

**Zur Geologie und Geochemie
der Kellwasserkalke
und ihrer begleitenden Sedimente
(Unteres Oberdevon)**

Von

WERNER BUGGISCH

Darmstadt

Mit 19 Abbildungen, 6 Tabellen und 13 Tafeln

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9

Wiesbaden 1972

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.	62	68 S.	19 Abb.	6 Tab.	13 Taf.	Wiesbaden 1972
--------------------------------	----	-------	---------	--------	---------	----------------

IN DIESER REIHE BISHER ERSCHIENEN:

- Heft 1: JOHANNSEN, A.: Die geologischen Grundlagen der Wasserversorgung am Ostrand des Rheinischen Gebirges im Raume von Marburg-Frankenberg-Borken. 1950. 87 S., 8 Abb., 10 Taf. vergriffen
- Heft 2: SCHÖNHALS, E.: Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Mit einer bodenkundlichen Übersichtskarte 1:300000. 1954. 288 S., 25 Abb., 60 Tab., 15 Taf. vergriffen
- Heft 3: KUBELLA, K.: Zum tektonischen Werdegang des südlichen Taunus. 1951. 81 S., 14 Abb., 2 Taf. 5,— DM
- Heft 4: GÖRGES, J.: Die Lamellibranchiaten und Gastropoden des oberoligozänen Meeressandes von Kassel. 1952. 134 S., 3 Taf. 7,50 DM
- Heft 5: SOLLE, G.: Die Spiriferen der Gruppe *arduennensis-intermedius* im Rheinischen Devon. 1953. 156 S., 45 Abb., 7 Tab., 18 Taf. 20,— DM
- Heft 6: SIMON, K.: Schrittweises Kernern und Messen bodenphysikalischer Kennwerte des ungestörten Untergrundes. 1953. 63 S., 19 Abb., 3 Taf. 7,— DM
- Heft 7: KEGEL, W.: Das Paläozoikum der Lindener Mark bei Gießen. 1953. 55 S., 3 Abb., 3 Taf. 6,— DM
- Heft 8: MATTHES, S.: Die Para-Gneise im mittleren kristallinen Vor-Spessart und ihre Metamorphose. 1954. 86 S., 36 Abb., 8 Taf. 12,50 DM
- Heft 9: RABIEN, A.: Zur Taxionomie und Chronologie der Oberdevonischen Ostracoden. 1954. 268 S., 7 Abb., 4 Tab., 5 Taf. 17,— DM
- Heft 10: SCHUBART, W.: Zur Stratigraphie, Tektonik und den Lagerstätten der Witzenhäuser Grauwacke. 1955. 67 S., 8 Abb., 4 Taf. 8,— DM
- Heft 11: STREMMER, H. E.: Bodenentstehung und Mineralbildung im Neckarschwemmlern der Rheinebene. 1955. 79 S., 35 Abb., 28 Tab., 3 Taf. 7,— DM
- Heft 12: v. STETTEN, O.: Vergleichende bodenkundliche und pflanzensoziologische Untersuchungen von Grünlandflächen im Hohen Vogelsberg (Hessen). 1955. 67 S., 4 Abb., 2 Tab., 1 Taf. 5,50 DM
- Heft 13: SCHENK, E.: Die Mechanik der periglazialen Strukturböden. 1955. 92 S., 21 Abb., 13 Tab., 10 Taf. 12,— DM
- Heft 14: ENGELS, B.: Zur Tektonik und Stratigraphie des Unterdevons zwischen Loreley und Lorchhausen a. Rhein (Rheinisches Schiefergebirge). 1955. 96 S., 31 Abb., 2 Tab., 15 Diagr., 5 Taf. 12,60 DM
- Heft 15: WIEGEL, E.: Sedimentation und Tektonik im Westteil der Galgenberg-Mulde (Rheinisches Schiefergebirge, Dill-Mulde). 1956. 156 S., 41 Abb., 7 Tab., 7 Taf. 18,60 DM
- Heft 16: RABIEN, A.: Zur Stratigraphie und Fazies des Ober-Devons in der Waldecker Hauptmulde. 1956. 83 S., 2 Abb., 2 Tab., 3 Taf. 7,— DM
- Heft 17: SOLLE, G.: Die Watt-Fauna der unteren Klerfer Schichten von Greimerath (Unterdevon, Südost-Eifel). Zugleich ein Beitrag zur unterdevonischen Mollusken-Fauna. 1956. 47 S., 7 Abb., 6 Taf. 5,— DM
- Heft 18: Beiträge zur Geologie des Vorspessarts. Mit 6 Beiträgen von BEDERKE, BRAITSCH, GABERT, MURAWSKI, PLESSMANN. 1957. 167 S., 65 Abb., 18 Tab. 13,— DM
- Heft 19: BISCHOFF, G.: Die Conodonten-Stratigraphie des rheno-herzynischen Unterkarbons mit Berücksichtigung der *Wocklumeria*-Stufe und der Devon/Karbon-Grenze. 1957. 64 S., 1 Abb., 2 Tab., 6 Taf. 8,— DM
- Heft 20: PILGER, A. & SCHMIDT, Wo.: Die Mullion-Strukturen in der Nord-Eifel. 1957. 53 S., 42 Abb., 1 Tab., 8 Taf. 9,80 DM

Abhandlungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

Herausgegeben vom
Hessischen Landesamt für Bodenforschung

Heft 62

**Zur Geologie und Geochemie
der Kellwasserkalke
und ihrer begleitenden Sedimente
(Unteres Oberdevon)**

Von

WERNER BUGGISCH

Darmstadt

Mit 19 Abbildungen, 6 Tabellen und 13 Tafeln

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9

Wiesbaden 1972

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.	62	68 S.	19 Abb.	6 Tab.	13 Taf.	Wiesbaden 1972
--------------------------------	----	-------	---------	--------	---------	----------------

Kurzfassung: Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Stratigraphie, Sedimentologie und Geochemie der Kellwasserkalke. Die stratigraphischen Einstufungen beruhen auf Conodonten-, Goniatiten- und Ostracoden-Faunen. Zur Gewinnung geochemischer Daten wurden folgende Methoden verwendet: Röntgenfluoreszenz (unlösliche Rückstände), Röntgendiffraktometer (Tonminerale, Quarz/Feldspat-Verhältnisse), Infrarotanalyse (organische Substanz), Atomabsorption (Ca, Mg, Sr, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cr, V). Die gewonnenen Daten tragen dazu bei, die Bildungsbedingungen für die Kellwasserkalk-Horizonte zu klären.

Abstract: The object of this report is to describe the stratigraphy, sedimentology and geochemistry of the Kellwasser Limestones (bituminous limestones). Stratigraphic divisions are based on data obtained from conodonts, ammonoids, and ostracods. Geochemical elements were determined by the following methods: X-ray fluorescence (on insoluble residues), X-ray-diffractometry (clay-minerals, quartz/feldspar), infra-red analysis (organic compounds), atomic absorption (total Ca, Mg, Sr, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cr and V). Based on these data it is possible to obtain an impression of the conditions which led to the formation of the Kellwasser Limestone Horizons.

Resume: La présente dissertation traite de la stratigraphie, de la sédimentologie et de la géochimie des „Kellwasserkalke“ (calcaires bitumineux). La classification stratigraphique se base sur les faunes des Conodontes, Goniatites et Ostracodes. Pour gagner des dates géochimiques nous avons appliqué les méthodes suivantes: fluorescence radiographique (des résidus insolubles), diffractomètre radiographique (des minéraux d'argile, des relations de feldspath/quartz), analyse infrarouge (la substance organique), absorption atomique (Ca, Mg, Sr, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cr et V). Les dates gagnées éclairent les conditions de la genèse des horizons du Kellwasserkalk.

Die vorliegende Arbeit wurde im Fachbereich „Geowissenschaften und Geographie“ der TH Darmstadt ausgeführt. Die Anregung hierzu verdanke ich meinem verehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. W. Krebs (Braunschweig), der mich auch durch zahlreiche Diskussionen unterstützte. Ferner danke ich allen Professoren und Kollegen des Fachbereichs, die mir in vielen praktischen Dingen geholfen haben. Mein Dank gilt auch jenen Geologen, die mir bei Geländearbeiten und Fossilbestimmungen behilflich waren.

Großzügige finanzielle und materielle Unterstützung erhielt ich von der Studienstiftung des Deutschen Volkes, von der DEA im Rahmen eines Geochemiestipendiums sowie von den Farbwerken Hoechst, die durch eine Spende von Monochloressigsäure den raschen Fortgang der Arbeit ermöglichten.

Inhalt

1. Einleitung	9
2. Arbeitsmethode	10
3. Verbreitung	10
4. Stratigraphie	13
4.1 Allgemeines	13
4.2. Einstufung der Kellwasserkalke	14
5. Fazies-Befunde	17
5.1. Lithologie	17
5.2. Biofazies	20
6. Geochemie	22
6.1. Einleitung	22
6.2. Probenvorbereitung	22
6.3. Voruntersuchungen	23
6.4. Bestimmungsmethoden	24
6.5. Fehlerbetrachtung	25
6.6. Geochemische Befunde	25
6.6. 1. Einleitung	25
6.6. 2. Rückstand und Ca	26
6.6. 3. Magnesium	26
6.6. 4. Strontium	28
6.6. 5. Mangan	28
6.6. 6. Eisen	30
6.6. 7. Zink und Kupfer	30
6.6. 8. Nickel und Chrom	33
6.6. 9. Vanadium	34
6.6.10. Organische Substanz	34
6.6.11. Tonminerale	35
6.6.12. Quarz/Feldspat-Verhältnis	36
6.6.13. Sekundäre Veränderungen	37
7. Deutung der geochemischen und fazialen Befunde	38
7.1. Paläogeographie und Fazies vor Ablagerung der Kellwasserkalke	38
7.2. Geochemie und Fazies zur Zeit der Kellwasserkalk-Bildung	39
7.3. Fazies nach der Bildung der Kellwasserkalk-Horizonte	41
7.4. Diagenese der Kellwasserkalk-Horizonte	41
7.5. Deutung der Genese der Kellwasserkalk-Fazies	42

8. Zusammenfassung	44
Summary	
Conclusion	
9. Schriftenverzeichnis	49
10. Anhang	54
Tabelle der Tonmineralien (Tab. 4)	54
Fundpunktbeschreibung	56
Cephalopoden-Faunenliste (Tab. 5)	65
Conodonten-Faunenlisten (Tab. 6)	66

1. Einleitung

Die schwarzen, bituminösen und meist fossilreichen Kellwasserkalke (KWK), die in ein oder zwei Horizonten innerhalb der Mittleren und Oberen Adorf-Stufe (Unteres Oberdevon) auftreten und lithologisch deutlich von den Begleitsedimenten abweichen (Taf. 1), haben schon früh Beachtung gefunden. So schreibt F. A. ROEMER (1850, S. 25) in seinen „Beiträgen zur geologischen Kenntnis des nordwestlichen Harzgebirges“: „Erst im Herbst des vorigen Jahres zeigte mir der für alles Wissenschaftliche empfängliche Herr Hüttenmeister Knoke von Altenau ein Stück Kalkstein, welcher von *Cardium palmatum* bedeckt und im Kellwasserthale, unterhalb der dortigen Bergstadt, gefunden war; freudig begrüßte ich diese am Harze neue Erscheinung.“ Dieses kleine Seitental der Oker wurde namengebend für die „Kellwasserkalke“. Heute ist die Typlokalität durch den Okerstausee überflutet; kurz oberhalb des Seefufers sind die Horizonte jedoch in einem Schurf erneut aufgeschlossen.

Von den zahlreichen Arbeiten über den Fossilinhalt und die Geologie der KWK seien nachfolgend diejenigen aufgeführt, die sich mit genetischen Fragen beschäftigen (vgl. KREBS 1969, S. 63–64):

- 1935 H. SCHMIDT nimmt eine Bildung der KWK in relativ flachem Wasser unter dichtem Tangbewuchs an.
- 1956 RABIEN vermutet einen Absatz der Sedimente in tieferem, schlecht durchlüfteten Wasser.
- 1960 RÖSLER (1960 a) erklärt die ostthüringischen Vorkommen in Verbindung mit tektonischen Bewegungen und Abtragung.
- 1964 GRÄBE bringt die KWK mit tektonischen Auffaltungen und dadurch bedingte Abschnürungen in Zusammenhang und verbindet damit die Entstehung des Rot-eisensteins am Bergaer Sattel. Er glaubt eine Aufreihung der Vorkommen an variskisch streichende Strukturen zu erkennen.
- 1969 KREBS zeigt die Bindung der KWK-Vorkommen im Rheinischen Schiefergebirge an große Frakturen auf und weist auf die Möglichkeit von synsedimentären submarinen Schollenverkipungen hin.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, anhand von feinstratigraphischen Profilaufnahmen, bio- und lithofaziellen Beobachtungen und durch geochemische Untersuchungen (Spurenelementanalysen) die Bildungsbedingungen der KWK zu erfassen. Die gewonnenen Daten gestatten Aussagen über die Ursachen der \pm gleichzeitigen Ausbildung eines speziellen Sedimentationsmusters innerhalb von räumlich weit getrennten Regionen der Geosynklinale.

2. Arbeitsmethode

Die aus der Literatur und durch verschiedene Hinweise bekannten Fundpunkte von KWK wurden aufgesucht und – soweit es die Aufschlußverhältnisse zuließen – genau profiliert. Die Probennahme erfolgte bankweise; im Bereich dünnschichtiger, lithologisch homogener Profilschnitte wurden mehrere Bänke zu einer Einheit zusammengezogen, die durch eine Bank repräsentiert werden kann. Nahezu von jeder in Taf. 10–13 mit einer Banknummer versehenen Einheit wurde eine orientierte Probe entnommen.

3. Verbreitung

KWK-Vorkommen (Abb. 1–5) treten am Südrand der variskischen Geosynklinale im Süden Marokkos, in Südfrankreich (Montagne Noire), im Vogtland, Ostthüringen, Frankenwald sowie im Harz und im Rheinischen Schiefergebirge bis in den Bereich des nördlichen Schelfs (Belgien) auf, wo Kalkknollen und -bänke, die den KWK sehr ähnlich sind, in Matagne-Schiefen eingeschaltet sind. Insgesamt werden in dieser

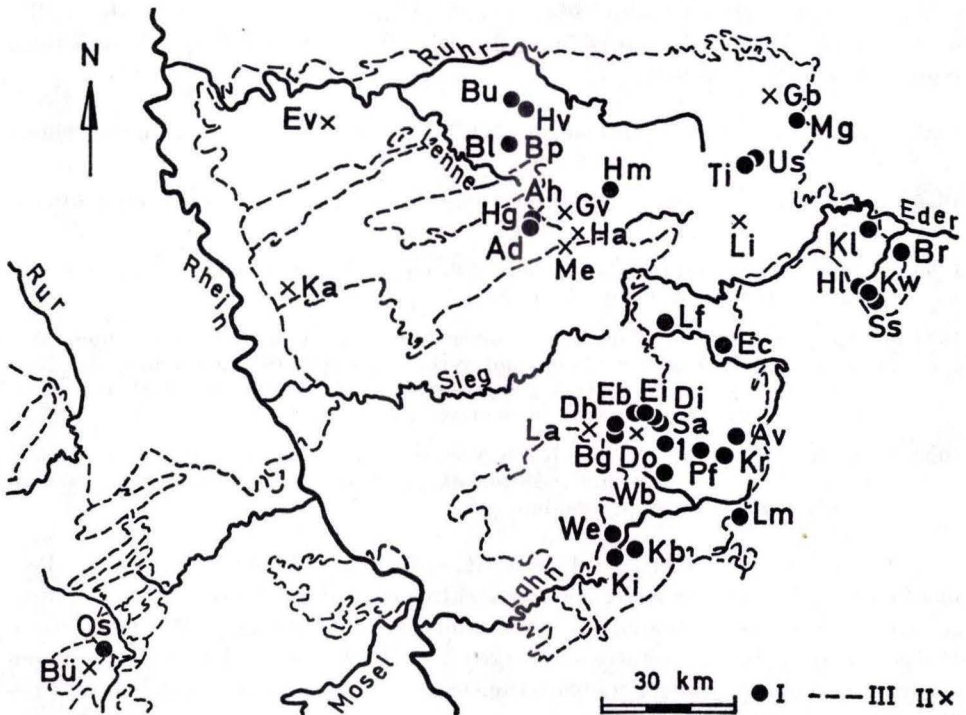


Abb. 1. Kellwasserkalk-Vorkommen im Rheinischen Schiefergebirge (I = Kellwasserkalke, II = Äquivalente der Kellwasserkalke, III = geologische Umrisse des Rheinischen Schiefergebirges, I = Be. Erläuterung der Abkürzungen siehe Aufschlußverzeichnis).

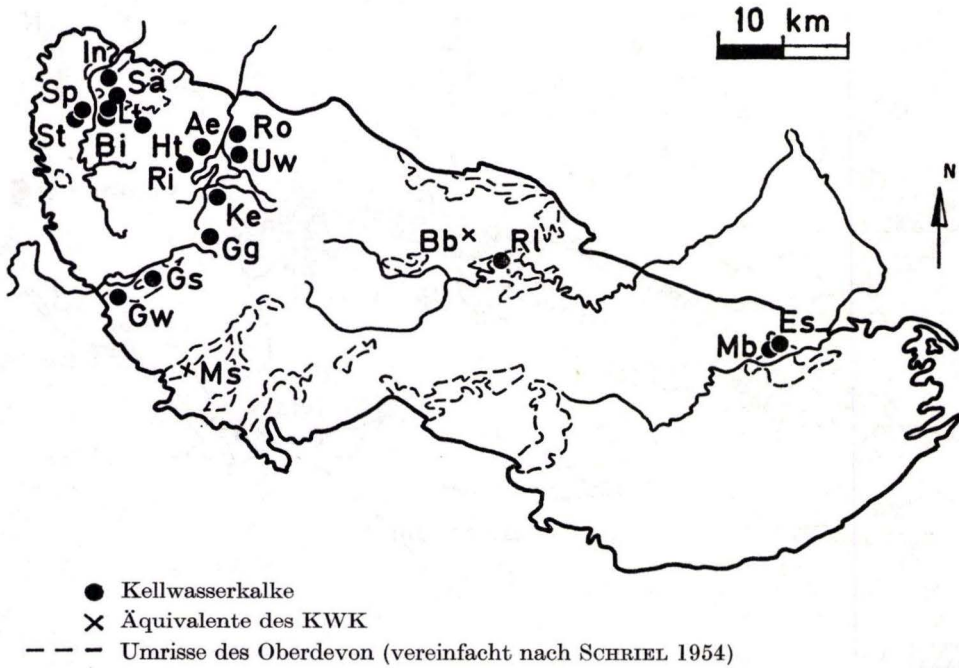


Abb. 2. Kellwasserkalk-Vorkommen im Harz.

Arbeit 78 Fundpunkte (ohne die Vorkommen Ostthüringens und des Vogtlands) behandelt. Aus der Aufschlußbeschreibung (s. S. 56 ff.) sind die genaue Lage der Lokalitäten (Abb. 1–5) sowie die zur Kennzeichnung der untersuchten Profile im Text und auf den Abbildungen verwendeten Abkürzungen ersichtlich.

Entsprechend der großen regionalen Verbreitung finden sich die KWK in verschiedenen Faziesbereichen (im Sinne RABIENS 1956):

- (1) Schelffazies (Schelfkarbonate bzw. Schiefer): Marokko, Profil Erfoud (Er) und Erfoud-Taouz (Et); Belgien, Profil Nismes-Mariembourg (Nm) u. a.
- (2) Beckenfazies (Tonschiefer): Harz, Profil Lautenthal; Rheinisches Schiefergeb., Profil Halberbracht (Ha), Liesetal (Li), Usseln (Us) u. a.
- (3) Tiefschwellenfazies (Cephalopodenkalke): Harz, Profil Kellwassertal (Ke), Romkerhaller Wasserfall (Ro); Rheinisches Schiefergeb., Profil Benner/Bicken (Be), Eibach (Ei), Braunau (Br) u. a.
- (4) In Übergangsbereichen zwischen (2) und (3), z. T. in Sedifunktionsmaterial: Harz, Profil Bielstein (Bi).
- (5) Eingeschaltet in riffdetritisches Material am Abhang von Hochschwellen: Rheinisches Schiefergeb., Profil Donsbach (Do): Taf. 4, Fig. 14.

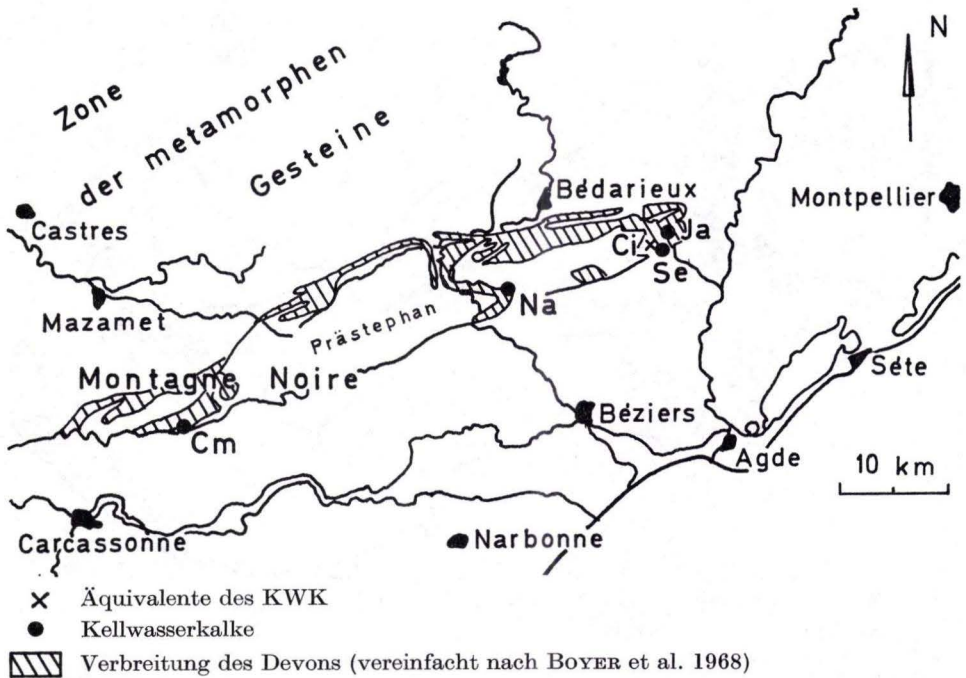


Abb. 3. Kellwasserkalk-Vorkommen in Südfrankreich.

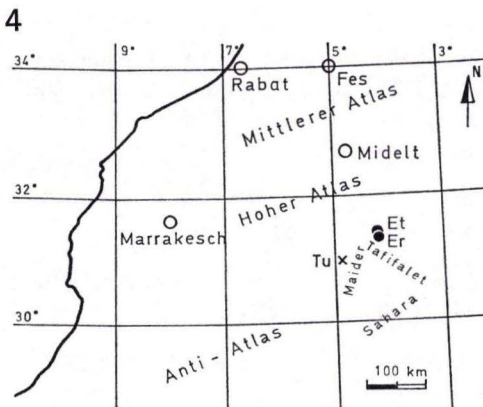


Abb. 4. Kellwasserkalk-Vorkommen in Marokko.

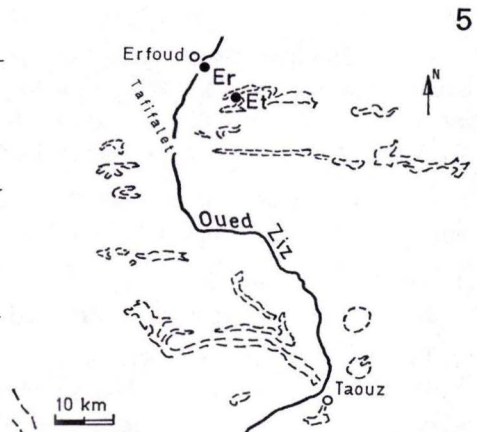


Abb. 5. Kellwasserkalk-Vorkommen in Marokko, Ausschnitt aus Abb. 4 (Umrisse des Devons vereinfacht nach einer geologischen Karte von D. MASSA 1965).

- (6) Über abgestorbenen Riff-Komplexen: Rheinisches Schiefergeb., Profil Ahausen (Ah), Heggen (Hg) und Attendorn (Ad).
 (7) Zwischen effusiven submarinen Diabasen: Ostthüringen (GRÄBE 1964).

Trotz der regional weiten Verbreitung der KWK-Fazies sind die einzelnen Vorkommen lokal begrenzt. Zwischen den einzelnen Aufschlüssen mit ein oder zwei KWK-Horizonten sind Profile bekannt, in denen die KWK nicht ausgebildet sind. In diesen Aufschlüssen treten jedoch im entsprechenden stratigraphischen Niveau häufig lithologisch auffallende Schichten auf. GRÄBE (1964) erwähnt vom Schwarzbürger Sattel zwei Alaunschieferbänkchen, welche die KWK faziell vertreten. Auch RABIEN (1970) beschreibt aus der Dillmulde ähnliche Gesteine. In den belgischen Profilen wird die Grenze Adorf/Nehden z. T. durch schwarze Schiefer innerhalb der grüngrauen Matagne-Schiefer markiert (MATERN 1931). In anderen Profilen (Harz: Mittleres Sautal [Ms]; Rheinisches Schiefergeb.: Langenaubach [La].) sind in roten und hellgrauen Kalken dunkelgraue Kalkknollen eingeschaltet, welche veränderte Sedimentationsbedingungen zur Zeit der KWK-Bildung anzeigen.

4. Stratigraphie

4.1. Allgemeines

Die stratigraphische Einstufung der nach lithologischen Gesichtspunkten aufgenommenen Profile erfolgte im wesentlichen durch Conodonten (etwa 300 Proben), untergeordnet auch durch Ostracoden, Goniatiten und Trilobiten. Die Conodonten erlauben eine sehr gute Parallelisierung der Schichten. Das verwendete biostratigraphische Schema entspricht den von ZIEGLER (1962, 1971) gegebenen Gliederungen (Tab. 1). Auf eine Unterteilung der Oberen *gigas*-Zone in Obere und Oberste *gigas*-Zone (ZIEGLER 1971) wurde verzichtet, da das Fehlen einer Art (*Ancyrognathus triangularis*) nicht schlüssig beweist, daß diese Form effektiv fehlt. Aus demselben Grund erscheint auch die Abgrenzung zwischen *Ancyrognathus-triangularis*-Zone und Unterer *gigas*-Zone, die auf dem Einsetzen von *Palmatolepis gigas* beruht (ZIEGLER 1962) schwierig. Daher wurden diese beiden Einheiten in der stratigraphischen Einstufung der Profile (Taf. 10–13) zusammengefaßt.

In Tab. 1 sind die stratigraphischen Ergebnisse ZIEGLERS (1962, 1971) dargestellt. Bei Profilaufnahmen in Marokko (Profil Er) konnten neben Conodontenproben auch zahlreiche Goniatiten horizontiert aus dem Anstehenden gewonnen werden. Die Korrelation von Conodonten- und Cephalopodenfaunen ist der Tab. 2 zu entnehmen. Demnach fällt im Profil von Erfoud (Er) die Grenze doI/doII mit der Grenze Mittlere/Obere *triangularis*-Zone zusammen.

Da die Korrelation von Ortho- und Parachronologie noch nicht restlos gesichert ist, beziehen sich alle Datierungen in dieser Arbeit auf Conodonten-Zonen. Ausführliche Fossilisten (Cephalopoden: Tab. 5, Conodonten: Tab. 6) folgen am Ende. Es werden nur Conodonten mit gutem Leitwert aufgeführt. Der Artbestand wurde lediglich bei den Gattungen *Ancyrodella*, *Ancyrognathus* und *Palmatolepis* vollständig ausgeschöpft.

Tab. 1. Chronologie des tieferen Oberdevons

	ZIEGLER (1962)		ZIEGLER (1971)	
Hemberg	do III β	<i>M. velifer</i> -Zone		
	do III α	<i>U. velifer</i> -Zone		
Nehden	do II β	<i>O. quadrantinodosa</i> -Z.		wie 1962
		<i>rhomboidea</i> -Zone		
	do II α	<i>O.</i> <i>M. crepida</i> - <i>U. crepida</i> -Zone		do II α
Adorf	do I/II	<i>O. triangularis</i> -Z.	<i>O. triangularis</i> -Z.	post do I δ
	do I δ ?	<i>M. triangularis</i> -Z.	<i>M. triangularis</i> -Z.	
	do I δ	<i>U. triangularis</i> -Z.	<i>U. triangularis</i> -Z.	do I δ
		Obere <i>gigas</i> -Z.	Oberste <i>gigas</i> -Z. Obere <i>gigas</i> -Z.	
	do I γ	<i>U. gigas</i> -Zone	<i>U. gigas</i> -Zone	do I γ
		<i>A. triangularis</i> -Z.	<i>A. triangularis</i> -Z.	
	do I β/γ	<i>O. asymmetricus</i> -Z.	<i>O. asymmetricus</i> -Z.	do I β/γ
	do I α	<i>M. asymmetricus</i> -Z.	<i>M. asymmetricus</i> -Z.	do I α
<i>U. asymmetricus</i> -Z.		<i>U. asymmetricus</i> -Z.		
		Unterste <i>asymmetricus</i> -Z. <i>O. hermannicristatus</i> Zone		
Givet	Mitteldevon		dm	

4.2. Einstufung der Kellwasserkalke

Die beiden schwarzen, bituminösen, nur wenige cm bis einige dm mächtigen KWK-Horizonte galten bisher über ihr ganzes Verbreitungsgebiet hinweg als gleichaltrig und wurden in die Mittlere (doI β/γ) bzw. Obere (doI δ) Adorf-Stufe eingestuft. Dieser Auffassung widersprach als erster RABIEN (1954; 1970, in LIPPERT, HENTSCHEL & RABIEN: 124), der an der Typlokalität (Ke) an der Basis des unteren KWK-Horizonts eine Zone mit vorwiegend *Entomoprimitia nitida* ausschied (10 cm über dem Einsetzen der KWK) und darüber eine Zone mit *Entomozoe pseudophthalmus* (30 cm über der Basis). In den unteren KWK der Dillmulde konnte RABIEN in einigen Vorkommen überwiegend *E. nitida* finden (Profile Eibach [Schafstall], Donsbach-Haiger und Bergmannsglück), während andere *E. pseudophthalmus* führen (Donsbach und Eibach [Mineralquelle]). Daher schloß er die Möglichkeit nicht aus, „daß zwischen den einzelnen Vorkommen von Unterem Kellwasser-Kalk geringfügige Altersunterschiede bestehen“.

Tab. 2. Korrelation der Conodonten- und Cephalopoden-Faunen

Nehden		(Profil Er/Marokko)											
							Adorf						
<i>Tornoceras</i> sp.								+					
<i>Tornoceras simplex</i>								+			+		
<i>Tornoceras frechi</i>													
<i>Tornoceras frechi frechi</i>										+			
<i>Protornoceras planidorsatum</i>													
<i>Cheiloceras</i> sp.													
<i>Cheiloceras</i>			+										
<i>cf. verneuili</i>													
<i>Cheiloceras verneuili</i>													
<i>Cheiloceras cf. amblylobus</i>													
<i>Cheiloceras amblylobus</i>													
Conodonten-Zonen nach ZIEGLER		quadran-tinodosa-Zone				Ob. trian-gularis-Z.	Mittlere triangu-laris-Z.	U. trian-gularis-Z.	Obere	gigas-Zone			
<i>Polylophodonta gyratilineata</i>			+	+									
<i>Palmatolepis</i>													
<i>P. triangularis</i>							+	+	+				
<i>P. subrecta</i>										+			
<i>P. subperlobata</i>							+	+					
<i>P. cf. regularis</i>							+						
<i>P. perlobata</i>		+	+	+	+								
<i>P. minuta minuta</i>		+	+	+	+								
<i>P. grac. gracilis</i>		+	+	+	+								
<i>P. gl. pectinata</i>		+	+	+									
<i>P. glabra glabra</i>		+	+	+									
<i>P. gl. elongata</i>		+	+	+	+								
<i>P. gigas</i>								+	+	+		+	
<i>P. delic. clarki</i>							+						
<i>Palmatolepis</i>													
<i>Ancyrognathus asymmetricus</i>									+	+	+	+	
<i>A. triangularis</i>										+	+	+	
<i>Ancyrodella</i>													
<i>A. nodosa</i>										+		+	
<i>A. lobata</i>									+				
<i>A. ioides</i>									+	+			
<i>A. curvata</i>									+	+	+	+	
Bank-Nummer	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13

Cephalopoden

Conodonten

Die Angaben MÜLLER-STEFFENS (1963, S. 12–13), daß den KWK keinerlei stratigraphischer Wert beizumessen sei, und daß sie in jedem beliebigen Niveau der Adorf-Stufe auftreten könnten, haben sich jedoch nicht bestätigt (siehe auch STOPPEL 1965).

Eigene Conodonten-Untersuchungen ergaben folgende Datierung:

Der ältere KWK-Horizont ist in den höchsten Teil der Unteren *gigas*-Zone (höchstes $doI\gamma$) zu stellen. Mögliche geringfügige Altersunterschiede innerhalb dieses Horizonts konnten infolge der schwierigen Grenzziehung zwischen Unterer und Oberer *gigas*-Zone nicht erfaßt werden.

Der jüngere KWK-Horizont ist in den höchsten Teil der Oberen *gigas*-Zone ($doI\delta$) einzustufen. In den meisten Profilen fällt die Obergrenze der *gigas*-Zone mit der höchsten KWK-Bank zusammen. In einigen Profilen überschreitet die KWK-Fazies jedoch die Zone und beinhaltet noch den Zeitbereich der Unteren *triangularis*-Zone (Taf. 10–13).

