



## Untersuchungen zur Kohlenstoff-Kristallinität am Tauernnordrand bei Mittersill und im geologischen Umfeld

Von STEFAN GLASER & RUDOLF HÖLL\*)

Mit 6 Abbildungen und 1 Tabelle

Österreichische Karte 1 : 50.000  
Blätter 122, 152

*Österreich  
Salzburg  
Hohe Tauern  
Habachgruppe  
Metamorphose  
Kohlenstoff-Kristallinität*

### Inhalt

Zusammenfassung .....	49
Abstract .....	49
1. Einleitung und Problemstellung .....	50
2. Diagenetische und metamorphe Umwandlung organischen Materials .....	50
3. Metamorphose und Kohlenstoff-Kristallinität .....	51
4. Beprobung und Probenaufbereitung .....	53
5. Auswertung der Ergebnisse und Diskussion .....	53
6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen .....	57
Dank .....	57
Literatur .....	57

### Zusammenfassung

Die Kohlenstoff-Kristallinität in teilweise fossilführenden, jungproterozoischen Phylliten (Habachphylliten) der Älteren Tauernschieferhülle und in unmittelbar benachbarten, mesozoischen Metasedimenten (Bündnerschiefern) der Jüngeren Tauernschieferhülle aus einem kleinen Areal südöstlich von Mittersill sowie in Proben von anderen Lokalitäten im Tauernfenster, aus der Nördlichen Grauwackenzone und aus anderen Gebieten mit bekanntem Metamorphosegrad wurde röntgendiffraktometrisch bestimmt. Die Ergebnisse belegen einen zunehmenden Ordnungsgrad des Graphits vom Tauernnordrand bis zum Tauernhauptkamm im Einklang mit der gleichgerichteten Zunahme der alpidischen Tauernkristallisation. Im eng beprobten Areal am Tauernnordrand südöstlich Mittersill sind keine Unterschiede in der Kohlenstoff-Kristallinität und in der niedriggradigen Metamorphose zwischen den jungproterozoischen und den sicher nur alpidisch geprägten mesozoischen Metasedimenten erkennbar. Eine gegenüber der alpidischen Tauernkristallisation höhergradig metamorphe, varistische und/oder prävaristische Prägung der jungproterozoischen Metasedimente ist in diesem Areal nicht nachweisbar. Dieser Befund steht jedoch nicht im Widerspruch zu Daten über präalpidische metamorphe Ereignisse in anderen Teilen des Tauernfensters.

### Investigations on Carbon Crystallinity at the Northern Margin of the Tauern Window near Mittersill

#### Abstract

The crystallinity of carbonaceous matter was investigated using powder X-ray diffraction measurements in samples of partly fossiliferous Upper Proterozoic phyllites (Habachphyllites, older schist cover of the Tauern Window) and in neighbouring Mesozoic metasediments of the younger schist cover of the Tauern Window from a small area southeast of Mittersill. Furthermore other samples from the Tauern Window, the Northern Greywacke Zone and other regions with a known metamorphic grade were analyzed. The results reflect an increasing degree of the order of the graphite crystallites in accordance with the increasing metamorphic grade from the northern rim of the Tauern Window to its centre. It was not possible to recognize a difference in the crystallinity of organic matter or in the metamorphic grade between the Upper Proterozoic phyllites and the Mesozoic metasediments. The latter have been affected by an Alpidic low-grade metamorphism only. There is no evidence for any Variscan and/or pre-Variscan medium or high-grade metamorphic event reflected by the Upper Proterozoic metasediments in this small sampled area. This result, however, is not in contradiction with data on pre-Alpidic metamorphic events from other parts of the Tauern Window.

\*) Anschrift der Verfasser: Dipl.-Geol. STEFAN GLASER und Prof. Dr. RUDOLF HÖLL, Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, Luisenstr. 37, D-80333 München, BRD.

# 1. Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen einer Kartierung des Tauernnordrandes bei Wilhelmsdorf östlich von Mittersill im Salzachtal (GLASER, 1991) konnten jungproterozoische Phyllite (Habachphyllite) der Älteren Tauernschieferhülle zwischen Gesteinen der permomesozoischen Jüngeren Tauernschieferhülle mit Hilfe von Mikrofossilspektren identifiziert werden (REITZ et al., in prep.). Im Grenzbereich dieser beiden Einheiten haben Verschuppungen und Einfaltungen stattgefunden. Für die alpidische Regionalmetamorphose werden im Kartiergebiet einheitlich „low-grade“-Bedingungen (nach WINKLER, 1979) postuliert.

Die wesentlichen Umwandlungsprozesse von organischem Material bis in Graphit erfolgen unter den Bedingungen der Diagenese bis Grünschieferfazies. Das Kartiergebiet bot gute Möglichkeiten, derartige Umwandlungsprozesse in Gesteinen der Älteren und der Jüngeren Schieferhülle anhand von Untersuchungen der Kohlenstoff-Kristallinität zu erfassen. Dabei sollte vor allem auch geklärt werden, ob Gesteine der Älteren Schieferhülle von einer höhergradigen voralpidischen Metamorphose betroffen sind als benachbarte, nur von der alpidischen Metamorphose geprägte Gesteine der Jüngeren Schieferhülle. Besondere Bedeutung wurde der Untersuchung der fossilführenden, oberproterozoischen, in die Jüngere Schieferhülle eingeschuppten Habachphyllite zugemessen. Zur Absicherung der Interpretation der Daten aus dem Kartiergebiet wurden Proben aus dem geologischen

Umfeld sowie sonstige Vergleichsproben in die Bearbeitung einbezogen.

# 2. Diagenetische und metamorphe Umwandlung organischen Materials

In klastischen Sedimenten und Metasedimenten sind häufig Anteile von organischem Material enthalten. Letzteres ist während der Diagenese und Metamorphose irreversiblen Veränderungen unterworfen. Diagenese- und Metamorphosegrad lassen sich über den Inkohlungsgrad und den Grad der Kohlenstoff-Kristallinität abschätzen.

Die Entwicklung vom organischen Ausgangsmaterial über die verschiedenen Inkohlungsstadien bis zum Graphit ist gekennzeichnet durch eine Zunahme des Kohlenstoffgehalts und der Vitrinit-Reflektivität bei gleichzeitiger Abnahme des Fluidgehalts (BARTENSTEIN & TEICHMÜLLER, 1974). Im Gegensatz zu Mineralumwandlungen während der Metamorphose ist die Inkohlung und Graphitisierung ein irreversibler Vorgang. Der wichtigste Faktor für die chemischen Prozesse bei der Inkohlung ist die Temperatur. Lose angeordnete aromatische Ringe mit aliphatischen Gruppen kondensieren zu größeren Clustern, wobei die aliphatischen Gruppen als Fluide abgeführt werden. Diese chemischen Veränderungen werden durch Druck verlangsamt, da das Entweichen der bei der Inkohlung freierwerdenden Fluide durch Druck behindert wird.

