



Niedrigstgradige Metamorphose im Karbon von Nötsch (Österreich)

GERD RANTITSCH*)

6 Abbildungen und 1 Tabelle

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 199, 200

Österreich
Karbon von Nötsch
Drauzug
Metamorphose
Illitkristallinität
Vitrinitreflexion
Beckensimulation

Inhalt

Zusammenfassung	433
Abstract	433
1. Einleitung	434
2. Geologischer Überblick	434
3. Proben und Untersuchungsmethoden	434
3.1. Tonmineralogie	435
3.2. Organische Petrologie	435
3.3. Beckensimulation	435
4. Untersuchungsergebnisse	435
4.1. Tonmineralogie	435
4.2. Organische Petrologie	436
4.2.1. Karbon von Nötsch	436
4.2.2. Drauzug	436
5. Thermische Geschichte	436
6. Schlußfolgerungen	439
Dank	439
Literatur	439

Zusammenfassung

Die niedrigstgradige Metamorphose im Karbon von Nötsch wurde durch die Untersuchung der Illitkristallinität und der Vitrinitreflexion erfaßt. Das erkannte Metamorphosebild wird durch eine alpidische anchizonale Versenkungsmetamorphose erklärt. Zwischen Karbon von Nötsch und Drauzug ist kein Metamorphosehiatus festzustellen. Aus dem rekonstruierten Subsidenzverlauf lassen sich die Metamorphosebedingungen mit 260°C und 6 km Versenkungstiefe abschätzen.

Very Low-grade Metamorphism in the Carboniferous of Nötsch (Austria)

Abstract

The very low-grade metamorphism of the Carboniferous of Nötsch (Eastern Alps, Austria) was traced in a study of Illite-Crystallinity and Vitrinite-Reflectance. The obtained metamorphic pattern is explained by an Alpine anchizonal burial metamorphism. There is no metamorphic gap between the Carboniferous strata and the Permo-Mesozoic of the Drau Range. From the reconstructed burial history basin modelling reveals metamorphic conditions of 260°C and 6 km subsidence.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. GERD RANTITSCH, Institut für Geowissenschaften, Montanuniversität Leoben, A-8700 Leoben.
email: rantit@unileoben.ac.at.

1. Einleitung

Die niedrigstgradige Metamorphose paläozoischer Gesteine der Ost- und Südalpen wurde in vorhergehenden Arbeiten eingehend beschrieben (FRANK & RIEHL-HERWISCH, 1972; LOESCHKE, J. & WEBER, K., 1973; SCHRAMM et al., 1982; NIEDERMAYR et al., 1984; GOSEN et al., 1987; KRALLIK et al., 1987, cum. lit.; HASENHÜTTL & RUSSEGGER, 1992; RUSSEGGER, 1992; SCHRAMM in SCHÖNLAUB et al., 1992; RANTITSCH, 1992, 1993, submit.). Daten zum Metamorphosegeschehen im Karbon von Nötsch fehlen bisher.

Bei der Untersuchung niedrigstgradig metamorpher Terraines erweist es sich als besonders wichtig, einen breiten methodischen Ansatz zu verwenden (z.B.: HASENHÜTTL & RUSSEGGER, 1992; RUSSEGGER, 1992; RANTITSCH, 1993, submit.). Ein solcher Ansatz wird hier verwendet, um die Metamorphose im Karbon von Nötsch zu erfassen. Es wird weiters versucht, diese metamorphe Überprägung mit der Metamorphose im nördlich anschließenden Drauzug (NIEDERMAYR et al., 1984) in Verbindung zu setzen.

Zur Beschreibung der metamorphen Überprägung werden tonmineralogische (Illitkristallinität) und kohlenpetrographische (Vitrinitreflexion) Daten verwendet. Dieser Datensatz dient zur Kalibration eines eindimensionalen Wärme-fluß-Modelles, welches die Abschätzung der Metamorphosebedingungen erlaubt.

2. Geologischer Überblick

Das ost/west-streichende Karbon von Nötsch stellt eine tektonisch isolierte Einheit zwischen Drauzug und Gailtalkristallin bzw. Granitzug von Nötsch dar (Abb. 1). Das Vorkommen ist im Norden und Süden von Scherzonen begrenzt, die die primären Zusammenhänge zum südli-

chen Gailtalkristallin und zum nördlichen Drauzug unkenntlich machen (SCHÖNLAUB, 1985; SCHÖNLAUB & HEINISCH, 1993). Von besonderer Bedeutung erscheint dabei die Frage, ob im Kontakt der oberkarbonen Sedimente (oberes Visé–unteres Westphal, SCHÖNLAUB, 1993) zu den nördlich und östlich anschließenden permischen Klastika des Drauzuges ein ursprünglich transgressiver Übergang zu sehen ist.

Von Norden nach Süden werden drei südeinflende Formationen unterschieden (Erlachgraben-Formation, Badstüb-Formation, Nötsch-Formation), wobei das stratigraphische Alter von Norden nach Süden abnimmt (SCHÖNLAUB, 1985; SCHÖNLAUB & HEINISCH, 1993; KRAINER, 1992, 1993).

Tektofaziell wird das Karbon von Nötsch von SCHÖNLAUB (1985) als eine postorogene Molasseentwicklung gedeutet, wogegen KRAINER (1992) diese Abfolge als synorogene Bildung eines Kontinentalhanges, paläogeographisch zwischen dem Karbon der Veitscher Decke und der südalpinen Hochwipfel-Formation gelegen, deutet.

3. Proben und Untersuchungsmethoden

Das Karbon von Nötsch wurde mit 27 Proben (dunkle Tonsteine, Siltsteine und Tonschiefer) aus allen stratigraphischen Einheiten beprobt (Abb. 1). Diese Probenauswahl ermöglichte die simultane Bestimmung der organischen und der anorganischen Metamorphoseparameter. Im nördlich angrenzenden Drauzug wurden mitteltriadischen Raibler-Schiefer an vier Lokalitäten beprobt (D1, D2 im Koflachgraben [westlich Rubland], D3, D4 am W-Hang des Altenberges [östlich Auf der Eben], cf. KRAUS, 1969).

