

Sedimentpetrographie und Lithostratigraphie der Molasse im Einzugsgebiet der Langete (Aarwangen-Napf, Oberaargau)

Autor(en): **Maurer, Heinz / Gerber, Martin E. / Nabholz, Walter K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **75 (1982)**

Heft 2

PDF erstellt am: **27.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-165235>

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.

Sedimentpetrographie und Lithostratigraphie der Molasse im Einzugsgebiet der Langete (Aarwangen–Napf, Oberaargau)¹⁾

Von HEINZ MAURER²⁾, MARTIN E. GERBER²⁾ und WALTER K. NABHOLZ²⁾,
mit einem Beitrag von HANSPETER FUNK³⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Die bis anhin lithostratigraphisch gegliederten Molasseabfolgen im Einzugsgebiet der Langete wurden sedimentpetrographisch untersucht. Unterschiedlicher Schwermineral-, Leichtmineral- und Karbonatgehalt sowie verschiedenartiger Geröllbestand in den Nagelfluhhorizonten gestatten Zuordnungen zu den jeweiligen Stufen.

Mittels der *Schwerminerale* ist für das «Chattien» eine detaillierte Einteilung in verschiedene Schwermineralprovinzen möglich. Vom «Chattien» zum «Aquitanien» tritt eine Umgestaltung im Schwermineralspektrum ein, indem der Apatit vom Epidot abgelöst wird. Letzterer setzt sich bis in das «Tortonien» fort.

Bei den *Leichtmineralen* zeigt sich im «Chattien» eine Quarzdominanz, die im «Aquitanien» durch den Abtrag granitischer Materials zu einer Feldspatdominanz umschlägt.

Die *Karbonatgehalte* liegen für das «Chattien» und das «Tortonien» durchwegs höher als für das «Aquitanien», das «Burdigalien» und das «Helvétien». Als Ursache wird ein primär erhöhtes Angebot von Karbonaten angenommen.

Aus der verschiedenartigen Zusammensetzung des *Geröllbestandes* ergeben sich Hinweise auf das Hinterland, das der Erosion frei lag. So weist die Nagelfluh an der Wende «Aquitanien»–«Burdigalien» einen erhöhten Kristallinanteil auf. In den jüngeren lithostratigraphischen Einheiten sind es hauptsächlich Sedimentgesteine, die als Gerölle vorliegen.

Durch die sedimentpetrographische Untersuchung der Bohrung von Wynau und der Erdölbohrung von Altshofen I war es uns möglich, neue *paläogeographische Erkenntnisse* zu erzielen: So wird das Untersuchungsgebiet zur Zeit der USM von einer axialen Genfersee-Schüttung sowie den radialen Schüttungen (Thunersee-, Entlebuch-, chattische Napf- und aquitane Napf-Schüttung) beliefert. Einflüsse einer aus dem Nordwesten stammenden Schüttung, der Jura-Schüttung, sind im tieferen «Chattien» vorhanden.

ABSTRACT

The formerly lithostratigraphically classified Molasse sequences of the drainage basin of the Langete river have been subjected to sedimentpetrographical analyses. Study of the heavy and light minerals, determination of carbonate content and the petrology of the clasts occurring in the various Nagelfluh-horizons have resulted in a considerable increase of knowledge regarding the above sequences.

In the Chattian various *heavy mineral* provinces can be delineated. Between the Chattian and Aquitanian a marked difference is shown in the heavy mineral spectrum. Epidote replaces apatite which was characteristic in the Chattian. Epidote is present in the sediments up to the Tortonian.

¹⁾ Wir danken dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, der uns die Untersuchungen ermöglichte.

²⁾ Geologisches Institut der Universität Bern, Baltzerstrasse 1, CH-3012 Bern.

³⁾ Geologisches Institut der ETH Zürich, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

In the *light fractions* the dominance of quartz is significant in the Chattian sediments, whereas in the Aquitanian an influx from granitic source materials results in feldspar becoming dominant. The *carbonate content* of the Chattian and Tortonian sediments is higher than that of the Aquitanian, Burdigalian and Helvetian. The possible explanation of this is primarily an enriched carbonate supply.

The petrology of the *Nagelfluh-clasts* made it possible to draw inferences regarding the lithology of their hinterland. This analysis indicated that at the turn of Aquitanian–Burdigalian the Nagelfluh contained a high amount of crystalline material, whereas in the younger sequences the clasts are mainly of sedimentary origin.

The sedimentology of the Wynau-borehole and that of the Altishofen-1 oilborehole provided new knowledge regarding *paleogeography*: At the time of the deposition of the USM the sediments of the study area were supplied by an axial, Genfersee-fan and radially oriented fans (Thunersee-, Entlebuch-, Chattian Napf- and Aquitanian Napf-fan). Transport from a northwesterly oriented fan, the Jura-fan, can be traced in the lowermost Chattian.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	382
2. Methodik	384
3. Korngrössenanalysen	384
4. Karbonatgehalt	389
5. Leichtminerale	389
6. Schwerminerale	390
7. Sedimentpetrographische Untersuchungen an Sandproben der Langete	392
8. Statistische Auswertung der Molasseproben	395
9. Geröllanalysen	401
10. Sedimentpetrographie der Bohrung Altishofen 1	401
11. Beziehungen zwischen Lithologie und Sedimentpetrographie	406
12. Schwermineralogischer Vergleich der Bohrungen Altishofen 1 und Wynau mit der Bohrung Ruppoldsried 1	409
13. Paläogeographische Schüttungsverhältnisse	409
Literaturverzeichnis	412

1. Einleitung

Die Langete, nach der die Ortschaft Langenthal benannt ist, entspringt in der Oberen Süsswassermolasse der Hügellandschaft südlich Huttwil, die zur Nordabdachung des Napfs gehört. Von Huttwil (640 m) schlängelt sie sich auf breitem und flachem Talboden in weitgehend unkorrigiertem Lauf bis Langenthal (480 m). Dieser Talabschnitt quert von oben nach unten die Obere Meeremolasse (OMM) mit «Helvétien» und «Burdigalien» und erreicht 3 km südlich Langenthal die quer zum Tallauf streichende Zone der Unteren Süsswassermolasse (USM) mit dem «Aquitanien». Erst kurz vor der Mündung der Langete in die Aare (410 m) wird das «Chattien» angeschnitten (vgl. Fig. 1 und Tab. 1).

Das Einzugsgebiet dieses kleinen, quer zum Mittelland verlaufenden Flusses verlockte uns zu sedimentpetrographischen Untersuchungen. Dabei war es uns von Anfang an klar, dass wir uns an eine recht mühevoll Aufgabe heranwagten: Neuentdeckungen von grosser Tragweite waren nicht zu erwarten, und die schlechten Aufschlussverhältnisse im flachen Mittelland bildeten eine zusätzliche Erschwerung. Gerade wegen dieser negativen Voraussetzungen machten wir uns an den Versuch, die bis anhin nach rein lithologischen Kriterien vorgenommene Einteilung der mittelländischen Molasse zu verfeinern, indem sie durch ihren Gehalt an

Schwer- und Leichtmineralen, durch den Karbonatgehalt, durch Korngrössenanalyse und durch Geröllzählungen näher charakterisiert wird.

Zu Beginn unserer Untersuchungen erfassten wir mit einem Probennetz die rezent angeschwemmten Sande der Langete und ihrer Zubringerbäche. Die Unterschiede ihrer sedimentpetrographischen Zusammensetzung waren so gering, dass wir zu Probenmaterial aus der anstehenden Molasse übergingen, deren lithostratigraphischer Aufbau in groben Zügen bekannt war. Diese Kenntnis geht in der Hauptsache auf die unpublizierten Originalkartierungen 1:25 000 zurück, die A. Erni bis 1912 im Auftrag der Schweizerischen Geologischen Kommission für die 2. Auflage des Blattes VIII der Geologischen Dufourkarte der Schweiz, 1:100 000, ausgeführt hatte. Aber auch die Proben aus der anstehenden Molasse zeigten – abgesehen von der untersten Stufe des «Chattien» – so geringfügige Unterschiede, dass bestimmte Merkmale für das «Tortonien», «Helvétien», «Burdigalien» und «Aquitaniens» nur mittels statistischer Methoden gefunden werden konnten, indem für jede «Stufe» ein sedimentpetrographischer Mittelwert gebildet wird. Die detritischen Molasseabfolgen unseres Untersuchungsgebietes gehören vom «Aquitaniens» an ausschliesslich zur Napf-Schüttung. Dies erklärt ihre weitgehende Einförmigkeit, einerlei, ob sie fluvioterrestrisch («Aquitaniens» und «Tortonien») oder in ein flaches Meer (Obere Meeresmolasse) geschüttet wurden.

Das «Chattien» im Liegenden des «Aquitaniens» ist unterhalb Langenthal äusserst schlecht aufgeschlossen. Erst die 1980 niedergebrachten Bohrungen bei Wynau gaben uns die Möglichkeit, die sedimentpetrographischen Untersuchungen auf die tieferen Anteile der Unteren Süsswassermolasse auszudehnen. Über das «Chattien» standen uns gut fundierte lithologische Kenntnisse zur Verfügung, die es erlaubten, die sedimentpetrographischen Resultate der Bohrungen von Wynau zu interpretieren. Wichtige Hinweise für den grossregionalen Rahmen und für die Paläogeographie ergaben sich ferner aus unseren Untersuchungen an Kernmaterial der Bohrung Altishofen 1.

Tabelle 1: Korrelation von Lithostratigraphie und Sedimentpetrographie in den jeweiligen informalen Stufen.

Lithostratigraphische Einheiten (Stufen informal verwendet)	Fazielle Gliederung	Lithostratigraphische Gliederung der OMM (Leithorizonte nach Ed. GERBER, 1950)	Sedimentpetrographische Gliederung der Bohrung Altishofen 1	Lithostratigraphische Gliederung des Gebiets von Wynau
«TORTONIEN»	OSM		E _{3.4}	Obere bunte Molasse
«HELVÉTIEN»	OMM	— Lh 5 —		
		— Lh 4 —		
«BURDIGALIEN»		— Lh 3 —		
		— Lh 2a —		
		— Lh 1a —	E _{2γ}	Kalksandstein-Serie
«AQUITANIEN»	USM	— Lh 1 —		Untere bunte Molasse
				E _{2α,β}
«CHATTIEN»			E ₁	Wynauer Kalke

Ein zusätzliches Hilfsmittel zur Klassifizierung der jüngeren lithostratigraphischen Einheiten waren die Geröllanalysen diverser Nagelfluhhorizonte. Diese lassen sich im Gelände gut feststellen und sind als sogenannte Leithorizonte für die Unterteilung der Oberen Meeresmolasse sehr nützlich. Im Untersuchungsgebiet wurden 42 Geröllanalysen vorgenommen und petrographisch (pro Probe 200 Gerölle) bestimmt.

2. Methodik

Die Probenzahl für die sedimentpetrographischen Untersuchungen belief sich bei den Leichtmineralen (LM) auf 118, bei den Schwermineralen (SM), Korngrößenanalysen und beim Karbonatgehalt auf 155 (vgl. Tab. 4). Nicht mit einbezogen sind die Proben der Bohrung Altishofen 1 sowie ein Teil der Bohrungen von Wynau. Beide Bohrungen werden in einem eigenen Kapitel beschrieben. Die Aufbereitung des Probengutes geschah nach der am hiesigen Institut gebräuchlichen Methode (vgl. MATTER 1964, MAURER et al. 1978).

2.1 Korngrößenanalysen

Die Korngrößen von Sandsteinen wurden mittels einer Rotap-Siebmaschine bestimmt. Ein Computerprogramm zeichnete und berechnete die gemittelten Summenhäufigkeitskurven, Histogramme sowie die verschiedenen Parameter wie Mittelwert (Mean), Standardabweichung, Schiefe (Skewness) und Gipfeligkeit (Kurtosis) der jeweils zu Gruppen zusammengefassten Proben.

2.2 Karbonatbestimmung

Den Karbonatgehalt bestimmten wir mittels komplexometrischer Titration (SCHWARZENBACH 1960).

