

Schwermineraluntersuchungen an miozänen Sedimenten im Umfeld der Mittelsteirischen Schwelle (Steirisches Becken, Österreich)

Von J. GEORG FRIEBE*)

Mit 6 Abbildungen und 1 Tabelle

Österreichische Karte 1 : 50000
Blätter 190, 207, 208

*Steiermark
Miozän
Schwermineraluntersuchungen
Statistik*

Inhalt

Zusammenfassung	537
Abstract	537
1. Einleitung	537
1.1. Methodik	538
2. Geologischer Rahmen	538
3. Ergebnisse	539
4. Schwermineralstatistik	540
4.1. Die Fuzzy c-Means Cluster Analyse	541
4.2. Diskussion der Ergebnisse	543
4.3. Interpretation	544
5. Liefergebiete	544
6. Vergleiche mit anderen Ablagerungen	544
6.1. Rezente Flußsedimente	544
6.2. Eibiswalder Schichten (Karpatum)	544
6.3. „Florianer Schichten“	544
6.4. Eckwirtschotter (Teilbecken von Thal, Oberes Badenium)	544
7. Schlußfolgerungen	545
Dank	546
Literatur	546

Zusammenfassung

Im Anschluß an eine Hebung des Hinterlandes im obersten Karpatum wird über ein Braid-Delta-System frisches Sediment mit Granat-dominierten Schwermineralspektren ins Südweststeirische Teilbecken eingebracht. Die Granat-Vormacht hält im Unteren und Mittleren Badenium an.

Im Oberen Badenium ist ein Wechsel zu Resistentmineralreichen Assoziationen eines stark verwitterten Hinterlandes zu verzeichnen.

Ein Granat-Epidot/Zoisit-Mischglied ist untergeordnet vertreten. Die Ablagerungen des Badenium im Umfeld der Mittelsteirischen Schwelle repräsentieren einen Schwermineralzyklus sensu STATTEGGER (1989) und spiegeln die Geschichte des Hinterlandes wider.

Heavy Mineral Analysis of Miocene Sediments in the Vicinity of the Mittelsteirische Schwelle (Styrian Basin, Austria)

Abstract

Following an uplift of the hinterland in the latest Karpatian "fresh" sediment with garnet-dominated heavy mineral associations is transported into the southwestern part of the Sty-

rian Basin. The predominance of garnet prevails during the Lower and Middle Badenian.

In the Upper Badenian a shift towards spectra enriched in epidote and stable minerals (rutile, tourmalin and zirkon) derived from a weathered hinterland occurs. A garnet-epidote mixing stage is of minor importance.

The sediments of the Badenian in the vicinity of the Mittelsteirische Schwelle represent a heavy mineral cycle sensu STATTEGGER (1989) and thus reflect the uplift and weathering of the hinterland.

1. Einleitung

Unter der Voraussetzung, daß diagenetische Veränderungen der Spektren eine nur untergeordnete Rolle spielen (PETTIJOHN, 1941), spiegeln Schwerminerale einerseits die Lithologie des Liefergebietes, andererseits tektonische Prozesse im Hinterland und im Sedimentationsbecken wider (VAN ANDEL, 1959; HUBERT, 1962; MORTON, 1985):

In Becken mit hoher Sedimentationsrate und bei aktiver Erosion im Alimentationsgebiet (starkes Relief nach tektonischer Heraushebung) reflektieren die Spektren den ursprünglichen Schwermineralbestand der erodierten Gesteine. Starke Verwitterung und langer Transportweg infolge eines flachen Reliefs modifizieren die Spektren.

*) Anschrift des Autors: Dr. J. GEORG FRIEBE, Institut für Geologie und Paläontologie, Karl Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 26, A-8010 Graz.

Im Steirischen Becken zeigen die Schwermineralverteilungen eine zyklische Entwicklung. Auf ein basales Granat-Event folgt eine Granat-Epidot-Mischphase. Epidot-dominierte Assoziationen beenden einen Zyklus (NEBERT, 1983a).

Diese Zyklen, die nicht an stratigraphische Grenzen gebunden sind, reflektieren den schrittweisen Aufstieg des metamorphen Hinterlandes mit nachfolgender Erosion. Granat-Events indizieren hohe Reliefenergie als Folge tektonischer Bewegungen: Frische Metamorphite werden erodiert. Stabile tektonische Verhältnisse ermöglichen intensive Verwitterung des Hinterlandes in einem warmen, humiden Klima, welche Epidot gegenüber Granat anreichert (STATTEGGER, 1989).

Hinweise auf diese Zyklizität in den Siliziklastika des Badenium (mittleres Miozän) im Umfeld der Mittelsteirischen Schwelle zu erarbeiten, ist Ziel dieser Studie.

1.1. Methodik

Es wurden die Schwermineralassoziationen von insgesamt 94 Proben untersucht.

Von jeder Probe wurden die Fraktionen 63 bis 125 Mikron und 125 bis 355 Mikron (im Folgenden als Feinfraktion und Grobfraktion bezeichnet) mittels Naßsiegung gewonnen. Die Proben wurden zuvor mit Wasserstoffperoxid dispergiert.

Die Abtrennung der Schwerminerale in den beiden Fraktionen erfolgte gravitativ mit Natriumpolywolframat bzw. Tetrabrommethan nach den gängigen Verfahren (BOENIGK, 1983; NEY, 1986).

Von den getrockneten und gewogenen Schwerfraktionen wurden Streupräparate mit „MOUNTEX“ als Ein-

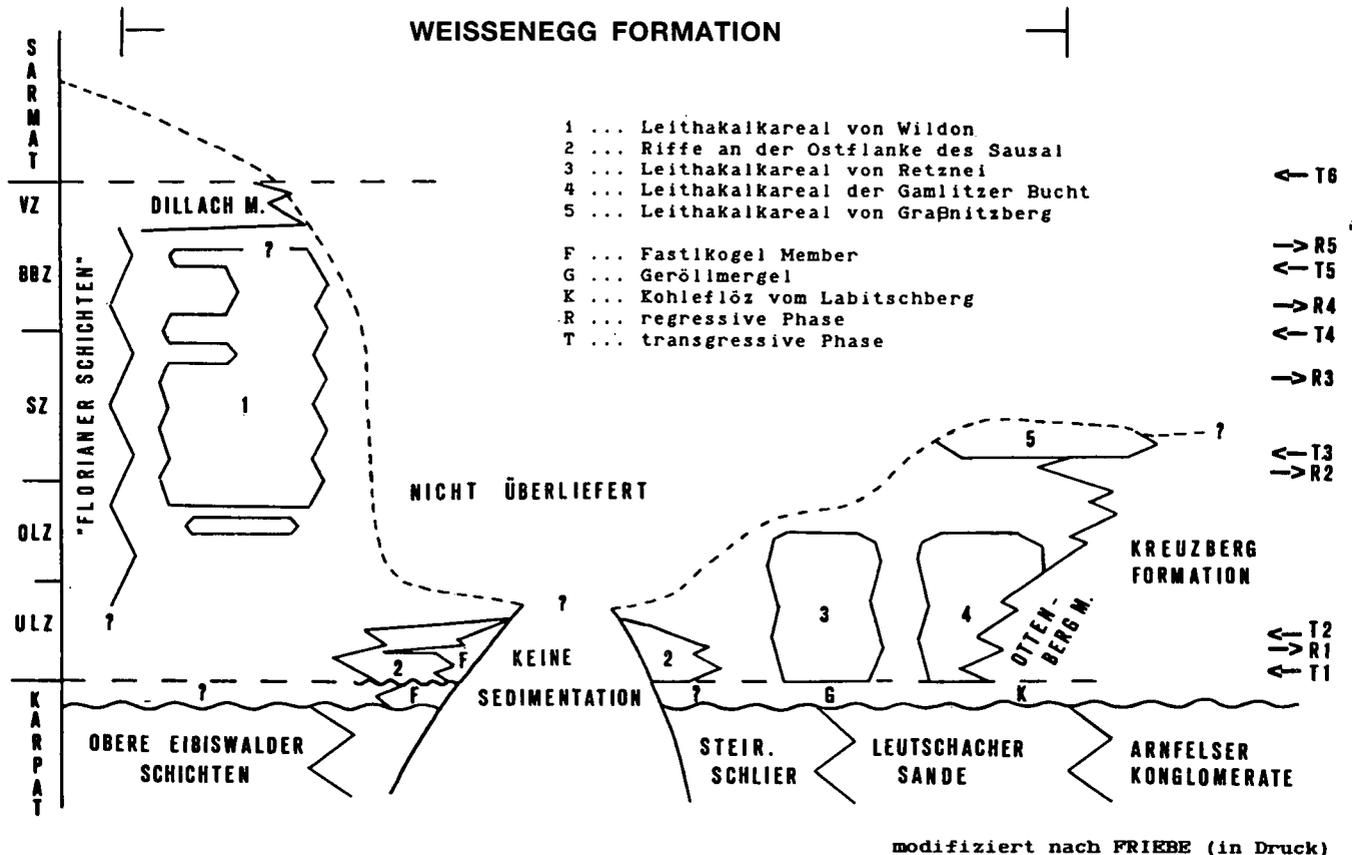
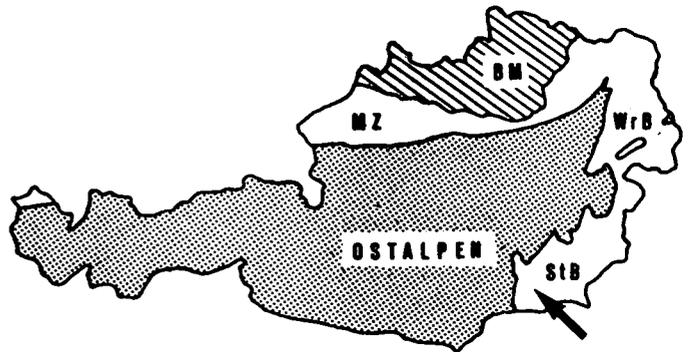
bettungsmittel angefertigt. Pro Präparat der Feinfraktion wurden 500 durchsichtige Körner, pro Präparat der Grobfraktion 250 durchsichtige Körner (in Ausnahmefällen auch darunter) und der Opakanteil ausgezählt und in Kornprozentwerte der einzelnen Minerale umgerechnet.

