©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Jb. Geol. B.-A.	ISSN 0016-7800	Band **135**	Heft 2	S. 493-511	Wien, Mai 1992

Mikrotexturelle, sedimentpetrographische und geochemische Vergleichsuntersuchungen an jungpaläozoischen Diamiktiten der Ostantarktis, präkambrischen Diamiktiten Schottlands und glazialen Sedimenten der Ostalpen

Von GERHARD POSCHER*)

Mit 10 Abbildungen, 3 Tabellen und 2 Tafeln

Antarktis
Schottland
Ostalpen
Glazialgeologie
Sedimentologie

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 117

Inhalt

Zusammenfassung . . . 493
Abstract . . . 494
1. Einleitung . . . 494
2. Mikrotexturen von Diamiktiten, Grundmoränen und Tilliten im Vergleich . . . 494
2.1. Untersuchungen zum (Mikro-)Gefüge von Grundmoränen . . . 494
2.2. Jungpaläozoische Diamiktite der Kottas-Berge/Antarktis . . . 496
2.2.1. Diamiktitfazies . . . 496
2.2.2. Texturmerkmale des Diamiktits . . . 497
2.3. Vergleich und Diskussion . . . 497
2.3.1. Lithofazies . . . 497
2.3.2. Mikrotexturen . . . 498
3. Korngrößenuntersuchungen an Diamiktiten und Grundmoränen . . . 498
3.1. Allgemeines . . . 498
3.2. Ergebnisse . . . 498
3.2.1. Korngrößenuntersuchung von Diamiktiten . . . 498
3.2.2. Vergleichende Untersuchungen . . . 499
4. Zur Aussagekraft der Schwermineralanalyse für glazialgeologische Fragestellungen . . . 501
4.1. Allgemeines . . . 501
4.2. Ergebnisse . . . 501
4.3. Diskussion und Interpretation . . . 503
5. Spurenelemente als Faziesindikatoren für glaziales Environment . . . 503
5.1. Allgemeines . . . 503
5.2. Ergebnisse und Diskussion . . . 504
5.3. Schlußfolgerungen . . . 505
6. Verwitterungsindizes als fazieskritische Klimaindikatoren . . . 505
6.1. Allgemeines . . . 505
6.2. Ergebnisse und Diskussion . . . 505
7. Zusammenfassende Bewertung . . . 506
Dank . . . 506
Literatur . . . 507

Zusammenfassung

Die sedimentologische und petrographische Bearbeitung jungpaläozoischer glazialer Diamiktite der Beacon Supergroup aus den Kottas-Bergen der Heimefrontfjella (Antarktis) wurde durch vergleichende Untersuchungen an inneralpinen Grundmoränen (Ostalpen), präkambrischen Diamiktiten der Port Askaig Formation (Schottland), jungpaläozoischen Tilliten Südafrikas und rezenten glazialen Sedimenten des Vatnajökull (Island) geeicht und ergänzt.

Die vergleichende Analyse von Mikrostrukturen glazialer Sedimente bietet eine aussagekräftige Ergänzung zur lithofaziellen Interpretation von Diamiktiten. Der Vergleich von Korngrößenparametern von Diamiktiten mit denen von Grundmoränen aus Bildschirm- bzw. Siebanalyse liefert hingegen keine faziell verwertbaren Ergebnisse.

Die schwermineralpetrographischen Arbeiten zeigen glazialgeologisch bedingte Verschiebungen bzw. Anreicherungseffekte innerhalb eines fluviatil definierten Spektrums auf. Die Ursachen des Granatreichtums jungpaläozoischer Diamiktite bzw. Tillite werden am Beispiel pleistozäner alpiner Sedimente erläutert.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. Ing. GERHARD POSCHER, Ingenieurgemeinschaft Lässer-Feizlmayr, Framsweg 16, A-6020 Innsbruck.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Aus der Reihe geochemischer Vergleichsuntersuchungen haben sich Verwitterungsindizes als ein brauchbares Kriterium erwiesen. Sie schienen vor allem bei Fehlen eindeutiger Fazieskriterien zur Abschätzung einer möglichen glazialen Entstehung eines Diamiktites geeignet zu sein.

Microtextural, Sedimentological and Geochemical Investigations Comparing Upper Paleozoic Diamictites of Eastern Antarctica, Pre-Cambrian Diamictites of Scotland and Glacial Sediments of the Eastern Alps

Abstract

Sedimentological and petrological research on Permo-Carboniferous glacial diamictites of the Beacon Supergroup (Heimefrontfjella, Antarctica) was completed and compared by research on alpine tills (Austrian Alps), on Precambrian diamictites of the Port Askaig Formation (Scotland), on Permo-Carboniferous tillites of South Africa and on recent glacial sediments of the Vatnajökull area (Iceland).

Comparing results of microstructure-analysis is an excellent method to complete lithofacial interpretation of glacial diamictites. On the other hand there is no evidence to get environmental information by comparing grain-size parameters of diamictites taken by screen-analysis and grain-size parameters of tills by using sieve analysis.

Heavy mineral compositions show strong influence in response to glacial geological processes. The cause of the high concentration of garnets in Permo-Carboniferous diamictites and tillites is explained for instance by alpine glacial sedimentation.

Another tool for the estimation of the possible glacial origin of diamictites is to use geochemical alteration indices.

1. Einleitung

Anläßlich der zweiten Landexpedition in die Kottas-Berge der Heimefrontfjella/Neuschwabenland, Ostantarktis (ANT VI/3, 1987/88) des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven (FÜTTERER, 1988) wurde eine fazielle Bearbeitung der jungpaläozoischen Sedimente der Beacon Supergroup dieses Gebiets vorgenommen. Der Nachweis einer jungpaläozoischen Vereisung der Kottasberge konnte erbracht werden (POSCHER, 1988a, 1989), eine Faziesanalyse der jungpaläozoischen Sedimente der Heimefrontfjella liegt vor (POSCHER, 1990).

Durch die laufende Bearbeitung quartärer inneralpiner Sedimente war es naheliegend, durch einzelne Parameterstudien an pleistozänen und rezenten glazialen Ablagerungen die Aussagekraft gängiger Untersuchungsmethoden für die Interpretation permokarboner glazialer Sedimente zu testen.

Die vergleichenden Untersuchungen wurden an Grundmoränenproben petrographisch unterschiedlicher Einzugsgebiete aus natürlichen Aufschlüssen oder Kernbohrungen durchgeführt.

Es handelt sich dabei um quarzphyllitdominierte Grundmoräne aus den Aufschlüssen für die Eisenbahnumfahrung Innsbruck, um kalkalpine und kristalline Grundmoränen aus dem Inntal westlich Innsbruck (POSCHER, 1988b), um Proben aus dem Ötztal, dem Dorfertal (POSCHER, 1988c) und dem Gebiet der Zeller Furche.

Bei sämtlichen Proben handelt es sich um hochkonsolidierte Grundmoränen (Grundmoräne s.str. als Synonym für „Lodgement-Till" sensu DREIMANIS, 1988).

Zusätzlich wurde für diese Untersuchungen Probenmaterial von präkambrischen glazialen Diamiktiten der Port Askaig Formation (Schottland), von jungpaläozoischen Tilliten Südafrikas sowie von rezenten glazialen Sedimenten aus dem Vereisungsgebiet des Vatnajökull (Island) mit einbezogen (Abb. 1).

2. Mikrotexturen von Diamiktiten, Grundmoränen und Tilliten im Vergleich

2.1. Untersuchungen zum (Mikro-)Gefüge von Grundmoränen

Die Probleme um eine nähere fazielle Definition von Tilliten und Diamiktiten legen den Vergleich mit pleistozänen und rezenten glazialen bzw. glazigenen Sedimenten definierter Lithofazies nahe.

Aus diesem Grund wurden inneralpine Grundmoränen und Proben verschiedener Diamiktite hinsichtlich ihrer mikroskopischen Texturparameter getestet.

Die Ausbildung und Wirksamkeit des Trennflächengefüges, der Bindemitteltextur und des Komponentengerüsts fanden mit wenigen Ausnahmen (SITLER & CHAPMAN, 1955) erst in jüngster Zeit und hier vor allem in der geotechnischen Literatur Beachtung (BAERMANN & WÜSTENHAGEN, 1985; PALUSKA, 1985).

Die eigenen Dünnschliffuntersuchungen erbrachten folgende übergeordneten Charakteristika des Grundmoränenmaterials:

Das s-Flächengefüge von Grundmoränen ist mikroskopisch im Idealfall als bruchhafte Foliation ausgebildet. Flexuren können durch feinstkörnige Matrix oder oxidische Ausfällungen (Tafel 2, Fig. 5) verheilt sein.

Meist werden s-Flächen als Scherbruchzonen mit bevorzugter Komponentenorientierung deutlich. dabei kann es zu regelhaften Knickungen des Kornverbandes (Tafel 2, Fig. 6) bis zum Abscheren von Falten kommen.

Das System Grundmoräne verfügt über eine hohe Teilbeweglichkeit des Kornverbandes. Diese äußert sich z.B. als Einregelung im Umfeld sandig-kiesiger Komponenten (Tafel 2, Fig. 6, r.u.)

Generell ist diese Teilbeweglichkeit jedoch vom Mineralbestand abhängig. Der Anteil an Schichtsilikaten spielt für die Ausbildung der Foliationsmuster eine entscheidende Rolle, wobei den schichtsilikatreichen La-

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

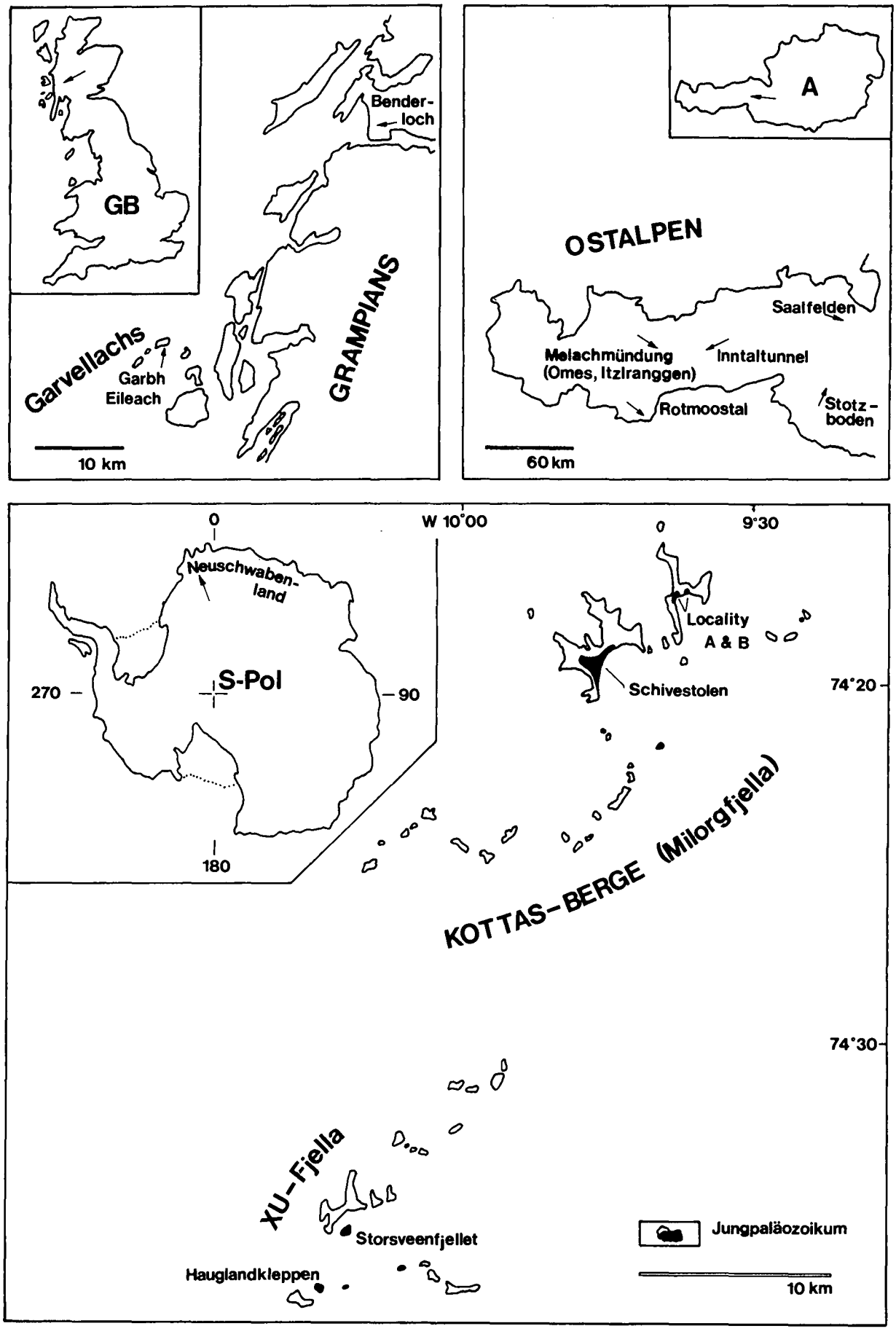


Abb. 1.
Lage der Arbeitsgebiete.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

gen die Rolle des Bewegungshorizontes zukommt. Eher selten ist die Bildung von Falten -und Fließstrukturen zu beobachten (Tafel 2, Fig. 8).