2.3 Leichtmineral-Anteil

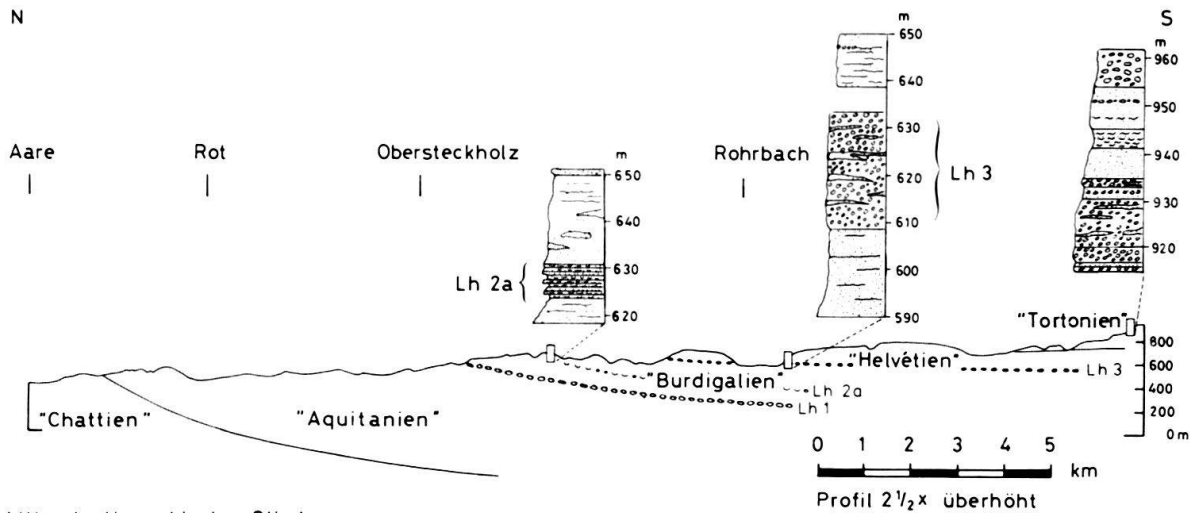
Der Leichtmineral-Anteil (Fraktion 0,10–0,15 mm) wurde in ein Immersionöl ($n = 1,540$) eingebettet und nach seinem Quarz-, Feldspat-, Gesteinsbruch- und Glimmeranteil bestimmt. Zählung pro Präparat: 100 Körner exklusive Glimmer.

2.4 Schwermineral-Anteil

Beim Schwermineral-Anteil wurden 100 durchsichtige Körner ohne Granat ausgezählt und gleich 100% gesetzt. Der Prozentgehalt des Granats konnte nach der Formel $\text{Granat}/(100 \text{ SM} + \text{Granat})$ ermittelt werden.

3. Korngrößenanalysen (vgl. Fig. 1)

Mit dieser Untersuchung wollten wir abklären, ob sich die lithostratigraphisch abgrenzbaren Einheiten in bezug auf die Korngrößenverteilung der Sandfraktion unterscheiden. Allein schon aufgrund des Feldbefundes sind lithologisch bedeutende Unterschiede vorhanden. Das «Chattien» ist charakterisiert durch helle, glimmerreiche Sandsteine. Im «Aquitaniien» wechsellagern helle, knauerige Sandsteine mit bunten, z. T. roten Mergeln. Gerölle sind in der USM eine Seltenheit. Massige, gelbgraue, z. T. glaukonitische Sandsteine mit zwischengeschalteten Muschelsand-



Lithostratigraphische Gliederung der OMM mit Leithorizonten (Lh 1, 2a, 3) nach Ed. GERBER (1950)

Fig. 1. Referenzprofil und lithostratigraphische Gliederung mit Leithorizonten.

steinbänken und einzelnen Geröllhorizonten sind typisch für das «Burdigalien». Im «Helvétien» sind mächtige Nagelfluhhorizonte dominierend und wechsellagern mit glimmerreichen, vorwiegend plattigen Sandsteinen. Gelbgraue Mergel und Muschelsandsteine spielen eine untergeordnete Rolle. Das «Tortonien» wird von massigen, knauerigen Sandsteinen mit wenig mächtigen Geröllhorizonten sowie kohligem und fossilführenden Lagen aufgebaut.

Für die Korngrößenanalysen wurden Sandsteine und Sandproben aus Nagelfluhkörpern entnommen. Die Probenentnahme erfolgte entsprechend den Aufschlussverhältnissen (vgl. Fig. 2) nicht sehr dicht.

Die einzelnen Parameter, die aus der Korngrößenverteilung berechnet werden, haben für die Bestimmung des Ablagerungsmilieus von Molassebildungen meist nur einen beschränkten Aussagewert, vielmehr erlauben sie, innerhalb eines Ablagerungsraumes bestimmte sedimentäre Fazies, deren Bildung durch verschiedene Energieniveaus bedingt ist, zu unterscheiden. Bei unseren Untersuchungen lässt die beschränkte Probenzahl keine derartige Interpretation zu, daher wurden die einzelnen lithostratigraphischen Einheiten als Gruppen aufgefasst. Auf Figur 3a sind die gemittelten Histogramme und auf Figur 3b die gemittelte Summenhäufigkeit für

Tabelle 2: Darstellung verschiedener Parameter, die sich aus der Korngröße ableiten.

	Probenzahl	Mean		Standard- abweichung	Skewness	Kurtosis
		in Φ	in mm			
Flussproben	46	2,16	0,22	1,21	0,46	7,74
«Tortonien»	28	2,80	0,14	1,48	0,09	10,72
«Helvétien»	37	2,53	0,17	1,20	0,26	7,75
«Burdigalien»	16	2,31	0,20	1,17	0,21	7,78
«Aquitanien»	10	2,78	0,14	1,05	0,70	3,37
«Chattien»	18	3,04	0,12	1,08	0,45	3,31

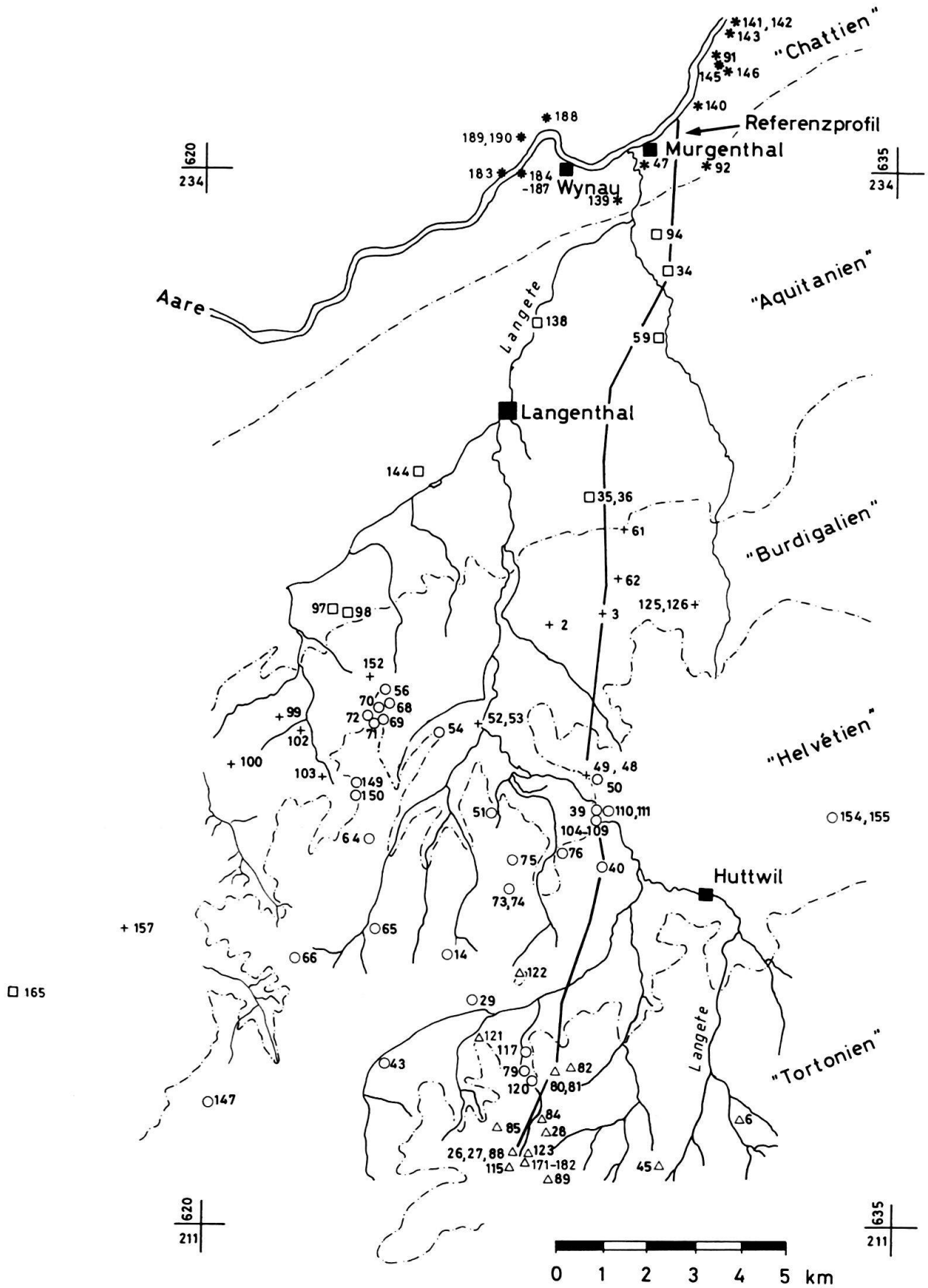


Fig. 2. Entnahmestellen von Molasseproben.

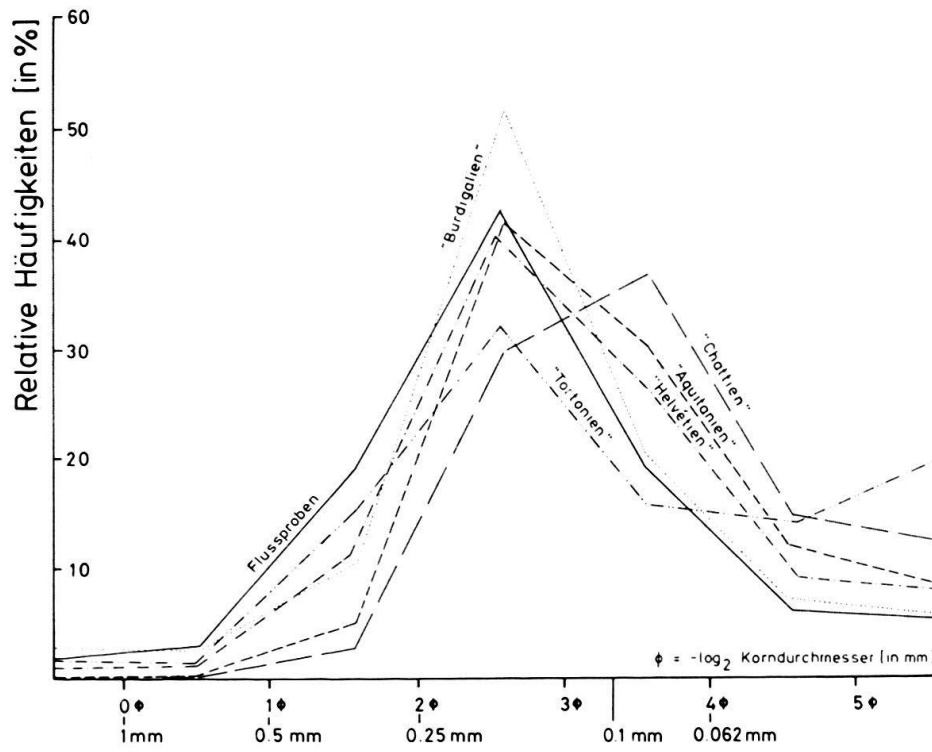


Fig. 3a. Histogramme aus den Korngrößenanalysen in den lithostratigraphischen Einheiten.