Bei der Ermittlung repräsentativer Durchschnittswerte für die Kornprozentanteile der Schwerminerale einer Probe dienen die Gewichtsanteile der beiden Korngrößenfraktionen als Gewichtungsfaktoren.

Die statistische Auswertung berücksichtigte das Gesamtspektrum und die Feinfraktion. Die Grobfraktion wurde zu Vergleichen herangezogen.

2. Geologischer Rahmen

Das Steirische Tertiärbecken bildet eine westliche Randbucht des Pannonischen Beckens, von dem es durch die Südburgenländische Schwelle getrennt ist.



modifiziert nach FRIEBE (in Druck)

Abb. 1. Lage des Arbeitsgebietes (a) und lithostratigraphische Gliederung der Sedimente im Umfeld der Mittelsteirischen Schwelle (b).

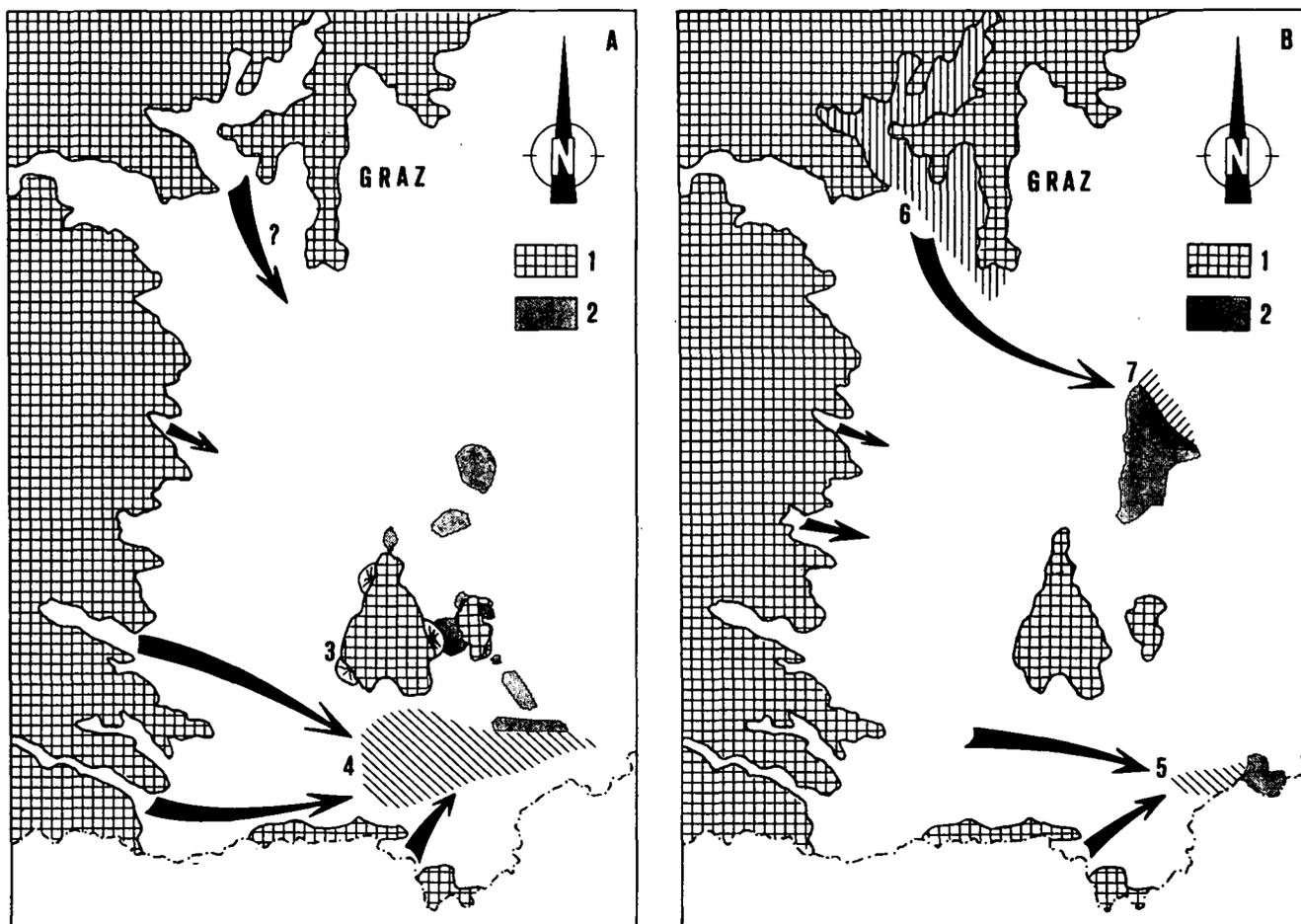


Abb. 2.
Skizzen zur Paläogeographie der West-Steiermark im Badenium.
A = Unteres Badenium; B = Mittleres und Oberes Badenium.

1 = prätertiäres Grundgebirge; 2 = Leithakalk; 3 = lokale Fan-Deltas aus dem Sausal (oberstes Karpatium, Untere Lagenidenzone); 4 = subaquatischer Teil des Kreuzberg Braid-Deltas (Lagenidenzone); 5 = Progradatation der Kreuzberg-Schüttung zu Beginn der Sandschalerzone; 6 = Fluviale Ablagerungen des Oberen Badenium (Eckwirt-Schotter); 7 = Progradatation der Deltasedimentation des Dillach-Members in der Verarmungszone;
→ = terrigener Input.

Eine Küstenlinie in der Florianer Bucht kann nach derzeitigem Kenntnisstand nicht angegeben werden.