Im folgenden werden daher die schwarzen, bituminösen Kalke der Unteren *gigas*-Zone entsprechend der bisherigen Benennung „Unterer Kellwasserkalk“, die der Oberen *gigas*-Zone „Oberer Kellwasserkalk“ genannt. Die in ihrem Alter abweichenden Kalke mit ähnlicher petrographischer und fazialer Ausbildung werden als „Äquivalente in der Fazies der Kellwasserkalke“ bezeichnet.

HELMS (1965) weist darauf hin, daß in Ostthüringen über der höchsten KWK-Bank mit einer Fauna der obersten *gigas*-Zone schlagartig eine andere Conodonten-Assoziation einsetzt, die er in den höheren Teil der Unteren *triangularis*-Zone einstuft. Diese Schichtlücke scheint auch im Rhenohertzynicum weit verbreitet zu sein, denn trotz dichter Probennahme konnte in den die KWK überlagernden Schichten nur selten die Untere *triangularis*-Zone nachgewiesen werden. Man muß daher annehmen, daß die Sedimentation häufig erst wiederum im Zeitbereich der Mittleren *triangularis*-Zone einsetzte.

Eine gewisse Sonderstellung nehmen die Profile in Südfrankreich und Marokko ein (Taf. 11). Hier dauert die KWK-Fazies z.T. noch in der Mittleren und Oberen *triangularis*-Zone an und erreicht im Profil Erfoud-Taouz (Et/Marokko) sogar die *rhomboidea*-Zone. Besondere Beachtung verdient das Profil Erfoud (Er/Marokko): In den Kalken der *asymmetricus*-Zone ($doI\alpha$) finden sich Sedimentgämgchen mit biodetritischem und mikritischem Kalk, aus denen eine Conodonten-Fauna der Oberen *gigas*-Zone gewonnen werden konnte (s. Taf. 11, Conodontenprobe Er 3 [Tab. 6] und Taf. 2 Fig. 4).

Vor Ablagerung der KWK muß daher Nicht-Sedimentation und Spalten-Bildung (Lösung?) angenommen werden. Hierfür spricht auch die Einstufung der Bänke 9–13 (Profil Erfoud, Taf. 11) in die *Ancyrognathus-triangularis*-Zone.

Die Schichtlücke umfaßt demnach die Untere *gigas*-Zone; mit Bank 14 (Er) setzt die Sedimentation in der Oberen *gigas*-Zone dann in KWK-Fazies ein und reicht in dem Profil Erfoud bis in die Obere *triangularis*-Zone. Im Hangenden der KWK-

Äquivalente folgen direkt Kalke der *quadrantinodosa*-Zone unter Ausfall der *crepidacrepidida*-Zone. Man kann daher vermuten, daß – auch in Marokko – die Schichtlücke im Hangenden der KWK-Fazies genetisch mit der Bildung dieser bituminösen Sedimente verknüpft ist.

Ein weiteres Ergebnis conodontenstratigraphischer Untersuchungen ist die Neueinstufung einiger mit den KWK verglichenen Vorkommen: So sind die schwarzen, bituminösen Kalkknollen am Grottenberg (Profil Gb/Rheinisches Schiefergeb.), die PAECKELMANN (1936) zum KWK rechnete, in die *asymmetricus*-Zone (doI α) zu stellen.

Ähnliche schwarze Kalke mit für KWK charakteristischen Faunen (Goniatiten, „Orthoceren“, *Buchiola*) sind auch aus der tiefen Nehden-Stufe bekannt und erreichen eine beachtliche Verbreitung (Südfrankreich: Caunes-Minervois; Frankenswald: Bernstein; Harz: Romkerhall [Taf. 1]; Rheinisches Schiefergeb.: Grevenbrück). KREBS (1969) erwähnt, daß auch der mitteldevonische knollig-linsige Odershäuser-Kalk dem KWK nicht unähnlich ist.

Schließlich können in zahlreichen Profilen (z. B. Altenvers, Benner/Bicken (Taf. 2, Fig. 5) und Romkerhall [Taf. 1] immer wieder Lagen von schwarzen Kalken und Mergeln gefunden werden, die sich im Dünnschliffbild und in der geochemischen Charakteristik in keiner Weise von den KWK unterscheiden.

Die Bedingungen, die zur Ausbildung der KWK-Fazies führten, waren im Oberdevon daher nicht nur einmal gegeben, das für die KWK-Bildung spezifische Ablagerungsmilieu erlangte jedoch am Ende der Mittleren und Oberen Adorf-Stufe die weiteste regionale Verbreitung.

5. Fazies-Befunde

Die beiden KWK-Horizonte, die in Gesteinen aus verschiedensten Faziesbereichen auftreten (siehe Kap. 3), zeichnen sich dadurch aus, daß sie überregional und nahezu gleichzeitig unter sehr ähnlichen Sedimentationsbedingungen abgelagert werden. Im folgenden soll die Lithologie und die Biofazies der KWK-Horizonte charakterisiert werden.

5.1. Lithologie

Die KWK-Horizonte bestehen aus dunkelgrauen bis schwarzen Kalkbänken und -knollen, die in tiefschwarze, meist kalkige Tonschiefer eingeschaltet sind. Von geschlossenen Bänken über Kalkknollen und -linsen bis zu mergeligen Schiefen sind alle Übergänge vorhanden.

Während im „normalen“ Sediment das Verhältnis von Kalk- und Tonsedimentation eindeutig vom Ablagerungsraum abhängt, kann eine derartige Korrelation für den KWK kaum beobachtet werden. Dieser Befund ist in Abb. 6 anhand von 11 Profilen dargestellt.

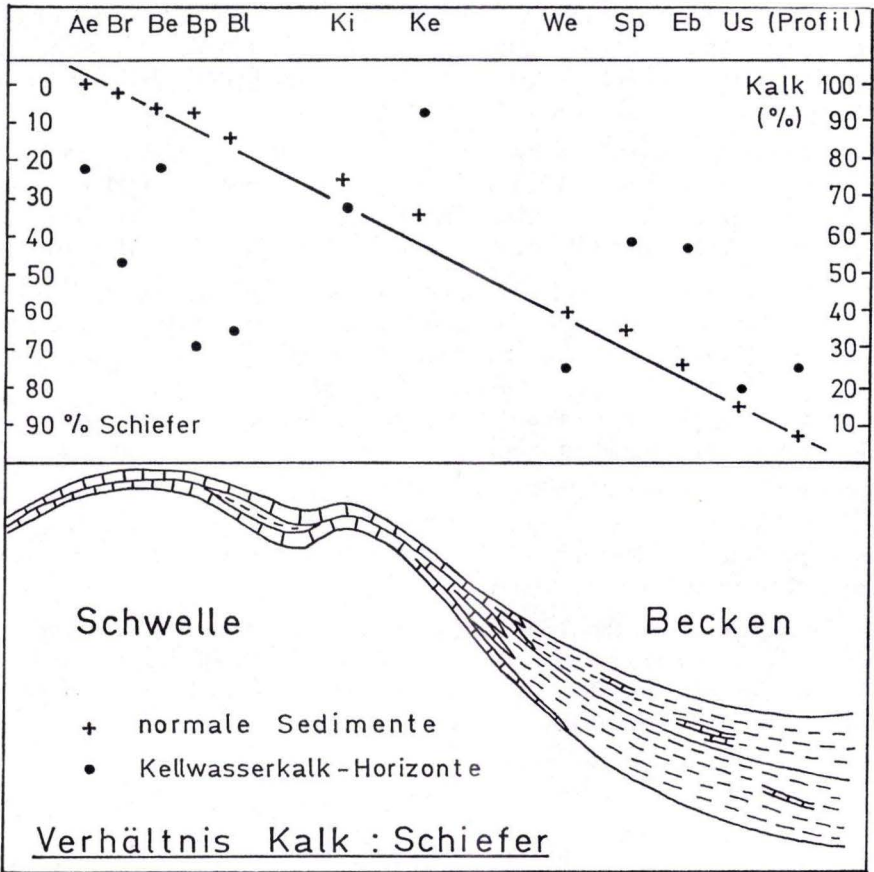


Abb. 6. Durchschnittliche Verteilung von Kalk und Schiefer in Abhängigkeit vom Ablagerungsraum.

Hierbei (Abb. 6) wurden für die aufgenommenen Profile die prozentualen Gehalte an Schiefen (einschließlich Mergel) einerseits und Kalkbänken andererseits ohne Berücksichtigung der KWK-Horizonte berechnet (Kreuze). Anschließend wurden die entsprechenden Werte für die KWK-Horizonte ermittelt (Punkte). Die Gegenüberstellung zeigt, daß für die normalen Sedimente eine deutliche Zunahme an Schiefen von der Schwelle zum Becken hin zu verzeichnen ist. Innerhalb der KWK-Horizonte ist dieser Trend nur geringfügig ausgeprägt. In der Schwellenfazies weisen diese einen relativ höheren, in der Beckenfazies einen relativ geringeren Schiefergehalt als die übrige Schichtenfolge auf.

Die häufige Nennung der KWK in der Literatur beruht z.T. auf den ausgezeichnet erhaltenen Faunen in den Kalkknollen. Die Knollen (wenige cm bis einige dm) haben häufig einen elliptischen Umriß, können aber auch unregelmäßig geformt sein. Eine Schichtung ist meist deutlich durch Fossillagen oder feine Bänderung ausgeprägt.

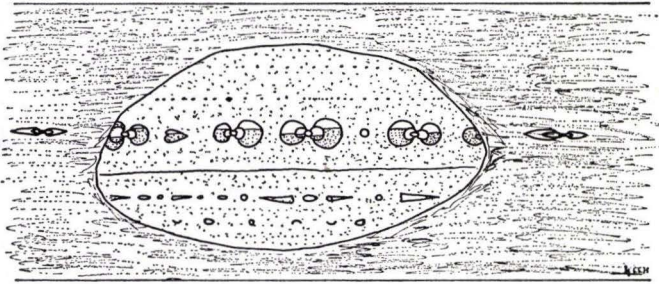


Abb. 7. Schematischer Querschnitt durch eine Kellwasserkalk-Knolle. Durchmesser der Knollen wenige Zentimeter bis Dezimeter.

Die Gehäuse der Fossilien (Goniatiten, Ostracoden, Tentaculiten) sind fast immer vollkörperlich erhalten und zeigen keine Verformungen, die auf Setzungserscheinungen zurückzuführen wären. Fossile Wasserwaagen sind häufig (Abb. 7 und Taf. 4, Fig. 12). In den die Kalkknollen umgebenden schwarzen Schiefen hingegen sind die Schalenreste flachgedrückt und nur als Steinkern oder Abdruck überliefert, sofern sie überhaupt erhalten sind.

Konzentrische Gefüge in den Knollen oder Anlagerungsstrukturen, die auf primäre Bildung hinweisen würden, konnten nicht gefunden werden. Lediglich durch spätere Vorgänge wie tektonische Verformung, randliche Umkristallisation und Verwitterung können derartige Gefüge vorgetäuscht werden.

Einen Sonderfall stellen die dunkelgrauen Kalkknollen im Steinbruch von Langenbach (La) dar, die zeitlich und faziell dem KWK entsprechen. Sie sind in feinschlammige rote und rötlich-graue, gut geschichtete Kalke eingeschaltet (Taf. 3, Fig. 10). Hier ist deutlich zu erkennen, daß die Kalkknolle in das unverfestigte, heute rote Sediment eingesunken ist. Die Grenze dunkelgrauer Kalk/roter Kalk ist scharf, aber nicht glatt, sondern ausgefranst. (Hinsichtlich der Genese s. S. 42).

Die KWK in engerem Sinn bestehen aus reinen bis tonigen Kalken, die im wesentlichen nach FOLK als Biomikrosparite anzusprechen sind. Die Hohlräume der Organismenreste sind in der Regel mit Sparit gefüllt (Taf. 5, Fig. 16). Die Cephalopodenkalke der Schwellenfazies sind hingegen häufig als Biomikrite ausgebildet.

In den rückstandsarmen KWK wird die Schichtung durch Fossilagen markiert, während tonige KWK eine deutliche Feinschichtung oder Bänderung erkennen lassen (Taf. 4, Fig. 12 und Taf. 2, Fig. 6), die durch eine Wechselfolge von kalkärmeren und kalkreicheren Partien und durch Lagen von Pyrit oder Pyritknötchen bedingt ist. Der von GRÄBE (1964) beschriebene rhythmische Wechsel von Sapropeliten und Kalken konnte gelegentlich beobachtet werden (Taf. 2, Fig. 7).

Die organische Substanz ist nicht gleichmäßig im Sediment verteilt, sondern an einigen Punkten diffus angehäuft. Tonreiche Lagen sind reicher an organischem C als Kalke. Dadurch wird die Feinschichtung und der erwähnte rhythmische Aufbau besonders betont. Alle Kalzitkörner der sparitischen Grundmasse sind von einem

dunklen Saum aus organischer Substanz umgeben. Auch auf Spaltrissen der Kalzitkristalle findet sich organische Substanz. Auffallende Anreicherungen von org. C treten in Hohlräumen der Fossilien (Cephalopoden, Taf. 3, Fig. 11, Tentaculiten) und in Gesteinsklüften auf. In den Klüften dürfte ein großer Teil der org. Substanz ausgewandert sein: So konnten im Stbr. Benner/Bicken (Be) einige Meter von den KWK-Horizonten entfernt in den Cephalopodenkalken Klüfte beobachtet werden, die mit „Asphalt“ verheilt waren.

Der Pyrit ist häufig an die basalen Abschnitte der Karbonatlagen gebunden. Dabei können bis zu einige cm große Konkretionen bzw. Kristalle entstehen (Taf. 3 Fig. 9). Meist aber tritt FeS_2 fein verteilt im Sediment auf.

Von besonderem Interesse für die genetische Deutung erscheint eine Probe aus der Prümer Mulde (Profil Os, Bank Nr. 9).

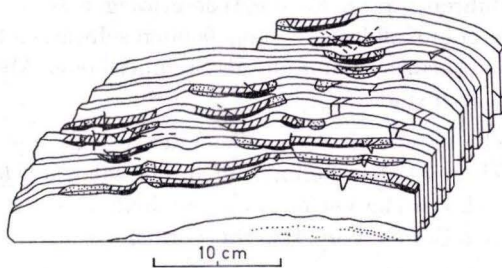
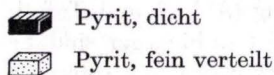


Abb. 8. Blockdiagramm der Probe Os 9 (Profil Oos, Prümer Mulde). Anreicherung von Sulfid in den Vertiefungen der unregelmäßigen Bankoberfläche.

Hier wurde anhand von Serienschnitten (Abb. 8) die räumliche Verteilung des Pyrits, der im Anschliff als unterbrochenes, helles, feinkristallines Band erscheint (Taf. 3, Fig. 8), genauer untersucht. Abb. 8 zeigt, daß die Kalkbank (Os9) zur Zeit der Fe-Sulfid-Bildung eine unregelmäßige Oberfläche aufwies, so daß der schwere Sulfidschlamm sich in den Vertiefungen gravitativ sammeln konnte, während höher gelegene Partien „erzfrei“ blieben.

5.2. Biofazies

Die KWK sind durch ihre auffallend gut erhaltenen Faunen bekannt geworden. Obwohl sie normalerweise fossilreicher als die Begleitsedimente sind, kann der Fossilreichtum nicht als diagnostisches Kriterium der KWK angesehen werden. In Abb. 9 ist anhand von Anschliffen die Anzahl der Tentaculiten, Ostracoden und Goniatiten pro cm^2 Schnittfläche aufgetragen. Zusätzlich wurde die Zahl der Conodonten pro kg Sediment abgeschätzt. Es zeigt sich, daß die stärksten Fossilanreicherungen nicht mit den KWK-Bänken zusammenfallen. Auch Vertebratenreste (Fischschuppen, die aus den Conodontenproben gewonnen wurden; Knochenreste, die im Anschliff beobachtet

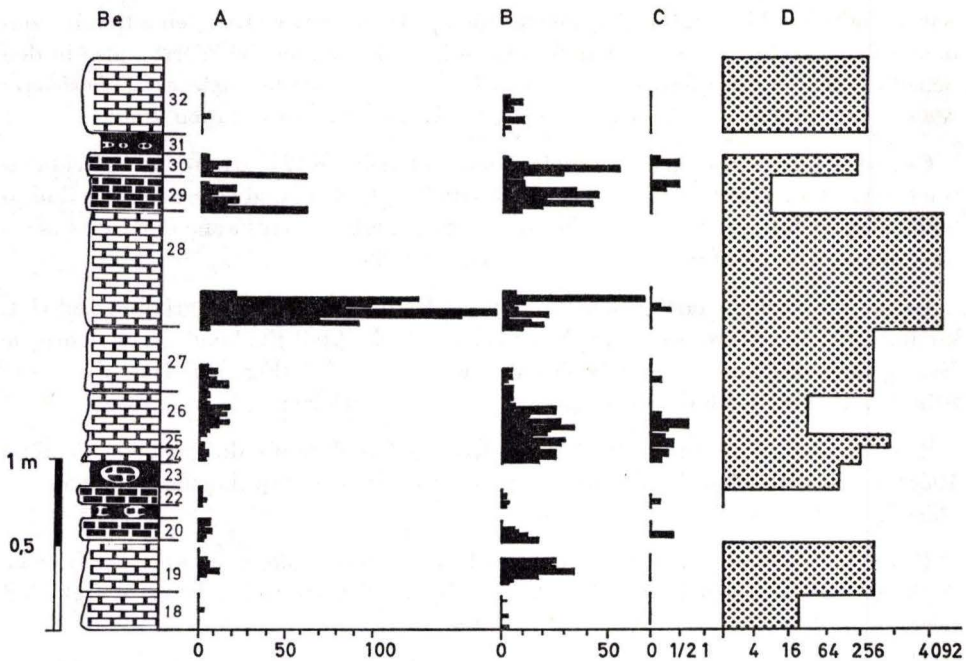


Abb. 9. Häufigkeit der Fossilien im Anschliff (senkrecht zur Schichtung) bzw. in Conodontenproben am Beispiel des Profils Benner/Bicken (Be). A = Anzahl der Tentaculitenquerschnitte pro cm^2 Schlifffläche, B = Anzahl der Ostracodenquerschnitte pro cm^2 Schlifffläche, C = Anzahl der Cephalopodenquerschnitte pro cm^2 Schlifffläche, D = Anzahl der Conodonten in einem Kilo Kalk.

werden konnten) sind keineswegs auf diese beschränkt. Dennoch scheint die Faunengemeinschaft der KWK einige charakteristische Züge aufzuweisen, die nachfolgend skizziert werden:

Conodonten: Aufgrund der günstigen Erhaltungsbedingungen konnte LANGE (1968) einige Conodonten-Gruppenfunde aus dem Stbr. Schmidt (Br) beschreiben.

Tentaculiten und Ostracoden: Auch diese Mikrofossilien sind zum Teil ausgezeichnet erhalten (RABIEN 1954). Die spitzkonischen Tentaculitengehäuse, die schon bei einer geringfügigen Strömung leicht eingesteuert werden können, liegen meist vollkommen regellos und wirr auf den Schichtflächen (Taf. 5, Fig. 17).

Ostracoden sind zum überwiegenden Teil zweiklappig erhalten, der umschlossene Innenraum ist zumeist mit Sparit gefüllt (Taf. 5, Fig. 16). Im Gegensatz dazu werden in den Cephalopodenkalken der Schwellenfazies oft isolierte Ostracodenklappen gefunden.

Lamellibranchiaten: Die Muschelfaunen sind individuenreich, aber im wesentlichen auf eine Gattung beschränkt. Das häufige Vorkommen der Gattung *Buchiola* (Taf. 5, Fig. 18–19) kann als charakteristisch für die KWK-Fazies angesehen werden.

Sonst sind diese kleinen Cardioconchen, für die H. SCHMIDT (1935) eine tangbewohnende Lebensweise annimmt, hauptsächlich in den Matagne-Schiefern – also in den Schelfsedimenten – zu finden. Im pelagischen Bereich tritt normalerweise *Posidonia venusta* (MÜNSTER) auf, die selten auch im KWK beobachtet werden konnte.

Cephalopoden: Auch die Cephalopoden sind in den KWK arten- und individuenreich vertreten. „Bemerkenswert ist, daß – im Vergleich zu den gleichaltrigen Büdesheimer bzw. Matagne-Schiefern – bei der stets gut erhaltenen Fauna der Kellwasserkalke keine Kümmerfaunen verliegen“ (KREBS 1969).

Orthocone Cephalopodengehäuse liegen wie die Tentaculiten zum größten Teil vollkommen unregelt im Sediment. Nur in einem Fall (Profil Et) konnte eine deutliche Einregelung der Nautiloideen beobachtet werden (Taf. 4, Fig. 13). Dies wird vom Stbr. Benner (Be) auch durch SEILACHER (1960) beschrieben.

Trilobiten: Nur aus Ostthüringen werden Trilobitenfunde gemeldet (GRÄBE 1964). Sonst fehlt diese Fossilgruppe offensichtlich ganz (Erhaltungsbedingungen für chitinige Substanz?).

Fische: Der Steinbruch Schmidt (Br) hat eine individuenarme aber artenreiche Arthroderien-Fauna geliefert, die als pelagische Formen weltweit verbreitet sind (siehe vor allem: JAECKEL 1906, 1928; GROSS 1932).

Ichnofossilien: Auffällig ist das Fehlen aller Spuren, die aus den Cypridinen-Schiefern häufig beschrieben sind. Auch Wühl- und Grabs Spuren, die aus Cephalopodenkalken bekannt sind, konnten nicht nachgewiesen werden. Die Feinschichtung in den KWK ist vollkommen ungestört.

Zusammenfassend kann die Fauna der KWK folgendermaßen charakterisiert werden (s. auch RABIEN 1956; KREBS 1969):

Nektonische, planktonische und pseudoplanktonische Organismen sind individuen- und artenreich vertreten; es liegen keine Kümmerfaunen vor. Bodenbewohner, besonders Endofaunen, fehlen hingegen völlig.

6. Geochemie

6.1. Einleitung

Chemische Analysen von KWK liegen bisher nur aus Ostthüringen (RÖSLER 1960b, GRÄBE 1964) vor. Neben hohen Vanadium-Werten tritt am Bergaer-Sattel ein erhöhter Cu- und Ni-Gehalt auf, der jedoch aus der Nachbarschaft von Vulkaniten zu erklären sein dürfte.

6.2. Probenvorbereitung

Aus den im Gelände gewonnenen Handstücken wurden möglichst unverwitterte Proben herausgesägt, von den Gegenstücken Anschliffe oder Dünnschliffe hergestellt,

um sedimentologische Erscheinungen, die den Chemismus des Gesteins bestimmen, kontrollieren zu können.

Die Proben (ca. 500 g) wurden in einem Labor-Backenbrecher („pulverisette 1“, Fa. Fritsch) auf etwa 5 mm Kantenlänge gebrochen. Ein Teil des vorgebrochenen Materials (ca. 200 g) wurden anschließend mit einer Planeten-Kugelmühle („pulverisette 5“, Fa. Fritsch) in Wolframcarbid-Mahlbechern (mit bis zu 7% Co als Bindemittel) staubfein gemahlen. Neben Abrieb von WC war die Kontamination mit Co so groß (50–100 ppm), daß die Analysenwerte von Co unbrauchbar waren. Andere Störungen konnten nicht nachgewiesen werden.

6.3. Voruntersuchungen

Zur Übersicht über den chemischen Bestand der KWK wurde das Gesteinspulver bzw. die in HCl und Königswasser unlöslichen Rückstände ohne übliche Vorpräparation direkt röntgenfluoreszenzanalytisch untersucht. Die so gewonnenen Röntgenfluoreszenz-Diagramme können zwar nicht quantitativ ausgewertet werden, sie gestatten aber neben qualitativen auch semiquantitative Aussagen (Abb. 10).

Im Kalk konnten nachgewiesen werden: Ba, Zr, Y, Sr, Rb, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Ca (und leichtere Elemente).

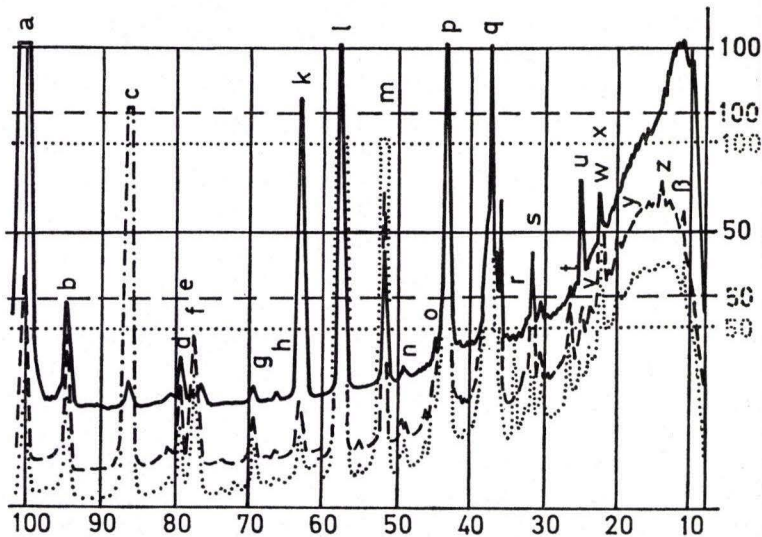


Abb. 10. Röntgenfluoreszenz-Analyse (Probe Be 26, W 50/30, LiF, 1×10^4 , Sci, Vacu 2×10^{-1}) der pulverisierten Probe (durchgezogene Linie), des in HCl unlöslichen Rückstands (punktiert) und der in Königswasser unlöslichen Substanz (gestrichelt). a = Ca K β , b = [2 W L α], c = Ti K α , d = [2 W L β], e = Ba L β , f = Ti K β , g = Cr K α + V K β , h = [2 W L γ], k = Mn K α , l = Fe K α , m = Fe K β , n = Ni K α , o = Cu K α , p = [W L α], q = [W L β], r = Pb L α , s = [W L γ], t = Rb K α , u = Sr K α , v = Y K α + Rb K β , w = Sr K β , x = Zr K α , y = Zr K β , z = Sn K α , β = Ba K α .

Im HCl-unlöslichen Rückstand liegen folgende Elemente vor: Ba, Zr, Y, Rb, Sr, Pb, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, V, Ti und Ca. In diesem Rückstand sind Zr und Ti (als Zirkon und Rutil, wie Röntgendiffraktometeraufnahmen zeigen) in den Schwermineralien angereichert, während der erhöhte Gehalt an Cu, Ni und Fe auf die in HCl schwerlöslichen Pyrite zurückzuführen ist. Auffällig ist die starke Anreicherung an Pb, welches wahrscheinlich sulfidisch (und karbonatisch?) gebunden war und als $PbCl_2$ ausgefällt wurde.

Der Rückstand des Königswasser-Aufschlusses zeichnet sich durch ein verstärktes Auftreten von Ba, Sr und Sn gegenüber dem Elementgehalt des HCl-Aufschlusses aus. Ba und Sr dürften im Rückstand als Sulfate vorliegen, die durch Oxidation (HNO_3 !) der Sulfide entstanden. Sn ist vermutlich in säurelöslicher Form enthalten gewesen und bei der Oxidation als SnO_2 ausgefällt worden.

Aus der Vielzahl der nachweisbaren Elemente wurde das für fazielle Aussagen wichtige Verhalten von Ca, Mg, Sr, Fe, Mn, Zn, Cu und untergeordnet von Ni, Cr und V speziell untersucht. Analysen der organischen Substanz und der Tonmineralverteilung runden das Bild ab.

6.4. Bestimmungsmethoden

Rückstand, Ca, Mg, Sr, Mn: Die Röntgenfluoreszenz-Analyse zeigt, daß Ca, Sr und Mn bei einem HCl-Aufschluß nahezu vollständig in Lösung gehen. Deshalb konnte folgendes Verfahren zur Bestimmung von Rückstand, Ca, Mg, Sr und Mn gewählt werden: 5 g der fein gepulverten Substanz wurden eingewogen, mit ca. 25 ml konz. HCl und 25 ml Aqua dest. versetzt und eine Stunde zum Sieden erhitzt. Danach wurde durch ein Rotbandfilter (Fa. Schleicher) in einen 500 ml Meßkolben filtriert, der Rückstand im Filter verascht, geglüht und ausgewogen. Aus dem Filtrat konnten Sr und Mn direkt, bzw. Ca, Mg und Mn nach der nötigen Verdünnung durch Atomabsorptions-Analyse (Perkin-Elmer 303) bestimmt werden. Es wurde dabei nach den Standard-Bedingungen für die einzelnen Elemente verfahren (Perkin-Elmer 1968).

Fe, Zn, Cu, Ni, Cr und V: Die chemische und mineralogische Bindung dieser Elemente ist nicht eindeutig gesichert. Ein Teil dürfte bereits mit HCl in Lösung gehen, während einige Elemente im Rückstand verbleiben. Daher mußte wie folgt verfahren werden: 5 g der Analysesubstanz wurden zunächst mit konz. HCl (+ wenig HNO_3) in der Hitze gelöst. Der unlösliche Rückstand wurde abfiltriert, mit dem Filter verascht und anschließend mit $HF/HClO_4$ aufgeschlossen. Die gewonnenen Lösungen wurden vereinigt und auf 200 ml aufgefüllt. Daraus konnten die einzelnen Elemente gegen Eichproben unter Verwendung der Zusatzmethode mit der Atomabsorptions-Analyse bestimmt werden (Standard-Methode, Perkin-Elmer 1968). Eine direkte Messung (ohne Zusatz) hätte bei der hohen Konzentration an Fremdionen zu einem Fehler bis zu 30% geführt. Eine Fehlerquelle, die bei der gewählten Methode nicht auszuschalten ist, liegt darin, daß Zn bei höheren Temperaturen, wie sie beim Veraschen auftreten, flüchtig werden kann. Andererseits konnte auf das Veraschen nicht verzichtet werden, da sich sonst die organische Substanz aus den KWK störend ausgewirkt hätte. Es ist aber anzunehmen, daß Zn zum größten Teil schon beim HCl-Auszug in Lösung gegangen ist.

Organische Substanz: Der Gehalt an organischem C konnte nach Auflösen des Karbonats durch Verbrennen der Substanz im Sauerstoffstrom und Absorption des entstandenen CO_2 an Natronasbest gravimetrisch bestimmt werden. Zur Aufnahme von Infrarot-Spektren wurden die im Backenbrecher vorgebrochenen KWK unter Chloroform in der Kugelmühle gemahlen. Anschließend mußte die Aufschlammung durch ein qualitatives Filter gegeben und mit CHCl_3 nachgewaschen werden. Das Filtrat wurde bei 100°C im Vakuumtrockenschrank eingedampft. Die pastenförmige extrahierte organische Substanz konnte auf eine NaCl-Küvette aufgetragen und mit dem IR-Spektralphotometer aufgenommen werden. Zur gravimetrischen Bestimmung der Menge der extrahierbaren organischen Substanz wurden die Kalke in verdünnter Essigsäure aufgelöst und die organische Substanz mit CHCl_3 extrahiert.

Tonminerale: Zur Identifizierung der Tonminerale mußten die Kalke in 0,1 n HCl aufgelöst werden. Der Rückstand wurde säurefrei gewaschen und in wäßriger Aufschlammung mit einer Pipette auf einen Objektträger gebracht. Nach dem Trocknen dienten die so gewonnenen Texturpräparate der röntgenographischen Bestimmung mit einem Phillips-Röntgendiffraktometer (Cu $K\alpha$ -Strahlung).

6.5. Fehlerbetrachtung

Die bei den Analysen erreichte Genauigkeit dürfte etwa folgende sein (Fehler bezogen auf Elementkonzentration = 100 %):

	im Bereich von	Fehler
Rückstand	1 — 100 %	< 1 %
Ca	10 — 40 %	< 3 %
Mg	0,1 — 10 %	< 3 %
Sr	150 — 1000 ppm	< 10 %
	50 — 150 ppm	< 20 %
Fe	0,1 — 10 %	< 5 %
Mn	200 — 8000 ppm	< 5 %
Zn	20 — 100 ppm	< 10 %
Cu	20 — 100 ppm	< 10 %
Ni	10 — 100 ppm	< 20 %
Cr	10 — 100 ppm	< 30 %
V	500 — 1000 ppm	< 30 %

Durch sorgfältigeres Arbeiten hätte die Fehlergrenze niedriger gehalten werden können. Eine Untersuchung, bei der aus denselben Bänken die gleichen Proben zweimal wenige m voneinander entfernt genommen wurden, hat jedoch gezeigt, daß schon innerhalb einer Bank die Schwankung der Spurenelementgehalte größer als der angegebene Analysenfehler ist.

6.6. Geochemische Befunde

6.6.1. Einleitung

Die Literatur über die Geochemie von schwarzen Schiefen ist sehr umfangreich und kann in der vorliegenden Arbeit nur unvollständig berücksichtigt werden. Eine

umfassende Übersicht über die ältere Literatur gibt E. B. TOURTELOT (1970) mit 375 Zusammenfassungen von Arbeiten über „Minor-Element Content of Marine Black Shales and Related Sedimentary Rocks, 1930–65“. Wesentlich geringer ist die Anzahl der Arbeiten, die bisher über die Geochemie bituminöser Kalke erschienen sind.

Sämtliche eigenen Analysendaten, auf denen die vorliegende Arbeit beruht, sind im Geologisch-Paläontologischen Institut der TH Darmstadt hinterlegt (Tonminerale siehe Tab. 4).

6.6.2. Rückstand und Ca

Am Rückstand, der im wesentlichen aus Ton- und Glimmermineralien, Quarz, Feldspat, Pyrit und organischer Substanz besteht, treten bei dem gewählten Analysenverfahren zahlreiche Veränderungen auf ($\text{FeS}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$; Org. Subst. \rightarrow flüchtige Bestandteile, u. a.). Daher stimmen die ermittelten Ergebnisse nicht mit dem tatsächlich in HCl unlöslichen Rückstand überein. Die Analysenwerte ergeben für die aufgenommenen Profile einen mittleren Rückstandsgehalt von etwa:

10% für die reineren Kalke (Profil Br, Ad, Ae, Ah, Av, Er, Hm u.a.)