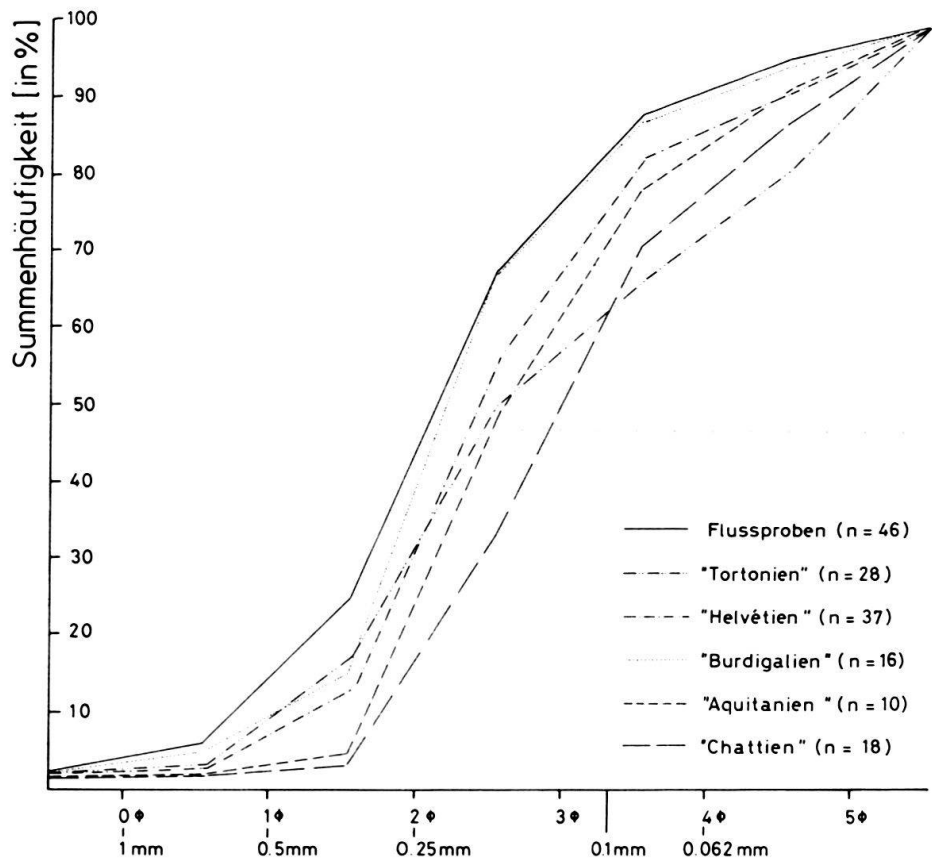


Fig. 3b. Summenhäufigkeiten aus den Korngrößenanalysen der lithostratigraphischen Einheiten.

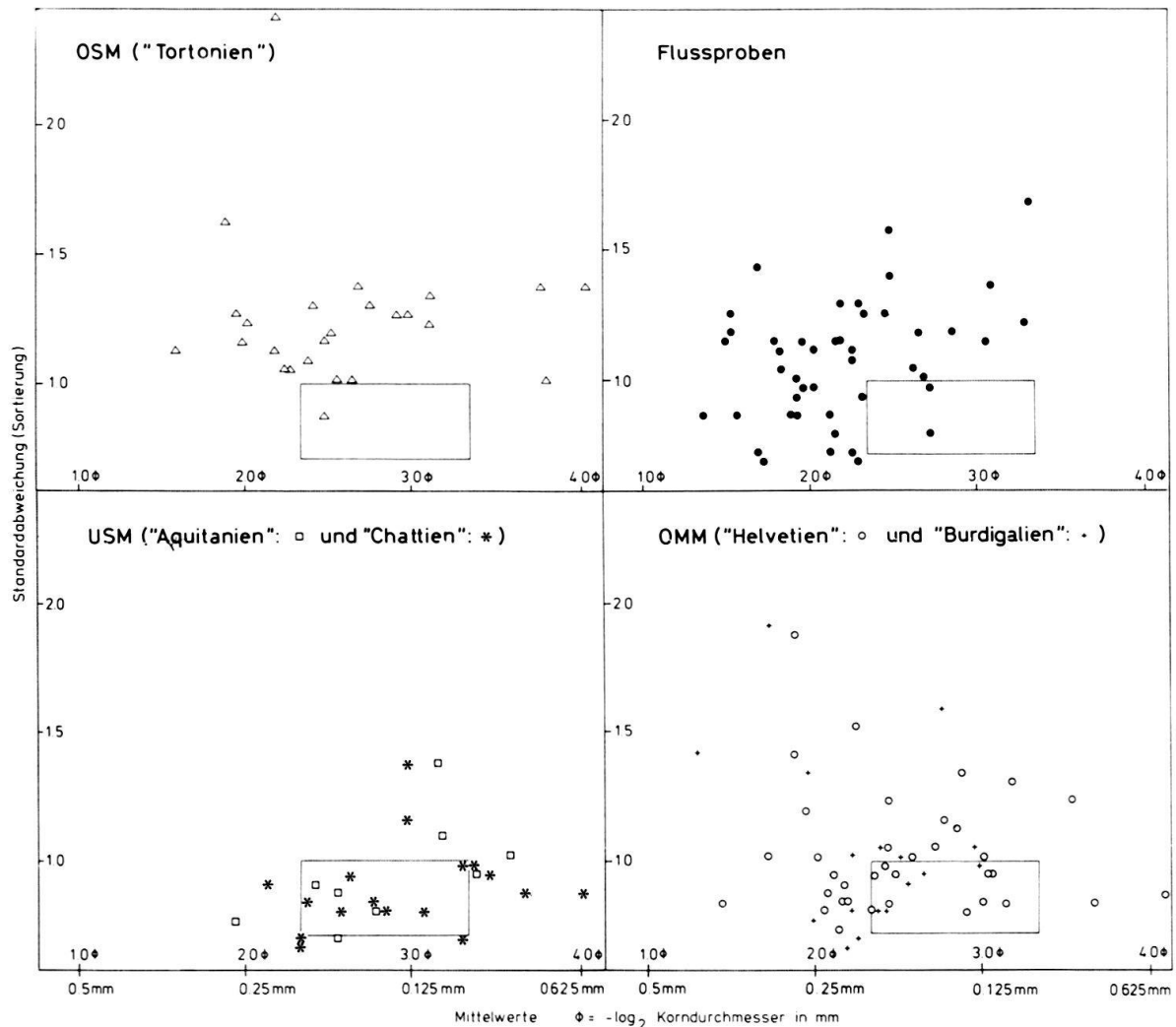


Fig. 4. Darstellung der Standardabweichung (Sortierung) in Abhängigkeit der mittleren Korngrösse. (Das Rechteck enthält die mittelmässig sortierten Proben im Sortierungsoptimum nach WALGER 1962.)

die einzelnen lithostratigraphischen Einheiten dargestellt. Auf Figur 3a fällt auf, dass im «Chattien» entsprechend der grösseren Entfernung der Probenentnahmestellen von den Alpen kleinere Sandkörner als in allen jüngeren Stufen abgelagert wurden. Ferner zeigt sich ein signifikanter Unterschied der Proben der USM («Chattien» und «Aquitaniens») zu den Proben der OMM («Burdigalien» und «Helvétien») sowie zu den Proben der OSM («Tortonien»). In der graphischen Darstellung (s. Fig. 4) von mittlerer Korngrösse gegen Standardabweichungen sowie der Tabelle 2 kommen diese Unterschiede klar zum Ausdruck.

Ein Blick auf die Tabelle 2 zeigt folgendes: Die Korngrösse nimmt vom «Chattien» bis ins «Burdigalien» zu, nachher folgt eine Abnahme vom «Helvétien» bis in das «Tortonien». Die Sortierung ist in der USM («Aquitaniens» und «Chattien») am besten, in der OMM («Tortonien») am schlechtesten (vgl. Standardabweichung). In der Kurtosis kommt dieselbe Gruppierung zum Vorschein, wobei die deutlich abweichende Zahl der Kurtosis für das «Tortonien» bedeutet, dass der Mittelteil der Kurve (25–75%) extrem besser sortiert ist als die Enden der Kurve (5 und 95%).

Die beschriebene Entwicklung der Korngrößen hängt sowohl mit dem Vorrücken der Südgrenze des Molassetroges wie auch mit der Veränderung des Ablagerungsraumes von einer Schwemmlandebene (USM) zu einem marinen und fluvio-terrestrischen Delta (OMM) und schliesslich zu einem alluvialen Schuttkegel (OSM) zusammen.

4. Karbonatgehalt

Bei den Karbonaten wurde der Gehalt an Calcit sowie Dolomit ermittelt (vgl. Tab.4). Die Durchschnittswerte für Calcit sind dabei im «Chattien» und «Tortonien» höher (18–20%) als im «Aquitaniens», «Burdigalien» und «Helvétien» (10–14%). Anhand des Calcit/Dolomit-Verhältnisses zeigt sich dieselbe Anordnung wie vorher. Dies bedeutet, dass die Veränderung des Dolomitgehaltes proportional zum Calcitgehalt ist. Der erhöhte Calcitgehalt resultiert sehr wahrscheinlich aus dem primär vorhandenen Angebot der Karbonate (Kalke im «Chattien», «Kalk»nagelfluh im «Tortonien»).

Die im Einzugsgebiet der Langete genommenen Sandproben zeichnen sich durch einen sehr geringen Karbonatgehalt aus (<6%). Dies ist durchaus verständlich, besteht doch das Probenmaterial lediglich aus den Komponenten. Die karbonatische Matrix wurde auf dem Transportweg zerstört, teilweise chemisch aufgelöst oder als Komponenten < 63 μ wegtransportiert.

5. Leichtminerale

Bei den Leichtmineralen (vgl. Tab.4) lässt sich an der Wende von «Chattien» zu «Aquitaniens» ein Wechsel von Quarz- zu Feldspatvormacht feststellen. Anhand des Quarz/Feldspat-Verhältnisses (Q/F) in nachfolgender Tabelle ist dieser Wechsel veranschaulicht.

In den höheren lithostratigraphischen Einheiten nimmt vom «Aquitaniens» an das Q/F-Verhältnis zu. Diese Entwicklung beruht sicherlich auf der Zusammensetzung der die Sandsteine begleitenden Nagelfluh. So zeigen die Nagelfluhgerölle der Leithorizonte Lh1 und des etwa 90 m höher liegenden Lh1a (Wende «Aquitaniens» zu «Burdigalien») einen deutlichen Anteil von Kristallingeröllen (vgl. Kap.9), während in den jüngeren Stufen die Nagelfluhgerölle aus Sedimentgesteinen bestehen. Eine sehr ähnliche Entwicklung konnte von MATTER (1964) im Entlebuch nachgewiesen werden.

Tabelle 3: Quarz/Feldspat-Verhältnis in den jeweiligen informellen Stufen.

	Probenzahl	Quarz/Feldspat-Verhältnisse
Flussproben	33	0,95
«Tortonien»	25	0,72
«Helvétien»	30	0,66
«Burdigalien»	12	0,58
«Aquitaniens»	7	0,37
«Chattien»	11	1,35

6. Schwerminerale

Die Mittelwerte der Schwermineralvergesellschaftungen haben wir entsprechend den lithostratigraphischen Zuordnungen auf Figur 5 sowie Tabelle 4 dargestellt.

Die ältesten, im Untersuchungsgebiet aufgesammelten Proben betreffen das «Chattien». Ihre Schwermineralassoziatio

SM-Formel: G, A, E, s, t, z, t' ⁴⁾

gegeben. Erst die profilmässig durchgeführte Beprobungen der Bohrung Altishofen 1 sowie der Bohrungen von Wynau erlauben eine genauere schwermineralogische Differenzierung.

Das Kennzeichen des «Chattien» ist der hohe Gehalt an Apatit, der in den jüngeren Stufen durch die Vormacht des Epidots abgelöst wird. Dieser Umschlag findet im höheren «Chattien» statt und ist gleichzeitig mit einer Granatzunahme gegen das Liegende verbunden (vgl. MAURER et al. 1978, 1980). Die Schwerminerale Staurolith, Spinell und Alkalihornblende besitzen für den unteren Teil des «Chattien» Leitwert.