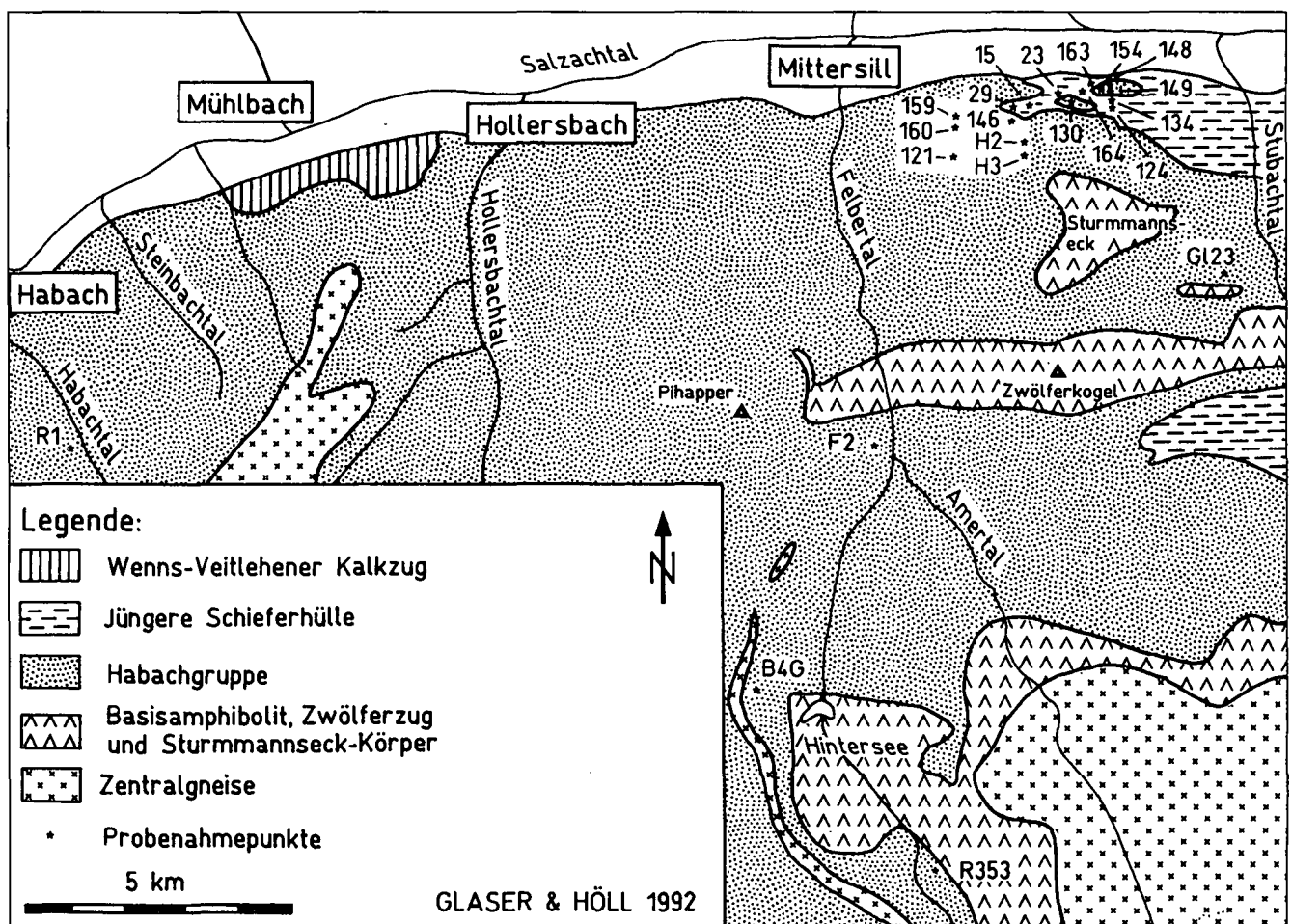


Abb. 1. Geologische Übersichtskarte mit Probenahmepunkten.

Während der Endphase der Inkohlung lagern sich die Moleküle zu welligen, subparallelen Lagen mit nur noch geringem Fluidgehalt übereinander. Es bildet sich die für Anthrazite typische „turbostratische“ Textur (OBERLIN et al., 1980). Der Durchmesser der Lagen wächst in Meta-Anthraziten auf 5–10 nm an. Die Größe der Kristallite ist nach GRIFFIN (1967) abhängig von der erreichten Höchsttemperatur. Beim Übergang zu Semi-Graphit nimmt der Durchmesser auf ca. 100 nm zu. Der Kohlenstoffgehalt steigt von ca. 93,5 % im Meta-Anthrazit auf über 96,5 % im Semi-Graphit an (TEICHMÜLLER, 1987). Die Zahl der Lagen pro Kristallit wächst von 2 bis 3 auf über 40. Gleichzeitig werden die einzelnen Lagen ebener. Dadurch zeigen Röntgendiffraktometeraufnahmen erstmals einen deutlichen (002)-Peak des Graphits. Die Störung der Lagen durch Volatile nimmt ab und auch die mit dem Röntgendiffraktometer meßbare Schichtdicke  $d$  (GRIFFIN, 1967; GREW, 1974). Bei weiter steigender Temperatur und begleitender Deformation verschwindet die turbostratische Textur (BONIJOLY et al., 1982). Der Durchmesser der Lagen nimmt noch zu. Es bildet sich ein dreidimensional geordneter Graphit.

Umstritten ist, ob Semi-Graphitisierung und Graphitisierung kontinuierliche oder sprunghafte Prozesse darstellen. GREW (1974) hält die Graphitisierung für einen kontinuierlichen Prozeß, wobei die größten Veränderungen in der „Chlorit-Zone“ der Grünschieferfazies stattfinden sollen. Auch ITAYA (1981) schließt auf einen graduellen Anstieg der Kohlenstoff-Kristallinität bei zunehmendem Metamorphosegrad. Reflexionsmessungen von DIESSEL & OFFLER (1975) verweisen auf sprunghafte Änderungen bei der Graphitisierung. Dabei können kohliges, koksartiges und graphitisches Material in einem Übergangsbereich nebeneinander existieren. DIESSEL & OFFLER (1975) zeigen, daß sich in der Natur Vitritit bereits bei Bedingungen in Graphit umwandelt, bei denen Inertinit noch als kohliges Material erhalten bleibt. DIESSEL et al. (1978) konnten in dichtgetrennten Fraktionen eines Handstücks über Röntgendiffraktometeraufnahmen verschiedene Graphit-Vorstufen erkennen.

Nach der Umwandlung des kohligten Materials in Graphit nimmt dessen Ordnungsgrad mit steigender Metamorphose weiter zu. Gut geordneter Graphit, beispielsweise „Zeylon-Graphit“ oder „Kropfmühl-Graphit“, liegt nach GREW (1974) ab der Sillimanitzone vor.

### 3. Metamorphose und Kohlenstoff-Kristallinität

Nach QUINN & GLASS (1958) können röntgenographische Untersuchungen bessere Auskunft über die Kohlenstoff-Kristallinität geben als chemische Analysen. FRENCH (1964) unterteilt die Graphit-Vorläuferphasen nach Form und Position des Graphit-(002)-Peaks. GRIFFIN (1967) postuliert einen Zusammenhang zwischen der Halbhöhenbreite dieses Peaks und der Größe der Kristallkeime. Er ordnet auch den verschiedenen Kohle- und Graphittypen jeweils eine typische Schichtdicke ( $d$ ) zu.