20% für die unreineren Cephalopodenkalke (Profil Be, Bp, Ei, Kb, He, Ro u.a.)

bis zu 80% für die Matagne-Schiefer und die Schiefer der Beckenfazies.

Die errechneten Mittelwerte decken sich jedoch nur unvollkommen mit den tatsächlichen, da die Proben gezielt entnommen wurden und keine Schlitzproben vorlagen.

Die Einzelanalysen weichen in den KWK-Horizonten am stärksten von diesen Mittelwerten ab: Hier sind die rückstandsreichsten und rückstandsärmsten Proben des ganzen Profils (z.T. mit einem Rückstand $< 2\%$) zu verzeichnen (Taf. 7).

Das Ca ist fast vollständig als Kalzit (selten Dolomit) gebunden, wie röntgenographische Untersuchungen ergaben. Aragonit oder Mg-Kalzit konnte in keinem Fall nachgewiesen werden. Rückstand und Ca zeigen eindeutig eine negative Korrelation und ergeben zusammen für die Kalke (Ca als CaCO_3 berechnet) nahezu 100%. Bei den Schieferproben kann die Summe jedoch erheblich (bis zu 30%) unter diesem Wert liegen.

Eine weitere Betrachtung der Analysendaten von Ca und Rückstand erfolgt in den Abschnitten 6.6.3. – 6.6.5. Auf die mineralogische Zusammensetzung des Rückstandes wird im Kapitel 6.6.11. eingegangen.

6.6.3. Magnesium

Die Mg-Gehalte fast aller Proben sind gering (0,1 – 1,5%, meist um 0,5%). Ein Unterschied zwischen den KWK-Horizonten und den umgebenden Sedimenten konnte nicht beobachtet werden. Die mehr oder weniger gute positive Korrelation von Mg und Rückstand (Abb. 11, Profil Bf, Ma, Nm, Er, Ke, Be, Ei, We) zeigt, daß Mg überwiegend an Ton- und Glimmermineralien gebunden ist. Nur die Analysendaten des Profils von Halberbracht (Ha) lassen ein umgekehrtes Verhalten erkennen. Eine röntgenographische Überprüfung ergab, daß hier der Hauptanteil des Mg im Dolomit vorliegt, während in den übrigen Profilen kein Dolomit nachgewiesen werden konnte.

Nach den Untersuchungen von SCHROEDER (1969) an rezenten Karbonaten kann Mg nur beschränkt für Studien über das Ablagerungsmilieu der Sedimente verwendet

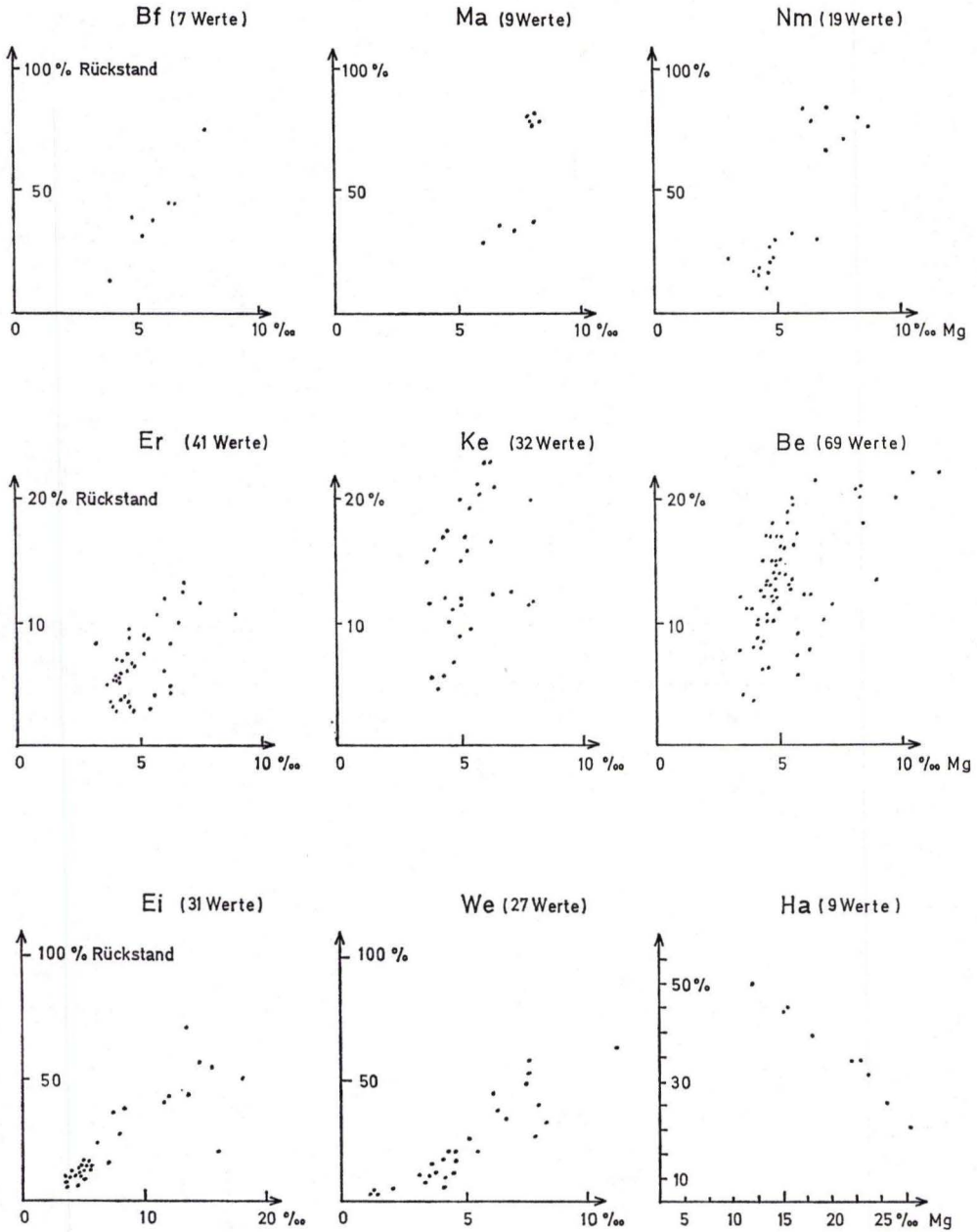


Abb. 11. Korrelation von Rückstand und Magnesium (am Beispiel der Profile Bf = Boussu-en-Fagne, Ma = Matagne gr., Nm = Nismes, Er = Erfoud, Ke = Kellwassertal, Be = Benner/Bicken, Ei = Eibach, We = Weilburg und Ha = Halberbracht).

werden, da bei gewöhnlichen p-t-Bedingungen Mg, Ca und Sr in der genannten Reihenfolge inkongruent zur ursprünglichen Menge gelöst werden.

6.6.4. Strontium

Die Sr-Gehalte sind mit durchschnittlich 100 – 500 ppm sehr niedrig. Im Vergleich mit den sie unter- und überlagernden Schichten fallen die KWK durch, wenn auch nur gering erhöhte Sr-Konzentrationen auf (Taf. 9); dennoch bleiben auch sie erheblich unter den an rezenten Karbonaten ermittelten Werten (KINSMAN 1969: Aragonit 7000 – 10000 ppm; Kalzit 1000 – 1200 ppm). Sr muß daher in starkem Maße bei der Diagenese oder bei späteren Prozessen abgeführt worden sein. Eine positive Korrelation zum Rückstand wie bei Mg besteht nicht (Taf. 7–9). Die Literatur über Sr und seine Bedeutung als Faziesindikator ist sehr umfangreich und soll hier nicht diskutiert werden. Von grundsätzlicher Bedeutung sind die Ergebnisse von WEDEPOHL (1970, S. 693): „Rezente organische und anorganische Karbonate marinen Ursprungs haben deutlich höhere Strontiumgehalte als die Hauptmenge der Kalke vor-tertiären Alters. Nach dieser Beobachtung eignet sich Strontium für Bilanzen des Stoffumsatzes bei der Diagenese der Karbonatgesteine. Die Strontiumbilanz zeigt, daß die Hauptmenge prä-tertiärer Kalke aus Produkten diagenetischer Karbonatfällung besteht.“

6.6.5. Mangan

Die Mangangehalte zeigen eine eindeutige Abhängigkeit vom Ablagerungsraum. Die aus mehreren Analysen (pro Profil) gemittelten Werte reichen von etwa 500 ppm in den Schwellensedimenten bis zu 10000 ppm in der Beckenfazies (Abb. 12). Das Mn erweist sich damit innerhalb des untersuchten Gebietes als ausgezeichneter Faziesindikator.

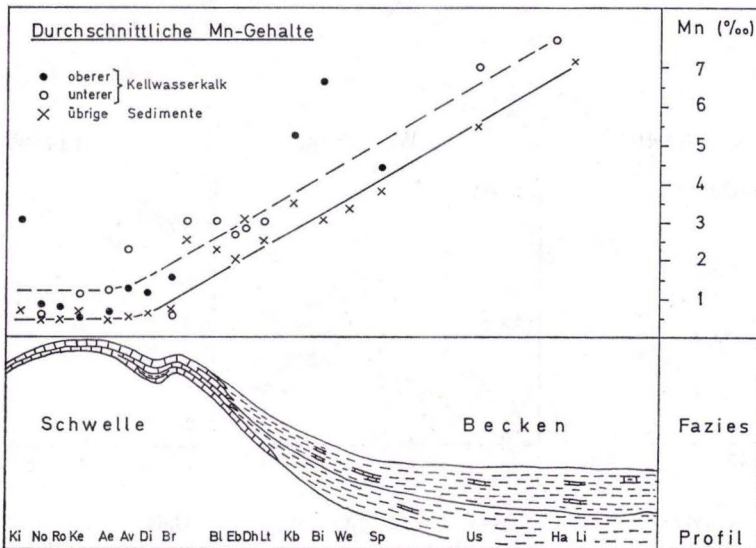


Abb. 12. Durchschnittliche Mangangehalte in Abhängigkeit von Ablagerungsraum und Fazies.

Die KWK-Horizonte treten in den Profilen durch stark erhöhte Mn-Konzentrationen hervor (Abb. 12). Da hohe Mangangehalte der Beckenfazies zuzuordnen sind, ist in der Ausbildung der KWK-Horizonte eine „Transgression“ der Beckenfazies auf die Schwelle zu sehen.

Für die spätere Interpretation (Kap. 7) sind drei weitere Befunde von besonderer Bedeutung:

(1) Die Korrelation von Rückstand und Mangan (Taf. 6, Profile Hg, Os, Lf, Ha, Ro, Li, Ma, Nm) ist negativ für Proben mit mehr als 10% Rückstand. Bei reineren Kalken (Rückstand < 10%) ist die Korrelation nicht eindeutig oder positiv (Taf. 6, Profile Os, Lf, Nm). Das heißt, daß in rückstandsreichen Proben die Mangangehalte mit zunehmendem Karbonatanteil ansteigen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt WEDEPOHL (1964) für Proben aus dem Kupferschieferbecken des Zechsteins.

(2) Stellt man jedoch den Mittelwert der Mangananalysen aus einem Profil dem Kalk/Schiefer-Verhältnis (s. Kap. 5.1., S. 18) gegenüber, so ergeben sich steigende Mn-Gehalte mit zunehmendem Schieferanteil (Abb. 13):

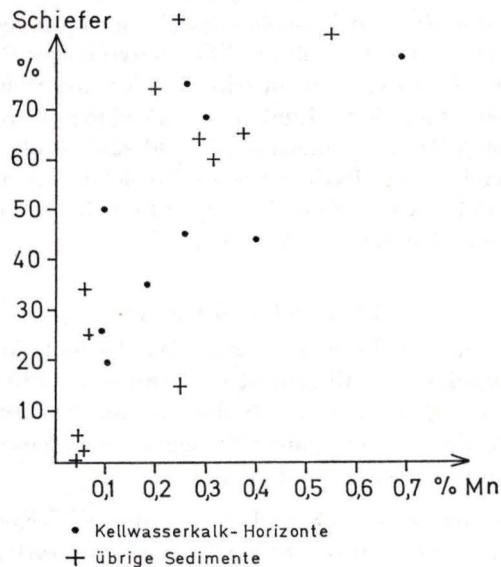


Abb. 13. Korrelation von durchschnittlichem Mn-Gehalt (im Profil) und Schieferanteil.

Bei getrennter Berechnung des Kalk/Schiefer-Verhältnisses für KWK-Horizonte (Punkte) und für „normale“ Sedimente (Kreuze) liegen die Werte im Korrelationsdiagramm (Abb. 13) im gleichen Feld, unabhängig davon, ob es sich um Analysendaten aus den Kellwasserkalkhorizonten oder ob es sich um Mittelwerte aus den „normalen“ Sedimenten der Profile handelt.

(3) Kalkbänke, die in schiefrige Sedimente eingeschaltet sind, lassen einen rhythmischen Aufbau erkennen. An der Basis der Kalkbänke sind die Mn-Gehalte am höchsten und nehmen bis zur Bankoberkante stetig ab (Taf. 6, Profil Hg und Os).

Die zahlreichen Arbeiten über Mn-Analysen und Mn-Knollen der Tiefsee beschäftigen sich zum überwiegenden Teil mit Sedimenten aus Ablagerungsräumen, in welchen oxidierende Verhältnisse herrschen (freier O_2 im Wasser). Schiefer, die unter reduzierenden Bedingungen abgelagert wurden, zeigen dagegen meist geringe Mn-Gehalte (WEDEPOHL 1970, S. 702).

Nach den Untersuchungen von MANHEIM (1961) und HARTMANN (1964) über den Mn-Gehalt in rezenten Sedimenten der Ostsee, treten im Bodenwasser und in den obersten cm der Sedimente auffallend hohe Mn-Gehalte auf, wobei sich röntgenographisch faßbare Mn-Ca-Mischkarbonate bilden können. Wenige dm bis cm unter der Sediment-Oberfläche nehmen jedoch die Mn-Gehalte stark ab.

6.6.6. Eisen

Die Eisengehalte der Sedimente sind mit durchschnittlich 0,5–2% (min. 0,1%; max. 8,5%) gering. Fe dürfte in den Profilen der Schwellenfazies (in den karbonatreichen Sedimenten) überwiegend in sulfidischer Form, untergeordnet vielleicht an Chlorit und Illit/Serizit gebunden vorliegen. Die Analysen zeigen (Taf. 7–9), daß FeS_2 keineswegs nur in KWK-Horizonten auftritt. In den tonreichen Sedimenten der Beckenfazies dürfte eine silikatische Bindung des Fe eine größere Rolle spielen, aber auch dort wurden häufig Bänder, Konkretionen und Einkristalle von Pyrit beobachtet (bezüglich der Verteilung des Pyrits im Sediment siehe Kap. 5.1.). Eine Beziehung zwischen den Analysendaten von Fe und Mn konnte nicht festgestellt werden. Weitere Ergebnisse folgen in den Kap. 6.6.7.–6.6.8.

6.6.7. Zink und Kupfer

Die Cu- und Zn-Gehalte der Proben liegen im Durchschnitt in einem Bereich zwischen 10 und 100 ppm mit einem Mittelwert von etwa 30 ppm für Zn und 20 ppm für Cu. Gewöhnlich sind die Zn-Gehalte der Sedimente um 30–50% höher als die Cu-Gehalte; nur im Profil Br ist Cu gegenüber Zn angereichert, besonders in Proben aus den KWK-Horizonten (Abb. 15, Profil Br).

Vergleicht man die Gehalte von Cu und Zn mit der S^{--} -Konzentration, für die (nach Kap. 6.6.6.) mindestens in der Schwellenfazies stellvertretend Fe eingesetzt werden kann, so ergeben sich die Korrelationsdiagramme der Abb. 14 u. 15 und der Taf. 7:

Die Korrelation zwischen Fe einerseits und Cu und Zn andererseits ist in allen Fällen positiv. Proben aus den KWK-Horizonten zeigen eine bessere Korrelation als die aus den übrigen Sedimenten. Bemerkenswert ist, daß das Verhältnis Cu : Fe – besonders in den Profilen Ke (Taf. 7) und Br (Abb. 15) – für Analysenwerte aus den KWK-Horizonten im Durchschnitt größer ist als für die anderen Analysenwerte. Cu ist demnach verglichen mit den Fe-Gehalten in den KWK schwach angereichert.

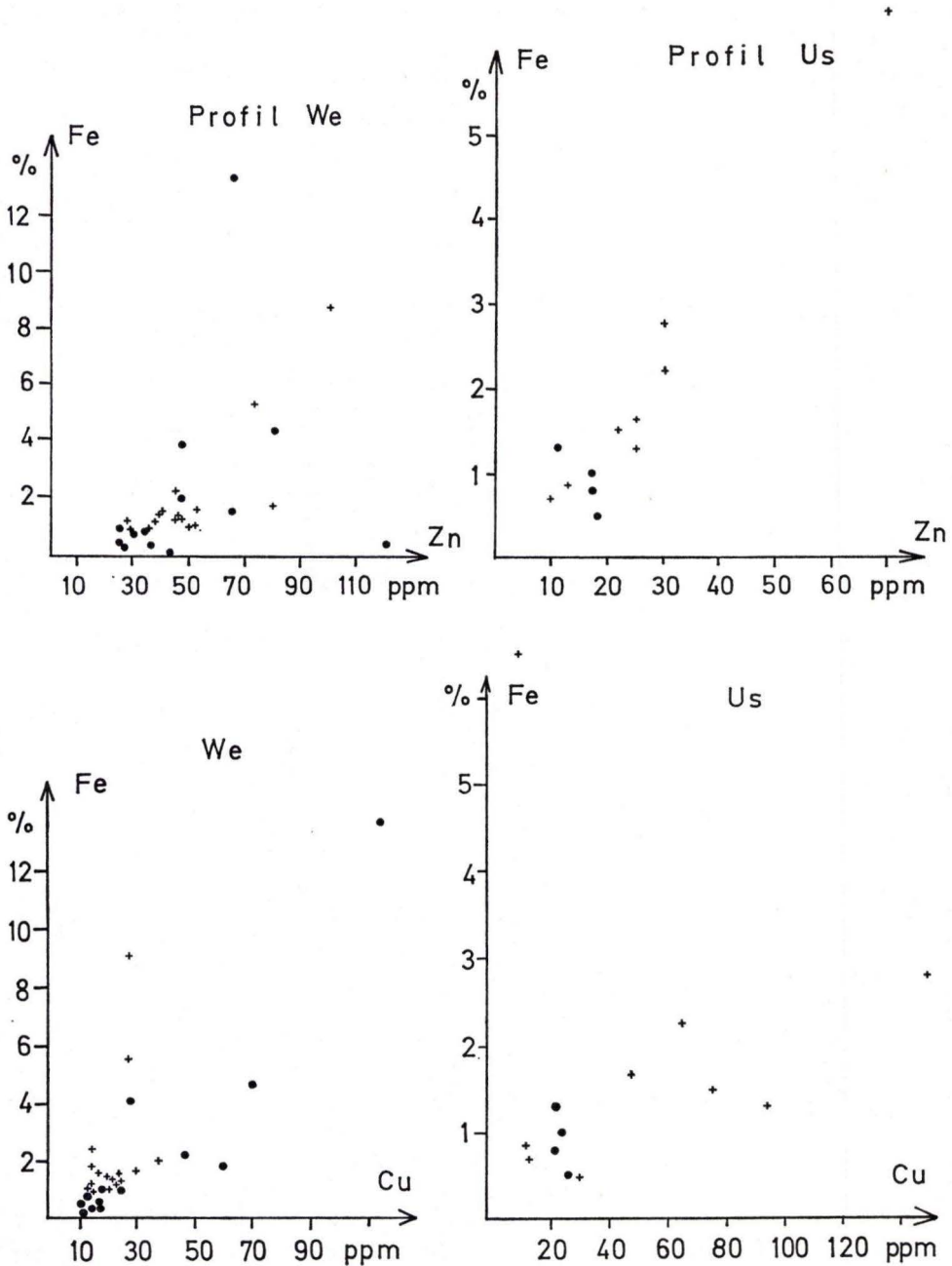


Abb. 14. Korrelation von Eisen und Zink bzw. von Eisen und Kupfer am Beispiel der Profile We = Weilburg und Us = Usseln. Kreuze = Proben im allgemeinen, Punkte = Proben aus einem der Kellwasserkalk-Horizonte.

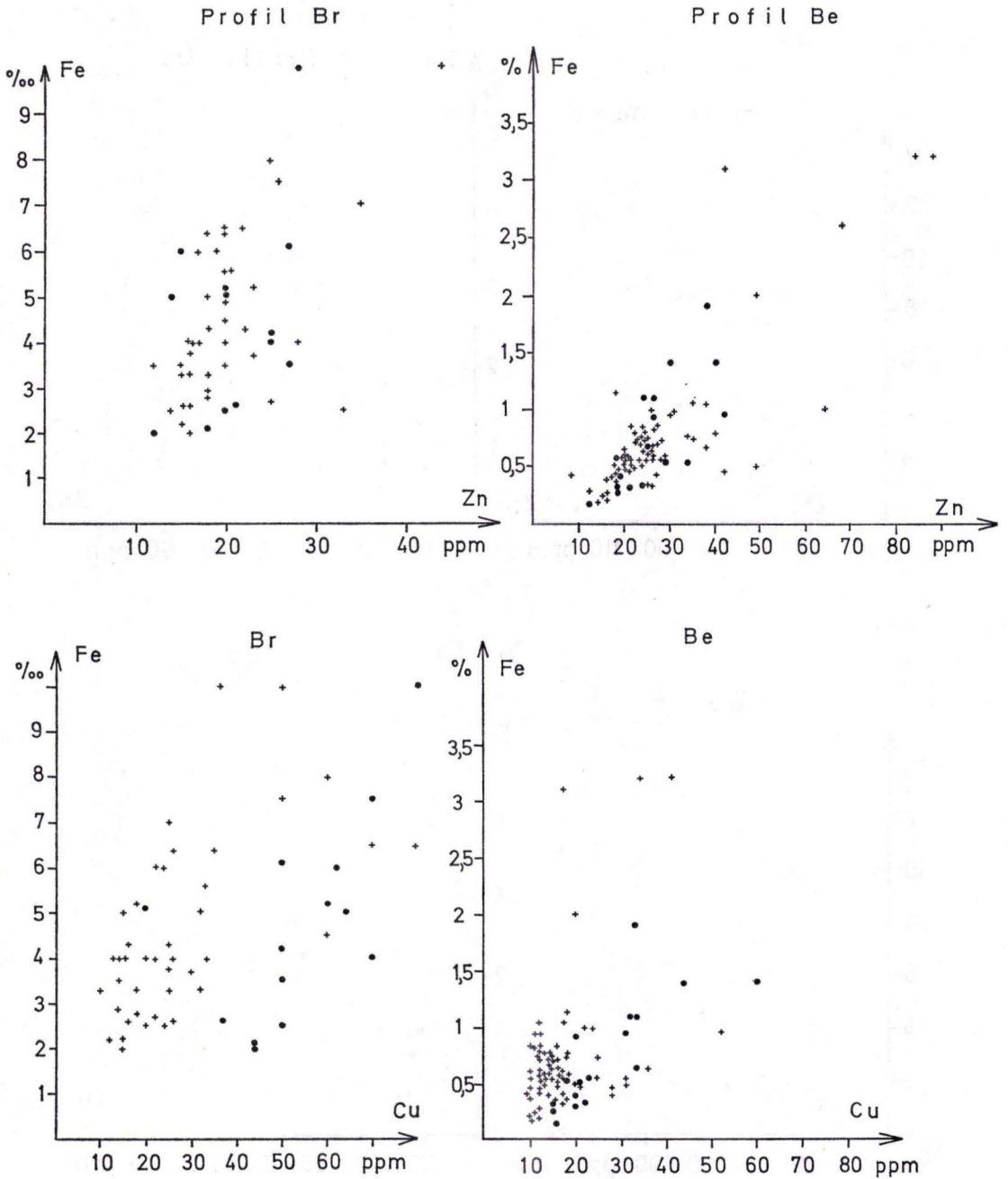


Abb. 15. Korrelation von Eisen und Zink bzw. von Eisen und Kupfer am Beispiel der Profile Br = Braunau und Be = Benner/Bicken. Kreuze = Proben im allgemeinen, Punkte = Proben aus einem der Kellwasserkalk-Horizonte.

Die festgestellten Gehalte an Cu und Zn decken sich im wesentlichen mit den in der Literatur über bituminöse Sedimente erschienenen Daten, wenn man die Analysenwerte auf karbonatfreie Substanz umrechnet (Übersichten bei WEDEPOHL 1964 und VINE & TOURTELET 1970). WEDEPOHL (1964) gibt eine Tabelle der Löslichkeiten der Sulfide und der mittleren Gehalte einiger Elemente im Meerwasser, um abzuschätzen, „welche Elemente in einem Becken mit stagnierendem, normalem Meerwasser durch bakterielle H_2S -Produktion ausfallen, ...“. Die angegebenen Löslichkeitsprodukte sind berechnete Werte, die nicht auf die Ionenaktivität im Meerwasser korrigiert sind und auch nicht berücksichtigen, daß z. B. komplexe Cu-Fe-Sulfide wesentlich niedrigere Löslichkeitsprodukte aufweisen als die reinen Sulfide. Daher kann die Tabelle (Tab. 3) nur Anhaltspunkte für das mögliche Verhalten der Elemente geben.

Tab. 3. Löslichkeit der Sulfide (Hydroxide) und Fe-, Zn-, Cu-, Ni- und Cr-Mengen im Meerwasser (WEDEPOHL 1964, Tab. 7)

	Löslichkeit der Sulfide in Gew.- % (pH 7, 25° C)	Konzentration der Elemente im Meerwasser (Gew.- %)
Cu	$1,3 \times 10^{-14}$	3×10^{-7}
Fe	3×10^{-11}	1×10^{-6}
Zn	9×10^{-10}	$1,5 \times 10^{-6}$
Ni	3×10^{-7}	5×10^{-8}
Cr (als Cr (OH) ₂ *)	3×10^{-5}	5×10^{-9}

*) Cr wird bei negativem E_h zu Cr^{2+} reduziert und damit als Hydroxid ausgefällt werden.

Die Elemente Cu, Fe und Zn sollten bei den beobachteten H_2S -Gehalten von 10^{-5} bis 10^{-4} Mol/l in der genannten Reihenfolge aus Meerwasser von normaler Salinität ausfallen. KRAUSKOPF (1956) kam bei experimentellen Arbeiten über Faktoren, die den Gehalt an Spurenelementen im Meerwasser kontrollieren, hinsichtlich Cu und Zn zu vergleichbaren Ergebnissen. Eine stärkere Anreicherung dieser Elemente setzt jedoch voraus, daß sich die Grenze hoher/niedriger Sulfidkonzentration ständig verschiebt, da sonst rasch ein chemischer Gleichgewichtszustand eintritt.

6.6.8. Nickel und Chrom

Die Ni-Gehalte mit durchschnittlich 60 ppm (30–100 ppm) und die Cr-Gehalte mit durchschnittlich 35 ppm (10–70 ppm) sind niedrig und entsprechen den in der Literatur gegebenen Daten. Wegen der geringen Empfindlichkeit der Atom-Absorptions-Spektrophotometrie für Cr und Ni sind die Analysenfehler bei der niedrigen Konzentration der genannten Elemente relativ hoch. Daher wurden nur die Proben aus dem Profil Ke (Taf. 7) systematisch untersucht; von anderen Profilen liegen lediglich Stichproben vor. Eine Korrelation (Taf. 7) von Ni und Cr zu Fe (wie bei Cu und Zn) besteht nicht. Schon Tab. 3 zeigt, daß Ni und Cr unter normalen Verhältnissen nicht als Sulfide ausgefällt werden können. Eine Anreicherung der beiden Elemente im KWK konnte nicht beobachtet werden. Die höchsten Gehalte treten im Profil in den die KWK begleitenden schwarzen Schiefen auf (Taf. 7, Profil Ke: Bank 5 und 13).

Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von KRAUSKOPF (1956), wonach Ni und Cr möglicherweise durch Absorption an Tonmineralien dem Meerwasser entzogen werden (vgl. Kap. 6.6.11.).

6.6.9. Vanadium

Auf die Bedeutung des V für die Geochemie bituminöser Sedimente wird in der Literatur immer wieder hingewiesen. Die positive Korrelation von V mit org. C zeigt die Bindung dieses Elements an bituminöse Substanz (WEDEPOHL 1964).

Infolge der nur geringen Empfindlichkeit der Atom-Absorptions-Spektralanalyse für V konnte nur in einer Probe (Eibach: Ei 7) ein erhöhter V-Gehalt von ca. 1000 ppm nachgewiesen werden. In allen übrigen Proben liegt die Konzentration unter der Nachweisgrenze (< 500 ppm).

6.6.10. Organische Substanz

Eine Betrachtung der geochemischen Befunde ergibt, daß nur der Gehalt an organischer Substanz als diagnostisches Merkmal für die KWK-Fazies herangezogen werden kann. Qualitativ zeigt sich die Anwesenheit von org. C schon durch die schwarze Farbe des Sedimentes. Für quantitative Aussagen wurde aus zwei Proben des Profils Ke (Kellwassertal) der org. C bestimmt. Die Gehalte sind mit 0,7% (Probe Ke 6) und 0,4% (Probe Ke 12) nicht sehr groß. Ein Teil der org. Substanz (ca. 10%) konnte mit CHCl_3 extrahiert werden (Taf. 7) und mit dem IR-Spektralphotometer aufgenommen werden, um einen Überblick über den Chemismus zu erhalten (Abb. 16).

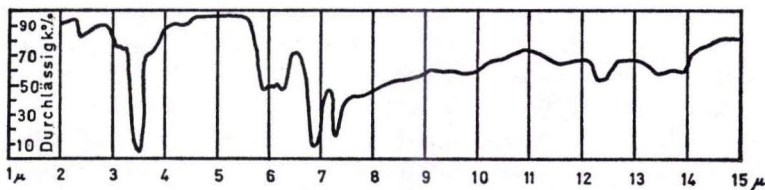


Abb. 16. IR-Spektrum der mit CHCl_3 extrahierbaren organischen Substanz (Probe Os 1b).

Die Auswertung des IR-Spektrums erfolgte im wesentlichen nach Vergleichen mit geochemischen Analysen italienischer Öle und Asphalte von COLOMBO & SIRONI (1961) und verschiedener Bitumina von KNOTNERUS (1970) und brachte folgendes Ergebnis:

Die Bande bei ca. 3,45 μ ist den CH_2 - und CH_3 -Gruppen zuzuordnen, deren Verhältnis aus den verschiedenen Peak-Intensitäten bei 6,85 μ (CH_2) und 7,3 μ (CH_3) abzulesen ist. Die Banden bei 6,25 μ , 12,37 μ und 13,50 μ sind auf aromatische Verbindungen zurückzuführen.

Paraffinische Verbindungen zeigen bei 13,90 eine starke Absorption. Dieser Peak ist im vorliegenden Spektrum nur relativ schwach ausgeprägt. Die starke Alteration der Bitumina wird durch die Carbonylbande bei 5,85 μ angezeigt, ferner bewirkt der

hohe Oxidationsgrad eine niedrigere Absorption der Banden im Bereich zwischen 8–14 μ . Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, daß es sich bei dem untersuchten extrahierbaren Bitumenanteil um ein hochgradig oxidiertes naphthenisches Öl mit geringen paraffinischen Anteilen handelt.

6.6.11. Tonmineralien

Der Ton- und Glimmeranteil des Rückstandes besteht aus folgenden Mineralien: Chlorit, Illit, Serizit, Kaolinit, Glimmer (allgemein) und Mixed-layer. Innerhalb eines Profils ändert sich die mineralogische Zusammensetzung der Tonmineralien kaum (Tab. 4). Die regionale Verteilung der Mineralien im Rheinischen Schiefergebirge ist auf Abb. 17 dargestellt. Es konnten fünf Mineralgesellschaften unterschieden werden (neben Kaolinit):

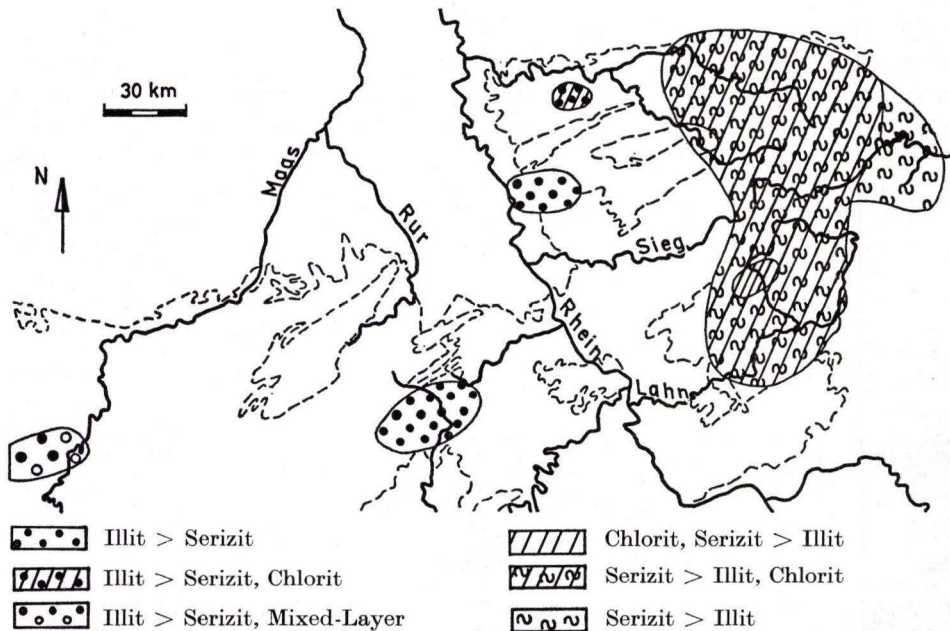


Abb. 17. Verteilung der Tonmineralien (außer Kaolinit) im Rheinischen Schiefergebirge.