Im «Aquitaniens» ist die bereits erwähnte deutliche Vormachtstellung des Epidots (62%) feststellbar; der Apatit tritt immerhin noch mit 18% als Hauptge-

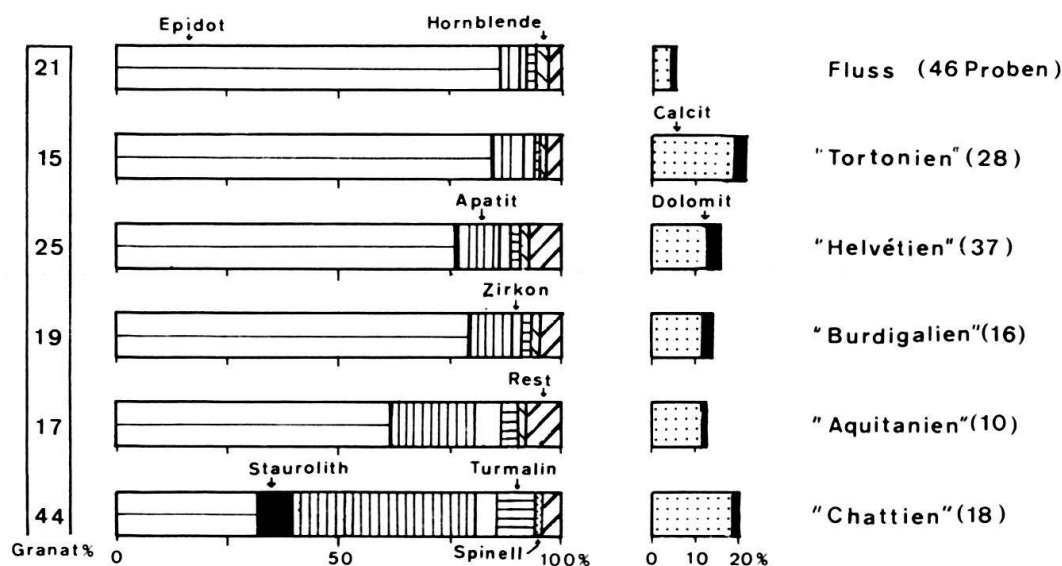


Fig. 5. Schwermineralverteilung in den einzelnen informalen Stufen.

⁴⁾ Die Abkürzungen der Schwerminerale wurden in Anlehnung an FÜCHTBAUER (1964) übernommen. Die Hauptgemengenteile (>10%) sind gross, die Nebengemengenteile (2-10%) klein geschrieben. Akzessorien sind in der Formel nicht berücksichtigt. Der Granat (G) wurde vorangestellt, gross geschrieben, wenn er das häufigste Schwermineral war, sonst klein. Die übrigen Minerale sind in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit aufgezählt. Es bedeuten: A = Apatit, Ah = Alkalihornblende, Ba = Baryt, Cd = Chloritoid, DI = Disthen, E = Epidot, Hbl = Hornblende, Or = Orthit, Py = Pyroxen, S = Staurolith, S' = Spinell, So = sonstige SM, T = Turmalin, T' = Titanit, TiO₂ = TiO₂-Gruppe, Z = Zoisit.

Tabelle 4: Schwermineral-, Karbonat- und Leichtmineralgehalt in den jeweiligen informalen Stufen.

Probenzahl	SCHWERMINERALE												KARBONATE		LEICHTMINERALE			
	Granat %	Epidot	Apatit	Spinell	Turmalin	Zirkon	TiO ₂ -Gruppe	Titanit	Staurolith	Chloritoid	Hornblende	Alkalihornblende	Calcit	Dolomit	Quarz	Feldspat	Gesteinsbruchstücke	
Flussproben	46	26.0	85.9	4.8	0	2.0	0.9	0.8	1.5	0.5	0.7	2.5	0	4.3	1.2	41.4	43.4	15.2
"Tortonien"	28	14.9	84.8	8.2	0	1.0	1.7	1.1	0.6	0.3	0.5	1.1	0	19.2	2.6	37.0	51.5	11.5
"Helvétien"	37	24.9	75.5	10.7	0	2.3	1.7	0.9	2.0	1.1	1.1	1.8	0.3	13.3	2.7	31.7	49.6	18.7
"Burdigalien"	16	19.4	80.6	7.9	0	1.9	2.0	0.5	1.0	0.3	0.8	1.2	0.1	11.7	2.1	30.1	51.0	18.9
"Aquitaniern"	10	17.4	62.4	18.1	0.1	2.1	6.5	0.1	6.9	0.5	0.1	1.4	0	10.9	1.7	23.7	63.6	12.7
"Chattien"	18	43.9	32.1	41.2	1.1	7.6	5.0	1.0	2.9	8.6	0.1	0	0.3	18.0	2.1	52.2	38.6	9.2

mengteil auf. Unter den Nebengemengteilen haben Zirkon und Titanit ihre Positionen getauscht. Akzessorisch tritt in dieser Stufe die Hornblende auf, die im «Chattien» fehlt.

SM-Formel: g, E, A, t', z.

Beim Granat ist gegenüber dem «Chattien» ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen.

Im «Burdigalien» nimmt der Epidot weiterhin zu (80%), während der Apatit bereits nur mehr als Nebengemengteil (<10%) vorhanden ist. Als akzessorischer Bestandteil kommt Chloritoid vor.

SM-Formel: g, e, a, t, z.

Im «Helvétien» ist eine Abnahme des Epidots festzustellen (76%). Dadurch wird der Apatit knapp zum Hauptgemengteil (>10%). Der Chloritoid - als charakteristischer Akzessor - erreicht im «Helvétien» sein Maximum.

SM-Formel: g, E, A, t, t'.

Im «Tortonien» erreicht der Epidot mit 85% die höchsten Werte. Im Gegensatz zu den im Liegenden schlecht erhaltenen, stark zersetzten Epidoten besitzen die Epidote im «Tortonien» eine erstaunliche Frische und Klarheit.

SM-Formel: g, E, a.

Die im Einzugsgebiet der Langete entnommenen Flussproben besitzen ein ähnliches SM-Spektrum wie das «Tortonien». Lediglich die Hornblende erreicht in den Flussproben ein Maximum von 2,5%. Dieser zwar minimale, jedoch erkennbare Anstieg lässt sich durch die quartäre Bedeckung des Untersuchungsgebietes erklären. GASSER et al. (1969, S. 479) stellten in ihrer Arbeit fest, dass in den Pleistozänproben vermehrt Hornblenden und Pyroxene auftreten, wobei sich an den Austrittsstellen der Gletscher ins Mittelland hohe Hornblendewerte abzeichnen. So stammt der erhöhte Hornblendegehalt im Einzugsbereich der Langete aus dem Abtrag pleistozänen Materials.

SM-Formel: g, E, a, hbl.

7. Sedimentpetrographische Untersuchungen an Sandproben der Langete

Das Tal der Langete ist durch eine breite Talsohle mit einem durchschnittlichen Gefälle von $\frac{1}{2}$ Grad und zahlreichen, schmalen Gräben, die das umliegende Hügel- bzw. flache Bergland entwässern, charakterisiert. In der Schweiz wurden bis anhin sedimentpetrographische, insbesondere schwermineralogische Untersuchungen an rezenten Sedimenten nur im Einzugsgebiet des Alpenrheins (HAHN 1969) sowie im Thunersee (STURM et al. 1972) durchgeführt. Diese Überlegung und auch die Tatsache, dass die Langete einen wenig verbauten Flusslauf darstellt, veranlassten uns, das Einzugsgebiet der Langete sedimentpetrographisch zu untersuchen.

Tabelle 5: Zusammenstellung der sedimentpetrographischen Resultate der Flussproben im Einzugsgebiet der Langete.

Proben-Nr.	Koordinaten	SM ohne Granat in %									SM Gew. %	LM ohne Glimmer in %			Calcit in %	Dolomit in %		
		Granat	Epidot	Apatit	Turmalin	Spinell	Zirkon	TiO ₂ -Gruppe	Titanit	Staurolith		Hornblende	Sonstige SM	Quarz			Feldspat	Gesteinsbruchstücke
FLUSSPROBEN																		
004	631475/216270	29	90	6	1						1	1cd,	2,7	44	39	17	6,3	0,3
005	631700/213710	29	93	2									2,9	45	41	14	5,0	0,2
007	632075/212650	23	94	3	3								2,2	36	52	12	5,5	1,8
008	629560/219150	17	89	3									2,4	51	36	13	6,4	0,4
009	626010/221625	1	96										1,3	41	41	18	10,7	1,3
010	626010/221626	18	84	5	1								1,5	41	42	17	6,3	0,8
011	624340/219775	22	87	5	1								2,0	34	54	12	5,7	2,6
012	625825/219550	27	91	3									1,6	34	51	15	3,0	1,4
013	624800/217410	39	80	6									2,0	41	45	14	0,4	2,0
015	625125/215300	64	89	1	3								4,1	37	54	9	2,0	0,9
016	627860/216120	20	74	12									3,3	37	42	21	5,2	0,3
017	629675/218525	33	76	10	2								3,2	43	38	19	6,2	1,7
018	629435/221925	18	82	7	7								2,7	36	48	16	6,3	0,9
019	629925/215900	43	94	2	2								2,6	41	43	16	2,5	1,8
020	620625/215610	20	76	7	3								2,9	36	48	16	6,3	1,6
021	629425/214620	10	84	6	2								1,6	42	40	18	6,0	1,8
022	629050/214575	32	93	1	1								4,2	43	44	13	3,1	0,9
023	629650/213560	19	85	9	2								3,0	40	44	16	4,1	1,1
024	629960/213375	20	81	10	2								2,5				6,8	0,3
025	627725/220400	25	71	9	7	1							2,2	43	36	21	0,9	2,0
031	629200/233325	61	89	2	1								3,1	40	48	12	2,7	1,7
032	624375/232200	5	98										1,1	37	41	22	2,4	1,1
037	626600/227550	34	90	4	1								3,0	53	41	6	3,0	1,3
041	626075/218825	38	80	3	4								1,5	39	48	13	1,9	0,8
042	623725/214125	29	86	3	5								3,4	36	41	23	0,5	1,2
058	627375/213460	20	77	6	3								3,0	45	52	13	5,5	1,4
063	626430/223625	38	84	8									4,7	46	39	15	4,9	1,3
067	627880/217360	24	86	5	5								2,6	40	43	17	1,0	1,2
077	627450/215830	25	84	6	2								2,3	43	40	17	5,1	1,2
078	627100/214890	31	88	6									2,9	51	37	12	6,2	0,7
083	627450/213925	35	83	6	4								3,9	40	48	12	6,4	1,1
086	627225/212925	33	82	11	1								4,2	48	39	13	9,1	0,6
087	627075/212425	17	86	9									3,3	41	49	10	8,0	0,7
101	622150/222080	14	71	8	4								1,3	41	38	21	2,7	2,5
127	623625/213725	25	94	2	2								1,9				0,4	2,6
128	626050/215125	14	84	5	2								2,7				3,0	1,1
129	631575/219100	28	91	4	1								2,5				4,0	2,2
130	631275/217950	19	86	5	1								2,8				4,8	0,7
131	631075/213475	13	93	4	1								1,9				5,2	2,4
132	625625/220750	23	93	1									2,6				4,1	0,9
133	626875/220750	23	89	1	2								2,6				2,4	0,7
134	625375/219875	15	91	2									2,4				1,3	0,9
135	625900/222350	4	84	4	1								1,4				1,5	1,1
136	627975/223350	57	86	3	4								2,3				1,7	0,7
137	626725/225450	43	92	3									3,7				5,7	0,4
153	624225/223625	20	75	5	5								2,7				3,0	2,2