Seine Genese wird durch „Pull-Apart“-Prozesse (FLÜGEL, 1988) und Schollenrotation in Zusammenhang mit einem „Continental Escape“ (Ausquetschung bzw. Abgleiten eines Krustenkeiles vom aufsteigenden Penninikum der Hohen Tauern nach Osten; NEUBAUER & GENSER, 1990) erklärt. Diese Prozesse führten zu einer Gliederung in Teilbecken, die durch Hochzonen getrennt sind.

Die Mittelsteirische Schwelle unterteilt das Steirische Becken in ein Weststeirisches und ein Oststeirisches Becken, wobei letzteres wiederum in kleinere Teilbecken zerfällt (KOLLMANN, 1965). Sie ist im Badenium durch Leithakalk-Sedimentation [Korallenrasen, Corallinaceen- (Rhodolithen und Algen-Schutt) und seltener Bryozoen-Kalke] gekennzeichnet, während in den tieferen Beckenteilen klastische Sedimente zur Ablagerung gelangen. Siliziklastika und Leithakalk werden als Weißenegg-Formation zusammengefaßt (Abb. 1; FRIEBE, 1990a), die flachmarinen Siliziklastika des Weststeirischen Beckens werden als „Florianer Schichten“ bezeichnet (KOLLMANN, 1965).

Sediment wird während der Lagenidenzone (Unteres Badenium) durch einen Braid-Delta-Komplex im Südweststeirischen Teilbecken (Kreuzberg-Formation) und durch lokale Schuttfächer aus dem Sausal-Paläozoi-

kum als Teil der Mittelsteirischen Schwelle (Fastkogel-Member), in der Buliminen-Bolivinen-Zone und Verarmungszone (Oberes Badenium) durch ein von NW progradierendes (Braid-)Delta (Eckwirt-Schotter, RIEPLER, 1988, und Dillach-Member, FRIEBE, 1990a) eingebracht (Abb. 2).

3. Ergebnisse

Im Arbeitsgebiet können drei Grundtypen von Schwermineralspektren unterschieden werden (vgl. Tab. 1):

- 1) „Granat“-Spektrum
Granat dominiert mit meist mehr als 80 Korn-%. Alle übrigen Minerale sind nur untergeordnet vertreten. Bisweilen tritt Epidot/Zoisit etwas stärker hervor.
Dieser Typus kommt im gesamten Arbeitsgebiet vor.
- 2) „Granat-Epidot/Zoisit“-Spektrum
Epidot/Zoisit ist auf Kosten des Granat angereichert, alle übrigen Minerale (mit Ausnahme des Disthenen) sind selten. Der Anteil an Epidot/Zoisit liegt

Tabelle 1.
Mittels Fuzzy c-Means Cluster Analyse errechnete Endglieder.

	GRAN	EPID	TURM	RUTI	ZIRK	REST	SM-%	OPAK
Gesamtprobe; m = 1,5								
„Granat“	86,3	6,3	2,0	1,4	0,2	3,8	10,2	4,3
„Granat-Epidot/Zoisit“	63,3	15,1	4,2	3,6	0,7	12,7	3,4	10,0
„Stabil-Epidot/Zoisit“	17,4	29,0	15,6	18,0	1,7	18,3	2,3	6,0
Gesamtprobe; m = 2,5								
„Granat“	86,4	6,0	2,0	1,5	0,2	3,8	8,8	4,4
„Granat-Epidot/Zoisit“	70,9	12,8	3,5	2,7	0,5	9,5	6,1	8,0
„Stabil-Epidot/Zoisit“	17,7	27,8	16,3	19,7	1,6	16,9	2,2	6,0
Gesamtprobe; m = 5,0								
„Granat“	84,2	6,9	2,3	1,8	0,3	4,7	8,2	4,9
„Granat-Epidot/Zoisit“	78,4	9,5	2,9	2,1	0,3	6,6	8,0	6,0
„Stabil-Epidot/Zoisit“	20,4	27,2	15,3	19,3	1,5	16,3	2,3	5,9
Gesamtprobe; m = 2,5; ohne SM-%; ohne Opakanteil								
„Granat“	86,6	6,1	2,0	1,5	0,2	3,7		
„Granat-Epidot/Zoisit“	61,9	16,9	4,6	3,7	0,7	12,1		
„Stabil-Epidot/Zoisit“	15,2	27,9	17,2	20,7	1,6	11,9		
Gesamtprobe; m = 2,5; ohne Granat; ohne SM-%; ohne Opakanteil								
„Granat“		5,7	2,2	1,6	0,2	4,2		
„Granat-Epidot/Zoisit“		16,8	3,2	2,4	0,5	9,4		
„Stabil-Epidot/Zoisit“		27,7	16,2	19,8	1,5	16,4		
Feinfraktion; m = 2,5								
„Granat“	83,8	7,0	1,3	2,8	0,4	4,6	8,9	5,3
„Granat-Epidot/Zoisit“	61,8	21,7	2,2	3,7	0,8	9,7	8,6	8,3
„Stabil-Epidot/Zoisit“	17,2	25,0	9,6	28,2	3,7	16,3	3,4	6,3
Feinfraktion; m = 2,5; ohne SM-%; ohne Opakanteil								
„Granat“	84,0	7,1	1,3	2,6	0,4	4,8		
„Granat-Epidot/Zoisit“	55,8	26,1	2,3	4,1	0,9	10,8		
„Stabil-Epidot/Zoisit“	13,8	24,8	10,3	30,2	3,8	17,0		
Feinfraktion; m = 2,5; ohne Granat; ohne SM-%; ohne Opakanteil								
„Granat“		7,2	1,5	2,8	0,5	5,2		
„Granat-Epidot/Zoisit“		33,7	1,9	2,8	0,6	8,6		
„Stabil-Epidot/Zoisit“		27,3	9,6	28,9	3,7	15,9		

zwischen 15 und 30 Korn-% und kann im Extremfall ca. 40 Korn-% erreichen.

Dieser Typus tritt bevorzugt in den Ablagerungen des Südweststeirischen Teilbeckens auf.

3) „Stabil“-Spektrum

Rutil und Turmalin (und zu einem geringeren Teil auch Zirkon) sind angereichert und machen jeweils zwischen 10 und 20 Korn-% des Gesamtspektrums aus. Der Gehalt an Epidot/Zoisit liegt ebenfalls um 20 Korn-%. Granat tritt stark zurück.

Dieser Typus ist auf die Ablagerungen des Oberen Badenium (Dillach-Member) beschränkt.

Amphibole kommen in nur wenigen Proben in geringen Prozentsätzen vor.

In allen drei Grundtypen ist der Opakanteil gering, während der Anteil der Schwerfraktion stärkeren Schwankungen unterworfen ist (zwischen <1 Gew.-% bei Turmalin-Rutil-Zirkon-Vormacht und >30 Gew.-% bei Granat-Vormacht).

„Stabil“-Spektren sind durch ein gehäuftes Auftreten von Eisenhydroxiden charakterisiert, welches für die weiterführenden Untersuchungen unbeachtet blieb.

Die Schwermineralassoziationen von Tuffiten lassen sich in keine dieser Gruppen einordnen. Sie sind leicht durch einen hohen Anteil an idiomorphen Biotit-Kristallen erkennbar (vgl. WEAVER, 1963). Biotit wurde, da er quantitativ kaum erfassbar ist, für die statistische Auswertung nicht berücksichtigt.

Im Arbeitsgebiet wurden zwei Typen von Tuffiten beobachtet:

- 1) Im Tuffit vom Urkogel (HAUSER, 1953) dominieren Hornblenden (ca. 65 Korn-%). Granat (ca. 31 Korn-%) weist auf eine Durchmischung mit „Background-Sediment“ hin. Andere Minerale sind selten. Die Hornblenden zeigen keinerlei Ätzungerscheinungen, sodaß intrastratale Lösung (PETTIJOHN, 1941; MORTON, 1985) (auch für die übrigen Proben) weitgehend ausgeschlossen werden kann.
- 2) Tuffitische Lagen im Steinbruch Retznei (FRIEBE, 1990a) zeigen einen erhöhten Gehalt an Apatit (bis zu 60 Korn-%) und Titanit, sowie Zirkon in idiomorphen Kristallen. Auch sie sind zu einem unterschiedlichen Grad mit „Background-Sediment“ vermischt (bis zu 74 Korn-% Granat in stark kontaminierten Proben).