- (1) Vorwiegend Serizit, untergeordnet Illit.
- (2) Vorwiegend Serizit, untergeordnet Illit und wenig Chlorit.
- (3) Vorwiegend Chlorit, Serizit und untergeordnet Illit. Diese Assoziation tritt im Gebiet mit starkem (mitteldevonischem) Vulkanismus auf und konnte auch im Profil an der Ruine Nordeck (No/Frankenwald) beobachtet werden.

Die drei genannten Mineralgesellschaften mit einem Überwiegen von Serizit über Illit ist auf den tektonisch stärker beanspruchten Teil des Rheinischen Schiefergebirges beschränkt.

(4) Vorwiegend Illit, untergeordnet Serizit.

(5) Vorwiegend Illit, untergeordnet Serizit und Spuren von Mixed-layer.

Die Typen (4) und (5) treten in den tektonisch weniger beanspruchten Gebieten auf.

Es ist anzunehmen, daß die Tonminerale eine bedeutende Rolle bei der Bindung von einigen Spurenelementen spielen. Auffälligerweise besteht der Rückstand der Probe mit der höchsten Konzentration an Spurenelementen fast ausschließlich aus Chlorit (Probe Eibach: Ei 7 mit folgenden Spurenelementgehalten: 335 ppm Zn, 125 ppm Cu, 400 ppm Cr und 1000 ppm V). Vermutlich sind die hohen Gehalte an diesen Elementen, die GRÄBE (1964) vom Bergaer Sattel beschreibt, auch mit der Tonmineralassoziation in Zusammenhang zu bringen (GRÄBE macht dazu keine näheren Angaben).

6.6.12. Quarz/Feldspat-Verhältnis

Der Rückstand besteht neben den Tonmineralien überwiegend aus Quarz und untergeordnet Feldspat. Das Quarz/Feldspat-Verhältnis charakterisiert den Reife-grad eines Sedimentes. Zur Bestimmung dieses Verhältnisses wurden von den Gesteinsproben texturfreie Präparate hergestellt, die röntgenographisch aufgenommen wurden (Cu K α). Aus den Intensitäten bei $2\theta = 26,7^\circ$ ($d = 3,343 \text{ \AA}$) für Quarz und etwa $2\theta = 28^\circ$ ($d \approx 3,2 \text{ \AA}$) für Feldspäte werden ohne Berücksichtigung des Massen-Schwächungs-Koeffizienten (= konstanter Faktor) die Quarz/Feldspat-Verhält-

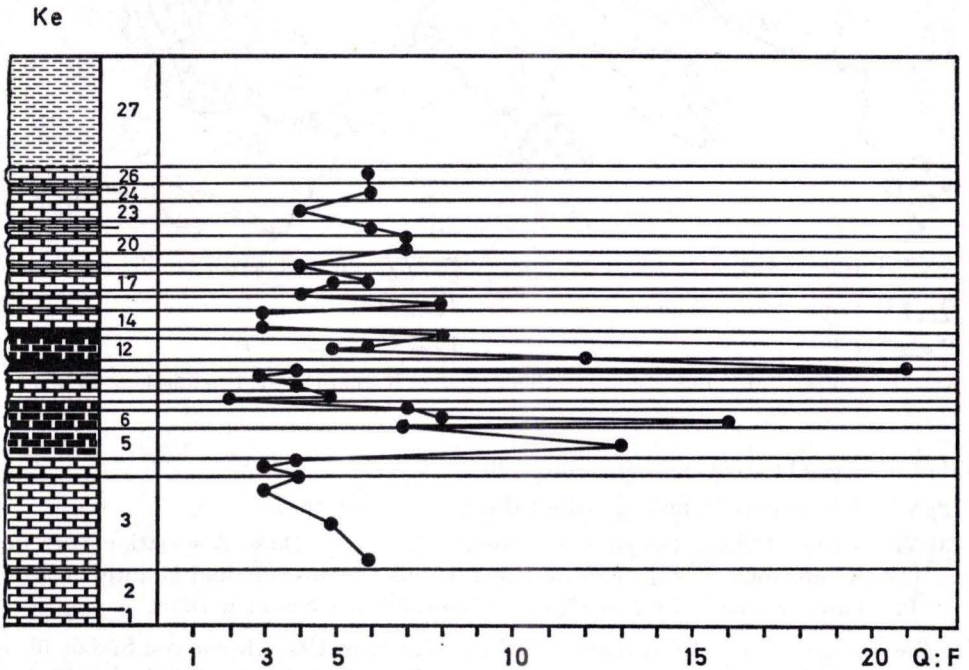


Abb. 18. Quarz/Feldspat-Verhältnis am Beispiel des Profils vom Kellwassertal (Ke/Harz).

nisse für das Profil Ke berechnet. Die Auswertung (Abb. 18) zeigt, daß in den KWK-Horizonten (besonders an der Basis) die höchsten Werte auftreten. Der Rückstand des Sedimentes erreicht demnach zur Zeit der KWK-Bildung den höchsten Reifeegrad.

6.6.13. Sekundäre Veränderungen

An den Klippen des Romkerhaller Wasserfalls (Ro/Harz), die durch den Okergranit metamorph überprägt wurden, kann der Einfluß der Kontaktmetamorphose studiert werden. Im Spurenmetallspektrum der analysierten Elemente werden keine Abweichungen gegenüber den unveränderten Profilen beobachtet. Die Kalke müssen daher zur Zeit der Metamorphose ein chemisch geschlossenes System dargestellt haben. Veränderungen traten aber an der mineralogischen Zusammensetzung auf:

Röntgenographische Aufnahmen zeigen, daß Tonminerale fast vollständig und nahezu aller Quarz im Rückstand fehlen. Vermutlich sind diese Silikate in einem „alkalischen Aufschluß“ (CaCO_3) in Ca-Silikate umgewandelt worden.

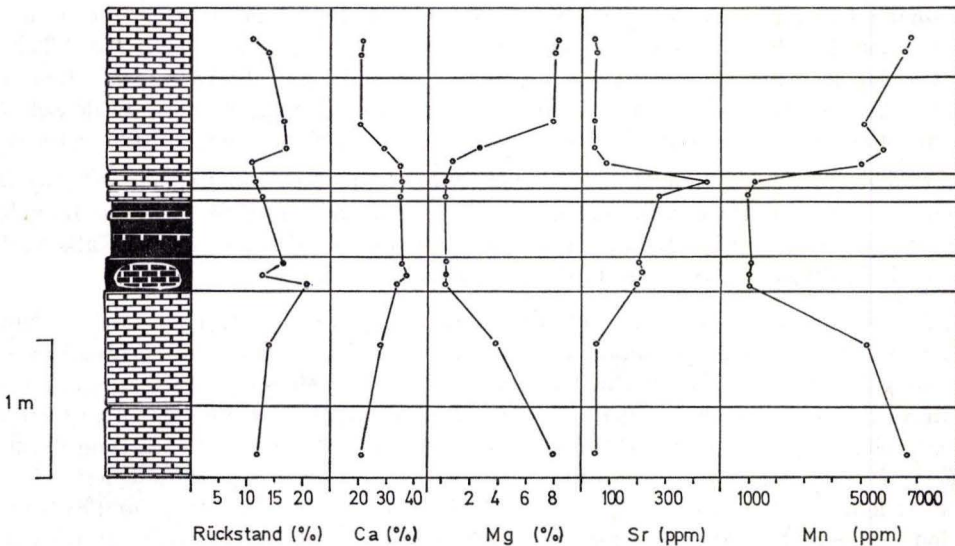


Abb. 19. Verteilung einiger Elemente in den metasomatisch vererzten Kalken am Grottenberg (Gb/Rheinisches Schiefergebirge).

Die mitteldevonischen Riffkalke und die überlagernden Cephalopodenkalke vom Grottenberg (Gb/Rheinisches Schiefergebirge) sind metasomatisch in Ca-Mg-Fe-Karbonate umgewandelt worden (PAECKELMANN 1936). An diesem Profil kann der Einfluß der Metasomatose auf Kalke in KWK-Fazies, die hier im tiefen Oberdevon (doI α) abgelagert wurden, studiert werden. Abb. 19 zeigt, daß die schwarzen, bituminösen Kalke ihren ursprünglichen Chemismus bewahrt haben. Während die begleitenden Sedimente stark überprägt sind (Ca- und Sr-Abfuhr; Fe-, Mg- und Mn-Zufuhr), entspricht der Aufbau der KWK-Äquivalente vollkommen der an anderen Profilen nachgewiesenen chemischen und mineralogischen Zusammensetzung.

7. Deutung der geochemischen und faziellen Befunde

7.1. Paläogeographie und Fazies vor Ablagerung der Kellwasserkalke

Im tiefsten Oberdevon (doI α) war die variskische Geosynklinale durch die verschiedensten paläogeographischen Einheiten stark gegliedert (RABIEN 1956).

In den Flachseegebieten des nördlichen Schelfs, der dem Old Red-Kontinent vorgelagert war, und des südlichen Schelfs im Norden von Afrika dauerte das Wachstum der mitteldevonischen Riffe zum Teil noch an. Erst zur Bildungszeit des unteren KWK wurde in Belgien die karbonatische Sedimentation von der Matagne-Schieferfazies abgelöst. Auch in Marokko werden die Riffkalke in der unteren bis mittleren Adorf-Stufe von Schelfkarbonaten überlagert, die makroskopisch den Cephalopodenkalken der Tiefschwellen sehr ähnlich sind, die sich aber im Schlibfbild durch das Auftreten von Flachwasserformen (Algen, Crinoiden, Seeigelstachel) unterscheiden.

Auch auf einigen Hochschwellen im hemipelagischen Bereich konnten die riffbauenden Organismen mit der Absenkungsgeschwindigkeit noch bis in die untere Nehdenstufe Schritt halten (z. B. das Attendorner Riff, Gwosdz 1971). Auf den Tiefschwellen und am Schelfrand wurden Cephalopodenkalken gebildet, die auf Grund ihrer Textur noch Strömungseinfluß erkennen lassen (umgelagerte Ostracodenschalen, Aufarbeitungshorizonte: Profil am Eselsstieg (Es) nach SCHRIEL & STOPPEL 1963).

Den größten Raum innerhalb der variskischen Geosynklinale nahmen die „bathyalen Becken“ ein (RABIEN 1956), in denen während der Adorf-Stufe meist dunkelgraue, schwarz gestreifte Bänderschiefer, und untergeordnet auch kieselige Kalke und Kieselschiefer als autochthone Fazies sedimentiert wurden.

Nur in wenigen Profilen treten in der unteren Adorf-Stufe rote Farben auf (Profil Langenaubach, Mittleres Sautal). In den meisten Faziesbereichen sind die Sedimente grau, grün oder schwarz gefärbt. Das Bodenwasser enthielt genügend Sauerstoff, um ein reiches benthonisches Leben zum Teil bis in den bathyalen Bereich zu gestatten (Trilobiten, Spuren auf der Sedimentoberfläche, Verwühlung der Schichtung durch Endofaunen). Schwefelwasserstoff, der durch das Auftreten von Pyrit belegt wird, entwickelte sich daher erst im Sediment, wobei aus dem Porenwasser Fe und Spurenelemente gefällt wurden. Die geringe Spurenmetallkonzentration ist daher durch das beschränkte Angebot bedingt. Eine direkte Einwirkung von H₂S auf das Meerwasser bestand in den meisten Gebieten nicht.

Die Mn-Gehalte in den Sedimenten stellen einen ausgezeichneten Faziesindikator dar und können zur Kennzeichnung von Becken- und Schwellensedimenten verwendet werden (Kap. 6.6.5.). Aus der positiven Korrelation von Mn- und Ca-Konzentrationen in den Einzelproben und aus der positiven Korrelation von durchschnittlichem Mangan- und Schiefer-Gehalt eines ganzen Profils (Kap. 6.6.5.) läßt sich folgender Sedimentationsmechanismus ableiten: Mn wird zusammen mit den Ton- und Schluffpartikeln vermutlich als Mn-Hydroxid in vierwertiger Form in den Ablagerungsraum transportiert und dort sedimentiert (Korrelation Schiefer-Mn). Im abgelagerten Sediment herrschen jedoch reduzierende Bedingungen. Mn⁴⁺ wird daher zu leichter

löslichem Mn^{2+} reduziert und bei der Kompaktion mit dem aufsteigenden Bodenwasser an die Sedimentoberfläche transportiert. Gelangt Mn^{2+} in sauerstoffhaltiges Wasser, fällt es wieder als vierwertiges Mn-Hydroxid aus, wird wieder sedimentiert, reduziert und an die Sedimentoberfläche gebracht werden. Durch diesen Zyklus wird in Ablagerungen mit negativem Eh Mangan in den obersten cm des Sediments und im Bodenwasser angereichert, ohne daß im tieferen Sediment erhöhte Mn-Gehalte nachzuweisen sind. Durchbrochen wird dieser Vorgang erst, wenn Karbonate im Schichtenverband auftreten. In karbonatischer Bindung ist nämlich auch das zweiwertige Mn schwer löslich und wird so aus dem Kreislauf herausgenommen und im Sediment fixiert (Korrelation von Mn mit $CaCO_3$ und Mn-Anreicherung an der Basis von Kalkbänken, Kap. 6.6.5.).

Das in diesem Kapitel entworfene Bild von der Paläogeographie und Fazies ist stark schematisiert und soll lediglich dazu dienen, die Verhältnisse vor Ablagerung der KWK zu charakterisieren.

7.2. Geochemie und Fazies zur Zeit der Kellwasserkalk-Bildung

Die beiden KWK-Horizonte unterscheiden sich nur durch das unterschiedliche Alter ihrer Faunen. Biofaziell, lithologisch und geochemisch können keine grundsätzlichen Differenzen festgestellt werden. Das gleiche gilt für die KWK-Äquivalente aus der Unteren Adorf-Stufe und der Nehden-Stufe. Die folgenden Ausführungen über die Fazies beziehen sich daher auf alle genannten Vorkommen ohne Rücksicht auf ihr stratigraphisches Alter.

Die KWK dürften zum größten Teil in stagnierendem Wasser abgelagert worden sein, wie durch die vollkommen wirre Anordnung der häufig auftretenden Tentaculiten angezeigt wird, deren orthocone Gehäuse selbst bei einer leichten Strömung gut eingeregelt werden können. Nur einmal konnte eine deutliche Einsteuerung von Fossilien beobachtet werden (Taf. 4 Fig. 13). Die doppelklappig erhaltenen Ostracoden und Lamellibranchiaten deuten mit darauf hin, daß die KWK in der Regel unter vollkommen ruhigen Bedingungen sedimentiert wurden, ohne daß damit auszusprechen ist, daß sporadisch Strömungen auftraten, die imstande waren, „Orthocerengehäuse“ einzuregeln.

Die dunkelgraue bis schwarze Farbe charakterisiert die KWK als ein Sediment mit negativem Redox-Potential. Innerhalb derartiger Sedimente kann man grundsätzlich zwei Typen unterscheiden (vgl. KREJCI-GRAF 1964):

- (A) Bei der Gytjtja liegt die Grenze H_2S/O_2 innerhalb des Sediments. Das S^{--} -Ion kann daher nur noch auf die Verbindungen im Sediment und auf das Porenwasser einwirken.
- (B) Sapropelen sind dadurch gekennzeichnet, daß die H_2S/O_2 -Grenze über der Sedimentoberfläche im Wasser zu finden ist. Hier können die S^{--} -Ionen, die wohl zum größten Teil von SO_4^{--} -reduzierenden Bakterien produziert werden (KRUMBEIN 1971), direkt auf das freie Wasser einwirken. Unter diesen Bedingungen können einige Sulfide aus dem Meerwasser ausgefällt werden (Kap. 6.6.7.). Außerdem wird der größte Teil des Benthos abgetötet werden.

Für die Einordnung der KWK-Fazies in eine der beiden Gruppen müssen folgende Argumente berücksichtigt werden:

- (1) Eine große Anhäufung von organischer Substanz ist in einem Sediment mit geringer Zuwachsrate nur dann zu erwarten, wenn die H_2S/O_2 -Grenze über der Sedimentsoberfläche liegt.
- (2) Die Fauna der KWK setzt sich aus nektonischen, planktonischen und pseudoplanktonischen Organismen zusammen. Bodenbewohner, besonders Endofaunen, fehlen völlig.
- (3) Cu (und Zn) ist verglichen mit den Fe-Gehalten in den KWK schwach angereichert (Kap. 6.6.7.). Nach Tab. 3 kann Cu von allen untersuchten Spurenelementen vor Zn am leichtesten aus dem Meerwasser ausgefällt werden.
- (4) Das nach Serienschnitten gezeichnete Blockdiagramm (Abb. 8) zeigt deutlich, daß Fe als Sulfid direkt aus dem Meerwasser gefällt wurde. Es ist zu erkennen, daß der Sulfidschlamm innerhalb von kleinen Becken gravitativ angereichert wurde, während die Schwellen dieser „Miniaturlagerstätte“ erzfrei blieben.

Lithologie, Biofazies und Geochemie weisen demnach eindeutig darauf hin, daß die KWK unter sapropelähnlichen Bedingungen abgelagert wurden.

Obwohl das Wasser in größeren und mittleren Tiefen zur Zeit der KWK-Bildung H_2S -vergiftet war, müssen im Oberflächenwasser optimale Lebensbedingungen geherrscht haben, wie durch das reiche, vollmarine Plankton und Nekton und das Fehlen von Kümmerfaunen angezeigt wird.

Strömungen waren demnach offensichtlich \pm auf das Oberflächenwasser beschränkt. Deshalb ist auch anzunehmen, daß terrigenes Material nur in den höheren Wasserzonen des Meeres transportiert werden konnte, und daß die Sedimentation daher in einiger Entfernung vom Schelfrand unabhängig vom Relief des Meeresbodens erfolgte. Daraus folgt, daß es zur Zeit der KWK-Bildung zu keiner Faziesdifferenzierung zwischen Becken und Tiefschwellen kommen konnte (s. Kalk/Schiefer-Verhältnis, Kap. 5.1.).

Trotz hoher organischer Produktion enthalten die KWK-Horizonte mehr Schiefer als die übrige Schichtenfolge in den Schwellensedimenten. Die H^+ -Ionen-Konzentration muß demnach zur Zeit der KWK-Bildung um einen Wert pendeln, der abwechselnd Karbonatsedimentation und Kalklösung ermöglichte. Es ist anzunehmen, daß Säuren aus dem Abbau der organischen Substanz und H_2S als Säure bei der Steuerung der pH-Bedingungen eine bedeutende Rolle spielten.

Das Kalk/Schiefer-Verhältnis erklärt auch die hohe Anreicherung von Mn in den KWK im Vergleich zu den übrigen Schwellensedimenten. Die Korrelation von durchschnittlichem Schiefer- und Mn-Gehalt (Kap. 6.6.5.) beweist, daß Mn in den KWK-Horizonten nach dem gleichen Mechanismus, wie er für die Beckensedimente wahrscheinlich ist (Kap. 7.1.), in den Ablagerungsraum transportiert und dort als Karbonat fixiert wurde.

Versucht man, die Größenordnung des Zeitraums, in dem die KWK gebildet wurden, „relativ“ abzuschätzen, kommt man zu folgendem Ergebnis:

Mit biostratigraphischen Methoden ist die Dauer der Bildungszeit nicht zu fassen.

Geht man daher zunächst von der – sicher falschen – Annahme aus, daß die Anlieferung von terrigenem Material auf einer Tiefschwelle in der ganzen Mittleren und Oberen Adorf-Stufe \pm konstant ist, dann läßt sich aus den Rückstandsmengen im Sediment die relative Ablagerungszeit berechnen. Nach dieser Überlegung ergibt sich am Beispiel des Profils Br rein rechnerisch, daß der untere KWK-Horizont mit einer Mächtigkeit von ca. 60 cm (40 cm Kalk, 20 cm Schiefer) etwa einer Mächtigkeit von 220 cm Sediment in Cephalopodenkalk-Fazies (mit 10% Rückstand) entspricht. Da die KWK jedoch in stagnierendem Wasser abgelagert worden sind, dürfte die Zufuhr von terrigenem Material wesentlich geringer gewesen sein. Das hohe Quarz/Feldspat-Verhältnis spricht unter Umständen (vgl. Kap. 7.5.) auch für diese Annahme. Sieht man von Zeiten der Nichtsedimentation, von Erosion, Umlagerungen und anderen große Zeiträume umfassenden Diskontinuitäten ab, dann ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß in einem der Bildungszeit des unteren KWK entsprechenden Zeitraum im Stbr. Schmidt (Br) mehrere Meter Cephalopodenkalk gebildet werden konnten.

Unter Berücksichtigung der Schichtlücken, wie sie im Hangenden des oberen KWK nachgewiesen werden konnten, können die KWK zu den Schichten mit der geringsten Sedimentationsrate in der Variskischen Geosynklinale gerechnet werden.

7.3. Fazies nach der Bildung der Kellwasserkalk-Horizonte

Nach Ablagerung der KWK-Horizonte setzt im allgemeinen (außer über abgestorbenen Riffen) die Sedimentation in der Fazies wieder ein, die vorher in dem Sedimentationsraum geherrscht hat (Kap. 7.1.). Es ist daher anzunehmen, daß auch während der KWK-Bildung innerhalb der Geosynklinale dieselbe morphologische Gliederung in Becken und Schwellen bestand, die aufgrund der Faziesdifferenzierung vor und nach Ablagerung der KWK zu erkennen ist.

7.4. Diagenese der Kellwasserkalk-Horizonte

Die pH-Werte, die wie oben ausgeführt zur Zeit der KWK-Ablagerung die Karbonatsedimentation steuerten, bewirkten, daß auch im Sediment CaCO_3 sehr mobil war. Offensichtlich hat der ständige Wechsel zwischen Kalkausscheidung und -auflösung die Bildung von Konkretionen, nämlich der KWK-Knollen begünstigt. Die ausgezeichnete vollkörperliche Erhaltung der Fossilien deutet darauf hin, daß die Kalkknollen vor einer stärkeren Setzung des weichen Sediments, d. h. in einem frühdiagenetischen Stadium gebildet wurden.

Die Konkretionen stellten gegenüber dem umgebenden Sediment ein chemisch relativ geschlossenes System dar, wie durch das Profil vom „Marmorbruch“ bei Langenaubach (La) belegt werden kann. In diesem Profil sind dunkelgraue, randlich korrodierte Kalkknollen in rote und rot-graue Kalke eingeschaltet (Kap. 5.1.). Die Entstehung dieser Sedimente kann folgendermaßen gedeutet werden:

Die Kalke des Langenaubacher Bruches sind zum großen Teil unter oxidierenden Verhältnissen abgelagert worden. Zur Zeit der KWK-Sedimentation waren aber auch hier die E_h -Werte negativ, d. h., es wurde ein dunkelgrauer, an organischer Substanz reicher Ton- und Kalkschlamm abgesetzt. Noch unter reduzierenden Bedingungen bildeten sich dann frühdiagenetisch die dunkelgrauen Kalkknollen. Anschließend geriet der Sedimentationsraum wieder in Bereiche mit positivem E_h . Die noch unverfestigten Sedimente konnten vollständig oxidiert werden, die in den Kalkschlamm eingesunkenen Kalkknollen waren hingegen schon zu weit verfestigt, um noch tiefgreifende Veränderungen zu erfahren.

Auch die „Anreicherung“ von Sr in den KWK dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Ablagerungen früh verfestigt wurden und bei weiteren Umwandlungen gegenüber den anderen Kalken ein relativ geschlossenes chemisches System vorlag. Bei diesen Vorgängen dürfte die organische Substanz eine erhebliche Rolle gespielt haben, indem sie – die einzelnen Kalzitkristalle umhüllend – vor einem größeren Stoffaustausch schützte. Auf diese Weise konnte Sr aus den KWK nicht in dem gleichen Maße abgeführt werden wie aus den umgebenden Kalken. Daher ist der höhere Sr-Gehalt der KWK nicht an primäre Ausfällungsbedingungen geknüpft, sondern sekundärer Natur.

Bestärkt wird diese Deutung durch Analysen aus dem Profil vom Grottenberg (Gb). Dort sind die mitteldevonischen Massenkalken und die überlagernden Cephalopodenkalken durch metasomatische Lösungen vollkommen vererzt (Fe-, Mn-, Mg-Zufuhr; Ca-, Sr-Abfuhr). Die eingelagerten bituminösen Kalkknollen lassen dagegen fast keine Veränderung erkennen (s. Kap. 6.6.13.). Dadurch wird belegt, daß die KWK gegen eine Stoffzufuhr (und damit auch Stoffabfuhr) mindestens nach der Diagenese recht gut geschützt waren.

Die Häufung von Pyrit an der Bankunterseite von KWK dürfte ebenfalls auf diagenetische Vorgänge zurückzuführen sein. Alle Pyritkonkretionen sind aus einer Sammelkristallisation hervorgegangen. Daher ist es wahrscheinlich, daß die Pyritanreicherung an der Basis der KWK nicht direkt mit der Sedimentation verknüpft ist, wie dies von den Diskontinuitätsflächen der ordovizischen Cephalopodenkalken aus Skandinavien bekannt ist, sondern daß pH-Wert-Änderungen im Porenwasser des Sediments die Fe-Sulfide an der Grenze Kalk/Ton ausgefällt haben.

7.5. Deutung der Genese der Kellwasserkalk-Fazies

Die Frage nach der Ursache der \pm gleichzeitigen Ausbildung von euxinischen Ablagerungsbedingungen innerhalb von räumlich weit getrennten Bereichen der variskischen Geosynklinale hat schon viele Autoren beschäftigt. In Kap. 1 sind die wichtigsten bisherigen Hypothesen zusammengestellt.

Bedeutende Änderungen in der Bathymetrie des Sedimentationsraums für die Zeit der KWK-Bildung müssen für sehr unwahrscheinlich gehalten werden. Findet man doch in den einzelnen Profilen unter, zwischen und über den KWK-Horizonten immer wieder dieselbe Fazies, wie sie in den verschiedenen paläogeographischen Einheiten (Schelf, Schwelle, Becken) charakteristisch ist.

Eine Bindung der KWK an große Frakturen, wie KREBS (1969) aufgrund der ihm bekannten KWK-Vorkommen im Rheinischen Schiefergebirge zu erkennen glaubte, konnte nicht nachgewiesen werden. Vielmehr scheinen die KWK-Vorkommen, die heute bekannt sind, weit gestreut zu sein. Eine Bindung an bestimmte Zonen wird vermutlich nur durch die Verbreitung der heutigen Oberdevon-Aufschlüsse vorgetäuscht.

Tektonische Abschnürungen haben meist nur regionale Bedeutung. Dadurch können zwar die thüringischen Vorkommen erklärt werden, nicht aber die weite Verbreitung der KWK-Fundpunkte, die in der vorliegenden Arbeit angeführt werden. Auch die artenreichen Arthrodierenfaunen, die als pelagische Formen weltweit verbreitet sind, sprechen gegen eine Abschnürung des Sedimentationsraums zur Zeit der KWK-Bildung.

Von großer und weitreichender Wirkung sind aber epirogenetische Bewegungen oder eustatische Schwankungen im Meeres-Niveau.

BITTERLI (1963, S. 183–185) schreibt in einem Aufsatz über: „Aspects of the Genesis of Bituminous Rock Sequences“: „Ferner erscheint es, daß günstige Bildungsbedingungen bituminöser Schichtfolgen oft an paläogeographischen Wendepunkten auftreten, wie Gebirgsbildung, epirogenetische und eustatische Schwankungen, die mit Transgressionen oder Regressionen verknüpft sind, was einerseits zu üppiger Planktonvermehrung, andererseits zu Stagnation und schließlich zu anaeroben Verhältnissen führen kann.“

Versucht man, dieses Modell auf die Genese der KWK zu übertragen, dann findet man folgende Hinweise:

- (1) An der Wende F 2/3, das heißt in der hohen Mittleren Adorf-Stufe, der Zeit des unteren KWK, erlischt in Belgien und im Bergischen Land das Riffwachstum und wird von der Matagne-Schiefer-Fazies abgelöst. Das Meer greift in diesem Bereich über den nördlichen Schelf auf den Old-Red-Kontinent. Ähnliche Verhältnisse dürften auch am südlichen Schelfrand in Marokko vorgelegen haben.
- (2) Eine Sedimentationsunterbrechung mit Spaltenbildung geht in dem marokkanischen Profil Erfoud (Er) der Ablagerung des oberen KWK voraus. Mit der Oberen *gigas*-Zone setzt die Sedimentation erneut ein und die Hohlräume werden verfüllt.
- (3) Der Faziesindikator Mn zeigt, daß in der KWK-Fazies die Beckenfazies auf die Schwelle transgredierte.
- (4) Das Verhältnis Quarz/Feldspat weist für die KWK auf einen höheren Reifegrad der klastischen Komponente hin. Ein höherer Reifegrad bedeutet aber in der Regel eine Verlängerung des Transportweges und damit eine Zurückverlagerung der Küstenlinie.

Das erhöhte Quarz/Feldspat-Verhältnis in den KWK-Horizonten kann allerdings auch auf zwei andere Weisen gedeutet werden:

(A) Häufig werden in bituminösen Sedimenten idiomorphe Quarze beobachtet. Es ist möglich, daß auch in den KWK idiomorphe Quarze auf Kosten der Feldspäte gewachsen sind.

(B) Es ist anzunehmen, daß aufgrund der verminderten Strömungsgeschwindigkeiten die terrigene Komponente in den KWK wesentlich feinkörniger als in den übrigen Sedimenten ist. Wegen des ungünstigen Oberflächen/Volumen-Verhältnisses bei kleinen Korngrößen können die chemisch leichter angreifbaren Feldspäte auf dem Transportweg zerstört worden sein, während die resistenten Quarze erhalten blieben.

- (5) Eine starke Phytoplanktonvermehrung ist möglich, sie kann indirekt aus der weiten Verbreitung der auf dem Schelf beheimateten Muschel *Buchiola* belegt werden. In diesem Sinne kommt auch die Auffassung von H. SCHMIDT wieder zu ihrem Recht – auch wenn in einer dichten Tangdecke nicht die primäre Ursache der KWK-Bildung zu sehen ist.

Die stratigraphischen, fazialen und geochemischen Hinweise lassen erkennen, daß möglicherweise „Transgressionen“ für die Entstehung des beschriebenen Sedimentationsmusters verantwortlich sind.

Die Entwicklung der variskischen Geosynklinale ist im Oberdevon durch eine langsame Verlagerung des Schelfrandes auf die Kontinente, d. h. durch eine „Transgression“ der Devonmeere gekennzeichnet. Mn-Analysen und Quarz/Feldspat-Verhältnisse lassen unter anderem diesen Trend erkennen. Zur Zeit der Mittleren und Oberen Adorf-Stufe haben schnelle Meeresvorstöße diese kontinuierliche Entwicklung unterbrochen. Als Folge der „Transgressionen“ sind bituminöse Kalke abgesetzt worden, nämlich die Kellwasserkalke, die nachfolgende „Regression“ hat im Meeresbecken sehr geringe Sedimentation oder „Nicht-Sedimentation“, also eine „Schichtlücke“ zur Folge gehabt.

Verwandte Sedimente finden wir unter anderem in dem kambrischen Alaunschiefern (Andrarum/Schweden), in den *annulata*-Schiefern, dem Odershäuser Kalk, den Liegenden Alaunschiefern (Unterkarbon) und im Kupferschiefer. Die Ausbildung bituminöser Sedimente ist demnach häufig an paläogeographische Wendepunkte geknüpft.

8. Zusammenfassung

Die schwarzen, bituminösen Kellwasserkalke, die in ein oder zwei Horizonten innerhalb der Adorf-Stufe auftreten, sind regional weit verbreitet. Sie werden vom Südrand der variskischen Geosynklinale im südlichen Marokko bis in den Bereich des nördlichen Schelfs in Belgien beobachtet. Entsprechend der weiten regionalen Verbreitung finden sich die Kellwasserkalke in den verschiedensten Faziesbereichen:

- (1) Schelf
- (2) Becken
- (3) Tiefschwelle
- (4) im Übergangsbereich von (2) und (3)
- (5) zwischen allodapischen Kalken
- (6) über abgestorbenen Riffen
- (7) zwischen effusiven Diabasen

Trotz der weiten Verbreitung sind die einzelnen Vorkommen aber lokal begrenzt. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß auch in den Aufschlüssen, in denen die Kellwasserkalk-Fazies nicht ausgebildet ist, zur Zeit der Kellwasserkalk-Bildung gegenüber der normalen Sedimentation abweichende Verhältnisse vorlagen.

Der ältere Kellwasserkalk-Horizont ist in den oberen Teil der Unteren *gigas*-Zone einzustufen. Geringfügige Altersunterschiede zwischen den einzelnen Vorkommen sind möglich (RABIEN 1954, 1970). Der jüngere Kellwasserkalk-Horizont ist in die höchste Obere *gigas*-Zone zu stellen und beinhaltet z. T. noch den Zeitbereich der Unteren *triangularis*-Zone. Im Hangenden des oberen Kellwasserkalks konnte in der Unteren (und Mittleren) *triangularis*-Zone eine weit verbreitete Schichtlücke nachgewiesen werden. Fazial den Kellwasserkalken entsprechende Schichten sind auch zu anderen Zeiten gebildet worden (do I, do II u. a.).

Die meist mikroporitischen schwarzen Kellwasserkalke sind unter reduzierenden Bedingungen abgelagert worden. Einwirkung von strömendem Wasser konnte bis auf eine Ausnahme nicht nachgewiesen werden. Das Auftreten von organischer Substanz, Pyrit-Fällungen aus dem Wasser, Cu-Anreicherungen (bezogen auf das Verhältnis Cu: Fe) in den Kellwasserkalken gegenüber den begleitenden Sedimenten und das Fehlen von Benthos charakterisieren die Kellwasserkalke als Sapropel-Gesteine.