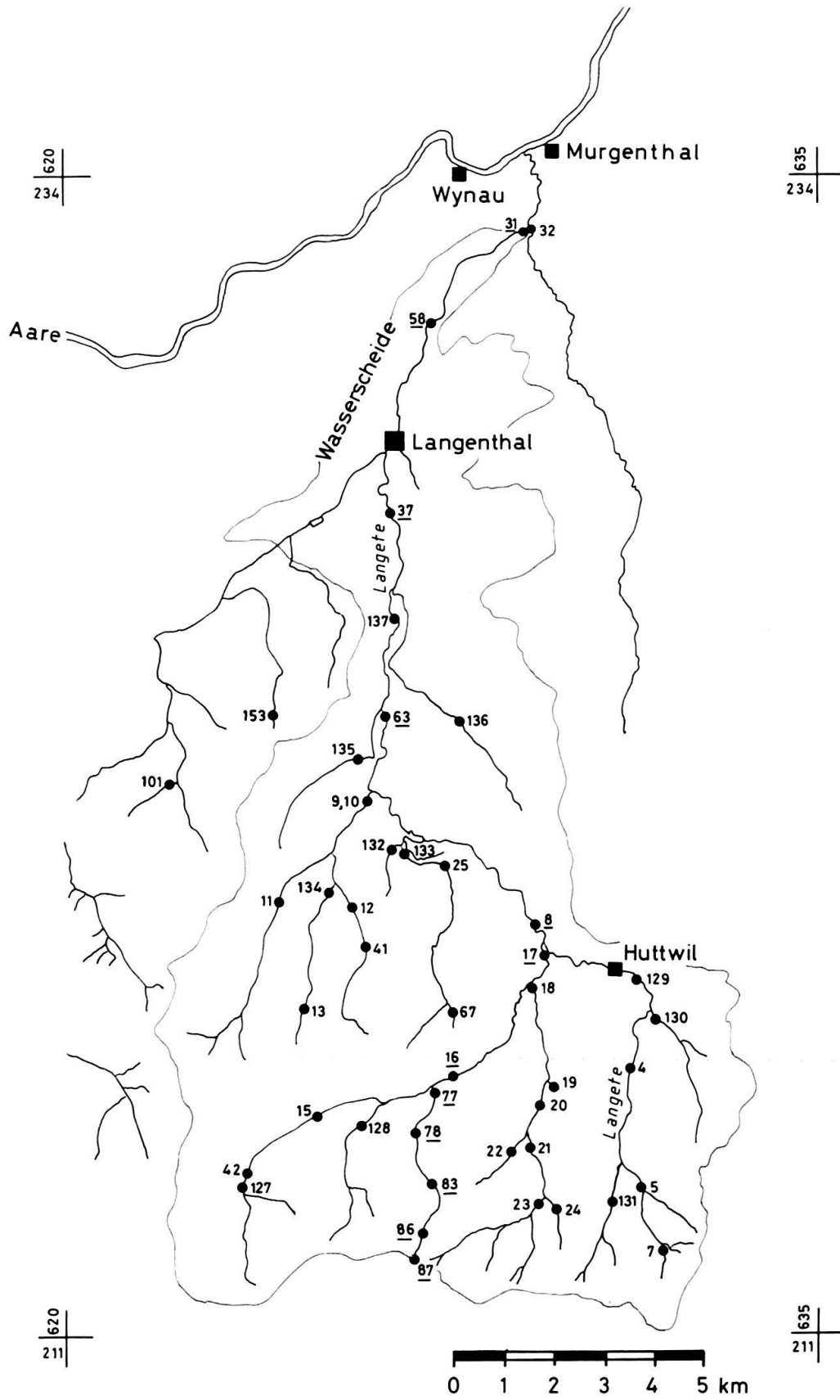


Fig.6. Entnahmestellen von Flussproben, wobei unterstrichene Probennummern für die Schwer- und Leichtmineralverteilung im Langetelauf verwendet wurden (vgl. Fig. 7).

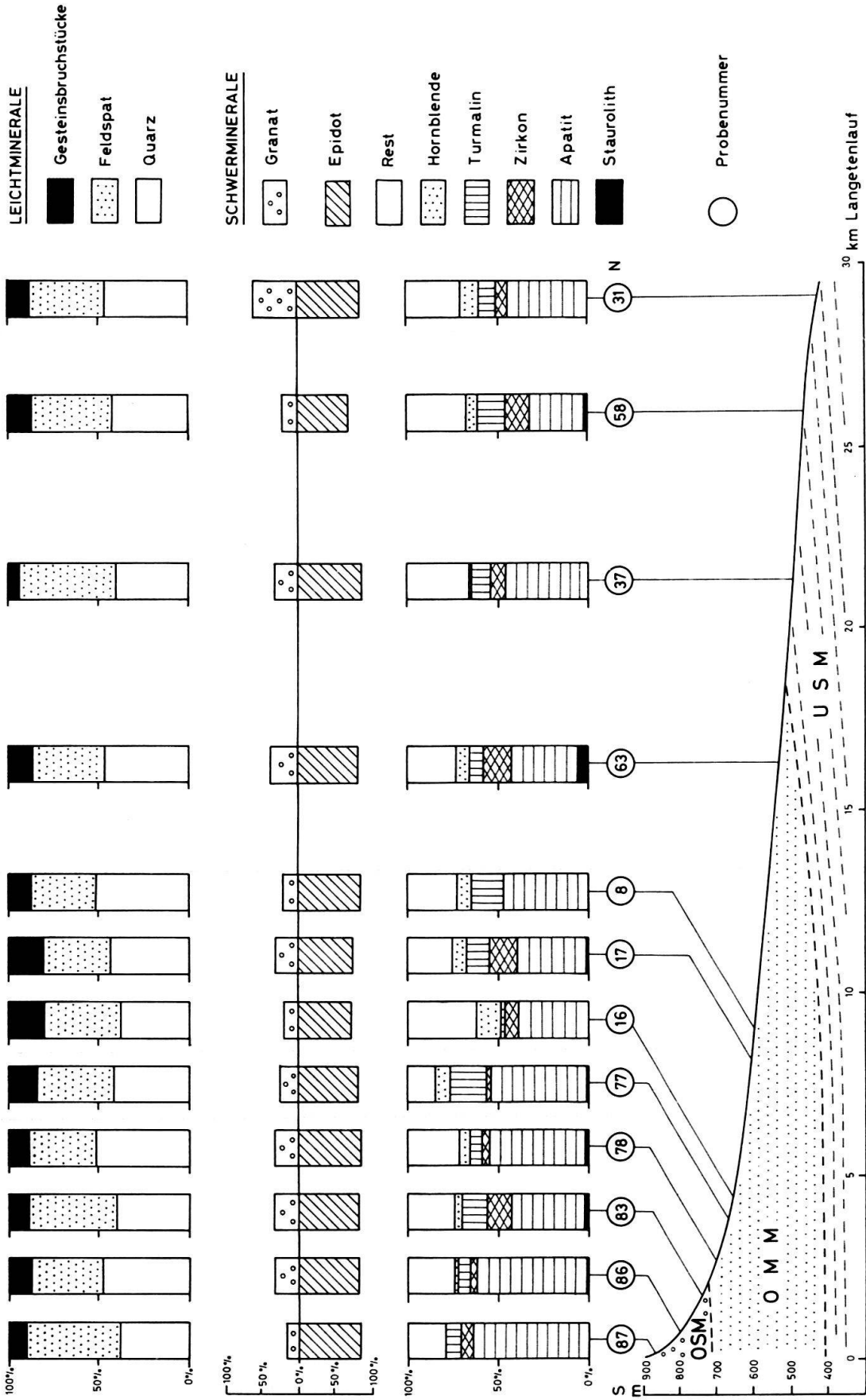


Fig. 7. Schwer- und Leichtmineralverteilung im Langtenlauf.

An 46 Flussproben (vgl. Fig. 6), die als Durchschnittsproben der obersten 2–3 cm auf Sandbänken, meist in der Mitte der Bäche, entnommen wurden, erfolgten die sedimentpetrographischen Untersuchungen (SM, LM, Karbonatgehalt).

Die sedimentpetrographischen Resultate, die auf der Tabelle 3 als Mittelwerte dargestellt sind, zeigen gegenüber den Molasseproben deutliche Unterschiede. Am auffallendsten ist dabei der Karbonatgehalt, des weiteren der sich deutlich abhebende Hornblendegehalt, der aus der Quartärbedeckung stammt (vgl. GASSER et al. 1969), sowie ein Maximum an Epidot (85%). Gegenüber den jüngeren Stufen der Molasse ist ein Anstieg des Quarzgehaltes zu verzeichnen. Wir haben versucht, die sedimentpetrographischen Resultate profilmässig zu erfassen (vgl. Fig. 7), indem wir die Langete, welche die Molassestufen «Tortonien» bis «Aquitaniern» durchläuft, mit einem dichten Probenetz von ihrem Ursprung bis zur Mündung in die Aare belegten. Anhand der Schwermineralverteilung zeigt sich ein recht konstantes Spektrum von Epidot (70–90%) mit unterschiedlicher Granatführung. Da der Granat korngrößenabhängig ist, ist er für die Interpretation nicht geeignet. In der Hoffnung, bessere Hinweise über den verbleibenden Anteil (10–30%) der Restvergesellschaftung zu bekommen, zählten wir unter Weglassung von Epidot und Granat 100 Körner aus. Auf der Figur 7 zeigen die untersten Balken das gespreizte Band der Restvergesellschaftung. Auch hier lässt sich keine trendmässige Entwicklung erkennen.

Zusammengefasst sei festgehalten, dass sich die Flussproben noch weniger voneinander unterscheiden als die Molasseproben; ein plausibles Resultat, das keiner weiteren Erklärung bedarf.

8. Statistische Auswertung der sedimentpetrographischen Daten in den Molasseproben

In einem ersten Schritt wurden die Mineralanalysen-Daten von insgesamt 109 Proben (vgl. Tab. 6) mit 18 Variablen (Granat, Epidot, Apatit, Turmalin, Spinell, Zirkon, Rutil, Titanit, Staurolith, Chloritoid, Hornblende, Baryt, Sonstiges, Alkali-hornblende, Calcit, Dolomit, SM-Gewichtsprozente und Pyroxen) standardisiert. Danach wurden die Hauptkomponenten⁵⁾ berechnet, wobei die erste gegen die zweite Hauptkomponente graphisch dargestellt wurde (vgl. Fig. 8). Die Varianten der fünf ausgeschiedenen Gruppen zeigen ein relativ dichtes Punktwolkenfeld mit Ausnahme der Proben des «Chattien», die als weit gestreutes Verteilungsmuster sich deutlich von anderen Gruppen abheben.

In einem weiteren Schritt wurde jede Gruppe gegen jede andere diskriminiert. Durch diesen paarweisen Vergleich wurden durch die Elimination der redundanten (= nichtsignifikanten) Schwerminerale die zur Trennung diagnostischen Schwerminerale ermittelt. Das auf der Figur 9 dargestellte Diagramm (links unten) veran-

⁵⁾ Die Schwermineralkonzentrationen werden in einem mehrdimensionalen Koordinatensystem dargestellt, wobei uns primär die Varianz (Streuung) und nicht die geometrische Form der Punktwolken interessiert. Um eine optimale Graphik der Streuung zu erhalten, wird das Koordinatensystem so gedreht, dass die Achse mit der längsten Varianz die erste Hauptkomponente, diejenige mit der zweitlängsten Varianz die zweite Hauptkomponente usw. bildet (vgl. CAMMON 1969).

Tabelle 6: Zusammenstellung der sedimentpetrographischen Resultate der Molasseproben.