4. Schwermineralstatistik

Seit der klassischen Arbeit von IMBRIE & VAN ANDEL (1964) werden Methoden der multivariaten Statistik zur Interpretation von Schwermineraldaten angewandt (STATTEGGER, 1986, 1987).

Um etwaige Trends (Variationen in Raum und Zeit) in der Schwermineralverteilung zu erfassen, wurden die

Rohdaten einer Fuzzy c-Means Cluster Analyse (FULL, EHRLICH & BEZDEK, 1982; BEZDEK, EHRLICH & FULL, 1984; MORTON & STATTEGGER, in Vorb.) unterzogen.

4.1. Die Fuzzy c-Means Cluster Analyse

Cluster-Analysen haben zum Ziel, einen Datensatz anhand mehrerer Proben gemeinsamer Merkmale in Gruppen zu unterteilen. Eine Probe kann dabei nur einer Gruppe angehören, die Summe aller Cluster ergibt den ursprünglichen Datensatz („harte“ Aufteilung).

Herkömmliche Cluster-Analysen dieser Art können „Ausreißer“ nicht erkennen und nehmen eine von der jeweiligen Methode abhängige „willkürliche“ Probenzuordnung vor. Offensichtliche „Ausreißer“ müssen vor der Analyse aus dem Datensatz entfernt werden, versteckte „Ausreißer“ verfälschen das Ergebnis.

Die Fuzzy c-Means Cluster Analyse, in den o.a. Arbeiten ausführlich beschrieben, definiert geometrisch betrachtet hypothetische Cluster-Zentren in den Bereichen größerer Probenkonzentration des mehrdimensionalen Probenraumes. Die einzelnen Proben werden nicht mehr streng einer Gruppe zugeordnet, sondern mit jedem Cluster-Zentrum verglichen.

Die Ähnlichkeit mit den Cluster-Zentren (= Grad der Zugehörigkeit der Probe zu den jeweiligen Clustern) wird durch eine Zugehörigkeits-Funktion angegeben. Diese nimmt Werte zwischen 0 und 1 an, wobei höhere Werte eine größere Ähnlichkeit mit dem Cluster-Zentrum signalisieren („weiche“ Aufteilung). Die Summe aller Zugehörigkeiten für eine Probe beträgt 1. „Ausreißer“ zeigen eine geringe Zugehörigkeit zu allen Clu-

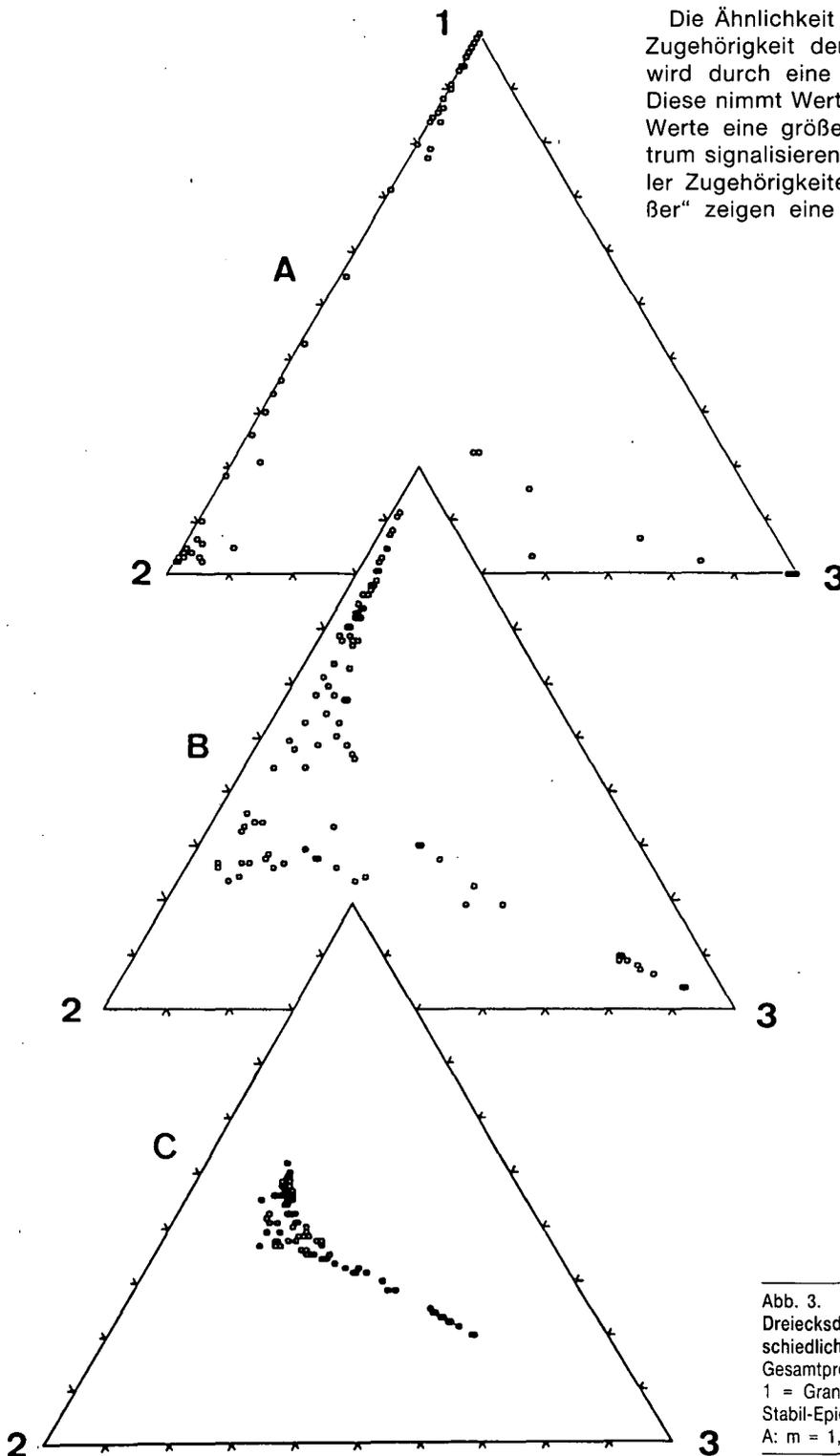


Abb. 3. Dreiecksdarstellung der Zugehörigkeits-Funktionen für unterschiedliche Gewichtungsfaktoren. Gesamtprobe (vgl. Tab. 1). 1 = Granat-Endglied; 2 = Granat-Epidot/Zoisit-Endglied; 3 = Stabil-Epidot/Zoisit-Endglied. A: $m = 1,5$; B: $m = 2,5$; C: $m = 5,0$.

ster-Zentren. Die „harte“ Aufteilung kann als Sonderfall dieser Methode (Zugehörigkeits-Funktion = 1) angesehen werden.

Der Grad der „Härte“ der Aufteilung kann durch einen Gewichtungsfaktor m ($1 \leq m < \infty$) variiert werden. $m = 1$ hat eine „harte“ Aufteilung (Zugehörigkeit einer Probe ausschließlich zu einem Cluster) zur Folge. Mit zunehmendem m wird die Aufteilung „weicher“. Ein zu hoher Gewichtungsfaktor hat Cluster-Zentren zur Folge, die nur noch geringe Ähnlichkeiten mit den Daten aufweisen. Die Trennung wird diffus und ist kaum mehr

interpretierbar. Ein optimaler Wert für m kann nicht angegeben werden und muß für jeden Datensatz empirisch festgelegt werden.

In der Praxis haben sich Werte zwischen 1,5 und 3,0 bewährt. Für die vorliegenden Daten wurde $m = 1,5$ (rel. „harte“ Trennung) und $m = 2,5$ („weiche“ Trennung) gewählt (Abb. 3, Tab. 1).