Die Ausbildung eines generell geordneten Gefüges wird verhindert, da sich die Strukturen vielfach an Korngrenzen sandig-kiesiger Komponenten anlehnen (Tafel 2, Fig. 5). Vereinzelt kann auch der Bruch von Komponenten beobachtet werden, vor allem in karbonatreichen, schichtsilikatarmen Grundmoränen (Tafel 2, Fig. 5). In zentralalpinen Grundmoränen des Inntales wird der Bruch und die Desintegration von relativ großen Granatkörnern beobachtet (Tafel 2, Fig. 7 r.o.).

Die Foliation basaler glazialer Sedimente kann durch eine scherspannungsfrei wirkende Eisauflast nicht befriedigend erklärt werden. Die Strukturierungen in Sedimenten sind aus Schubverformungen abzuleiten (PALUSKA, 1985), die zur Ausbildung der bereits erwähnten Scherbruchzonen führen. Diese Überlegungen werden von den Beobachtungen und experimentellen Untersuchungen von TCHALENKO (1968) über die Ausbildung des s-Flächengefüges und der Kompressionstexturen in Massenbewegungen gestützt.

Konsolidierung und Gefügeprägung eines basalen Tills sind daher bedingt durch eine Gewichtslast (Eismächtigkeit) und eine Schubbeanspruchung. Aus diesem Grund müssen Ansätze, aus der Konsolidierung basalen Tills eine Rückrechnung der maximalen Eisauflast zu versuchen, kritisch betrachtet werden.

2.2. Jungpaläozoische Diamiktite der Kottas-Berge/Antarktis

Da der Nachweis eines Tillites im Sinne von Till als ein Sediment, das durch Gletschereis transportiert und ohne nennenswerte Beteiligung fließenden Wassers sedimentiert wird, nicht zweifelsfrei erbracht werden konnte (POSCHER, 1990), wird nachfolgend von Diamiktiten gesprochen.

Diamiktite sind an der Basis der Sedimente der Beacon Supergroup in den Kottas-Bergen in drei Profilen erschlossen: Loc. A, Loc. B und dem Profil Schivestolen (Abb. 1, 2).

Im Profil Schivestolen (Profilabschnitt S) treten Diamiktite zusätzlich innerhalb der unmittelbar hangenden basalen Silt/Sandsteinfazies auf (Lithofaziestyp Dmm und Dms in Abb. 3).

Die Diamiktite liegen makroskopisch entweder massiv oder undeutlich geschichtet vor (Tafel 1, Fig. 2), selten kann Resedimentation oder hydraulische Sedimentation in den Diamiktiten im Aufschluß erkannt werden.

2.2.1. Diamiktitfazies

Massive Diamiktite haben matrixgestütztes und strukturloses Gefüge und treten an der Basis des Profiles Schivestolen mit minimalen Mächtigkeiten von 60–80 cm bis maximal auf 2 bis 3 m zunehmend auf.

In jedem Fall kann glazial bearbeitetes, geschliffenes und gekritztes Basement nachgewiesen werden (Tafel 1, Fig. 1), wobei in allen Fällen durch die Position des Gletscherschliffes zum hangenden Sediment sichergestellt ist, daß es sich um fossile und nicht um känozoische Erosionsmarken durch Eis handelt.

Die Mächtigkeit des Diamiktits hängt offensichtlich vom basalen Kleinrelief ab. Neben glazial geschliffenem Basementkontakt liegt selten glaziotektonisch überprägter Kontakt vor. Klüftiges, aufgelockertes Basement mit dm^3-großen Kluftkörpern ist in den basalen Diamiktit eingearbeitet, der Diamiktit dringt andererseits in Klüfte und Auflockerungszonen ein. Die massiven Diamiktite zeigen Übergänge zu undeutlich geschichteten und schwach gradierten Diamiktiten im Hangenden. In Loc. A ist im Hangenden des Diamiktits ein gradueller Übergang in sehr flache, gradierte trogförmige Schrägschichtungseinheiten zu beobachten.

Diskontinuierliche mm- bis cm-starke Sand- und Siltbänder produzieren ein linsiges bis horizontales Gefüge des Diamiktits (Tafel 1, Fig. 3–7). Die maximale Größe der Komponenten erreicht in den basalen Diamiktiten ca. 0,1 bis 0,5 m. Die Gerölle sind kantengerundet bis gerundet, eindeutige Kritzung ist die Ausnahme.

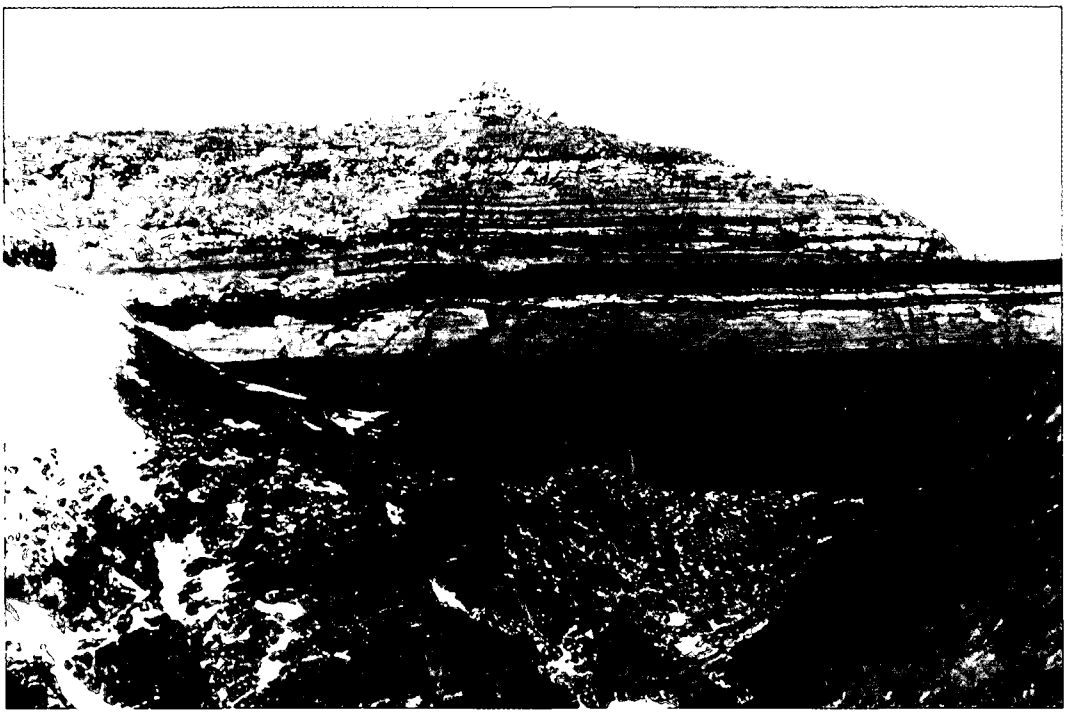


Abb. 2.
Schivestolen (2.158 m) in den Kottas-Bergen der Heimefrontfjella (Neuschwabenland).
Jungpaläozoische Sedimente der Beacon Supergroup mit mesozoischem Lagergang auf glazial bearbeitetem präkambrischem Grundgebirge (Profilmächtigkeit ca. 150 m).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

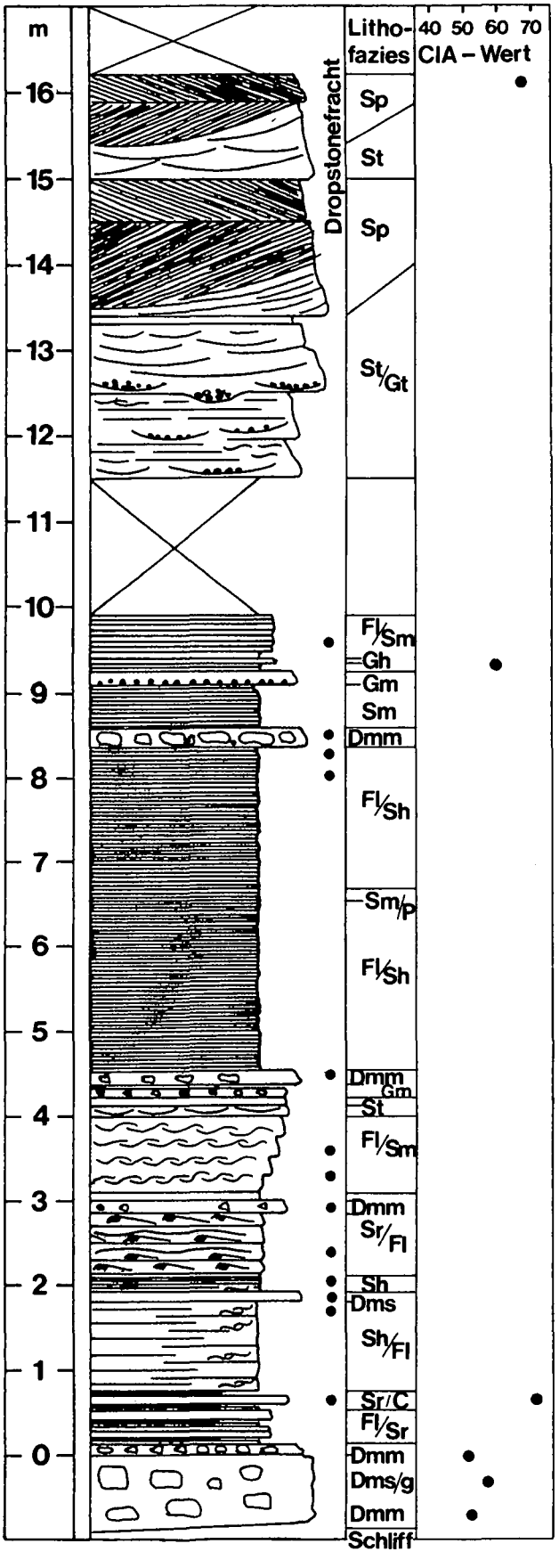


Abb. 3.
Profil Schivestolen (Kottas-Berge), vereinfacht, Profilabschnitt S.
Lithofaziestypisierung nach MIALL (1977) und EYLES, EYLES & MIALL (1983).

Mit Ausnahme einiger weniger Komponenten können weder bevorzugte Einregelung noch bevorzugte Konzentration beobachtet werden.

Die Hangendkontakte sind sehr unterschiedlich entwickelt. Im Profil Schivestolen ist der Kontakt großteils scharf ausgebildet und deutet auf einen Hiatus in der Sedimentation bzw. auf zwischenzeitlich erfolgte Erosion des Diamiktits hin. Erosionsreste von grobklastischen Geröllagen (Boulder Beds) im Hangenden der Diamiktite konnten bei Loc. A und am Schivestolen beobachtet werden.

2.2.2. Texturmerkmale des Diamiktits

Die Proben aus massivem Diamiktit zeigen im Dünnschliff und auch im polierten Handstück (Tafel 1, Fig. 3) eine unregelmäßige mm- bis cm-mächtige Schichtung mit mehr oder weniger deutlicher Gradierung (Tafel 1, Fig. 4). Sand- und Siltkörner zeigen keine bevorzugte Einregelung mit Ausnahme im Umfeld relativ größerer Komponenten, wo einzelne Laminae die Umrisse dieser Komponenten nachzeichnen (Tafel 1, Fig. 5,6). Gradierte Lagen werden allgemein durch feinkörnigere bzw. matrixreichere Abschnitte plombiert (Tafel 1, Fig. 4,5).

In die siltig-sandige Grundmasse sind 1–5 mm große Kieskomponenten (Tafel 1, Fig. 6,7) eingestreut. Die eingelagerten Komponenten sind vielfach ss-parallel eingeregelt (Tafel 1, Fig. 6). Die Klüfte zerbrochener bzw. aufgebrochener Komponenten sind durch siltige Orthomatrix verfüllt.

Ein weiteres wichtiges Charakteristikum stellt die Beziehung zwischen Komponenten und lagig sortiertem, gradiertem Sediment dar. Die einzelnen Lagen im Hangenden der Klasten sind plastisch deformiert oder durchtrennt und lappen lateral am Geröll an (Tafel 1, Fig. 5,6).

Sowohl im Handstück als auch im Dünnschliff treten gebogene, offensichtlich mechanisch reaktivierte Schichtflächen auf, die als Scherflächen innerhalb des Sediments gedeutet werden können.

Ferner werden „Silt-Agglomerate" beobachtet, die zwar einen scharfen Liegendkontakt, sonst jedoch einen fließenden Übergang in das autochthone Sediment aufweisen. Vereinzelt gibt es Hinweise auf „Druckschatten", was sich in auffällig asymmetrischer Matrixkomposition bzw. Zementation beiderseits von Komponenten ausdrückt (Tafel 1, Fig. 7).

2.3. Vergleich und Diskussion

2.3.1. Lithofazies

Die Lithofazies des Diamiktites spricht im Konnex mit der sedimentären Gesamtabfolge (POSCHER, 1990) für glaziale bis periglaziale Entstehung desselben. Mit Ausnahme des fallweise glaziotektonisch eingearbeiteten Basements finden sich keine weiteren Kriterien, die für Lodgement-Till sprechen würden.