Die Einteilung in Graphit (= dreidimensional geordneter Graphit) und Graphit-d (Graphit-Vorläuferphasen,  $d$  für „disordered“) stammt von LANDIS (1971). Diese Graphit-Vorläuferphasen sind nach Form und Position des (002)-Peaks auf Röntgendiffraktometeraufnahmen weiter unterteilbar in Graphit- $d_1$ , - $d_{1A}$ , - $d_2$  und - $d_3$  (Abb. 2). Graphit (sensu LANDIS, 1971) zeigt einen intensiven, schmalen

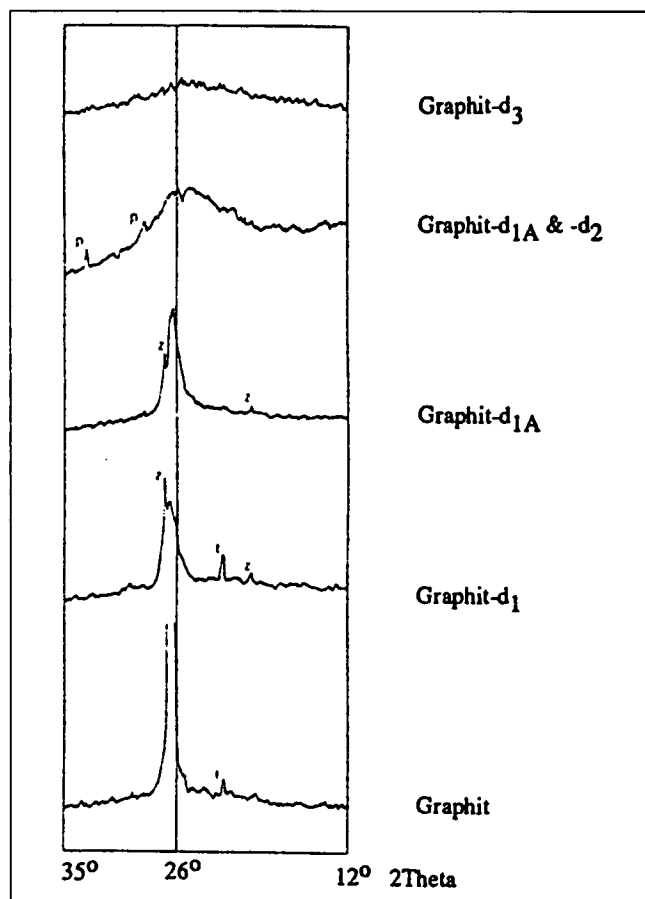
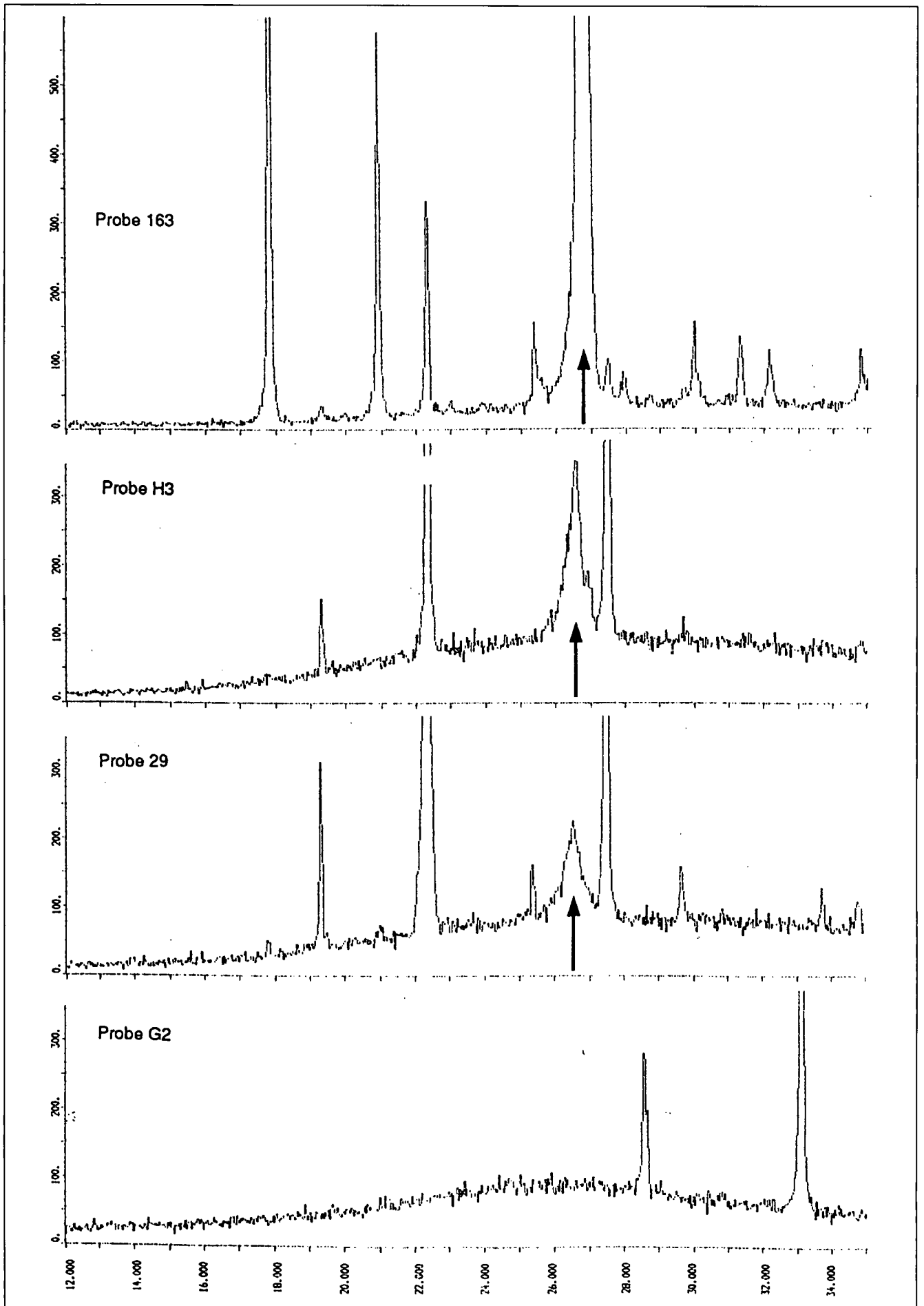


Abb. 2. Diffraktogramme von säureunlöslichen Rückständen metamorpher Sedimente. Von oben nach unten zunehmende Kristallinität von Graphit, die an der Intensität und Lage des (002)-Reflexes zu erkennen ist (LANDIS, 1971).  
p = Pyrit, z = Zirkon, t = Turmalin.

und symmetrischen (002)-Peak bei  $d = 0.335\text{--}0.336$  nm. Schwächere Reflexe zeichnen sich bei größeren Winkeln (2 Theta) ab (Reflexe bei (100), (101) und (004)). Für das erste Auftreten von Graphit wird eine Temperatur von mindestens 400°C veranschlagt (LANDIS, 1971). Perfekt geordneter Graphit wird allerdings erst bei höherem Metamorphosegrad erreicht. Graphit- $d_1$  zeigt einen weniger intensiven (002)-Peak bei  $d = \text{ca. } 0.335$  nm und keine weiteren Graphitreflexe. Der (002)-Peak von Graphit- $d_{1A}$  ähnelt jenem von Graphit- $d_1$ , ist jedoch noch schwächer ausgeprägt. Er erscheint bei  $d = \text{ca. } 0.34$  nm. Graphit- $d_2$  ist durch einen breiten (002)-Peak charakterisiert, dessen Maximum bei  $d = \text{ca. } 0.35$  nm liegt. Graphit- $d_3$  ist amorph oder zeigt ein breites, unscharfes Maximum bei  $d = 0.35\text{--}0.375$  nm. Mehrere der vorstehenden Graphit-Vorläuferphasen können in einer Probe gleichzeitig existieren.

