

Schwermineralprovinzen und Paläoschüttungen

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **79 (1986)**

Heft 2

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Theoretisch erzeugen auch um 180° entgegengesetzte Windrichtungen (Winde aus westlichen Richtungen) dieselben Tiefwasserwellenstrahlen. Seewärts gerichtete Westwinde hätten jedoch zu geringen Wellenhöhen und keinem wesentlichen Sturm-Wasseranstieg (storm set up) geführt. Die Sturmerosion der ehemaligen Küsten wäre hierbei geringfügig gewesen (SWIFT 1976). Die Tatsache, dass in der UMM bis zu 1 m mächtige Sturmablagerungen eine starke Küstenerosion dokumentieren, zeigt uns, dass die Sturmwellen vorwiegend durch landwärts gerichtete Ostwinde erzeugt wurden.

Extrem energiereiche Wasserwellen, welche eine starke Erosion der Küste verursachen, entstehen nur bei hohen Windgeschwindigkeiten über grossen Wasserflächen (KOMAR 1976). Solche Windverhältnisse treten vor allem in Zyklonenstürmen auf (FAIRBRIDGE 1966). Hierbei würden uns aussertropische Zyklonen, die im instabilen Grenzbereich zwischen polaren und subtropischen Luftmassen gebildet werden, vor allem Westwinde bescheren. Die Tatsache aber, dass in der UMM vor allem Ost- bis Nordostwinde nachgewiesen wurden, drängt die Vermutung auf, dass möglicherweise tropische Zyklonen für die ausserordentlich energiegeladenen Stürme verantwortlich waren.

7. Schwermineralprovinzen und Paläoschüttungen

7.1 Die Daten

Die Datenbasis für die Etablierung von Schwermineralprovinzen bilden in der vorliegenden Arbeit 189 Proben aus der unteren UMM sowie 237 Proben aus der oberen UMM.

Die Schwermineraldaten stammen aus den Arbeiten von FÜCHTBAUER (1964), GASSER (1968), STÜRM (1974), FREI (1979), Originaldaten zu MAURER et al. (1978), MAURER & NABHOLZ (1980), FASEL (1981), MAURER & GASSER (zum Blatt Eggiwil, unpubl.), MAURER & BREITSCHMID (zum Blatt Beatenberg, unpubl.). Zahlreiche weitere Proben (DIEM 1986) wurden freundlicherweise von H. Maurer und M. Mange ausgezählt. Alle Autoren verwendeten für die Aufbereitung der Schwerminerale dieselben Korngrößenintervalle wie FÜCHTBAUER (1954) und HOFMANN (1957). Aus diesem Grunde ist eine Vergleichbarkeit der Daten gewährleistet.

7.2 Einflussgrössen, welche die prozentuale Schwermineralzusammensetzung kontrollieren

Wie verschiedene Autoren zeigen konnten (FÜCHTBAUER 1964 und andere), sind Schwermineralvergesellschaftungen oft gute Spiegel der ehemaligen Schüttungsverhältnisse. Die Methode leidet jedoch an der Tatsache, dass die Schwermineralzusammensetzung nicht nur von der ehemaligen Sedimentquelle abhängt, sondern ebenso signifikant von diagenetischen und hydraulischen Prozessen. Bei den diagenetischen Prozessen sind es authigene Neubildungen (z. B. Anatas und Baryt, vgl. BOENIGK 1983) sowie interstratale Lösung der instabilen Schwerminerale (GRIMM 1973; MORTON 1985), welche das Schwermineralspektrum empfindlich verändern können. Ferner haben die Kornform, die Korngrösse und die Mineraldichte oft einen bedeutenden Einfluss auf die Transportgeschwindigkeit und lokale Anreicherungen einzelner Schwermineralspezies (VAN ANDEL 1950; BLATT et al. 1980, S. 306).

Eine weitere, nicht vernachlässigbare Problematik wird durch die zum Teil extrem hohen Variationsbreiten der meisten Schwermineralgehalte (vgl. Tab.2) verursacht.

Diese hohen Variationsbreiten bewirken eine schlechte Vergleichbarkeit der Spektren. Wenn zum Beispiel der Apatitgehalt 88% beträgt, dann muss die Summe der übrigen Schwermineralgehalte 12% sein. Beim Vergleich eines solchen apatitreichen Spektrums mit apatitäreren Spektren kann man zwar den geringeren Apatitgehalt feststellen, die Veränderung in den übrigen Gehalten entzieht sich aber der Beobachtung.

FÜCHTBAUER (1964) hat dem Problem mit den in seiner Studie stark streuenden Granatgehalten in der Weise Rechnung getragen, indem er als 100%-Basis die Summe aller Schwermineral Körner ohne den Granat verwendete. Allerdings ist dies keine generell gültige Lösung des Problems, denn auch andere Schwermineralgehalte können stark streuen und dadurch eine schlechte Vergleichbarkeit der Spektren verursachen.