Proben-Nr.		SM ohne Granat in %										LM ohne Glimmer in %		Dolomit in %					
		Granat	Epidot	Apatit	Turmalin	Spinell	Zirkon	TiO ₂ -Gruppe	Titanit	Staurolith	Hornblende	Sonstige SM	SM Gew. %		Quarz	Feldspat Gesteinsbruch- stücke	Calcit in %		
" TORTONIEN "																			
006	631800/213230	32	93	3			1	3						3,5	36	53	11	17,6	2,8
026	626900/212475	11	86	6	1		1	3		1	2Cd			2,6	24	65	11	3,9	4,3
027	626900/212475	12	85	8			7							2,8	24	55	21	15,7	10,3
028	627675/212850	15	74	8	2		1	2	2	1				10,0	23	57	20	16,8	4,3
045	630200/212175	26	77	9	2	1	2	1			5	3Cd		3,4	26	56	18	13,6	1,6
080	627750/214125	21	81	13			1	2	2	1				1,6	39	40	21	22,3	0,6
081	627750/214125	7	90	7			1	1	1					2,0	42	42	16	11,7	0,6
082	628200/214285	19	83	8			3	2			3	1Cd		6,2	29	51	20	16,6	0,7
084	627500/213310	31	81	5	3		4	5	2					6,1	38	48	14	20,1	2,4
085	627225/212925	12	70	12	4		8	2	1	1	2			15,1	24	53	23	14,6	4,9
088	627925/212475	10	87	6			1	2	1		1	1Di, 1Py		1,9	40	45	15	18,5	3,7
089	627755/211875	21	85	10			1					1Di, 3Py		4,8	43	47	10	26,8	0,4
115	626900/212475	27	96	2	1		1							1,4	30	53	17	17,5	1,8
121	626030/215185	40	91	4				1			4			6,1				12,5	0,9
122	627075/216475	19	71	12	2			3		4	4	4Cd							
123	627120/212425	19	95	2	1			2						1,0				13,7	0,7
171	626925/212450	22	84	11			2				3			2,3	41	48	11	23,1	4,9
172	626925/212450	14	77	18	2		1	1	1					4,1	51	41	8	22,1	4,8
173	626925/212450	14	78	16	1		4				1			3,0	56	34	10	23,3	4,7
174	626925/212450	22	91	4	1			2				1Py, 1Cd		2,8	37	57	6	23,7	2,9
175	626925/212450	14	83	14	2						1			2,3	44	51	6	23,6	3,4
176	626925/212450	13	80	14	1			2	1			1Cd		3,2	42	52	6	24,0	0,7
177	626925/212450	15	82	9	1		5	2			1			3,8	35	57	8	42,3	2,4
178	626925/212450	15	91	4			1				3	1Cd		1,3	26	64	10	2,1	0,4
179	626925/212450	7	89	7	1		1				2	1Py		0,4	29	70	1	30,7	1,1
180	626925/212450	6	93	6					1					1,5	55	44	1	32,3	1,5
181	626925/212450	7	85	9	3						2	1Cd		2,9	37	61	2	19,5	2,6
182	626925/212450	11	94	4			2							0,3	54	43	3	28,5	4,0
" HELVETIEN "																			
014	625430/216915	40	86	8	1		1		1	2	1			2,8	43	43	14	2,8	0,2
029	625975/215775	33	85	7				1		1	4	2Cd		16,3	28	56	16	8,1	7,2
039	628825/220000	14	67	20	1		3	1	1	2	3	1Cd, 1Ah		2,7	29	54	17	7,2	8,2
040	628800/218850	42	82	8	3			1	3	1	2			2,1	29	59	12		
043	623950/214375	23	72	16	1					1	3	3Cd, 4Ba		1,8	41	44	15	12,8	4,0
050	628400/220925	46	63	12	3		6	1	7	5	1	1Cd, 1Ah		7,4	26	45	29	26,5	2,0
051	626525/220075	23	68	17			2	1	6	3	1	2Cd		1,9	31	48	21		
054	625175/221950	16	69	21	3		2	1	1	1	2			2,0	29	46	25	15,1	2,4
056	624040/220770	32	77	12	4		2	1	3			1Cd		2,8	31	50	19	10,8	5,4
064	623675/219450	10	86	9	3						1	1Cd		3,7	26	50	24	15,9	8,5
065	623650/217360	5	72	16	4		1		1		2	1Cd, 2Ah, 1Py		3,8	33	49	18	16,5	7,5
066	622025/216775	20	73	18	3			1	1	1	2	1Cd		1,5	34	55	11	38,6	1,6
068	624030/222425	12	67	22	3		1	1	3			2Cd, 1Ah		2,9	34	48	18	20,0	2,3
069	623925/222400	21	69	23	2		1	1			1	3Cd		2,3	32	48	20	18,2	2,8
070	623925/222400	28	56	32					7					2,5	32	49	19	15,5	2,1
071	623720/222250	29	85	9	1		2	1			1	1Di		2,8	38	47	15	14,0	3,3
072	623720/222250	18	80	11	4		4		1					3,6	30	53	17	14,2	1,4
073	626725/218400	25	59	20	3		3	5	7	2	1			1,6	40	48	12	24,9	0,2
074	626725/218400	28	83	8	2		2	1	2	1		1Cd		0,9	33	53	14	15,2	0,3
075	626860/218975	49	50	19	5		5	8	1	7	2	2Cd, 1Di		2,9	36	45	19	3,6	0,6
076	627960/219125	60	87	2	3		1	3	1	1		2Cd		2,2	40	43	17	3,5	0,5
079	627160/214675	10	97	3										3,7	49	41	20	2,5	0,9

104	628850/219900	60	92	2	1				1	1	2	1Di	2,6	37	47	16	3,0	0,9		
105	628850/219900	61	83	3	3					2	2	4	2Di, lZo	2,4	30	53	17	0,8	1,2	
106	628850/219960	22	21	4								1	lCd, lDi	2,2	27	58	15	1,4	1,1	
107	628850/219900	54	89	1	3		1	1	1	1	1	1	lCd, lDi	3,8	30	57	13	1,3	0,7	
108	628850/219900	84	87	1	4						2	3	2	lAh	1,7	31	56	13	0,7	1,6
109	628850/219900	100	85	4	4						1	2	3	lPy	3,7	35	48	17	1,1	0,5
110	628900/219975	24	67	15	1		10		4				2	2Cd, lAh	2,0	26	47	27	49,5	5,5
111	628900/219975	33	54	19	6		4		9	1			7	Cd	9,1	19	48	33	17,4	6,4
117	627200/215100	22	87	9			1		1	1			1	lCd	8,6				1,7	1,4
120	627500/211120	31	81	5			3	1	1				9						8,7	
147	620100/213650	30	83	5	1				1	1	2	7						1,2	26,8	2,4
149	623675/220250	25	88	7			5											1,9		
150	623675/220250	29	80	4	4		1		1			4	4	4Cd, lAh	2,3				31,2	5,3
154	633775/220000	17	78	10	1		1	3		4			2	lCd	3,7				20,5	2,9
155	633775/220000	38	80	8			1	4		4			5	lCd, lAh	2,8				32,9	3,7
"BURDIGALIEN "																				
002	627650/224275	14	84	2	2		1	1	3	1	4	4	lCd, lDi	3,0	36	48	16	13,1	0,4	
003	628900/224540	44	69	14	7		2	1	2		3	3	2Di	3,6	29	48	23	43,1	2,2	
048	628400/220925	40	77	9	3		2	1	2		1	1	3Cd, 2Di	4,0	21	50	29	9,6	4,3	
049	628500/220930	20	70	22	1		2	1			1	3	3Cd	2,5	26	49	25	9,6	4,8	
052	626200/222260	23	87	7	1		2		1	1			1	lCd	1,9	32	48	20	6,6	6,2
053	626200/222260	20	82	10	2		2	1		1	1	1	lCd	2,1	25	56	19	20,2	5,1	
061	629210/226500	10	88	4			6		2					2,3	30	53	17	1,0	1,8	
062	629100/225275	10	77	14	2		2		3	1	1			1,2	28	61	11	17,4	0,5	
099	621600/222300	18	90	3			5	1	1					2,4	27	56	17	3,4	0,2	
100	620640/221160	15	48				1							2,4	42	44	14	12,5	1,1	
102	622150/222080	31	92	4			1	1	2					4,3	36	45	19	13,4	1,7	
103	622630/220945	24	78	10	3		5				1	1	lAh	1,4	26	54	19	3,9	0,3	
125	630810/224790	22	93	2	2						1			3,4				10,1	0,9	
126	630810/224790	48	87	3	4						3	3	3Cd	1,7				2,0	0,9	
152	623700/223500	33	88	6	2		1			1			1	lCd, lDi	2,6				7,7	3,4
157	618025/217375	24	91	4		1		1			2		2	lAh	1,5				9,8	3,7
" AQUITANIEN "																				
034	630200/232300	4	59	2						1				0,7	19	72	9	3,6	3,8	
035	628400/227250	13	51	15	4		12		14		3	3	lBa	0,3	22	66	12			
036	628400/227250	26	45	23	1		13		17		1	1		0,5	23	62	15	9,9	0,5	
059	630050/230620	40	12	56			8	1	16	2	5			0,1	19	60	21	17,7	0,9	
094	630025/233120	18	77	4	3		10		4		1	1	lDi	2,0	30	56	14	26,6	0,9	
097	622820/224625	22	49	36	4		3		7				1	lCd	0,7	22	66	12	4,8	3,3
098	623000/224590	15	79	13			2		5		1			3,3	31	63	6	2,3	0,5	
138	627300/231000	30	37	43	7		4		1	4			1	lCd	0,3				7,7	1,5
144	624625/227700	5	92	4		2			1					0,9				0,4	0,5	
165	615820/215040	26	76	10	4	3					3	2	lAh, lPy	0,3				12,4	4,1	
" CHATTIEN "																				
047	629600/234650	49	54	27			5	1	9	3			1	lDi	1,1	24	56	20	4,5	4,6
091	631230/237160	53	46	25	7		8	3	2	9					21	57	22	9,9	1,1	
092	620975/234660	24	16	54	8		7	5	9	1				0,1	29	57	14	30,4	0,6	
139	629400/233800	37	80	9	3		4			2			1	lDi, lPy	1,3				8,9	1,2
140	630775/236025	110	50	20	4		19	2	2	3				2,4				30,5	1,6	
141	631600/237900	53	40	40	8	1	9		1	1				0,6				20,3	0,1	
142	631550/237775	40	67	23	3	1	2	1	1	2				1,3				11,3	2,0	
143	631550/237725	80	24	34	10		11	2	1	18				0,1				2,2	1,7	
145	631525/236550	35	60	19	8	1	6		3	3				0,9				31,8	2,2	
146	631525/236600	64	53	31	7		2		6	1				3,7				31,7	2,2	
183	626425/233980	78	1	62	18	2	3	1	1	12				0,2	61	34	5	19,7	5,5	
184	626700/234000	95	72	6	3		2		16	2			1	lOr	0,1	58	37	5	17,5	5,2
185	626700/234000	49	60	13	5	2			2	17				0,2	63	34	3	29,4	4,3	
186	626700/234000	250	1	56	14		6	2		21				0,2	66	30	4	10,7	3,7	
187	626700/234000	221	46	8	2	3	1	2	36				2	2Di	0,2	54	38	8	31,7	1,4
188	627250/235230	11	77	15	3				3	2				0,5	67	29	4	28,4	1,0	
189	626930/234770	80	12	66	2	4	1	1	6	5				0,7	69	22	9			
190	626930/234770	90	20	58	8	1	4		4	2				1,2	62	30	8	29,2	0,4	

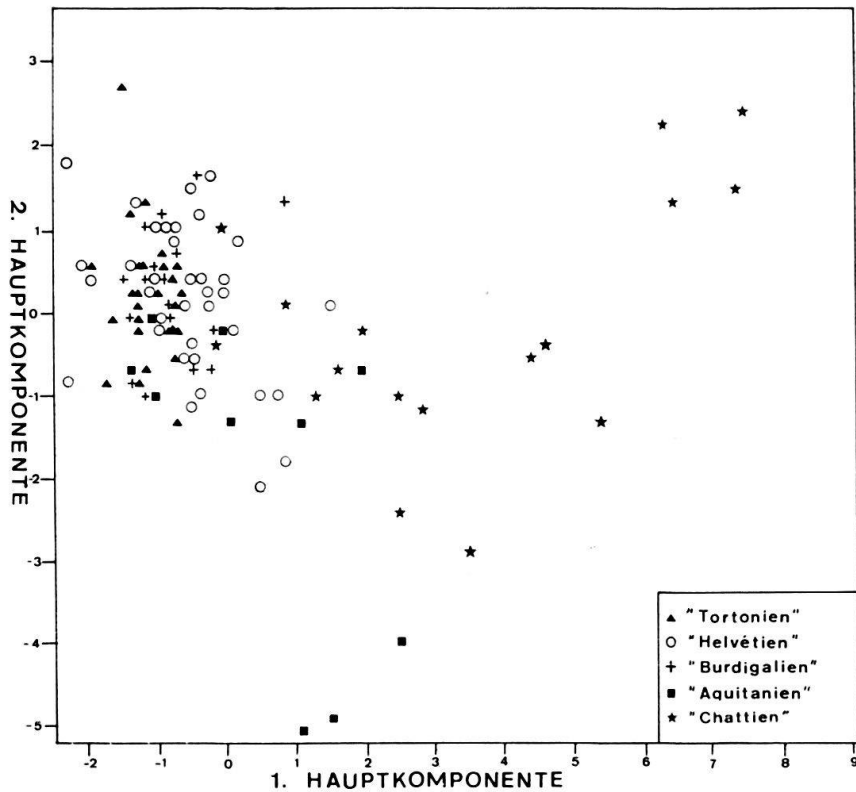


Fig. 8. Hauptkomponentenanalyse der Molasseproben (109 Proben).

schaulich auf eindrückliche Weise die Gruppenunterschiede. Dabei unterscheiden sich das «Chattien» zum «Aquitanien», «Burdigalien», «Helvétien» und «Tortonien» sowie das «Aquitanien» zum «Helvétien» und «Tortonien» signifikant (= 95%-Schwelle). Die anderen Kombinationen sind nichtsignifikant. Als Gruppenunterschiede gilt für das «Chattien» der Epidot (zum «Burdigalien» und «Tortonien»), der Apatit (zum «Helvétien») und die Hornblende (zum «Aquitanien»). Das «Aquitanien» unterscheidet sich durch den Zirkon vom «Helvétien» und vom «Tortonien». Die zur Gruppentrennung beitragenden Schwerminerale sind innerhalb der Kästchen nach ihrer Wichtigkeit geordnet (von oben nach unten).