Die wesentlichen strukturellen Änderungen (Entwicklung von Meta-Anthrazit über Semi-Graphit zu Graphit) erfolgen bei 300–480°C (>3 kbar) (im Labor: 1500–2000°C, 1 bar); gut geordneter Graphit tritt ab der Sillimanitzone auf (>660°C, >4.5 kbar; im Labor: 2500–3000°C, 1 bar) (GREW, 1974; FISHBACH, 1971).

Aufgrund der Unterschiede zwischen den Laborergebnissen und den Befunden in der Natur sind außer Druck und Temperatur weitere Parameter für die Graphitisierung zu erwägen. Dazu gehören die Dauer der Metamorphose, der hydrostatische Druck, die Zusammensetzung der umgebenden Fluidphase, die Art und Korngröße des Aus-



gangsmaterials und die Existenz begleitender Mineralien, die als Katalysator wirken können (DIESEL & OFFLER, 1975; ITAYA, 1981; BUSEK & BO-JUN, 1985).

Bedeutsam ist die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials. So kann Liptinit im Labor nur unter Extrembedingungen in Graphit umgewandelt werden (DIESEL & OFFLER, 1975). Auch in der Natur ist eine verzögerte Graphitisierung von Liptinit zu postulieren.

Für die Graphitisierung ist ferner ein „shear stress“ wesentlich. Schervorgänge können eine Graphitisierung auch bei relativ niedrigen Temperaturen verursachen. BONJOLY et al. (1982) erklären die Graphitbildung durch sich plötzlich entladende Spannungen, wenn diese die kohäsiven Kräfte zwischen den Kristallkeimen überschreiten.

Ein Einfluß auf die Strukturumwandlungsprozesse ist auch der Reaktion  $C + 2 H_2 \rightleftharpoons CH_4$  und den entsprechenden Fugazitäten und Aktivitäten zuzumessen (WINTSCH et al., 1981).

Gesteine aus Scherzonen können Graphit enthalten, der nicht aus organischem Material hervorgegangen ist, sondern aus einer Fluidphase abgeschieden wurde (ZIEGENBEIN et al., 1989). Derartiger Graphit in Scherzonen kann in seinem Ordnungsgrad deutlich von dem primär im Gestein enthaltenen organischen Material abweichen.

#### 4. Beprobung und Probenaufbereitung

Das gesamte Probenmaterial kann fünf Gruppen zugeordnet werden:

- ① Proben aus der Jüngeren Schieferhülle südöstlich Wilhelmsdorf.
- ② Habachphyllite südöstlich von Wilhelmsdorf, eingeschuppt in die Jüngere Schieferhülle (teilweise fossilführend).
- ③ Sonstige Habachphyllite vom Tauernnordrand bei Wilhelmsdorf.
- ④ Proben aus anderen Teilen des Tauernfensters.
- ⑤ Sonstige Vergleichsproben (Nördliche Grauwackenzone, Nördliche Kalkalpen, Böhmisches Masse, Münchberger Masse und Werra-Grauwackengebirge).

Die Proben aus dem Tauernfenster repräsentieren ein Profil vom Tauernnordrand im Salzachtal bis in die Nähe des Granatspitzkerns. Die beiden Proben aus der Nördlichen Grauwackenzone wurden von SLUITNER (1985) auf ihre Illit-Kristallinität untersucht. Der Kubler-Index betrug 2.4 (Probe SLI3, „Epizone“) bzw. 4.4 (Probe SLI21, „Anchizone“). Die Probe aus den Nördlichen Kalkalpen führt inkohltes Material. Der Graphitgneis aus Kropfmühl (Sillimanitfazies) enthält einen wohlgeordneten Graphit (FELBER, 1987). Die Proben aus dem Werra-Grauwackengebirge und aus der Umrahmung der Münchberger Masse repräsentieren anchimetamorphe bis niedriggradig metamorphe Gesteine.

Probenaufbereitung: Etwa 100 g der Probe werden zerkleinert und kurzzeitig in konzentrierter Salzsäure gekocht. Nach Dekantieren und zweimaligem Spülen mit destilliertem Wasser wird konzentrierte Flußsäure der aufbereiteten Probe zugegeben. Nach etwa 24 Stunden wird sie erneut zweimal gespült und nach einer Absetzzeit von etwa 20 Minuten mit konzentrierter Salzsäure gekocht. Nach

einem weiteren zweifachen Spül- und Absetzgang kann die Probe in dünner Schicht auf einen Objektträger aufgebracht und getrocknet werden. Neben organischem Material sind als unlösliche Rückstände vor allem Turmalin, Pyrit und Zirkon enthalten. Ferner können noch nicht gelöste Hellglimmer sowie Fluorosilikatkomplexe in der Probe zugegen sein.

#### 5. Auswertung der Ergebnisse und Diskussion

Die Messung erfolgte mit einem KRISTALLOFLEX 710 Röntgendiffraktometer mit  $CuK\alpha$ -Strahlung am Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie in München. Die Abtastgeschwindigkeit betrug  $2^\circ/\text{Minute}$ , der Papiervorschub war  $1 \text{ cm}/\text{Minute}$ , der Ordinatenmaßstab  $1 \text{ cm}/50$  Reflexe. Die Auswertung der Diffraktogramme erfolgte nach konventionellen Methoden.

Zur Abschätzung der Kohlenstoff-Kristallinität aus Diffraktogrammen dienen die Form des (002)-Peaks und die Schichtdicke d. Letztere wird aus dem Winkel  $2\theta$  mit dem Maximum des (002)-Peaks errechnet. Die Form des Peaks ist mit Hilfe des Quotienten aus Höhe und Halbhöhenbreite beschreibbar. In Abb. 4 wurde dieser Quotient gegen die Schichtdicke aufgetragen. Es ergibt sich eine Verteilung mit hyperbelförmiger Umgrenzung. Proben mit geringer Kohlenstoff-Kristallinität zeigen eine relativ hohe Schichtdicke und einen wenig ausgeprägten (002)-Peak. Die Proben liegen hier nahe der Ordinate. Bei Schichtdicken unter  $0.336 \text{ nm}$  nehmen die Werte des Quotienten deutlich zu. Der Kurvenverlauf approximiert die Parallele zur Abszisse bei  $d = 0.3349 \text{ nm}$  (Literaturwert für die Schichtdicke von vollkristallinem Graphit, McCLUNE, 1989).

##### ① Proben aus der Jüngeren Schieferhülle bei Wilhelmsdorf

( $d = 0.3355\text{--}0.3373 \text{ nm}$ ,  
Höhe/Halbhöhenbreite =  $5.6\text{--}200$ )

Die Diffraktogramme zeigen sowohl breite, niedrige (002)-Peaks mit kleinen Nebenmaxima als auch schmale, hohe (002)-Peaks. Die Proben sind als Graphit- $d_1$  und Graphit- $d_{1A}$  klassifizierbar (Nomenklatur nach LANDIS, 1971). Derartige Muster sind in Gesteinen der Grünschieferfazies verbreitet.