In der vorliegenden Arbeit wird den erwähnten, nicht quellenspezifischen Einflussgrößen durch folgende Massnahmen Rechnung getragen:

a) Diagenetische Überprägungen der Schwermineralspektren werden dadurch eliminiert, indem der vermutlich authigene Baryt und die instabilen Schwermineralien (Chloritoid, Hornblende, Pyroxen) nicht in die Analyse miteinbezogen werden. Da GASSER (1968) die einzelnen TiO_2 -Mineralien nicht auseinanderhält, kann der möglicherweise oft diagenetisch neugebildete Anatas nicht vollständig aus der statistischen Analyse entfernt werden. Weil die TiO_2 -Mineralien im Mittel nur 10% Anatas führen, wird angenommen, dass die Verfälschung des Resultats durch authigenen Anatas geringfügig ist.

b) Der Einfluss hydraulischer Faktoren auf das Resultat wird dadurch gedämpft, dass eine grosse Anzahl von Proben aus verschiedenen sedimentologischen Milieus verwendet werden und indem den Einzelproben nur ein geringer Aussagewert zugestanden wird. Um die hydraulische Variationsbreite zu vergrössern, werden auch Proben der basalsten, sandigen USM in die Analyse miteinbezogen.

c) Den Problemen, welche mit Prozentdaten zusammenhängen, kann dadurch Rechnung getragen werden, indem man neben Prozentdaten direkt mit Schwermineral Kornzahlen arbeitet. Die Charakterisierung der SM-Provinzen erfolgt daher nebst Prozent-Mittelwerten mit der auf Multinomialverteilung basierenden Cox-Brandwood-Diskriminanzanalyse (COX & BRANDWOOD 1959) und mit optimierten, gewichteten Schwermineralverhältnissen (vgl. Anhang).

Tabelle 2: *Mittlere Schwermineralzusammensetzung (100%-Basis ohne Granat).*

<u>Schwermineralien</u>	<u>Mittelwerte in %</u>	<u>Variationsbreite in %</u>
Hauptgemengteile		
Granat (% vom Gesamtspektrum)	55.0	8 - 75
Apatit	39.9	2 - 88
Turmalin	20.4	0 - 82
Zirkon	13.8	0 - 78
TiO_2 -Mineralien	10.6	0 - 45
Spießell	6.6	0 - 45
Staurolith	6.3	0 - 53
Nebengemengteile		
Epidot	0.7	0 - 52
Titanit	0.1	0 - 6
Chloritoid	0.3	0 - 23
Hornblende	0.07	0 - 6
Pyroxene	0.3	0 - 23
Disthen	0.05	0 - 7
Monazit	0.4	0 - 6
Barit	1.5	0 - 92

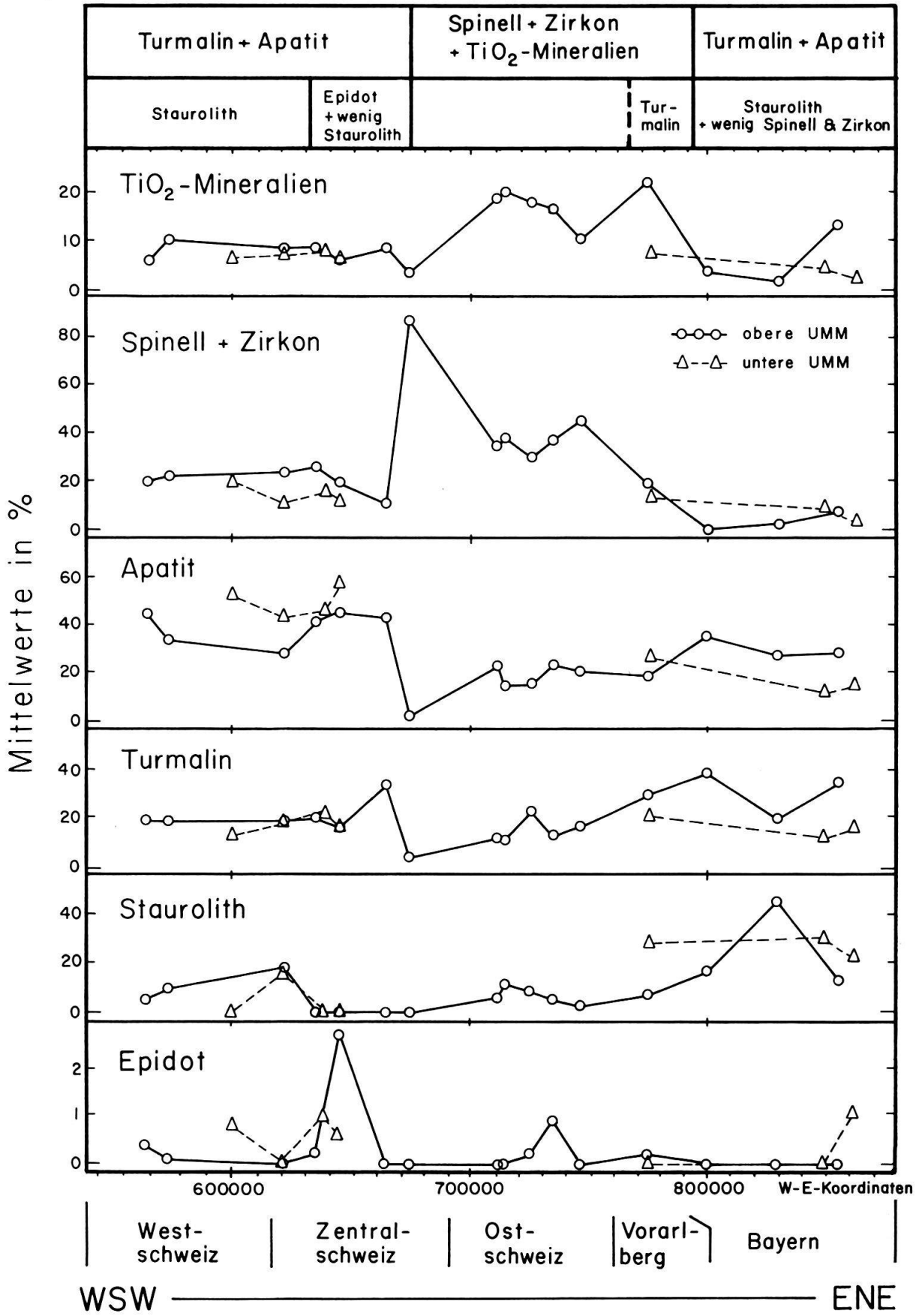


Fig. 11. Mittelwerte der prozentualen Schwermineralzusammensetzung.