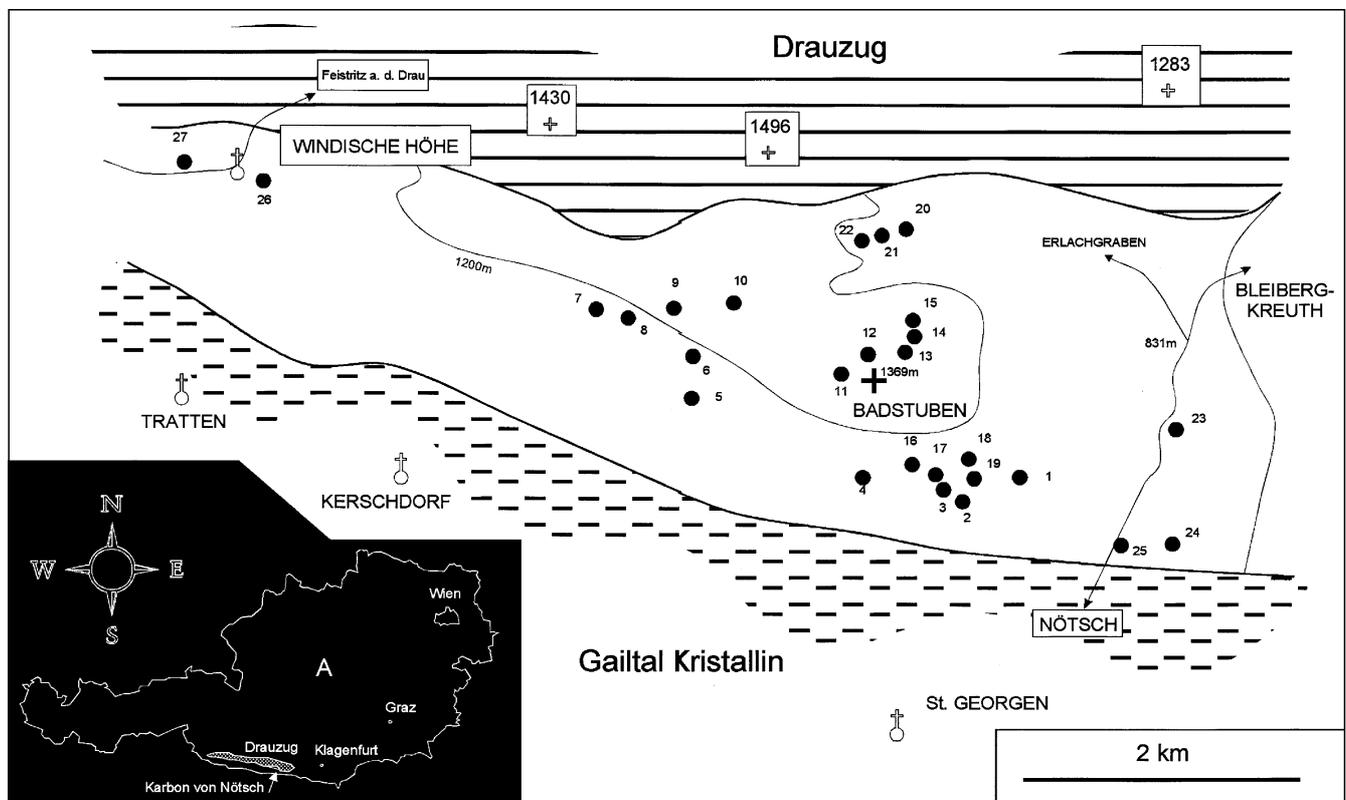


Abb. 1. Lage des Untersuchungsgebietes und Probenverteilung im Karbon von Nötsch. Der Granitzug von Nötsch am Nordrand des Gailtal Kristallins ist nicht dargestellt.

3.1. Tonmineralogie

Die Illitkristallinität wurde an allen Proben durch die Halbwertsbreite des ersten Illit-Basis peaks, ausgedrückt in $^{\circ}\Delta 2\theta$, gemessen. Die Messung erfolgte an entkarbonatisierten (20 % HCOOH) Proben der Fraktion $< 2 \mu\text{m}$, die auf Glasträger mit einer Belegdichte von 1 mg/cm^2 aufgebracht wurden. Das durch einen Ganzgestein-Standard korrigierte arithmetische Mittel von fünf Messungen wurde verwendet. Folgende Aufnahmebedingungen wurden gewählt: Philips-Röntgendiffraktometer, $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung, Ni-Filter, 40 kV, 35 mA, Blenden 1 - 0,2 - 1, Meßgeschwindigkeit $1/2^{\circ}/\text{min}$, Papiervorschub 20 mm/min, Zeitkonstante 1,0 sec. Probenpräparation und Meßbedingungen entsprechen den Empfehlungen von KISCH (1991). Die Anchizone ist durch die begrenzenden Werte von $0,42^{\circ}$ und $0,25^{\circ} \Delta 2\theta$ definiert (KÜBLER, 1984). Bei Verdacht auf quellfähige Mixedlayer-Anteile im Illit (Halbwertsbreite größer als $0,35^{\circ} \Delta 2\theta$ [RANTITSCH, 1993]) wurde das Präparat nach einer Glycolbehandlung nochmals gemessen. Zusätzlich zur Illitkristallinität wurde die Chloritkristallinität (ARKAI, 1991) am (002)-Basisreflex gemessen. An jedem Röntgenpräparat wurde die Mineralverteilung halb-quantitativ aus den Peakintensitäten abgeschätzt.

3.2. Organische Petrologie

Die Charakterisierung der Phytoklasten und die Messung der Vitritreflexion erfolgte mit dem Auflichtmikroskop Leitz MPV II. Die Vitritreflexion wurde mit einem 125/1.3 Ölimmersionsobjektiv im monochromatischen (546 nm), polarisierten Licht gemessen. An Phytoklasten der karbonen Proben wurde die maximale (R_{max})

und minimale Reflexion (R_{min}) gemessen, in den triadischen Proben wurde die mittlere Vitritreflexion im nicht-polarisierten Licht (R_0) erfaßt. Die Bezeichnung der Inkohlungsstadien richtet sich nach der deutschen DIN-Klassifikation (cf. TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER, 1982). Die gemessenen Reflexionswerte in den Raibler Schiefen wurden durch Rock-Eval-Analysen (ESPITALIE et al., 1977) überprüft.

3.3. Beckensimulation

Die Subsidenz des Karbon von Nötsch wurde in einem konstruierten Pseudobohrloch durch das PDI/PC 2.20 Programm der IES GmbH (Jülich, Deutschland) simuliert. Die Grundlagen dieses Programms sind in WELTE & YALCIN (1988) und WYGRALA (1988) diskutiert.

4. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse sind in Tab. 1 dargestellt.

4.1. Tonmineralogie

Die Mineralverteilung in der Fraktion $< 2 \mu\text{m}$ der karbonen Proben zeigt eine Dominanz der Tonminerale Illit (Mittelwert aller Proben = 44 %) und Chlorit (40 %), im geringeren Ausmaß tritt Albit (9 %) und Quarz (7 %) auf. Die temperatursensitiven Minerale Pyrophyllit und Paragonit (KISCH, 1983) konnten nicht nachgewiesen werden.

In den Raibler Schiefen konnte ausschließlich Illit (76 %) und Chlorit (24 %) beobachtet werden. Die Illite stellen ISII-Strukturtypen dar und besitzen maximale Smektitgehalte von 5 % (SRODON, 1984).