Auffallend ist die große Streuung der Meßwerte innerhalb dieser Probengruppe aus einem kleinen Gebiet und aus einer einzigen geologischen Einheit mit lediglich alpdischer metamorpher Prägung. Für die Kohlenstoff-Kristallinität sind Temperatur und Druck sowie die Beschaffenheit des Ausgangsmaterials und die Stärke der tektonischen Beanspruchung bedeutsam. Im vorliegenden Fall fehlen Hinweise auf signifikante metamorphe Temperatur- und Druckunterschiede und auf ein heterogenes Ausgangsmaterial. Die feldgeologischen Befunde verweisen jedoch auf unterschiedlich starke tektonische Deformation, die bei der Interpretation der Kohlenstoff-Kristallinität der vorliegenden Probengruppe zu berücksichtigen ist. Unter den gegebenen und im kleinen Beprobungsgebiet einheitlichen Metamorphosebedingungen wurde eine

Abb. 3.

Diffraktogramme von Gesteinen mit unterschiedlicher Kohlenstoff-Kristallinität. Die (002)-Peaks von Graphit sind mit Pfeil markiert.

Probe G2 (kohleführender Kalk): (002)-Peak nicht erkennbar, nur erhöhter Untergrund. Probe 29 (karbonatreicher Bündnerschiefer): Breiter, wenig intensiver (002)-Peak. Probe H3 (Habachphyllit): Deutlicher (002)-Peak von Graphit. Probe 163 (karbonatreicher Bündnerschiefer): Scharf begrenzt und hoher (002)-Peak von Graphit.

Tabelle 1.

Tabelle der Proben und Meßwerte der Kohlenstoff-Kristallinität.

Höh/Hhb = Höhe/Halbhöhenbreite in cm/2°; karb. Bs. = karbonatische Bündnerschiefer; Wild.Sch. = Wildschönauer Schiefer.

Probe	Herkunft	Gestein	d (nm)	Höhe/Hhb.
15	Wilhelmsdorfer Graben, 930 m SH	karb. Bs.	0.3367	12.6
23	200 m östlich des Wilhelmsdorfer Grabens, 920 m SH	karb. Bs.	0.3358	87.5
29	Bärenreiter Graben, 1000 m SH	karb. Bs.	0.3371	6
124	Amersbacher Graben, 950 m SH	quarzreiche Bs.	0.3363	31
134	Amersbacher Graben, 900 m SH	Brekzie	0.3373	5.6
163	400 m westlich des Amersbacher Grabens, 850 m SH	karb. Bs.	0.3355	200
164	500 m westlich des Amersbacher Grabens, 860 m SH	karb. Bs.	0.3368	13.6
130	700 m südöstlich Wilhelmsdorf, 1000 m SH	Habachphyllit	0.3365	15.5
148	Amersbacher Graben, 840 m SH	Habachphyllit	0.3351	255
149	Amersbacher Graben, 860 m SH	Habachphyllit	0.3352	71
154	200 m westlich des Amersbacher Grabens, 850 m SH	Habachphyllit	0.3350	191
H2	östlicher Wilhelmsdorfer Graben, 1240 m SH	Habachphyllit	0.3354	65
H3	östlicher Wilhelmsdorfer Graben, 1260 m SH	Habachphyllit	0.3366	12.3
121	Lambachgraben, 1250 m SH	Habachphyllit	0.3351	143
146	Bärenreiter Graben, 1030 m SH	Habachphyllit	0.3350	426
159	Lambachgraben, 1040 m SH	Habachphyllit	0.3366	15
160	Lambachgraben, 1080 m SH	Habachphyllit	0.3363	13.6
GI23	Sturmbachgraben (Stubachtal), 1150 m SH	Habachphyllit	0.3367	16.9
Fe2	westlich des Bergeteichs der WBH (Felbental)	Graphitquarzit	0.3350	922
B4G	Schneebach (hinteres Felbental), 1800 m SH	Bi-Ab-Gneis	0.3366	38.3
R353	Plattsee (hinteres Felbental)	Graphitquarzit	0.3352	640
R1	Habachtal, 3 km südlich des Talausgangs	Habachphyllit	0.3363	25
SLI3	nordöstlich Uttendorf, Nördliche Grauwackenzone	Graphitschiefer	0.3357	96
SLI21	südlich Hinterglemm, Nördliche Grauwackenzone	Wildsch. Sch.	0.3359	40
G2	Steinbruch Eiberg bei Kufstein, Nördliche Kalkalpen	Kalk	-	ca. 0.2
Kro	Graphitbergbau Kropfmühl bei Passau, Böhmisches Masse	Graphitgneis	0.3349	4400
WGG	Werra-Grauwackengebirge	Graphitphyllit	0.3356	89
SSSS	Steinbruch Scherun bei Schwarzenbach, Münchberger Masse	Phyllit	0.3352	163

Kohlenstoff-Kristallinität des Typus Graphit- $d_{1A}$  bei relativ geringer Deformation erreicht und jene des Typus Graphit- $d_1$  auch in stark deformierten Gesteinen nicht überschritten.

② Habachphyllite südöstlich Wilhelmsdorf, eingeschuppt in die Jüngere Schieferhülle (teilweise fossilführend)

(d = 0.3350–0.3365 nm,  
Höhe/Halbwertsbreite = 15.5–191)

und

③ Sonstige Habachphyllite vom Tauernnordrand bei Wilhelmsdorf

(d = 0.3350–0.3366 nm,  
Höhe/Halbwertsbreite = 12.3–426)

Diese beiden Gruppen mit oberproterozoischen Habachphylliten werden gemeinsam beschrieben, da signifikante Unterschiede in ihrer Kohlenstoff-Kristallinität nicht nachweisbar sind. Die meisten Proben liegen in den Feldern des Graphit- $d_{1A}$  und des Graphit- $d_1$  in Übereinstimmung mit den benachbarten mesozoischen Proben aus der Jüngeren Schieferhülle. Nur drei Proben plotten im angrenzenden Bereich des Graphit-Feldes (Abb. 4). Die Verteilungsmuster für die Breite und die Höhe des (002)-Peaks in den Habachphylliten und in den Gesteinen der Jüngeren Schieferhülle zeigen ebenfalls eine weitgehende Überlappung und keine statistisch erfaßbaren Un-

terschiede, wenngleich niedrige und breite Peaks mit einem Quotienten Höhe/Halbwertsbreite <10 nur in Gesteinen der Jüngeren Schieferhülle gefunden wurden und der entsprechende Minimalwert bei den Habachphylliten bei 12.3 lag. Für einen Metamorphosesprung zwischen den oberproterozoischen Habachphylliten der Älteren Schieferhülle und den benachbarten mesozoischen Gesteinen der Jüngeren Schieferhülle im kleinen Beprobungsbereich südöstlich von Wilhelmsdorf unmittelbar südlich der Tauernnordrandstörung konnten aufgrund der Kohlenstoff-Kristallinität und nach mineralfaziellen Kriterien keine Hinweise gefunden werden. Der irreversible Vorgang der Inkohlung und Graphitisierung dokumentiert das höchstgradige Metamorphoseereignis, insbesondere dessen Temperaturmaximum unter den bereits in Kapitel „Metamorphose und Kohlenstoff-Kristallinität“ genannten Nebenbedingungen. Diese Befunde sprechen gegen eine die niedriggradige alpidische Metamorphose übersteigende metamorphe Prägung der Habachphyllite am Tauernnordrand bei Wilhelmsdorf. Andernfalls wären höhere Durchschnitts-, Maximal- und Minimalwerte des Quotienten Höhe/Halbwertsbreite für den (002)-Peak zu erwarten. Dieser Befund steht jedoch nicht im Widerspruch zu präalpidischen Prägungen in anderen Teilen des Tauernfensters. Bereits im 1 km weiter südlich gelegenen Sturmmanneck-Körper ist eine präalpidische amphibolitfazielle Metamorphose nachgewiesen (FRASL, 1958; HÖLL, 1975; GLASER, 1991; LOTH, 1991) ebenso im südlich anschließenden Zwölferzug (v. QUADT, 1992).