7.3 Deskriptive Statistik der multivariaten Schwermineraldaten

Tabelle 2 zeigt die unter Ausschluss von Granat berechnete Prozentzusammensetzung (Mittelwerte und Variationsbreite) der aus den UMM-Sedimenten isolierten Schwermineralien. Granat, Apatit, Turmalin, Zirkon, TiO₂-Mineralien, Spinell und Staurolith sind die im Mittel dominierenden Spezies. Durchschnittlich weniger häufig treten Epidot, Titanit, Chloritoid, Hornblende, Pyroxene, Disthen, Monazit und Baryt auf.

In Figur 11 sind die Prozentgehalte einer Auswahl von Schwermineralien, getrennt nach unterer und oberer UMM, gegen den Rechtswert des schweizerischen Koordinatennetzes aufgetragen. Hierbei wurden nur diejenigen Schwermineralien berücksichtigt, welche sich durch eine signifikante regionale Änderung ihrer mittleren Häufigkeiten auszeichnen. Spinell und Zirkon konnten hierbei, weil die mittleren Prozentgehalte positiv korrelieren ($r(\text{Spearman}) = 0,7$), zusammengefasst werden. Während die mittleren Häufigkeiten der Schwermineralien regional stark ändern, ist der stratigraphische Unterschied in den Schwermineralzusammensetzungen gering.

Die Streuung der Schwermineralzusammensetzungen ist in Figur 12 dargestellt. Hier sind die näherungsweise mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse optimierten und gewichteten Schwermineralverhältnisse (Tab. 3) gegen den Rechtswert des schweizerischen Koordinatennetzes aufgetragen. Das Verhältnis

$$R_1 = \frac{3,4 \text{ Spinell} + 3,6 \text{ Zirkon} + 5,2 \text{ TiO}_2\text{-Mineralien}}{2,3 \text{ Apatit} + 2,7 \text{ Turmalin}}$$

entspricht hierbei der ersten Hauptkomponente, welche 26% der gesamten Varianz erklärt. Aus der zweiten Hauptkomponente konnte das Verhältnis

$$R_2 = \frac{11,9 \text{ Epidot} + 2,4 \text{ Apatit}}{3,5 \text{ Turmalin} + 5 \text{ Staurolith}}$$

berechnet werden, das 17% der gesamten Varianz dokumentiert. Die Güte der näherungsweise Umrechnung der ersten beiden Hauptkomponenten in Verhältnisse manifestiert sich durch die hohen Spearman-Korrelationskoeffizienten zwischen den Hauptkomponenten und den dazugehörigen Verhältnissen R_1 und R_2 . Für R_1 erhält man einen Spearman-Korrelationskoeffizienten von 0,98 und für R_2 beträgt derselbe 0,91. Charakteristisch für die beiden Verhältnisse R_1 und R_2 , welche nicht von einer willkürlich

Tabelle 3: Berechnung der Gewichtungskoeffizienten (a_j) aus den Eigenvektorkomponenten (b_j) der Hauptkomponentenanalyse.

Schwermineralien	Standardabweichung (s_{p_j})	Eigenvektoren (b_j)		Gewichtungskoeffizienten (a_j)	
		1. Hauptkomponente	2. Hauptkomponente	1. Hauptkomponente	2. Hauptkomponente
Granat	0.990	0.06	-0.06	-	-
Apatit	0.193	-0.45	0.46	2.3	2.4
Turmalin	0.133	-0.36	-0.47	2.7	3.5
Zirkon	0.136	0.49	0.18	3.6	-
TiO ₂ -Mineralien	0.095	0.49	0.05	5.2	-
Spinell	0.097	0.33	0.13	3.4	-
Staurolith	0.121	-0.04	-0.60	-	5.0
Epidot	0.027	-0.16	0.32	-	11.9
Titanit	0.005	-0.09	0.20	-	-