Als Folge der Stagnation im Sedimentationsraum, die für die Ausbildung der Sapropel-Fazies vorausgesetzt werden muß, konnte es zu keiner Faziesdifferenzierung wie vor und nach Ablagerung der Kellwasserkalk-Horizonte kommen. Daher können die Kellwasserkalke zwischen Gesteinen aus verschiedenen Faziesräumen auftreten, ohne daß das vorgegebene Relief oder die bathymetrischen Verhältnisse des Sedimentationsraums eine erhebliche Veränderung erfahren haben.

Die Tonmineralien, deren Verteilung im Rheinischen Schiefergebirge in den Kellwasserkalk-Horizonten untersucht wurde, lassen 5 Mineralprovinzen erkennen, die klar bestimmten paläogeographischen und tektonischen Einheiten zugeordnet werden können. Folgende Mineral-Gesellschaften konnten unterschieden werden (+ Kaolinit):

- (1) Vorwiegend Serizit, untergeordnet Illit.
- (2) Vorwiegend Serizit, untergeordnet Illit, wenig Chlorit.
- (3) Vorwiegend Chlorit, Serizit und untergeordnet Illit. Diese Assoziation tritt im Gebiet mit starkem (mitteldevonischem) Vulkanismus auf und konnte auch im Profil an der Ruine Nordeck (Frankenwald) beobachtet werden.

Die drei genannten Mineralgesellschaften mit einem Überwiegen von Serizit über Illit ist auf den tektonisch stärker beanspruchten Teil des Rheinischen Schiefergebirges beschränkt.

- (4) Vorwiegend Illit, untergeordnet Serizit.
- (5) Vorwiegend Illit, untergeordnet Serizit und Spuren von Mixed-layer.

Die Typen (4) und (5) treten in den tektonisch weniger beanspruchten Gebieten auf.

Die Kellwasserkalke wurden relativ früh (z. T. als Konkretionen) verfestigt und waren dadurch gegenüber nachträglichen Veränderungen wie Oxidation und Metasomatose besser geschützt als die umgebenden Gesteine. Daraus erklärt sich die gute Fossilhaltung in den Kellwasserkalken sowie die „erhöhten“ Sr-Gehalte.

Hinsichtlich der Genese der Kellwasserkalke lagen bisher folgende Deutungen vor:

- (1) Der Kellwasserkalk wurde in flachem Wasser unter Tangvegetation gebildet.
- (2) Der Kellwasserkalk wurde in tiefem Wasser abgelagert.
- (3) Tektonisch bedingte Abschnürungen haben zu euxinischen Verhältnissen in der variskischen Geosynklinale geführt.
- (4) Die Kellwasserkalk-Verbreitung steht in Verbindung mit tektonischen Lineamenten.

In der vorliegenden Arbeit werden die bisherigen Deutungen diskutiert. Aufgrund der nachfolgenden Befunde wird versucht, die Genese der Kellwasserkalke zu erklären:

- (1) Vor Ablagerung der Kellwasserkalke sterben die Riffe auf den Schelfen ab.
- (2) Mit Ablagerung des oberen Kellwasserkalkes setzt in Marokko die Sedimentation über einer Schichtlücke erneut ein.
- (3) Das Quarz-Feldspat-Verhältnis ist in den Kellwasserkalk-Horizonten relativ hoch.
- (4) Die Mn-Gehalte als Faziesindikator zeigen für die Kellwasserkalke ein Übergreifen der Beckenfazies auf die Schwellen an.
- (5) Die organische Produktion ist in der Zeit der Kellwasserkalkbildung stark erhöht.

Folgendes Modell steht mit den angeführten Befunden im Einklang und kann die Genese der Kellwasserkalke erklären, trifft aber auch in allgemeiner Form eventuell für ähnliche Schichtglieder anderer Formationen zu (vgl. BITTERLI 1963):

Die Entwicklung der variskischen Geosynklinale ist im Oberdevon durch eine langsame Verlagerung des Schelfrandes auf die Kontinente gekennzeichnet. Schnelle Meeresvorstöße haben diese kontinuierliche Entwicklung unterbrochen. Als Folge der „Transgressionen“ sind bituminöse Kalke (Kellwasserkalke) abgesetzt worden, die nachfolgende „Regression“ hat im Meeresbecken sehr geringe Sedimentation oder „Nicht-sedimentation“ zur Folge gehabt.

Summary

The black bituminous limestones (Kellwasser Limestones) which occur as one or two beds during the Adorf Stage (Frasnian, Upper Devonian) have a wide geographical distribution. They are found from the southern margin of the Variscan Geosyncline (S. Morocco) as far as the northern shelf (Belgium) where they are intercalated between shales. Corresponding to the wide geographical extent the Kellwasser Limestones are developed within lithologic sequences of various facies types:

- (1) shelf carbonates or shales
- (2) basin shales (Becken facies)
- (3) pelagic limestones developed on submarine rises (Schwellen facies, formed below the wavebase)
- (4) in the slope area between (2) and (3)
- (5) between "allodapic" limestones (turbidites)
- (6) over dead reefs
- (7) intercalated with volcanic rocks.

But there is strong evidence that sedimentary condition changed also at those places where Kellwasser Limestone were not developed.

The older Kellwasser Limestone Horizon originated in the Lower *Palmatolepis gigas* Zone. It is possible that there is little difference in age between the various localities (RABIEN 1954). The younger Kellwasser Limestones were deposited in the upper part of the Upper *Palmatolepis gigas* Zone and partly in the Lower *Palmatolepis triangularis* Zone. Immediately above the Upper Kellwasser Limestone an extensive sedimentary break was proved involving the Lower (and Middle) *Palmatolepis triangularis* Zone. Rocks corresponding to the lithofacies of the Kellwasser Limestone originated at different time stages (Upper Devonian I, II etc.).

The Kellwasser Limestones, usually biomicrosparites, were deposited in a reducing environment. There is little evidence of current activity. A preferred orientation of fossils (cephalopods) was only observed in one case. The presence of organic compounds, the

precipitation of pyrite from sea water, the enrichment of Cu (relative to Fe) and the absence of benthos in the Kellwasser Limestones are characteristic of sapropelitic sedimentation.

Because of the general stagnation in the depositional area at this time, facies differentiations (see 1-7) which existed before and after deposition of the Kellwasser Limestone Horizons were not distinctly marked. There is no necessity to assume any considerable changes in the bathymetric position of the sea bottom or in the relief during the sedimentation of the Kellwasser Limestone.

The distribution of clay minerals was determined for the Kellwasser Limestone of the Rheinisches Schiefergebirge. Five clay mineral associations were found corresponding with palaeogeographic and tectonic units. The following associations (+ kaolinite) are distinguished:

- (1) dominant sericite, subordinate illite
- (2) dominant sericite, subordinate illite, low chlorite
- (3) dominant chlorite and sericite, subordinate illite
(occurring in an area with extensive volcanism of Middle Devonian age).

These three associations with a dominance of sericite over illite are restricted to areas with proven strong tectonic movements in the Rheinisches Schiefergebirge.

- (4) dominant illite, subordinate sericite
- (5) dominant illite, subordinate sericite with traces of mixed-layer clay minerals.

Types (4) and (5) occur in areas with little tectonic deformation.

The Kellwasser Limestones were lithified during early diagenesis (partly as concretions). They have therefore been protected from alteration by oxidation or metasomatism better than the surrounding sediments. The good preservation of fossils and the higher Sr-contents of the Kellwasser Limestones compared with the neighbouring sediments, are due to this lithification.

The following hypotheses have been given for the formation of the Kellwasser Limestones:

- (1) The Kellwasser Limestones were formed in shallow water beneath a cover of sea-weed.
- (2) The Kellwasser Limestones were deposited in deep water.
- (3) Part of the sea was cut off by tectonic rises, producing an euxinic environment in the Rhenish Geosyncline.
- (4) The deposition of Kellwasser Limestones was controlled by tectonic lineaments.

In this report previous interpretations of the Kellwasser Limestones are discussed. The following points are important in considering the genesis of the Kellwasser Limestones:

- (1) The growth of reefs on the shelves of the geosyncline was terminated before the deposition of the Kellwasser Limestones.
- (2) In Morocco, there is a sedimentary break below the Upper Kellwasser Limestone.
- (3) The ratio of quartz/feldspar is relatively high in the Kellwasser Limestone Horizons.
- (4) The Mn content used as a facies-indicator shows that the basin facies transgressed over the submarine rises (Schwellen).
- (5) A high rate of organic production took place during the deposition of Kellwasser Limestone.

The following model for the formation of the Kellwasser Limestones agrees with the data above; it is based on a general model proposed by BITTERLI (1963) for sediments of similar lithology but different age:

During Upper Devonian time, the development of the Variscan Geosyncline is marked by a gradual migration of the shelf margin toward the continent. Relatively fast transgres-

sions of the sea occurred during this time, and as a result of these, bituminous limestones (the Kellwasser Limestones) were formed. During the regressions that followed very little or no sediments were deposited in the basin.

Conclusion

Les «Kellwasserkalke» noirs, bitumineux, se trouvant dans un ou dans deux horizons au dedans de l'Adorfien (Frasne), sont largement répandus en régions différentes. On les trouve au bord méridional du géosynclinal varisque au sud du Maroc jusqu'à la plate-forme continentale septentrionale en Belgique. Selon leur étendue large, les Kellwasserkalke se trouvent dans des faciès les plus diverses:

- (1) à la plate-forme continentale
- (2) aux bassins
- (3) au seuil de calcaires de Céphalopode
- (4) au domaine de transition de (2) et (3)
- (5) entre calcaires allodapiques
- (6) sur les récifs morts
- (7) au milieu de diabases effusives.

Malgré leur étendue large, les gisements particuliers sont localement limités. Cependant, il est probable que même dans les localités où les faciès Kellwasserkalke ne se sont pas formés, au temps de la formation des «Kellwasserkalke» les relations étaient différentes de celles de la sédimentation normale.

L'horizon plus ancien du Kellwasserkalk se classe dans la partie supérieure de la *Zone-gigas* Inférieure. Il se peut qu'il y ait des différences d'âge insignifiantes entre les gisements particuliers. L'horizon plus récent du Kellwasserkalk est à mettre dans la *Zone-gigas* Supérieure et comprend partiellement la période de la *Zone-triangularis* Inférieure. Au-dessus des Kellwasserkalke supérieurs on a pu démontrer dans la *Zone-triangularis* Inférieure (et Moyenne) un hiatus de couche largement répandu. D'autres couches dont les faciès correspondent à ceux des Kellwasserkalke sont aussi formées pendant d'autres périodes (do I, do II etc.).

Les Kellwasserkalke noirs et le plus souvent microsparitiques ont été déposés sous conditions réduisantes. L'effet d'eau courante ne pouvait pas être démontré, exception faite d'un seul cas. De la substance organique, des précipitations de pyrite de l'eau maritime, de l'enrichissement de Cu (par rapport à la relation de Cu:Fe) dans les Kellwasserkalke en comparaison des sédiments accompagnés, et le manque de benthos caractérisent les Kellwasserkalke comme roches sapropels.

La stagnation dans le domaine sédimentaire (la condition pour la formation des faciès du sapropel) empêchait la différenciation des faciès comme avant et après la sédimentation des horizons des Kellwasserkalke. C'est pour cette raison que les Kellwasserkalke se trouvent parmi des roches de faciès différents sans que le relief ni les relations bathymétriques du domaine sédimentaire n'aient changé.

Les minéraux d'argile, dont la dispersion dans les horizons des Kellwasserkalke du Rheinisches Schiefergebirge fut recherchée, nous laissent reconnaître cinq provinces minérales que l'on peut ranger en unités paléogéographiques et tectoniques clairement fixées. On peut différencier les associations minérales suivantes:

- (1) plus de séricite que d'illite
- (2) plus de séricite que d'illite et peu de chlorite
- (3) plus de chlorite et de séricite que d'illite.

Cette association se trouve en régions de fort volcanisme (du Dévonien Moyen) et put être observée aussi dans le profil aux ruines de Nordeck (Frankenwald).

Les trois associations minérales mentionnées ci-dessus se restreignent à la partie du Rheinisches Schiefergebirge qui subit une tectonique plus forte.

(4) plus d'illite que de séricite

(5) plus d'illite que de séricite et des traces de «mixed layer».

Les types (4) et (5) se trouvent dans les régions d'une tectonique moins forte.

Les Kellwasserkalke furent relativement tot pétrifiés (en partie comme concrétions). Pour cette raison il furent mieux protégés contre transformations postérieures comme oxidations et métasomatose que les roches des environs. Ainsi s'explique le bon état des fossiles dans les Kellwasserkalke de meme que les teneurs élevées en Sr.

En ce qui concerne la genèse des Kellwasserkalke, il y avait jusqu'ici les explications suivantes:

(1) Les Kellwasserkalke se formaient en bas niveau d'eau au-dessous du fucus.

(2) Les Kellwasserkalke furent déposés dans la profondeur de l'eau.

(3) Dans la mer des séparations causées par la tectonique ont amené des relations euxiniques au géosynclinal varisque.

(4) L'étendue des Kellwasserkalke est liée aux linéaments tectoniques.

Dans la présente dissertation on discute de ces explications. On essaye d'éclaircir la genèse des Kellwasserkalke selon des résultats suivants:

(1) Les récifs sur les plate-formes continentales sont dépéris avant la sédimentation des Kellwasserkalke.

(2) Au Maroc il y a un hiatus au-dessous des «Kellwasserkalke» Supérieurs.

(3) Aux horizons des Kellwasserkalke la relation de quarz: feldspath est relativement grande.

(4) Les teneurs en Mn utilisées comme indicateur de faciès expliquent pour les Kellwasserkalke l'envahissement du faciès des bassins sur les seuils.

(5) Au temps de la genèse des Kellwasserkalke la production organique est fortement augmentée.

Le modèle suivant correspond aux résultats mentionnés et explique la genèse des Kellwasserkalke. Il se peut que ce modèle s'applique en même temps aux membres semblables de couches d'une autre formation.

Au Dévonien Supérieur l'évolution du géosynclinal varisque est caractérisée par un lent déplacement du bord de la plate-forme continentale vers les continents. Cette évolution continue fut interrompue par des transgressions rapides. A la suite des «transgressions» des calcaires bitumineux (Kellwasserkalke) se sont déposés. Au bassin maritime la «régression» suivante a causé ou une sédimentation minimale ou même la «non-sédimentation».

9. Schriftenverzeichnis

AHLBURG, J.: Über die Verbreitung des Silurs, Hercyns und Rheinischen Devons und ihre Beziehung zum geologischen Bau im östlichen Rheinischen Gebirge. – Jb. preuß. geol. L.-A., 40, S. 1–82, 2 Abb., 1 Taf., Berlin 1919.

ALBERTI, H.: Herzynisches Devon im Gebiet des Gr. Knollen (SW-Harz) mit besonderer Berücksichtigung der Trilobiten. Diss., Marburg 1963.

— Trilobiten (Proetidae, Otaronionidae, Phacopidae) aus dem Devon des Harzes und des Rheinischen Schiefergebirges. – Beih. geol. Jb., 73, 147 S., 31 Abb., 8 Tab., 25 Taf., Hannover 1968.

— Neue Trilobiten-Faunen aus dem Ober-Devon Marokkos. – Göttinger Arb. Geol. Paläont., 5, 15–29, 1 Abb., 2 Tab., Göttingen 1970.

- BÄRTLING, R.: Erl. geol. Kte., Bl. 2651 Hattingen, 82 S., 6 Abb., Berlin 1929.
- BENDER, P.: Der Nordostteil der Lahnmulde zwischen Salzböde-, Aar- und Biebertal. Diss., Marburg 1965.
- & BRINKMANN, J.: Oberdevon und Unterkarbon südwestlich Marburg-Lahn. — *Geologica et Paleontologica*, **3**, S. 1–20, 5 Abb., 4 Tab., Marburg 1969.
- BEUSHAUSEN, L., DENKMANN, A. & KOCH: Neue Beobachtungen aus dem Unterharz. — *Jb. kgl. preuß. geol. L.-A.*, **16**, S. 127–130, Berlin 1895.
- BITTERLI, P.: Aspect of the genesis of bituminous rock sequences. — *Geol. en Mijnbouw*, **42**, S. 183–201, Den Haag 1963.
- BOYER, F., KRYLATOV, S., LE FEVRE, J. & STOPPEL, D.: La Dévonien supérieur et la limite Dévono-Carbonifère en Montagne Noire (France). — *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, **2**, S. 5–33, 8 Abb., Pau 1968.
- CLAUSEN, C.-D.: Oberdevonische Cephalopoden aus dem Rheinischen Schiefergebirge. Diss., Bonn 1966.
- COLOMBO, U. & SIRONI, G.: Geochemical analysis of Italian oils and asphalts.-*Geochim. Cosmochim. Acta*, **25**, S. 24–51, 12 Abb., Oxford 1961.
- DAHLGRÜN, F., ERDMANNSDÖRFFER, O. H. & SCHRIEL, W.: Geologischer Führer durch den Harz. Teil I: Oberharz und Brockengebiet. 288 S., 51 Abb., 6 Taf., Berlin (Bornträger) 1925.
- FRECH, F.: Die paläozoischen Bildungen von Cabrière (Languedoc). — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **39**, S. 360–488, Berlin 1887.
- V. GAERTNER, H. R.: Die geologische Stellung der oberdevonischen Eisenerzlager in Thüringen und Oberfranken. — *Jb. Reichsst. Bodenforsch.*, **62**, S. 89, Abb. 3, Berlin 1942.
- GRÄBE, R.: Über sulfidische Äquivalente der oberdevonischen Roteisenerze am NW-Rand des Bergaer Sattels (Ostthüringen). — *Ber. geol. Ges. DDR*, **9**, S. 527–537, 4 Abb., 1 Tab., Berlin 1964.
- GROSS, W.: Die Arthrodira Wildungens.-*Geol.-paläont. Abh., N. F.*, **19**, S. 1–61, 26 Abb., 2 Taf., Stuttgart 1932.
- GWOSDZ, W.: Stratigraphie, Fazies und Paläographie des Oberdevons und Unterkarbons im Bereich des Attendorn-Elsper Riffkomplexes (Sauerland, Rheinisches Schiefergebirge). Diss., Darmstadt 1971.
- HARTMANN, M.: Zur Geochemie von Mangan und Eisen in der Ostsee. — *Meyniana*, **14**, S. 3–20, 3 Abb., 3 Tab., Kiel 1964.
- HELMS, J.: Zur Conodonten-Stratigraphie des Oberdevons in Ostthüringen. — *Geologie*, **13**, S. 208–210, Berlin 1965.
- JAECKEL, O.: Neue Wirbeltierfunde aus dem Devon von Wildungen. — *Sitz.-Ber. Ges. naturforsch. Freunde Berlin*, S. 73–86, 10 Abb., Berlin 1906.
- Untersuchungen über die Fischfauna von Wildungen. — *Paläont. Z.*, **9**, S. 329–339, Berlin 1928.
- JUX, U. & GROSS, H.: Nehden im Oberdevon der Bergisch Gladbach-Paffrather Mulde. — *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.*, 1967, S. 400–414, 2 Abb., 2 Tab., Stuttgart 1967.
- KINSMAN, D.: Interpretation of Sr⁺² concentrations in carbonate minerals and rocks. — *J. Sed. Petrol.*, **39**, S. 486–508, 4 Abb., Menasha 1969.
- KNOTERNUS, J.: Infrarotanalyse bituminöser Materialien. — *Erdöl u. Kohle*, **23**, S. 341–347, 10 Abb., 8 Taf., Hamburg 1970.
- KOCKEL, C.W.: Schiefergebirge und Hessische Senke um Marburg-Lahn.-*Samml. geol. Führer*, **37**, 248 S., 28 Abb., 2 Taf., Berlin (Bornträger) 1958.

- V. KOENEN, A.: Über Cymerienkalk und Mitteldevon resp. Hercynkalk ? bei Montpellier. — N.Jb. Mineral., **1**, S. 163–167, Stuttgart 1886.
- KRAUSKOPF, K. B.: Factors controlling the concentrations of thirteen rare metals in seawater. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **9**, S. 1–32, 9 Tab., Oxford 1956.
- KREBS, W.: Neue Ergebnisse zur Stratigraphie des Oberdevons und Unterkarbons in der südwestlichen Dill-Mulde (Rheinisches Schiefergebirge). — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **88**, S. 216–242, 3 Abb., 3 Tab., Wiesbaden 1960.
- Das Oberdevon der Prümer Mulde/Eifel unter Ausschluß der Dolomitfazies.—*Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **90**, S. 210–232, 1 Abb., 2 Tab., 1 Taf., Wiesbaden 1962.
- & RABIEN, A.: Zur Biostratigraphie und Fazies der Adorf-Stufe bei Donsbach (Conodonten- und Ostracoden-Chronologie, Oberdevon I, Rheinisches Schiefergebirge, Dillmulde). — *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **92**, S. 75–119, 3 Abb., 3 Tab., 2 Taf., Wiesbaden 1964.
- KREBS, W.: Der Bau des oberdevonischen Langenaubach–Breitscheider Riffs und seine weitere Entwicklung im Unterkarbon (Rheinisches Schiefergebirge). — *Abh. senckenb. naturf. Ges.*, **511**, S. 1–105, 18 Abb., 3 Tab., 13 Taf., Frankfurt-Main 1966.
- Über Schwarzschiefer und bituminöse Kalke im mitteleuropäischen Variszikum. — *Erdöl u. Kohle*, **22**, S. 2–6 und 62–67, 8 Abb., Hamburg 1969.
- KREJCI-GRAF, K.: Geochemical Diagnosis of Facies. — *Proceedings Yorkshire Geol. Soc.*, **34**, S. 469–521, 1 Abb., 6 Tab., 1964.
- KRUMBEIN, W.E.: Sedimentmikrobiologie und ihre geologischen Aspekte. — *Geol. Rdsch.*, **60**, S. 438–471, 6 Abb., Stuttgart 1971.
- LANGE, F. G.: Conodonten-Gruppenfunde aus Kalken des tiefen Oberdevons. — *Geologica et Paleontologica*, **2**, S. 37–57, 2 Abb., 6 Taf., Marburg 1968.
- LIPPERT, H. J. & SOLLE, G.: Profile durch die Dillmulde von Haiger bis Herborn. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **104**, S. 292–303, 7 Abb., 1 Taf., Hannover 1963.
- LIPPERT, H. J., HENTSCHEL, H. & RABIEN, A.: *Erl. geol. Kte. Hessen 1:25 000, Bl. 5215 Dillenburg*, 2. Aufl., 550 S., 18 Abb., 56 Tab., 6 Taf., 3 Beibl., Wiesbaden 1970.
- MANHEIM, T.F.: A geochemical profil in the Baltic Sea.—*Geochim. Cosmochim. Acta*, **25**, S. 52–70, Oxford 1961.
- MASSA, D.: Observations sur les series siluro-dévoniennes des confins Algéro-Marocains du Sud. — *Notes Mém. Comp. franc. Pétroles*, **8**, S. 1–187, 18 Abb., 4 Farbfotos, 9 Taf., Paris 1965.
- MATERN, H.: Die Goniatiten-Fauna der Schistes de Matagne in Belgien. — *Bull. Musée royal d'Histoire naturelle Belgique*, **7**, S. 1–15, 2 Abb., Brüssel 1931.
- MEYER, K. D.: Stratigraphie und Tektonik des Allerszuges am Nordwestrand der Ackerbruchberges bei Riefensbeek im Harz. — *Geol. Jb.*, **82**, S. 385–436, 11 Abb., 1 Tab., 5 Taf., Hannover 1965.
- MÜLLER-STEFFEN, K.: Das Oberdevon des nördlichen Oberharzes im Lichte der Ostracoden-Chronologie. *Diss.*, Göttingen 1963.
- PAECKELMANN, W.: *Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Madfeld*, 97 S., Berlin 1936.
- *Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Balve*, 70 S., Berlin 1938.
- Perkin-Elmer Corp. (Herausg.): *Analytische Methoden der Atom-Absorptions-Spektrophotometrie*. — Aus dem Engl. übersetzt im Bodenseewerk Perkin-Elmer & Co GmbH Überlingen, Loseblattsamml., *Ausg. Sept.* 1968, Überlingen 1968.
- RABIEN, A.: Zur Taxionomie und Chronologie der Oberdevonischen Ostracoden. — *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **9**, S. 1–268, 7 Abb., 4 Tab., 5 Taf., Wiesbaden 1954.
- Zur Stratigraphie und Fazies des Oberdevons in der Waldecker Hauptmulde. — *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **16**, S. 1–83, 2 Abb., 2 Tab., 3 Taf., Wiesbaden 1956.
- in: LIPPERT, H. J. HENTSCHEL, H. & RABIEN, A. 1970

- RIETSCHEL, S.: Die Geologie des mittleren Lahntroges. – Abh. senckb. naturforsch. Ges., **509**, S. 1–58, 10 Abb., 8 Tab., Frankfurt-Main 1966.
- ROEMER, F.A.: Beiträge zur Kenntnis des nordwestlichen Harzgebirges. – Palaeontographica, **3**, 1. Lfg., VIII, 67 S., 10 Taf., 1 Kte., Berlin 1850.
- RÖSLER, H. J.: Zur Petrographie, Geochemie und Genese der Magmatite und Lagerstätten des Oberdevons und Unterkarbons in Ostthüringen. – Freiburger Forsch.-H., C **92**, Leipzig 1960. (1960a)
- Zum Chemismus der Oberdevonischen Unterkarbonischen Karbonatgesteine in Ostthüringen. – Geologie, **9**, S. 867–883, 7 Abb., 10 Tab., Berlin 1960. (1960b)
- SANNEMANN, D.: Oberdevonische Conodonten (toII α)-Senckenbergiana, **36**, S. 123–156, 3 Abb., 6 Taf., Frankfurt-Main 1955.
- SCHMIDT, H.: Die binomische Einteilung der fossilen Meeresböden. – Fortschr. Geol. Paläont., **12**, S. 1–154, 24 Abb., Stuttgart 1935.
- SCHMIDT, W.E.: Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Plettenberg, **63** S., Berlin 1924.
- SCHNEIDER, J.: Das Oberdevon des nördlichen Kellerwaldes (Rheinisches Schiefergebirge). – Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **55**, S. 1–124, 24 Abb., 1 Taf., Wiesbaden 1969.
- SCHRIEL, W.: Erl. geol. Kte. Preußen, Bl. Riefensbeck, II. Aufl., Berlin 1939.
- Die Geologie des Harzes. – Schr. wirtsch.-wiss. Ges. Studium Niedersachsen, N.F., **49**, 308 S., Hannover 1954.
- & STOPPEL, D.: Fazies, Paläogeographie und Tektonik im Mittel- und Oberdevon des Harzes. – Geol. Jb., **78**, S. 719–760, 16 Abb., Hannover 1961.
- Das Alter des Cephalopodenkalke im mittleren Selketal (Devon; Unterharz). – Z. deutsch. geol. Ges., **115**, S. 77–99, 7 Abb., 4 Tab., 1 Taf., Hannover 1963.
- SCHROEDER, J. H.: Experimental dissolution of Calcium, Magnesium and Strontium from recent biogenic carbonates: A model of diagenesis. – J. Sed. Petrol., **39**, S. 1057–1073, 11 Abb., Menasha 1969.
- STOPPEL, D.: Geologie des südlichen Kellerwaldgebirges. – Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **34**, 114 S., 21 Abb., 2 Tab., 4 Taf., Wiesbaden 1961.
- Schwebende Probleme des Harz-Paläozoikums. Exkursionsführer zur Exkursion B 2 vom 13. – 15. Sept. 1965 (117. Hauptversammlung der Deutschen geologischen Gesellschaft vom 7. – 15. 9. 1965), Hannover 1965.
- & ZSCHEKED, J. G.: Zur Gliederung des Mittel- und Oberdevons im Westharz mit Conodonten und Ostracoden. – Z. deutsch. geol. Ges., **115**, S. 457–462, 2 Abb., 2 Tab., Hannover 1963.
- TOURTELOT, E.: Selected annotated Bibliography of minorelement content of marine black shales and related sedimentary rocks, 1930–1965. – Geol. Serv. Bull., **1293**, 118 S., Washington 1970.
- VINE, J. D. & TOURTELOT, E.: Geochemistry of black shale deposits – A summary report. – Economic Geol., **65**, S. 253–272, 3 Abb., 7 Tab., Lancaster 1970.
- WEDEPOHL, K. H.: Untersuchungen am Kupferschiefer in Nordwestdeutschland; Ein Beitrag zur Deutung der Genese bituminöser Sedimente. – Geochim. Cosmochim. Acta, **28**, S. 305–364, 17 Abb., 8 Tab., Oxford 1964.
- Geochemische Daten von sedimentären Karbonaten und Karbonatgesteinen und ihrem faziellen und petrogenetischen Aussagewert. – Verh. Geol. B.-A. 1970, (4), S. 692–705, 4 Abb., 1 Tab., Wien 1970.
- WURM, A.: Geologie von Bayern. 2. Aufl., 554 S., 157 Abb., 13 Taf., 6 Beil., Berlin (Bornträger) 1961.

- ZIEGLER, W.: Conodontenfeinstratigraphische Untersuchungen an der Grenze Mitteldevon-Oberdevon und in der Adorfstufe. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **87**, S. 7–77, 7 Abb., 10 Tab., 12 Taf., Wiesbaden 1958.
- Taxionomie und Phyllogenie oberdevonischer Conodonten und ihre stratigraphische Bedeutung. – Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **38**, 166 S., 18 Abb., 11 Tab., 19 Taf., Wiesbaden 1962.
- Conodont stratigraphy of the european Devonian. – GSA, special memoire, **127**, 1971.
- ZITZMANN, A.: Stratigraphische Ergebnisse nach Conodontenfunden im kalkigen Devon des Frankenwaldes. – Geol.-Bl. NO-Bayern, **17**, S. 136–155, 3 Abb., Erlangen 1967.

10. Anhang

Tab. 4. Tabelle der Tonmineralien

Probe	● Hauptkomponente ○ vorhanden + spurenweise — fehlend					Bemerkung
	Chlorit	Illit	Serizit	Kaolinit	Mixed-layer	
Ad31b	—	—	●	○	—	
Ah36b	+	●	○	○	—	
Av9b	+	+	●	○	—	
Be22b	+	○	○	○	—	(Rutil)
Be30a	○	○	●	○	—	Rutil
Bf2	—	●	—	○	+	
Bg a	●	○	○	+	—	
Bi4	—	○	●	○	—	
Bp3a	○	+	●	○	—	
Br31b	+	+	●	+	—	
Bü	+	●	○	○	—	
Bw3c	○	○	●	○	—	
Dh14b	+	○	●	○	—	
Di11b	○	+	●	○	—	
Do25	+	+	●	—	—	
Eb6b	○	○	●	—	—	
Ei7	●	○	○	+	—	
Ei8b	●	+	○	○	—	
Er16	○	●	○	○	—	
Et12c	+	●	+	—	—	
Ev	○	○	●	+	—	
Gb4b	○	+	●	○	—	
Gv3	○	+	●	○	—	
Ha8d	+	○	○	—	—	
Hg4	—	+	●	—	—	
Hm2	—	+	●	—	—	
Hs4	○	○	●	○	—	
Ht4	○	+	●	+	—	
Hv	+	○	●	—	—	
Ka A	+	●	+	—	—	
Kb10	○	○	●	+	—	
Ke3	○	○	●	○	—	
Ke3b	○	+	●	○	—	
Ke4	—	○	●	—	—	
Ke4b	+	○	●	○	—	
Ke5	—	●	○	○	—	

Probe	Chlorit	Illit	Serizit	Kaolinit	Mixed-layer	Bemerkung
Ke6b	○	○	●	+	—	
Ke7	+	○	●	+	—	
Ke8b	+	+	●	○	—	
Ke9	○	+	●	+	—	
Ke10b	+	+	●	—	—	
Ke11	+	+	●	○	—	
Ke12a	○	+	●	+	—	
Ke12c	○	+	●	○	—	
Ke12d	○	+	●	○	—	
Ke13	+	○	●	—	—	
Ke14a	○	+	●	+	—	
Ke16	○	+	●	○	—	
Ke18	○	+	●	○	—	
Ke20a	○	+	●	○	—	
Ke22	○	+	●	○	—	
Ke23	○	+	●	○	—	
Ke24	+	+	●	○	—	
Ke26	○	○	●	○	—	
Kil1	+	+	●	○	—	
Kr5c	—	+	●	—	—	
La16b	●	+	○	+	—	
Lf	○	+	●	+	—	
Li5a	○	+	●	○	—	
Lt9b	+	+	●	+	—	
Ma1	—	+	●	—	+	
Ma2	—	●	○	—	+	
Me8	○	+	●	+	—	
Ms2	○	○	●	+	—	
Na9b	—	●	○	+	—	
Nm9	—	○	●	○	+	
Nm11a	—	○	●	+	+	
No14	●	+	○	+	—	
Os1b	○	●	○	○	—	
Os3b	○	●	—	—	—	
Ri2	—	○	●	—	—	
Ro2c	+	—	—	—	—	
Se7	—	●	—	—	—	
Sp5e	—	+	●	—	—	
Ss	—	○	●	—	—	
St e	—	○	●	—	—	
Ti1	○	+	●	+	—	
Us7b	○	+	●	○	—	
Vb	○	○	●	○	—	
We36	+	—	●	+	—	

Fundpunktsbeschreibung

- Ad Westl. Straßenabschnitt bei km 4,4 zwischen Heggen und Attendorn. Bl. 4813 Attendorn: R 34 26 300, H 56 67 900.
Ca. 20 m über Massenkalk in back-reef-Fazies, Oberer KWK zwischen dunkelgrauen Schiefen und spätigen Kalken.
Bemerkung: Das Profil wurde gemeinsam mit Herrn Dipl.-Geol. W. Gwosdz aufgenommen.
Literatur: GWOSDZ 1971.
- Ae Weganriß am östl. Talhang des Aeketals, 5 m unterhalb eines kleinen verlassenen Kalkstbr., ca. 100 m nördlich der Stelle, an der der Bach aus nordwestl. Richtung nach Osten umbiegt. Bl. 4128 Clausthal-Zellerfeld: R 35 98 820, H 57 46 960.
Unterer und Oberer KWK zwischen Cephalopodenkalken der Schwellenfazies.
Literatur: DAHLÜRÜN et al. 1925, RABIEN 1954, ZIEGLER 1962.
- Ah Profil im Biggetal N Mühle Ahausen. Bl. 4813 Attendorn: R 34 27 570, H 56 68 870 bis 56 69 000.
Über Massenkalk in back reef-Fazies schwarze und dunkelgraue Riffschutt-Kalke und schwarze Schiefer, die als Zeitäquivalente zu dem Oberen KWK anzusehen sind.
Bemerkung: Das Profil wurde gemeinsam mit Herrn Prof. Dr. W. Krebs und Herrn Dipl.-Geol. W. Gwosdz im April 1967 aufgenommen und im Sommer 1969 beprobt.
Literatur: GWOSDZ 1971.
- Av Westhang der Höhe 235,1 SE Altenvers. Bl. 5217 Gladenbach: R 34 73 400, H 56 18 990.
Unterer und Oberer KWK zwischen geringmächtigen Cephalopodenkalken und Schiefen.
Bemerkung: Das Profil ist evtl. tektonisch reduziert. Genaue Lage des Profils s. BENDER (1965).
Literatur: BENDER 1965, BENDER & BRINKMANN 1969.
- Bb Grube am Büchenberg, Elbingerode-Harz.
Äquivalente des KWK (Hüttenröderkalk).
Literatur: KRZYWICKI (aus SCHRIEL 1954).
- Be Steinbruch Benner, Bicken, an der Straße Bicken-Offenbach. Bl. 5316 Ballersbach: R 34 57 560, H 56 18 240.
Unterer und Oberer KWK in Cephalopodenkalken.
Bemerkung: In einer Knolle aus dem oberen KWK wurde ein Teil eines Neurocraniums von *Nerides* sp. (Coelacanthide) gefunden (det. Prof. Dr. K. Fahlbusch).
Literatur: LIPPERT & SOLLE 1953, RABIEN 1954, KOCKEL 1958, WITTEKIND 1965.
- Bf Boussu-en-Fagne, Anschnitt hinter der Kirche. Bl. 57/7-8 Couvin.
Dunkelgraue Kalkknollen in Matagneschiefern.
Literatur: MATERN 1931.
- Bg Pinge Bergmannsglück, 220 m NE P. 442,3. Bl. 5215 Dillenburg: R 34 45 700, H 56 21 010.
Unterer KWK zwischen Cephalopodenkalken und Schiefen in geringmächtigem Profil.
Literatur: KREBS & RABIEN 1964, RABIEN 1970.