Die geringe Anzahl an glazial geprägten Komponenten spricht ebenfalls gegen Grundmoränenmaterial im Sinne eines basalen Lodgement-Tills. Die Schichtstrukturen im Dünnschliff und Anschliff (Tafel 1, Fig. 3–7) liefern Hinweise für Ausschmelzablagerungen (Melt-out Till), wie schichtparallele Laminierung von Silt und Sand, feinklastische Ränder an den Geröllen (DREIMANIS, 1978), Gradierung einzelner Lagen und Onlapsedimentation an relativ größeren Komponenten.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Die Geringmächtigkeit des Diamiktits auf unverwittertem glazial bearbeitetem Basement, seine kontinuierliche, das Kleinrelief nivellierende Verbreitung und der fazielle Konnex zu den hangenden glazilakustrinen bis prodeltaischen bzw. *Glossopteris*-führenden Sedimenten sprechen für eine terrestrische Vereisung (POSCHER, 1990).

2.3.2. Mikrotexturen

Seitens der mikrotexturellen Merkmale bestehen Unterschiede und Parallelen zwischen pleistozänen Grundmoränen und den jungpaläozoischen Diamiktiten aus den Kottas-Bergen.

Hervorzuhebende Unterschiede sind:

- Auftreten gradierter Schichtung in den Diamiktiten, verbunden mit relativ besserer Sortierung und mit Onlapsedimentation an kieskorngroßen Komponenten.
- Das Fehlen von Fluidal-, Falten- und Knickstrukturen und mit wenigen Ausnahmen das Fehlen von Scherbahnen in den Diamiktiten.

Folgende Parallelen werden beobachtet:

- Sandiger pleistozäner basaler Till weist im Schliffbild ein etwa vergleichbares Korn/Matrix-Verhältnis und vergleichbare Kornformen wie die Diamiktite auf (vgl. Tafel 1 und 2).
- Sowohl in den Diamiktiten als auch in den Grundmoränen treten „coated grains" und Einregelungseffekte im Umfeld grobsandiger bis kiesiger Komponenten auf.
- In beiden Fällen kann ein vergleichbarer Mechanismus der Granatdesintegration beobachtet werden.

Im Vergleich mit Dwyka-Tilliten (Südafrika) fallen der wesentlich höhere Matrixgehalt der Dwyka-Tillite, deren generell feineres Korngrößenspektrum und insgesamt schlechtere Sortierung ins Gewicht. Die Dwyka-Tillite zeigen im Dünnschliffbefund keinerlei Schichtung und Gradierung (Tafel 2, Fig. 4), Scherbahnen können in großer Anzahl im Kleinstbereich festgestellt werden.

Die als glazimarin eingestuften Diamiktite der Port Askaig Formation Schottlands (EYLES, 1988) weisen keine nennenswerten mikrotexturellen Unterschiede zu den Diamiktiten des Profiles Schivestolen auf (Tafel 2, Fig. 1–3). Die Ähnlichkeiten betreffen vor allem die Position von „oversized particles" im Sediment, die in beiden Fällen durch Gefügeeinregelung im Umfeld der Komponenten, verbunden mit Druckschattenbildungen, gekennzeichnet ist. Onlapsedimentation vergleichbarer Ausbildung tritt in den Diamiktiten der Port Askaig Formation gleichfalls auf. Ferner kann in den Diamiktiten der Port Askaig Formation ein vergleichbarer mm- bis cm-mächtiger Lagenbau mit wechselnden Korngrößenverhältnissen festgestellt werden.

Zusammenfassend gestatten diese ersten vergleichenden Texturuntersuchungen die Aussage, daß es sich bei den untersuchten Proben des Diamiktits vom Schivestolen um keinen Lodgement-Till handelt. Lagenbau und Gradierung bezeugen Sortierungseffekte, die Onlapsedimentation spricht für gravitativ kontinuierlichen Sedimentabsatz. „Coated grains" machen längeren aquatischen Transport unwahrscheinlich, womit insgesamt ein Ausschmelzprozeß (SHAW, 1983) – vor allem hinsichtlich des Vergleichs mit den glazimarinen Diamiktiten der Port Askaig Formation – als wahrscheinlichste Bildungsursache angesehen werden kann.

3. Korngrößenuntersuchungen an Diamiktiten und Grundmoränen

3.1. Allgemeines

Die Signifikanz und fazieskritische Verwertbarkeit von Korngrößenbestimmungen via Bildschirmanalyse wurde an Gesteinsdünnschliffen von Diamiktiten, Tilliten und Grundmoränen (Lodgement-Till) getestet.

Der glazial induzierte Bruch eines Kornverbandes führt zu einer bevorzugten Desintegration in monomineralische Komponenten, während vor allem Abrasion zu einer resistenzabhängigen Anreicherung einzelner Minerale in den Siltkorngrößen führen wird.

Dieser Prozeß wird durch das Konzept der „Bimodalität" und der „Terminal grades of minerals" (DREIMANIS & VAGNERS, 1971, 1972) idealisiert charakterisiert.

Monomineralischer Till würde demnach in Abhängigkeit von Abrasion und Basementlithologie eine bimodale Korngrößenzusammensetzung aufweisen, mit einem Mode im Bereich der Gesteinsbruchstücke und einem zweiten Mode im Bereich des mineralspezifischen „Terminal grade" (DREIMANS & VAGNERS, 1972; HALDORSEN, 1981; CAMMERAAT & RAPPOL, 1987).

3.2. Ergebnisse

3.2.1. Korngrößenuntersuchung von Diamiktiten

Die texturell-granulometrischen Untersuchungen wurden an Gesteinsdünnschliffen durchgeführt. Es wurden Proben des Diamiktites aus dem Profil Schivestolen untersucht. Die Diamiktite weisen im Korngrö-

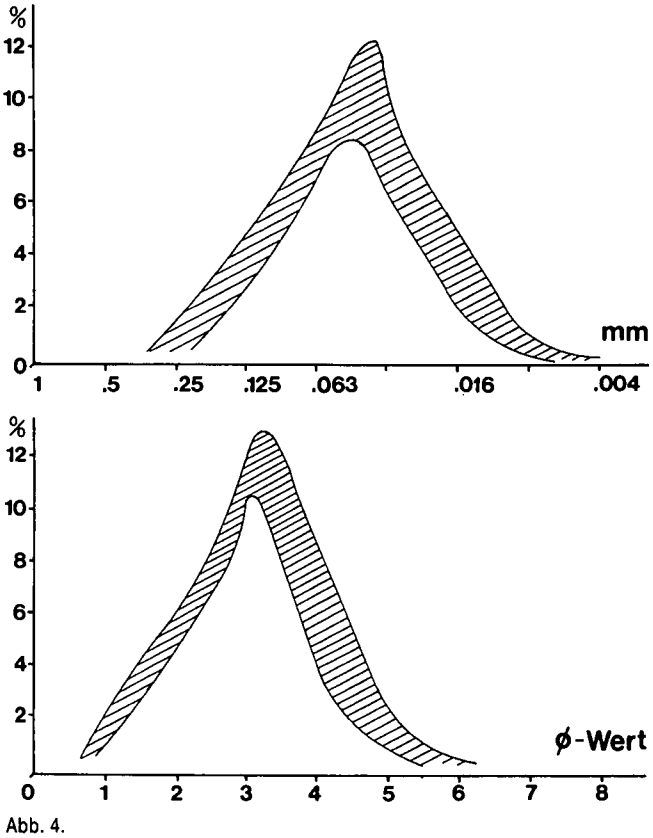


Abb. 4.
Bandbreite von Häufigkeitsverteilungen der Kornlängsachsen von Diamiktiten (oben) und von Individuen polykristalliner Quarze bzw. von Gesteinsbruchstücken (unten) potentieller Liefergesteine.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

ßenbereich, der im Dünnschliff erfaßt werden kann, annähernd eine Normalverteilung auf.

In Abb. 4 sind die Bandbreiten von Häufigkeitsverteilungen der Kornlängsachsen von Diamiktiten (hpts. Quarzkörner) aus dem Profil Schivestolen denen von Individuen polykristalliner Quarze bzw. von Gesteinsbruchstücken potentieller Liefergesteine gegenübergestellt. Größenordnungsmäßig verschiebt sich im Diamiktit das Häufigkeitsmaximum der Kornlängsachsenverteilung um ca. zwei Ø-Klassen vom Feinsand- zum Schluffkorngrößenbereich.

Zur Klassifikation, Beschreibung und Interpretation glazialer Sedimente werden vielfach „cross-plots" granulometrischer Parameter verwendet (u.a. BOULTON, 1978; BULLER & MCMANUS, 1973; DREIMANIS & VAGNERS, 1971; HALDORSEN, 1981; MILLS, 1977; SLATT, 1971).

Es liegen Erfahrungen und Interpretationen verschiedener „cross-plots" vor. Sie sind allgemein auf siebanalytisch ermittelte Sedimentparameter aufgebaut. BULLER & MCMANUS (1973) haben ein Diskriminationsdiagramm vorgestellt, das an pleistozänen und rezenten glazialen Sedimenten geeicht ist und auch für Korngrößenanalysen, welche an Dünnschliffen ermittelt worden sind, brauchbar scheint. Dies deswegen, da beim Auftrag „Quartile Deviation" gegen „Median" (Abb. 5) nur der zentrale und somit korrigierte Bereich der Kornsummenkurve herangezogen werden muß ($QDa = (P_{75}-P_{25})/2$). Die Umrechnung von Korn- in Gewichtsprozente wurde nach FRIEDMANN (1958) durchgeführt.

Die Proben des Diamiktites aus dem Profil Schivestolen besetzen einerseits das Feld (b), welches feinen, uni- bis nonmodalen Moränen zugeordnet wird. Nach Rezentvergleichen entspricht dieses Feld hauptsächlich Grundmoränen kontinentaler Vereisungsgebiete. Andererseits plotten einzelne Proben im Überschneidungsbereich Stillwassersediment/Moräne.

Zweifel an der Aussagekraft dieses Ergebnisses sind aufgrund nachfolgender Vergleichsuntersuchungen angebracht.

3.2.2. Vergleichende Untersuchungen

Die Korrelation nach FRIEDMANN (1958) gilt vorwiegend für gut sortierte Sandsteine mit Quarzgehalten >70 %. Aufgrund des hohen Matrixanteils und der schlechten Sortierung von Diamiktiten stellt sich die Frage nach der prinzipiellen Anwendbarkeit des Verfahrens.

Es wurden Korngrößenuntersuchungen an alpinen Grundmoränen (basaler Lodgement-Till) vorgenommen. Die Korngrößen wurden an ein und demselben Probenkörper sowohl im Dünnschliff via Bildschirmanalyse (Kornprozente) als auch siebanalytisch (Naßsiebung, Aräometer) bestimmt.

Es zeigt sich, daß die Auswahl der Vergrößerung am Videomikroskop Einfluß auf das Ergebnis nimmt (Abb. 6a,b), wobei die maximalen Differenzen im Korngrößenbereich bis 0,06 mm bis zu 20 % ausmachen können.

Die Sieblinien der Grundmoränen (basaler Lodgement-Till) sind durch eine annähernd gleichwertig prozentuale Besetzung der einzelnen Klassen charakterisiert, was sich prozentual-kumulativ im Ideal als eine Gerade ausdrückt (Abb. 6c). Die Gleichgewichtsverteilung in Grundmoränen ist allgemein anerkannt und wird als fazieskritisch angesehen (MILLS, 1977; BOULTON, 1978).

Die gemittelten Kornsummenlinien von denselben Grundmoränen aus der Bildschirmanalyse aus Abb. 6d entsprechen jedoch – gleich wie jene der Diamiktite (Abb. 4) – einer Normalverteilung (in Abb. 6 nicht dargestellt).

Die via Bildschirmanalyse ermittelten Normalverteilungen sind jedoch in beiden Untersuchungsreihen möglicherweise auf eine Unterrepräsentanz der Komponenten <0,02 mm (am Bildschirm kaum auflösbar) und der relativ größten Körner zurückzuführen, entsprechen also einem methodenimmanenten Fehler.