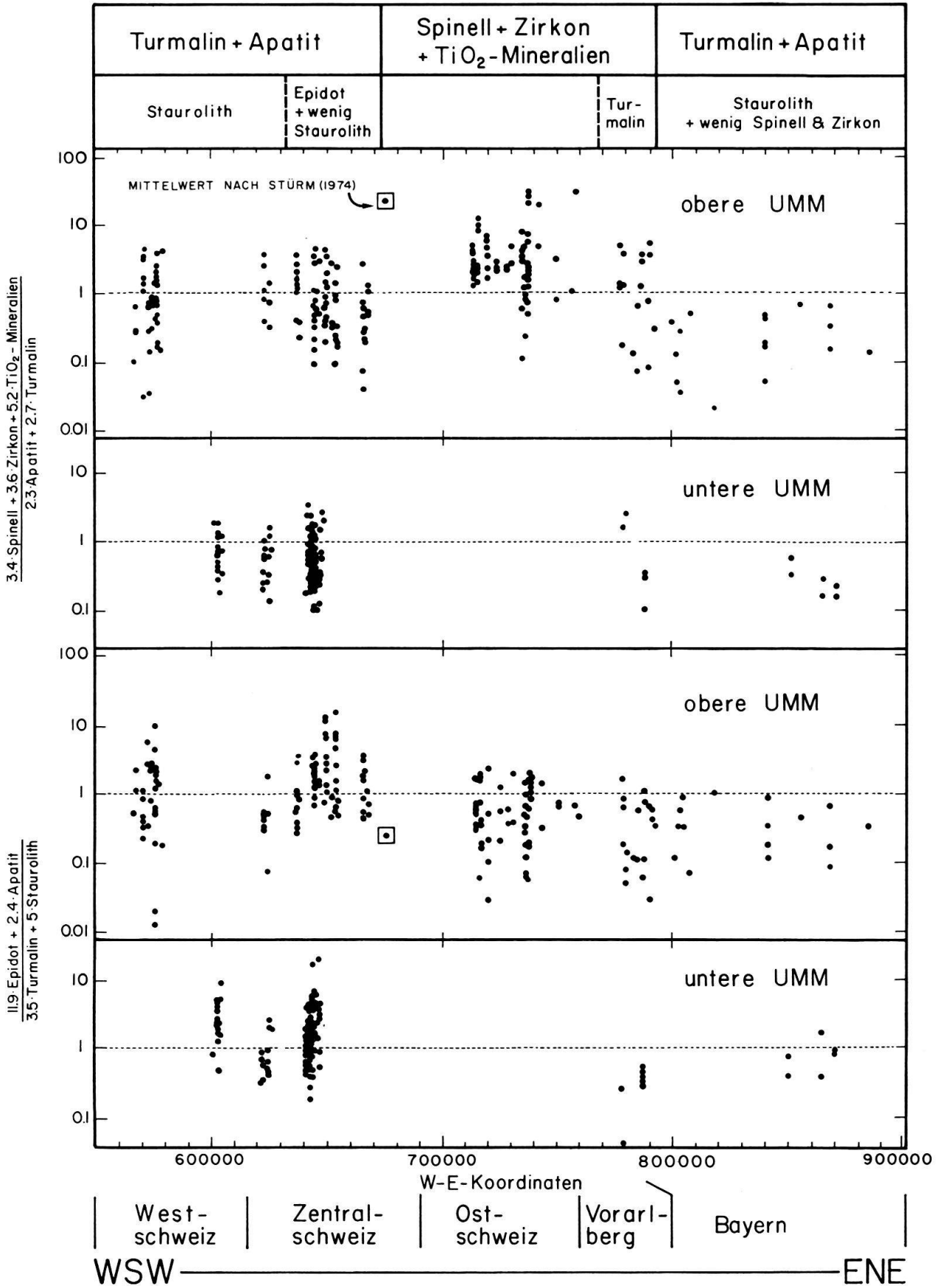


Fig. 12. Rechtswerte des schweizerischen Koordinatennetzes vs. optimierte, gewichtete Schwermineralverhältnisse.

gewählten 100%-Basis abhängen, ist die extrem grosse, sich über zwei Zehnerpotenzen erstreckende Variationsbreite, was zeigt, dass den Einzelanalysen keine wesentliche Bedeutung zukommt. Nur die Mittelwerte widerspiegeln charakteristische regionale Änderungen dieser optimierten Verhältnisse. Das Verhältnis R_1 dokumentiert eine zentrale, durch das Vorherrschen von Spinell, Zirkon und TiO_2 -Mineralien ausgezeichnete Provinz, welche von zwei turmalin- und apatitreichen Provinzen umrahmt wird (vgl. auch Fig. 12). Das Verhältnis R_2 charakterisiert die bereits im Abschnitt 6.4 nachgewiesene Beichlenschüttung (Rechtswerte 630.000 bis 670.000), wo R_2 wegen der sporadisch hohen Epidotgehalte und dem nur vereinzelt Auftreten von Staurolith im Durchschnitt recht hohe Werte annimmt. Die weitgehende Übereinstimmung der Schwermineralverhältnisse (R_1 und R_2) aus der oberen UMM mit denen der unteren UMM zeigt, dass die Schwermineralhäufigkeiten aus der UMM keine wesentliche stratigraphische Information liefern.

Ausser beim Rechtswert 670.000, wo die Gehalte von Spinell, Zirkon, Apatit, Turmalin und Epidot schlagartig ändern, ist die Grenze der Schwermineralprovinzen wegen der grossen Variablenzahl weder aus den Mittelwerten (Fig. 11) noch aus den Verhältnissen (Fig. 12) optimal ersichtlich. Figur 13 zeigt die Resultate der Cox-Brandwoodschen Diskriminanzanalyse, welche basierend auf Daten aus der oberen UMM gerechnet wurde.

Hierbei ist die von FÜCHTBAUER (1964) publizierte Probe 84B, welche keinen Staurolith führt, nicht in die Analyse miteinbezogen. Da alle übrigen Spektren dieser Region relativ staurolithreich sind, würde die Probe 84B angesichts des geringen Stichprobenumfangs das Ergebnis empfindlich verfälschen.

Im Gegensatz zu den optimierten Verhältnissen, wo insgesamt nur 43% der gesamten Varianz erklärt wird, kann bei der Cox-Brandwoodschen Diskriminanzanalyse die Gesamtinformation der multivariaten Schwermineraldaten berücksichtigt werden.

