

Neuergebnisse aus dem Paläozoikum der Ost- und Südalpen			Redaktion: Hans Peter Schönlaub & Albert Daurer		
Jb. Geol. B.-A.	ISSN 0016-7800	Band 135	Heft 1	S. 299-316	Wien, März 1992

Reflexionsmessungen an Graptolithen im Silur und Unterdevon der Karnischen Alpen (Österreich)

Von GERD RANTITSCH*)

Mit 12 Abbildungen, 2 Tabellen und 2 Tafeln

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 197, 198

Österreich
Karnische Alpen
Metamorphose
Graptolithen-Reflexion
Illit-Kristallinität

Inhalt

Zusammenfassung	299
Abstract	299
1. Einleitung	299
2. Methodik	300
2.1. Proben	301
2.2. Reflexionsmessung	301
2.3. Illit-Kristallinität	301
3. Beschreibung der Graptolithen-Fragmente	301
4. Reflexion der Graptolithen-Fragmente	305
5. Vergleichende Untersuchungen	306
6. Profile	307
7. Schlußfolgerungen	307
Dank	307
Literatur	316

Zusammenfassung

Durch Reflexionsmessungen an Graptolithen und die Bestimmung der Illit-Kristallinität konnte der Metamorphosegrad silurischer bis unterdevonischer Gesteine der Karnischen Alpen südlich von Gundersheim ermittelt werden. Die Maturität der Graptolithen entspricht dem Anthrazit- bis Meta-Anthrazit-Stadium, die Illit-Kristallinität ergibt anchizonale Bedingungen. Der Inkohlungspfad der Graptolithen entspricht dem des Vitrinit.

Reflectance Measurements of Silurian and Lower Devonian Graptolites in the Carnic Alps (Austria)

Abstract

The metamorphic grade of Silurian to Lower Devonian rocks of the Carnic Alps (Austria) has been determined by means of graptolite reflectance and illite crystallinity. Maturity of graptolite fragments corresponds with the anthracitic to meta-anthracitic stage. Illite crystallinity shows anchizonal conditions. Coalification paths of graptolites and vitrinite are similar.

1. Einleitung

Die Metamorphosegeschichte der paläozoischen Gesteine der Karnischen Alpen ist noch weitgehend ungeklärt. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse von Metamorphoseuntersuchungen an silurischen bis unterdevonischen Schieferfolgen (Graptolithenschiefer-

Fazies und Findenig-Mischfazies) der östlichen Karnischen Alpen südlich von Gundersheim (s. Abb. 1) vorgestellt.

Die untersuchten Profile befinden sich in der Rauchkofel-Schuppen-Decke (SCHÖNLAUB, 1985, 1987), die zur oberen schwach metamorphen Deckengruppe der Karnischen Alpen gezählt wird. Einzelne Schuppen der

*) Anschrift des Verfassers: Mag. GERD RANTITSCH, Institut für Geologie und Paläontologie, Karl-Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 26, A-8010 Graz.

Nöbling-Formation (= Findenig-Mischfazies, Llandovery bis Lochkov), der Bischofalm-Formation (= Graptolithenschiefer-Fazies, Llandovery bis Lochkov) und verschiedener Devonkalk (Palkalk, Findenigkalk, Rauchkofelkalk) sind hier in den karbonen Flyschfolgen der Hochwipfelschichten tektonisch eingeschuppt (s. Abb. 1).

In prädevonischen Gesteinen ist die Erfassung der organischen Metamorphose aufgrund des Fehlens von organischem Material der Vitrinit-Gruppe auf Reflexionsmessungen an Zooklasten (Graptolithen, Chitinozoen, Scolecodonten) und auf Auflichtuntersuchungen an Conodonten und Palynomorpha beschränkt.

Seit den späten 70er Jahren werden Reflexionsmessungen am Graptolithen-Periderm zur Bestimmung des Metamorphosegrades feinklastischer und karbonatischer Sedimente herangezogen (TEICHMÜLLER, 1978; CLAUSEN & TEICHMÜLLER, 1982; GOODARZI, 1984, 1985a; GOODARZI & NORFORD, 1985; BERTRAND & HEROUX, 1987; OLIVER, 1988; GOODARZI & GENTZIS, 1990; MALINCONICO, 1990).

Abb. 1. Geographische Lage und geologische Skizze des untersuchten Gebietes.

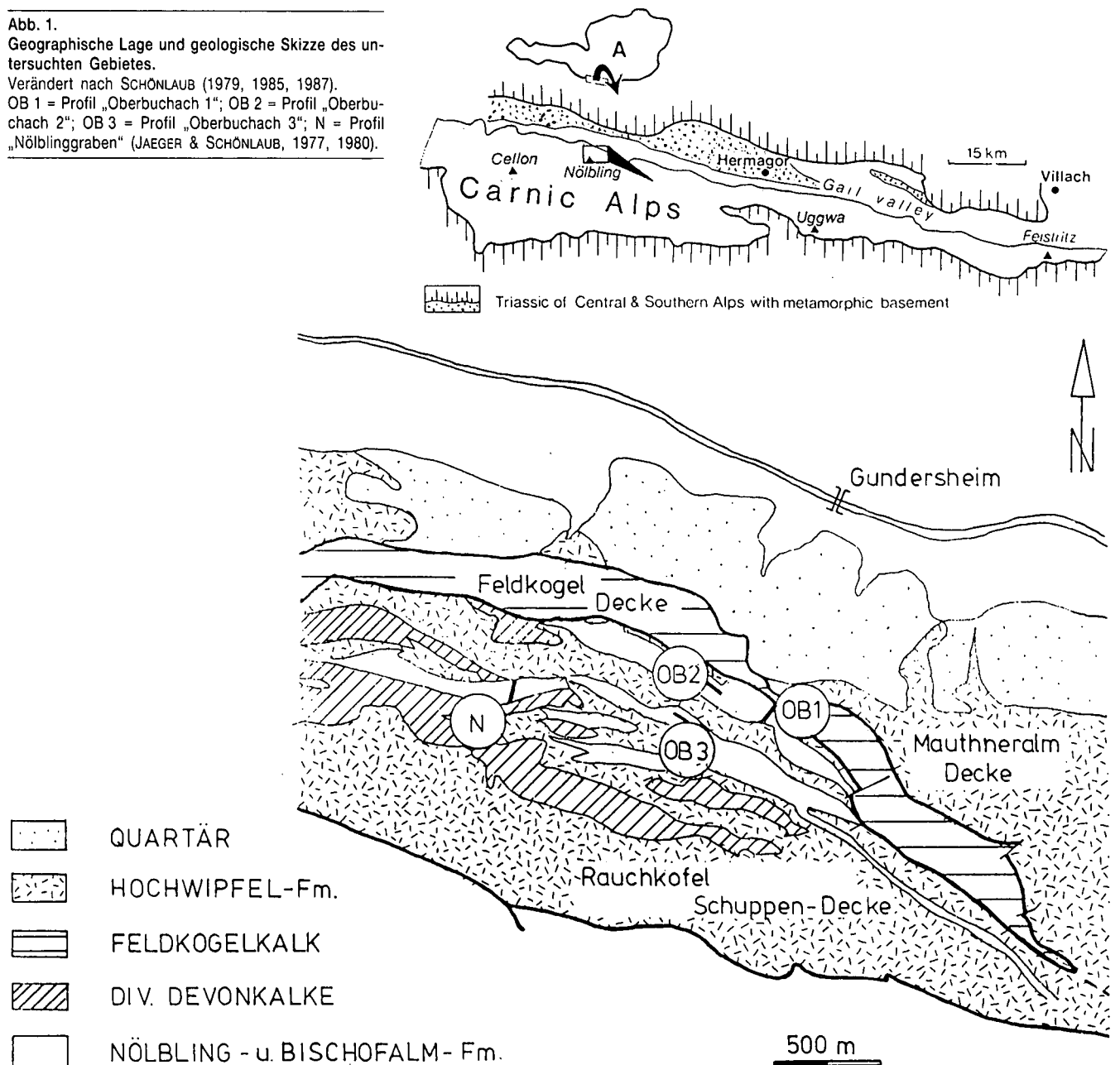
Verändert nach SCHÖNLAUB (1979, 1985, 1987).
 OB 1 = Profil „Oberbuchach 1“; OB 2 = Profil „Oberbuchach 2“; OB 3 = Profil „Oberbuchach 3“; N = Profil „Nöblinggraben“ (JAEGER & SCHÖNLAUB, 1977, 1980).

Die Zunahme des Reflexionsvermögens mit steigendem Diagenese- bzw. Metamorphosegrad gilt als gesichert, der Inkohlungspfad (im Vergleich zum Vitrinit) ist noch nicht genau bekannt.

Ziel dieser Studie war es, die Anwendbarkeit dieser Methode in den Karnischen Alpen zu überprüfen, den Metamorphosegrad silurischer Schiefer zu erfassen, Daten für die Festlegung des Inkohlungspfades der Graptolithen zu liefern und diese mit der Inkohlung des Vitrinit zu vergleichen.

2. Methodik

An 47 Oberflächenproben (vier Profile und 16 Einzelproben aus den Karnischen Alpen, ein Vergleichsprofil aus dem Barrandium) wurde das Reflexionsvermögen der Graptolithenfragmente sowie die Illit-Kristallinität bestimmt.



An Conodonten eines Profiles („Oberbuchach 1“) wurde der CAI (Conodont Alteration Index) erfaßt.

2.1. Proben

Folgende Profile südlich von Gundersheim wurden beprobt (s. Abb. 1, 9–12):

- Profil „Oberbuchach 1“ (JAEGER & SCHÖNLAUB, 1980) mit Gesteinen der Findenig-Mischfazies (Llandovery bis Ludlow; OB 1–9).
- Profil „Oberbuchach 2“ (JAEGER & SCHÖNLAUB, 1980) mit Gesteinen der Findenig-Mischfazies (Lochkov; OB 23–29).
- Profil „Oberbuchach 3“ (JAEGER & SCHÖNLAUB, 1980) mit Gesteinen der Graptolithenschiefer-Fazies (Oberordovic bis Devon, OB 30–35).
- Profil „Nöblinggraben“ (JAEGER & SCHÖNLAUB, 1977) mit Gesteinen der Graptolithenschiefer-Fazies (Llandovery bis Wenlock; N 5–9).

15 Einzelproben (Findenig-Fazies) stammen von Aufschlüssen zwischen diesen Profilen (OB 20–22, OB 40–46, N 3, 4, 10, 11, 12).

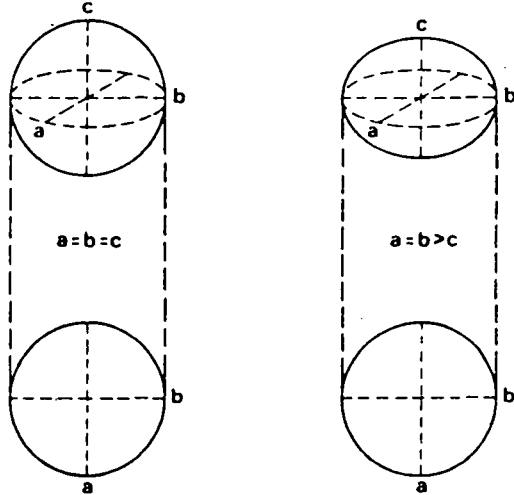
Eine Probe stammt von der Egger Alm südlich von Hermagor (Tonschiefer der Graptolithenschiefer-Fazies aus der höhermetamorphen Eder-Decke, E 8).