Die Zahl der zu erstellenden Cluster kann ebenfalls frei gewählt werden. Bei drei Clustern kann die Zugehörigkeit zu den einzelnen Endgliedern im Dreiecksdiagramm graphisch dargestellt werden. Mehr als 5 Cluster liefern meist eine geologisch nicht mehr sinnvoll interpretierbare Aufspaltung.

Für die vorliegenden Daten wurden 2 bis 5 Cluster errechnet. Durch die Zusammenfassung von 2 mal 2 bzw. 3 Zugehörigkeits-Funktionen können auch 5 Cluster im Dreiecksdiagramm dargestellt werden, was in einigen Fällen eine bessere Unterscheidung der einzelnen Sedimentationseinheiten ermöglichte.

Im Zuge der Analyse zeigte sich, daß der Gewichts-% Anteil an Schwermineralen einer Probe zu stark in das Ergebnis einfließt. Ebenso sind weitere Unterteilungen allein aufgrund des Granat-Gehaltes, der geringe Variationen der übrigen Minerale überdeckt, wenig sinnvoll. Daher wurden diese Parameter bei neuerlichen Berechnungen nicht mehr berücksichtigt.

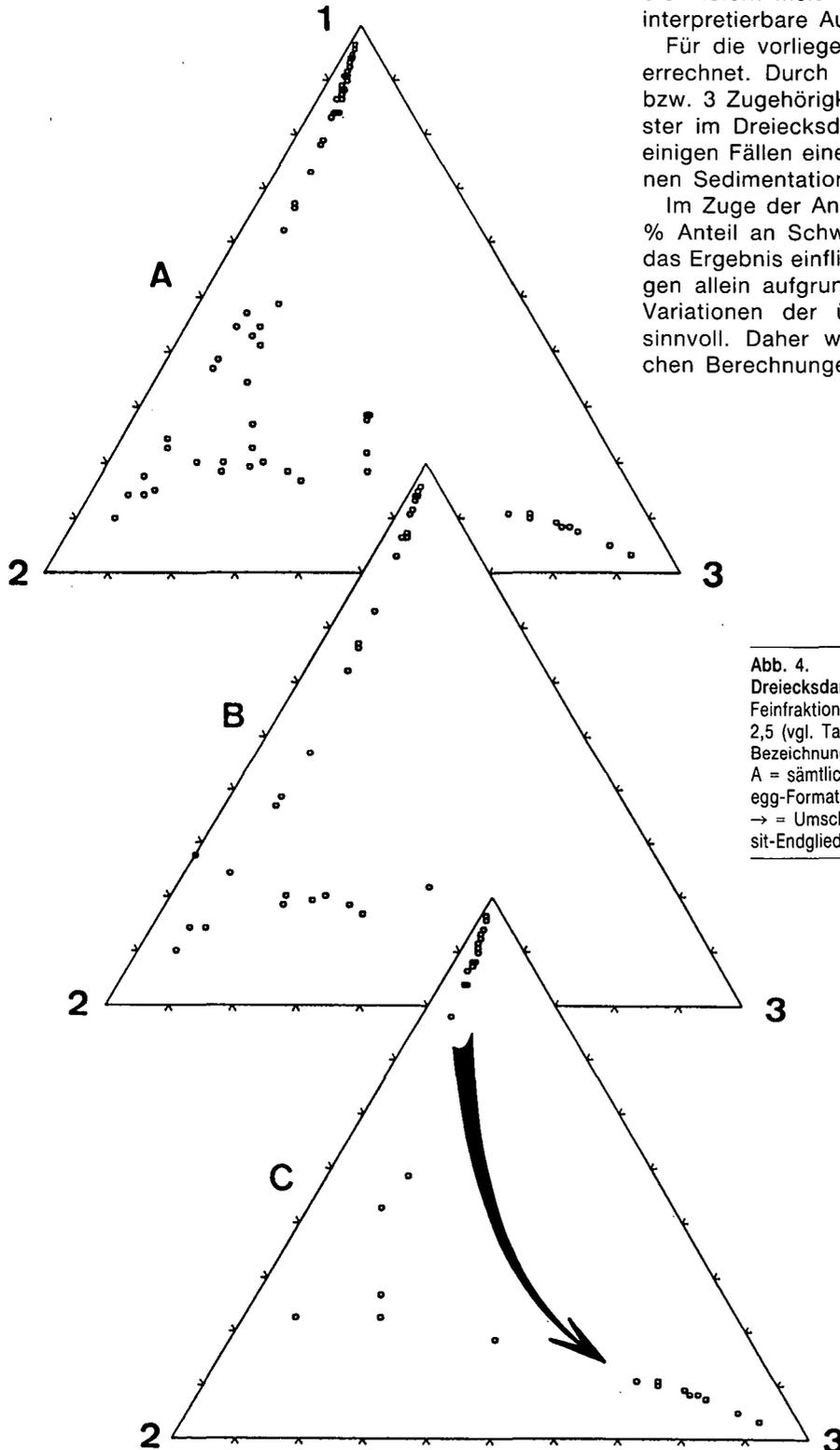
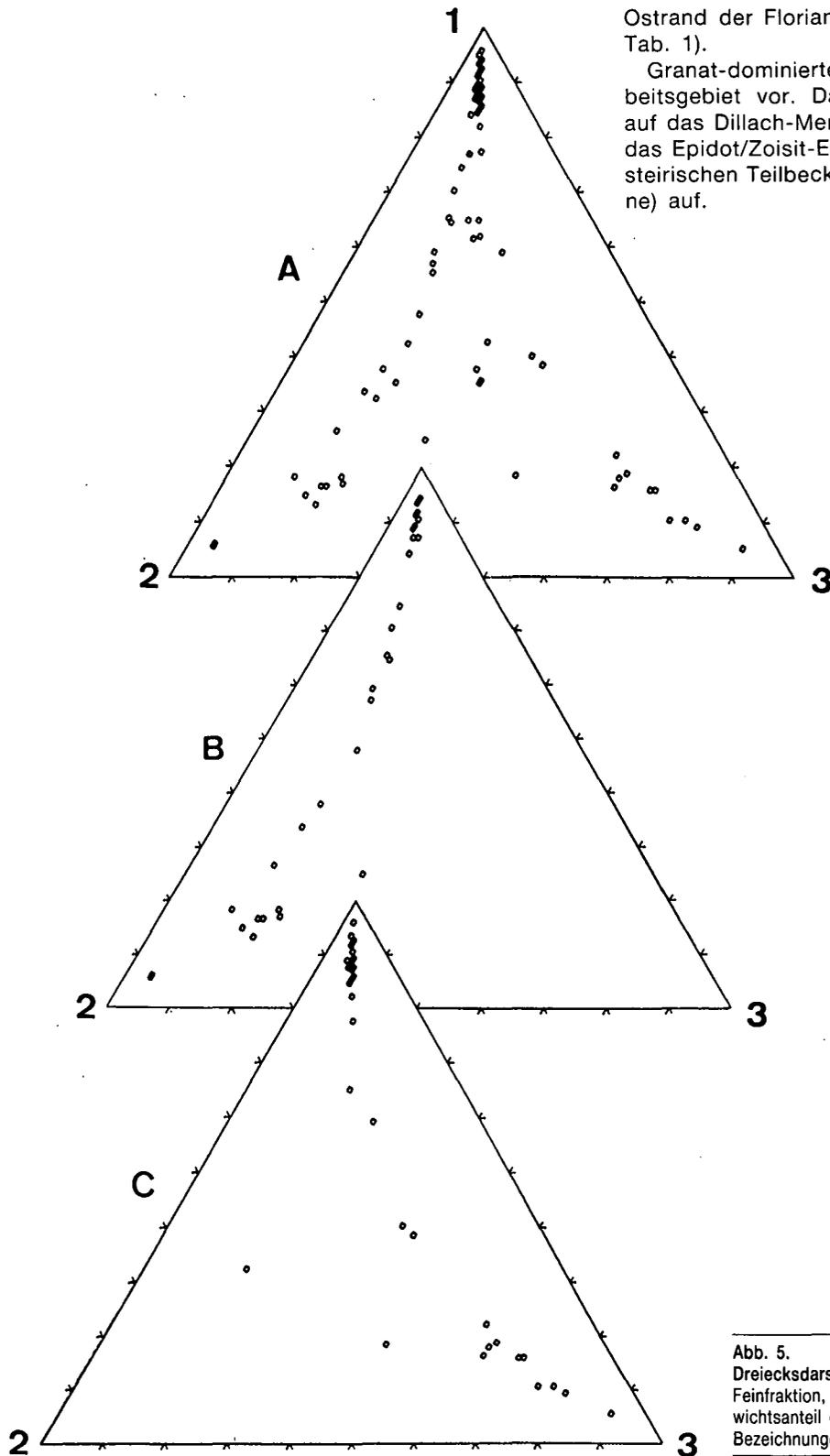