Das der Cox-Brandwoodschen Diskriminanzanalyse zugrundeliegende Modell geht von ideal gemischten Urnen aus. Eine solche Urne ist mit einer grossen Anzahl von verschiedenfarbigen Kugeln gefüllt. Wir können nun einer solchen Urne eine Stichprobe von z. B. 10 Kugeln entnehmen. Die Wahrscheinlichkeit, dass davon z. B. 5 blau, 3 rot und 2 gelb sind, kann mit der sogenannten «Multinomialverteilung» berechnet werden. COX & BRANDWOOD (1959) betrachten nun zwei solcher Urnen π_0 und π_1 , welche sich randlich überlappen. Wir haben dann drei Kugelpopulationen: a) eine reine Population aus π_0 , b) eine sich in der Zusammensetzung ändernde Mischpopulation zwischen π_0 und π_1 sowie c) eine reine Population aus π_1 .

Cox & Brandwood (1959) konnten zeigen, dass jede Stichprobe aus der Mischpopulation zwischen π_0 und π_1 Realisierung einer Multinomialverteilung ist. Die Parameter γ_j derselben können aus den Parametern α_j und β_j der Multinomialverteilungen von π_0 und π_1 sowie aus einer Grösse λ berechnet werden, nämlich

$$\gamma_j = \frac{\alpha_j^{1-\lambda} \beta_j^\lambda}{\sum_{j=1}^q \alpha_j^{1-\lambda} \beta_j^\lambda}$$

Bei kontinuierlichen Übergängen bezeichnet λ hierbei den «Ort» der Stichprobenentnahme. Weil nach Cox & Brandwood (1959) gleiche Werte von λ , auch bei nicht kontinuierlichen Übergängen, identische Multinomialverteilungen implizieren, kann gezeigt werden: Je unterschiedlicher die Werte der λ zweier Stichproben sind, um so grösser ist der Unterschied in deren erwarteten Zusammensetzung. Nach Cox & Brandwood (1959) kann diese Grösse λ aus einer einzigen Stichproben von k_i -Kugeln geschätzt werden (i = Stichprobenindex). Hierbei ist der sogenannte «Score» (s_i),

$$s_i = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^q x_{ji} \log(\alpha_j/\beta_j),$$

eine geeignete Schätzstatistik (suffizient, $\phi(\lambda)$ – unverfälscht) für λ . x_{ji} ist die Anzahl der Kugeln von der j -ten Farbe

in der i -ten Stichprobe. α_j und β_j sind die Wahrscheinlichkeiten, eine Kugel der j -ten Farbe aus der Urne π_0 bzw. π_1 zu ziehen. In der Praxis haben wir jedoch keine A-priori-Kennntnis von α_j und β_j . Wir müssen daher dieselben Parameter durch die «maximum-likelihood»-Schätzer $\hat{\alpha}_j$ und $\hat{\beta}_j$ ersetzen. Die mathematisch-statistischen Konsequenzen eines solchen Ersatzes wurden von Cox & Brandwood (1959) diskutiert. Da wir die Cox-Brandwoodsche Diskriminanzanalyse ausschliesslich deskriptiv verwenden (ohne Angabe von Vertrauensintervallen), sind diese theoretischen Ausführungen für unsere Zwecke nicht relevant.

Es dürfte einleuchten, dass das Cox-Brandwoodsche multinomiale Urnenmodell für die statistische Analyse von Schwermineral Kornzahlen günstige Eigenschaften hat. Die Schwermineralspektren zweier möglicherweise randlich sich verfingernder Schüttungsfächer können durchaus mit dem idealisierten Modell zweier sich randlich überlappender Urnen, welche mit verschiedenfarbigen Kugeln gefüllt sind, approximiert werden.

Hierbei müssen nur die beiden Randpopulationen π_0 und π_1 (Kreise und Dreiecke in Fig. 13) vorgegeben werden. Die Grenze zwischen π_0 und π_1 lässt sich in der Mischpopulation (Kreuze in Fig. 13) festlegen und muss, im Gegensatz zu anderen diskriminierenden Verfahren, nicht vorausgesetzt werden.

Die «Cox-Brandwood scores» (s_i), welche bei ähnlichen Werten ähnliche Schwermineralspektren dokumentieren, zeigen zwei recht schlagartige Änderungen der mittleren Schwermineralzusammensetzungen bei den Rechtswerten 670.000 und 795.000 an