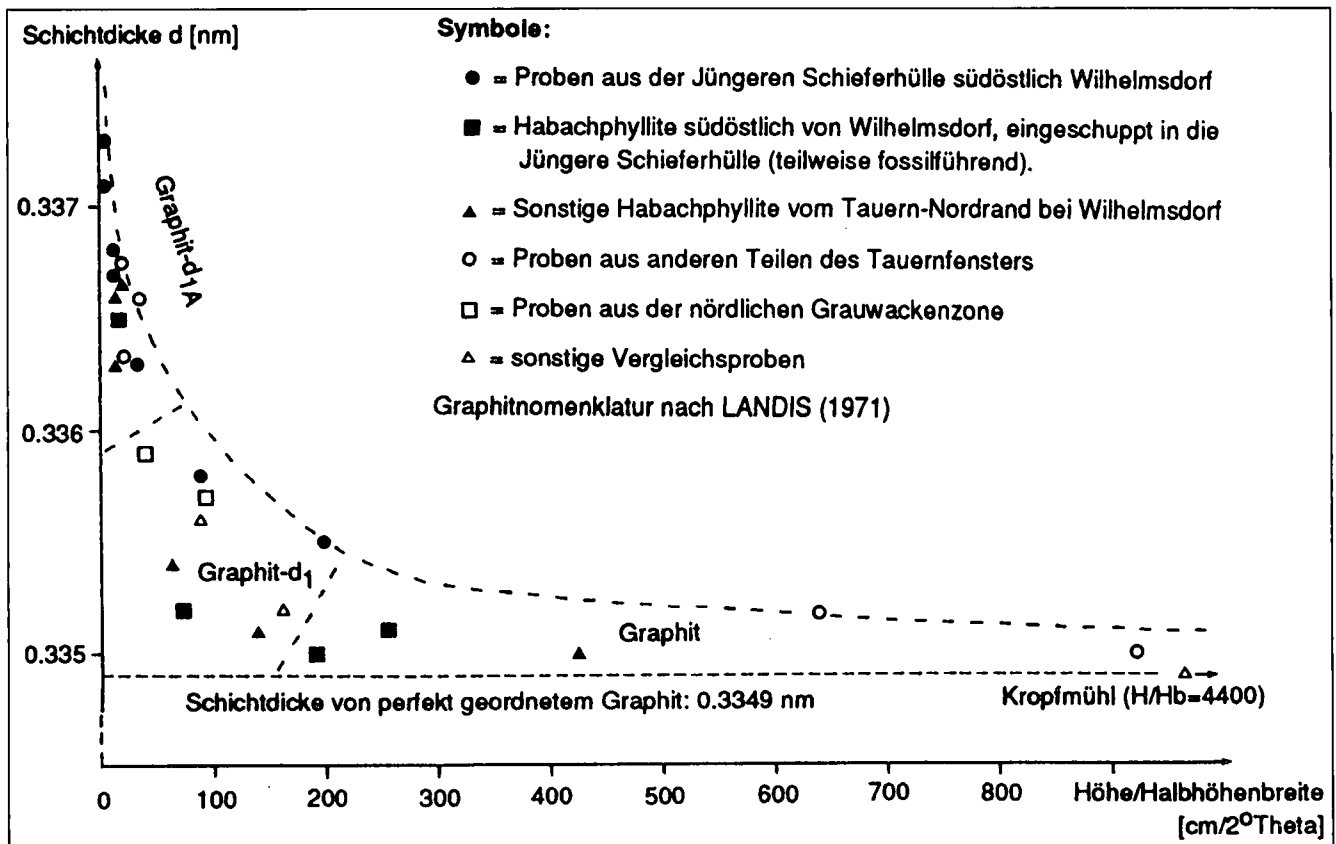


Abb. 4. Die Schichtdicke d von Graphit aufgetragen gegen den Quotienten von Höhe und Halbhöhenbreite. Die Probenverteilung ist hyperbelförmig umgrenzbar.

Interessant ist der Vergleich der Kohlenstoff-Kristallinität mit dem Erhaltungszustand von säurebeständigen Mikrofossilien in den Proben 130 und 148 (Abb. 5): Probe 148 mit gut erhaltenen oberproterozoischen Acritarchen zeigt einen scharfen und hohen (002)-Peak des Graphits, der auf eine hohe Kristallinität hinweist. In Probe 130 mit deutlich schlechterer Fossilierhaltung ist der (002)-Peak niedriger und breiter als in Probe 148. Eine bessere Fossilierhaltung in Gesteinen mit höherer Kohlenstoff-Kristallinität ist nicht ungewöhnlich. Sie kann damit erklärt werden, daß höher kristalline organische Substanz von rezenten Mikroorganismen weniger intensiv zersetzt wird (REITZ et al., in prep.).

#### ④ Proben aus anderen Teilen des Tauernfensters

(d = 0.3350–0.3367 nm,  
Höhe/Halbwertsbreite = 16.9–922

Eine Probe aus dem Sturmbachgraben (GL 23) und eine Probe von fossilführenden Habachphylliten aus dem Habachtal (R1), (beide jeweils etwa 3 km südlich des Salzachtals) zeigen schwach ausgeprägte (002)-Peaks und Schichtdicken über 0.336 nm. Ihre Kohlenstoff-Kristallinität entspricht jener in den Proben vom Tauernnordrand bei Wilhelmsdorf (Probengruppen 2 und 3). Hohe Werte für die Kohlenstoff-Kristallinität wurden dagegen in zwei Proben aus dem hinteren Felbertal gemessen (RE 353 und Fe2) (Abb. 6: Probengruppe 4, beide rechts liegenden Punkte). Sie liegen deutlich über den höchsten Werten vom Tauernnordrand. Dieser Befund steht im Einklang mit dem wohlbekanntem, mineralfaziell gesicherten Anstieg der Metamorphose vom Tauernnordrand nach Süden zum zentralen Tauernfenster.

#### ⑤ Sonstige Vergleichsproben

Die Kohlenstoff-Kristallinität zweier Proben aus der Nördlichen Grauwackenzone unweit nördlich des Salzachtals nahe Wilhelmsdorf entspricht jener der Habachphyllite und der Bündnerschiefer am Tauernnordrand südlich des Salzachtals. SLUITNER (1985) hatte diese Proben bezüglich ihrer Illit-Kristallinität untersucht und der „Epizone“ bzw. dem „oberen Bereich der Anchizone“ zugeordnet. Auch die eigenen Meßwerte sprechen für eine grünschieferfazielle Metamorphose. Ein Unterschied in der Kohlenstoff-Kristallinität von Proben aus dem Bereich der Älteren und Jüngeren Schieferhülle südlich des Salzachtals und aus der Nördlichen Grauwackenzone nördlich des Salzachtals in der Umgebung von Wilhelmsdorf ist nicht erfaßbar.