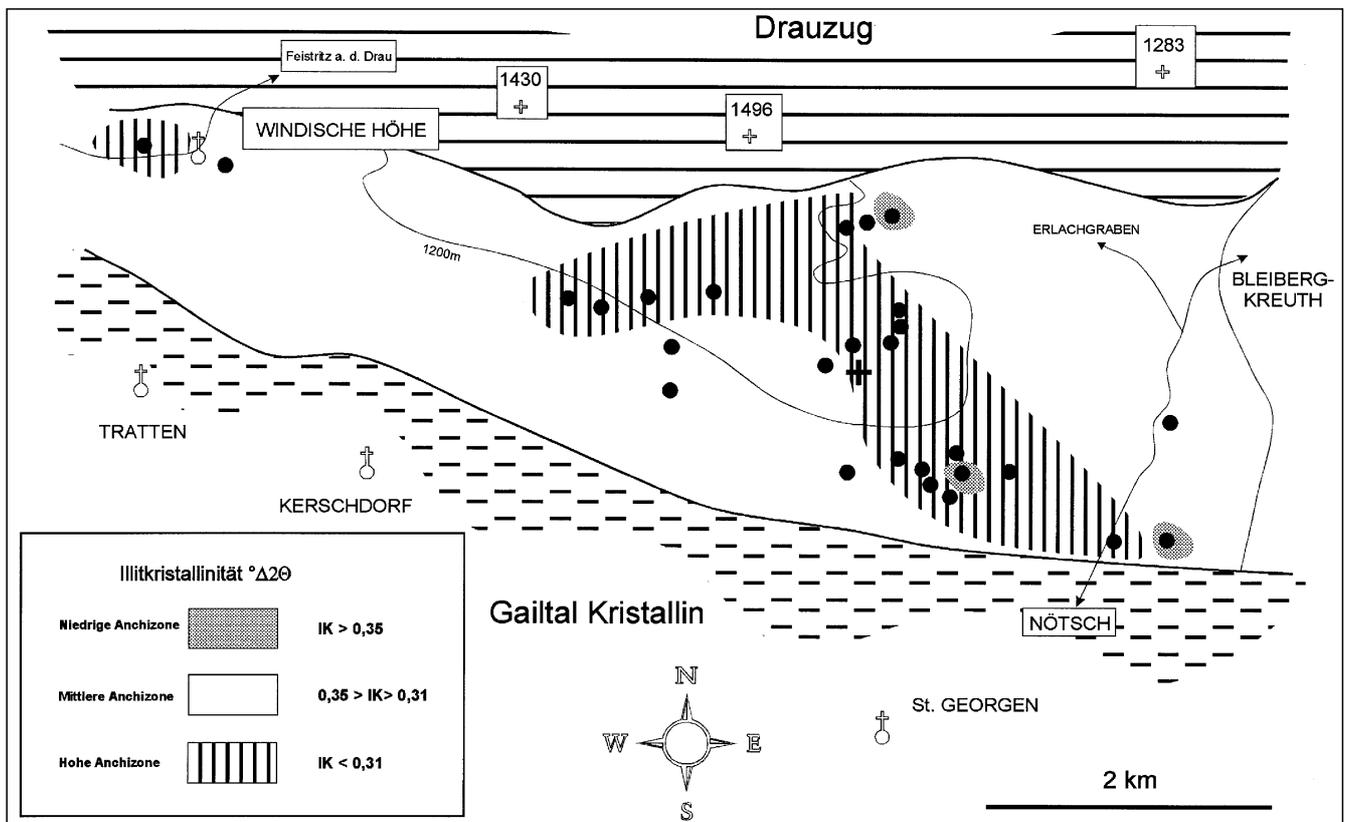


Abb. 2. Regionale Verteilung der Illitkristallinität im Karbon von Nötsch. Es kann die gesamte Anchizone nachgewiesen werden.

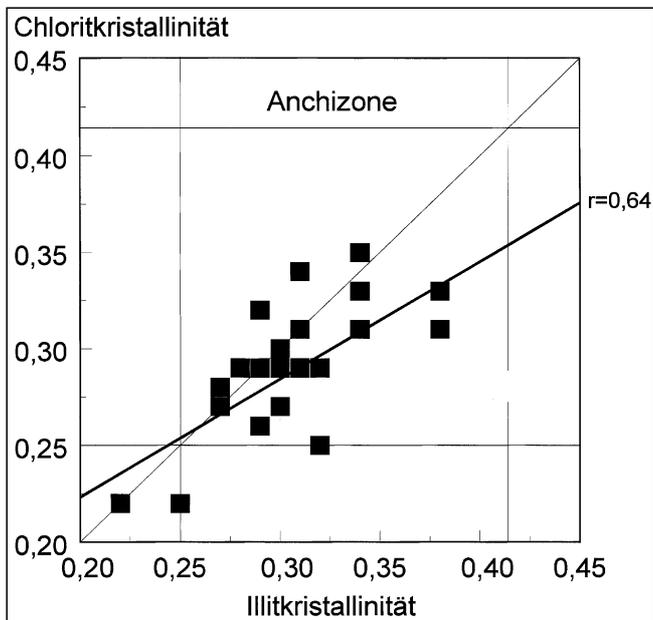


Abb. 3. Beziehung zwischen Illit- und Chloritkristallinität in den Proben aus dem Karbon von Nötsch. Die Chloritkristallinität ist durchwegs besser als die Illitkristallinität ausgebildet.

Tab. 1. Untersuchungsergebnisse. PROBE = Probennummer [N = Proben aus dem Karbon von Nötsch, D = Proben aus dem Drauzug]; IK = Illitkristallinität in $^{\circ}\Delta 2\theta$; IK GL = Illitkristallinität in $^{\circ}\Delta 2\theta$ nach dem Glycolisieren; CK = Chloritkristallinität in $^{\circ}\Delta 2\theta$; CK GL = Chloritkristallinität in $^{\circ}\Delta 2\theta$ nach dem Glycolisieren; Rmax = maximale Vitrinitreflexion in %; Rmin = minimale Vitrinitreflexion in %; Ro = mittlere Reflexion im nichtpolarisierten Licht in %; s = Standardabweichung; N= Anzahl der Meßwerte.