Die Qualität der Trennbarkeit der Gruppen ergab sich aus den Histogrammen (vgl. Fig. 9). Sich wenig überschneidende Figuren bilden dabei eine bessere Trennung. Als weiteren Hinweis haben wir auf Figur 9 das sogenannte Bestimmtheitsmass R^2 angegeben (darunter wird das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten verstanden), welches die Differenz der Mittelwerte der Gruppen numerisch ausdrückt. Es erreicht Werte von 0 (keine Trennung) bis maximal 1 (optimale Trennung).

Versuchen wir, die Resultate der statistischen Auswertung zu interpretieren, so können folgende Aussagen gemacht werden: Die auf der Figur 8 dargestellten Hauptkomponenten erbrachten lediglich einen Hinweis für einen deutlichen Unterschied des «Chattien» gegenüber den anderen informalen Stufen. Bei dem mit Hilfe diskriminanzanalytischer Methoden durchgeführten paarweisen Gruppenvergleich (vgl. Fig. 9) waren sämtliche dem «Chattien» gegenübergestellten Gruppen signifi-

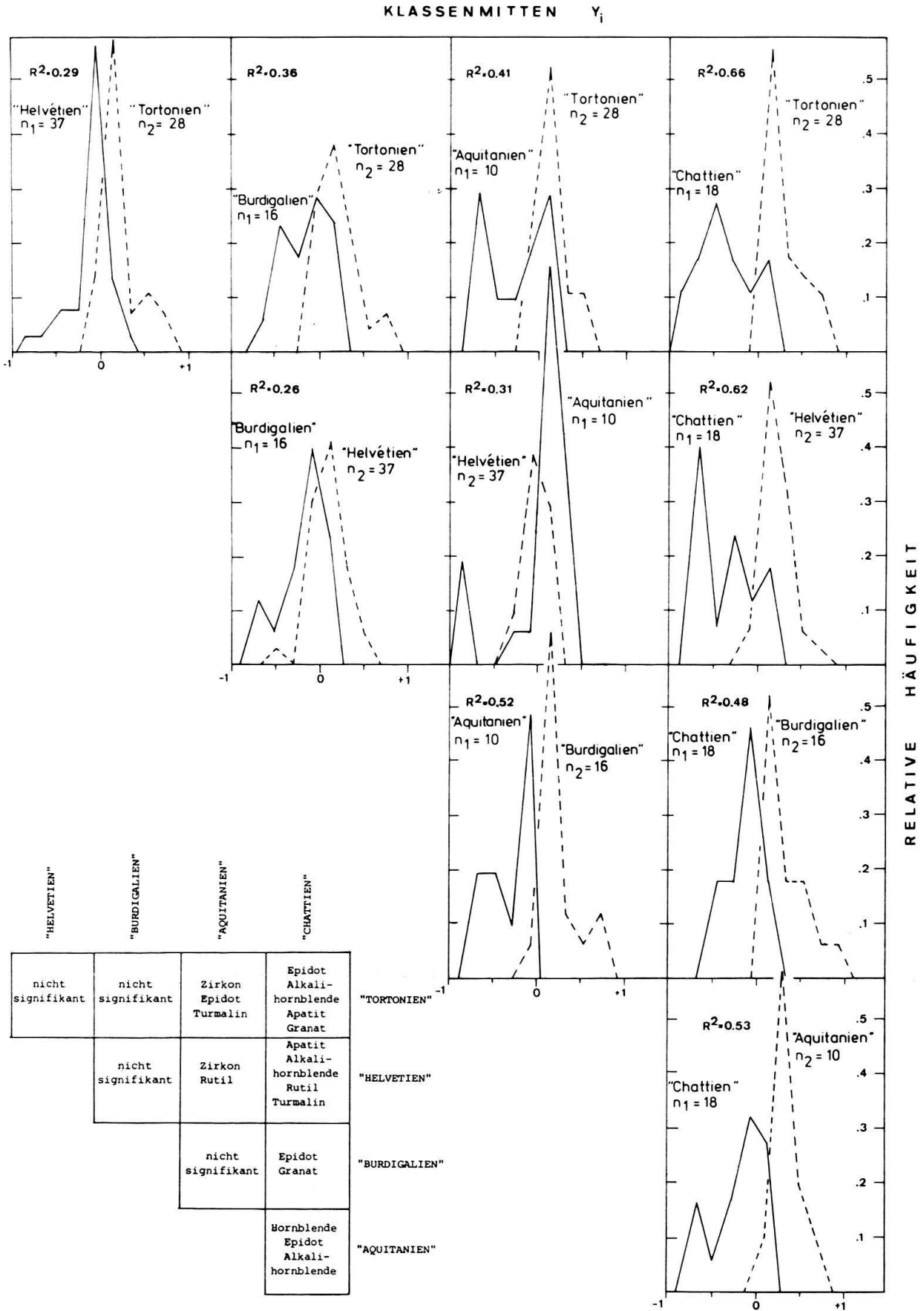


Fig. 9. Histogramme sowie Signifikanztest von Schwermineralen.

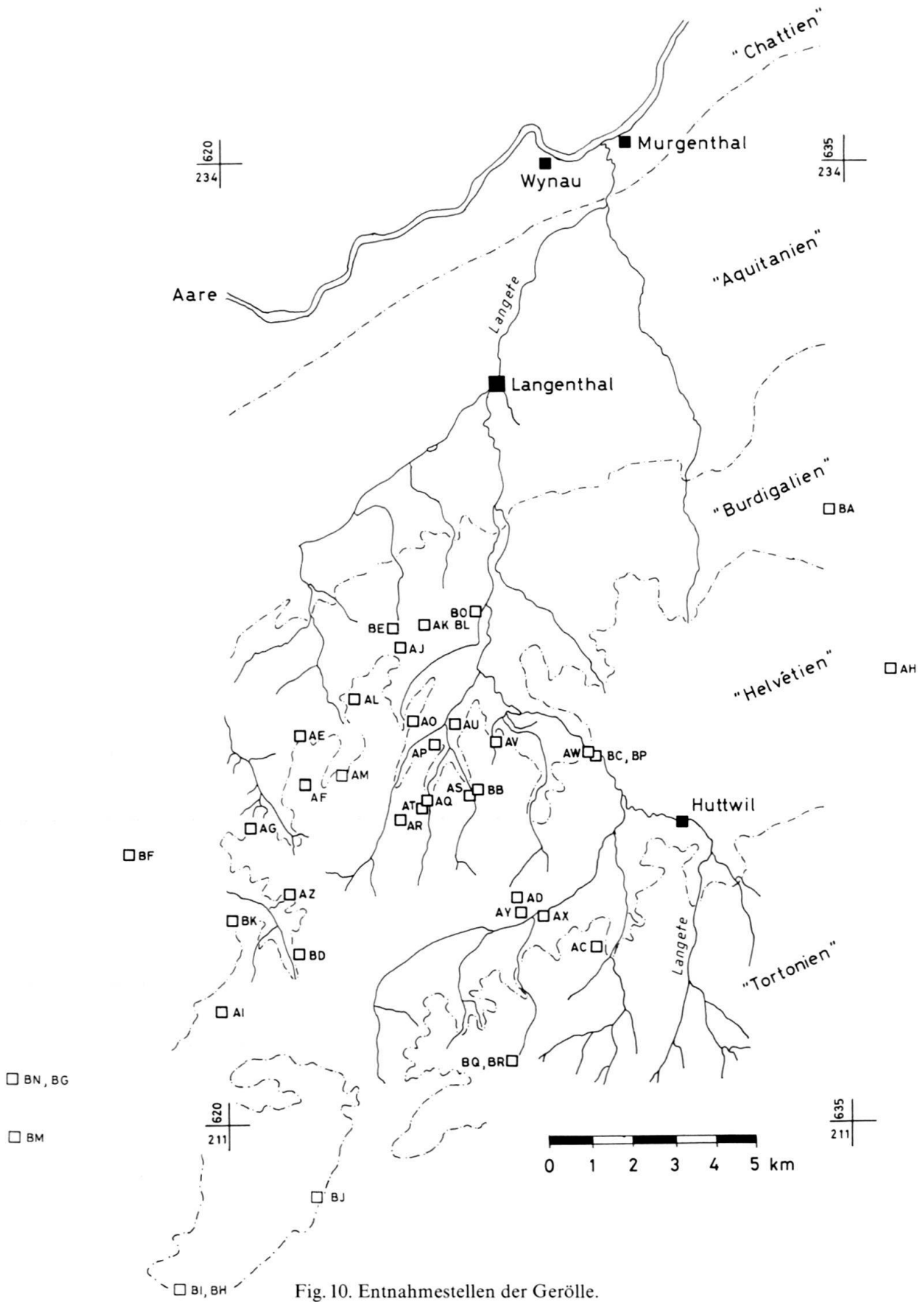


Fig. 10. Entnahmestellen der Gerölle.

kant (95%-Schwelle) unterscheidbar. Diese beobachtbaren Unterschiede resultieren von bestimmten Variablen, nämlich der Schwerminerale (vgl. Fig. 9, kleines Diagramm), die damit auf eine Veränderung des im Hinterland der Erosion anheimgefallenen Gesteines hinweisen. So bestätigt der paarweise Gruppenvergleich in einer kontinuierlichen Zeitfolge die einschneidende Änderung im höheren «Chattien». Geringfügige schwermineralogische Unterschiede, wie sie im «Aquitaniens» und bis ins «Tortonien» auftreten, sind lediglich auf unterschiedliche Transportweiten zurückzuführen.

9. Geröllanalysen

Den in der Molasse des Oberaargaus (Einzugsgebiet der Langete und Raum Burgdorf) auftretenden Nagelfluhhorizonten wurde ein besonderes Augenmerk gewidmet. Nach GERBER (1950) bilden sie einen gewichtigen Punkt für die zeitliche Einordnung von einzelnen Molassestufen und sind auch im Gelände ein gutes Hilfsmittel für den kartierenden Geologen.

Insgesamt wurden 41 Nagelfluhproben sowie eine Probe quartären Schotter zu je 200 Geröllen ausgezählt. Dabei wurden acht verschiedene, typische Gesteinsklassen ausgeschieden (vgl. Tab. 7), die vier verschiedenen Nagelfluhhorizonten zugeordnet wurden.

Zur Überprüfung des umfangreichen Datenmaterials führten wir eine Faktorenanalyse durch. Wie auf Figur 11 dargestellt – sie ist als aufgeklappter Würfel zu betrachten –, nehmen die Nagelfluhproben des «Burdigalien» (5 Proben, Leithorizonte Lh1, 1a und 2a im Sinne von GERBER 1950) eine isolierte Stellung ein. Wie anhand der Tabelle 7 leicht erkennbar ist, besitzen diese Proben einen Kristallinanteil, der im Mittel bei 30% liegt und in den jüngeren Horizonten stark abnimmt.