Ferner hat diese Untersuchung gezeigt, daß vermutete Probleme hinsichtlich der Anwendbarkeit des Um-

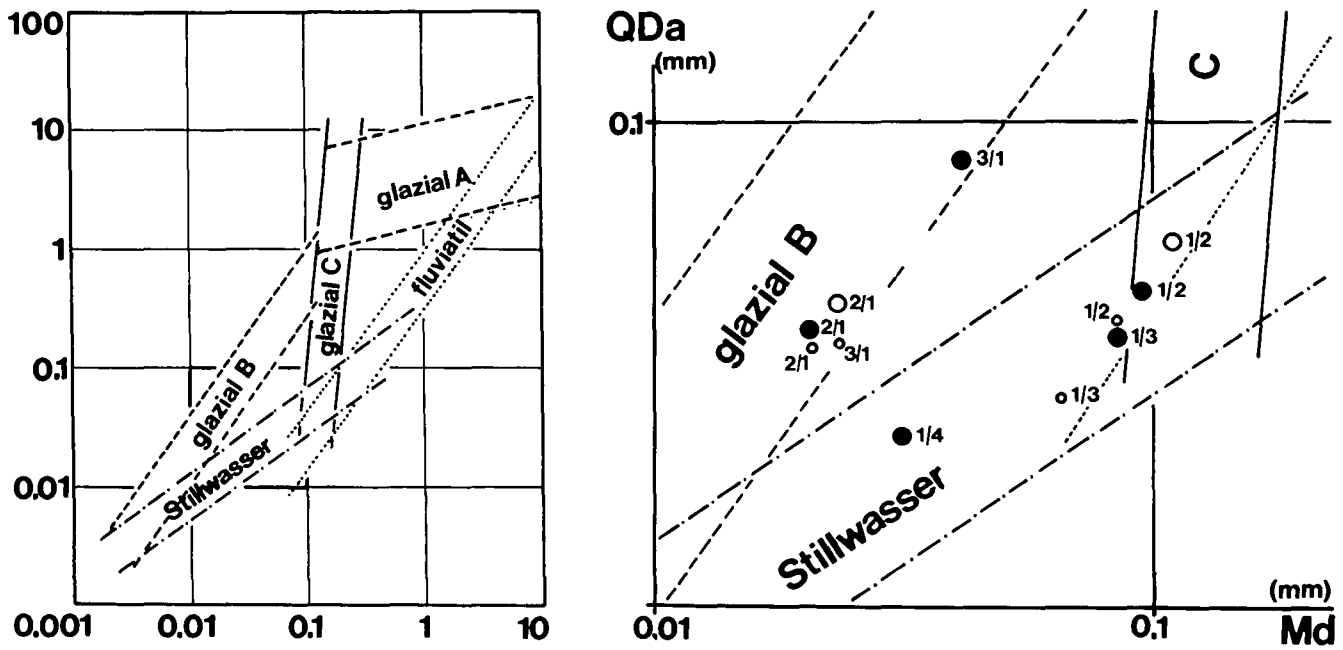


Abb. 5.
QDa-Md-Cross-Plot nach BULLER & MCMANUS (1973) zur faziellen Zuordnung glazialer Sedimente.
Vergrößerter Ausschnitt mit eigenen Daten (verschiedene Signaturen bezeichnen verschiedene Dünnschliffe derselben Gesteinsprobe).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

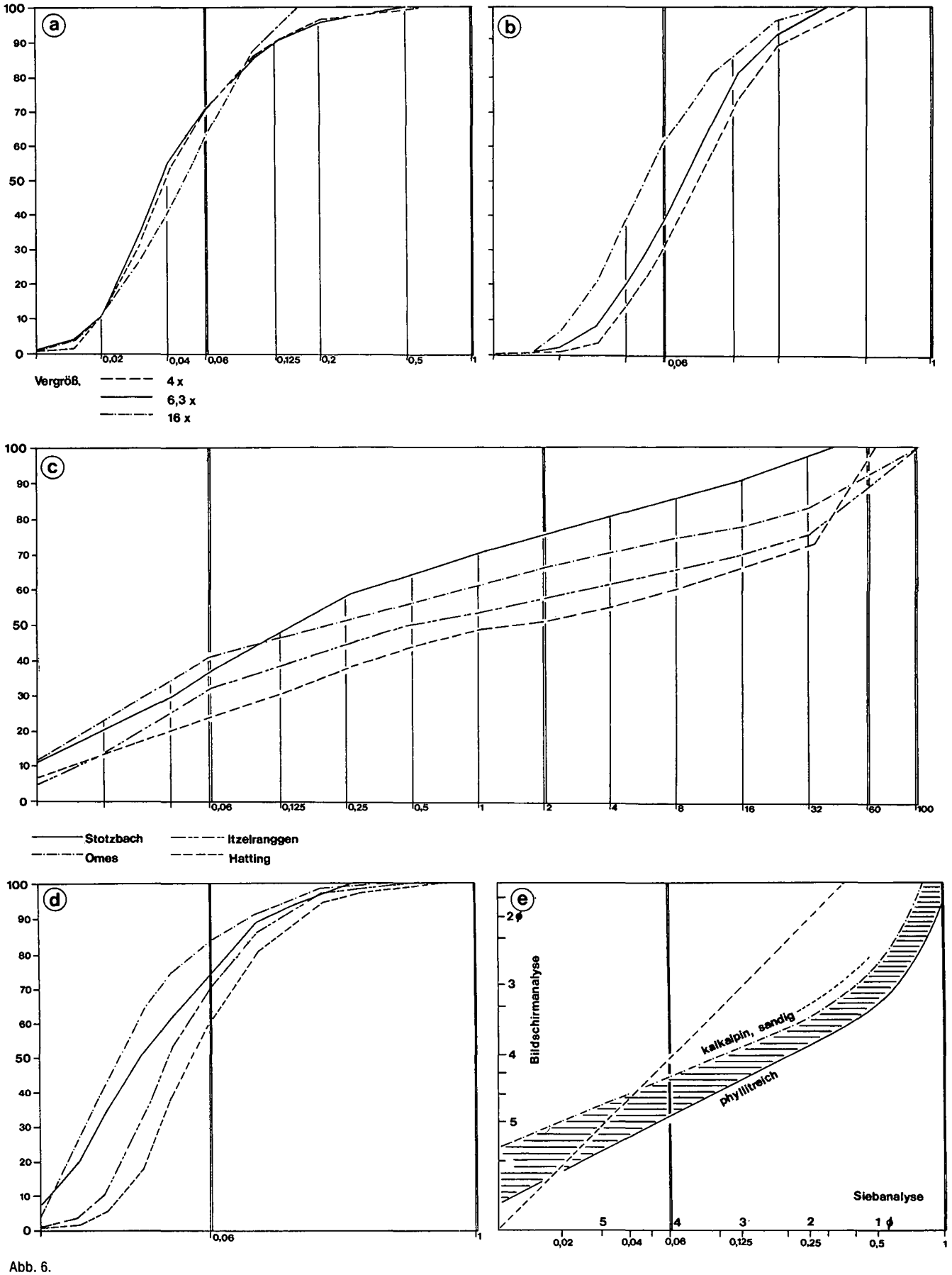


Abb. 6.
Korngrößenuntersuchungen am Kontron-Videoplan – Vergleich mit siebanalytisch ermittelten Ergebnissen (Werte in %, mm).
a,b: Kornsummencharakteristik von Grundmoränen, Untersuchung im Dünnschliff bei verschiedenen Vergrößerungen.
c,d: Korngrößenanalyse von Grundmoränen mittels Sieb-/Schlämmanalyse (c) und Dünnschliffuntersuchung (d).
e: Korrelation von Sieb-/Schlämm- und Bildschirmanalyse (d_{max} = 1 mm = 100 %).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

rechnungsschemas von Korn- und Gewichtsprozente nach FRIEDMANN (1958) für Diamiktite bzw. für matrixreiche Sandsteine bestehen. Es wurde eine Korrelation der Korngrößenanalyse via Bildschirm mit der siebanalytisch ermittelten Korngrößenverteilung der Grundmoränenproben (Modifizierung der Sieblinien aus Abb. 6c: d_{max} = 1 mm = 100 %) vorgenommen (Abb. 6e). Die Korrelation nach FRIEDMANN (1958) ist für Grundmoränenmaterial nicht anwendbar. Bspw. ist in der Bildschirmanalyse im Gegensatz zur Siebanalyse bei einer Korrelation bis zu d_{max} = 1 mm eine klare Unterbewertung der Sandfraktionen gegeben.

Es zeigt sich auch, daß die Lithologie über den Matrixanteil Einfluß auf die Transformation der Korngrößen nimmt, was in Abb. 6e zum Ausdruck gebracht wird. Insgesamt zeigt dieser vergleichende Test, daß die Aussage von Korngrößenuntersuchungen via Bildschirmanalyse im Vergleich mit siebanalytisch ermittelten statistischen Parametern von Grundmoränen und Diamiktiten mit schwer quantifizierbaren Unsicherheiten behaftet ist.

Es bestehen Abhängigkeiten der Ergebnisse von der Vergrößerung, Unsicherheiten in der Interpretation der ermittelten Verteilungen und Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Transformation der ermittelten Kornprozent-Verteilung in eine vergleichbare Gewichtsprozent-Verteilung.

4. Zur Aussagekraft der Schwermineralanalyse für glazialgeologische Fragestellungen

4.1. Allgemeines

Eine schwermineralpetrographische Charakterisierung von Moränenmaterial, speziell von Grundmoränenmaterial, wird die Petrographie des lokalen Felsuntergrundes und dessen Inhomogenitäten aufgrund mangelnder Durchmischung normal zur Fließrichtung reflektieren (GROSS & MORAN, 1971; SAARNISTO & TAIPALE, 1984; CAMMERAAT & RAPPOL, 1987).

Es ist anzunehmen, daß bei gleichen Einzugsgebieten glazial induzierter Bruch und subglaziale Abrasion im Vergleich zu fluviatiler Sedimentation durchaus zu unterschiedlichen Schwermineralspektren führen können. Zudem nimmt die Tillfazies merklichen Einfluß auf die petrographische Charakterisierung von Grundmoränenmaterial (HALDORSEN, 1983). Kritisch ist auch, inwieweit proglaziale und glaziale Sedimente periglazial und glazial motivierte unterschiedliche Liefergebietsintensitäten reflektieren.

Die Sedimente der Beacon Supergroup, vor allem Diamiktite und assoziierte Sedimente, weisen teilweise einen extrem hohen Granatgehalt (>90 % des gesamten Schwermineralspektrums) auf. Dieser hohe Granatanteil findet duch eine vergleichende Kartierung schwermineralpetrographischer Provinzen rezenter Lokalmoränen und des kristallinen Basements in den Kottas-Bergen sowie einer Varietätenanalyse der Granatpopulationen keine befriedigende Erklärung (POSCHER, 1990).

Hinsichtlich der Varietäten kann für die jungpaläozoischen Granatfrachten weder eindeutig ein lokales Liefergebiet noch eine signifikante Parallelität zu den rezenten Granatfrachten (Lokalmoränenmaterial) des Gebiets abgeleitet werden.

Es stellt sich die Frage, inwieweit der hohe Granatgehalt in den Diamiktiten und Sedimenten der Beacon Supergroup durch glazialgeologische Anreicherungsprozesse bedingt sein kann.

Dazu wurden vergleichende Untersuchungen an pleistozänen bis rezenten Sedimenten des Inntales durchgeführt. Aus diesen Untersuchungen wird die Mündung der Melach, ein Zufluß des Inns aus der Stubaier-Ötztaler Masse westlich Innsbruck, als Beispiel herausgegriffen (Abb. 7).

Im vorliegenden Fall wurde das Verhältnis von Granat/Staurolith bzw. Granat/Staurolith/Disthen/Zirkon eines möglichst engen Korngrößenintervalls (125 μ bis 250 μ) ausgewählt.

Nach den mechanischen Stabilitätsreihen (Abrasion) von FRIESE und THIEL (cit. in MORTON, 1985) liegt Granat unmittelbar hinter Staurolith im Feld größter Abrasionsresistenz. Ferner sind Granat und Staurolith als hydraulisch äquivalent im Sinne von MORTON (1985) anzusehen, was aus ähnlicher Dichte und gleicher „Hydraulic Size" und annähernd identen, unregelmäßigen bis isometrischen Kornformen bzw. Kornmorphologien abzuleiten ist.

4.2. Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Abb. 7 und 8 dargelegt. Inn und Melach können hinsichtlich ihrer rezenten Sedimente durch das Verhältnis Granat/Staurolith eindeutig voneinander getrennt werden. Während es rezent im Inn zwischen Telfs und Innsbruck in der Fraktion 125 μ bis 250 μ konstant um 6 : 1 liegt, beträgt es in der Melach ca. 1 : 1. Eine erwartete lokalgeologisch bedingte Disthenvormacht in den Melachsedimenten kommt nicht zum Tragen.

Im pleistozänen proglazialen Delta der Melach in das Inntal (Melachdelta W in Abb. 8a) bleibt das durchschnittliche Verhältnis von 1 : 1 erhalten, wobei eine stete Zunahme des Granatgehaltes von 0,8 : 1 auf 1,2 : 1 entsprechend der Annäherung an die hangende Grundmoräne erfolgt.

Die feinsandig-siltigen Sedimente des pleistozänen distalen Prodeltas weisen ein Granat/Staurolith-Verhältnis um 1,4 : 1 auf, was den Einfluß des nahenden glazialen Environments auf die deltaische Sedimentation reflektieren könnte.

Die lokale Grundmoräne, die die pleistozänen Deltasedimente überlagert, zeigt nämlich eine deutliche Zunahme des Granatanteiles, wobei die Tillfazies, soweit die bislang vorliegenden Daten dies belegen, entscheidenden Einfluß auf das Verhältnis nimmt.

Der Till ist eine Wechselfolge aus Lodgement-Till und sandigen Lagen. Lodgement-Till weist das höchste Granat/Staurolith-Verhältnis (1,75 : 1 bis 2,5 : 1) auf, während sandige Sedimente Verhältnisse von 1,4 : 1 (vergleichbar dem Topset des unmittelbar liegenden Deltas) zeigen.