Ein Vergleichsprofil aus der Umgebung von Karlstein bei Klucice im Barrandium durchschneidet den Kontakthof eines Diabas-Lagerganges in einer Graptolithenschiefer-Folge des Silur (Liten Group, Llandovery bis Wenlock).

2.2. Reflexionsmessungen

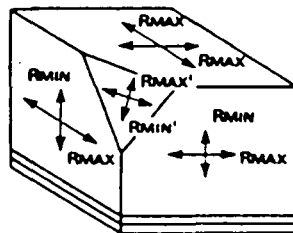
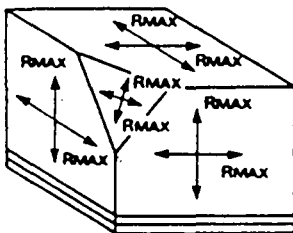
Die Proben wurden parallel und senkrecht zur Schichtung geschnitten und in einem siebenstufigen

SPHÄRISCH OBLATES SPHÄROID



ISOTROP

UNIAXIAL NEGATIV



BIAXIAL

UNIAXIAL POSITIV

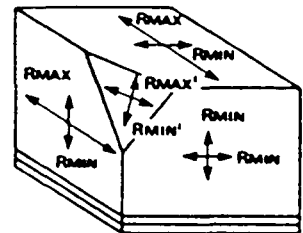
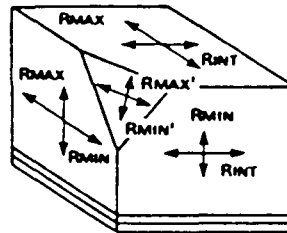


Abb. 2. Darstellung der „Vitrinite Reflectance Indicating Surface“ nach KILBY (1988).

Vorgang poliert. Die Reflexionsmessungen erfolgten mit einem Leitz M.P.V.3 Auflichtmikroskop im monochromatischen (546 nm), polarisierten Licht und einem 125/1.30 Ölimmersions-Objektiv.

Die Inkohlungsstufen wurden nach der ASTM-Klassifikation festgelegt (cf. TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1982).

2.3. Illit-Kristallinität

80 bis 100 g zerkleinerte Probenmenge wurden mit 20 % HCOOH entkarbonatisiert. Daraus wurde (mit dem Atterberg-Verfahren) die Fraktion <2 µm gewonnen. Nach 20 sec. Ultraschallbehandlung wurde die Suspension mit einer Belegdicke von 1 mg/cm² auf ein Glasplättchen aufgebracht und luftgetrocknet.

Die Halbwertsbreite des 10 Å Illit/Muskowit-Peaks (in 2θ) wurde mit einem Siemens-Röntgendiffraktometer D 500 mindestens fünf mal unter folgenden Aufnahmebedingungen gemessen: CuKα-Strahlung, Ni-Filter, 30 kV, 20 mA, Aufnahmegeschwindigkeit 0,6°/min, step size 0.010, count time 1, Aperturblende 1/4°, Detektorblende 0,2°.

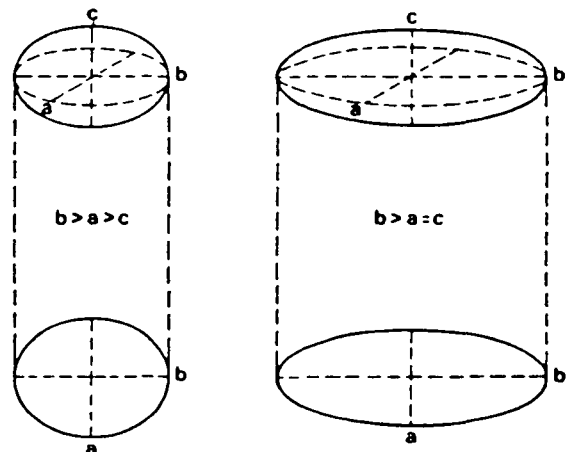
Daraus wurde das, mit dem Standard MF 1046-1 korrigierte, arithmetische Mittel berechnet.

Die Grenzen der Anchizone wurden nach FREY (1986) festgelegt.

3. Beschreibung der Graptolithen-Fragmente

Die meisten Graptolithenfragmente zeigen die typische Feinlamellierung der Cortex, wie sie von TEICH-

OBLATES ELLIPSOID PROLATES ELLIPSOID



MÜLLER (1978) und CLAUSEN & TEICHMÜLLER (1982) beschrieben wurde (s. Taf. 1,2). Häufig ist diese Lamellierung nur andeutungsweise beim Drehen des Mikroskoptisches zu erkennen.

GOODARZI (1984) beschrieb neben der typischen lamellierten auch eine granulare Internstruktur des Graptolithen-Periderm. Diese Struktur konnte ebenfalls beobachtet werden (Taf. 1, Fig. 1), ihr Reflexionsverhalten wurde nicht gemessen.

Das Graptolithen-Rhabdosom ist meist vollständig fragmentiert, größere zusammenhängende Teile sind nur selten zu beobachten (Taf. 1, Fig. 6).

Protheken, gekennzeichnet durch den „gemeinsamen Kanal“ (common canal), sind seltener als Metatheken erhalten. Die Abzweigung einer Metatheke aus der Protheke ist in Taf. 1, Fig. 6 und in Taf 2, Fig. 1 zu erkennen.

Der „gemeinsame Kanal“ ist meist mit feinkörnigem Pyrit gefüllt (Taf. 2, Fig. 3,4).

Die Fragmente sind vereinzelt randlich oxidiert. In karbonatreichen Proben sind gegenüber karbonatarmeren deutlich weniger Fragmente zu erkennen.

Charakteristisch ist die große Bireflexion, sowohl parallel als auch senkrecht zur Schichtung.

In einigen Proben sind in Schnittlagen senkrecht zur Schichtung kreisförmige Querschnitte mit einem Durchmesser von 10 bis 20 μm und einer Dicke von 1 bis 2 μm zu beobachten, die eine deutliche Bireflexion zeigen. Die Reflexion dieser Komponenten ist infolge ihrer geringen Größe nicht zu messen. Es könnte sich hier um Querschnitte durch Graptolithen oder um Chitinozooenreste handeln, wie sie von GOODARZI (1985b) beschrieben wurden.

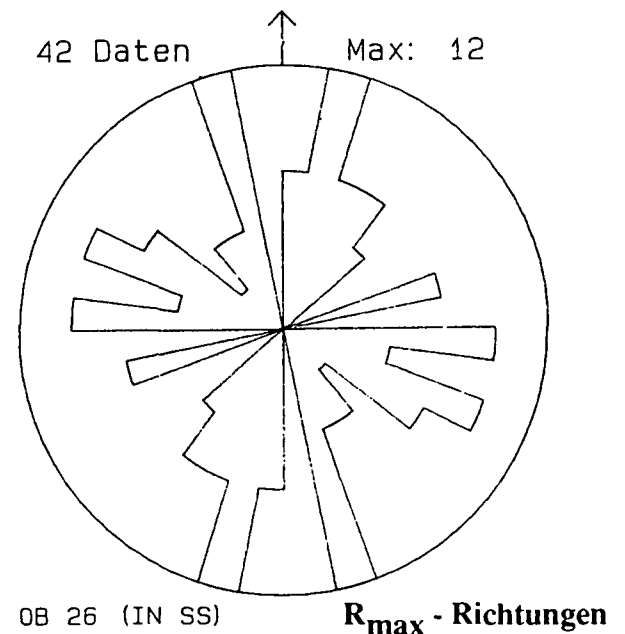
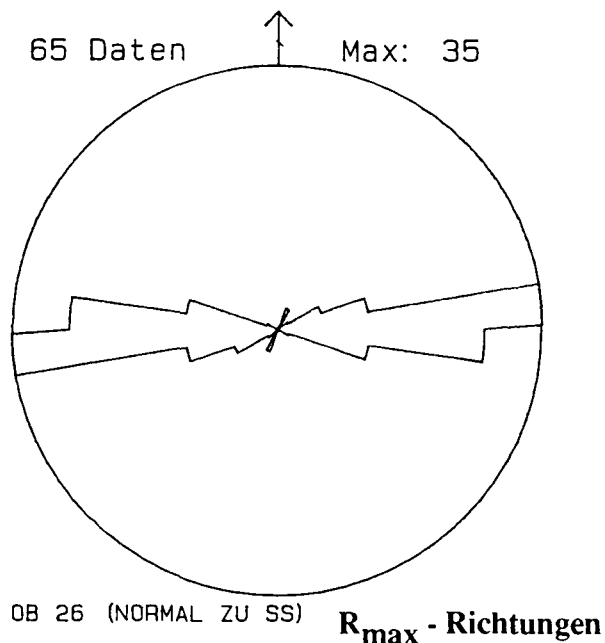
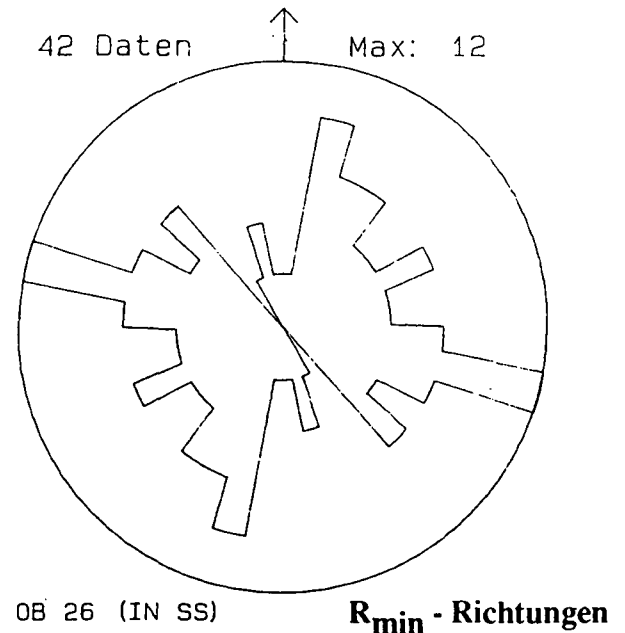
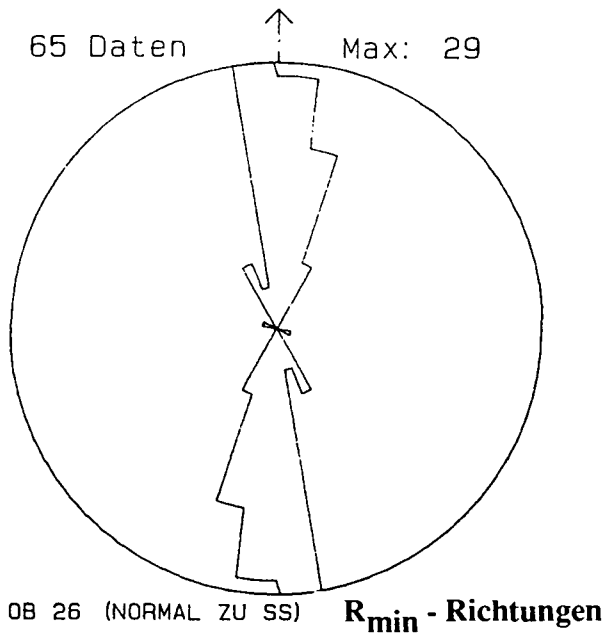


Abb. 3. Winkelverhältnisse der Auslöschungs- und Aufhellungsrichtungen an der Probe OB 26.

Tabelle 1.
Grapptolithen-Reflexionsdaten und Illit-Kristallinität der untersuchten Proben.