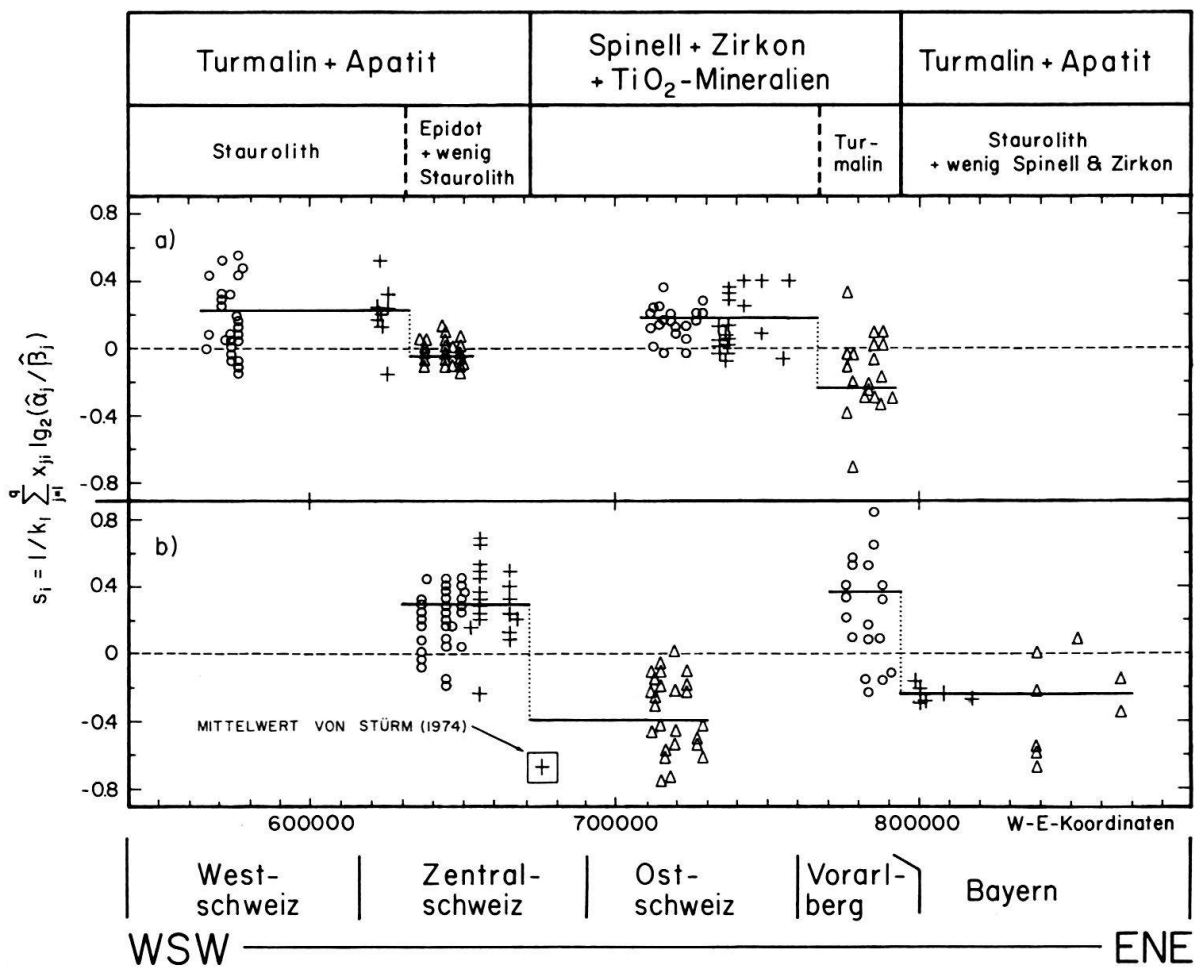


Fig. 13. Cox-Brandwood-Diskriminanzanalyse: Rechtswerte des schweizerischen Koordinatennetzes vs. «Cox-Brandwood scores» (s_i). a: Graduelle Übergänge, b: scharf abgegrenzte Übergänge.

(Fig. 13b). Der Umschlag beim Rechtswert 670.000 kommt dadurch zustande, dass der Zirkon- und Spinellgehalt gegen Osten extrem zunimmt, während die Apatit- und Turmalinhalte abnehmen. Die vorerst geringen Anteile an TiO_2 -Mineralien dürften hierbei auf einen Verdünnungseffekt durch die hohen Spinell- und Zirkongehalte zurückzuführen sein. Beim Rechtswert 795.000 kommt der deutliche Umschlag durch die starke Abnahme von Spinell, Zirkon und TiO_2 -Mineralien bei gleichzeitiger Zunahme von Apatit und Turmalin zustande.

Bei den Rechtswerten 630.000 und 770.000 dokumentieren die «Cox-Brandwood scores» (s_i) zwei eher graduelle Änderungen der Schwermineralspektren (Fig. 13a). Die Spektren der Westschweiz (Kreise) und der Thunersee-Region (Kreuze) führen teilweise recht viel Staurolith (5–28%). Die «Cox-Brandwood scores» dieser staurolithreichen Proben streuen um 0,4. Die übrigen, an Staurolith ärmeren Proben (0–3%) streuen um Null, d. h. sie unterscheiden sich nur unwesentlich von denjenigen des Entlebuch (Dreiecke). Dies erklärt die starke Überlappung der «Cox-Brandwood scores» (s_i) westlich und östlich vom Rechtswert 630.000. Die Spektren Vorarlbergs unterscheiden sich im Mittel vor allem durch den eher höheren Turmalinanteil bei gleichzeitig geringerem Spinell- und Zirkongehalt von den Spektren der Ostschweiz. Auf diesen geringen Unterschied ist das weitgehende Überlappen der «Cox-Brandwood scores» westlich und östlich vom Rechtswert 770.000 zurückzuführen.

7.4 Instabile Schwerminerale

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, sind instabile Schwerminerale in der UMM durchschnittlich nur als Akzessorien vertreten. Einzig Pyroxene können westlich vom Thunersee lokal in recht hohen Gehalten nachgewiesen werden. An der Goldegg und am Jordisboden (Fig. 3) treten zwischen pyroxenfreien Proben vereinzelt solche mit recht hohen Pyroxen-Gehalten (bis 23%) auf.

Nach FÜCHTBAUER (1967) sind diagenetische Veränderungen in der Alpenmolasse wegen früher karbonatischer Zementierung gering. Eine Pilotstudie anhand von 17 mit Hilfe von Kathodolumineszenz untersuchten Dünnschliffen (DIEM 1986) hat gezeigt, dass die Annahme von FÜCHTBAUER (1967) für weite Gebiete in der UMM nicht zutreffen kann. Lösung von instabilen Mineralien mit anschließender Kornrotation und Kataklase sowie signifikante Drucklösung vor der Karbonat-Zementierung sind ein weitverbreitetes Phänomen.