Der postglaziale Schwemmfächer der Melach gibt mit einem Verhältnis von rund 2 : 1 den Einfluß glazialer und eisrandnaher Ablagerungen durch Resedimentation wieder. Besonders deutlich wird die glazialsedimentologisch bedingte Granatanreicherung bei Betrachtung des Gesamtschwermineralspektrums von 63 μ bis 250 μ. Das Granat/Staurolith-Verhältnis rezen-

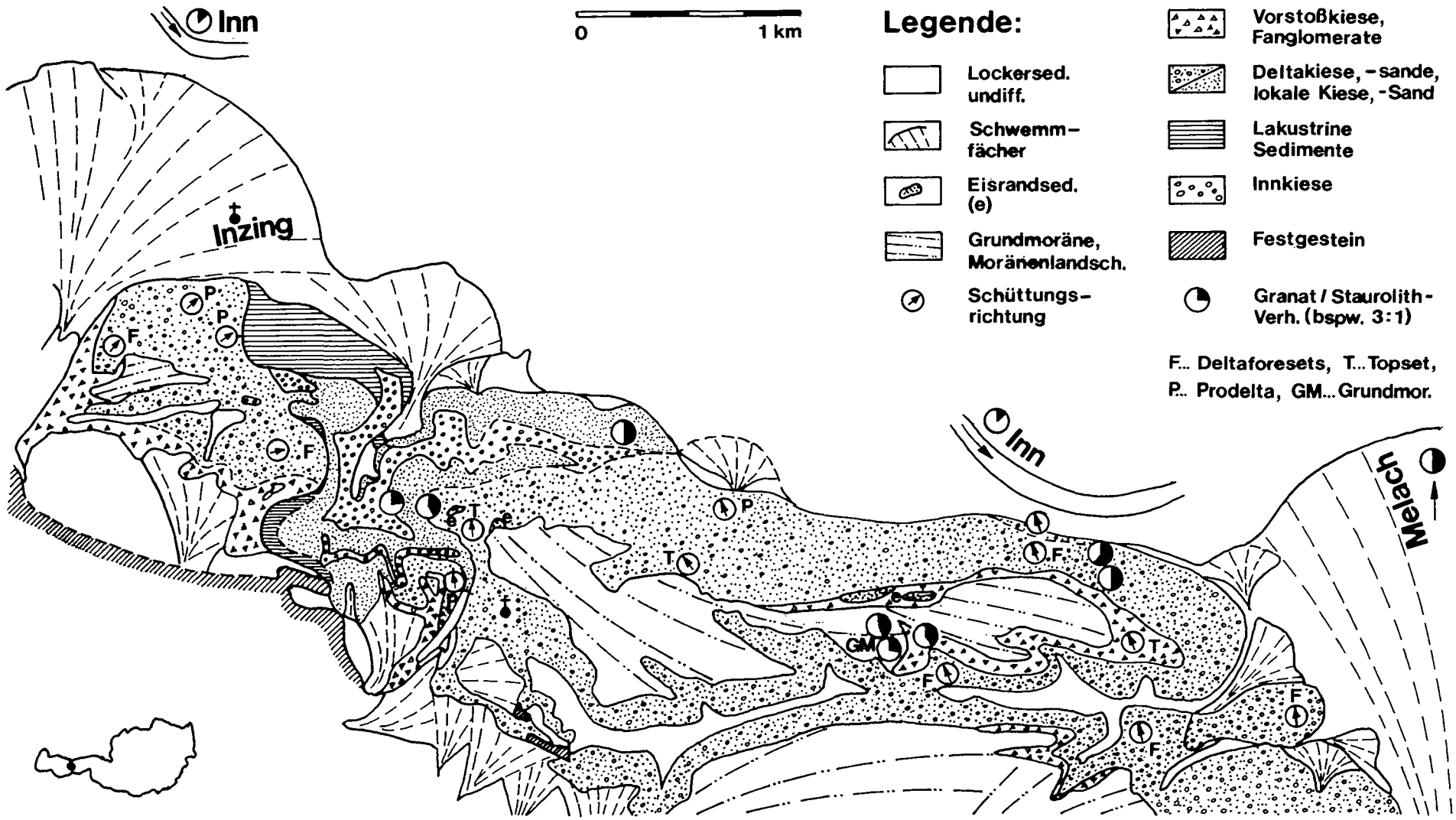


Abb. 7.
Vereinfachte quartärgeologische Karte der Melachmündung (westl. Innsbruck) mit dem Granat : Staurolith-Verhältnis in verschiedenen Faziesbereichen.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

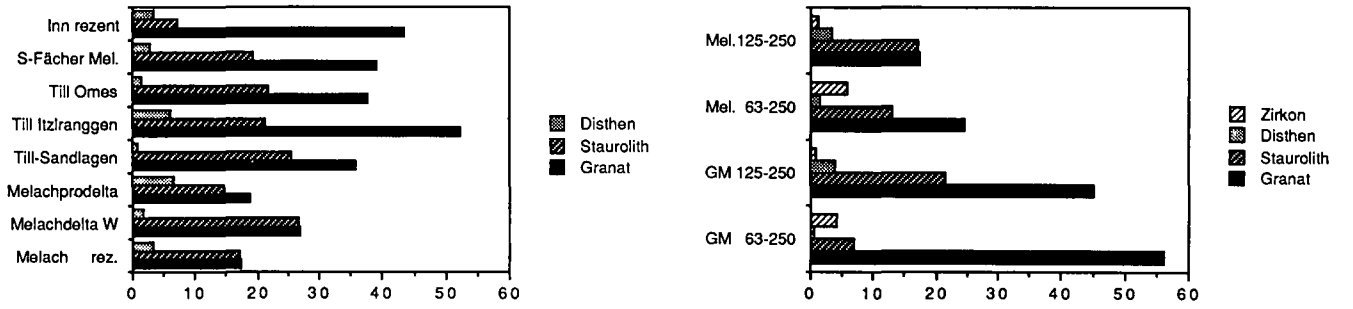


Abb. 8.
Schwermineralzusammensetzung in Abhängigkeit von Fraktion und Lithofazies (Prozentanteil am Gesamtspektrum).
a) Rezente und pleistozäne Sedimente (125–250 μ) verschiedener Faziesbereiche.
b) Vergleich verschiedener Fraktionen von rezenten fluviatilen (Mel.) und pleistozänen glazialen (GM) Sedimenten desselben Liefergebietes.

ter fluviatiler Melachsedimente dieser Fraktion liegt bei etwa 1,9 : 1 (im Gegensatz von 1 : 1 der Fraktion 125 μ bis 250 μ) und steigt innerhalb der Gesamtfraktion des Lodgement-Tills auf 8,2 : 1 (im Gegensatz von durchschnittlich 2,1 : 1 der Fraktion 125 μ bis 250 μ) an (Abb. 8).

4.3. Diskussion und Interpretation

Die relative Anreicherung von Granat in glazialen Sedimenten wird anhand dieses Beispiels deutlich und zeigt, daß bereits bei einem Sediment, das im Zuge einer Vorstoßphase eines Lokalgletschers gebildet wurde, je nach Fraktion eine Verdoppelung bis Vervierfachung des Granatanteiles eintritt.

Der Granatreichtum jungpaläozoischer Sedimente im Umfeld der Gondwanavereisung ist für weite Teile des ehemaligen Superkontinents belegt (LINDSAY, 1970; GRAVENOR, 1979). Überlegungen zur möglichen selektiven Anreicherung von Granat in glazialen Sedimenten sind, mit Ausnahme eines Beispiels aus einem pleistozänen Till Nordamerikas (GRAVENOR, 1979), rar. Aus diesem „quartärgeologischen" Blickwinkel erscheint der hohe Granatanteil in den Sedimenten der Beacon Supergroup aber durchaus plausibel.

Die vergleichsweise hohe Abrasionsbeständigkeit des Granats aber auch des Stauroliths ist bekannt. Somit kann anhand des Beispiels zwar die relative Anreicherung von Granat und Staurolith innerhalb des Gesamtspektrums erklärt werden, nicht jedoch die beobachtete absolute Dominanz des Granats. Zu dieser Frage liefern Dünnschliffuntersuchungen an Grundmoränen, aber auch an Diamiktiten, eine mögliche Erklärung.

Es kommt in der Grundmoräne zum in-situ-Bruch von großen Granatkörnern (Tafel 1, Fig. 7, r.o.), die aufgrund ihrer ursprünglichen Korngröße z.B. in fluviatilen Sedimenten von der konventionellen Schwermineralanalyse nicht erfaßt werden. Das heißt, daß glazial eine bevorzugte Anreicherung von Granat in den „typischen Schwermineralfraktionen" anzunehmen ist.

5. Spurenelemente als Faziesindikatoren für glaziales Environment

5.1. Allgemeines

Elementverteilungen in Diamiktiten wurden und werden vielfach als environmentkritisch angesehen (zuletzt VISSER, 1989). Eine Übersicht und Diskussion geben EYLES, EYLES & MIALL (1985) sowie FRAKES (1985).

Von der Überlegung ausgehend, daß einzelne Elemente durch kontinentale Verwitterungsprozesse eine relative Anreicherung erfahren, konnten FRAKES & CROWELL (1975) kontinentale Grundmoränen und glaziomarine Diamiktite hinsichtlich ihres Fe- und Mn-Gehaltes unterscheiden (Abb. 9).

Inwieweit andererseits die Petrographie des Liefergebiets, Sedimentationsraten und Diagenese diese Spurenelementverteilungen beeinflussen können, wird in BJORLYKKE & ENGLUND (1979), TAIPALE, NEVALAINEN & SAARNISTO (1986) und CHRISTENSEN (1987) deutlich. HALDORSEN (1983) zeigt sogar den Einfluß der Grundmoränengenese auf korngrößenbedingte geochemische Unterschiede auf.

Es scheint daher von Interesse, die Anwendbarkeit der Überlegungen von FRAKES & CROWELL (1975) am vorliegenden Material, vor allem am Referenzmaterial aus Grundmoränen und Diamiktiten definierter Lithofazies (Korngröße <63 μ) zu testen.

Tabelle 1.
Durchschnittliche chemische Zusammensetzung und Verwitterungsindizes (CIA-Werte) jungpaläozoischer Diamiktite, assoziierter Feinklastika und rezenter Lokalmoränen der Heimefrontfjella (HFF) und ostalpiner Grundmoränen aus POSCHER (1990).

	Al [%]	Ca [%]	Mg [%]	Fe [%]	Mn [%]	K [%]	Na [%]	Co [ppm]	Pb [ppm]	Cu [ppm]	Zn [ppm]	Mo [ppm]	Cr [ppm]	Ni [ppm]	Cd [ppm]	n	CIA-Wert
1) Diamiktite (HFF)	10,80	8,43	0,86	6,72	0,13	4,23	1,52	39	118	150	102	71	47	33	10	8	60,63
2) Rezente Lokalmoräne (HFF)	12,71	4,55	2,15	10,85	0,11	6,73	1,42	49	103	230	268	113	112	72	15	6	63,86
3) Ostalpine Grundmoräne	14,21	4,30	2,20	6,02	0,12	5,19	1,52	42	167	58	100	108	108	69	9	6	71,58
4) Loc. A / Feinklastika (HFF)	18,72	1,02	0,92	5,24	0,03	11,25	1,89	51	284	80	136	41	99	43	19	4	69,47
5) Loc. B / Feinklastika (HFF)	10,84	5,04	1,28	6,65	0,11	4,26	1,11	38	202	398	150	52	37	29	12	2	66,41
6) Schivest. / Feinklastika (HFF)	11,91	12,00	0,80	5,19	0,27	4,56	1,30	42	70	137	150	95	69	51	11	3	56,95

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Tabelle 2.
Chemische Zusammensetzung nordeuropäischer Grundmoränen umgerechnet nach KIVEKÄS (1946) und HALDORSEN (1983), Verwitterungsindizes (CIA-Werte) berechnet nach NESBITT & YOUNG (1982).

		Al [%]	Ca [%]	Mg [%]	Fe [%]	Mn [%]	Ti [%]	K [%]	Na [%]	CIA-Wert
KIVEKÄS (1946)	Granite Till	6,50	1,54	0,54	2,23	0,04	0,27	2,15	2,07	53,0
	Rapakivi Granite Till	6,37	1,34	0,28	1,68	0,03	0,25	2,92	1,70	51,7
	Schist Till	6,61	1,34	0,42	2,19	0,03	0,21	1,81	2,20	55,3
	Sandstone Till	3,75	0,58	0,28	0,98	0,02	0,17	1,25	1,36	54,0
	Granulite Till	10,43	1,56	0,98	3,58	0,04	0,30	2,98	2,34	60,3
	Mafic Till	6,54	1,51	2,17	6,16	0,17	0,75	1,21	1,93	58,4
HALDORSEN (1983)	Lodgement Till	5,87	0,64	0,54	2,45	n.b.	n.b.	2,25	2,00	63,8
	Lee-side melt-out Till	4,97	0,50	0,42	1,89	n.b.	n.b.	1,92	1,70	63,9

5.2. Ergebnisse und Diskussion

Die Fe-Gehalte der lokalen Rezentmoränen aus den Kottas-Bergen liegen mit einer Ausnahme über 10 % bei Mn-Gehalten von 0,08 bis 0,13 % (Tab. 1). Demgegenüber liegen die Fe-Gehalte der Diamiktite der Beacon Supergroup mit einer Ausnahme zwischen 5,1 % und 11,7 % bei teilweise höheren Mn-Gehalten.

Höhere Fe-, Cr-, Ni-Werte der rezenten Lokalmoränen im Gegensatz zu den jungpaläozoischen Diamiktiten des selben Gebietes stehen im Einklang mit der Zusammensetzung der Schwermineralführung der Lokalmoränen im Vergleich zu der jungpaläozoischer Diamiktite, was auf die Erosion jurassischer Dolerite zurückgeführt werden muß.

Lokale Unterschiede werden zwischen den Diamiktiten deutlich. Den niedrigsten Fe-Gehalt der Diamiktite weist die Probe von Loc. A auf. Gerade der Diamiktit von Loc. A zeigt im Hangenden Kriterien für hydraulische Umlagerung.

Diese Ergebnisse würden – mit Einschränkungen – im Trend des von FRAKES & CROWELL (1975) vorgelegten Diagramms liegen (Abb. 9) und ein mit der lithofaziellen Analyse weitestgehend übereinstimmendes Ergebnis liefern.