Abb. 4.
Dreiecksdarstellung der Zugehörigkeits-Funktionen.
Feinfraktion, ohne Opakanteil, ohne Gewichtsanteil der SM, $m = 2,5$ (vgl. Tab. 1).
Bezeichnung der Eckpunkte wie in Abb. 3.
A = sämtliche Proben; B = Kreuzberg Formation; C = Weißeng-Formation nördlich des Sausal (incl. Dillach-Member).
→ = Umschwung vom Granat-Endglied zum Stabil-Epidot/Zoisit-Endglied im Oberen Badanium.



Ostrand der Florianer Bucht getrennt werden (Abb. 4, Tab. 1).

Granat-dominierte Proben kommen im gesamten Arbeitsgebiet vor. Das Stabil-Epidot/Zoisit-Endglied ist auf das Dillach-Member (Verarmungszone) beschränkt, das Epidot/Zoisit-Endglied tritt bevorzugt im Südweststeirischen Teilbecken (Lagenidenzone, Sandschalerzone) auf.

Abb. 5.
Dreiecksdarstellung der Zugehörigkeits-Funktionen.
Feinfraktion, ohne Granatgehalt, ohne Opakanteil, ohne Gewichtsanteil der SM, $m = 2,5$ (vgl. Tab. 1).
Bezeichnungen wie in Abb. 3 bzw. 4.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

Die bereits anhand der Urdatenlisten erstellte Dreigliederung (Granat-, Granat-Epidot/Zoisit- und Stabil-Epidot/Zoisit-Endglied) wurde generell durch die Fuzzy c-Means Cluster Analyse bestätigt. Tabelle 1 zeigt die errechneten Cluster-Zentren für Gesamtprobe und Feinfraktion mit und ohne SM-Gehalt und Opakanteil.

In der Dreiecksdarstellung können die Ablagerungen des Südweststeirischen Teilbeckens klar von jenen am

Noch deutlicher wird dieser Trend (sowohl bei 3 als auch bei 5 Cluster-Zentren), wenn der Granat-Anteil in der Berechnung nicht berücksichtigt wird (Abb. 5, Tab. 1).

Die Unterschiede zwischen Fein- und Grobfraktion sind gering und bewegen sich im üblichen Rahmen (Anreicherung von Rutil, Zirkon in der Feinfraktion, von Granat, Disthen, Staurolith, Turmalin in der Grobfraktion; vgl. BOENIGK, 1983).

4.3. Interpretation

Granat-Endglied

Granat wird im Zuge der chemischen Verwitterung bei neutralem und saurem pH gelöst (GRIMM, 1973; NIKKEL, 1973). Hohe Granatanteile indizieren geringe chemische Verwitterung im Hinterland und raschen Abtransport des durch mechanische Verwitterung anfallenden Schutts.

Als Ausgangsgestein sind frische, granatreiche Glimmerschiefer und Gneise des Altkristallin anzusehen.

Eine postsedimentäre Überprägung der Spektren durch intrastratale Lösung kann weitgehend ausgeschlossen werden.

Granat-Epidot/Zoisit-Endglied

Epidot/Zoisit kann sowohl durch primäre Unterschiede im Ausgangsgestein als auch sekundär durch chemische Verwitterung gegenüber Granat angereichert sein. Ein Verwitterungseinfluß hat gleichzeitig eine Lösung des Apatits und eine relative Anreicherung der Resistent-Mineralen (Turmalin, Rutil, Zirkon) zur Folge (GRIMM, 1973). Beides konnte in den Proben dieses Clusters nicht nachgewiesen werden. Die Granate selbst zeigen keine signifikant vom Granat-Endglied abweichenden Lösungs- und Ätzungserscheinungen.

Die räumliche und zeitliche Verknüpfung mit dem Granat-Endglied schließt eine verstärkte chemische Verwitterung im Hinterland aus.

Der erhöhte Epidot/Zoisit-Gehalt wird durch primäre Unterschiede im Liefergestein erklärt. Ausgangsgesteine sind Grobgnese (Ortho- und Paragesteine) des Altkristallin.

Bei einigen Proben ist eine geringe postsedimentäre Verzerrung der Schwermineralassoziation durch Verwitterung nicht von der Hand zu weisen (erhöhter Anteil an Eisenhydroxiden).

Stabil-Epidot/Zoisit-Endglied

Dieses Endglied wird auf eine intensive chemische Verwitterung im Liefergebiet zurückgeführt. Apatit ist selten, Granat zeigt starke Lösungserscheinungen.

Junge Verwitterung wird durch einen hohen Eisenhydroxidgehalt angezeigt.

5. Liefergebiete

Als Liefergebiet fungieren im Süden (Südweststeirisches Teilbecken) das Altkristallin von Koralpe und Poßbruck, im Norden (Ostrand der Florianer Bucht) Koralpe und Gleinalpe.

Geringe Prozentsätze von Chromspinell in Proben aus den „Florianer Schichten“ (NEBERT, 1989) lassen sich aus dem Speik-Komplex (NEUBAUER, 1988) beziehen.

Für das Dillach-Member (Verarmungszone) wird ein heterogenes Liefergebiet mit zeitweise starker chemischer Verwitterung angenommen.

NEBERT (1983a) und STATTEGGER (1989) führen diese auf ein flaches Relief, welches einen raschen Abtransport von Schutt verhindert, zurück. Kurze Hebungs-schübe im Alimentationsgebiet führen zu einer Abtragung des an Granat verarmten Materials und in der Folge zur Freilegung von frischem Gestein. Der Wechsel „Stabil – Epidot/Zoisit“ und „Granat“, wie er in

Bohrungen nördlich Schloß Weißenegg (BECKER, 1984) auftritt (Abb. 6), wird dadurch erklärt.

Lokale Schuttfächer aus dem Sausal haben keinen Einfluß auf die Schwermineralassoziationen. Proben aus dem Fastkogel-Member, die neben paläozoischen Geröllen durchwegs resedimentierten Kristallin-Schutt führen, zeigen eine deutliche Vormacht von Granat und werden von der Fuzzy c-Means Cluster Analyse dem Granat-Endglied zugerechnet (Zugehörigkeitsfunktion $>0,9$ bei $m = 1,5$).

6. Vergleiche mit anderen Ablagerungen

6.1. Rezente Flußsedimente

STATTEGGER (1986) beschreibt rezente Schwermineralspektren aus der Sulm. Diese sind durch Granat geprägt, daneben treten Epidot/Zoisit und Hornblende häufiger auf. Als Liefergebiet fungieren einerseits die Koralpe (Plattengneise und seltener Amphibolite), andererseits jungtertiäre Ablagerungen des Weststeirischen Beckens (Eibiswalder Schichten), welche für den erhöhten Epidot/Zoisit-Gehalt verantwortlich sind.

Das Schwermineralspektrum der Sulm-Sedimente unterscheidet sich von jenem der Kreuzberg Formation durch den relativ hohen Gehalt an Hornblende, welche in den tertiären Ablagerungen gänzlich fehlt. Amphibolite standen im Badenum nur untergeordnet zur Abtragung zur Verfügung, während heute Epidot/Zoisit-reiche Metamorphite eine geringe Rolle als Schwerminerallieferanten spielen.

