung begriffenen Figuren entwickeln. Sie geben Anlaß, die Festlegung von Grenzen innerhalb der Periglazialstufe zu verfälschen. Das gilt besonders für Formen mit Sortierungsmechanismen.

2.3.2 Kreta

Zwei Tatsachen erschweren die Analyse von streifigen Formen in den kretischen Hochgebirgen. Einmal ist der Verkarstungsprozeß in allen drei Gebirgen infolge der Textur der Kalkgesteine ungewöhnlich stark ausgeprägt. POSER (1976b) benutzte seine Beobachtungen über dieses Phänomen zu einer Systematisierung des „Schichtflächenkarstes“ in „regelmäßige Karstpflaster“, „unregelmäßige Karstpflaster“ und „Karstrümmerfeld“. Das ganze hat sich unter nivalen Verhältnissen gebildet, so daß POSER (1976b, S. 64) in Parallele zum „Glacio-Karst“ den Begriff „Nivations-Karst“ prägte. Die zweite Tatsache, die die Analyse erschwert, ist das Fehlen von Höhenraum für ausgedehnte Nivationsfelder und damit für die Ausbildung von Firnfeldern. Die Untergrenze der rezenten Periglazialstufe liegt in allen drei Hochgebirgen Kretas bei rund 1.800 m NN, im Pleistozän zwischen 800 und 900 m NN (vgl. auch POSER, 1957).

Trotz dieser ungünstigen Vorbedingungen zeigen vor allem die Nordhänge des Ida-Oros und der Lefka-Ori auffallende Streifenmuster. Sie sind in der Höhenstufe zwischen 1.500 m und 2.000 m NN ausgebildet und würden noch tiefer herabreichen, wenn



Photo 6: Nordhänge der östlichen Ausläufer des Ida-Oros (Kreta) mit Streifenmustern zwischen 1 600 m und 2 000 m NN; Nivationsvorgänge skelettieren vorzeitliche Solifluidalformen und/oder zerstören alte Schuttdeckenmuster (Einzelheiten vgl. Text) (Ludwig Hempel, Juni 1985).

die Hänge nicht in ca. 1.500 m Höhe von flacheren Geländeteilen abgelöst würden: Am Ida-Oros gibt es die Nida-Hochfläche, in den Lefka-Ori eine Flachlandschaft um die Hütte Kallérgi des Griechischen Bergsteiger Vereins (EOS) unweit der Omalos-Hochebene. Auf den Nordhängen oberhalb dieser Verflachung nun ziehen sich in Abständen von 1 m bis 3 m ca. 2 m breite Anhäufungen von Kalkschutt bergab (Fig. 2.3). Dieser Schutt liegt hohl, und die Oberfläche ist gegenüber den Zwischenstreifen nur wenig – ca. 10-20 cm – eingesenkt (Photo 6). Während der Schneeschmelze hält sich in diesen Stellen der Schnee am längsten. Gemessen an den benachbarten erhabenen Partien fließen hier auch die größten Rieselwassermengen ab. Die Kalksteine liegen in der „Rinne“ mehr auf den schmalen Kanten, was auf mögliche frostdynamische Sortierung hinweist. Dies geschieht gegenwärtig auf keinen Fall. Heute spülen die Schmelzwässer das verbliebene Feinmaterial zwischen den Blöcken aus, so daß diese gelegentlich nachsacken und das Bild von Streifen noch verstärken. Zwischen diesen Schuttansammlungen liegen schmale Bahnen von Kalksteinen. Diese stammen entweder von höheren Hangteilen (= Muren, Photo 7) oder sind nahezu in situ, wie man beim Vergleich markanter Klüfte mit dem Untergrund feststellen kann. Gelegentlich steht das Kalkgestein – stark verkarstet – direkt an.

Pflanzensoziologisch macht das Streifenmuster einen zweigeteilten Eindruck. Einerseits ist eine gewisse ökologische Uniformität unter den verschiedenen Streifen unverkennbar. Sie kommt dadurch zum Ausdruck, daß auf allen Standorten zwischen 1.800 m und 2.400 m NN *Carex*- und *Festuca*-Arten zu finden sind. Irgendeine Massierung in der einen oder anderen Lage ist nicht zu beobachten. Es handelt sich vermutlich um *Festuca polita* und *Festuca sipylea*, die beide nach Angaben von GREUTER (1975) an den Lefka-Ori und am Ida-Oros vorkommen sollen.*) Andererseits treten am Hang ökologische Unterschiede zu Tage. Sie werden belegt durch das Vorkommen von drei trockenresistenten, kalkliebenden Arten: In den Rinnen treten vermehrt das Nelkengewächs *Silene spec.*, das Doldengewächs *Peucedanum spec.* und eine Kichererbsenart *Cicer spec.* auf. Diese Bestände werden in Höhen unter 1.600 m NN von Vertretern der Zwergstrauchheiden vom Igelpolstertypus verdrängt, die infolge des reicheren Wasserangebots Dauergäste werden können.