PROBE	IK	IK GL	CK	CK GL	Rmax	s	Rmin	s	N
N 1	0,28	-	0,29	-	4,61	0,48	3,42	0,97	22
N 2	0,29	-	0,29	-	4,55	0,31	2,88	0,61	9
N 3	0,30	-	0,30	-	-	-	-	-	-
N 4	0,32	-	0,29	-	4,34	0,25	2,87	0,56	14
N 5	0,42	0,32	0,30	0,25	5,20	0,41	3,56	0,78	51
N 6	0,34	-	0,35	-	5,10	0,42	2,80	0,64	22
N 7	0,37	0,30	0,30	0,27	4,28	0,40	2,72	0,42	30
N 8	0,29	-	0,26	-	4,61	0,35	3,53	0,42	25
N 9	0,30	-	0,29	-	4,28	0,56	2,42	0,56	81
N 10	0,30	-	-	-	3,37	0,88	2,26	0,69	36
N 11	0,34	-	0,31	-	4,05	0,58	3,05	0,35	24
N 12	0,29	-	0,32	-	3,97	0,32	2,47	0,33	3
N 13	0,31	-	0,29	-	4,02	0,29	3,03	0,58	34
N 14	0,31	-	0,31	-	4,20	0,42	2,98	0,55	29
N 15	0,25	-	0,22	-	4,51	0,34	2,81	0,57	59
N 16	0,27	-	0,28	-	2,65	1,12	1,90	0,74	3
N 17	0,34	-	0,33	-	4,81	0,48	3,19	0,54	37
N 18	0,31	-	0,34	-	4,60	0,51	2,38	0,45	11
N 19	0,37	0,34	0,37	0,31	4,52	0,33	3,08	0,58	14
N 20	0,35	0,38	0,29	0,31	5,04	0,17	3,35	0,63	21
N 21	0,32	-	0,25	-	5,04	0,44	3,76	0,18	5
N 22	0,27	-	0,27	-	5,10	0,47	3,04	0,78	10
N 23	0,32	-	0,25	-	4,56	0,31	2,98	0,24	6
N 24	0,36	0,38	0,36	0,33	4,83	0,41	3,16	0,50	33
N 25	0,22	-	0,22	-	4,61	0,34	3,19	0,43	22
N 26	-	-	-	-	5,79	0,73	3,10	0,71	60
N 27	0,30	-	0,29	-	6,12	0,58	3,23	0,90	46
					Ro				
D 1	0,89	0,68	-	-	0,74	0,13			7
D 2	1,26	0,76	-	-	0,71	0,12			27
D 3	0,87	0,73	-	-	0,94	0,10			39
D 4	0,60	0,57	-	-	0,75	0,15			18

Die regionale Verteilung der Illitkristallinitäten im Karbon von Nötsch zeigt, daß die gesamte Anchizone nachgewiesen werden kann (Abb. 2). In dieser Verteilung findet man Kristallinitäten der hohen Anchizone in einem NW-SE-verlaufenden Streifen auf Höhe der Badstuben und im Bereich der Windischen Höhe. Einzelproben zeigen geringere Kristallinitäten.

Der hohe Chloritanteil in den karbonen Proben (s. oben) ermöglicht die Bestimmung der Chloritkristallinität. In den untersuchten Proben ist der Chlorit-(002-)Peak immer besser kristallisiert als der Illit-(001-)Peak. Eine Übereinstimmung dieser beiden Parameter ist am Übergang von der Anchizone zur Epizone festzustellen (Abb. 3). Dies entspricht im wesentlichen den in der Literatur beschriebenen Verhältnissen (cf. LENGAUER & SCHRAMM, 1989; HASENHÜTTL & RUSSEGGGER, 1992).

In den Raibler Schiefen sind die Illitkristallinitäten diagenetisch ausgebildet (s. Tab. 1).

4.2. Organische Petrologie

4.2.1. Karbon von Nötsch

Die Proben zeigen durchwegs eine reiche Phytoklastenführung. Makroskopisch sind oft Pflanzenfossilien erkennbar. Die Maceralassoziaton der organischen Bestandteile wird durch Vitrinit beherrscht. Daneben tritt das Maceral Inertinit auf. In einigen Proben sind Anzeichen der beginnenden Graphitisierung festzustellen (granulare und lamellare graphitoide Partikel im Semi-Graphit-Stadium sensu DIESEL & OFFLER, 1975).

Die regionale Verteilung der Vitrinitreflexion ist in Abb. 4 dargestellt. Hier zeigt sich eine Inkohlung im Anthrazitstadium mit einem regionalen Minimum im Bereich der Badstuben und einem regionalen Maximum an der Windischen Höhe.

4.2.2. Drauzug

Die untersuchten Proben zeigen Vitrinite im Flamm- bis Gasflammkohlen-Stadium ($VR_o = 0,71-0,94\%$). Im gleichen Ausmaß wie Vitrinit tritt Inertinit (z.T. als Fusinit) auf. Mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie ist ein orange lumineszierender Lamalginit (Maceral der Liptinit-Gruppe) erkennbar. Daneben konnten umgelagerte Vitrinite mit deutlich höherem Inkohlungsgrad (Semi-Graphit) beobachtet werden.

Die Vitrinitreflexion, die orange Lumineszenzfarbe des Lamalginites und der mit der Rock-Eval-Pyrolyse gemessene Tmax-Wert von 437°C (ESPITALIE et al., 1977) belegen, daß sich die Raibler-Schiefer am Südrand des Drauzuges im Maturitätsbereich des Öfensters befinden.

5. Thermische Geschichte

Sowohl die Illitkristallinität als auch die Vitrinitreflexion der karbonen Sedimenten hängt nicht vom jeweiligen stratigraphischen Alter ab. Die Isoreflexionslinien schneiden das alpidische (SCHÖNLAUB, 1985) tektonische Gefüge der untersuchten Formationen (Abb. 4). Daher ist eine alpidische syn- bis post-tektonische thermische Prägung nachweisbar. Dies wird durch die Abb. 5 bestärkt: Setzt man die Vitrinitreflexion mit der Höhenlage des jeweiligen Probepunktes in Beziehung, so ist, wie es bei einer mesozoischen Versenkung zu erwarten ist, ein kontinuierliches Abnehmen der Maturität gegen das Hangende ersichtlich. Dieser Trend wird durch die Illitkristallinitäten jedoch nicht nachgezeichnet (Abb. 5).