NR	parallel ss			senkrecht ss			IK				
	R _{max} ' s	R _{min} ' s	N	R _{max} ' s	R _{min} ' s	N					
OB 1:											
OB 1	4,60	0,91	4,05	0,76	71	5,12	1,08	2,37	0,81	148	0,37
OB 2											0,35
OB 3	6,05	0,55	4,63	0,65	141	6,83	0,72	4,34	0,99	48	
OB 4											0,35
OB 5	6,25	0,53	5,29	0,63	77	6,12	0,57	4,89	0,77	19	0,34
OB 6	6,46	0,54	5,36	0,58	116	6,39	0,75	4,80	0,92	60	0,33
OB 7	6,83	1,01	4,42	1,53	108	6,77	0,74	4,21	0,99	52	0,29
OB 8	7,56	1,30	5,83	1,07	12	5,98	0,56	3,24	1,02	49	0,29
OB 9	8,15	0,65	6,97	1,16	35	7,76	0,80	3,47	0,66	19	0,33
OB 2:											
OB 29	5,03	0,56	4,15	0,61	82	4,45	0,84	3,35	0,69	66	0,38
OB 23	5,72	0,43	5,03	0,58	72	5,80	0,66	4,17	0,93	89	0,30
OB 25	5,51	0,27	5,02	0,41	6	5,36	0,55	4,43	0,64	3	0,23
OB 24	5,57	0,32	5,02	0,33	26	5,75	0,62	4,11	0,95	52	0,26
OB 26	6,18	0,61	5,33	0,56	42	5,95	0,69	3,87	1,01	65	0,24
OB 27	5,61	0,46	4,67	0,66	34	5,30	0,69	3,37	0,96	48	0,26
OB 28	5,95	0,51	5,14	0,46	83	5,60	0,34	4,90	0,47	80	
OB 3:											
OB 30											0,39
OB 31											0,48
OB 32											0,38
OB 33						4,99	0,33	4,18	0,51	13	0,43
OB 34	5,40	0,31	4,65	0,55	38	5,41	0,41	4,11	0,77	41	0,37
OB 35											0,35
N:											
N 9						6,52	0,72	3,71	0,84	44	0,42

NR	parallel ss			senkrecht ss			IK				
	R _{max} ' s	R _{min} ' s	N	R _{max} ' s	R _{min} ' s	N					
N:											
N 8	7,03	0,87	6,04	1,06	100	6,29	0,81	3,42	0,97	150	0,27
N 7	6,45	0,62	5,63	0,50	52	6,38	0,74	4,25	0,98	36	
N 6	5,85	0,37	5,27	0,50	60	5,94	0,49	4,82	0,66	78	0,32
N 5	5,95	0,64	5,37	0,63	50	5,96	0,63	4,49	0,90	70	0,22
B:											
B 194	2,90	0,17	2,69	0,17	55	2,79	0,25	2,10	0,24	45	0,66
B 192	3,10	0,23	2,51	0,27	53	2,88	0,30	2,17	0,35	32	
B 191	3,70	0,32	2,83	0,38	23	3,41	0,25	1,58	0,20	27	
B 193	4,18	0,30	3,31	0,54	43	4,22	0,31	1,57	0,34	9	0,49
OB 20											0,29
OB 21											0,56
OB 22	7,54	0,70	6,11	1,02	48	7,30	0,65	3,47	0,72	137	0,35
OB 40	5,74	0,60	4,88	0,63	62	5,09	0,61	3,56	0,71	82	0,47
OB 41	5,87	0,49	5,32	0,50	60	5,57	0,53	4,00	0,72	81	0,42
OB 42	5,87	0,56	5,14	0,61	75	5,31	0,56	3,20	0,68	154	0,48
OB 43	5,60	0,46	4,63	0,53	80	5,36	0,38	4,07	0,62	100	0,32
OB 44	6,31	0,82	4,99	0,81	36	6,19	0,68	3,50	1,12	80	0,24
OB 45	6,25	0,54	5,22	0,51	74	6,27	0,71	4,93	0,89	100	0,31
OB 46	6,86	0,84	5,55	0,81	57	6,17	0,79	3,65	1,08	62	0,33
N 3	6,95	1,05	5,19	1,10	19	5,76	0,49	4,61	0,63	80	0,43
N 4	5,90	0,49	4,92	0,58	46	5,88	0,60	4,55	0,74	29	
N 10	6,81	0,72	6,00	0,81	100	6,44	0,82	3,41	1,03	136	0,39
N 11	6,18	0,58	5,36	0,60	48	5,93	0,49	4,06	0,74	63	0,32
N 12	7,79	0,71	6,87	0,79	70	7,16	0,72	3,82	0,78	80	0,36
E 8	10,02	0,56	6,95	2,84	43	7,72	1,71	2,05	0,57	6	0,18

s
N
IK

Probennummer
maximale Reflexion in %
minimale Reflexion in %

Standardabweichung
Anzahl der Meßwerte
Illit-Kristallinität in % 2 e

Tabelle 2.
Achsenabschnitte, Bireflexion und Achsenverhältnisse der optischen Indikatritz (aus Tab. 1 interpretiert).

NR	R _{max}	R _{int}	R _{min}	R _{mean}	BIREFL	IND	A	B
N 8	7,0	6,0	3,4	5,5	3,6	B-		
N 10	6,8	6,0	3,4	5,4	3,4	B-		
N 11	6,2	5,4	4,1	5,2	2,1	B-		
N 12	7,8	6,9	3,8	6,2	4,0	B-		
B 191	3,7	2,8	1,6	2,7	2,1	B-	1,32	1,75
B 192	3,1	2,5	2,2	2,6	0,9	B+	1,24	1,14
B 193	4,2	3,3	1,6	3,0	2,6	B-	1,27	2,06
B 194	2,9	2,7	2,1	2,6	0,8	B-	1,07	1,29
E 8	10,0	7,0	2,0	6,3	8,0	B-		

NR
R_{max}
R_{int}
R_{min}
R_{mean}
BIREFL
IND
B-
B+
A
B

Probennummer
maximale Reflexion in %
intermediäre Reflexion in %
minimale Reflexion in %
(R_{max} + R_{int} + R_{min})/3
Bireflexion (R_{max} - R_{min})
Optische Indikatritz
Biaxial negativ
Biaxial positiv
Biaxial neutral
R_{max}/R_{int}
R_{int}/R_{min}

NR	R _{max}	R _{int}	R _{min}	R _{mean}	BIREFL	IND	A	B
OB 1	5,1	4,0	2,4	3,8	2,7	B-	1,28	1,67
OB 5	6,3	5,3	4,9	5,5	1,4	B+		
OB 6	6,5	5,4	4,8	5,6	1,7	B+		
OB 7	6,8	4,4	4,2	5,1	2,6	B+		
OB 8	7,6	5,9	3,2	5,6	4,4	B-		
OB 9	8,2	7,0	3,5	6,2	4,7	B-		
OB 22	7,5	6,1	3,5	5,7	4,0	B+		
OB 23	5,8	5,0	4,2	5,0	1,6	B-	1,16	1,19
OB 24	5,6	5,0	4,4	5,0	1,2	B-	1,12	1,14
OB 25	5,5	5,0	4,4	5,0	1,1	B-	1,10	1,14
OB 26	6,2	5,3	3,9	5,1	2,3	B-		
OB 27	5,6	4,7	3,4	4,6	2,2	B-	1,19	1,38
OB 28	6,0	5,1	4,9	5,3	1,1	B+	1,18	1,04
OB 29	5,0	4,2	3,4	4,2	1,6	B-	1,19	1,24
OB 34	5,4	4,7	4,1	4,7	1,3	B	1,15	1,15
OB 40	5,7	4,9	3,6	4,7	2,1	B-	1,16	1,36
OB 41	5,9	5,3	4,0	5,1	1,9	B-	1,11	1,33
OB 42	5,9	5,1	3,2	4,7	2,7	B-	1,16	1,59
OB 43	5,6	4,6	4,1	4,8	1,5	B+	1,22	1,12
OB 44	6,3	5,0	3,5	4,9	1,8	B-		
OB 45	6,3	5,2	4,9	5,5	1,4	B+		
OB 46	6,9	5,6	3,7	5,4	3,2	B-		
N 3	7,0	5,2	4,6	5,6	2,4	B+		
N 4	5,9	4,9	4,6	5,1	1,3	B+	1,20	1,07
N 5	6,0	5,4	4,5	5,3	1,5	B-	1,11	1,20
N 6	5,9	5,3	4,8	5,3	1,1	B+	1,11	1,10
N 7	6,5	5,6	4,3	5,5	2,2	B-		

4. Reflexion der Graptolithen-Fragmente

An jedem Fragment wurde an einer möglichst homogenen Stelle die maximale und die minimale Reflexion gemessen.

Das Reflexionsvermögen der Graptolithen-Fragmente wurde für jede Probe parallel und senkrecht zur Schichtung ermittelt. Für jeden Schnitt ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel der einzelnen Reflexionswerte eine „scheinbare maximale Reflexion“ (R_{max}') und eine „scheinbare minimale Reflexion“ (R_{min}') (Tab. 1).

An einigen Proben wurden zusätzlich die Auslöschungs- und Aufhellungs-Richtungen gemessen.

Das Reflexionsverhalten der Graptolithen wird im folgenden mit dem des Vitrinit verglichen:

Vitrinit besitzt im Allgemeinen eine optisch uniaxial negative Indikatrix („Vitrinite Reflectance Indicating Surface“). Bei einer starken tektonischen Beeinflussung des Inkohlungsprozesses kann sich eine biaxiale oder uniaxial positive Indikatrix entwickeln (STONE & COOK, 1979; LEVINE & DAVIS, 1984, 1989a,b; KILBY, 1988). Hier ergeben sich für Schnittlagen parallel und senkrecht zur Schichtung unterschiedliche Möglichkeiten, die jeweils gemessenen Reflexionswerte (R_{max}' und R_{min}') als Achsabschnitte einer optischen Indikatrix zu interpretieren (s. Abb. 2).

Um das biaxiale Reflexionsverhalten der Graptolithenfragmente, das sich aus der Überlagerung einer primären Biaxialität mit einer tektonisch bedingten Biaxialität ergibt, besser zu beschreiben, wurde versucht, auch für diese eine derartige Indikatrix zu konstruieren:

Aus den Messungen der Aufhellungs- und Auslöschungsrichtungen ergibt sich für die Graptolithenfragmente in Schnitten senkrecht zur Schichtung eine durchwegs vertikale Position der R_{min}' -Achsen, die R_{max}' -Achsen liegen parallel zur Schichtfläche.

Parallel zur Schichtung zeigen hingegen die Richtungen der optischen Achsen eine große Streuung (Abb. 3 zeigt ein typisches Beispiel).

Das Reflexionsmodell des Vitrinit läßt sich nun auf diese Verhältnisse übertragen:

Aus Abb. 2 ergibt sich für den biaxialen Fall, daß die „wahre maximale Reflexion“ (R_{max}) in Schnitten parallel zur Schichtung ermittelt werden kann, die „wahre minimale Reflexion“ (R_{min}) in Schnitten senkrecht zur Schichtung. Der dritte Achsabschnitt der Indikatrix, die „intermediäre Reflexion“ (R_{int}) ist in Schnitten parallel zur Schichtung anzutreffen.

Von diesem Modell ausgehend wurden aus den Reflexionswerten der beiden Schnittlagen die „wahren Achsabschnitte“ R_{max} , R_{int} , R_{min} der optischen Indikatrix interpretiert (Tab. 2).