Eine Probe aus den Nördlichen Kalkalpen zeigt keinen (002)-Peak von Graphit. Die Untergrundstrahlung ist zwischen 18 und 30° [2Theta] lediglich etwas erhöht. Eine mikroskopische Abschätzung der Vitrinit-Reflektivität ergab den Wert von 1.7 % (Mündl. Mitt. von Herrn Priv.-Doz. Dr. E. REITZ, München). Dies entspricht einer Esskohle. Ein extremer (002)-Peak von Graphit ist in einer Graphitgneisprobe aus Kropfmühl festzustellen (Höhe/Halbhöhenbreite: 4400). Die gemessene Schichtdicke d entspricht exakt dem Literaturwert für perfekt kristallisiertem Graphit von 0.3349 nm (MCCLUNE, 1989). Keine der Proben aus dem Tauernfenster (höchstens amphibolitfaziell metamorph) erreicht diesen Grenzwert.

Proben aus dem Werra-Grauwackenengebirge und aus der Prasinit-Phyllit-Zone in der Umrahmung der Münchberger Masse ergaben einen hohen und scharfen (002)-Peak, der einem Graphit-d<sub>1</sub> entspricht. Im Bereich der grünschiefer-

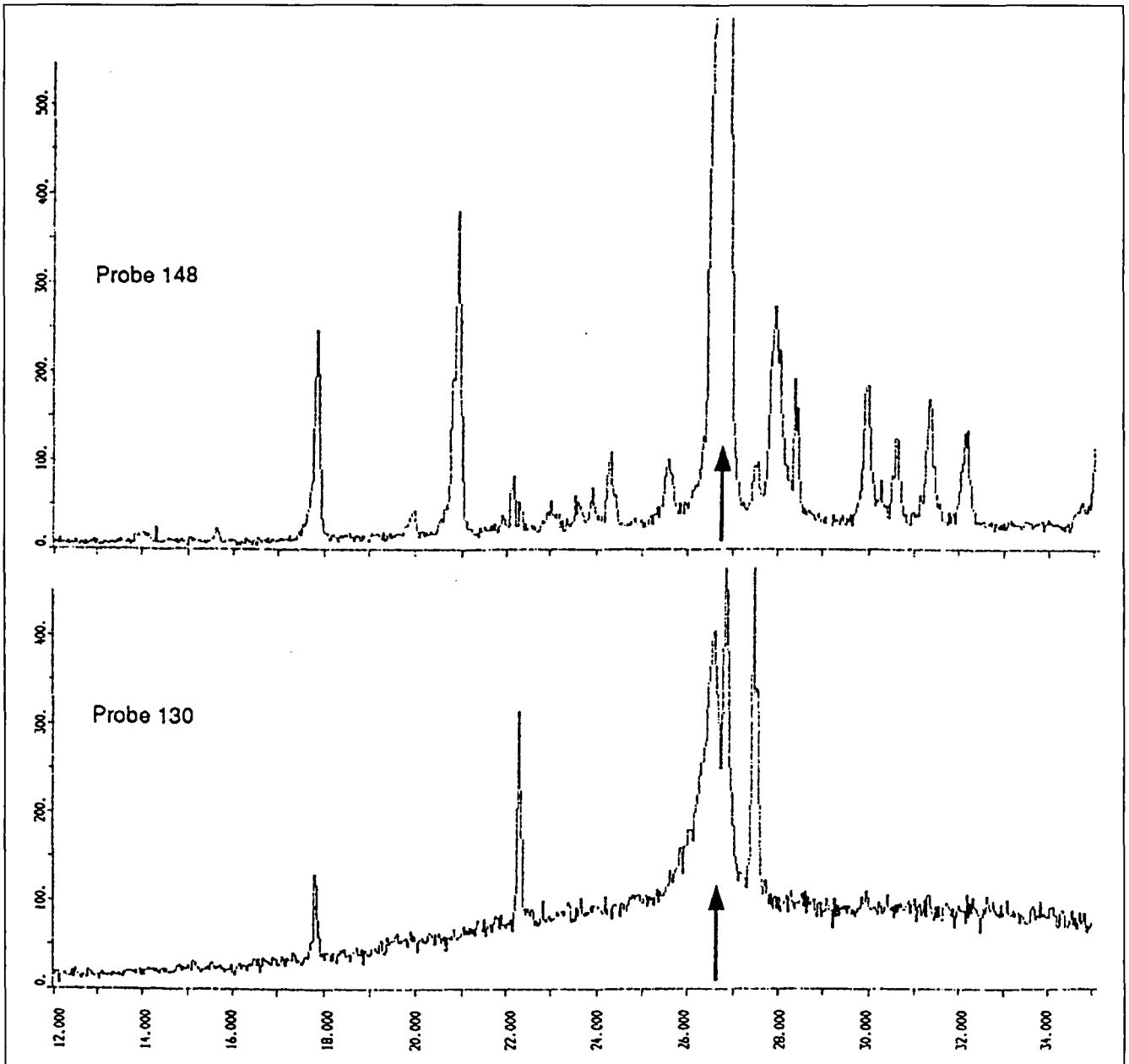


Abb. 5. Diffraktogramme von fossilführenden Habachphylliten. Probe 130 (unten) mit schlechter Fossilierhaltung: Graphit-(002)-Peak von mittlerer Höhe. Probe 148 (oben) mit guter Fossilierhaltung: scharfer und hoher (002)-Peak.

faziellen Metamorphose ist dies ein relativ hoher Wert, der auf eine tektonische Beanspruchung des Gesteins oder auf ein leicht graphitisierbares Ausgangsmaterial hinweist. Beide Proben erbrachten gut erhaltene Mikrofos-

silspektren (Mündl. Mitt. von Herrn Priv.-Doz. Dr. E. REITZ, München). Möglicherweise führte diese hohe Kohlenstoff-Kristallinität auch in diesen Proben zur guten Mikro-

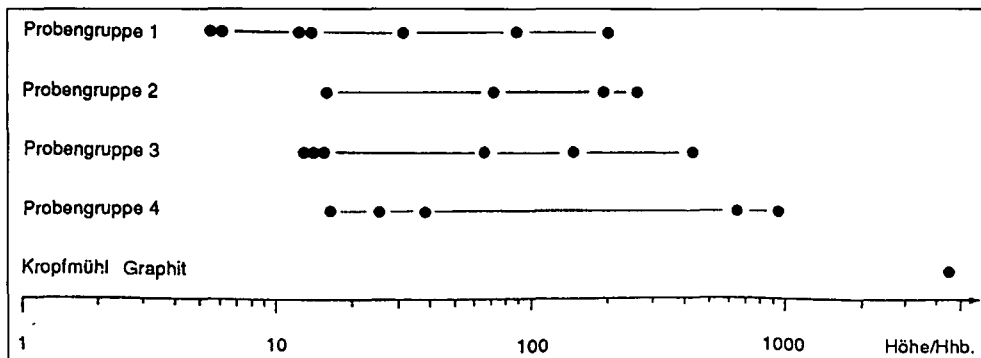


Abb. 6. Vergleich der Quotienten Höhe/Halbhöhenbreite [ $\text{cm}/2^\circ\theta$ ] in den Probengruppen 1, 2, 3 und 4 (logarithmische Skala). Wert von Kropfmühl-Graphit (rechts unten) zum Vergleich.