Im übrigen wird die oro- und hydrographische Ähnlichkeit der Standorte am höheren Hang durch das Fehlen einer „Schneetälchenflora“ in leicht muldigen Positionen bestätigt. Selbst in den Rinnen mit länger andauernder Schneedecke und damit Wasserangebot am Ida-Oros bzw. an den Lefka-Ori können sich solche ökologischen Areale nicht entwickeln. Hohe Versickerungsraten und Tagestemperaturen auf Steinen bedingen einen Platz, den nur Pflanzen mit xerophytem Charakter oder sehr kurzer Vegetationsperiode (*Festuca spec.*) einnehmen können.

Will man diese Streifenformung erklären, so muß man zunächst die gegenwärtig sehr hohen Niederschläge (Winterschnee, Herbststarkregen) und die starken Abflüsse in Rechnung setzen. So sind in Anógia – der einzigen Höhenstation mit durchgehenden Meßreihen – in rund 800 m NN Schneedecken an 10-35 Tagen im Jahr beobachtet worden (vgl. dazu PHILIPPSON 1948, S. 126). Sie entstammen Schnee, der mit Nordost-Winden herangeführt wird, so daß die Nord- und Osthänge die größten Schneemengen erhalten. Die Schneehöhen erreichen in den Gebieten über 1000 m nach Angaben des Meteorologischen Dienstes und POSERS (1957) sowie Auskünften der Bewohner zwischen 1 m und 3 m auf ebenen oder hängigen Geländeteilen, bis 5 m in Hohlformen wie z.B. Dolinen oder Rinnen. Entscheidend für die Erosionswirkung durch das Schmelzwasser dieser

*) Eine gesicherte Bestimmung der *Festuca*-Arten war mir nicht möglich. In Griechenland soll es nach MARKGRAF-DANNENBERG (1976, S. 171) 31 Arten mit weiteren 16 spec. bzw. subspec. geben.



Photo 7: Nordhänge im Mittelteil des Ida-Oros (Kreta) in 1800 m bis 2200 m NN; Schneeschmelzbahnen (1 = Muren) und Schneeabbruchbahnen (2 = Lawinen) unterhalb von wäuchtenüberhangenen Hohlformen am oberen Hang mit Einschnitten sowohl in sub-rezente als auch pleistozäne Schuttdecken (Ludwig Hempel, Juni 1985).

Schneemengen ist die Geschwindigkeit der Erwärmung im Frühjahr (vgl. auch HEMPEL 1984, S. 27). Während z.B. in Anógia (800 m) die Temperatur in den Monaten Januar bis März nur langsam steigt - I - II: 0,6° - 0,9° C

II - III: 1,4° - 1,5° C -

ist ab März ein deutlich größerer Sprung zu registrieren:

III - IV: 3,1° - 3,7° C

IV - V: 3,6° - 4,3° C

V - VI: größer 4° C (in einigen Jahren bis 7°C).

Dieser Wärmesprung ist nicht auf bestimmte Gebiete beschränkt, sondern erfaßt die ganze Insel Kreta, wie die Werte z.B. von Küstenstationen belegen. Die Ursache ist ein regelhaft auftretender, oft Tage dauernder stürmischer Wärmeeinbruch (Scirocco, hier Nótos genannt), bei dem afrikanische Luftmassen nach Norden verfrachtet werden. Er ist so häufig und tritt in einer so engen Zeitspanne ein, daß er sogar im Monatsmittelwert der Sturmhäufigkeiten statistisch zum Ausdruck kommt: Die Kurve der Sturmhäufigkeit steigt nach einer März- und April-Baisse im Mai wieder an (vgl. dazu CLUTTON & KENNY 1976, Tabelle 2, S. 44). Mit dem Einbruch ist eine starke Schneeschmelze verbunden, die die Schneedecke bis in die Gipfellagen angreift. Eigene Beobachtungen haben ergeben, daß z.B. im April 1980 bei einem solchen Warmlufteinbruch in den Höhenlagen zwischen 1.500 m und 2.000 m am Ida-Oros im Durchschnitt 1.200 Liter Schmelzwasser pro m² produziert wurden. Sie flossen in 5 Tagen ab. Dies ist Zeugnis genug für die besonders große Bedeutung des Schnees als Erosions- und Denudationsfaktor. Dazu kommen Einflüsse durch die Starkregen in den Übergangsjahreszeiten.