Für die 37 Proben, bei denen R_{max}' und R_{min}' in beiden Schnittlagen meßbar waren, ergibt sich für 24 Proben eine optisch biaxial negative Indikatrix (R_{int} näher bei R_{max}), 11 Proben wurden als optisch biaxial positiv (R_{int} näher bei R_{min}) interpretiert, eine Probe (OB 34) liegt biaxial neutral vor (R_{int} genau zwischen R_{max} und R_{min}). Eine Probe (OB 3) kann mit diesem Modell nicht erklärt werden (s. Tab 2).

In den untersuchten Proben wurde die „wahre maximale Reflexion“ (R_{max}) im Allgemeinen parallel zur Schichtung angetroffen. Durch die teilweise große Streuung der Meßwerte wurde bei einigen Proben der höchste Wert (R_{max}) senkrecht zur Schichtung gemessen, die Differenzen zum R_{max}' -Wert parallel zur

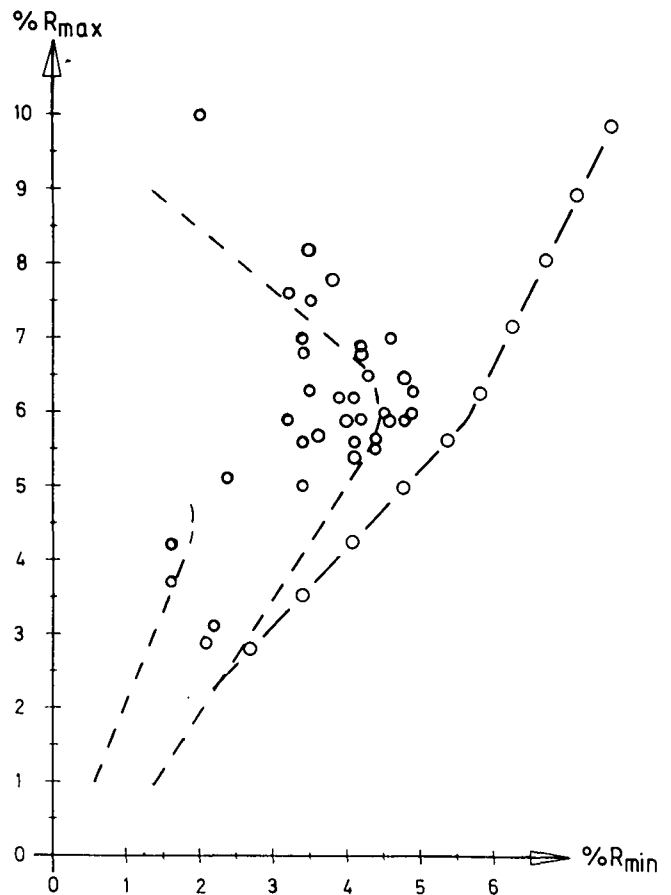


Abb. 4.
 R_{max}/R_{min} -Beziehung für die gemessenen Proben (Kreise), für Vitrinit (strichliert, nach TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1982) und für Graptolithen (strichpunktiert) nach GOODARZI & NORFORD (1985).

Schichtung liegen dabei aber immer innerhalb der jeweiligen Standardabweichung. Die „wahre minimale Reflexion“ (R_{min}) wurde in allen Fällen senkrecht zur Schichtung gemessen (Tab. 1,2).

Der Inkohlungsprozeß des Vitrinit wird in einem R_{max}/R_{min} -Diagramm dargestellt:

Bis zu einer Reflexion von 6 % R_{max} steigen die R_{min} -Werte kontinuierlich an. Nach einem Streubereich der Reflexionswerte im Meta-Anthrazit-Stadium fallen die R_{min} -Werte bei fortschreitender Inkohlung durch die beginnende Graphitisierung stark ab (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1982, s. Abb. 4).

GOODARZI & NORFORD (1985) zeichnen für die Graptolithen-Inkohlung eine linear ansteigende R_{min} - R_{max} -Beziehung (s. Abb. 4), wobei hier aber nur Messungen in der Schichtfläche berücksichtigt wurden.

BERTRAND & HEROUX (1987) fanden im Bereich von 1–2 % R_0 (Zufallsmessungen im nichtpolarisierten Licht an Körnerpräparaten) einen subparallelen, 0,4 bis 0,8 % höheren Verlauf der R_{min} - R_{max} -Kurve für Graptolithen im Vergleich zum Vitrinit.

Die R_{max} - R_{min} -Beziehung der hier gemessenen Graptolithen-Fragmente zeigt einen ähnlichen Verlauf wie der des Vitrinit. Der Rückgang der R_{min} -Werte ab einem R_{max} -Wert von 6 % ist dabei besonders auffällig (s. Abb. 4).

Dies wird auch deutlich, wenn man die einzelnen Reflexionswerte gegen die mittlere Reflexion ($R_{mean} = (R_{max} + R_{int} + R_{min})/3$) aufträgt (s. Abb. 5), oder die Beziehung R_{max} – Bireflexion ($R_{max} - R_{min}$) betrachtet (s. Abb. 6).

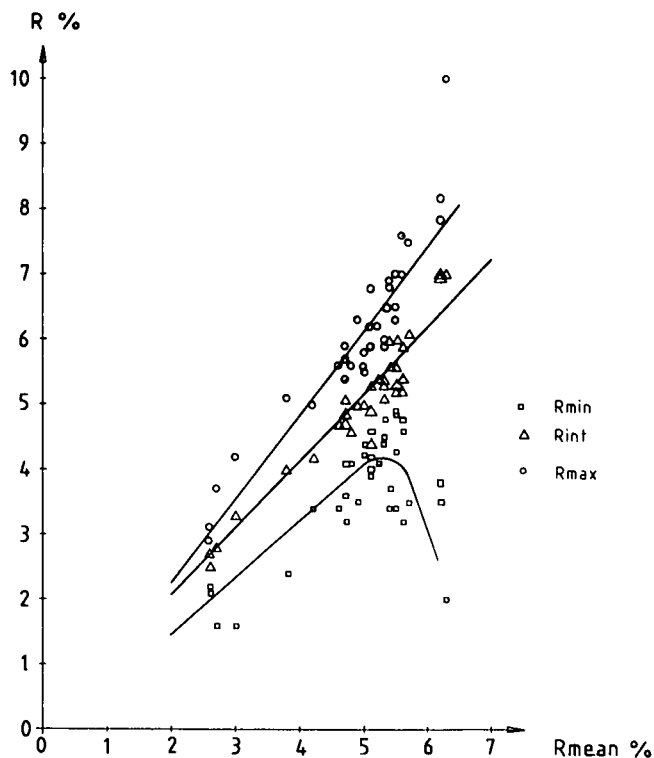


Abb. 5. Darstellung der Reflexionswerte (R_{max} , R_{int} , R_{min}) in Beziehung zu der mittleren Reflexion ($R_{mean} = (R_{max} + R_{int} + R_{min})/3$). Der Korrelationskoeffizient der Korrelationsgerade der R_{max} -Werte beträgt 0,90, für die R_{int} -Werte 0,96.

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, daß die Inkohlung der Graptolithen mit der Inkohlung des Vitrinites parallelisiert werden kann.

Betrag und Richtung der Indikatrix-Hauptachsen optisch biaxialer Vitrinite können zur Klärung tektonischer Fragestellungen herangezogen werden (STONE & COOK, 1979; LEVINE & DAVIS, 1984; SALIH & LISLE, 1988; KILBY, 1988, LEVINE & DAVIS, 1989a,b).

Dabei erweist sich die Darstellung der Achsabschnitte in Form eines „Axial Ratio Diagram“ (Achsenverhältnis-

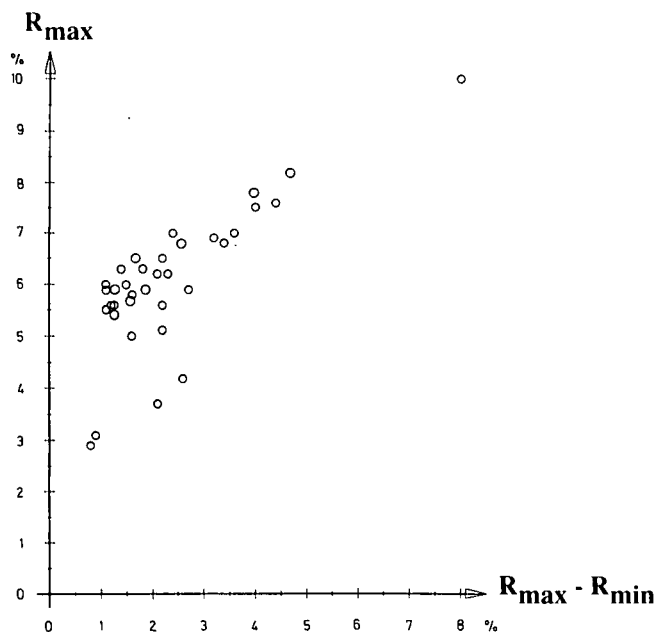


Abb. 6. Beziehung R_{max} /Bireflexion ($R_{max} - R_{min}$).

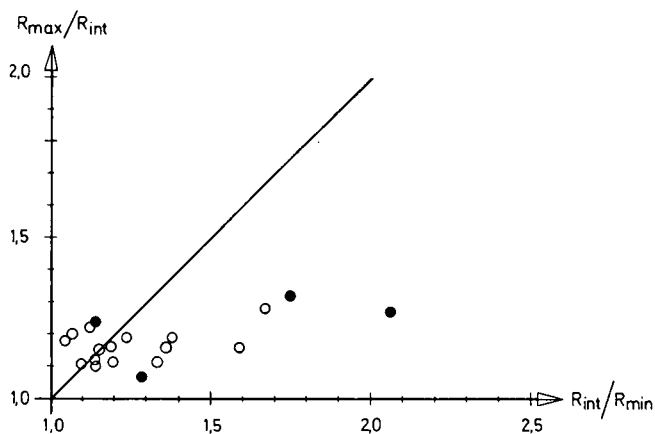


Abb. 7. Achsenverhältnis-Diagramm der untersuchten Proben. Die Proben aus dem Barrandium sind als volle Kreise dargestellt. Die Proben mit $R_{max} > 6\%$ wurden für diese Darstellung vernachlässigt, da R_{min} ab 6% R_{max} wieder abnimmt.

nis-Diagramm), welches ähnlich wie ein Flinn-Diagramm (cf. RAMSEY & HUBER, 1983) aufgebaut ist, als besonders brauchbar.

Die meisten hier gemessenen Achsenverhältnisse plotten im oblaten Feld (s. Abb. 7). Dadurch kann auf eine Inkohlung bei nur geringer tektonischer Beeinflussung des Inkohlungsprozesses geschlossen werden.

Mit zunehmender Inkohlung vergrößert sich die Distanz zum Ursprung des „Achsenverhältnis-Diagrammes“, d.h. die Gestalt der optischen Indikatrix ändert sich kontinuierlich mit zunehmendem Inkohlungsgrad. Dies ist an den Werten für die Proben aus dem Barrandium (ausgefüllte Kreise in Abb. 7) gut ablesbar: Je größer die maximale Reflexion, desto größer ist die Entfernung des Punktes zum Ursprung des Diagrammes. Da die meisten Proben der Karnischen Alpen im Streubereich am Übergang Anthrazit-Metaanthrazit liegen, ist diese Beziehung hier nur als genereller Trend gültig.

5. Vergleichende Untersuchungen

Die Illit-Kristallinität ergibt für die untersuchten Gesteine im Bereich Gundersheim durchwegs anchizonale Bedingungen. Die Proben aus dem Barrandium ergeben diagenetische Bedingungen (s. Tab. 1, Abb. 7).