Für Vergleichszwecke wurden einerseits geochemische Analysen von terrestrischen Grundmoränen definierter Lithologie (KIVEKÄS, 1946) in das Diagramm nach FRAKES & CROWELL (1975) übertragen (Abb. 9, Tab. 2), andererseits wurden geochemische Analysen an pleistozänen bis rezenten alpinen Grundmoränen der Ostalpen, an marinen Diamiktiten der schottischen Port Askaig-Formation und an basaltreichen Grundmoränen Südislands durchgeführt (Tab. 3, siehe dort auch weitere Literaturwerte).

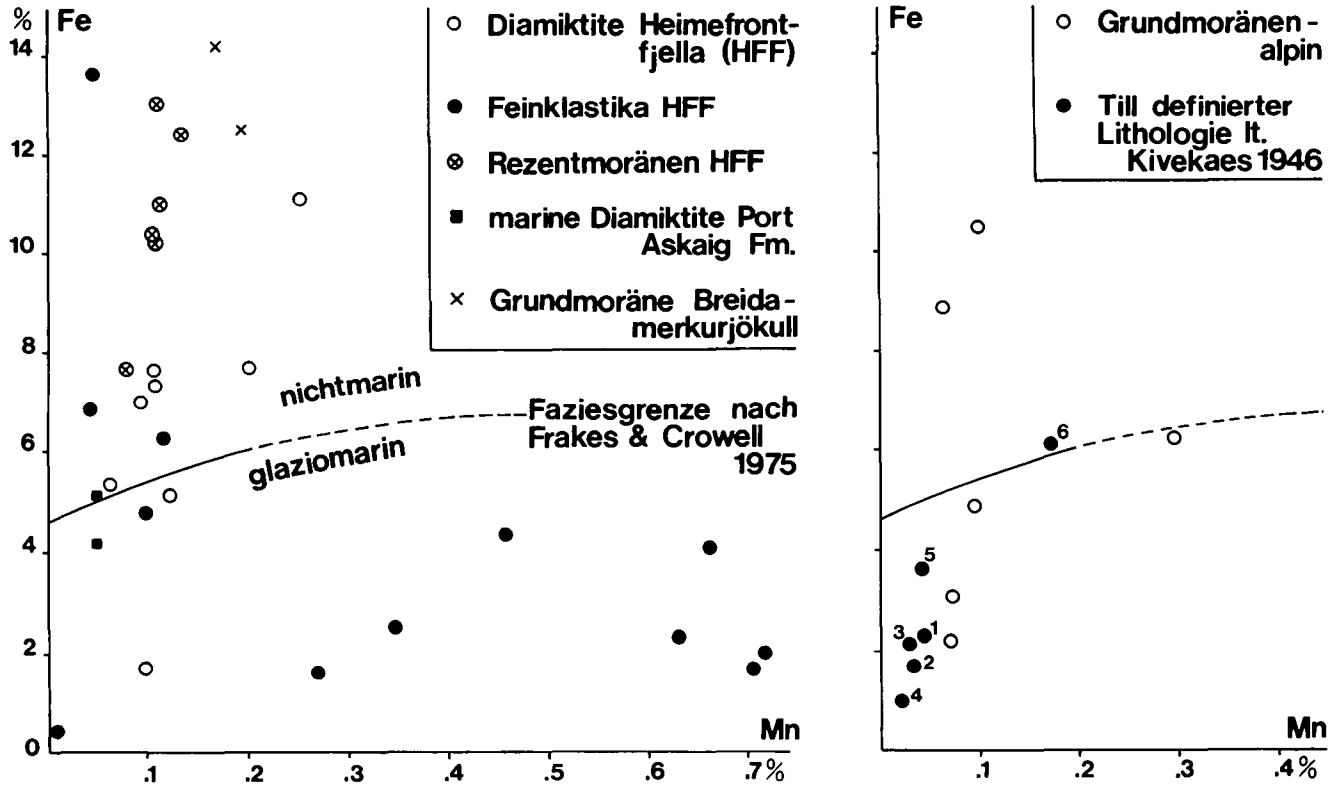


Abb. 9.
Fe-Mn-Verhältnis von Diamiktiten, alpinen Grundmoränen bzw. Till definierter Lithologie.
Faziesgrenze nach FRAKES & CROWELL (1975).

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Tabelle 3.
Metallgehalte glazialer Sedimente im Vergleich.

		F [%]	Mn [%]	Ni [ppm]	Cu [ppm]	V [ppm]	n	Referenz
Pleistozän–rezent	Till – Norwegen	8,40	0,13	n.b.	n.b.	n.b.	21	ROALDSET (1972)
	Till – Finnland	3,17	0,05	n.b.	n.b.	n.b.	33	TAIPALE et al. (1986)
	Till Ostalpen	6,02	0,12	69	58	n.b.	6	POSCHER (1990)
	Rezentmoränen – Antarktis	10,85	0,11	72	230	n.b.	6	POSCHER (1990)
	Rezentmoränen – Island	13,32	0,11	34	55	n.b.	2	POSCHER (1990)
Paläozoikum	Div. Gondwana	2,70	0,05	41	23	47	46	FRAKES & CROWELL (1975)
		2,49	0,10	26	23	67	4	FRAKES (1985)
		3,21	0,06	49	24	108	12	FRAKES (1985)
	Talchir Fm./Indien	2,66	0,45	n.b.	n.b.	n.b.	5	SUTTNER & DUTTA (1986)
	Pensacola Mt./A.A.	1,45	0,05	n.b.	11	40	2	SCHMIDT & WILLIAMS (1969)*)
	Heimefrontfjella/A.A.	6,72	0,13	33	150	n.b.	8	POSCHER (1990)
Präkambrium	Port Askaig Fm./U.K.	4,63	0,05	n.b.	n.b.	n.b.	2	POSCHER (1990)
	Div. Präkambrium	2,64	0,04	36	30	150	73	cit. in FRAKES (1985)

*) cit. in FRAKES (1985).

Mit Ausnahme von Probe 6 aus Tab. 2 (mafischer Till) plotten sämtliche terrestrisch-kontinentalen Grundmoränenproben im Feld der glaziomarinen Diamiktite (Abb. 9 rechts).

Mit Ausnahme von zwei Proben besetzen die alpinen Grundmoränen das Feld „modern glacial marine" in FRAKES & CROWELL (1975). Diese Fehlbesetzung steht in Abhängigkeit zum Liefergebiet, da bei diesen Grundmoränen durch die Beteiligung karbonatreicher Einzugsgebiete eine „Verdünnung" der Spurenelementgehalte bewirkt wird (vgl. dazu auch VISSER, 1989).

Die beiden Proben aus marinen Diamiktiten der Port Askaig- Formation besetzen das Feld „old glacial marine" bzw. das Feld kontintentaler Grundmoränen (Abb. 9 links).

5.3. Schlußfolgerungen

Das Konzept des environment-kontrollierten Chemismus der Fraktionen <63 μ (FRAKES & CROWELL, 1975; FRAKES, 1985) hält einer kritischen Überprüfung nicht stand. Die Fe-Mn-Verteilung wird primär von der Lithologie kontrolliert. Somit liefert das Konzept keine geochemisch begründbare und faziell verwertbare Aussage, die für sich sprechen würde und stellt – sofern dieser Schluß mit derartig kleinen Testserien gerechtfertigt ist – kein fazieskritisches Merkmal dar.

6. Verwitterungsindizes als fazieskritische Klimaindikatoren

6.1. Allgemeines

Verwitterungsindizes geben verwitterungsbedingte Verhältnisse von immobilen zu mobilen Elementen wieder. Eine Übersicht zur Mobilität einzelner Elemente und über verschiedene Verfahren zur Berechnung von Verwitterungsindizes gibt HARNOIS (1988).

Prinzipiell ist von Interesse, ob auf der Basis von Verwitterungsindizes eine Korrelation zwischen einzelnen Profilen der Beacon Supergroup vorgenommen werden kann und inwieweit sich vermutete Trends der Verwitterungsintensität quantifizieren lassen.

Aufgrund des Vorliegens von faziell vergleichbaren Referenzuntersuchungen in der huronischen Gowganda-Formation wurde der „Chemical Index of Alteration (CIA)" nach NESBITT & YOUNG (1982) zu diesen Untersuchungen zur Berechnung herangezogen.

$$CIA = [Al_2O_3/(Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \cdot 100$$

6.2. Ergebnisse und Diskussion

Wie erwartet, entsprechen die CIA-Werte der Diamiktite (Tab. 1 und 2; Abb. 10) als relativ niedrigste Werte (52–64, Mittelwert 60,6) den glazialen Verwitterungsverhältnissen mit minimaler Intensität an chemischer Verwitterung. Sie stehen in Übereinklang mit den CIA-Werten von Diamiktiten der Gowganda-Formation (Mittelwert 56), mit pleistozänen Grundmoränen des Archäischen Schildes (Mittelwert 52) (NESBITT & YOUNG, 1982) und mit Grundmoränen des fennoskandischen Schildes (52–64) (KIVEKÄS, 1946; HALDORSEN, 1983).

Beachtenswert ist, daß die Diamiktitproben, die die eindrücklichsten Merkmale für Resedimentation bzw. hydraulische Umlagerung zeigen, auch die relativ höchsten CIA-Werte erbringen (67,8; 64,0).

Der Mittelwert der Verwitterungsindizes der als lakustrin bis prodeltaisch interpretierten Silt- und Sandsteine im Hangenden des Diamiktites (56,9–69,5) liegt um maximal zehn Punkte höher, was mit den Trends in den vergleichbaren Sedimenten der Gowganda-Formation übereinstimmt (61).

Interessant ist, daß die Probe, die einem grobklastischen, diamiktitischen Horizont innerhalb der lakustrin bis prodeltaischen Schichtfolgen im Hangenden des Diamiktites entnommen ist und eistransportiertes Moränenmaterial darstellt, den absolut niedrigsten CIA-Wert (37) aufweist. Die Profile von Loc. A und Schivestolen sind hinsichtlich Trend und Größenordnung der ermittelten Werte korrelierbar.

Stichproben von rezenten und pleistozänen Grundmoränen kristalliner Einzugsgebiete des Tiroler Innta-

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

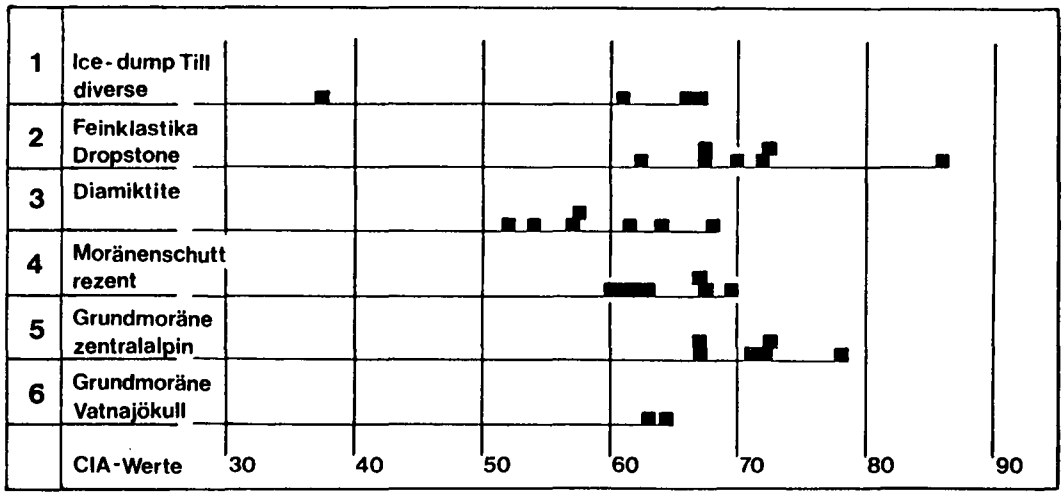


Abb. 10.
Verwitterungsindex (CIA-Werte) jungpaläozoischer und rezenter Sedimente der Kottas-Berge (1–4), Vergleichsdaten von zentralalpinen und isländischen Grundmoränenproben (5,6).

les, des Ötztales, der Hohen Tauern und des Pinzgaues wurden zu Vergleichszwecken untersucht. Sie zeigen relativ hohe CIA-Werte (67–77).

Wenngleich diese Ergebnisse nur Trends aufzeigen, sind Verwitterungsindizes – bei Vorliegen entsprechender Vergleichsuntersuchungen – ein geeignetes geochemisches Instrument zur fazieskritischen Klimainterpretation. Die Abhängigkeit der Verwitterungsindizes von der petrographischen Zusammensetzung scheint außerordentlich gering zu sein, was die errechneten CIA-Werte aus den Till-Analysen nach KIVEKÄS (1946) belegen (Tab. 2).

7. Zusammenfassende Bewertung

Im einzelnen betrachtet hat sich die vergleichende Bearbeitung der Mikrostrukturen von glazialen Sedimenten als wertvolle Ergänzung zur lithofaziellen Ansprache erwiesen. Die mikroskopischen Texturmerkmale sind jedoch als alleine ausreichendes diagnostisches Kriterium für fazielle Typisierungen von glazialen Sedimenten nicht ausreichend, da vergleichbare Flexuren bzw. Fluidalstrukturen z.B. auch in Debris-Flows festgestellt wurden.

Aussage und Interpretation von Korngrößenuntersuchungen via Bildschirmanalyse und der Vergleich mit siebanalytisch ermittelten statistischen Parametern sind mit schwer quantifizierbaren Unsicherheiten behaftet. Abgesehen von einer Abschätzung des Korngrößenspektrums des Diamiktits und dem Vergleich von mineralspezifischen Modes des Diamiktits mit denen des potentiellen Liefergesteins lieferten diese Untersuchungen kaum verwertbare Daten für eine fazielle Ansprache des Diamiktits.