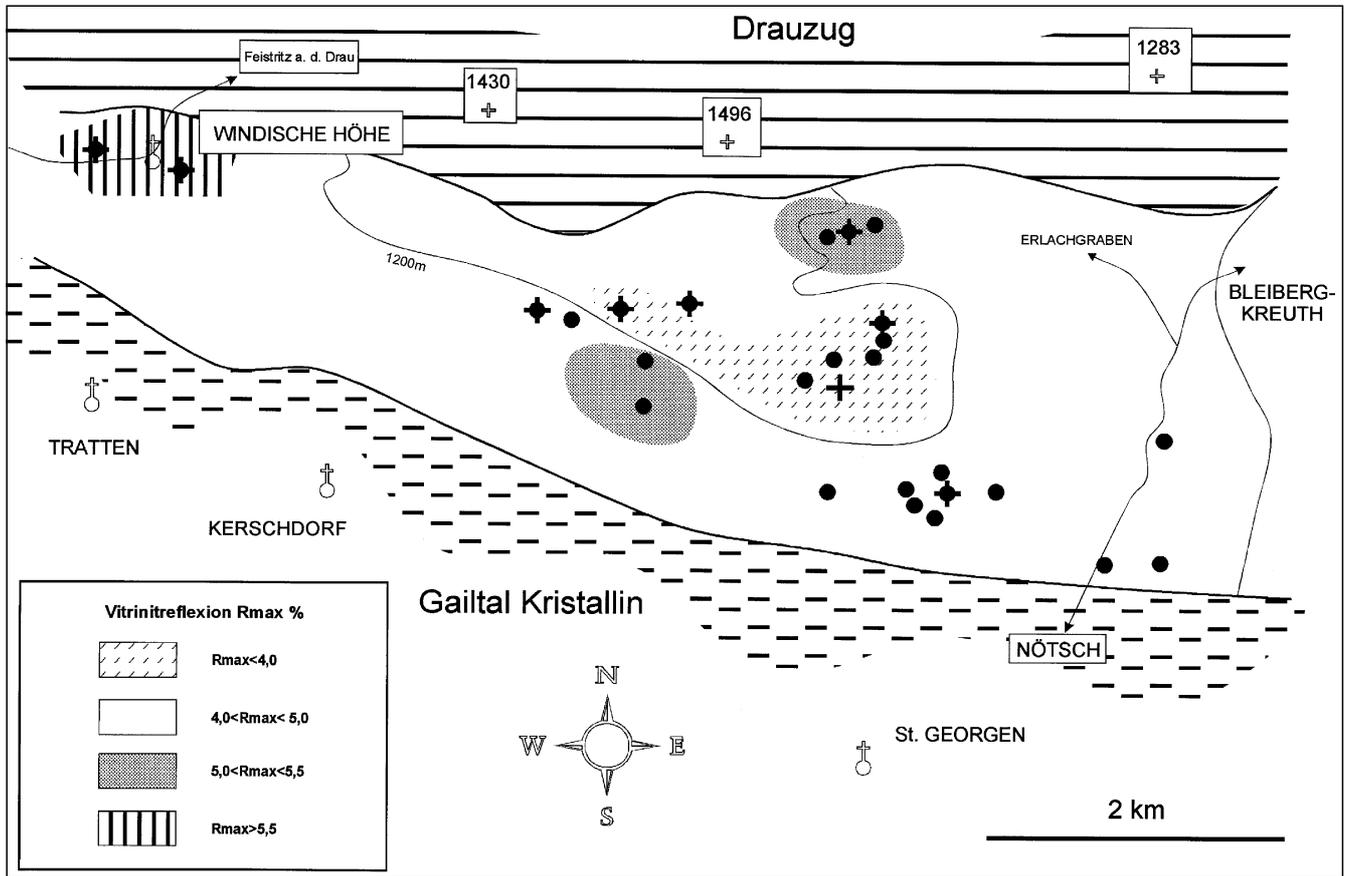


Abb. 4. Regionale Verteilung der Vitrinitreflexion (R_{max}) im Karbon von Nötsch. Kreuze markieren Proben mit graphitisierten Phytoklasten. Im Karbon von Nötsch liegt eine Inkohlung im Anthrazitstadium vor. Im Bereich der Windischen Höhe ist ein regionales Inkohlungsmaximum festzustellen.

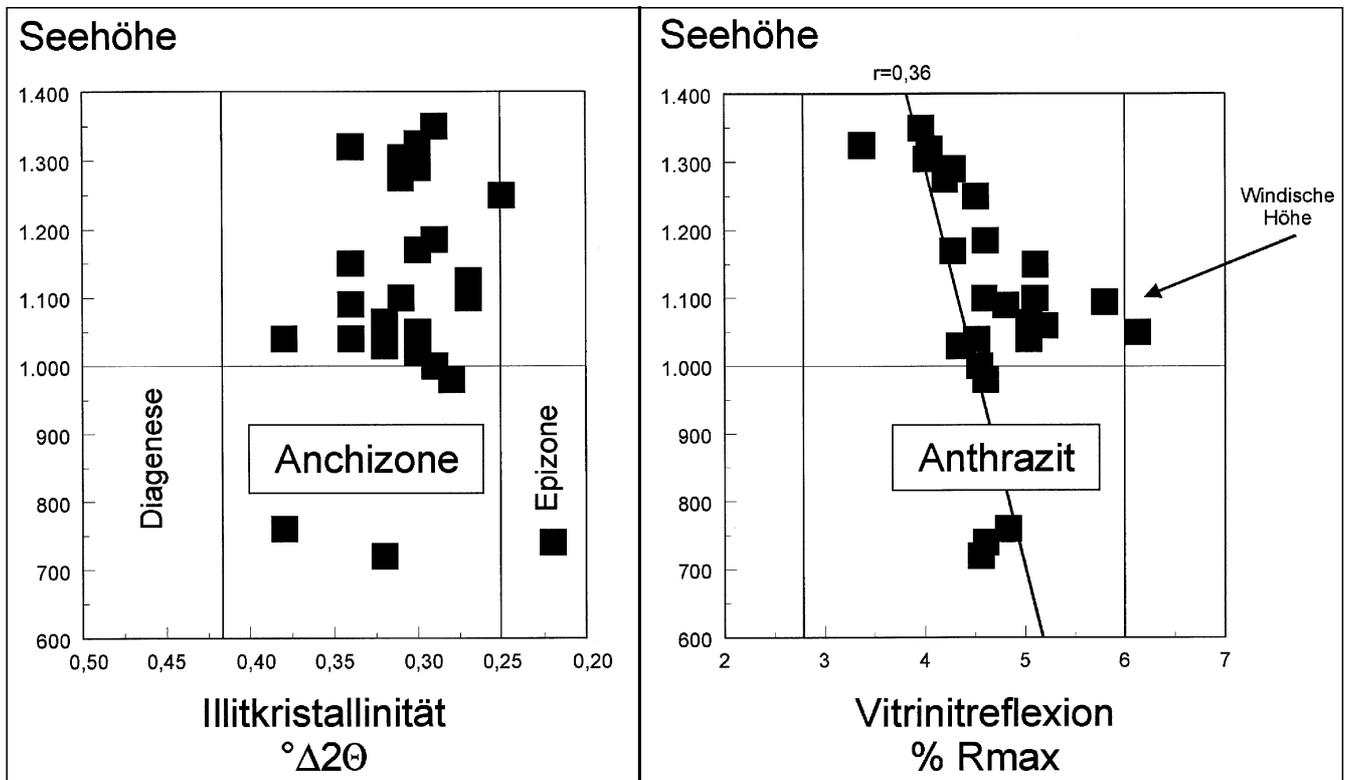


Abb. 5. Illitkristallinität und Inkohlung in Abhängigkeit von der Höhenlage des Probenpunktes. Die Vitrinitreflexion nimmt mit der Seehöhe ab. Daraus ist eine syn- bis posttektonische Inkohlung ablesbar. Erhöhte Inkohlungswerte an der Windischen Höhe werden durch tektonische Einflüsse erklärt.