Die direkte Korrelation zwischen Illit-Kristallinität und maximaler Reflexion der Graptolithen ist nur bedingt möglich.

Der Vergleich zeigt, daß die Illit-Kristallinität einen Metamorphosegrad anzeigt der gegenüber der Graptolithen-Reflexion zurückliegt (bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,59). Im Bereich der oberen Anchizone streuen die Werte erheblich (s. Abb. 8).

Mit beiden Methoden sind jedoch anchizonale Bedingungen erkennbar (s. Abb. 8).

Innerhalb der Profile zeichnen sich bei beiden Methoden die gleichen Metamorphose-Trends ab.

Die Conodonten des Profils „Oberbuchach 1“ ergeben einen CAI (Conodont Alteration Index) von 5 (nach EPSTEIN et al., 1975; REJEBIAN et al., 1987).

KOVACS & ARKAI (1989) korrelieren den CAI 5 mit Vitrinit- R_{max} -Werten von 3,4 % bis 6,0 % (Anthrazit-Sta-

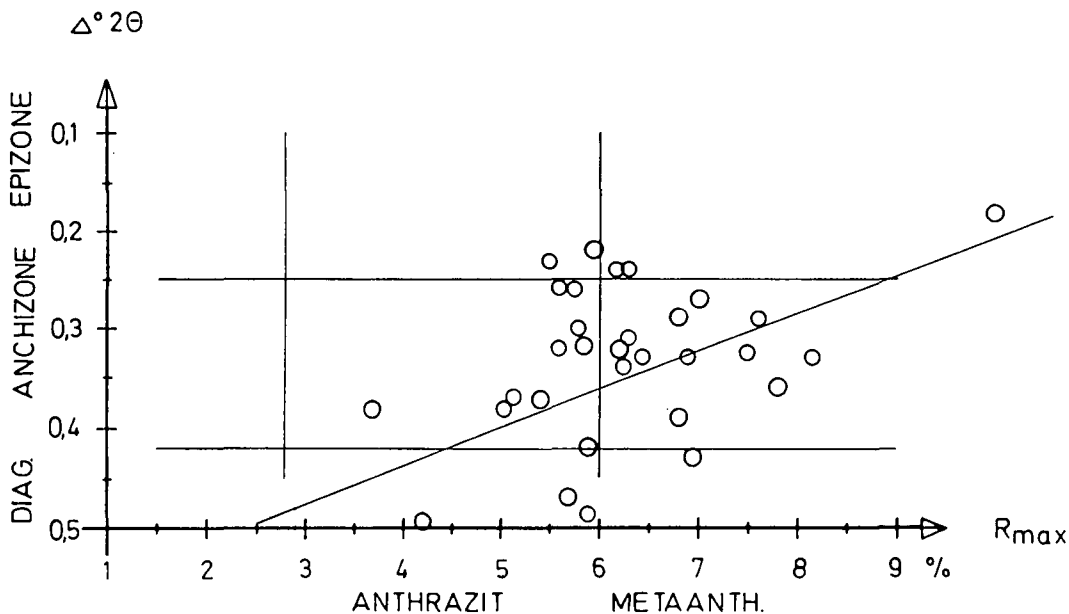


Abb. 8.
Beziehung Illit-Kristallinität
- maximale Graptolithen-
Reflexion.
Der Korrelationskoeffizient
der Korrelationsgerade be-
trägt 0,59.

dium) und stellen ihn in die mittlere Anchizone bei einer Temperatur von ca. 350°C (und ca. 2,5 kbar).

$^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -Datierungen detritischer Muskowite der ordozischen Bischofalm-Quarzite aus dem Gebiet des Zollner-Sees (1 km südlich des Arbeitsgebietes) ergeben cadomische Alter (600 bis 620 Ma), die zu variszischer Zeit geringfügig thermal beeinflusst wurden (DALLMEYER & NEUBAUER, in Vorb.). Demnach kann die maximale Temperatur der variszischen Metamorphose in diesem Gebiet 300°C bis 350°C nicht überschritten haben.

6. Profile

Aus den Profilen „Oberbuchach 1“ und „Oberbuchach 2“ (Abb. 9,10) ist eine Zunahme von R_{max} in das Hangende festzustellen, im Profil „Nöblinggraben“ ist kein sicherer Trend zu erkennen (Abb. 11). Im Profil „Oberbuchach 3“ ist aufgrund fehlender Werte kein Trend ablesbar.

Eine Probe aus der höhermetamorphen Deckengruppe (E 8) zeigt die Reflexionswerte des beginnenden Graphit-Stadiums (s. Tab. 1,2).

Graptolithenschieferprofil bei Klucice im Barrandium (Liten Group, Llandovery bis Wenlock)

Die Auswirkung einer Erwärmung auf die Graptolithen-Reflexion ist im Profil des Kontakthofes eines Diabas-Lagerganges in silurischen Graptolithenschiefen deutlich erkennbar. Hier springt R_{max} innerhalb von 1,40 m von 2,9 % auf 4,2 % direkt am Kontakt (Abb. 12).

Im Kontaktbereich vulkanischer Gesteine entspricht eine Vitrinitreflexion von 4 % R_{max} einer Temperatur von ca. 500°C (BOSTICK, 1973; HORVATH et al., 1986). Da gezeigt werden konnte, daß das Reflexionsverhalten der Graptolithen dem des Vitrinites entspricht, läßt sich die Temperatur im Liegenden des Diabas-Ganges mit ca. 500°C abschätzen.

7. Schlußfolgerungen

Die Messung der Graptolithen-Reflexion kann zur Bestimmung des Metamorphosegrades in den altpaläozoischen Schiefen der Karnischen Alpen herangezogen werden, wobei das Inkohlungsverhalten der Graptolithen dem der Vitrinite entspricht.

Um das Reflexionsverhalten der Graptolithen-Fragmente vollständig zu beschreiben sind zwei Schnittlagen (normal und parallel zur Schichtung) erforderlich, wobei die maximale Reflexion in der Schichtfläche und die minimale Reflexion senkrecht dazu meßbar ist.

In den silurischen bis unterdevonischen, anchimeta-morphen Schiefen (Findenig-Mischfazies und Graptolithenschiefer-Fazies) der Profile „Oberbuchach 1 bis 3“ und „Nöblinggraben“ konnten Graptolithen im Anthrazit- bis Meta-Anthrazit-Stadium aufgefunden werden.

Die Inkohlung der Graptolithen-Fragmente erfolgte unter geringer tektonischer Beeinflussung, bei einer Temperatur, die 300°C bis 350°C nicht überschritt.

Aus der räumlichen Verteilung der Reflexionswerte und der Illit-Kristallinität ist im untersuchten Gebiet ein regionaler Trend ersichtlich:

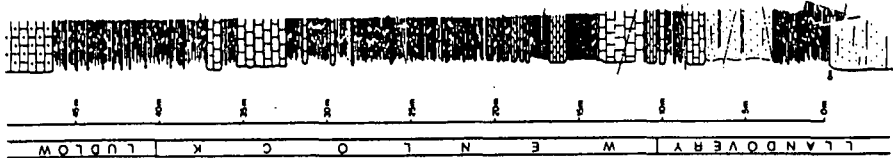
Die maximale Graptolithen-Reflexion nimmt von ca. 7 % (Probe OB 46 an der Grenze Feldkogeldecke/Rauchkofel-Schuppen-Decke) auf 5,4 % (Probe OB 34 auf der Gundersheimer Alm) von Norden nach Süden ab. Die Illit-Kristallinität zeichnet diesen Trend ebenfalls nach.

Neben diesem regionalen Trend konnte bei zwei Profilen (Oberbuchach 1 und 2) eine Zunahme des Metamorphosegrades in das Hangende festgestellt werden.

Diese Arbeit stellt erste Ergebnisse einer großräumigen Untersuchung über die Metamorphose der Karnischen Alpen vor. Anhand weiterer Profile soll die Metamorphosegeschichte der Karnischen Alpen genauer untersucht werden.

Dank

Für wertvolle Ratschläge und Hilfe bei der Gelände- und Laborarbeit danke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. A. FENNINGER, Herrn Doz. Dr. H.P. SCHÖNLAUB, Frau B. RUSSEGER und Herrn Ch. HASENHÜTTL. Der Geologischen Bundesanstalt, Wien danke ich für die finanzielle Unterstützung der Geländearbeit.



GRAPTOLITHEN-REFLEXION

ILLIT-KRISTALLINITÄT

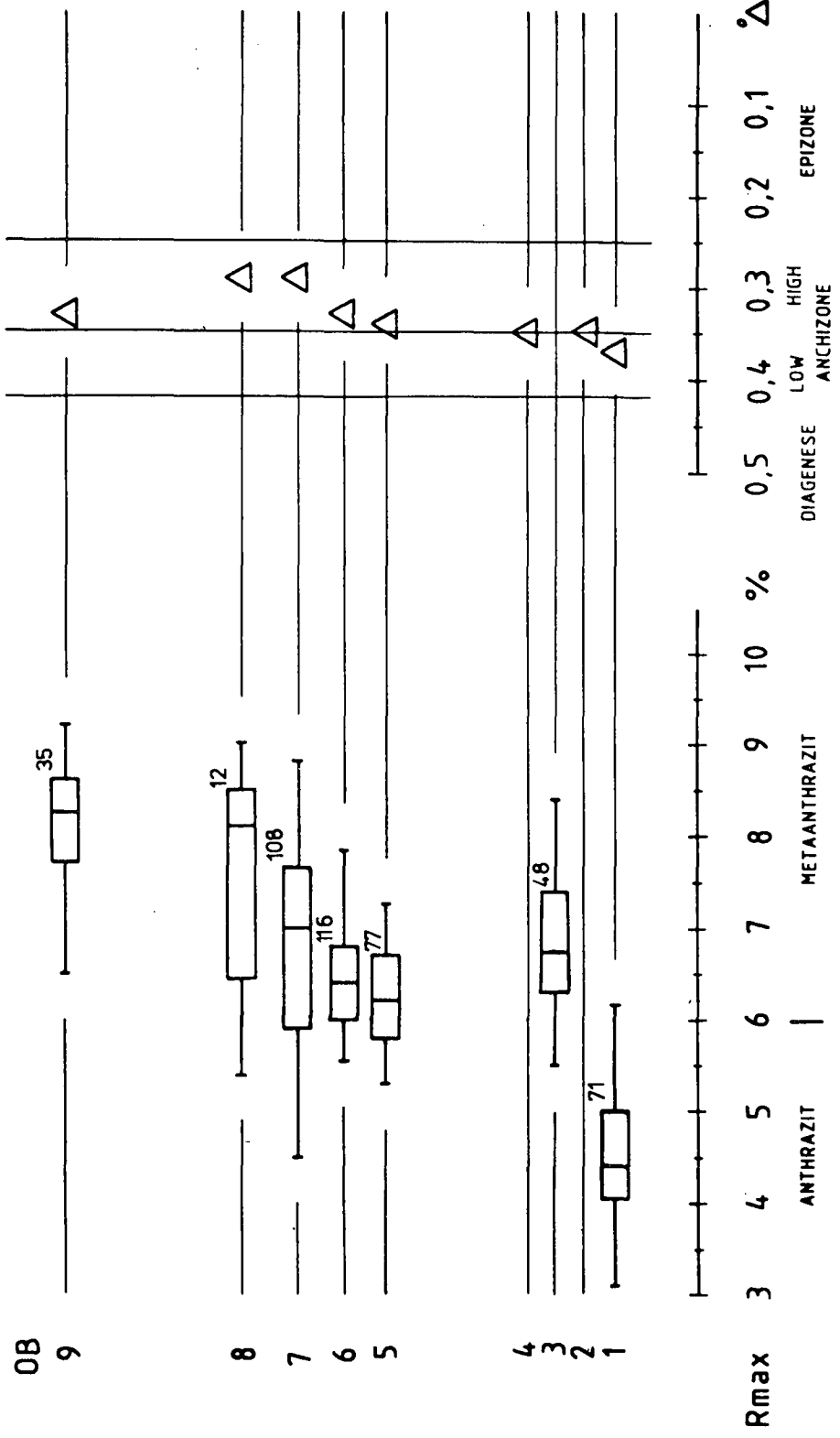


Abb. 9. Profil „Oberbuchach 1“ (JAEGER & SCHÖNLAUB, 1980) mit Graptolithen-Reflexion und Illit-Kristallinität. Die Zahlen über den Boxplots geben die Anzahl der Meßwerte an.