Aus diesem Grunde wird das lokal gehäufte Auftreten von Pyroxen an der Goldegg und am Jordisboden eher auf für die UMM aussergewöhnliche Erhaltungsverhältnisse zurückzuführen sein als auf eine lokale Sedimentquelle.

7.5 Die Herkunft der Schwerminerale

Die ultrastabile Assoziation Spinell, Zirkon und TiO_2 -Mineralien, welche die UMM zwischen dem Rigi und Vorarlberg charakterisiert, dürfte wohl sedimentären Ursprungs sein. Als wahrscheinliche Quelle bietet sich hier der in den Geröllen der basalen USM nachgewiesene spinellreiche präalpine Flysch an (STÜRM 1974; vgl. auch GASSER 1966 1967).

Tabelle 4: Verzeichnis der Lokalitäten. Schweizerischer und vorarlbergischer Anteil (S): Landeskarten der Schweiz im Maßstab 1:25000 und 1:50000. Bayerischer Anteil (D): topographische Karten des Bayerischen Landesvermessungsamtes im Maßstab 1:50000.

PROFIL	FIGUREN	LOKALITÄTS-NUMMERN (Fig. 10 & 14)	TOPOGRAPHISCHES KARTENBLATT	KOORDINATEN (Rechtswert/Hochwert)	LITERATUR
Sfonge bei Vuippens	2,7a,10,14	1	1225 Gruyères 1:25000	S-572420/167550	Mornod (1949), Fasel (1981), Weidmann et al. (1982)
Ruisseau de Ruz	10,14	2	1225 Gruyères 1:25000	S-575720/169420	Mornod (1949), Homewood (1978)
Goldegg	2,3,6	-	1207 Thun 1:25000	S-604150/177220	Blau (1966)
Jordisboden	2,3,6	-	1207 Thun 1:25000	S-602930/177330	Blau (1966)
Raillingen	10,14	3	1208 Beatenberg 1:25000	S-622190/173230	Scherer (1966)
Gersterngraben	2,3,6	-	1208 Beatenberg 1:25000	S-622200/175570 bis 622750/175300	Scherer (1966)
Horrenbach	2,3,6	-	1208 Beatenberg 1:25000	S-625700/177970	Scherer (1966)
Rüeggershübel	4c	-	1208 Beatenberg 1:25000	S-624200/176600	Scherer (1966)
Marbach (Steiglenbach)	2,8a,10,14	4	1188 Eggwil 1:25000	S-636340/188720	Haus (1937)
Heiltschwandbach	5a	-	1169 Schüpfheim 1:25000	S-642760/194050	Holliger (1955), Matter et al. (1980)
Matzenbach	3	-	1189 Sörenberg 1:25000	S-644250/193670 bis 644450/193600	Haus (1937), Holliger (1955)
Steinfibach	3,5b	-	1169 Schüpfheim 1:25000	S-644350/195050 bis 644630/195100	Gasser (1968)
Spienbergwald	4b,5c	-	1189 Sörenberg 1:25000	S-643400/193330	Holliger (1955)
Flühli	4b,5d	-	1189 Sörenberg 1:25000	S-643870/192700 bis 643700/192400	Holliger (1955), Matter et al. (1980)
Büeltbach	2,3,4b	-	1169 Schüpfheim 1:25000	S-647450/198500 bis 647050/198900	Gasser (1968)
Aenggenauenbach	2,3,4b	-	1169 Schüpfheim 1:25000	S-647700/198100 bis 647670/197800	Gasser (1968)
Schwändli	2,10,14,15,16	5	1169 Schüpfheim 1:25000	S-651460/201370	Gasser (1968)
Schlumpfflue	2,10,14,15,16	6	1169 Schüpfheim 1:25000	S-654500/203820	Gasser (1968)
Reppenwald	15,16	-	1170 Alpnach 1:25000	S-654950/204400	Buxtorf et al. (1941), Diem (1981)
Bruedersrüti	15,16	-	1170 Alpnach 1:25000	S-656550/205100	Diem (1981)
Schindlenböser	2,10,14	7	1170 Alpnach 1:25000	S-657560/205550	Buxtorf et al. (1941), Diem (1981)
Spitzenstöss	15,16	-	1170 Alpnach 1:25000	S-657940/205650	Buxtorf et al. (1941)
Lindenwald	15,16	-	1170 Alpnach 1:25000	S-658860/206000	Matter et al. (1980)
Höchberg	15,16	-	1150 Luzern 1:25000	S-659930/206400	Kopp (1962)
Ziegeleigrube Grisingen	2,10,14,15,16	8	1150 Luzern 1:25000	S-664900/206800	Frei (1979)
Horner-Steinbrüche	2,8b,10,14	9	1150 Luzern 1:25000	S-667270/206320 und 667350/206400	Frei (1979)
Trepfenbach	2,7b,10,14	10	1133 Linthebene 1:25000	S-712460/221900	Frei (1979)
Laufhöhl	10,14	11	1133 Linthebene 1:25000	S-714800/222100	Frei (1979)
Reppenbach	10,14	12	1114 Nesslau 1:25000	S-733930/231240	Frei (1979)
Nesslau	10,14	13	1114 Nesslau 1:25000	S-723400/224840	Frei (1979)
Rietbad-Tobel	2	-	1114 Nesslau 1:25000	S-736200/233700	Häbicht (1945), Frei (1979)
Friesenwald	2,8c	-	1114 Nesslau 1:25000	S-736120/233180	Häbicht (1945)
Schwarzach (Steinbruch)	2,7e,10,14	14	218 Bregenz 1:50000	S-777200/257400	Oberhauser et al. (1979)
Schmiedebach bei Egg	2,3,6	-	218 Bregenz 1:50000	S-786350/256050 bis 788100/255900	Muheim (1934)
Zängerlesberg bei Egg	2,3,6	-	218 Bregenz 1:50000	S-789250/256500	Muheim (1934)
Bregenser Ach	10,14	15	218 Bregenz 1:50000	S-782850/260350	Muheim (1934)
Subersach	Text	-	218 Bregenz 1:50000	S-791850/257350	Muheim (1934)
Boigenach	10,14	16	218 Bregenz 1:50000	S-788600/261250	Muheim (1934), Resch et al. (1979)
Wilhelmine Alpe	2	-	L8526 Immenstadt 1:50000	D-3586100/5260300	Fischer (1966)
Kammeregg (Steinbruch)	2	-	L8526 Immenstadt 1:50000	D-3598450/5271100	Schwerd (1978), Reineck & Schwerd (1985)
Pfaffeneck-Halbteich	2,3,6	18	L8330 Peiting 1:50000	D-4409400/5279100 - 5280000	Kuhnert & Ohm (1974)
Ammer (Altenau-Kammerl)	2,3,6,7,10,14	19	L8330 Peiting 1:50000	D-4424500/5279900 - 4424000/5280900	Zeil (1954), Zbabelein (1962), Fischer (1979), Häfle & Kuhnert (1969)
Ammer (Echelsbach)	10,14	19	L8330 Peiting 1:50000	D-4423200/5285950	Häfle & Kuhnert (1969)