6.2. Eibiswalder Schichten (Karpatum)

NEBERT (1983b) unterscheidet innerhalb der Eibiswalder Schichten 4 Sedimentationszyklen, die sich u.a. in einem zyklischen Wechsel der Schwermineralassoziationen widerspiegeln. Unterschiede im Schwermineralspektrum werden auf unterschiedliche Verwitterungsgrade des Ausgangsgesteins zurückgeführt.

Die von NEBERT herausgearbeiteten Endglieder („Granat“, „Granat-Epidot“, „Stabil-Epidot“) sind gut mit den mittels Fuzzy c-Means Cluster Analyse errechneten Endgliedern vergleichbar. Ebenso wie in den Ablagerungen des Badenum fehlen in den „Eibiswalder Schichten“ größere Prozentsätze an Hornblende.

Hinweise auf kleindimensionale Schwermineralzyklen im Sinne von NEBERT wurden im Arbeitsgebiet nicht gefunden.

6.3. „Florianer Schichten“

Die „Florianer Schichten“ unterscheiden sich von den Eibiswalder Schichten durch geringe Prozentsätze von Chromspinell (NEBERT, 1989). Chromspinell ist im Arbeitsgebiet nur sehr selten zu finden.

6.4. Eckwirtschotter (Teilbecken von Thal; Oberes Badenum)

RIEPLER (1988) beschreibt Schwermineralspektren aus den Eckwirtschottern. Granat dominiert über Epi-

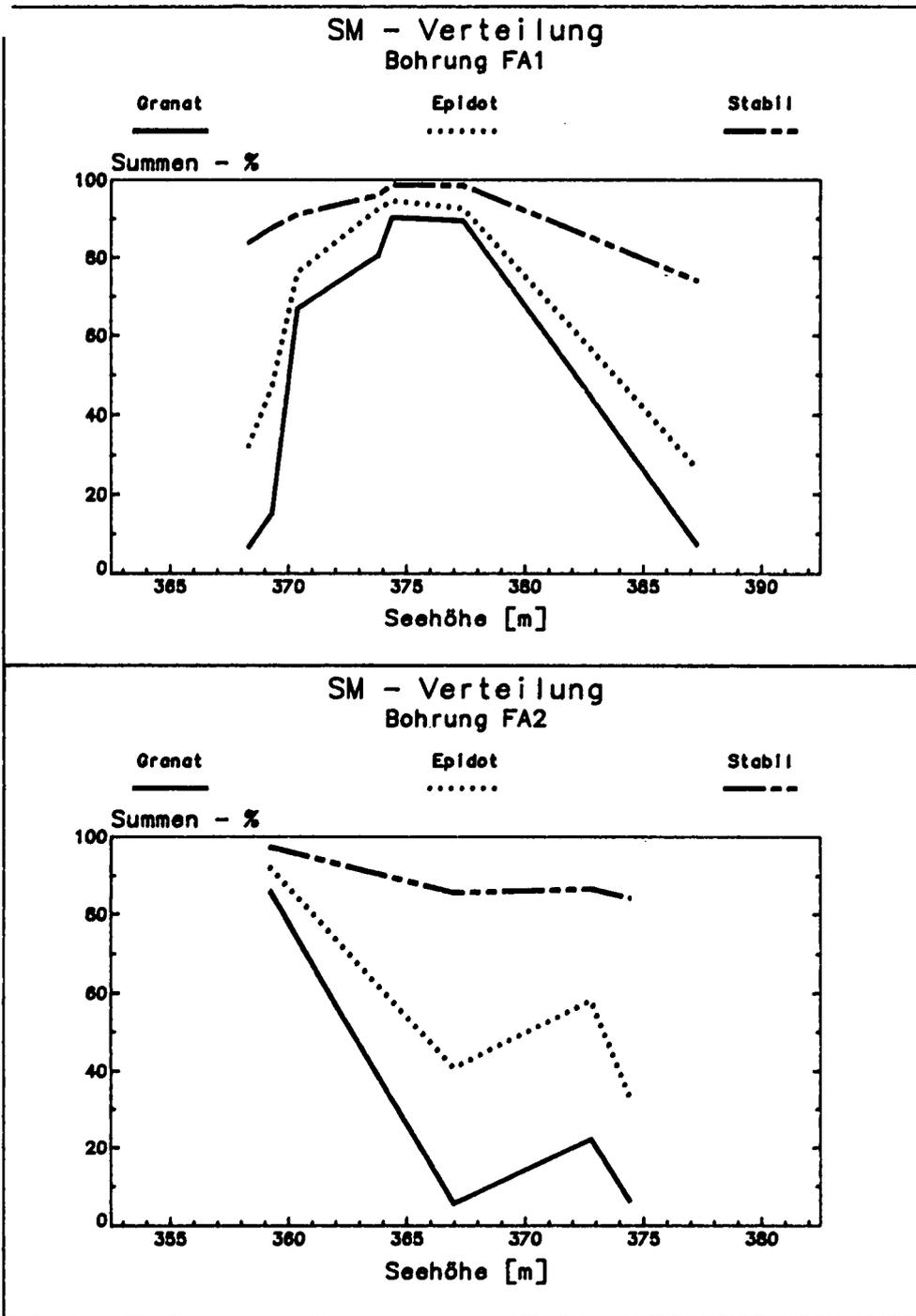


Abb. 6. Schwermineralverteilung im Dillach-Member. Bohrungen FA1 und FA2 der STE-WEAG (BECKER, 1984).

dot/Zoisit, der Apatit-Gehalt ist relativ hoch (ca. 6 %), Hornblende fehlt fast völlig. Die resistenten Minerale erreichen ähnliche Prozentsätze wie Apatit.

Sandige Einschaltungen der „Eckwirtkiese“ sind durch hohe Opakanteile gekennzeichnet. Die durchsichtigen Minerale zeigen keinen einheitlichen Trend. Es treten große Unterschiede im Granat-Epidot/Zoisit-Verhältnis und stark wechselnde Gehalte anderer Minerale (Apatit, Hornblende, Staurolith, resistente Minerale) auf. RIEPLER führt dies auf eine verwitterungsbedingte Überprägung der einzelnen Schwermineral-Spektren zurück. Als Liefergebiet nimmt er das polymetamorphe Glein-/Stubalpenmassiv an.

Die Schwermineralassoziationen der Eckwirtschotter können bedingt mit jenen der Deltafrontsedimente von Dillach verglichen werden. Letzteren fehlen Hornblen-

den und ein höherer Epidot/Zoisit-Gehalt (bei gleichzeitiger Armut an Resistentmineralen).

Resistentmineral-reiche Assoziationen sind in den Eckwirtschottern selten.

7. Schlußfolgerungen

Im oberen Karpatium ist ein starkes Relief zwischen Alimentationsgebiet (Koralpe und Poßruck) und Sedimentationsgebiet (Südweststeirisches Teilbecken) ausgebildet. Referenzproben aus dem Steirischen Schlier zeigen eine deutliche Granatvormacht, in Turbiditlagen im Schlier treten basale Granat-Seifen auf.

Tektonische Ereignisse, die sich in der Steirischen Diskordanz manifestieren (FRIEBE, 1990b) führen im

oberen Karpatium zur Hebung sowohl des Steirischen Schliers im Becken als auch des metamorphen Hinterlandes. Die Reliefunterschiede bleiben dadurch weitgehend unverändert. Frisches Sediment wird über einen Braid-Delta-Komplex (Kreuzberg-Formation) rasch ins Becken eingebracht. Dies äußert sich in den Granatdominierten Assoziationen des Unteren Badenium. Höhere Epidot/Zoisit-Gehalte sind auf Unterschiede im Ausgangsgestein und nicht auf eine verwitterungsbedingte Überprägung der Spektren zurückzuführen.