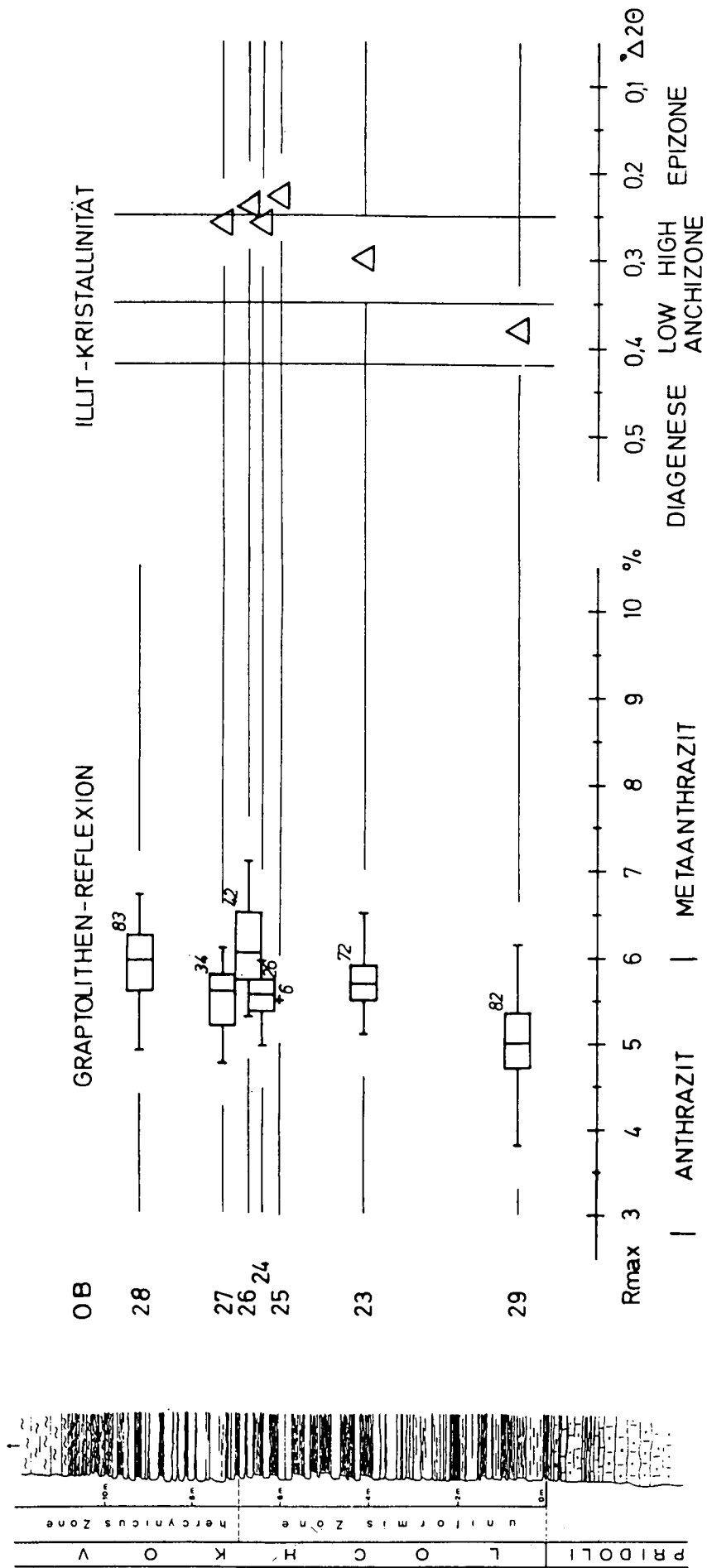


Abb. 10.
 Profil „Oberbuchach 2“ (JAEGER & SCHÖNLAUB, 1980) mit Graptolithen-Reflexion und Illit-Kristallinität.
 Die Zahlen über den Boxplots geben die Anzahl der Meßwerte an.

GRAPTOLITHEN - REFLEXION

ILLIT-KRISTALLINITÄT

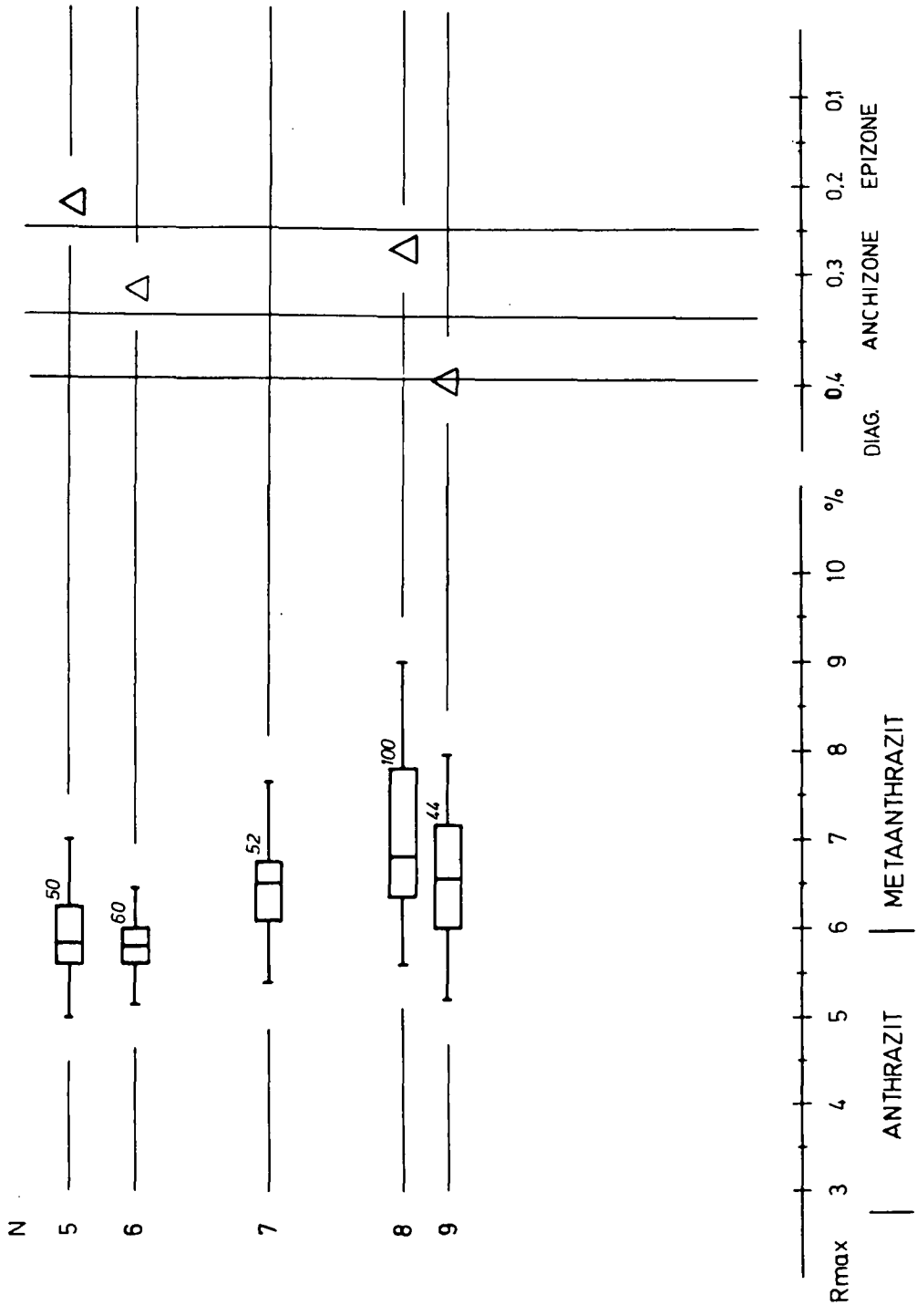


Abb. 11.
 Profil „Nöblinggraben“ (JÄGER & SCHÖNLAUB, 1977) mit Graptolithen-Reflexion.
 Die Zahlen über den Boxplots geben die Anzahl der Meßwerte an.

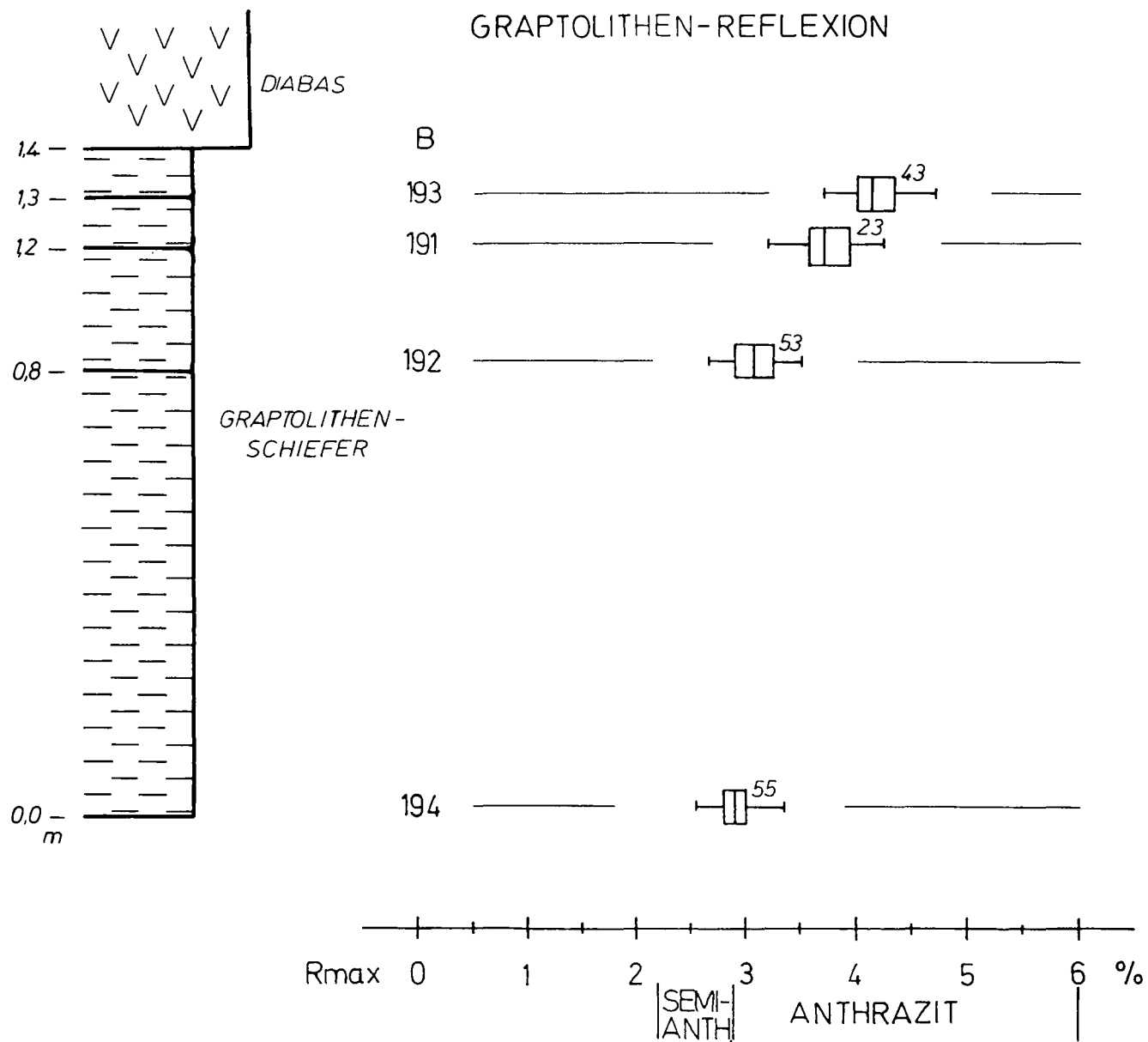
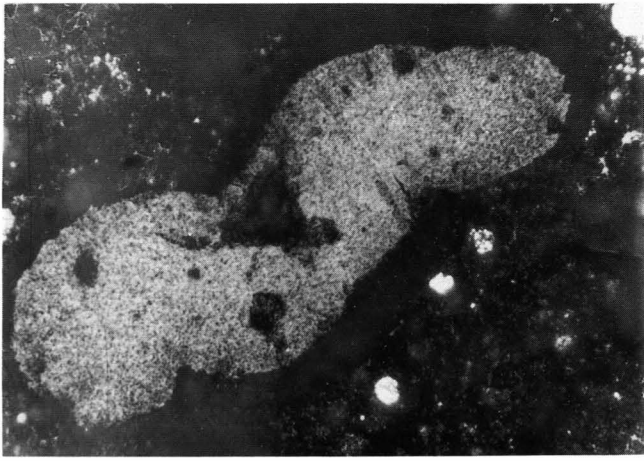