Die schwermineralpetrographischen Arbeiten zeigten, daß glazialgeologisch bedingt, deutliche Verschiebungen im Schwermineralspektrum erwartet werden müssen. Im Falle der Diamiktite aus den Kottas-Bergen haben vermutlich glazialsedimentologische Prozesse, trotz eines granatarmen Basements zu einer Granatanreicherung im Schwermineralspektrum von >90 % geführt. Andererseits zeigen gerade diese Vergleichsuntersuchungen, wie kritisch Ergebnisse schwermineralpetrographischer Untersuchungen in glazialen Sedimenten zu betrachten sind.

Von den geochemischen Untersuchungen haben sich einzig Verwitterungsindizes als brauchbares diagnostisches Kriterium erwiesen. Diese Methode dürfte vor allem bei Fehlen eindeutiger Fazieskriterien zur Abschätzung einer möglichen glazialen Entstehung eines Diamiktites geeignet sein.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß die Diamiktite an der Basis der jungpaläozoischen Sedimente der Beacon Supergroup in den Kottas-Bergen – von Ausnahmen abgesehen – keine Tillite im Sinne einer Grundmoräne sind. Dieser Feldbefund konnte vor allem durch die vergleichenden mikrotexturellen Untersuchungen erhärtet werden. Eine weitere Bestätigung dieser Aussage konnte durch Untersuchungen von Schwermineraloberflächen aus Diamiktitproben erbracht werden, die mit einer Ausnahme keine Hinweise auf glaziale Oberflächenbearbeitung erkennen ließen (POSCHER, 1990).

Bei den untersuchten Diamiktiten handelt es sich um kaltzeitliche Sedimente. Dieser Befund gründet einerseits auf den faziellen Bezug zu den hangenden dropstoneführenden Klastika und auf Sauerstoffisotopendaten (POSCHER, 1990), andererseits geben Größenordnungen und Trend der Verwitterungsindizes dafür einen deutlichen Hinweis.

Die Granatanomalien in den Schwermineralspektren der Diamiktite und der hangenden Sedimente sind aufgrund der Vergleichsuntersuchungen als glazialsedimentologisch bedingt anzusehen.

Nach derzeitigem Kenntnisstand überwiegen Argumente, die die jungpaläozoischen Diamiktite aus den Kottas-Bergen als durch Ausschmelzprozesse entstanden sehen.

Dank

Die Möglichkeit der Teilnahme an der Antarktisexpedition verdanke ich dem Engagement von Herrn Univ.-Doz. Dr. GERNOT PATZELT (Institut für Hochgebirgsforschung der Universität Innsbruck) und in weiterer Folge dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung der BRD. Herrn Univ-Prof. Dr. H. MOSTLER danke ich für die Möglichkeit der Durchführung der Arbeiten am Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Innsbruck. Die Herstellung der Dünnschliffe wurde von Herrn F. HELLER besorgt. Die Arbeiten wurden im Rahmen der Förderung wissenschaftlicher Auslandsarbeiten unterstützt, die Feldarbeiten im Quartär wurden seitens der Geologischen Bundesanstalt, des Büros für Hydrogeologie und Bohrwesen Dr. G. GASSER und der Osttiroler Kraftwerke Ges. im Zuge von Kartierungsaufträgen finanziert.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Literatur

BAERMANN, A. & WÜSTENHAGEN K.: Ingenieurgeologische Untersuchungen an Geschiebemergeln im Hamburger Raum. – In: HEITFELD (Hrsg.): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen, 434–448, Heidelberg (Springer) 1985.

BJORLYKKE, K. & ENGLUND, J.O.: Geochemical response to upper Precambrian rift basin sedimentation and lower Palaeozoic epicontinental sedimentation in South Norway. – Chem. Geol., **27**, 271–295, Amsterdam 1979.

BOULTON, G.S.: Boulder shapes and grain-size distributions of debris as indicators of transport paths through a glacier and till genesis. – Sedimentology, **25**, 773–799, Oxford 1978.

BULLER, A.T. & MCMANUS, J.: The quartile-deviation/median-diameter ralationship of glacial deposits. – Sed. Geol., **10**, 135–146, Amsterdam 1973.

CAMMERAAT, E. & RAPPOL, M.: On the Relationship of Bedrock Lithology and Grain Size Distribution of Till in Western Allgäu (Western Germany) and Vorarlberg (Austria). – Jahrb. Geol. B.-A., **130**, 383–389, Wien 1987.

CHRISTENSEN, S.: Elementverteilungsmuster zur stratigraphischen Kennzeichnung von Geschiebermergeln Norddeutschlands. – Meyniana, **39**, 127–138, Kiel 1987.

DREIMANIS, A.: Tills: Their origins and properties. – In: LEGGET (ed.): Glacial Till, 11–49, Ottawa (Le Droit) 1976.

DREIMANIS, A.: Tills: Their genetic terminology and classification. – In: GOLDTHWAIT & MATSCH (eds.): Genetic classification of Glacigenic Deposits, 17–83, Rotterdam (Balkema) 1988.

DREIMANIS, A. & VAGNERS, U.J.: Bimodal distribution of rock and mineral fragments in basalt till. – In GOLDTHWAIT (ed.): Till, A Symposium, 237–250, Columbus (Ohio State University Press) 1971.

DREIMANIS, A. & VAGNERS, U.J.: The effect of lithology upon the texture or till. – In: YATSU & FALCONER (eds.): Research methods in Plesitocene geomorphology. Proc. 2nd. Guelph Symp. Geomorph., 66–82, Ontario 1972.

EYLES, C.H.: Gacially and tidally influenced shallow marine sedimentation of the late Precambrian Port Askaig Formation, Scotland. – Palaeogeogr., Palaeclimatol., Palaeoecol., **68**, 1–25, Amsterdam 1988.

EYLES, C.H., EYLES, N. & MIALL, A.D.: Models of glaciomarine sedimentation and their application to the interpretation of ancient glacial sequences. – Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol, **51**, 15–84, Amsterdam 1985.

EYLES, N., EYLES, C.H. & MIALL, A.D.: Lithofacies types and vertical profile models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite sequences. – Sedimentology, **30**, 393–410, Oxfdord 1983.

FRAKES, L.A.: A preliminary model for subaquaeous-glacial and postglacial sedimentation in intra-continental basins. – Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., **51**, 347–356, Amsterdam 1985.

FRAKES, L.A. & CROWELL, J.C.: Characteristics of Modern Glacial Marine Sediments: Application to Gondwana Glacials. – In: CAMPBELL (ed.): Gondwana Geology, 373–380, Canberra (Australian National University Press) 1975.

FRIEDMANN, G.M.: Determination of sieve-size distribution from thin section data for sedimentary petrological studies. – J. Geology, **66**, 394–416, 1958.

FÜTTERER, D.K.: Die Expedition ANTARKTIS-VI mit FS „Polarstern" 1987/1988 mit Beiträgen der Fahrtteilnehmer. – Ber. Polarforsch., **58**, 1–267, Bremerhaven 1988.

GRAVENOR, C.P.: The nature of the Late Paleozoic glaciation in Gondwana as determined from an analysis of garnets and other heavy minerals. – Can. J. Earth Sci., **16**, 1137–1153, Ottawa 1979.

GROSS, D. & MORAN, S.: Grain-size and mineralogical gradations within tills of the Allegheny Plateau. – In: GOLDTHWAIT (ed.): Till: A Symposium, 251–274, Columbus (Ohio State University Press) 1971.

HALDORSEN, S.: Grain-size distribution of subglacial till and its relation to glacial crushing and abrasion. – Boreas, **10**, 91–105, Oslo 1981,.

HALDORSEN, S.: Mineralogy and geochemistry of basal till and their relationship to till-forming processes. – Norsk Geologisk Tidsskrift, **63**, 15–25, Oslo 1983.

HARNOIS, L.: The CIW index: a new chemical index of weathering. – Sed. Geol., **55**, 319–322, Amsterdam 1988.

KIVEKÄS, E.K.: Zur Kenntnis der mechanischen, chemischen und mineralogischen Zusammensetzung der finnischen Moränen. – Acta Agralia Fennica, **60**, 1–122, Helsinki 1946.

LINDSAY, J.F.: Depositional environment of Paleozoic glacial rocks in the central Transantarctic Mountains. – Geol. Soc. Am. Bull., **81**, 1149–1172, Boulder 1970.

MIALL, A.D.: A review of the braided-river depositional environment. – Earth Sci. Rev., **13**, 1–62, Amsterdam 1977.

MILLS, H.H.: Textural characteristics of drift from some representative Cordilleran glaciers. – Geol. Soc. Am. Bull, **88**, 1135–1143, Boulder 1977.

MORTON, A.C.: Heavy minerals in provenance studies. – In: ZUFFA (ed.): Provenance of Arenites, 249–277, Dordrecht (Reidel) 1985.

NESBITT, H.W. & YOUNG, G.M.: Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. – Nature, **299**, 715–717, London 1982.

PALUSKA, A.: Verformungsverhalten und Strukturfestigkeit norddeutscher Geschiebemergel. – In: HEITFELD (Hrsg.): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen, 477–493, Heidelberg (Springer) 1985.

POSCHER, G: Fazielle Untersuchungen in den jungpaläozoischen Sedimenten der Heimefrontfjella und der Kraulberge. – Ber. Polarforsch., **58**, 180–183, Bremerhaven 1988a.

POSCHER, G: Bericht 1987 über geologische Aufnahmen im Quartär (Inntalterrassen) auf Blatt 117 Zirl. – Jahrb. Geol. B.-A., **131**/3, 436–437, Wien 1988b.

POSCHER, G: Stauraumkartierung 1 : 10.000 Dorfertal. – Unveröff. Ber., 25 S., 17 Abb., 3 Kt.-Beil., OKG/TIWAG, Innsbruck 1988c.

POSCHER, G: Sedimentpetrographische Charakterisierung von Diamiktiten der Beacon Super-Group, Kottas-Berge, Ritscherhochland (Antarktis). – Zschr. Glkde. und Glazgeol., **24**, 1–16, Innsbruck 1989.

POSCHER, G: Jungpaläozoische, kaltzeitliche Sedimentation in der Beacon Supergroup der Heimefrontfjella, Neuschwabenland (Antarktis). – Unveröff. Diss. Univ. Innsbruck, 137 S., Innsbruck 1990.

ROALDSET, E.: Mineralogy and geochemistry of Quaternary clays in the Numedal area, southern Norway. – Norsk Geologisk Tidsskrift, **52**, 335–369, Oslo 1972.

SAARNISTO, M. & TAIPALE, K.: Influence of the Kuhmo Greenstone Belt (Eastern Finland) Upon the Lithology and Geochemistry of Till. – Stria, **20**, 39–44, Uppsala 1984.

SHAW, J.: Forms associated with boulders in melt-out till. – In: EVENSON et al. (eds.): Tills and Related Deposits, 3–12, Rotterdam (Balkema) 1983.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

SITLER, R.F. & CHAPMAN, C.A.: Microfabrics of till from Ohio and Pennsylvania. – J. Sed. Petrol., **25**, 262–269, Tulsa 1955.

SLATT, R.M.: Texture and composition of till derived from parent rocks of contrasting textures: Southeastern Newfoundland. – Sed. Geol., **7**, 283–290, Amsterdam 1971.

SUTTNER, L.J. & DUTTA, P.K.: Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. – J. Sed. Petrol., **56**, 329–345, Tulsa 1986.

TAIPALE, K., NEVALAINEN, R. & SAARNISTO, M.: Silicate analyses and normative compositions of the fine fraction of till: Examples from eastern Finland. – J. Sed. Petrol., **56**, 370–378, Tulsa 1986.

TCHALENKO, J.S.: The evolution of kink-bands and the development of compression textures in sheared clays. – Tectonophysics, **6**, 159–174, Amsterdam 1968.

VISSER, J.N.N.: The Permo-Carboniferous Dwyka Formation of Southern Africa: Deposition by a predominantly subpolar marine ice sheet. – Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., **70**, 377–391, Amsterdam 1989.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 19. November 1991.

Tafel 1

Fig. 1: **Diamiktite Schivestolen (Kottas-Berge), Gletscherschliff (R = 337°), vorgefunden im autochthonen Schutt basaler Diamiktite.**

Fig. 2: **Diamiktite Schivestolen (Kottas-Berge), Blick auf die hangende „Schichtfläche" des Diamiktites.** (Größenmaßstab Marker, siehe Pfeil).

Fig. 3: **Diamiktit Schivestolen, Anschliff von Probe BA 2.** Unregelmäßige, wellige Schichtung, gradiert; bei den Gesteinsbruchstücken handelt es sich um kantige bis kantengerundete polykristalline Quarze und Gneise.

Fig. 4: **Diamiktit Schivestolen, Dünnschliff (‖N) Probe BA 2.** Matrixreicher Silt wird von karbonatzementiertem siltigem Sand (Orthomatrix reliktisch erhalten) konkordant überlagert. Die Gneiskomponente ist von dünnem, tonigem Rand umgeben, die Schichtgrenze im Hangenden dieser Komponenten wird als Scherfläche interpretiert (vgl. Fig. 6).