Die Granatvormacht hält im Mittleren Badenium an. Im Oberen Badenium stoßen (Braid-)Delta-Ablagerungen von Nordwesten in die Florianer Bucht vor (Dilach-Member). Sie führen Resistentmineral-reiche Spektren eines stark verwitterten Hinterlandes.

Als Alimentationsgebiet fungiert, neben der Korralpe, auch die Gleinalpe.

Die Sedimente nördlich des Sausal, für sich alleine betrachtet, zeigen einen Umschwung vom Granat-Endglied im Mittleren Badenium zu einer Wechselfolge zwischen Granat-Endglied und Stabil-Epidot/Zoisit-Endglied in der Verarmungszone (Oberes Badenium). Das Granat-Epidot/Zoisit-Endglied ist untergeordnet vertreten. Das Auftreten des instabilen Granats im Wechsel mit resistenten Schwermineralen steht keinesfalls in Widerspruch zu einem verstärkten Verwitterungseinfluß (VAN ANDEL, 1959).

Die Ablagerungen des Badenium im Umfeld der Mittelsteirischen Schwelle repräsentieren somit einen Schwermineralzyklus, beginnend mit einer Granat-Dominanz über der Steirischen Diskordanz. Eine Granat-Epidot-Mischphase ist nicht ausgebildet, das Stabil-Epidot/Zoisit-Endglied beendet den Zyklus.

Die Verlagerung des Liefergebietes hat dabei nur untergeordnete Bedeutung.

Dank

Vorliegende Arbeit basiert auf einer am Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Graz durchgeführten Dissertation (Betreuung Univ.-Prof. Dr. H.-L. HOLZER).

Herrn Univ.-Doz. Dr. K. STATTEGGER danke ich für die Einführung in die Schwermineralstatistik sowie für kritische Bemerkungen zum Manuskript.

Die Arbeit wurde vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung im Rahmen des Projekts „Beckenanalyse Steirisches Tertiär (BAST)“ (Projektnummer P 6051 E und P 7195-GEO; Projektleiter Univ.-Prof. Dr. H.-L. HOLZER) unterstützt.

Literatur

- BECKER, L.P.: Geländeauffüllung Weissenegg. Geologisches Gutachten. – Unveröff. Gutachten, STEWEAG, Graz 1984.
- BEZDEK, J.C., EHRLICH, R. & FULL, W.: FCM : The Fuzzy c-Means Clustering Algorithm. – Computers & Geosciences, **10**, 191–203, Oxford 1984.
- BOENIGK, W.: Schwermineralanalyse. – 158 S., (Enke) Stuttgart 1983.
- FLÜGEL, H. W.: Geologische Karte des prätertiären Untergrundes. – In: KRÖLL, A., FLÜGEL, H.W., SEIBERL, W., WEBER, W., WALACH, G. & ZYCH, D.: Erläuterungen zu den Karten über den prätertiären Untergrund des Steirischen Beckens und der Südburgenländischen Schwelle, 21–42, (Geol. B.-A.) Wien 1988.
- FRIEBE, J. G.: Lithostratigraphische Neugliederung und Sedimentologie der Ablagerungen des Badenium (Miozän) um die Mittelsteirische Schwelle (Steirisches Becken, Österreich). – Jb. Geol. B.-A., **133/2**, 223–257, Wien 1990a.
- FRIEBE, J. G.: Neotektonik an der Mittelsteirischen Schwelle (Österreich): Die „Steirische Phase“. – Symposium TSK III, Kurzfassungen der Vorträge und Poster, 73–76, Graz 1990b.
- FULL, W. E., EHRLICH, R. & BEZDEK, J. C.: FUZZY QMODEL - A New Approach for Linear Unmixing. – Mathematical Geology, **14**, 259–270, New York, London 1982.
- GRIMM, W. D.: Stepwise Heavy Mineral Weathering in the Residual Quartz Gravel, Bavarian Molasse (Germany). – Contr. Sedimentology, **1**, 103–125, Stuttgart 1973.
- HAUSER, A.: Der Hornblende-Biotit-Dazituff vom Urkogel bei Gamlitz. – Mitt. naturwiss. Ver. Stmk., **83**, 61–63, Graz 1953.
- HUBERT, J.F.: A Zirkon – Tourmaline – Rutile Maturity Index and the Interdependence of the Composition of Heavy Mineral Assemblages with the Gross Composition and Texture of Sandstones. – J. Sedim. Petrol., **32**, 440–450, Tulsa 1962.
- IMBRIE, J. & VAN ANDEL, T. H.: Vector Analysis of Heavy Mineral Data. – Geol. Soc. Am. Bull., **75**, 1131–1155, New York 1964.
- KOLLMANN, K.: Jungtertiär im Steirischen Becken. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **57**, 479–632, Wien 1965.
- MORTON, A.C.: Heavy Minerals in Provenance Studies. – In: ZUFFA, G. G. (ed.): Provenance of Arenites. NATO ASI series, ser. C, **148**, 249–277, (Reidel) Dordrecht 1985.
- MORTON, A.C. & STATTEGGER, K.: Statistical Analysis of Garnet Compositions and Lithostratigraphic Correlations: Jurassic Sandstones of the Brent Group, Northern North Sea. – in Vorbereitung.
- NEBERT, K.: Die Kohle als Faziesglied eines Sedimentationszyklus. – Berg- u. Hüttenm. Mh., **128**, 106–112, Wien 1983a.
- NEBERT, K.: Zyklische Gliederung der Eibiswalder Schichten (Südweststeiermark). – Jb. Geol. B.-A., **126**, 259–285, Wien 1983b.
- NEBERT, K.: Das Neogen zwischen Sulm und Laßnitz (Südweststeiermark). – Jb. Geol. B.-A., **132**, 727–743, Wien 1989.
- NEUBAUER, F.: Bau und Entwicklungsgeschichte des Rennfeld-Mugel- und Gleinalm- Kristallins (Ostalpen). – Abh. Geol. B.-A., **42**, 137 S., Wien 1988.
- NEUBAUER, F. & GENSER, J.: Architektur und Kinematik der östlichen Zentralalpen – eine Übersicht. – Mitt. naturwiss. Ver. Stmk., **120** (METZ-Festschrift), 203–219, Graz 1990.
- NEY, P.: Gesteinsaufbereitung im Labor. – 157 S., (Enke) Stuttgart 1986.
- NICKEL, E.: Experimental Dissolution of Light and Heavy Minerals in Comparison with Weathering and Intrastratal Solution. – Contr. Sedimentology, **1**, 1–68, Stuttgart 1973.
- PETTIJOHN, F.J.: Persistence of Heavy Minerals and Geologic Age. – Jour. Geol., **46**, 610–625, Chicago 1941.
- RIEPLER, F.: Das Tertiär des Thaler Beckens (Raum Thal – Mantscha – Tobelbad). – Unveröff. Diss. Univ. Graz 1988.
- STATTEGGER, K.: Die Beziehungen zwischen Sediment und Hinterland : Mathematisch-statistische Modelle aus Schwermineraldaten rezenter fluviatiler und fossiler Sedimente. – Jahrb. Geol. B.-A., **128**, 449–512, Wien 1986.
- STATTEGGER, K.: Heavy Minerals and Provenance of Sands: Modeling of Lithological End Members from River Sands of Northern Austria and from Sandstones of the Austroalpine Gosau Formation (Late Cretaceous). – J. Sedim. Petrol., **57**, 301–310, Tulsa 1987.

STATTEGGER, K.: Heavy Mineral Events and Tectonostratigraphy: The Case Study of the Neogene Styrian Basin. – 10th IAS Regional Meeting on Sedimentology, Budapest – Abstracts, 224–225, Budapest 1989.

VAN ANDEL, T. H.: Reflections on the Interpretation of Heavy Mineral Analyses. – J. Sedim. Petrol., **29**, 153–163, Tulsa 1959.

WEAVER, C. H.: Interpretative Value of Heavy Minerals from Bentonites. – J. Sedim. Petrol., **33**, 343–349, Tulsa 1963.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 1. Juli 1990.