Schneeschmelze und Starkregen haben in der Nacheiszeit ohne Zweifel lebhaft Abtragung auf allen hängigen Partien der kretischen Hochgebirge zur Folge gehabt. Unter diesen Aspekten ist eine eindeutige Aussage für die Genese der Streifung nicht möglich. Folgende Wege der Erklärung zeichnen sich ab. Die heutigen Steinstreifen sind vorzeitliche periglaziale Steinrahmen, die im Holozän wegen ihrer lockeren Lage-

zung bevorzugte Abflußbahnen der Schmelz- und Starkregenwasser wurden. Die Zwischenglieder wären demnach ursprünglich „Erdstreifen“ gewesen, die in der Nacheiszeit als schuttarmes Lockermaterial rasch bis auf den felsigen Untergrund beseitigt wurden. Man kann von einem skelettierten periglazialen Steinnetzwerk sprechen. Von ähnlichen Beobachtungen, daß „l'érosion nivale a découpé ces brèches en reliefs ruiniformes“ haben auch FABRE & MAIRE (1983, S. 45) kurz berichtet. Der zweite Erklärungsweg geht davon aus, daß die heutigen Steinstreifen schon von Anfang an als Nivationsformen im Sinne von BERGER (1967) angelegt worden sind. Diese fossile Form hat sich bis heute deshalb gut erhalten, weil die gegenwärtige Abspülung die groben Muster infolge verkarsteten Untergrundes nicht beseitigen kann. Lediglich das wenige Feinmaterial wird abgeführt.

Beide Erklärungen haben den Vorteil, daß sie in das von POSER (1957) geschilderte Gesamtbild sowohl von der heute kümmerlichen Ausprägung periglazialer Formen als auch deren Genese im Zusammenhang mit Nivationsvorgängen passen. Aber auch jede andere Deutung wird den Einfluß von vor- und jetztzeitlichen Schmelzwassereinflüssen einschließen müssen.

3. Zusammenfassung

In der Periglazialstufe mediterraner Hochgebirge – ausgewählt wurden fünf griechische und ein spanisches – wurden Streifenmuster an Hängen untersucht. Bei äußerlicher Konvergenz der Formen konnten sie auf verschiedene Vorgänge frostdynamischer und/oder nivaler Art zurückgeführt werden. Sie lassen sich wie folgt gliedern:

1. Rezente schwebende oder bodenständige Steinrahmen (aktiver Frostmusterboden) im Zentimeter- und Dezimeterbereich.
2. Durch Schneeschmelzwasser dekapitierte rezente Steinrahmen in der Größenordnung wie unter 1.
3. Rezente Ausbildung von Steinstreifen als Folge von Schmelzwasserausspülung (Schneerieselwasserrinnen = Nivationsrinnen) im Dezimeterbereich.
4. Fossile Steinrahmen (kaltzeitlicher Frostmusterboden) im Meterbereich.
5. Durch rezentes Schneeschmelzwasser dekapitierte bzw. veränderte fossile Steinrahmen (kaltzeitlicher Frostmusterboden) im Meterbereich.

Mit diesen Feststellungen können Streifenmuster in mediterranen Hochgebirgen nur bedingt oder gar nicht als Formen zur Bestimmung periglazialer Höhengrenzen verwendet werden. Darüber hinaus erklären diese Beobachtungen, daß die kümmerliche Ausprägung eines Teils der frostdynamischen Formen in Mittelmeerländern nicht nur eine Folge der Gesteinsstruktur (Kalkgestein, Glimmerschiefer), sondern auch von Schneeschmelze sein kann. Im übrigen spiegeln sich die verschiedenen Formungen auch in ökologisch unterschiedlichen Pflanzenstandorten wider.