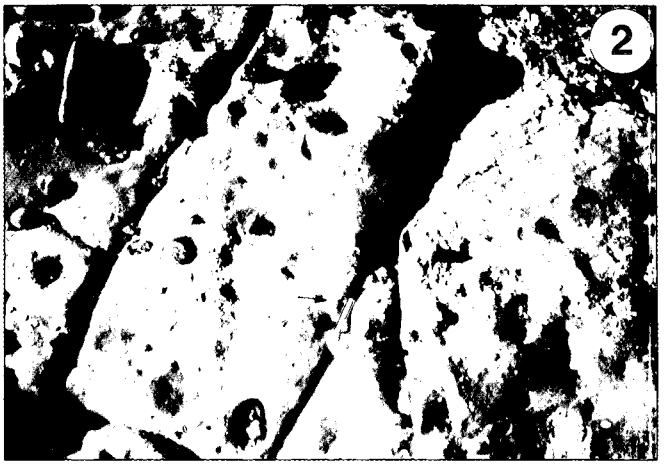
Fig. 5: **Diamiktit Schivestolen, Dünnschliff (×N) Probe BA 1.** Detail aus Fig. 6.

Fig. 6: **Diamiktit Schivestolen, Dünnschliff (‖N) Probe BA 1.** Onlap-Sedimentation (vgl. Fig. 5) an Kompontente (Feldspatkorn), die matrixreichen Siltlagen im Hangenden zeichnen die Struktur der Komponente nach.

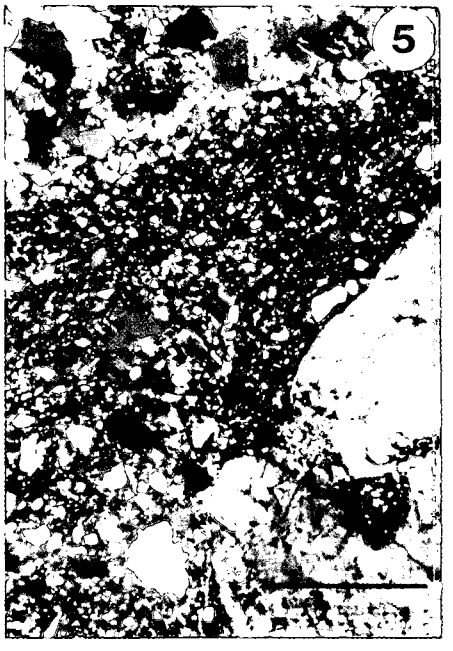
Fig. 7: **Diamiktit Schivestolen, Dünnschliff (×N) Probe BA 2.** Schichtstruktur und Korngrößenwechsel, Komponente in Bildmitte mit „Druckschatten" (rechts).

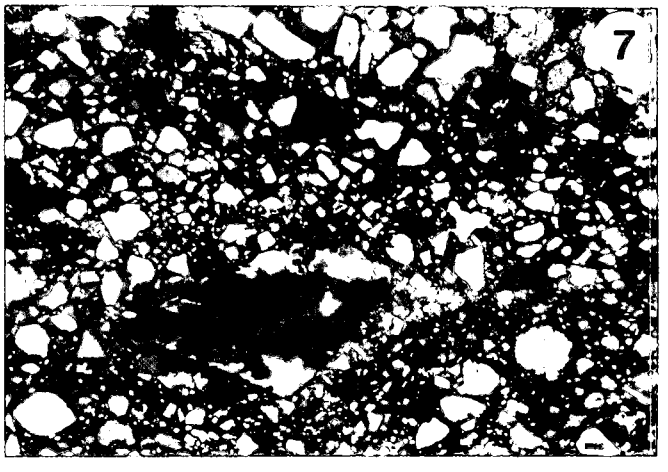
Mikroskopische Aufnahmen Fig. 4 bis 7: Schwarzer Balken entspricht 1 mm.

©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at



3





©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

Tafel 2

Fig. 1: **Mariner Diamiktit der Port Askaig Fm., Probe G 6/1 (Garvellaches/Schottland).**
Regellos verteilte Klasten in vordergründig strukturlosem Sediment.

Fig. 2: **Mariner Diamiktit der Port Askaig Fm., Dünnschliff (‖N) Probe G 5/a (Garvellaches/Schottland).**
Das Interngefüge ist durch gradierte unregelmäßige Schichtung, Onlap-Sedimentation und Fluidalstrukturen charakterisiert.

Fig. 3: **Mariner Diamiktit der Port Askaig Fm., Dünnschliff (×N) Probe G 6/2a (Garvellaches/Schottland).**
Fluidalstruktur mit Druckschattenbildung (links).

Fig. 4: **Dwyka Tillit, Dünnschliff (‖N) Probe SA 5b (Bloemfontain/Südafrika).**
Alpinen Grundmoränen vergleichbare schwache Einregelung der Körner im Umfeld größerer Komponenten, ansonsten weder Schichtung noch Gradierung; sekundäre Rißbildungen an der Spitze der Komponente in Bildmitte (Kerbwirkung).

Fig. 5: **Hangende Grundmoräne Mörderloch (Probe GM 15, Telfs/Tirol).**
Sandig, karbonatreich; in-situ-Zerbruch eines Karbonatkorns typisch glazialer Kornform („flat iron shaped"); Scherbahnen orientieren sich an Korngrenzen und kommen als dunkle, feinklastische Bänder zum Ausdruck.

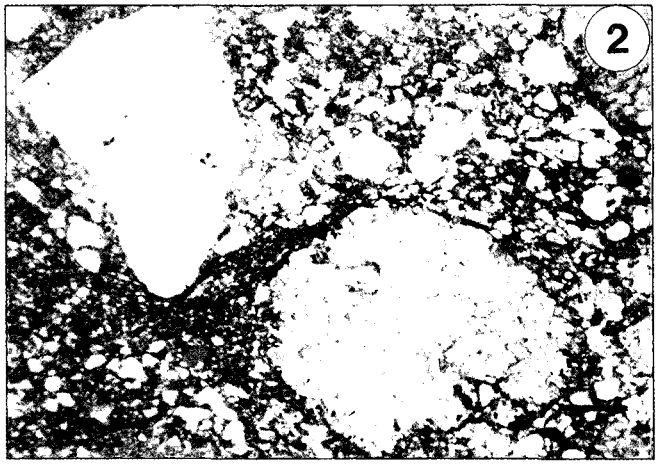
Fig. 6: **Hangende Grundmoräne KB 8–15,7 m (GM 2, Inntaltunnel/Tirol).**
Matrixreich, bevorzugte Einregelung in Scherzonen, es bilden sich jedoch keine diskreten Scherbahnen aus.

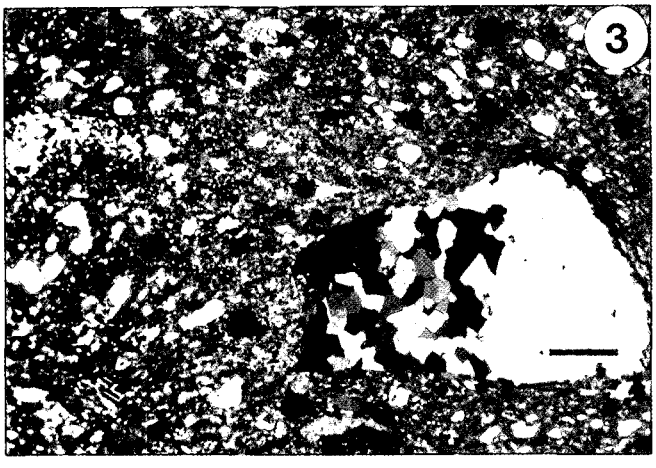
Fig. 7: **Grundmoräne Hatting (GM 6, Inntal/Tirol).**
Sandig, karbonatreich, granatreich, Desintegration eines Granatkorns.

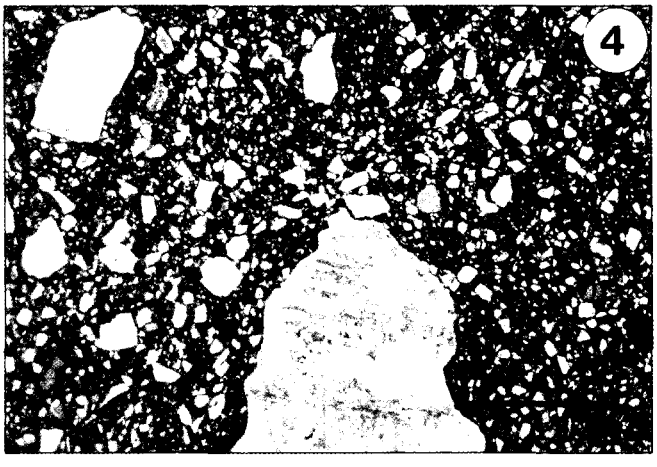
Fig. 8: **Grundmoräne Stotzboden (GM 1, Dorfertal/Osttirol).**
Feinklastische und/oder matrixreiche Horizonte dienen als bevorzugte Bewegungsbahnen, Ausbildung von Fließstrukturen und Verfaltungen.

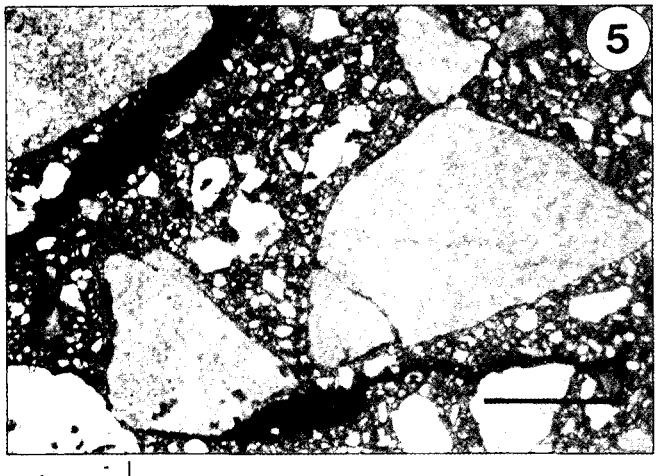
Mikroskopische Aufnahmen Fig. 2 bis 8: Schwarzer Balken entspricht 1 mm.

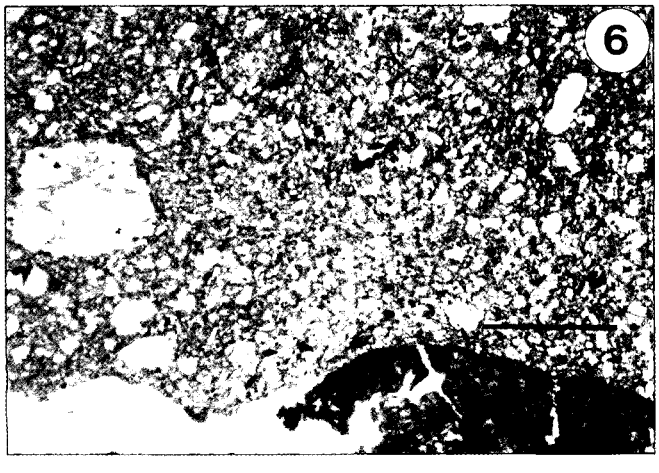
©Geol. Bundesanstalt, Wien; download unter www.geologie.ac.at

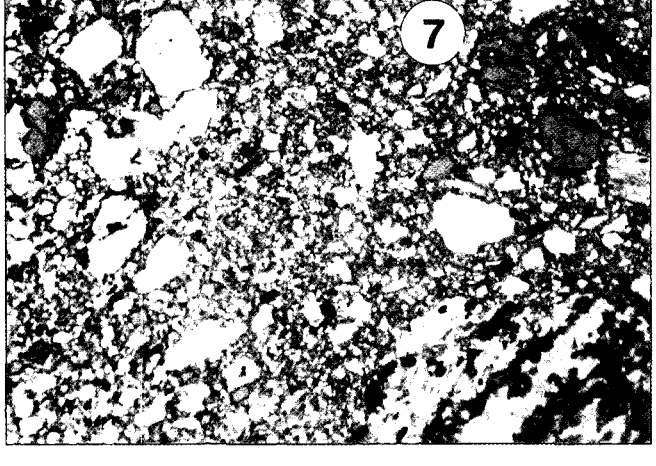


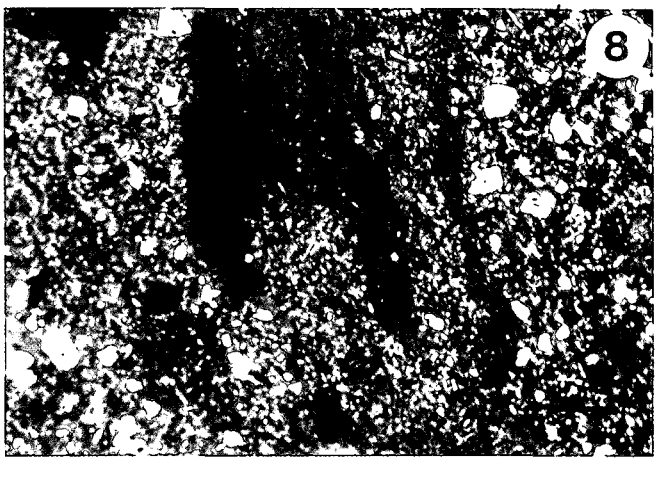












ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: 135

Autor(en)/Author(s): Poscher Gerhard

Artikel/Article: Mikrotexturelle, sedimentpetrographische und geochemische Vergleichsuntersuchungen an jungpaläozoischen Diamiktiten der Ostantarktis, präkambrischen Diamiktiten Schottlands und glazialen Sedimenten der Ostalpen 493-511