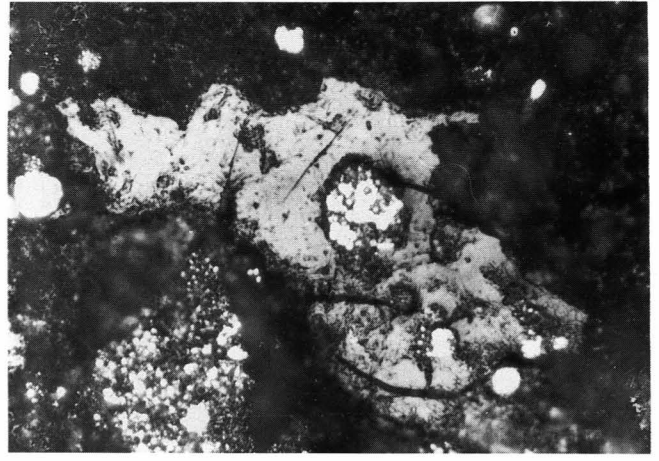
Abb. 12.
 Profil durch den Kontakthof eines Diabas-Lagerganges in silurischen Graptolithenschiefern des Barrandiums.
 Die Zahlen über den Boxplots geben die Anzahl der Meßwerte an.

Tafel 1

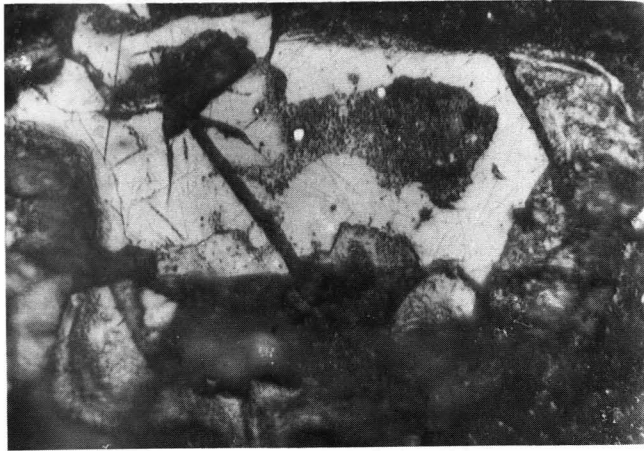
- Fig. 1: **Granulare Internstruktur eines Graptolithen-Fragmentes.**
Probe N7; Bildlänge 15 μm .
- Fig. 2,3: **Graptolithenfragment, assoziiert mit framboidalem Pyrit.**
Abb. 4, Probe OB7; Abb. 5, Probe N7; Bildlänge 15 μm .
- Fig. 4: **Längliches Graptolithenfragment senkrecht zur Schichtung in der Dunkelstellung.**
Probe OB7; Bildlänge 120 μm .
- Fig. 5: **Graptolithenfragment.**
Probe B191; Bildlänge 120 μm .
- Fig. 6: **Fragment eines Graptolithen-Rhabdosoms.**
Die Abzweigung einer Metatheke aus der Protheke ist deutlich zu erkennen.
Probe B192; Bildlänge 120 μm .



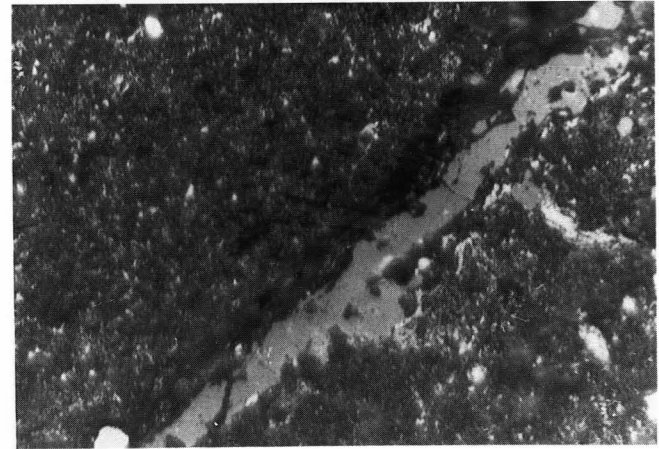
1



2



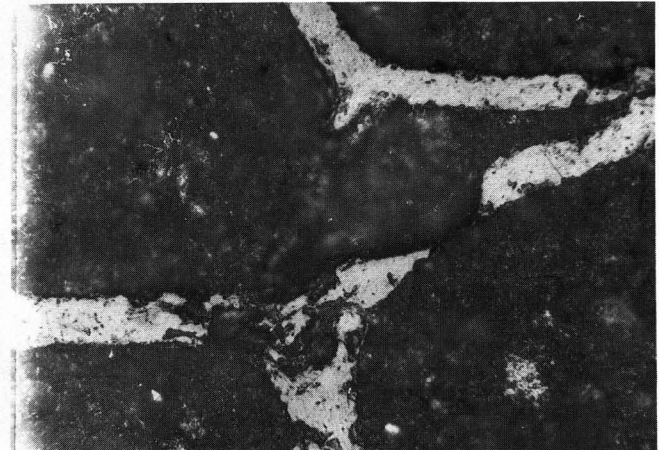
3



4



5



6

Fig. 2. Detail of Fig. 1.
Fig. 3. Detail of Fig. 2.
Fig. 4. Detail of Fig. 3.
Fig. 5. Detail of Fig. 4.
Fig. 6. Detail of Fig. 5.

Tafel 2

Fig. 1: **Graptolithen-Fragment mit einer abzweigenden Metatheke.**

Die Lamellierung des Cortex ist deutlich erkennbar.
Probe B192; Bildlänge 120 μm .

Fig. 2: **Detail aus Fig. 1.**

Bildlänge 15 μm .

Fig. 3: **Graptolithen-Fragment mit deutlich erkennbarer Feinlamellierung.**

Dieses Fragment stellt einen Querschnitt durch eine Protheke dar, der "gemeinsame Kanal" ist mit feinkörnigem Pyrit gefüllt.

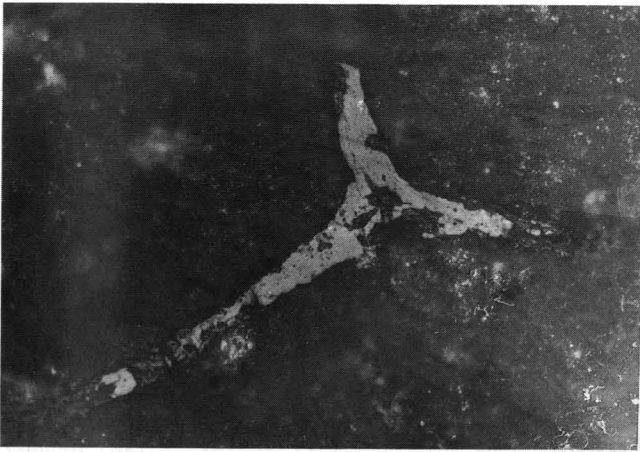
Probe B191; Bildlänge 15 μm .

Fig. 4: **Detail aus Fig. 3.**

Bildlänge 6 μm .

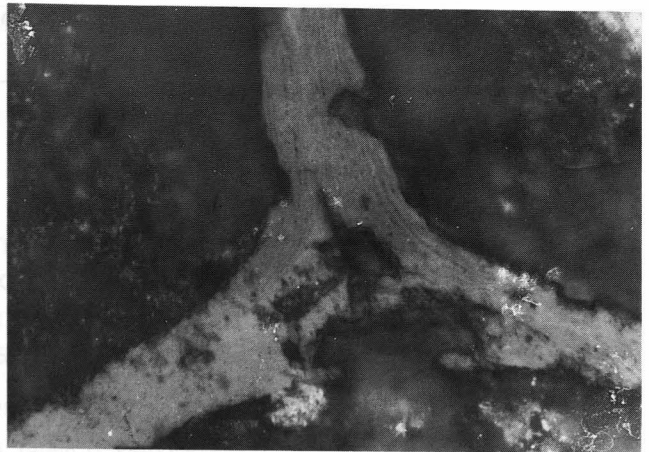
Fig. 5: **Graptolithen-Fragment mit deutlich erkennbarer Lamellierung.**

Probe B193; Bildlänge 15 μm .



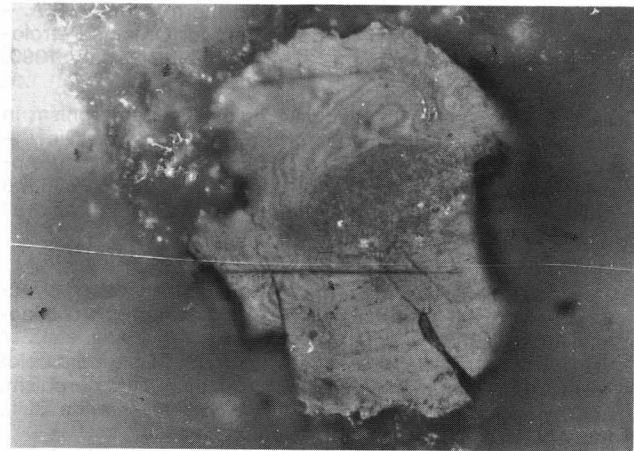
1

Levine, J.R. & Davis, A. Reflections on the geology of Upper Cambrian rocks in the Appalachian foreland basin. *Earth & Planetary Science Letters*, 13, 34-37, 1978.