Die im Karbon beobachteten Graphitisierungsstrukturen sind auf den Bereich erhöhter Illitkristallinitäten beschränkt (vgl. Abb. 2 mit Abb. 4). Das gemeinsame Auftreten von inkohlten mit graphitisierten Phytoklasten ist ein Merkmal der höheren Anchi- bzw. beginnenden Epizone (DIESSEL & OFFLER, 1975; DIESSEL et al., 1978). Der hier erkannte Zusammenhang mit der Illitkristallinität kann möglicherweise durch verstärkte tektonische Beanspruchung im Sinne von WILKS et al. (1993) erklärt werden.

An zwei Lokalitäten im Bereich der Windischen Höhe sind erhöhte Reflexionswerte zu beobachten (Abb. 4, 5). Da hier die zwei begrenzenden (alpidischen) Störungen spitzwinkelig aneinanderstoßen, kann dies ebenfalls durch Tektonik erklärt werden (Fluiddurchsatz oder Reibungswärme). Bemerkenswert erscheint, daß sich dieser Effekt in der Illitkristallinität nicht widerspiegelt.

Folgt man der Argumentation von KRÄINER (1992: Das Karbon von Nötsch besteht aus synorogenen Sedimenten), so muß sowohl ein variszisches als auch ein alpidisches tektono-thermales Ereignis angenommen werden. Nach SCHÖNLAUB (1985: Das Karbon von Nötsch ist eine postorogene Frühmolasse) könnte nur eine postvariszische und/oder alpidische Prägung in Frage kommen. Durch die erfolgten Untersuchungen kann ein allfälliges variszisches Metamorphoseereignis nicht nachgewiesen werden. Die heutige Metamorphoseverteilung wird durch alpidische Ereignisse bestimmt.

SCHÖNLAUB (1985) schließt auf eine relative Ortsgebundenheit und Autochthonie der Karbonsedimente im Bezug zu ihrer Umrahmung. Dies würde ein primäres Auflagern des Drauzuges auf dem Karbon bedeuten und eine Einbindung des erkannten Metamorphosebildes in den Metamorphosetrend des Drauzuges ermöglichen.

NIEDERMAYR et al. (1984) erkannten im Drauzug eine anchizonale Metamorphose in den permo-skythischen Sedimenten, die in der Mitteltrias (im Niveau der Raibler-Schiefer) ausklingt. An der Drauzug-Südseite findet man im Permo-Skyth Illitkristallinitäten der mittleren Anchizone. Einzelne Inkohlungswerte von 1,96 bis 3,32 % R_o werden aus dem Alpinen Buntsandstein des Drauzuges berichtet (NIEDERMAYR et al., 1984).

Der Vergleich zeigt, daß die thermische Prägung des Karbon von Nötsch im Drauzug seine direkte Fortsetzung findet. Es handelt sich hier also um ein kontinuierliches Metamorphoseprofil vom Karbon bis in die Mitteltrias. Das bestätigt die vermutete Autochthonie des Drauzuges im Bezug zum Karbon von Nötsch.

Dieses Metamorphoseprofil wurde verwendet, um die thermische Geschichte des Karbon von Nötsch zu modellieren. Es wurde dabei eine Fortsetzung der karbonen Abfolge in der permo-mesozoischen Stratigraphie des Drauzuges angenommen. Aus der Stratigraphie des Drauzuges (TOLLMANN, 1977) konnte unter Berücksichtigung der verschiedenen Lithologien und Ablagerungsbedingungen ein Subsidenzmodell erstellt werden. Der Wärmefluß wäh-