4. Literatur

- BERGER, H. (1967): Vorgänge und Formen der Nivation in den Alpen. Ein Beitrag zur geographischen Schneeforschung. 2. Aufl. Buchreihe des Landesmuseums für Kärnten, XVII. Klagenfurt.
- BROSCHKE, K.-U. (1978): Beiträge zum rezenten und vorzeitlichen periglazialen Formenschatz auf der Iberischen Halbinsel. – Abh. d. Geogr. Inst. d. F.U. Berlin. Sonderheft 1.
- BURRICHTER, E. (1961): Steineichenwald, Macchie und Garigue auf Korsika. – Ber. d. Geobotan. Inst. d. Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel/Zürich, 32. H. f. 1960: 32-60.
- CLUTTON, E. & A. KENNY (1976): Crete. London.
- FABRE, G. & R. MAIRE (1983): Néotectonique et morphogénèse insulaire en Grèce: Le Massif du Mont Ida (Crète). – Méditerranée. Revue géographique des Pays méditerranéens, III, Tome 48 (2): 39-49.
- GREUTER, W. (1975): Die Insel Kreta – eine geobotanische Skizze. In: S. DAFIS & E. LANDOLT (Hrsg.): Zur Vegetation und Flora von Griechenland. Ergebnisse d. 15. Intern. Pflanzengeogr. Exkursion (IPE) durch Griechenland 1971. Band 1. – Veröff. d. Geobotan. Inst. d. Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, Zürich, 56. H.: 141-197.
- HAGEDORN, J. (1969): Beiträge zur Quartärmorphologie griechischer Hochgebirge. – Göttinger Geogr. Abh., Heft 50.
- ,– (1978): Karst- und periglazialmorphologische Forschungen im nördlichen Pindos und seinem Vorland. – Jahrb. Akad. Wiss. Göttingen für 1977.
- HEMPEL, L. (1958): Zur geomorphologischen Höhenstufung der Sierra Nevada Spaniens. Ein Beitrag zur klimamorphologischen Zonierung der Erde. – Erdkunde, XII: 270-277.
- ,– (1960): Limites geomorfológicos altitudinales en Sierra Nevada. – Estudios Geográficos, Madrid, 81-93.
- ,– (1966): Klimamorphologische Typen und die Frage einer humiden Höhenstufe in europäischen Mittelmeerländern. – Petermanns Geogr. Mitt., 110. Jg., 81-96 und Tafeln 21-24.
- ,– (1972): Über die Aussagekraft von Regelungsmessungen in Mittelerranengebieten, geprüft an konvergenten Oberflächenformen. – Ztschr. f. Geomorphologie, NF 16: 301-314.
- ,– (1984): Beobachtungen und Betrachtungen zur jungquartären Reliefgestaltung der Insel Kreta. – L. HEMPEL (Hrsg.): Geographische Beiträge zur Landeskunde Griechenlands. = Münstersche Geogr. Arb. 18: 9-40. Paderborn.
- HÖLLERMANN, P. (1982): Studien zur aktuellen Morphodynamik und Geoökologie der Kanareninseln Teneriffa und Fuerteventura. – Abh. Akad. d. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., 3. Folge, Nr. 34.
- KLAER, W. (1962): Untersuchungen zur klimagenetischen Geomorphologie in den Hochgebirgen Vorderasiens. – Heidelberger Geogr. Arb., Heft 11.
- MARIOPOULOS, E. G. (1938): The climate of Greece. – Athen.
- MARKGRAF-DANNENBERG, I. (1976): Die Gattung *Festuca* in Griechenland. – In: S. DAFIS & E. LANDOLT (Hrsg.): Zur Vegetation und Flora von Griechenland. Ergebnisse d. 15. Intern. Pflanzengeogr. Exkursion (IPE) durch Griechenland 1971. Band 2. – Veröff. d. Geobotan. Inst. d. Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, Zürich, 56. H.: 92-182.
- MESSERLI, B. (1965): Beiträge zur Geomorphologie der Sierra Nevada (Andalusien). – Diss. Bern 1962, Zürich.
- PASCHINGER, H. (1954): Würmvereisung und Spätglazial in der Sierra Nevada (Spanien). – Ztschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, III (1): 55-67.
- ,– (1957): Morphologische Studien in der Hauptgruppe der spanischen Sierra Nevada. – Mitt. d. Geogr. Ges. Wien, 99: 199-203.
- PHILIPPSON, A. (1948): Das Klima Griechenlands. Bonn.
- POSER, H. (1933): Das Problem des Strukturbodens. – Geol. Rundschau, 24: 105-121.
- ,– (1957): Klimamorphologische Probleme auf Kreta. – Ztschr. f. Geomorphologie, NF 1: 113-142.
- ,– (1976 = 1976a): Bemerkungen und Beobachtungen zur Frage des Vorkommens pleistozäner Glazial- und Nivalformen auf Kreta. – Abh. d. Braunschweigischen Wiss. Ges., B. XXVI: 1-15.
- ,– (1976 = 1976b): Beobachtungen über Schichtflächenkarst am Psiloriti (Kreta). – Ztschr. f. Geomorphologie, Suppl. – B. 26: 58-64.

- PRILL, F. (1955): Schneefall und Schneedecke auf der Iberischen Halbinsel auf Grund spanischer und portugiesischer Wetterbeobachtungen. – Diss. Stuttgart 1955.
- RIKLI, M. (1943 und 1946): Das Pflanzenkleid der Mittelmeerländer. – 2 Bände, 2. Aufl. Bern.
- SOUTADÉ, G. & A. BAUDIÈRE (1970): Végétation et modelés des hauts versants septentrionaux de la Sierra Nevada. – Annales de Géographie, **LXXIX**: 709-736.
- WICHE, K. (1955/56): Beitrag zur Morphologie des Thessalischen Olympos. – Geogr. Jahresber. aus Österreich, **16**: 25-40.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Ludwig Hempel, Institut für Geographie, Robert-Koch-Str. 26,
D-4400 Münster