Das vermehrte Auftreten von Turmalin und Apatit in den westlichen und östlichen Regionen des Untersuchungsgebietes ist schwieriger interpretierbar. Während im Entlebuch aufgrund von Gassers schwermineralpetrographischen Geröllanalysen eine Herkunft des Turmalins und Apatits aus spinellarmen ultrahelvetischen Flyschen als gesichert gelten darf, ist die Ursache der relativen Turmalin-Apatit-Vormacht in der Westschweiz und in Bayern weitgehend unbekannt. Ebenfalls Schwierigkeiten bietet die Beheimatung des Stauroliths. Während dieser in der UMM Bayerns aus dem ostalpinen Ötztal-Altkristallin bezogen werden kann (FÜCHTBAUER 1964), fehlt in der Westschweiz ein heute noch anstehendes, vom paläotektonischen Konzept her mögliches Heimatgestein. MAURER (1983), welcher dieses Problem im Detail diskutiert hat, beheimatet den Staurolith in einem heute erodierten ostalpinen Altkristallin.

7.6 Schüttungen und Schüttungskomplexe

Sowohl die Schwermineralien wie auch die Strömungsindikatoren und Wellenrippelmarken (Fig. 6) dokumentieren, dass sich die Schüttungszentren während der Ablagerung der gesamten UMM wenig verändert haben. Diese Tatsache zeigt uns, dass die Paläo-Schüttungsverhältnisse, welche in der gut aufgeschlossenen regressiven UMM-Küstenfazies aufgezeichnet wurden, im generellen gesehen für die ganze UMM-Sedimentation repräsentativ sind.

Westlich vom Vierwaldstättersee finden wir eine Schwermineralprovinz, welche sich durch einen erhöhten Gehalt an Turmalin und Apatit vom benachbarten «zentralen» Schüttungsbereich abgrenzt. Während wir im westlichen Anteil dieses durch Apatit und Turmalin charakterisierten Abschnittes recht viel Staurolith vorfinden, fehlt dieser im Entlebuch weitgehend. Dafür können wir vereinzelt recht hohe Epidotgehalte beobachten. Der durch das umgekehrte Verhalten von Staurolith und Epidot charakterisierte Umschlag der Paläoschüttungsverhältnisse manifestiert sich paläogeographisch durch eine in den Wellenrippelmarken aufgezeichnete Bucht (Marbacher Bucht). Das Gebiet westlich der Marbacher Bucht wird in der vorliegenden Arbeit zum Einzugsbereich der «Vaulruz-Schüttung» gerechnet. Die gegen Osten anschliessende Schüttung, welche durch eine in den Wellenrippelmarken aufgezeichnete ehemalige Schüttungszunge dokumentiert ist, wird mit «Beichlen-Schüttung» bezeichnet (Fig. 6).

Am Vierwaldstättersee widerspiegeln die Wellenrippelmarken wiederum eine ehemalige Bucht (Horwer Bucht). Gleichenorts ändert das Schwermineralspektrum ganz beträchtlich zu einer durch Spinell, Zirkon und TiO_2 -Mineralien charakterisierten Schwermineralprovinz. Diese Schwermineralprovinz, die bis nach Vorarlberg reicht und welche wahrscheinlich aus mehreren Schüttungszentren besteht, wird hier «Rigi-Speer-Hochgrat-Schüttungskomplex» genannt.

Das Einsetzen der Nesselburg-Schüttung (FÜCHTBAUER 1964) manifestiert sich durch das erneut häufig auftretende «Leitmineral» Staurolith und durch eine Apatit-Turmalin-Vormacht in den Schwermineralspektren. Interessanterweise kommt das Einsetzen der Nesselburg-Schüttung, welches sedimentpetrographisch gut definiert ist, in den Paläoküstenlinien nicht zum Ausdruck. Dieses könnte möglicherweise mit dem verhältnismässig starken relativen Meeresspiegelanstieg in diesem Gebiet (vgl. Abschnitt 7.2) und dem dadurch verursachten langsameren Küstenvorbau zusammenhängen.