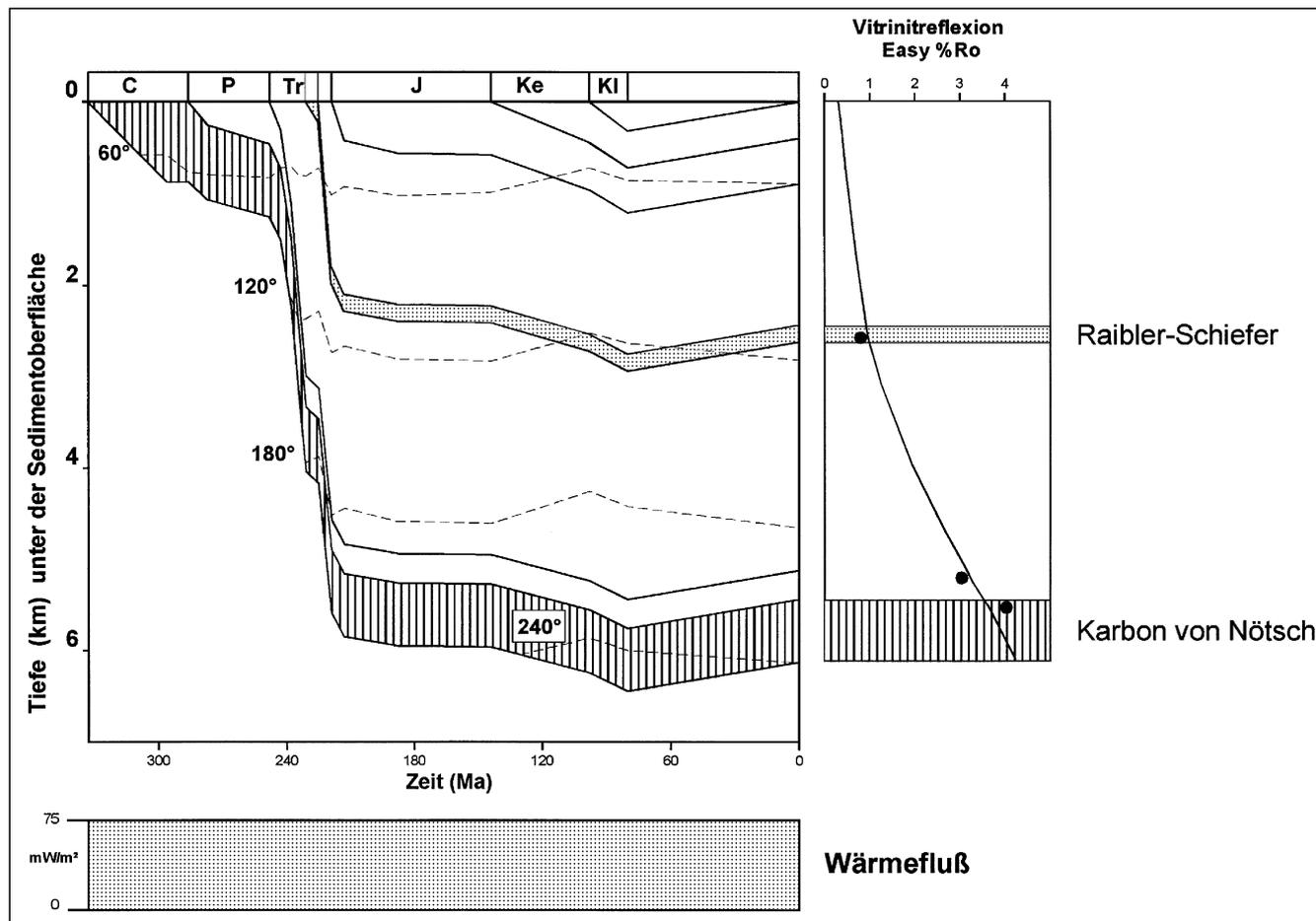


Abb. 6. Dekompaktiertes Subsidenzdiagramm des Karbon von Nötsch (schraffiert) mit den berechneten Isothermen (unterbrochene Linien) für einen einheitlichen Wärmefluß von 75 mW/m². Die permo-mesozoische Versenkung wird durch die Stratigraphie des Drauzuges repräsentiert. Aus diesem Modell ergibt sich eine gute Übereinstimmung der berechneten mit den beobachteten (•) Reflexionswerten (rechts).

rend der Subsidenz wurde mit der gemessenen Vitrinitreflexion im Karbon und in der Mitteltrias, sowie mit den von NIEDERMAYR et al. (1984) erwähnten skytischen Reflexionswerten kalibriert (Abb. 6). Die Berechnung der Vitrinitreflexionen erfolgte mit Hilfe der kinetischen EASY %R₀-Methode von SWEENEY & BURNHAM (1990).

Das beobachtete Maturitätsmuster kann durch einen einheitlichen Wärmefluß von 75 mW/m², entsprechend einem mesozoischen geothermischen Gradienten von 40°C/km, erklärt werden. Dieser Wärmefluß kann durch die tektonische Position eines passiven Kontinentalrands erklärt werden. Die Karbonsedimente erreichen in der Kreide ihre Maximaltemperatur von 260°C bei einer Versenkungstiefe von ca. 6 km. Die mitteltriadischen Raibler-Schichten überschritten nicht den Temperaturbereich von 130°C.

Dieses Modell erklärt die von NIEDERMAYR et al. (1984) als Unstimmigkeit bewerteten skytischen Reflexionswerte. Für die Basis des Drauzuges (Permo-Skyth) ergeben sich Metamorphosebedingungen von 220°C und ca. 5,5 km Subsidenz. Diese Temperatur steht im Gegensatz zu der durch Flüssigkeitseinschlußuntersuchungen ermittelten Minimaltemperatur der alpidischen Versenkung von 270°C (MULLIS in NIEDERMAYR et al., 1984). Die Differenz von 50°C muß durch die Fluidynamik bzw. durch regionale Einflüsse erklärt werden.

6. Schlußfolgerungen

Im Karbon von Nötsch kann eine alpidische anchizonale Metamorphose, die anthrazitische Inkohlungsgrade erzeugt, nachgewiesen werden. Lokal kann die alpidische Schertektonik das Inkohlungsbild beeinflussen.

Diese metamorphe Prägung wird im größeren Zusammenhang mit der anchizonalen Metamorphose im angrenzenden Drauzug gesehen. Daraus ergibt sich mit Hilfe einer numerischen Simulation der permo-mesozoischen Wärmegeschichte eine Abschätzung der Metamorphosebedingungen mit 260°C und ca. 6 km Subsidenz. Die Metamorphose an der Basis des Drauzuges kann durch eine alpidische Versenkung mit einer Temperatur von 220°C und einer Subsidenz von ca. 5,5 km erklärt werden.

Vergleicht man die Metamorphose in Nötsch mit der Metamorphose im südalpinen Karbon (Hochwipfel-Formation; RANTITSCH, 1993, submit.) so ergeben sich folgende Konsequenzen:

Im Falle einer synorogenen Abfolge (KRAINER, 1992) erreicht ein allfälliges variszisches Ereignis im Karbon von Nötsch (< 260°C, < 6 km Subsidenz) nicht die Intensität der südalpinen Metamorphose (300°C, 7 km Versenkung).

Das alpidische Metamorphosegeschehen kann mit der thermischen Geschichte der südalpinen Auernig-Gruppe in Zusammenhang gebracht werden. Die ermittelten Metamorphosebedingungen zeigen übereinstimmende Werte.

Dank

Für wertvolle Diskussionen danke ich Dr. B. RUSSEGGER und Dr. R.F. SACHSENHOFER.

Literatur

ARKAI, P.: Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity, coal rank and mineral facies as exemplified by Palaeozoic and Mesozoic rocks of northeast Hungary. – *J. metamorphic Geol.*, **9**, 723–734, Oxford 1991.

DIESSEL, C.F.K. & OFFLER, R.: Chance in physical properties of coalified and graphitized phytoclasts with grade of metamorphism. – *N. Jb. Mineral. Mh.*, **1975**, 11–26, Stuttgart 1975.

DIESSEL, C.F.K., BROTHERS, R.N. & BLACK, P.M.: Coalification and graphitization in high-pressure schists in New Caledonia. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, **68**, 63–78, Heidelberg 1978.

ESPITALIE, J., LAPORTE, J.L., MADEC, M., MARQUIS, P., LAPLAT, P., PAULET, J. & BOUTEFEAU, A.: Methode rapide de caracterisation des roches meres et de leur potentiel petrolier et de leur degre d'evolution. – *Rev. Inst. Francais du Petrole*, **32**, 23–42, Paris 1977.

FRANK, W. & RIEHL-HERWISCH, G.: Der Metamorphosehiatus zwischen Magdalensbergserie und Oberkarbon in Mittelkärnten (Umgebung des Cristophberges). – *Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl.*, **108**, 139–140, Wien 1972.

GOSEN, W.v., PISTOTNIK, J. & SCHRAMM, J.-M.: Schwache Metamorphose in Gesteinsserien des Nockgebietes und im Postvariszikum des Karawankenvorlandes (Ostalpen, Kärnten). – *Jb. Geol. B.-A.*, **130**, 31–36, Wien 1987.

HASENHÜTTL, C. & RUSSEGGER, B.: Niedriggradige Metamorphose im Grazer Paläozoikum. – *Jb. Geol. B.-A.*, **135**, 287–297, Wien 1992.