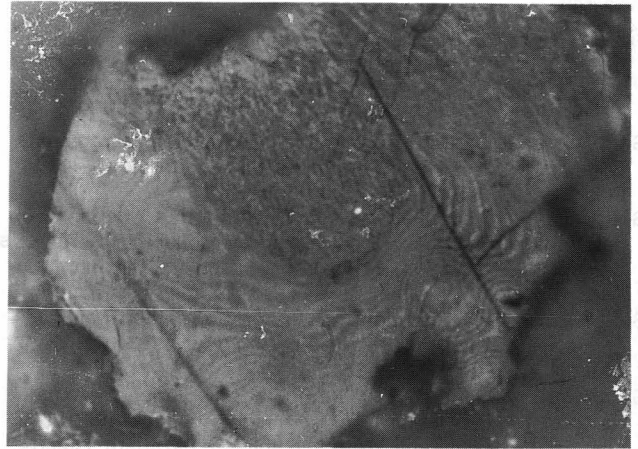
2

Dalrymple, R.D. & Neuhauer, F.L. *ARMAR* age of detrital muscovite from the Cambrian basement in the Eastern Alps. *Geology*, 5, 401-402, 1977.



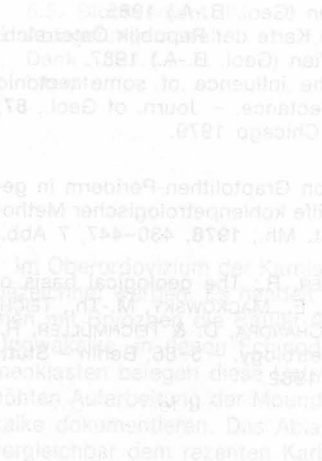
3

Schoneveld, M.P. & Lister, G.B. *ARMAR* age of detrital muscovite from the Cambrian basement in the Eastern Alps. *Geology*, 5, 401-402, 1977.



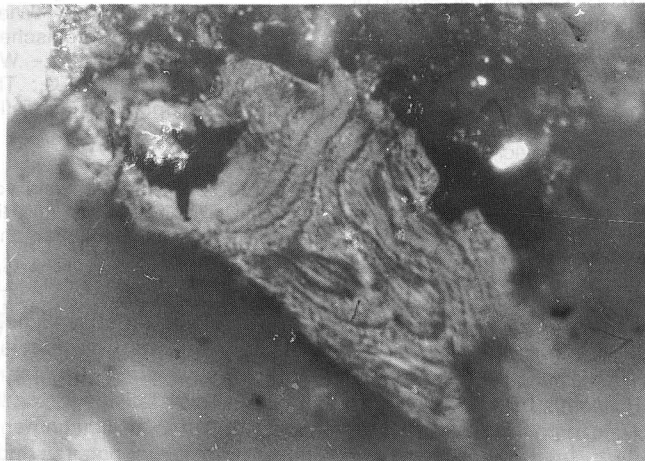
4

Ernst, A.G., Erwin, J.B. & Harris, L.A. *ARMAR* age of detrital muscovite from the Cambrian basement in the Eastern Alps. *Geology*, 5, 401-402, 1977.



5

Ernst, A.G., Erwin, J.B. & Harris, L.A. *ARMAR* age of detrital muscovite from the Cambrian basement in the Eastern Alps. *Geology*, 5, 401-402, 1977.



Ernst, A.G., Erwin, J.B. & Harris, L.A. *ARMAR* age of detrital muscovite from the Cambrian basement in the Eastern Alps. *Geology*, 5, 401-402, 1977.

Literatur

- BERTRAND, R. & HEROUX, Y.: Chitinozoan, Graptolite, and Scolecodont Reflectance as an alternative to Vitrinite and Pyrobitumen Reflectance in Ordovician and Silurian Strata, Anticosti Island, Quebec, Canada. – *American Assoc. of Petrol. Geol. Bull.*, **71**, 95–957, 6 Abb., 3 Tab., Tulsa 1987.
- BOSTICK, N. H.: Time as factor in thermal metamorphism of phytoclasts (coaly particles). – *C. r. 7. Congr. internat. Strat. Geol. Carbonifere*, 183–193, 8 Abb., 1 Tab., Krefeld 1973.
- CLAUSEN, C.-D. & TEICHMÜLLER, M.: Die Bedeutung der Graptolithenfragmente im Paläozoikum von Soest-Erwitte für Stratigraphie und Inkohlung. – *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, **30**, 145–167, 2 Abb., 2 Tab., 4 Taf., Krefeld 1982.
- DALLMEYER, R.D. & NEUBAUER, F.: $^{40}\text{AR}/^{39}\text{AR}$ age of detrital muscovite, Carnic Alps: Evidence for Cadomian basement in the Eastern Alps. – *Geology*, 5 Abb., Boulder in Vorb.
- EPSTEIN, A.G., EPSTEIN, J.B. & HARRIS, L.A.: Conodont Color Alteration – An index to organic metamorphism. – *U.S. Geological Survey Open-file Report*, 75–379, 54 S., 20 Abb., 1975.
- FREY, M.: Very low-grade metamorphism of the Alps – an introduction. – *Schweizer mineral. petrol. Mitt.*, **66**, 13–27, 7 Abb., 2 Tab., 1 Taf., Zürich 1986.
- GOODARZI, F.: Organic petrography of graptolite fragments from Turkey. – *Marine and Petroleum Geology*, **1984**, 202–210, 11 Abb., 1 Tab., London 1984.
- GOODARZI, F.: Dispersion of optical properties of graptolite epiderms with increased maturity in early Paleozoic organic sediments. – *Fuel*, **64**, 1735–1740, 6 Abb., 3 Tab., London 1985a.
- GOODARZI, F.: Reflected light microscopy of chitinozoan fragments. – *Marine and Petroleum Geology*, **1985**, 72–78, 7 Abb., 1 Tab., London 1985b.
- GOODARZI, F. & GENTZIS, Th.: Graptolite Reflectance as an indicator of thermal maturity of sedimentary rocks of Ordovician to Devonian age from the Queen Elizabeth Islands, Arctic Archipelago. – *Seventh Annual Meeting of the Society for Organic Petrology, Abstracts and Program*, 56, Calgary 1990.
- GOODARZI, F. & NORFORD, B.S.: Graptolites as indicators of the temperature histories of rocks. – *J. geol. Soc. London*, **142**, 1089–1099, 10 Abb., 2 Tab., London 1985.
- HORVATH, F., DÖVÉNYI, P. & LACZO, I.: Geothermal effect of magmatism and its contribution to the maturation of organic matter in sedimentary basins. – In: BUNTEBARTH, G. & STEGENA, L.: *Paleogeothermics*. – 173–183, 7 Abb., 1 Tab., Berlin (Springer Verlag) 1986.
- JAEGER, H. & SCHÖNLAUB, H.P.: Das Ordovic/Silur-Profil im Nöblinggraben (Karnische Alpen, Österreich). – *Verh. Geol. B.-A.*, **1977**, 349–359, 2 Abb., 1 Taf., Wien 1977.
- JAEGER, H. & SCHÖNLAUB, H.P.: Silur und Devon nördlich der Gundersheimer Alm in den Karnischen Alpen (Österreich). – *Carinthia II*, **170**, 403–444, 3 Abb., 5 Taf., Klagenfurt 1980.
- KILBY, W.E.: Recognition of vitrinite with non-uniaxial negative reflectance characteristics. – *Intern. Journ. of Coal Geol.*, **9**, 267–285, 11 Abb., Amsterdam 1988.
- KOVACS, S. & ARKAI, P.: Significance of conodont and limestone-texture alteration in recognition of the boundary between diagenesis and regional diagenetic metamorphism based on examples from the Aggtelek-Rudabanya Mts. (NE Hungary). – *Institutum Geologicum Publicum Hungaricum*, 215–235, 2 Tab., 4 Taf., Budapest 1989.
- LEVINE, J.R. & DAVIS, A.: Optical anisotropy of coals as an indicator of tectonic deformation, Broad Top Coal Field, Pennsylvania. – *Geol. Soc. of America Bull.*, **95**, 100–108, 10 Abb., 1 Tab., Boulder 1984.
- LEVINE, J.R. & DAVIS, A.: The relationship of coal optical fabrics to Alleghian tectonic deformation in the central Appalachian fold-and thrust belt, Pennsylvania. – *Geol. Soc. of America Bull.*, **101**, 1333–1347, 16 Abb., 1 Tab., Boulder 1989a.
- LEVINE, J.R. & DAVIS, A.: Reflectance anisotropy of Upper Carboniferous coals in the Appalachian foreland basin, Pennsylvania, U.S.A. – *Intern. Journ. of Coal Geol.*, **13**, 34–373, 17 Abb., 5 Tab., Amsterdam 1989b.
- MALINCONICO, M.L.: Graptolite Reflectance in the Prehnite-Pumpellyite and Chlorite Zones of Northern Maine, U.S.A. – *Seventh Annual Meeting of the Society for Organic Petrology, Abstracts and Program*, 23–24, 1 Abb., Calgary 1990.
- OLIVER, G.J.H.: Arenig to Wenlock regional metamorphism in the paratectonic Caledonides of the British Isles: a review. – In: HARRIS, A.L. & FETTES, D.J. (Eds.): *The Caledonian–Appalachian orogen*. – *Geol. Soc. Spec. Publ.*, **38**, 347–363, 8 Abb., 4 Tab., Oxford – London – Edinburgh (Blackwell Scientific Publications) 1988.
- RAMSEY, J.G. & HUBER, M.I.: The techniques of modern structural geology. 1. Strain analyses. – 307 S., London (Academic Press) 1983.
- REJEBIAN, V.A., HARRIS, A.G. & HUEBNER, J.St.: Conodont color and textural alteration: An index to regional metamorphism, and hydrothermal alteration. – *Geol. Soc. of America Bull.*, **99**, 471–479, 4 Abb., 2 Tab., Boulder 1987.
- SALIH, M.R. & LISLE, R.J.: Optical fabrics of vitrinite and their relation to tectonic deformation at Ffos, South Wales Coalfield. – *Annales Tectonicae*, **1988**, 98–106, 10 Abb., Milano 1988.
- SCHÖNLAUB, H.P.: Das Paläozoikum in Österreich. – *Abh. Geol. B.-A.*, **33**, 124 S, 79 Abb., 4 Tab., 7 Taf., Wien 1979.
- SCHÖNLAUB, H.P.: Geologische Karte der Republik Österreich. Blatt 197 Kötschach. – Wien (Geol. B.-A.) 1985.
- SCHÖNLAUB, H.P.: Geologische Karte der Republik Österreich. Blatt 198 Weissbriach. – Wien (Geol. B.-A.) 1987.
- STONE, I.J. & COOK, A.C.: The influence of some tectonic structures upon vitrinite reflectance. – *Journ. of Geol.*, **87**, 497–508, 10 Abb., 2 Tab., Chicago 1979.
- TEICHMÜLLER, M.: Nachweis von Graptolithen-Periderm in geschieferten Gesteinen mit Hilfe kohlenpetrologischer Methoden. – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1978**, 430–447, 7 Abb., Stuttgart 1978.
- TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R.: The geological basis of coal formation. – In: STACH, E., MACKOWSKY, M.-Th., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G.H., CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R.: *Stach's Textbook of Coal Petrology*. – 5–86, Berlin – Stuttgart (Gebrüder Bornträger) 1982.