## 6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

- 1 Die Kohlenstoff-Kristallinität in oberproterozoischen Habachphylliten der Älteren Tauernschieferhülle und in benachbarten mesozoischen Bündnerschiefern der Jüngeren Tauernschieferhülle aus einem kleinen Beprobungsgebiet nahe dem Tauernnordrand südöstlich von Mittersill sowie in Vergleichsproben aus anderen Gebieten wurde röntgendiffraktometrisch bestimmt. Der vornehmlich temperaturgesteuerte, irreversible Vorgang der Inkohlung und Graphitisierung mit der Markierung des höchstgradigen Metamorphoseereignisses, insbesondere von dessen Temperaturmaximum, sollte Hinweise auf den Grad präalpidischer metamorpher Ereignisse liefern.
- 2 In diesem Beprobungsgebiet sind keine Unterschiede in der Kohlenstoff-Kristallinität und in der niedriggradigen Metamorphose zwischen den teilweise fossilführenden, jungproterozoischen und den sicher nur alpidisch geprägten mesozoischen Metasedimenten nachweisbar. Die Diffraktogramme zeigen für grünschieferfazielle Bedingungen typische Muster mit breiten, niedrigen (002)-Peaks des Graphits als auch mit schmalen, hohen (002)-Peaks. Die Streuung der Meßwerte innerhalb der Probengruppen ist mindestens teilweise auf unterschiedlich intensive Deformationen zurückführbar. Die Proben sind durchwegs als Graphit-d<sub>1</sub> und als Graphit-d<sub>1A</sub> klassifizierbar.
- 3 Ein zunehmender Ordnungsgrad des Graphits vom Tauernnordrand nach Süden bis zum zentralen Tauernfenster entspricht der gleichgerichteten Zunahme der alpidischen Metamorphose. Keine unserer Proben aus dem Tauernfenster erreicht jedoch den Grenzwert für perfekt geordneten Graphit.
- 4 Metasedimente aus der altpaläozoischen Nördlichen Grauwackenzone unmittelbar nördlich des Salzachtals östlich von Mittersill zeigen keine Unterschiede in ihrer Kohlenstoff-Kristallinität gegenüber jener der Proben aus der Älteren und Jüngeren Tauernschieferhülle unmittelbar südlich des Salzachtals.
- 5 Eine bessere Mikrofossilhaltung in Metasedimenten mit höherer Kohlenstoff-Kristallinität als in benachbarten Gesteinen mit niedrigeren Werten ist erklärbar, da höher kristalline organische Substanz oberflächennah von rezenten Mikroorganismen weniger intensiv zersetzt wird.

### Dank

Wir danken den Herren Dipl.-Geol. R. EICHHORN, Prof. Dr. H. HEINISCH, Dipl.-Geol. M. KUPFERSCHMIED, Dipl.-Geol. G. LOTH und Priv.-Doz. Dr. E. REITZ für die Überlassung von Gesteinsproben und Diskussionen.

### Literatur

- BARTENSTEIN, H. & TEICHMÜLLER, R. (1974): Inkohlungsuntersuchungen, ein Schlüssel zur Prospektierung von paläozoischen Kohlenwasserstoff-Lagerstätten? – Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., **24**, 129–160, Düsseldorf.
- BONIJOLY, M., OBERLIN, M. & OBERLIN, A. (1972): A possible mechanism for natural graphite formation. – Int. J. Coal Geol., **1**, 283–312, Amsterdam.

BUSEK, P.R. & BO-JUN, H. (1985): Conversion of carbonaceous material to graphite during metamorphism. – Geochim. Cosmochim. Acta, **49**, 2003–2016, Oxford.

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

DIESEL, C.F.K. & OFFLER, R. (1975): Change in physical properties of coalified and graphitized phytoclasts with grade of metamorphism. – N. Jb. Miner. Mh., **1975**, 11–26, Stuttgart.

FELBER, J. (1987): Geologische Studien der Kropfmühl-Serie. – Diss. Univ. München, 236 S.

FISHBACH, D.B. (1971): The kinetics and mechanism of graphitization. – In WALKER, P.L. (ed.): Chemistry and physics of carbon. Dekker, 107–154, New York.

FRASL, G. (1958): Zur Seriengliederung der Schieferhülle in den Mittleren Hohen Tauern. – Jb. Geol. B.-A., **101**, 323–472, Wien.

FRENCH, B.M. (1964): Graphitization of organic material in a progressively metamorphosed Precambrian iron formation. – Science, **146**, 917–918, Washington.

GLASER, S. (1991): Die Geologie des Stubachtal-Südhangs bei Wilhelmsdorf (Bundesland Salzburg, Österreich). – Unveröff. Diplomarbeit Univ. München, 83 S.

GREW, E.S. (1974): Carbonaceous material in some metamorphic rocks of New England and other areas. – J. Geol., **82**, 50–73, Chicago.

GRIFFIN, G.M. (1967): X-ray diffraction techniques applicable to studies of diagenesis and low rank metamorphism in humic sediments. – J. Sed. Petr., **37**, 1006–1011, Tulsa.

HÖLL, R. (1975): Die Scheelit-Lagerstätte Felbertal und der Vergleich mit anderen Scheelitvorkommen in den Ostalpen. – Bayer. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl., 157 A, München.

ITAYA, T. (1981): Carbonaceous material in pelitic schists of the Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. – Lithos, **14**, 215–224, Oslo.

LANDIS, C.A. (1971): Graphitization of dispersed carbonaceous material in metamorphic rocks. – Contrib. Mineral. Petrol., **30**, 34–45, Berlin.

LOTH, G. (1991): Die Geologie des vorderen Stubachtal-Westhangs (Land Salzburg, Österreich). – Unveröff. Diplomarbeit Univ. München, 98 S.

MCCLUNE, W.F. (1989): Powder Diffraction File, Inorganic Phases. – International Centre for Diffraction Data, Swartmore, USA.

OBERLIN, A., BOULMIER, J.L. & VILLEY, M. (1980): Electron microscopy of kerogen microstructure. – In: DURAND, B. (ed.): Kerogen. – Technic, 191–241, Paris.

QUADT, A.v. (1992): U-Pb zircon and Sm-Nd geochronology of mafic and ultramafic rocks from the central part of the Tauern Window (Eastern Alps). – Contrib. Mineral. Petrol., **110**, 57–67, Berlin.

QUINN, A.W. & GLASS, H.D. (1958): Rank of coal and metamorphic grade of rocks of the Narragansett Basin of Rhode Island. – Econ. Geol., **53**, 563–576, Lancaster.

REITZ, E., GLASER, S. & HÖLL, R. (in prep.): Ein neuer Nachweis von jungproterozoischen Mikrofossilien aus Schwarzphylliten am Tauernnordrand (Salzburg, Österreich).

SLUITNER, Z. (1985): Geologische Neuaufnahme des Gebiets um Uttendorf/Österreich und Methodik der Bestimmung der Illit-Kristallinität am Beispiel eines geologischen Profils durch die Nördliche Grauwackenzone. – Unveröff. Diplomarbeit Univ. München, 183 S.

- TEICHMÜLLER, M. (1987): Organic material and very low-grade metamorphism. – In FREY, M. (ed.): Low temperature metamorphism. – Chapman and Hall, 114–161, New York.
- WINTSCH, R.R., O'CONNELL, A.F., RANSON, B. & WIECHMANN, M.J. (1981): Evidence for the influence of CH<sub>4</sub> on the crystallinity of disseminated carbon in greenschist facies rocks, Rhode Island, USA. – Contrib. Mineral. Petrol., **77**, 207–213, Berlin.
- WINKLER, H.G.F. (1979): Petrogenesis of metamorphic rocks. – Springer, 348 S., Heidelberg.
- ZIEGENBEIN, J. (1989): Graphit-Fluid-Wechselwirkungen: Einfluß der Graphit-Kristallinität. – KTB Report, **90/4**, 559, Gießen.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 25. Juli 1992