KISCH, H.J.: Mineralogy and petrology of burial diagenesis (burial metamorphism) and incipient metamorphism in clastic rocks. – In: LARSEN, G. & CHILINGAR, G.V. (eds): *Diagenesis in sediments and sedimentary rocks, Developments in Sedimentology*, **258**, 289–493, Amsterdam 1983.

KISCH, H.J.: Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, X-ray diffraction settings, and interlaboratory samples. – *J. metamorphic Geology*, **9**, 665–670, Oxford 1991.

KRAINER, K.: Fazies, Sedimentationsprozesse und Paläogeographie im Karbon der Ost- und Südalpen. – *Jb. Geol. B.-A.*, **135**, 99–193, Wien 1992.

KRAINER, K.: Late- and Post-Variscan sediments of the Eastern and Southern Alps. – In: v. RAUMER, J.F. & NEUBAUER, F. (eds.): *Pre-Mesozoic geology in the Alps*, 537–564, Berlin (Springer Verlag) 1993.

KRALIK, M., KRUMM, H. & SCHRAMM, J.M.: Low grade and very low grade metamorphism in the Northern Calcareous Alps and in the Greywacke Zone: illite-crystallinity data and isotopic ages. – In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P. (eds.): *Geodynamics of the Eastern Alps*, 164–178, Wien (Deuticke) 1987.

KRAUS, O.: Die Raibler Schichten des Drauzuges (Südliche Kalkalpen). Lithofazielle, sedimentpetrographische und paläogeographische Untersuchungen. – *Jb. Geol. B.-A.*, **112**, 81–152, Wien 1969.

KÜBLER, B.: Les indicateurs des transformations physiques et chimiques dans la diagenese, temperature et calorimetrie. – In: LAGACHE, M. (ed.): *Thermometrie et barometrie geologiques, Soc. Franc. Miner. Crist.*, **2**, 489–596, Paris 1984.

LENGAUER, C.L. & SCHRAMM, J.M.: Metamorphoseuntersuchungen am Nordrand der westlichen Grauwackenzone (Salzburg). – *Jb. Geol. B.-A.*, **132**, 425–441, Wien 1989.

LOESCHKE, J. & WEBER, K.: Geochemie und Metamorphose paläozoischer Tuffe und Tonschiefer aus den Karawanken (Österreich). – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **142**, 115–138, Stuttgart 1973.

NIEDERMAYR, G., MULLIS, J., NIEDERMAYR, E. & SCHRAMM, J.-M.: Zur Anchimetamorphose permoskythischer Sedimentgesteine im westlichen Drauzug, Kärnten – Osttirol (Österreich). – *Geol. Rdsch.*, **73**, 207–221, Stuttgart 1984.

RANTITSCH, G.: Reflexionsmessungen an Graptolithen im Silur und Unterdevon der Karnischen Alpen. – *Jb. Geol. B.-A.*, **135**, 299–316, Wien 1992.

RANTITSCH, G.: Zur Wärmegeschichte der Karnischen Alpen (Österreich). – Unveröff. Diss. an der Karl-Franzens-Universität Graz, 173 S., Graz 1993.

RANTITSCH, G.: Thermal history of the Carnic Alps (Austria). – submit.

- RUSSEGGER, B.: Diagenese bis niedriggradige Metamorphose im südlichen Grazer Paläozoikum (Steiermark, Österreich). – Unveröff. Diss. an der Karl-Franzens-Universität Graz, 180 S., Graz 1992.
- SCHÖNLAUB, H.P.: Das Karbon von Nötsch und sein Rahmen. – Jb. Geol. B.-A., **127**, 673–692, Wien 1985.
- SCHÖNLAUB, H.P.: Stratigraphy, biogeography and climatic relationships of the Alpine Palaeozoic. – In: v. RAUMER, J.F. & NEUBAUER, F. (eds.): Pre-Mesozoic geology in the Alps, 65–91, Berlin (Springer Verlag) 1993.
- SCHÖNLAUB, H.P., ATTREP, M., BOECKELMANN, K., DRESEN, R., FEIST, R., FENNINGER, A., HAHN, G., KLEIN, P., KORN, D., KRATZ, R., MAGARITZ, M., ORTH, Ch.J. & SCHRAMM, J.-M.: The Devonian/Carboniferous boundary in the Carnic Alps (Austria) – A multidisciplinary approach. – Jb. Geol. B.-A., **135**, 57–98, Wien 1992.
- SCHÖNLAUB, H.P. & HEINISCH, H.: The classic fossiliferous units of the Eastern and Southern Alps. – In: v. RAUMER, J.F. & NEUBAUER, F. (eds.): Pre-Mesozoic geology in the Alps, 395–422, Berlin (Springer Verlag) 1993.
- SCHRAMM, J.-M.: The Permian-Triassic of the Gartnerkofel-1 Core (Carnic Alps, Austria): illite crystallinity in shaly sediments and its comparison with Pre-Variscian sequences. – In: HOLSER, W.T. & SCHÖNLAUB, H.P. (eds): The Permian-Triassic boundary in the Carnic Alps of Austria (Gartnerkofel region), Abh. Geol. B.-A., **45**, 69–77, Wien 1991.
- SCHRAMM, J.-M., GOSEN, W.v., SEEGER, M. & THIEDIG, F.: Zur Metamorphose variszischer und postvariszischer Feinklastika in Mittel- und Ostkärnten (Österreich). – Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, **53**, 169–179, Hamburg 1982.
- SRODON, J.: X-ray powder diffraction identification of illitic materials. – Clays and Clay Minerals, **32**, 337–349, Oxford 1984.
- SWEENEY, J.J. & BURNHAM, A.K.: Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics. – Am. Assoc. Petrol. Geol., Bull., **74**, 1559–1570, Tulsa 1990.
- 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. (eds.): Stach's Textbook of coal petrology. – 5–86, Berlin-Stuttgart (Gebrüder Borntraeger) 1982.
- TOLLMANN, A.: Geologie von Österreich, Bd. 1. – 766 S., Wien (Deuticke) 1977.
- WELTE, D.H. & YALCIN, M.N.: Basin modelling – A new comprehensive method in petroleum geology. – Organic Geochemistry, **13**, 141–151, Oxford 1988.
- WILKS, K.R., MASTALERZ, M., ROSS, J.V. & BUSTIN, R.M.: The effect of experimental deformation on the graphitization of Pennsylvania anthracite. – International Journal of Coal Geology, **24**, 347–369, Amsterdam 1993.
- WYGRALA, B.P.: Integrated computer-aided basin modelling applied to analysis of hydrocarbon generation history in a Northern Italian oil field. – Organic Geochemistry, **13**, 187–197, Oxford 1988.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 13. Dezember 1994