- Bi Talweg am Westhang des Bielsteins unmittelbar am Innerste-Ufer, ca. 220 m N der Schule von Lautenthal. Bl. 4127 Seesen: R 35 88 940, H 57 49 900.
Oberer KWK in oliv-grüngrauen Schiefen mit Kalkknollen.
Bemerkung: In dem Profil sind zahlreiche Hinweise dafür zu finden, daß es sich bei dem Sediment um Sedifikationsmaterial handelt. Wahrscheinlich sind auch die Knollen des KWK hier nicht autochthon.
Literatur: MÜLLER-STEFFEN 1963, STOPPEL 1965.
- Bl verlassener Stbr. ca. 700 m NNW Blintrop. Bl. 4713 Plettenberg: R 34 19 620, H 56 85 440.
- Bp Unterer KWK zwischen Cephalopodenkalken der Schwellenfazies.
Bemerkung: Die beiden Profile liegen im selben Steinbruch und sind durch eine Störung getrennt. Bl westlich der Störung, Bp östlich der Störung.
Literatur: W. E. SCHMIDT 1924.
- Br Stbr. Schmidt N Braunau an der Ense. Bl. 4920 Armsfeld: R 35 09 300, H 56 61 270.
Unterer und Oberer KWK in Cephalopodenkalken.
Literatur: JAECKEL 1906, 1928, W. GROSS 1932, ZIEGLER 1960, 1962, RABIEN 1954.
- Bu Nordhang des Beul (= Beil). Bl. 4613 Balve.
Lesestein von oberem KWK (aus Cephalopodenkalken).
Literatur: PAECKELMANN 1936, ZIEGLER 1962.
- Bü „Büdesheimer Goniatitenfelder“, Anriß W des Feldweges ca. 370 m SE Kirche Büdesheim. Bl. 5705 Gerolstein: R 25 40 120, H 55 64 350.
Als Lesestein dolomitisierte Kalke (Zeitäquivalente des Oberen KWK) in Büdesheimer Schiefen.
Literatur: CLAUSEN 1966.
- Bw Verfallener Steinbruch am Breitengrund, S Bernstein/Wald. Bl. 5735 Schwarzenbach am Wald: R 44 68 330, H 55 71 540.
Kalke in der Fazies der KWK aus der *crepida-crepida*-Zone (Nehden-Stufe) zwischen Cephalopodenkalken.
Literatur: SANNEMANN 1955, ZITZMANN 1967.
- Ci Combe de Isarne, Profil am N-Talhang an der dritten Kehre der Straße Cabrière in Richtung Fontaine Marguerite, Languedoc, Montagne Noire.
Dunkelgraue Cephalopodenkalke als Äquivalente der KWK zwischen hellgrauen und roten Cephalopodenkalken.
Literatur: FRECH 1887.
- Cm Kalkklippen E der Straße Caunes-Minervois nach St. Pons, direkt N des Dorfes Caunes (bei km 1,2), Aude, Montagne Noire.
Oberer KWK zwischen Cephalopodenkalken.
Bemerkung: Die eigenen Proben stammen aus der tiefen Nehden-Stufe, wo in der mittleren *crepida-crepida*-Zone Kalke in KWK-Fazies auftreten.
Literatur: BOYER et al. 1968.
- Dh Plattenkalksteinbruch (jetzt Omnibusgarage) an der Straße Donsbach-Haiger, am W-Rand von Donsbach, 470 m SW P. 453,9. Bl. 5215 Dillenburg: R 34 45 740, H 56 21 430.
Unterer KWK in Tonschiefern der Beckenfazies.
Literatur: KREBS & RABIEN 1964, RABIEN 1970.

- Di Alter Tagebau der Grube Diana am Volpertseichen N der alten Grube Beilstein. Bl. 5216 Oberscheld: R 34 53 970, H 56 23 880.
Unterer KWK zwischen Cephalopodenkalken.
Literatur: KREBS 1960.
- Do Gemeindesteinbruch Donsbach, 250-300 m W der Kirche, 300 m N P. 417,2. Bl. 5215 Dillenburg: R 34 45 900, H 56 20 920.
Unterer KWK in Wechsellagerung mit organodetritischen Kalken und schwarzen Schiefen. Genaue Profilbeschreibung s. KREBS & RABIEN 1964.
Literatur: KREBS & RABIEN 1964, RABIEN 1970.
- Eb SE-Hang des Neulsberg bei Eibach, Profil an der Wegböschung N vom Rotschieferbruch, 350 m SE P. 368,3. Bl. 5215 Dillenburg: R 34 51 700, H 56 23 280.
Unterer und Oberer KWK zwischen Schiefen mit vereinzelt Kalkbänken (Beckenfazies).
Literatur: RABIEN 1970.
- Ec Ehemalige Baugrube im Ort Eckelshausen, Einothstr. 17. Bl. 5117 Buchenau.
KWK zwischen Bänderschiefern der Beckenfazies, heute nicht mehr aufgeschlossen.
Literatur: KOCKEL 1958.
- Ei Westlicher Stbr. am Lagerzug Aschgarten östlich Eibach („Schafstall“). Bl. 5216 Oberscheld: R 34 53 070, H 56 23 520.
Unterer KWK zwischen Cephalopodenkalken
Literatur: KREBS 1960.
- Er Klippen am Fuß des Südhangs vom Bordj Est bei Erfoud, Marokko. Lambert-Koordinaten: x 611 600, y 093 600.
Oberer KWK in Cephalopodenkalk-ähnlichen Schelfkarbonaten.
Literatur: MASSA 1965, ALBERTI 1970.
- Es Kleine Kalkklippen am Eselsstieg, ca. 750 m NW Selkemühle. Bl. 4333 Plansfeld. Kellwasserkalk (ohne nähere Angabe) in Cephalopodenkalken der Schwellenfazies.
Bemerkung: Das Profil zeigt an der Basis des nur wenige dm mächtigen Adorfer Kalkes Aufarbeitungserscheinungen.
Literatur: BEUSHAUSEN et al. 1895, SCHRIEL & STOPPEL 1963.
- Et Profil an der Piste Erfoud-Taouz (Marokko), erster Bergzug S der Lokalität Er (s. dort). Oberer KWK in Cephalopodenkalk-ähnlichen Schelfkarbonaten.
Literatur: MASSA 1965.
- Ev Kalkklippen im Tälchen direkt nördlich von Eversbusch. Bl. 4609 Hattingen: R 25 88 200, H 56 86 250.
KWK zwischen dunklen Schiefen (Übergang Schelf-Becken-Fazies).
Bemerkung: Durch eine Dammschüttung für die neue Autobahn nicht mehr aufgeschlossen.
Literatur: PAECKELMANN (in BÄRTLING 1929). †
- Gb Verlassene Pinge W Grottenberg. Bl. 4518 Madfeld: R 34 80 200, H 56 95 600.
Kalke in Fazies der KWK aus der Unteren Adorf-Stufe; die Kalke sind metasomatisch vererzt.
Literatur: PAECKELMANN 1936.

- Gg Schichtköpfe im Bachbett des großen Gerlachbachs, ca. 150 m oberhalb der Eisenquelle. Bl. 4228 Riefensbeek: R 35 99 860, H 57 39 240.
Dunkelgraue bis schwarze Bänderschiefer der Beckenfazies, in denen nach SCHRIEL 1939 Kellwasserkalk-Knollen mit *Homoctenus tenuicinctus*, Orthoceren und *Buchiola* eingelagert sind.
Literatur: SCHRIEL 1939.
- Gs Schichtköpfe im Bachbett des großen Schachtthals. Bl. 4228 Riefensbeek: R ca. 35 94 000, H ca. 57 34 900.
Knollen von Unterem KWK in Bänderschiefen der Beckenfazies.
Literatur: DAHLGRÜN et al. 1925, SCHRIEL 1939, SCHRIEL 1954, K. D. MEYER 1965
- Gv Profil an der B 55 N Lennebrücke von Grevenbrück. Bl. 4814 Altenhundem: R 34 31 420, H 56 68 250.
Schwarze Kalkknollen in der Fazies der KWK aus der Nehden-Stufe, wenige Meter über dem dolomitisierten Riffkern des Attendorner-Elsper-Riffkomplexes zwischen grüngrauen Schiefen und grauen Kalkbänken eingeschaltet.
Bemerkung: Das Profil wurde gemeinsam mit Herrn Dipl.-Geol. Gwosdz aufgenommen.
Literatur: GWOSDZ 1971.
- Gw Großes Wiental, an der Mündung in den Söse-Stausee. Bl. 4228 Riefensbeek: R 35 92 000, H 57 34 100.
KWK in Bänderschiefen der Beckenfazies (ohne nähere Angaben).
Literatur: SCHRIEL 1954.
- Ha Verlassener Stbr. E Straße Meggen-Halberbracht. Bl. 4814 Altenhundem: R 34 35 750, H 56 66 660.
Unterer KWK zwischen Bänderschiefen der Beckenfazies.
- Hg Westlicher Straßenanschnitt bei km 3,1 zwischen Heggen und Attendorf. Bl. 4813 Attendorf: R 34 27 500, H 56 68 580.
Über Massenkalk in back-reef-Fazies Oberer KWK zwischen schwarzen Schiefen.
Bemerkung: Das Profil ist stark gestört, von Kalzitklüften durchzogen und tektonisch begrenzt. Es wurde gemeinsam mit Herrn Dipl.-Geol. Gwosdz aufgenommen.
Literatur: GWOSDZ 1971.
- Hl Hohes Lohr (keine näheren Angaben). Bl. 4920 Armsfeld: R ca. 35 01 500, H ca. 56 54 500.
KWK (ohne nähere Angaben).
Literatur: STOPPEL 1961.
- Hm Verlassener Steinbruch 200 m SSW P. 452,0 am Südhang des Heimbergs, ca. 1,2 km SW Grimminghausen. Bl. 4715 Eslohe: R 34 44 080, H 56 75 470.
Unterer KWK zwischen Cephalopodenkalken.
- Hs Steinbruch Heiss am Grundberg E Stadtsteinach. Bl. 5835 Stadtsteinach: R 44 59 100, H 56 66 150.
Oberer KWK zwischen Kalkknotenschiefen.
Bemerkung: Der schwarze Kalk wurde von v. GAERTNER in die Nehden-Stufe gestellt. Die gewonnene Conodontenfauna ist jedoch eindeutig in die obere *gigas*-Zone einzustufen.
Literatur: v. GAERTNER 1942, WURM 1961.

- Ht Hühnertalkopf, Klippen und Weganschnitt an der großen Wegkurve der Hahnenkleeer Bergstraße S des großen Hühnertals, 480 m SE der Höhe 558,7. Bl. 4128 Clausthal-Zellerfeld: R 35 93 420, H 57 49 420.
 Unterer und Oberer KWK in Kalken und Schiefeln.
 Bemerkung: KWK-Proben wurden nicht mehr gefunden, die untersuchten Proben stammen aus der tiefen Nehden-Stufe.
 Literatur: DAHLGRÜN et al. 1925, SCHRIEL 1954, MÜLLER-STEFFEN 1963, STOPPEL 1965.
- Hv Lesestein an der Wegkreuzung 700 m NW Hövel, 180 m ENE von P. 404, östl. des Dasberges. Bl. 4613 Balve.
 Oberer KWK zwischen Kalken und Schiefeln.
- In Bohrungen im Bereich der Innerste Talsperre. Bl. 4027 Lutter: R 35 89 350, H 57 54 300.
 Unterer und Oberer KWK in Bänderschiefeln der Beckenfazies.
 Literatur: STOPPEL 1965.
- Ja SW-Hang des Japhet-Bergs, unmittelbar südöstl. des Dorfes Cabrière (Languedoc), Montagne Noire.
 Lesesteine von Kalken in KWK-Fazies aus der Unteren Adorf-Stufe.
 Literatur: FRECH 1887.
- Ka Schurf am Prallhang des Lerbaches zwischen Oberlerbach und Kaltenbroich. Bl. 5009 Overath: R 55 81 760, H 56 50 330.
 Äquivalente des Oberen KWK zwischen (Matagne-?) Schiefeln.
 Literatur: JUX & GROSS 1967.
- Kb Stollen im Karlsberg (Weilburg), Stollenmundloch W Goethestr. Bl. 5515 Weilburg: R 34 48 245, H 55 94 630.
 Oberer KWK zwischen geringmächtigen Kalken und Schiefeln (Übergang Schwellen-Beckenfazies).
 Literatur: RIETSCHEL 1966.
- Ke Kellwassertal, Schurf oberhalb der ehemaligen, jetzt überfluteten Typlokalität wenige m oberhalb des Uferwegs am Okerstausee, ca. 240 m W der Mündung des unteren Rabentals. Bl. 4218 Clausthal-Zellerfeld: R 35 99 930, H 57 43 870.
 Unterer und Oberer KWK zwischen Cephalopodenkalken der Schwellenfazies.
 Literatur: F. A. ROEMER 1850, SCHRIEL 1954, SCHRIEL & STOPPEL 1961, STOPPEL & ZSCHEKED 1963, MÜLLER-STEFFEN 1963, RABIEN 1954; 1970.
- Ki Kleiner verlassener Steinbruch 50 m nördlich des S-Portals des Kirschhofener Tunnels an der Guntersau. Bl. 5515 Weilburg: R 34 48 040, H 55 94 060.
 Oberer KWK zwischen Kalkknotenschiefeln.
 Literatur: RIETSCHEL 1966.
- Kl Lesestein vom Acker S Kleinern. Bl. 4820 Bad Wildungen: R 35 03 730, H 56 66 680.
 Lesestein von Oberen KWK in Bänderschiefeln der Beckenfazies.
 Literatur: J. SCHNEIDER 1969.
- Kr Nördl. Straßenböschung bei km 1,2 zwischen Krumbach und Frankenbach. Bl. 5317 Rodheim-Bieber: R 34 71 160, H 56 15 050.
 Oberer KWK in Schiefeln mit Kalken der Beckenfazies.
 Literatur: BENDER 1965, BENDER & BRINKMANN 1969.

- Kw** Distrikt 2 an der Kellerwand E Dodenhausen. Bl. 4920 Armsfeld: R ca. 3505000, H ca. 5652500.
KWK (ohne nähere Angabe).
Literatur: STOPPEL 1961.
- La** Langenaubach, Marmorbruch im Rombachtal SE ehemalige Grube Constanze, 210 m SSE P. 430,8. Bl. 5215 Dillenburg: R 3443470, H 5620230.
Dunkelgraue Kalkknollen und -bänke als Zeitäquivalente des Unteren und Oberen KWK zwischen hellgrauen und roten Cephalopodenkalken der Schwellenfazies.
Literatur: KREBS 1966, RABIEN 1970.
- Lf** Bohrung im Lahntal W Laasphe. Bl. 5016 Laasphe: R 3457468, H 5643446.
Unterer KWK mit *Entomoprimitia nitida* (F. A. ROEMER) *Franklinella calcarata* (REINH. RICHTER) zwischen Bänderschiefern (Bericht RABIEN 1955, Archiv Hess. Landesamt f. Bodenforschung, Wiesbaden).
- Li** Schiefersteinbruch im Liesetal NE P. 661,5. Bl. 4817 Hallenberg: R 3472000, H 5669300.
Äquivalent des Oberen KWK zwischen Bänderschiefern.
Literatur: RABIEN 1954.
- Lm** Lindener Mark. Bl. 5418 Gießen.
Heute nicht mehr aufgeschlossen.
Literatur: AHLBURG 1919.
- Lt** Lautenthal, nördl. Weganschnitt des neuen Forstwegs am SE-Hang des Sparenbergs. Bl. 4127 Seesen: R 3588840, H 5750200.
Unterer KWK in Bänderschiefern der Beckenfazies.
Bemerkung: Ein ähnliches Profil beschreibt STOPPEL 1965 von der N-Seite des Sparenbergs.
- Ma** Verlassener Schieferbruch in der großen Straßenkurve (W Straße) am S Orstausgang von Matagne-la-Grande in Richtung Dourbes. Blatt 58/1-2 Surice.
Dunkle, grün-graue Kalkknollen in Matagne-Schiefern.
Literatur: MATERN 1931.
- Mb** Meisenberg; kleiner Stbr. und Kalkklippen oberhalb des Antionettenwegs ca. 600 m NW Selkemühle. Bl. 4333 Plansfeld.
Kellwasserkalk zwischen geringmächtigen Cephalopodenkalken.
Bemerkung: Die oberdevonischen Kalke sind schlotenartig in Mitteldevon-Kalke eingelagert.
Literatur: SCHRIEL & STOPPEL 1963.
- Me** 10. Sohle am Sprengstofflager der Grube Meggen. Bl. 4814 Altenhüdem.
Oberer KWK mit *Homoctenus ultimus* ZAGORA zwischen Bänderschiefern.
Bemerkung: Das Profil wurde von Herrn Dipl.-Geol. W. Gwosdz aufgenommen.
- Mg** Grube Christiane bei Adorf, Feld Martenberg, 2. Zwischensohle über 100 m Sohle (Alter Abbau 22).
Knollen von Unterem KWK in Bänderschiefern.
Bemerkung: Material HLFB Wiesbaden, leg. LIPPERT, det. RABIEN.

- Ms Mittleres Sautal, Schurf ca. 450 m W Kleinen Knollen unterhalb der Knollenstraße. Bl. 4328 Lauterberg: R 35 97 900, H 57 26 220.
In dem Schurf BODES, der von ALBERTI wieder aufgewältigt wurde, finden sich im do I zwischen tektonisch stark zerschuppten mittel- und oberdevonischen Kalken dunkelgraue Kalke, die mit dem KWK verglichen werden können.
Bemerkung: Auf der geol. Karte dürfte das Oberdevon-Vorkommen etwas zu hoch am Hang eingetragen worden sein.
Literatur: ALBERTI 1963, 1968.
- Na Wegprofil auf der Höhe Pioch de la Suque E Saint-Nazaire (Hérault), Montagne Noire. Unterer KWK zwischen kieseligen Schiefen und Kalken (Übergang Schwellen-Becken-Fazies?).
Literatur: BOYER et al. 1968.
- Nm Bahneinschnitt zwischen Nismes und Mariembourg. Bl. 58/5-6 Olloy sur Viroin. Lambert Koordinaten: x 162760 y 86060.
Äquivalente des Unteren KWK zwischen Matagne-Schiefen.
Literatur: MATERN 1931.
- No Kalkklippen an der Ruine Nordeck, nördlich Stadtsteinnach. Bl. 5835 Stadtsteinach: R 44 60 650, H 56 65 380.
Unterer und Oberer KWK zwischen Cephalopodenkalken der Schwellenfazies.
Literatur: WURM 1961.
- Os Östliche Wegböschung an der Straße Oos – Denkelseifen ca. 1 km südlich der Kirche von Oos (oberhalb des Wasserwerks). Bl. 5705 Gerolstein: R 25 41 900, H 55 66 350.
Unterer KWK zwischen Schiefen und bituminösen Kalken.
Bemerkung: Von KREBS wurde der KWK aufgrund schlecht erhaltener Ostracoden und Conodontenfaunen in das do I₂ eingestuft. Eine Überprüfung der Ostracodenfauna durch Dr. Rabien ergab folgende Arten:
Entomoprimitia nitida (F. A. ROEMER), cf. *concentrica* (MATERN),
Entomozoe (Nehdentomis) *pseudophthalmus* (VOLK) ?.
Die genannten Arten gehören in den unteren KWK.
Literatur: KREBS 1962.
- Pf Verlassener Stbr. an der Nordseite der Pfaffenhard NW Erda. Bl. 5317 Rodheim-Bieber: R 34 65 450, H 56 16 240.
Unterer KWK.
Bemerkung: Die Knollen von KWK liegen als tektonische Schollen isoliert in mitteldevonischen Schiefen.
Literatur: BENDER 1965, BENDER & BRINKMANN 1969.
- Rl Rübeland, auf dem Plateau nahe dem S-Rand des Bodetals.
Literatur: SCHRIEL 1954.
- Ri Riesenbachtal, Schichtköpfe im Bachbett ca. 150 m NW (talaufwärts) der Mündung des „Alten Tals“ in das Riesenbachtal. Bl. 4128 Clausthal-Zellerfeld: R 35 97 780, H 57 45 900.
Oberer KWK zwischen Cephalopodenkalken der Schwellenfazies.
Bemerkung: Aus dem benachbarten Alten Tal werden ebenfalls KWK beschrieben. Wegen der schlechten Aufschlußverhältnisse wurde aber auf eine Probennahme verzichtet.
Literatur: DAHLGRÜN et al. 1925, SCHRIEL 1954.

- Ro Klippen direkt oberhalb des Romkerhaller Wasserfalls. Bl. 4128 Clausthal-Zellerfeld: R 3601540, H 5748280.
Oberer KWK und Äquivalente aus der *crepida-crepida*-Zone (Nehden-Stufe) zwischen Cephalopodenkalken.
Bemerkung: Beim Aufdringen des Okergranits wurden die Kalke kontaktmetamorph überprägt.
Literatur: DAHLGRÜN et al. 1925, SCHRIEL 1954, SCHRIEL & STOPPEL 1961.
- Sa Schurf am Sessacker bei Oberscheld (genaue Beschreibung ZIEGLER 1958). Bl. 5216 Oberscheld.
KWK zwischen Cephalopodenkalken.
Literatur: MATERN 1931, ZIEGLER 1958, 1962.
- Sä Am Schäder E der Straße Lautenthal-Wolfshagen. Bl. 4127 Seesen: R 3590150, H 5752150.
Knollen von KWK in Schiefen der Beckenfazies.
Literatur: STOPPEL & ZSCHEKED 1963.
- Se Klippen auf dem Plateau „la Serre“, unter der Starkstromleitung, ca. 1600 m südlich Cabrière (Languedoc), Montagne Noire.
Oberer KWK zwischen Cephalopodenkalken der Schwellenfazies.
Literatur: v. KOENEN 1886, FRECH 1887.
- Sp Ehemalige Dachschiefergrube am östl. Innerste-Ufer am W-Hang des Sparenbergs, N Lautenthal. Bl. 4127 Seesen: R 3588460, H 5750400.
Oberer KWK in Schiefen und Kalken (Übergang Becken-Schwellen-Fazies).
Literatur: MÜLLER-STEFFEN 1963, STOPPEL 1965.
- Ss Schürfe am Silberstollen südlich Densberg. Bl. 5020 Gilserberg: R 3506230, H 5649620.
Unterer und Oberer KWK zwischen tektonisch gestörten Schiefen und Cephalopodenkalken.
Literatur: STOPPEL 1961.
- St Sternplatz, südlich des „Steilen Berg“, nördl. Straßenböschung ca. 160 m E P. 495,2 an der Straße Seesen-Lautenthal. Bl. 4127 Seesen: R 3586800, H 5749700.
Oberer KWK zwischen Cephalopodenkalken (und Schiefen).
Literatur: SCHRIEL 1954, MÜLLER-STEFFEN 1963.
- Ti Auf'm Knoll, an der Westseite N Wegkurve 300 m SSW P. 738,4 und am Gipfel, NW Titmaringhausen. Bl. 4714 Niedersfeld: R 3475120, H 568074.
Unterer KWK zwischen Bänderschiefern und Kalken.
Literatur: RABIEN 1954, 1956.
- Tu E-Berghang im Maider-Becken direkt N Fezzou (nähere Angabe siehe MQ 1-MQ 2 bei MASSA 1965). Äquivalente des oberen KWK zwischen Schelfkarbonaten.
Literatur: MASSA 1965.
- Us Steinbruch S Bahnhof Usseln, Höhe 667,0. Bl. 4718 Goddelsheim: R 3477180 H 5682650.
Unterer KWK zwischen Bänderschiefern mit Kalken.
Literatur: RABIEN 1954, 1956.

Uw Unteres Wildschütztal und großer Ahrendsberg am Okerstausee. Bl. 4128 Clausthal-Zellerfeld.

Bemerkung: Da keine genaue Beschreibung vorlag, wurde nach einer kurzen Geländebegehung auf eine Probennahme verzichtet.

Literatur: SCHRIEL 1954.

Vb Straßenanschnitt, Autobahn Gießen-Dortmund, Parkplatz Volkersbach. Bl. 5316 Ballersbach: R 3453980, H 5610 130.

Unterer KWK in stark gestörtem Profil zwischen Kalken und Schiefen.

Bemerkung: Profilaufnahme Dr. P. BENDER (unveröff.).

We Großer Stbr. gegenüber (W) Ahausen, N Weilburg. Bl. 5515 Weilburg: R 3448100, H 5596100.

Unterer und Oberer KWK zwischen Schiefen und Kalken (Beckenfazies mit Tendenz zur Schwellenfazies).

Literatur: RIETSCHEL 1966.

Tab. 5. *Cephalopoden-Faunenliste* (det. Dr. C. CLAUSEN)

	No 7	Nm 12d	Nm 12c	Nm 9	Nm 2	Nm 1	Na 32	Na 30	Na 29	Na 27	Na 23	Na 22	Na 21	Na 20	Na 14	Na 9	Na 4	Na 2	Et 19	Et 13c	Et 13b	Et 13a	Et 12g	Et 12f	Et 12e	Et 12c	Et 12b	Et 12a	Et 10	Et 23	Et 22	Et 21	Et 20	Et 19	Et 18	Et 16	Et 15	Bf				
<i>Cheiloceras</i> (<i>Cheiloceras</i>)	<i>amblylobus</i> (SANDBERGER)																																									
	<i>planilobum</i> (SANDBERGER)																				?	?																				
	<i>verneuili</i> (MÜNSTER)																			●																						
<i>Lobotornoceras</i>	sp.																					●																				
	<i>ausavense crassum</i> (MATERN)				●																																					
<i>Manticoceras</i> (<i>Manticoceras</i>)	<i>adorfense</i> WEDEKIND						●																																			
	<i>alaticum</i> BOGOSLOVSKY		●																																							
	<i>cordatum</i> (SANDBERGER)					○																																				
	<i>drevermanni</i> WEDEKIND		●																																							
	<i>intumescens</i> (BEYRICH)																																									
(Carinoceras) (Prochorites)	<i>galeatum</i> WEDEKIND																																									
	<i>prumiense prumiense</i> (STEININGER)					●																																				
<i>Probeloceras</i>	<i>kayseri</i> (WEDEKIND)			●																																						
	sp.					●																																				
<i>Protornoceras</i>	<i>planidorsatum</i> (MÜNSTER)																																									
<i>Tornoceras</i> (<i>Aulatornoceras</i>)	<i>planidorsatum</i> (? var. <i>euyomphala</i> WEDEKIND)																						●																			
	<i>keyserlingi</i> MÜLLER							●	●																																	
	<i>keyserlingi</i> vel <i>auris</i>										●																															
	<i>undulatum</i> (SANDBERGER sensu WEDEKIND 1918)																○																									
<i>Tornoceras</i> (<i>Tornoceras</i>)	sp.																																									
	<i>acutum</i> FRECH											○																														
	<i>concentricum</i> HOUSE												○																													
	<i>frechi frechi</i> WEDEKIND									●							●							●	●	●																
	<i>frechi variacum</i> WEDEKIND							●																																		
	<i>frechi</i> ssp.							●	●																																	
	<i>simplex</i> (v. BUCH)							●	●						?	?	●								●	●																
	<i>uniangulare compressum</i> (CLARK)												●	●																												
	<i>uniangulare</i> cf. <i>oboosum</i> (CLARK)												●	●																												
sp.			●	●				●	●			●	●			●						?															●					

● nachgewiesen ○ cf.-Bestimmung ? Bestimmung fraglich (verdrückte oder bruchstückhafte Cephalopoden)

Zu den Conodonten-Faunenlisten der Tab. 6:

Folgende Arten wurden bestimmt:

- Ancyrodella buckeyensis* STAUFFER
A. curvata (BRANSON & MEHL)
A. gigas YOUNGQUIST
A. ioides ZIEGLER
A. lobata BRANSON & MEHL
A. nodosa ULRICH & BASSLER
A. rotundiloba alata GLENISTER & KLAPPER
A. rotundiloba rotundiloba (BRYANT)
Ancyrognathus asymmetricus (ULRICH & BASSLER)
A. bifurcatus (ULRICH & BASSLER)
A. calvini (MILLER & YOUNGQUIST)
A. cryptus ZIEGLER
A. princeps (MILLER & YOUNGQUIST)
A. sinelamina (BRANSON & MEHL)
A. triangularis YOUNGQUIST
Icriodus cornutus SANNEMANN
Palmatolepis crepida crepida SANNEMANN
P. delicatula delicatula BRANSON & MEHL
P. delicatula clarki ZIEGLER
P. distorta BRANSON & MEHL
P. foliacea YOUNGQUIST
P. gigas MILLER & YOUNGQUIST
P. glabra elongata HOLMES
P. glabra glabra ULRICH & BASSLER
P. glabra pectinata ZIEGLER
P. gracilis gracilis BRANSON & MEHL
P. martenbergensis MÜLLER
P. minuta minuta BRANSON & MEHL
P. minuta subgracilis BISCHOFF
P. perlobata perlobata ULRICH & BASSLER
P. perlobata schindewolfi MÜLLER
P. proversa ZIEGLER
P. quadrantinodosa inflexa MÜLLER
P. quadrantinodosa inflexoidea ZIEGLER
P. quadrantinodosa marginifera ZIEGLER
P. quadrantinodosa quadrantinodosa BRANSON & MEHL
P. quadrantinodosalobata SANNEMANN
P. cf. regularis COOPER
P. rhomboidea SANNEMANN
P. rugosa ampla MÜLLER
P. rugosa grossi ZIEGLER
P. subperlobata BRANSON & MEHL
P. subrecta MILLER & YOUNGQUIST
P. tenuipunctata SANNEMANN
P. termini SANNEMANN
P. transistans MÜLLER
P. triangularis SANNEMANN
P. unicornis MILLER & YOUNGQUIST
Polygnathus ancyrognathoidea ZIEGLER
P. asymmetricus ovalis BISCHOFF & ZIEGLER

- P. glaber glaber* ULRICH & BASSLER
P. nodocostatus ovatus HELMS
P. nodocostatus nodocostatus BRANSON & MEHL
P. nodoundatus HELMS
P. pennatuloideus HOLMES
P. perplexus (THOMAS)
P. triphyllatus (ZIEGLER)
Polylophodonta gyratilineata (HOLMES)
Scaphignathus velifer ZIEGLER

In den folgenden Faunenlisten bedeutet:

- nachgewiesen ○ cf.-Bestimmung ? Bestimmung unsicher

Anschrift des Autors:

Dr. WERNER BUGGISCH

Geol.-Paläont. Institut der Technischen Hochschule Darmstadt,
61 Darmstadt, Schnittspahnstraße 9

Für die Redaktion verantwortlich:

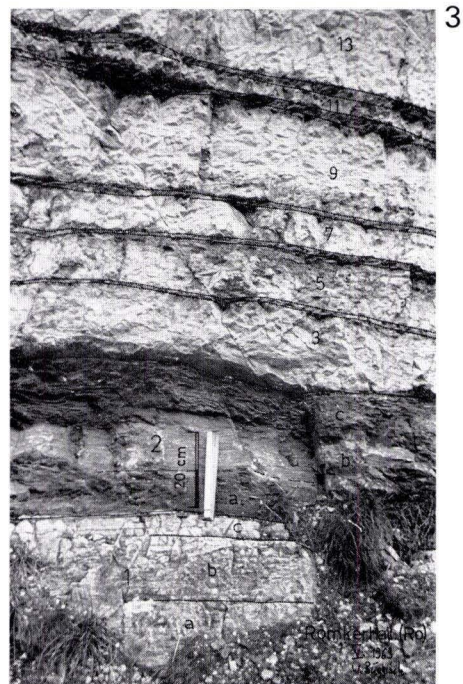
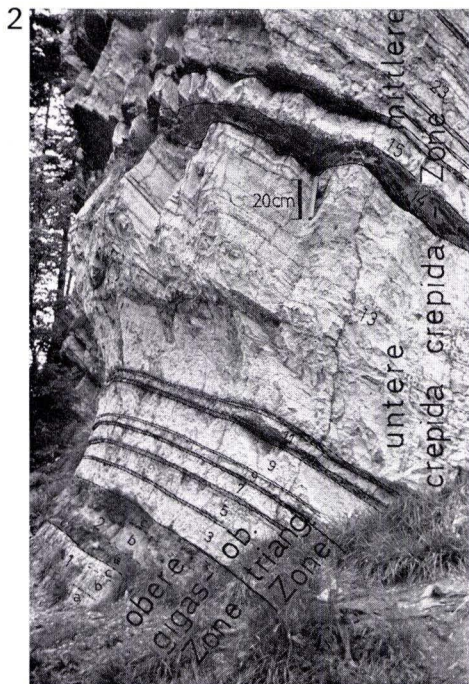
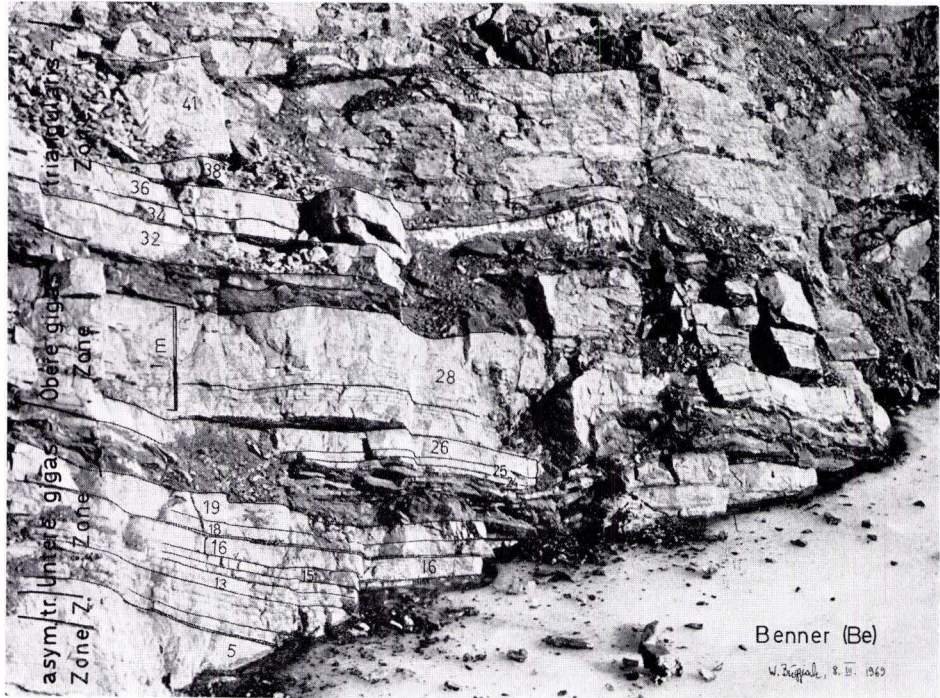
Prof. Dr. FRITZ KUTSCHER

Regierungsdirektor im Hessischen Landesamt für Bodenforschung
62 Wiesbaden, Leberberg 9

Tafel 1

Tafel 1

- Fig. 1. Profil im Steinbruch Benner/Bicken (Be) mit den beiden Kellwasserkalk-Horizonten. Die schwarzen bituminösen, einige Dezimeter mächtigen Horizonte sind hier in hellgraue Cephalopodenkalke der Tiefschwellen-Fazies eingeschaltet (Be/Rheinisches Schiefergebirge).
- Fig. 2. Klippen über dem Romkerhaller Wasserfall (Ro/Harz) mit dem Oberen Kellwasserkalk (im unteren Profilabschnitt) und mit einem Horizont aus schwarzen Kalken in der unteren Nehden-Stufe, die den Kellwasserkalken lithofaziell entsprechen. Ähnliche Sedimente können innerhalb der Nehden-Stufe (an der Basis der Mittleren *crepida-crepida*-Zone) auch im Rheinischen Schiefergebirge, Frankenwald, in Südfrankreich und Marokko nachgewiesen werden.
- Fig. 3. Klippen über dem Romkerhaller Wasserfall (Ro/Harz) mit dem Oberen Kellwasserkalk (Ausschnitt aus Fig. 2.), eingeschaltet zwischen kontaktmetamorph überprägte Cephalopodenkalke der Tiefschwellen-Fazies.

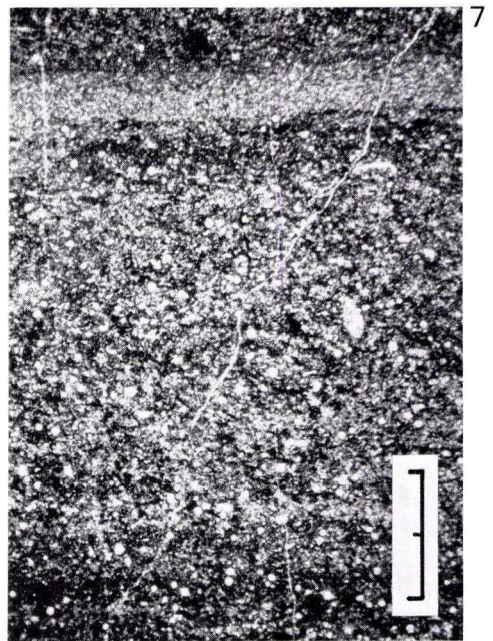
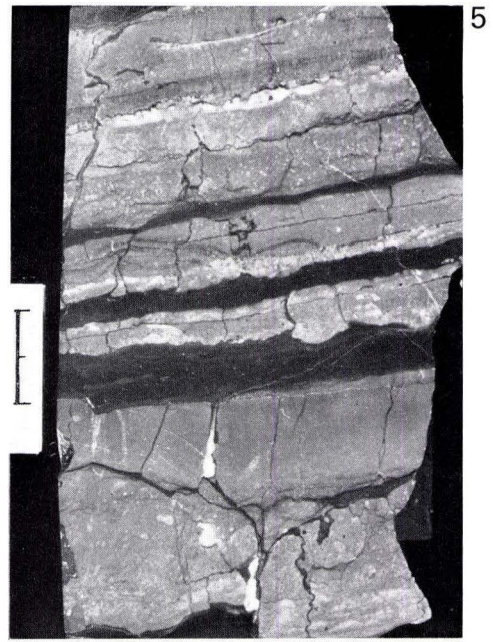


Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 62, 1972

Tafel 2

Tafel 2

- Fig. 4. Schichtparalleler Sedimentgang, gefüllt mit biotritischem Kalk und Mikrit aus der Oberen *gigas*-Zone (do I δ), eingeschaltet in Kalke der *asymmetricus*-Zone (do I α). Restlicher Hohlraum mit Sparit erfüllt. Anschliff der Probe Er 1, Erfoud/Marokko. Maßstab = 2 cm.
- Fig. 5. Lagen von schwarzem Kalk und Mergel innerhalb einer Kalkbank zwischen den beiden Kellwasserkalk-Horizonten. Im Dünnschliffbild und in der geochemischen Charakteristik unterscheiden sich diese Bänder nicht von den Kellwasserkalken. Anschliff Be 27 aus dem Steinbruch Benner/Bicken, Rheinisches Schiefergebirge. Maßstab = 2 cm.
- Fig. 6. Gleichmäßige Feinschichtung im Oberen Kellwasserkalk. Die Bänderung wird durch den Wechsel von kalkreicheren und kalkärmeren Lagen hervorgerufen. Anschliff Be 29, Steinbruch Benner/Bicken. Maßstab = 2 cm.
- Fig. 7. Rhythmische Schichtung mit sapropelitischer Basis und kalkreichem Top. Dünnschliff Hv aus dem Oberen Kellwasserkalk von Hövel, Rheinisches Schiefergebirge. Maßstab = 1 mm.

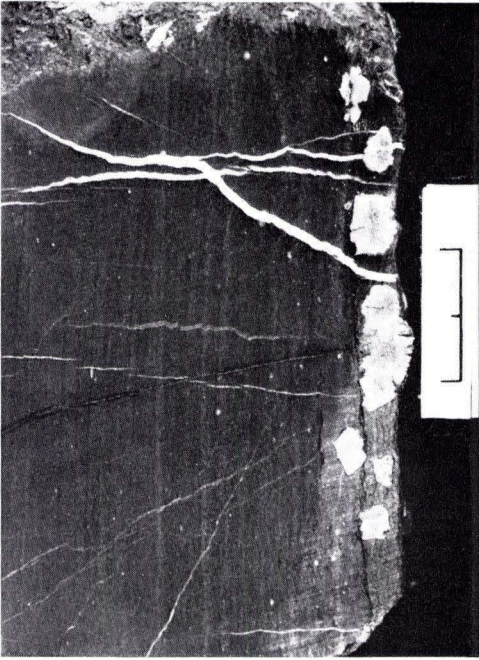


Tafel 3

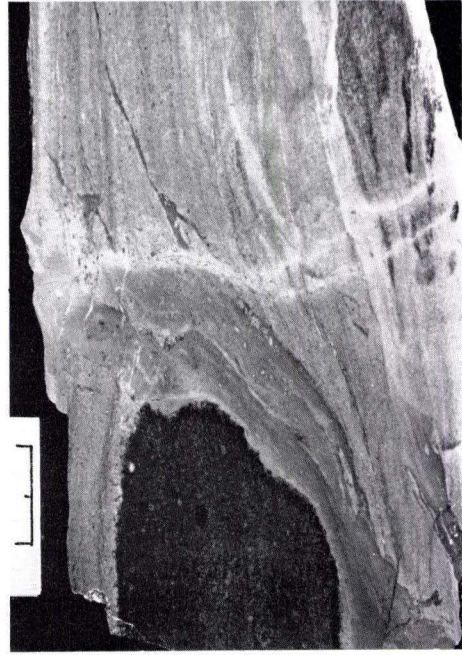
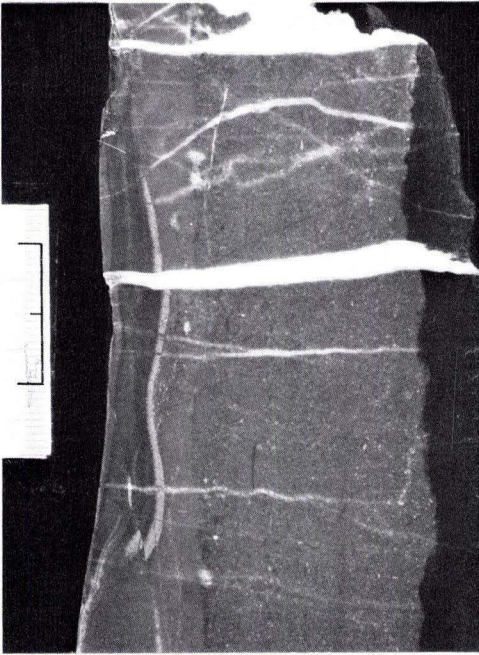
Tafel 3

- Fig. 8. Pyritanreicherungen in den Vertiefungen einer unebenen Bankungsfläche zeigen, daß Sulfide direkt aus dem Meereswasser ausgefällt wurden und sich in den tiefer gelegenen kleinen Becken gravitativ sammelten. Höher gelegene Partien blieben „erzfrei“. Im Anschliff erscheint der Pyrit als helles Band (0,5–1 cm unter der Bank-Oberkante). Anschliff Os 9, Profil Oos/Prümer Mulde (Fig. 8 = Ausschnitt aus dem Blockdiagramm Abb. 8). Maßstab = 2 cm.
- Fig. 9. Pyrit ist häufig an der Unterkante von Kalkbänken innerhalb der Kellwasserkalk-Horizonte angereichert. Die aus Sammelkristallisation hervorgegangenen Konkretionen und Kristalle dürften dadurch entstanden sein, daß bei der Diagenese pH-Wert-Änderungen im Porenwasser des Sediments die Fe-Sulfide an der Grenze Kalk/Ton ausgefällt haben. Anschliff He, Steinbruch Heiß/Frankenwald. Maßstab = 2 cm.
- Fig. 10. Dunkelgraue Kalkknolle, die in rote und rötlich-graue Kalke der Tiefschwellenfazies eingebettet ist. Hinsichtlich der Genese siehe S. 42. Anschliff La 16, „Marmorbruch“ bei Langenaubach/Rheinisches Schiefergebirge. Maßstab = 2 cm.
- Fig. 11. Typische Faunengemeinschaft aus dem Unteren Kellwasserkalk mit Goniatiten, „Orthoceren“, Tentaculiten und Lamellibranchiaten (*Buchiola*). Die Goniatiten sind teilweise mit „Asphalt“ ausgefüllt. Lesestein Ti, Auf'm Knoll bei Titmaringshausen/Rheinisches Schiefergebirge. Maßstab = 1 cm.

9



11



8

10

Tafel 4

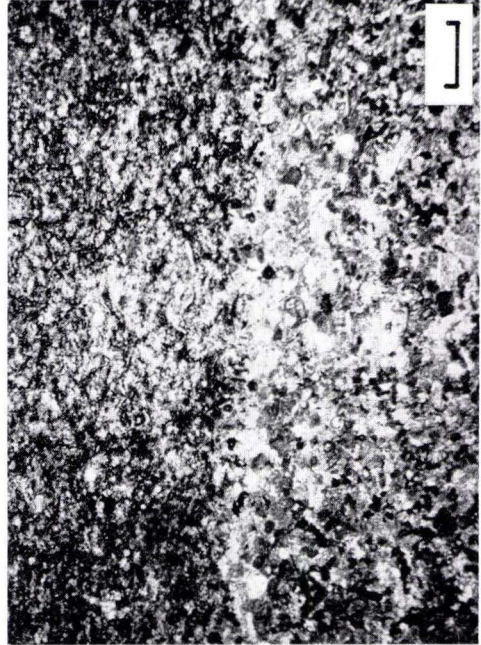
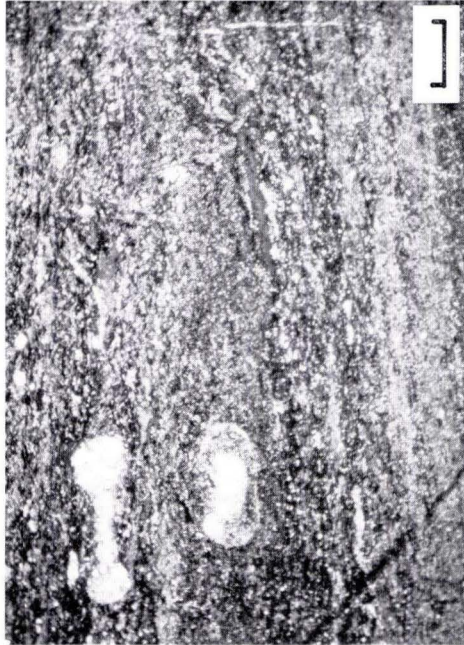
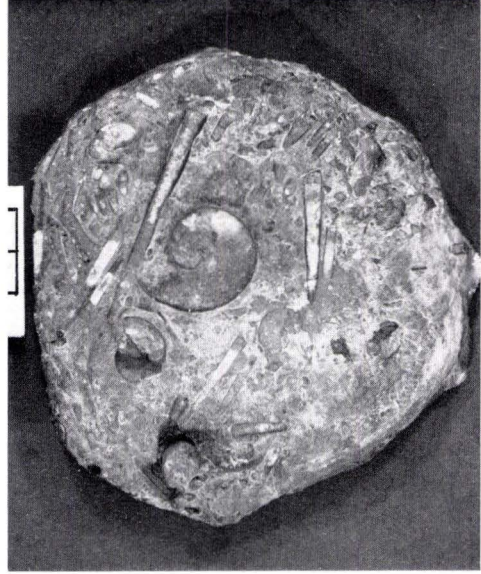
Tafel 4

- Fig. 12. Die Schichtung wird innerhalb der Kellwasserkalke durch Fossilagen (z. T. mit fossilen Wasserwaagen), Pyritbänder und durch kalkreiche Lagen angezeigt. Dünnschliff Br 7, Steinbruch Schmidt, Braunau/Rheinisches Schiefergebirge. Maßstab = 1 mm.
- Fig. 13. Eingesteuerte „Orthoceren“ im Oberen Kellwasserkalk. Fossileinregelung, wie sie hier vorliegt, ist im Kellwasserkalk sonst selten. Lesestein aus dem Profil Erfoud-Taouz/Marokko (Et). Maßstab = 2 cm.
- Fig. 14. Wechsellagerung von organo-detritischem Kalk (unten) und Kellwasserkalk (oben). Die Kellwasserkalke treten in den verschiedensten Faziesbereichen auf. Im Donsbacher Gemeindesteinbruch ist der Untere Kellwasserkalk in allopathische Kalke an der Flanke einer Hochschwelle eingeschaltet. Dünnschliff Do 26, Donsbach/Rheinisches Schiefergebirge. Maßstab = 1 mm.
- Fig. 15. Typische Faunengemeinschaft aus dem Oberen Kellwasserkalk von Marokko mit Goniatiten der Gruppe *Tornoceras frechi* WEDEKIND und *Tornoceras simplex* (v. BUCH) und mit „Orthoceren“. Profil Erfoud-Taouz, Bank Et 12f. Maßstab = 2 cm.

13



15



12

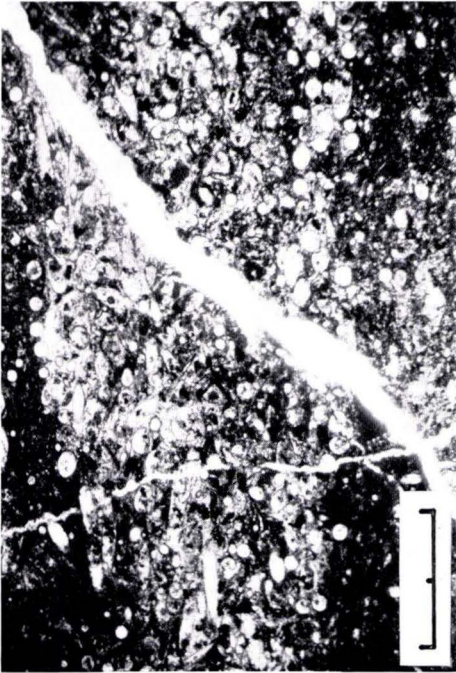
14

Tafel 5

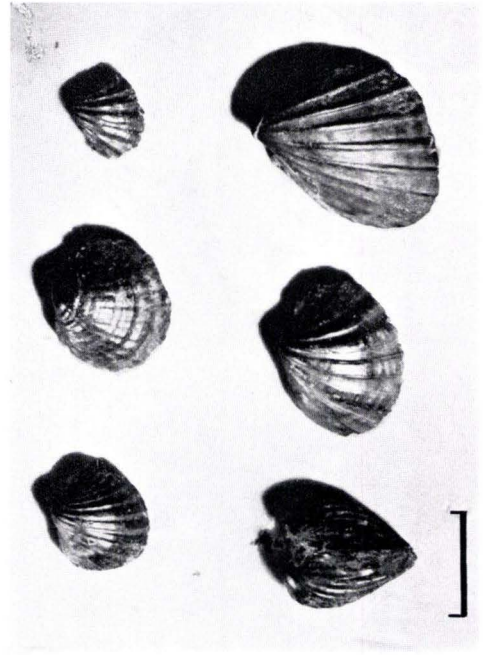
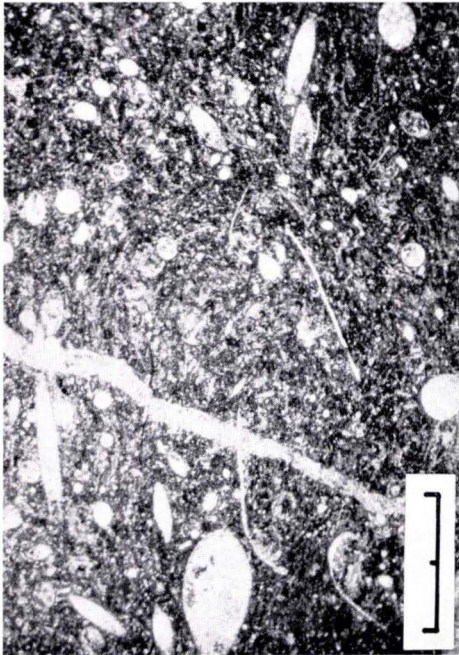
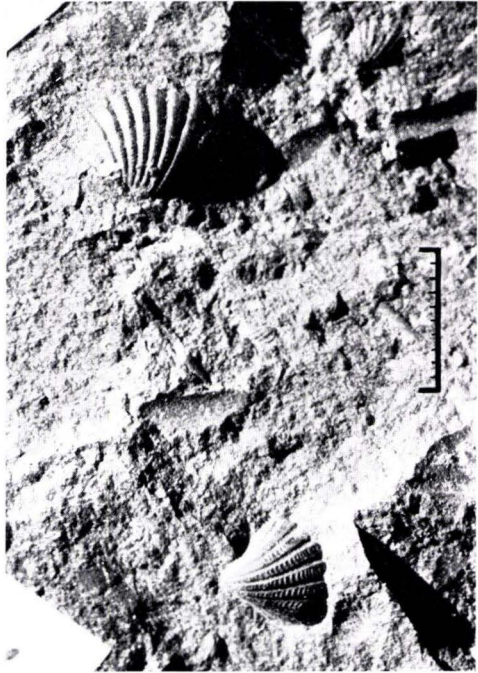
Tafel 5

- Fig. 16. Ostracoden sind in den Kellwasserkalken meist zweiklappig erhalten. Der ehemalige Hohlraum ist oft mit Sparit ausgefüllt. Dünnschliff Br 9, Steinbruch Schmidt bei Braunau/Rheinisches Schiefergebirge. Maßstab = 1 mm.
- Fig. 17. Tentaculiten sind in den Kellwasserkalken sehr häufig. Sie liegen meist vollkommen unregelmäßig auf den Schichtflächen. Dünnschliff Ki 6, senkrecht zur Schichtung. Kirschhofener Tunnel/Rheinisches Schiefergebirge. Maßstab = 1 mm.
- Fig. 18. Verschiedene Cardioconchen aus der Gruppe *Buchiola*. Diese kleinen Lamellibranchiaten, die in den Matagne-Schiefern in Belgien sehr häufig sind, erlangen zur Zeit der Kellwasserkalk-Bildung eine sehr weite Verbreitung über alle Faziesbereiche. Profil Nazaire (Na), Montagne Noire/Südfrankreich. Maßstab = 0,5 cm.
- Fig. 19. *Buchiola palmata* (GOLDFUSS), links, und *Buchiola* sp., rechts. Steinbruch Benner/Bicken, Rheinisches Schiefergebirge. Maßstab = 1 cm.

17



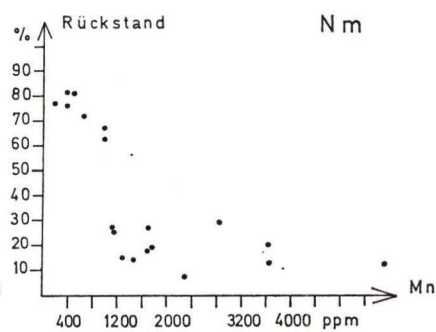
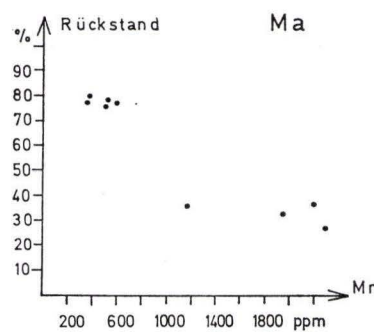
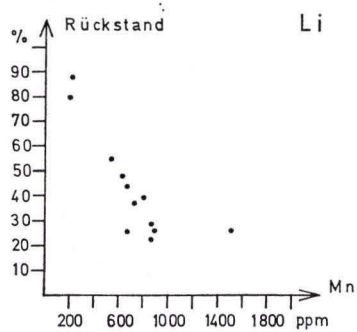
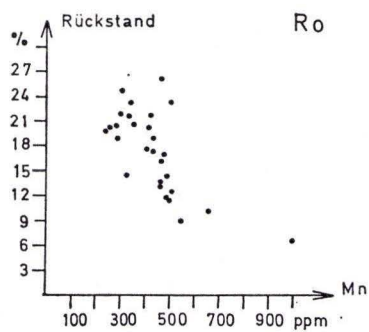
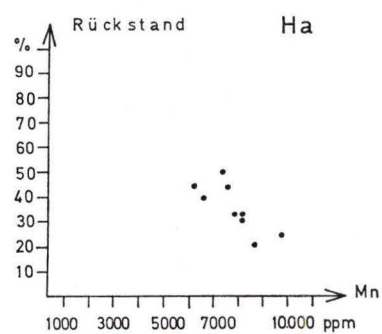
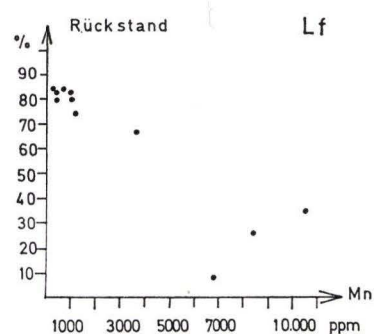
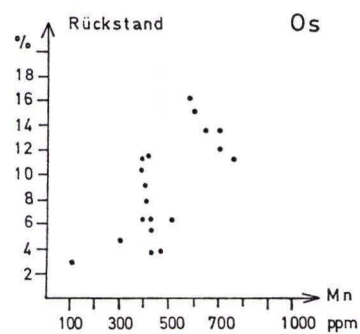
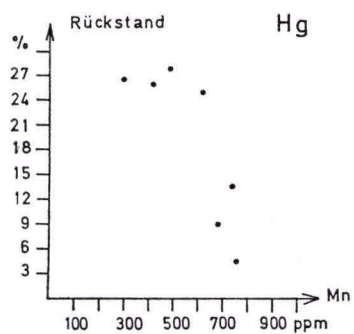
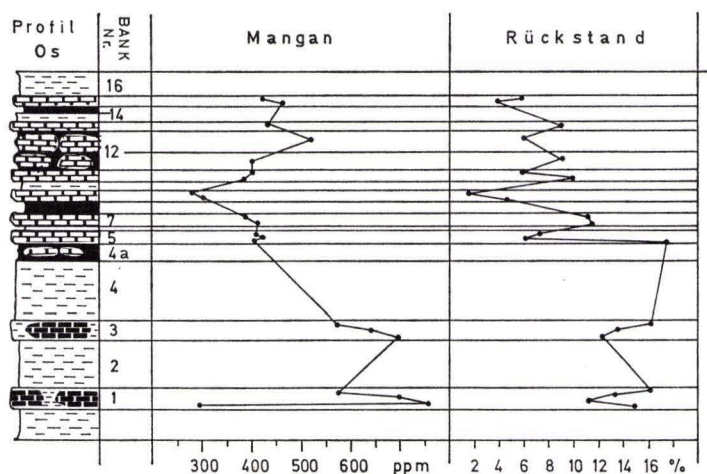
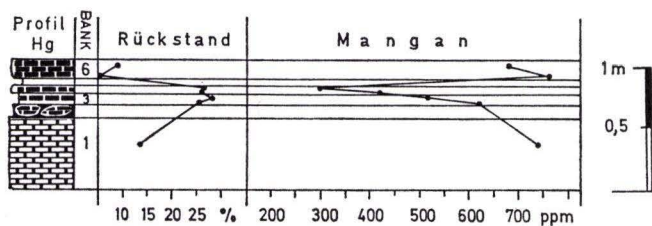
19



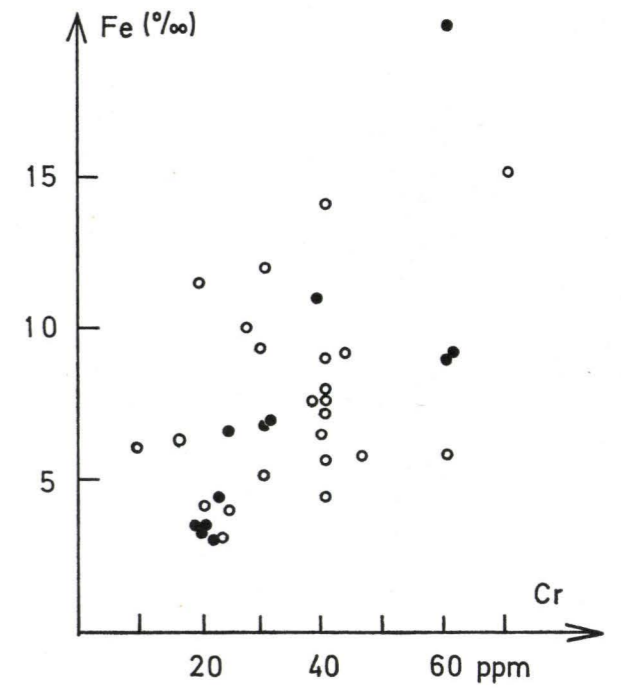
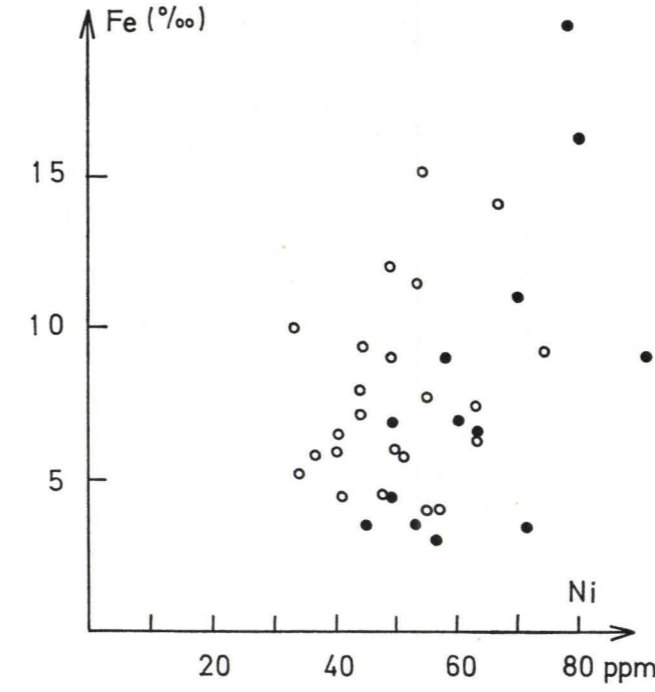
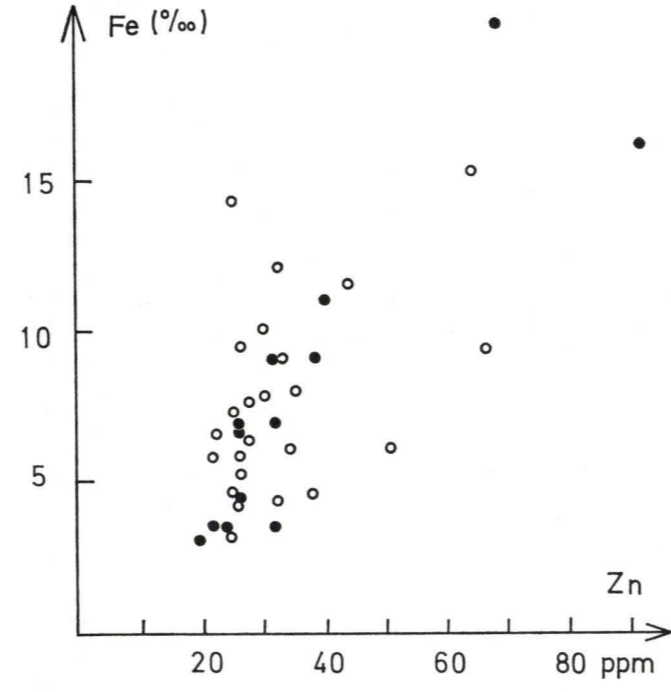
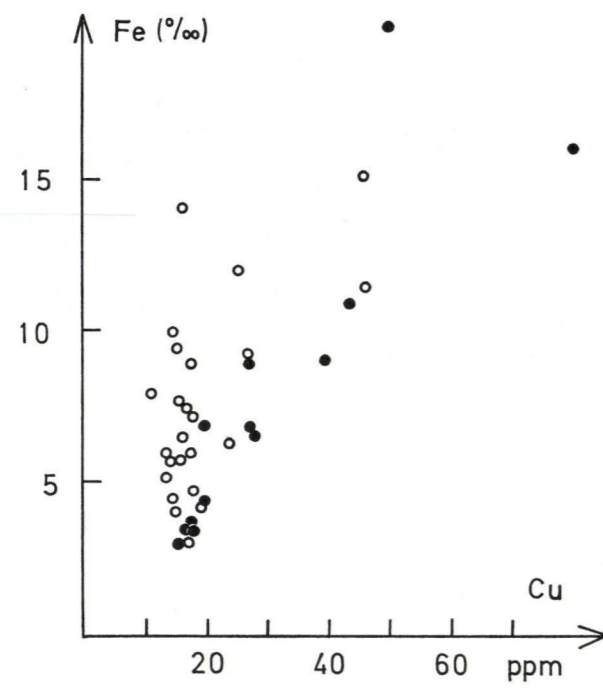
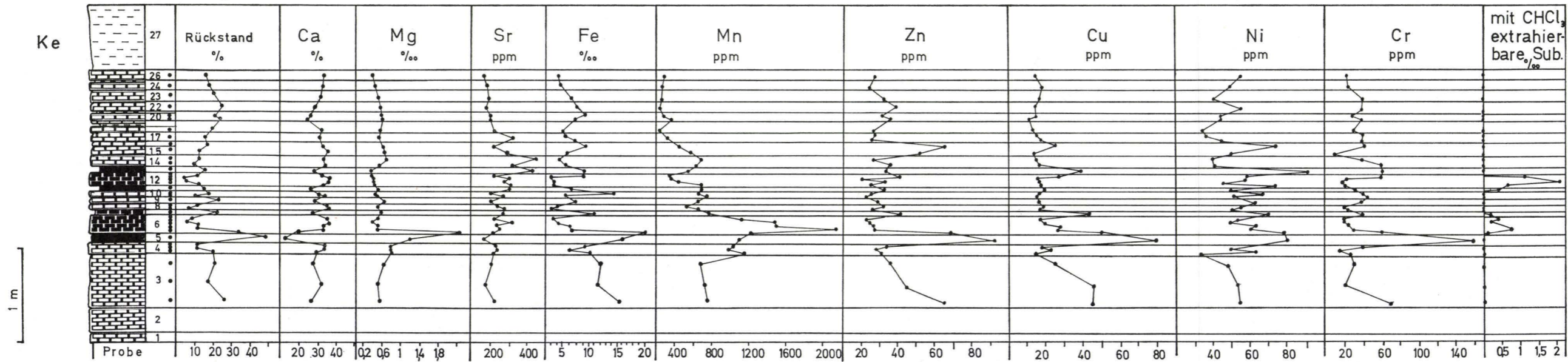
16

Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 62, 1972

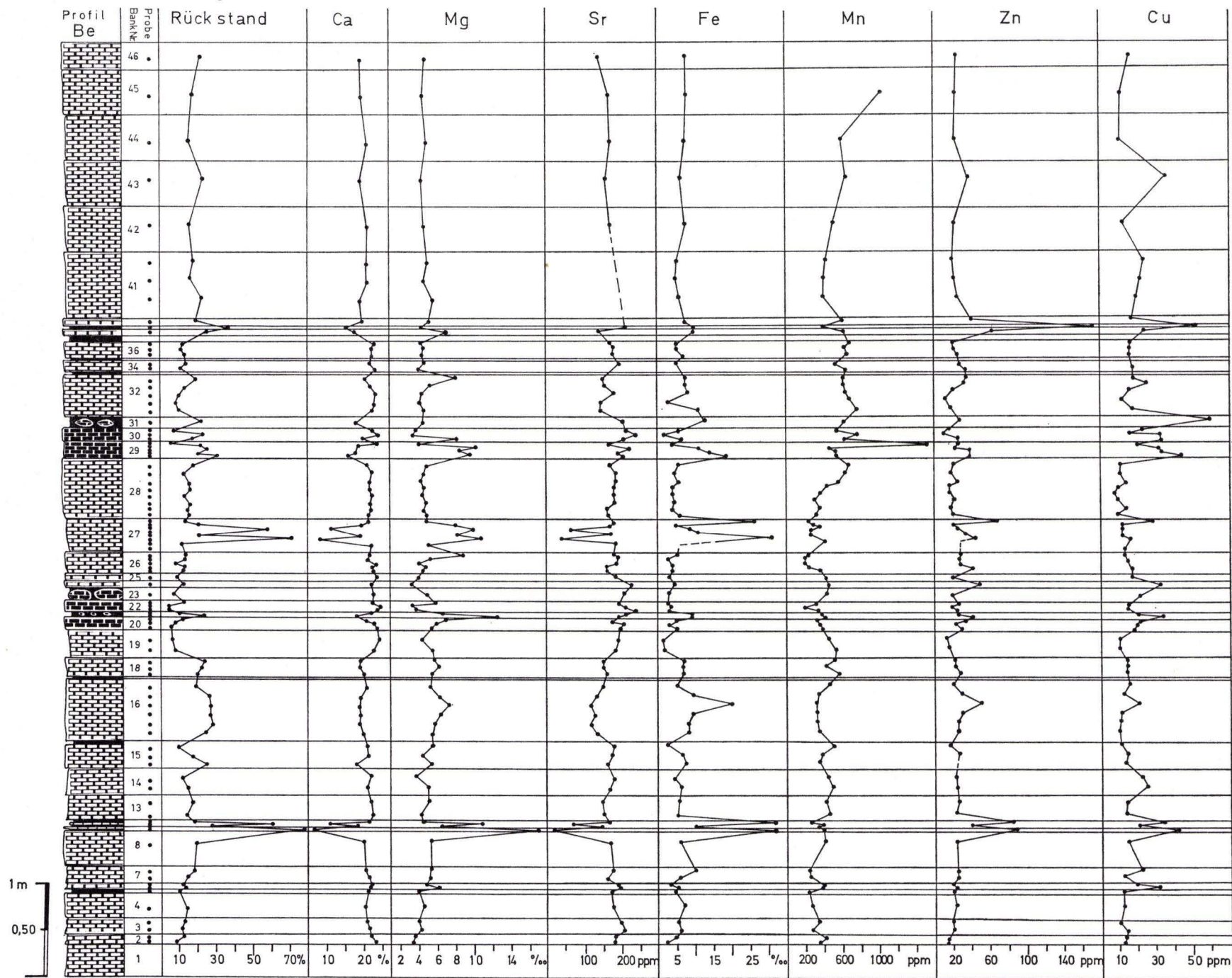
18



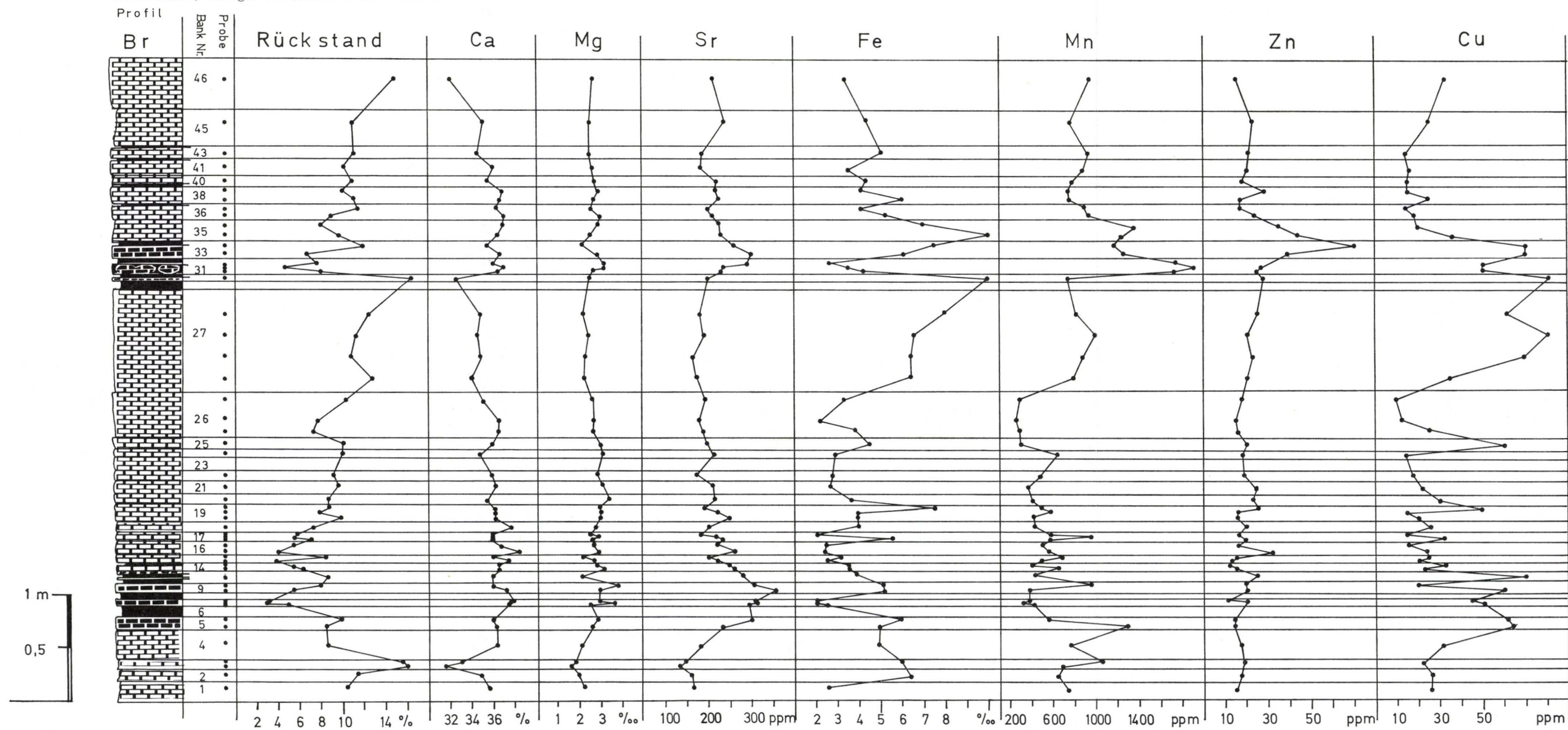
Korrelation von Rückstand und Mangan.



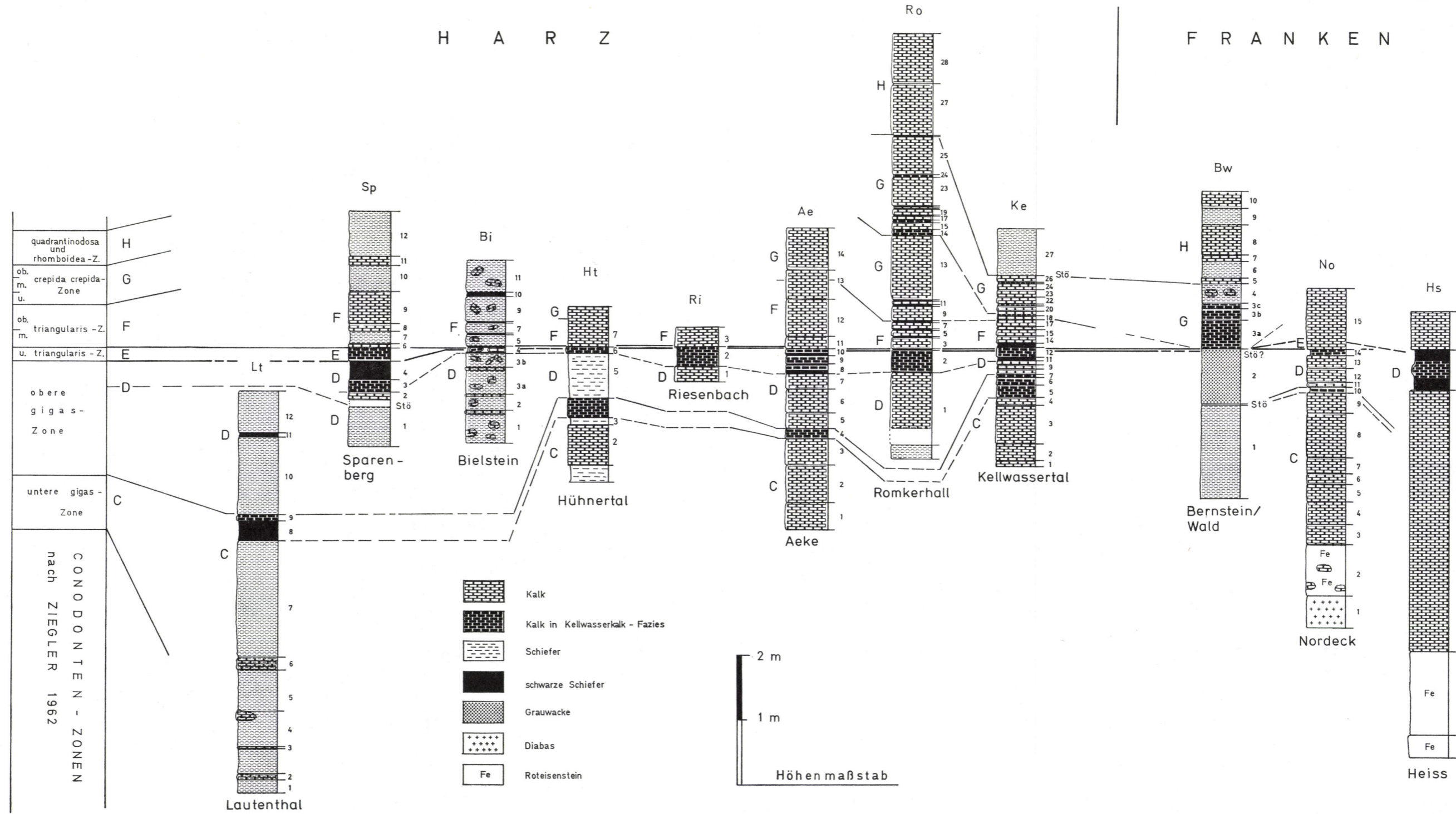
Analysenergebnisse vom Profil Kellwassertal/Harz. Legende für das lithologische Profil s. Taf. 10.
 (In den Korrelationsdiagrammen bedeutet: Punkt = Probe aus KWK-Horizont, Kreis = Probe aus dem übrigen Gestein.)



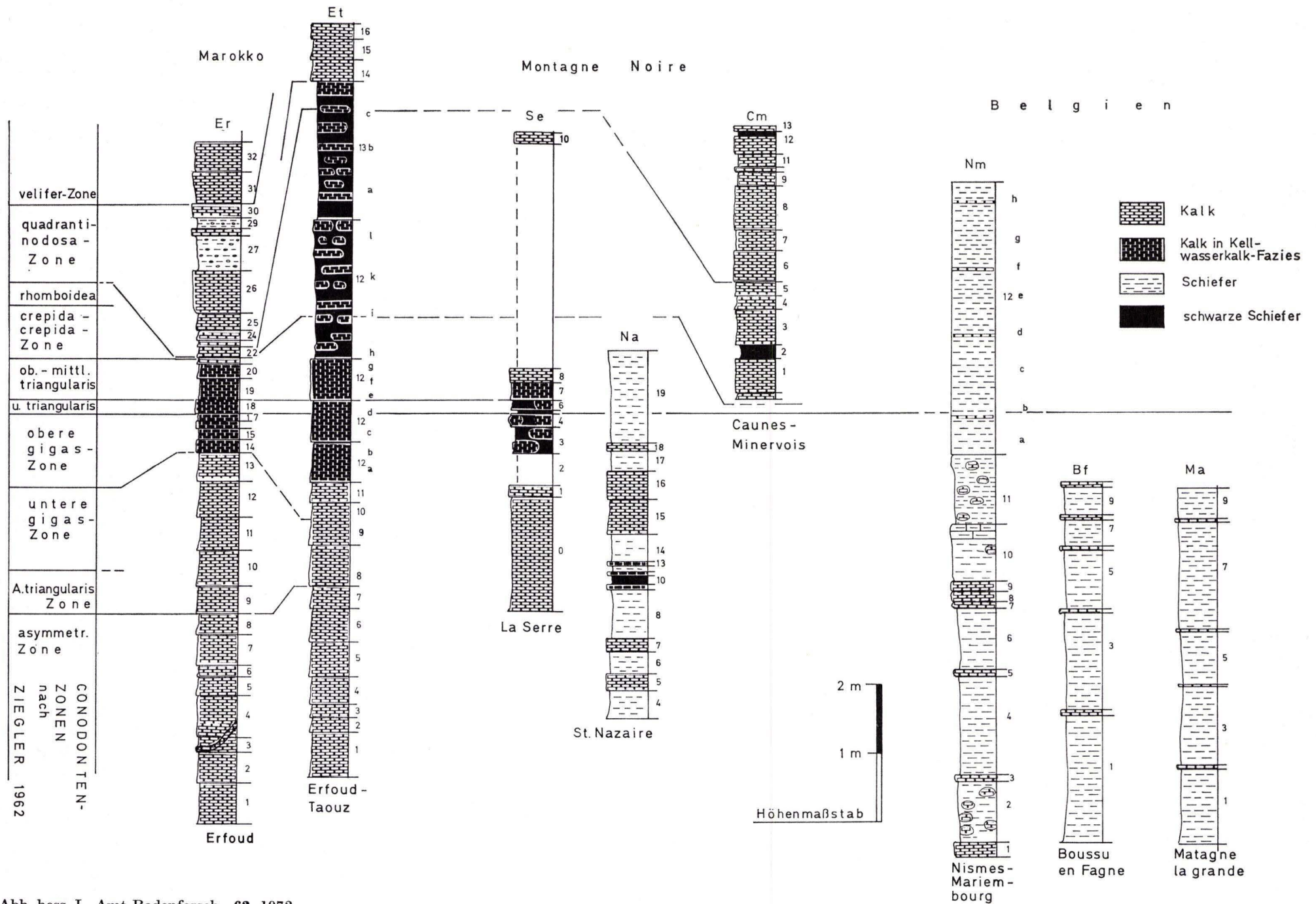
Analysenergebnisse vom Profil Benner/Bicken. Legende für das lithologische Profil s. Taf. 13.

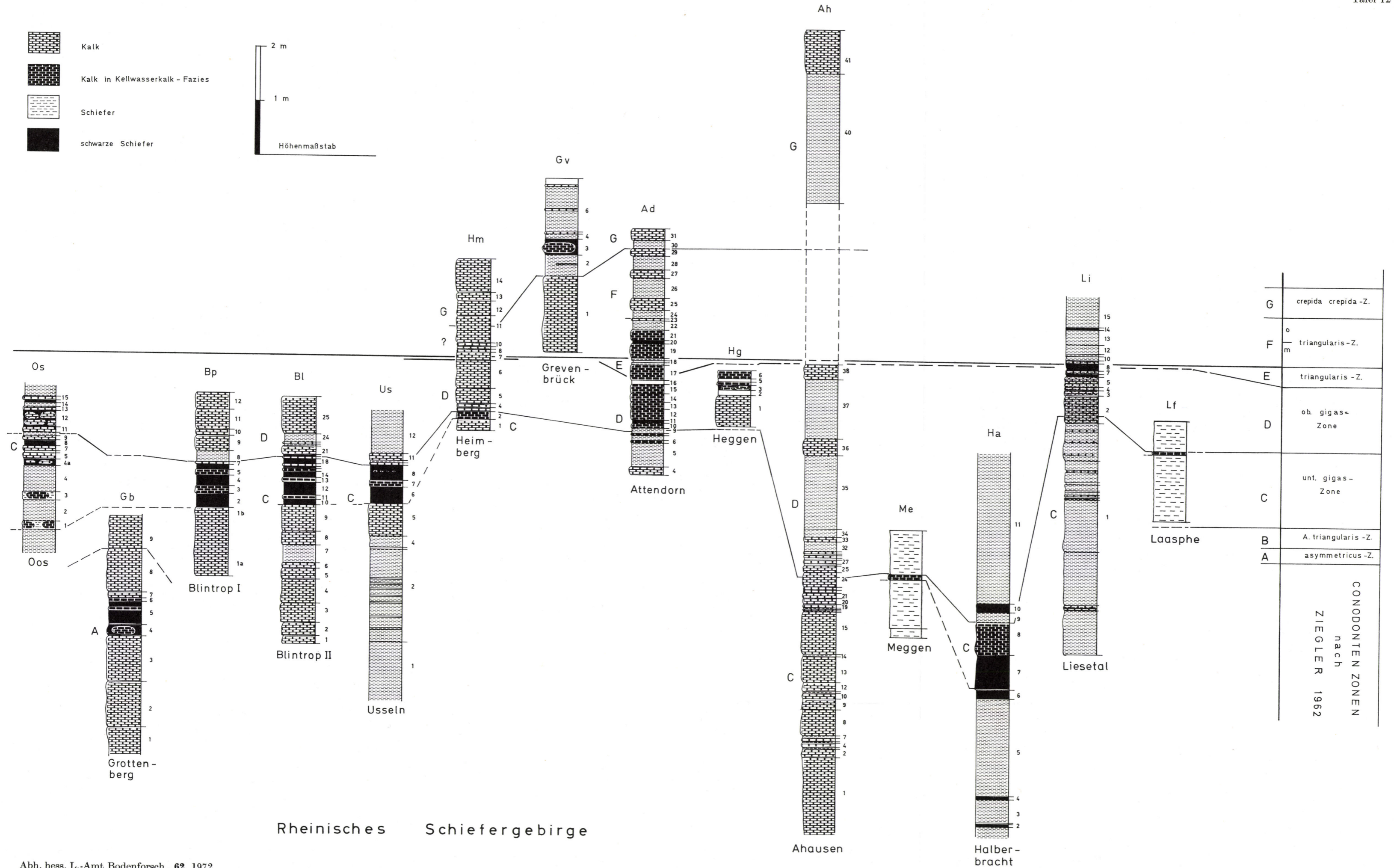


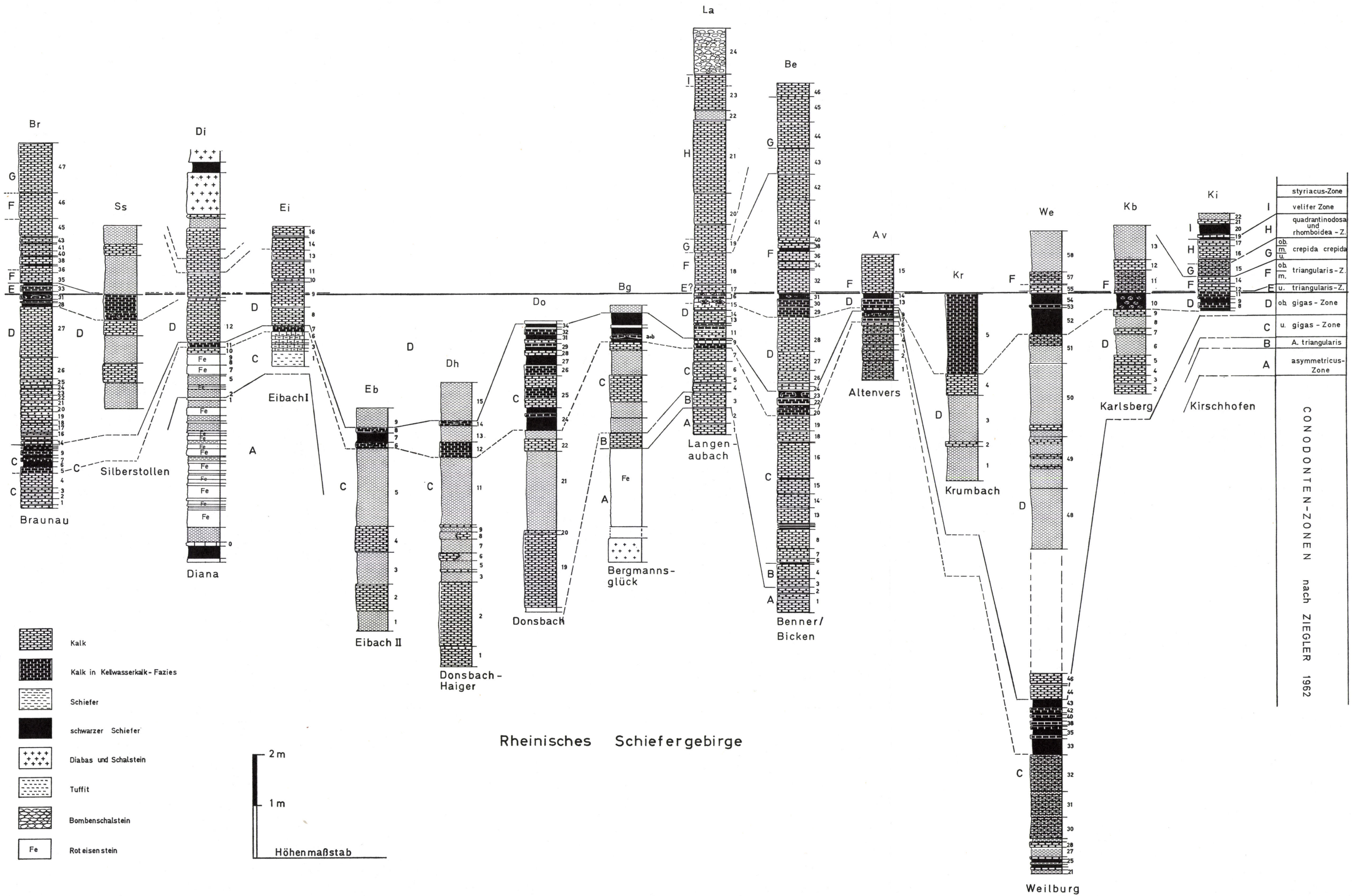
Analysenergebnisse vom Profil Braunau/Ense. Legende für das lithologische Profil s. Taf. 13.



Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 62, 1972







Heft 21: LEHMANN, W. M.: Die Asterozoen in den Dachschiefen des rheinischen Unterdevons. 1957. 160 S., 31 Abb., 55 Taf.	30,— DM
Heft 22: BISCHOFF, G. & ZIEGLER, W.: Die Conodontenchronologie des Mitteldevons und des tiefsten Oberdevons. 1957. 136 S., 16 Abb., 5 Tab., 21 Taf.	20,— DM
Heft 23: ZÖBELEIN, H. K.: Kritische Bemerkungen zur Stratigraphie der Subalpinen Molasse Oberbayerns. 1957. 91 S., 2 Abb.	8,— DM
Heft 24: GUNZERT, G.: Die einheitliche Gliederung des deutschen Buntsandsteins in der südlichen Beckenfazies. 1958. 61 S., 14 Abb., 7 Tab. . .	14,— DM
Heft 25: PAULY, E.: Das Devon der südwestlichen Lahnmulde und ihrer Randgebiete. 1958. 138 S., 41 Abb., 6 Taf.	20,— DM
Heft 26: SPERLING, H.: Geologische Neuaufnahme des östlichen Teiles des Blattes Schaumburg. 1958. 72 S., 14 Abb., 5 Tab., 10 Taf.	10,— DM
Heft 27: JUX, U. & PFLUG, H. D.: Alter und Entstehung der Triasablagerungen und ihrer Erzvorkommen am Rheinischen Schiefergebirge, neue Wirbeltierreste und das Chirotheriumproblem. 1958. 50 S., 11 Abb., 3 Taf.	5,60 DM
Heft 28: SCHMIDT, H.: Die Cornberger Fährten im Rahmen der Vierfüßler-Entwicklung. 1959. 137 S., 57 Abb., 9 Taf.	15,— DM
Heft 29: Beitrag zur Geologie der Mittleren Siegener Schichten. Mit 9 Beiträgen von BAUER, FENCHEL, MÜLLER, PAHL, PAPROTH, PILGER, REICHENBACH, SCHMELOCHER, WENTZLAU. 1960. 363 S., 85 Abb., 10 Tab., 22 Taf.	36,— DM
Heft 30: BURRE, O.: Untersuchungen über die Berechnung der dem Grundwasser von den Niederschlägen zugehenden Wassermengen aus den Bewegungen des Grundwasserspiegels. 1960. 68 S., 1 Abb., 8 Tab., 5 Taf.	8,60 DM
Heft 31: RÖDER, D. H.: Ulmen-Gruppe in sandiger Fazies (Unter-Devon, Rheinisches Schiefergebirge). 1960. 66 S., 4 Abb., 1 Tab., 7 Taf. . . .	8,— DM
Heft 32: ZAKOSEK, H.: Durchlässigkeitsuntersuchungen an Böden unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogleye. 1960. 63 S., 12 Abb., 1 Tab., 2 Taf.	11,— DM
Heft 33: KREBS, W.: Stratigraphie, Vulkanismus und Fazies des Oberdevons zwischen Donsbach und Hirzenhain (Rheinisches Schiefergebirge, Dill-Mulde). 1960. 119 S., 21 Abb., 7 Tab., 11 Taf.	14,80 DM
Heft 34: STOPPEL, D.: Geologie des südlichen Kellerwaldgebirges. 1961. 114 S., 21 Abb., 2 Tab., 4 Taf.	14,— DM
Heft 35: MATTHES, G.: Die Herkunft der Sulfat-Ionen im Grundwasser. 1961. 85 S., 3 Abb., 31 Tab.	7,60 DM
Heft 36: STENGER, B.: Stratigraphische und gefügetektonische Untersuchungen in der metamorphen Taunus-Südrand-Zone (Rheinisches Schiefergebirge). 1961. 68 S., 20 Abb., 4 Tab., 3 Taf.	9,— DM
Heft 37: ZAKOSEK, H.: Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal. 1962. 46 S., 1 Abb., 19 Tab.	6,80 DM
Heft 38: ZIEGLER, W.: Taxionomie und Phylogenie Oberdevonischer Conodonten und ihre stratigraphische Bedeutung. 1962. 166 S., 18 Abb., 11 Tab., 14 Taf.	22,60 DM
Heft 39: MEISCHNER, KL.-D.: Rhenaer Kalk und Posidonienkalk im Kulm des nordöstlichen Rheinischen Schiefergebirges und der Kohlenkalk von Schreufa (Eder). 1962. 47 S., 15 Abb., 2 Tab., 7 Taf.	11,60 DM

Heft 40: HOLTZ, S.: Sporen-stratigraphische Untersuchungen im Oligozän von Hessen. 1962. 46 S., 1 Abb., 6 Taf.	9,— DM
Heft 41: WALLISER, O. H.: Conodonten des Silurs. 1964. 106 S., 10 Abb., 2 Tab., 32 Taf.	12,— DM
Heft 42: KUTSCHER, F.: Register für die Notizblatt-Bände der 5. Folge, Hefte 1—20, erschienen 1916—1939. 1963. 58 S., 1 Taf.	7,60 DM
Heft 43: EINSELE, G.: Über Art und Richtung der Sedimentation im klastischen rheinischen Oberdevon (Famenne). 1963. 60 S., 8 Abb., 7 Tab., 5 Taf.	7,60 DM
Heft 44: JACOBSSHAGEN, E., HUCKRIEDE, R. & JACOBSSHAGEN, V.: Eine Faunenfolge aus dem jungpleistozänen Löß bei Bad Wildungen. 1963. 105 S., 9 Abb., 2 Tab., 14 Taf.	12,— DM
Heft 45: KÜMMERLE, E.: Die Foraminiferen-Fauna des Kasseler Meeressandes (Oberoligozän) im Ahnetal bei Kassel (Bl. Nr. 4622 Kassel-West). 1963. 72 S., 1 Abb., 2 Tab., 11 Taf.	9,40 DM
Heft 46: SCHENK, E.: Die geologischen Erscheinungen der Subfusion des Basaltes. 1964. 31 S., 6 Abb., 2 Tab., 16 Taf.	7,60 DM
Heft 47: HÖLTING, B. & STENDEL-RUTKOWSKI, W.: Beiträge zur Tektonik des nordwestlichen Vorlandes des basaltischen Vogelsberges, insbesondere des Amöneburger Beckens. 1964. 37 S., 2 Taf.	5,60 DM
Heft 48: DIEDERICH, G., LAEMMLEN, M. & VILLWOCK, R.: Das obere Biebental im Nordspessart. Neugliederung des Unteren Buntsandstein, Exkursionsführer und geologische Karte. 1964. 34 S., 2 Abb., 5 Tab., 4 Taf., 1 Kte.	7,20 DM
Heft 49: KUTSCHER, F.: Register für die Notizblatt-Bände der 4. Folge, Hefte 1—35, erschienen 1880—1914. 1965. 56 S., 1 Taf.	6,60 DM
Heft 50: ZAKOSEK, H. u. a.: Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. 1967. 82 S., 1 Abb., 17 Tab., 1 Atlas.	10,— DM
Heft 51: MATTHESS, G.: Zur Geologie des Ölschiefervorkommens von Messel bei Darmstadt. 1966. 87 S., 11 Abb., 10 Tab.	10,— DM
Heft 52: BERG, D. E.: Die Krokodile, insbesondere <i>Asiatosuchus</i> und aff. <i>Sebecus</i> ?, aus dem Eozän von Messel bei Darmstadt/Hessen. 1966. 105 S., 11 Abb., 6 Taf.	11,20 DM
Heft 53: HÖLTING, B.: Die Mineralquellen von Bad Wildungen und Kleinern (Landkreis Waldeck, Hessen). 1968. 59 S., 7 Abb., 9 Tab.	7,— DM
Heft 54: SOLLE, G.: Hederelloidea (Cyclostomata) und einige ctenostome Bryozoen aus dem Rheinischen Devon. 1968. 40 S., 1 Tab., 5 Taf.	5,— DM
Heft 55: SCHNEIDER, J.: Das Ober-Devon des nördlichen Kellerwaldes (Rheinisches Schiefergebirge). 1969. 124 S., 24 Abb., 1 Taf.	15,— DM
Heft 56: HORST-FALKE-Festschrift. Mit Beiträgen von BANK, ENGELS, FÜRST, HEIM, JOSTEN, KONRAD & SCHWAB, KUTSCHER, MACHENS, NEGEN-DANK, REE, REINECK, ROTHAUSEN, THEWS, TOBIEN, WACHSMUTH. 1970. 228 S., 71 Abb., 10 Tab., 23 Taf., 1 Bild	14,— DM
Heft 57: MEISL, S.: Petrologische Studien im Grenzbereich Diagenese-Metamorphose. 1970. 93 S., 70 Abb., 2 Tab.	11,— DM
Heft 58: MATTHESS, G.: Beziehungen zwischen geologischem Bau und Grundwasserbewegung in Festgesteinen. 1970. 105 S., 20 Abb., 18 Tab., 4 Taf.	12,— DM
Heft 59: SOLLE, G.: <i>Brachyspirifer</i> und <i>Paraspirifer</i> im Rheinischen Devon. 1971. 163 S., 1 Diagr., 20 Taf.	30,— DM