Der an der Grenze «Burdigalien»–«Helvétien» gelegene Leithorizont 3 nimmt auf Figur 11 eine intermediäre Stellung ein. Auch hier ist er das Bindeglied von «Burdigalien»- und «Helvétien»-Nagelfluhproben (Lh4).

Die Gerölle des «Helvétien» und des «Tortonien» sind untereinander nicht mehr differenzierbar, da das «Helvétien» in diesem Gebiet teilweise nicht mehr marin, sondern wie das «Tortonien» fluvio-terrestrisch geschüttet wurde.

Zusammenfassend ergibt sich aus der Geröllbestimmung eine augenfällige Trennung der Leithorizonte Lh1, 1a und 2a, der Leithorizont Lh3 zeigt eine intermediäre Stellung, wogegen sich in den stratigraphisch höher gelegenen Nagelfluhhorizonten die lithologische Zusammensetzung – hauptsächlich Anteile sind Gangquarze, feinkörnige Flyschsandsteine und allgemeiner Sandstein – konsolidiert.

10. Sedimentpetrographie der Bohrung Altishofen 1 (vgl. Fig. 12)

Die 14 km östlich Langenthal gelegene Bohrung Altishofen 1 (Koord. 640.3/228.1) wurde im Juli 1952 begonnen und im Oktober 1954 bei einer Endteufe von 2166 m in der Anhydritgruppe des Muschelkalks abgeschlossen. Eine ausführliche lithologische Beschreibung dieser Bohrung findet man bei KOPP (1952, 1955) sowie bei VONDERSCHMIDT & TSCHOPP (1953). Im Profil des tertiären Anteils durchteufte die Bohrung das «Burdigalien» (25–322 m), das «Aquitaniens» (322–842 m), eine

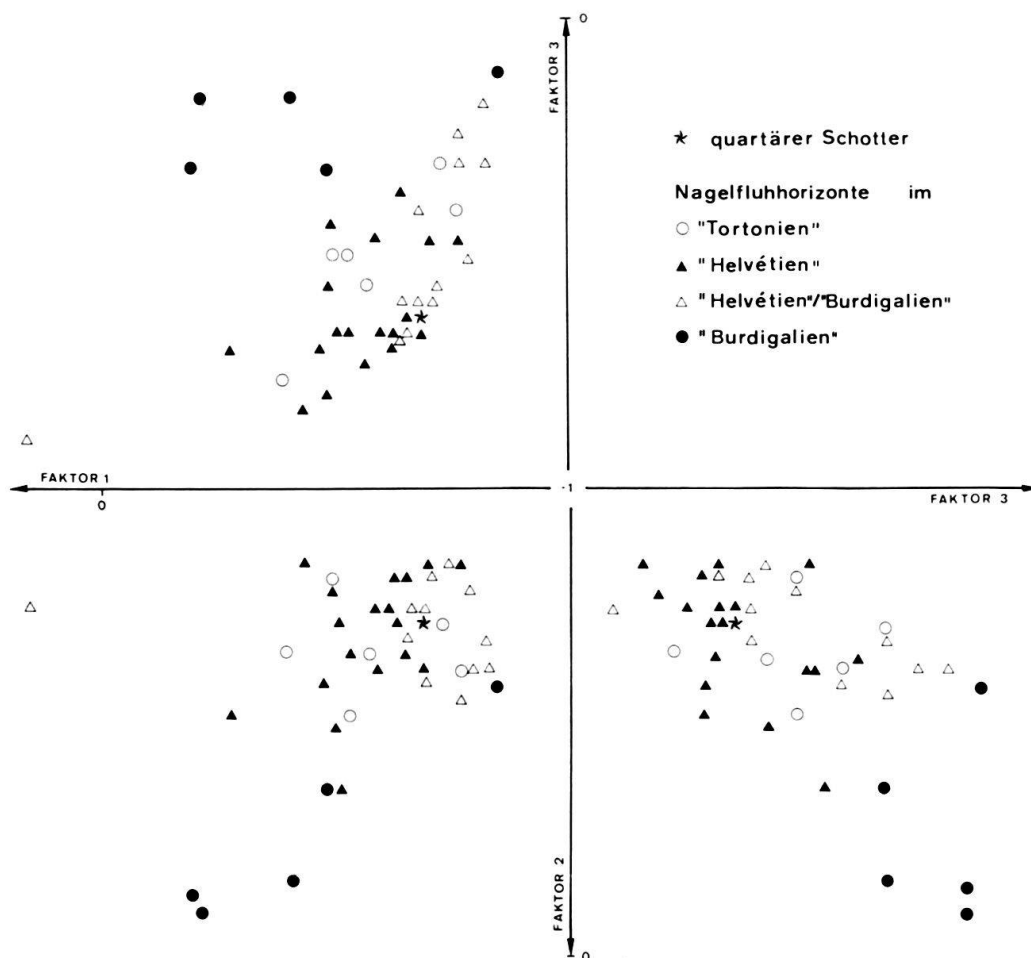


Fig. 11. Faktorenanalyse im Q-Modus von 42 Proben (Gerölle) mit 8 Variablen.

Kalksandsteinserie (842–1030 m) und das «Chattien» (1030–1302 m). Eine Zuordnung der Kalksandstein-Serie zum Aquitanien oder Chattien konnte mangels Fossilien nicht vorgenommen werden. Wir stellten uns die Aufgabe, mittels sedimentpetrographischer Untersuchungen ein Profil dieser Bohrung zu erstellen sowie eine Zuordnung der Kalksandstein-Serie zu treffen. Erst dadurch eröffnete sich uns die Möglichkeit, die auf Blatt Langenthal untersuchten Proben durch einen Vergleich mit der Bohrung Altishofen 1 einzuordnen.

An 19 Kernproben der Bohrung Altishofen 1, die grösstenteils aus Sandsteinen bestanden, wurden die Schwerminerale, Leichtminerale und der Karbonatgehalt bestimmt. Dabei ergaben sich charakteristische Abfolgen, die auf der Figur 12 dargestellt sind.

Die für das «Burdigalien» (1 Probe) charakteristische SM-Assoziation besteht zu 89% aus Epidot mit Nebengemengteilen (<10%) von Apatit sowie dem signifikanten Schwermineral Alkalihornblende (1%).

Das «Aquitanien» (4 Proben) ist ebenfalls durch die Dominanz des Epidots geprägt, wobei jedoch im tiefsten Teil – bedingt durch eine andere Schüttung – der Apatit (Probe 817 m) vorherrscht. Wir sind zum Schluss gelangt, mit Beginn dieses Umschlages hier die Grenze zwischen «Aquitanien» und «Chattien» zu legen,

Tabelle 7: Zusammenstellung der Geröllzählungen in der Molasse des Oberaargaus.

Nr.	Lokalität	Koordinaten	Höhe (m) über Meer	Zählresultate (Ø aus 2 x 100)									Leithorizont Nr. (vgl. Fig.1)
				Metamorphite	Rote und grüne Granite	übriges Kristallin	Gangquarze	feinkörnige Flyschsandsteine	allgemeine Sandsteine	helle Quarzite	Karbonate		
BF	Rehhalde	617675/217450	550	4,5	9	17	23,5	9	11,5	22,5	3	1	
BG	NE Burgdorf	614810/212075	560	3	23,5	18	13,5	18	14	9,5	0,5	1	
BN	Gisnauflüe	614800/212075	560	1,8	19,0	13,3	21,7	15,5	16,4	10,2	2,1	1	
BM	3 Höhlen	614875/210960	590	3,8	23,8	13,8	21,9	7,6	16,7	7,6	4,8	1a	
BO	SE Obere Bisig	626075/223560	600	1,5	6,0	6,0	38,5	14,0	13,0	19,5	1,5	2a	
AM	Lünschberggraben	622500/219250	700	4	5	2,5	27	16,5	14,5	16,5	14	3	
AO	Vord.Stutz- Müligstüel	624650/220800	680	4	2,5	5	32,5	18,5	11,5	15,5	10,5	3	
AU	Ursenbach	625550/220700	600	7,5	4,5	3	22	21	15,5	16,0	10,5	3	
AW	Rohrbach	628850/220000	600	6	5,0	3,5	21	22,5	12,0	19,0	11	3	
BA	E Altbüron	634700/226000	665	5,5	5	4,7	31	13,7	10,7	23,1	6,2	3	
BC	Rohrbach	628825/220000	600	4,8	3	6,7	30,9	13,7	11,8	16,8	12,3	3	
AI	Leumberg	619300/214000	800	1,5	4	11	23,5	30,5	4,5	19,5	5,5	3	
AZ	Chapplenbad	621550/216450	700	2	6	6,5	27,5	23,5	6	21,5	7	3	
BK	Cheer	620175/215850	700	5	7	5	29,5	21,5	19	9,5	3,5	3	
BD	N Vitzhus	621750/215100	710	5,5	9,5	5	22	21,5	9	15,5	12	3	
BE	NW Dornegg	624050/223200	700	2	9	2	36,5	14	18	15,5	3	3	
AJ	Linden	624250/222600	700	8,5	3,5	7,5	19	17	13,5	16	15	4	
AK	Buechwald	624850/223160	710	8,5	7,5	9	21	18	13,5	13,5	9	4	
BL	Buechwald	624850/223160	710	3,2	4,6	7,8	17,9	31,2	22,0	7,4	5,0	4	
AL	Chäppu	623125/221350	700	8,5	7,5	7	21,5	24	9	13,5	9	4	
AN	Lünisberg	623600/219475	670	5,5	5	4,5	30,5	18	12	12,5	12	4	
AQ	Graben bei Schützenhaus	624800/218800	650	8	6	5	26	21	9	15	10	4	
AS	Tüelen bei Walterswil	625950/218800	650	11	6,5	4,5	24,5	16	12	19,5	6,0	4	
AT	Bergwaldgraben Ursenbach	624800/218600	680	10,5	4,5	4,5	20,5	13	13,5	17	16,5	4	
AR	NE Scheideggerhus	624200/218400	710	6,5	6	5	29,5	16,5	13,5	12,5	10,5	4	
AV	Grauenstein Liemberg	626600/220000	650	6,5	3,5	4	22,5	20	12,5	18,5	12,5	4	
AX	Rotbach bei Dürrenroth	627725/216075	655	8	5,5	5,5	23,5	14,5	12	18	13	4	
AY	Breiten bei Dürrenroth	627150/216050	700	7	3	4,5	22	15,5	18	18	12	4	
AE	Wanntal	621850/220400	720	6	2	8,5	40,4	5	19,5	13,5	5	4	
AF	Wäckerschwand	621925/219050	760	6	6,5	10,5	29,5	9,5	19,5	11	7,5	4	
AG	Unterhäuseren	620575/218200	740	8,5	2,5	15,5	19,0	5,5	25,0	12,5	10,5	4	
BP	Rohrbach	628900/219975	620	1,4	8,0	6,1	27,0	12,0	21,8	16,1	7,6	4	
AD	N Dürrenroth	627075/216475	820	3	4	3,5	23,5	32,0	11,0	10,5	12,5	4	
AH	Leibütz	636200/222050	690	4,5	19	8	20	15,5	11,0	15,0	7	4	
BB	N Walterswil	626080/218900	640	5,4	5	9,3	27,4	19	4,8	21,3	7,7	4	
AC	Wyssachen	629030/215185	740	3,5	18,0	5	20,5	19,0	8,5	12,5	13,0	Tort.	
BH	Geinisberg	618950/206950	680	4	3,5	7,5	34	18,5	12,5	14	6	Tort.	
BI	Geinisberg	618950/206952	683	9,5	4,5	8,5	21,5	13,5	22,5	10,5	9,5	Tort.	
BJ	W Gammenthal	622150/209350	770	4,5	6	7	24	21,5	20,5	6	10,5	Tort.	
BQ	Guggli I	626925/212450	920	3,6	2,6	2,6	13,0	15,6	45,1	6,2	10,3	Tort.	
BR	Guggli II	626925/212450	960	2,5	5,0	3,5	16,5	12,0	35,5	20,0	5,0	Tort.	

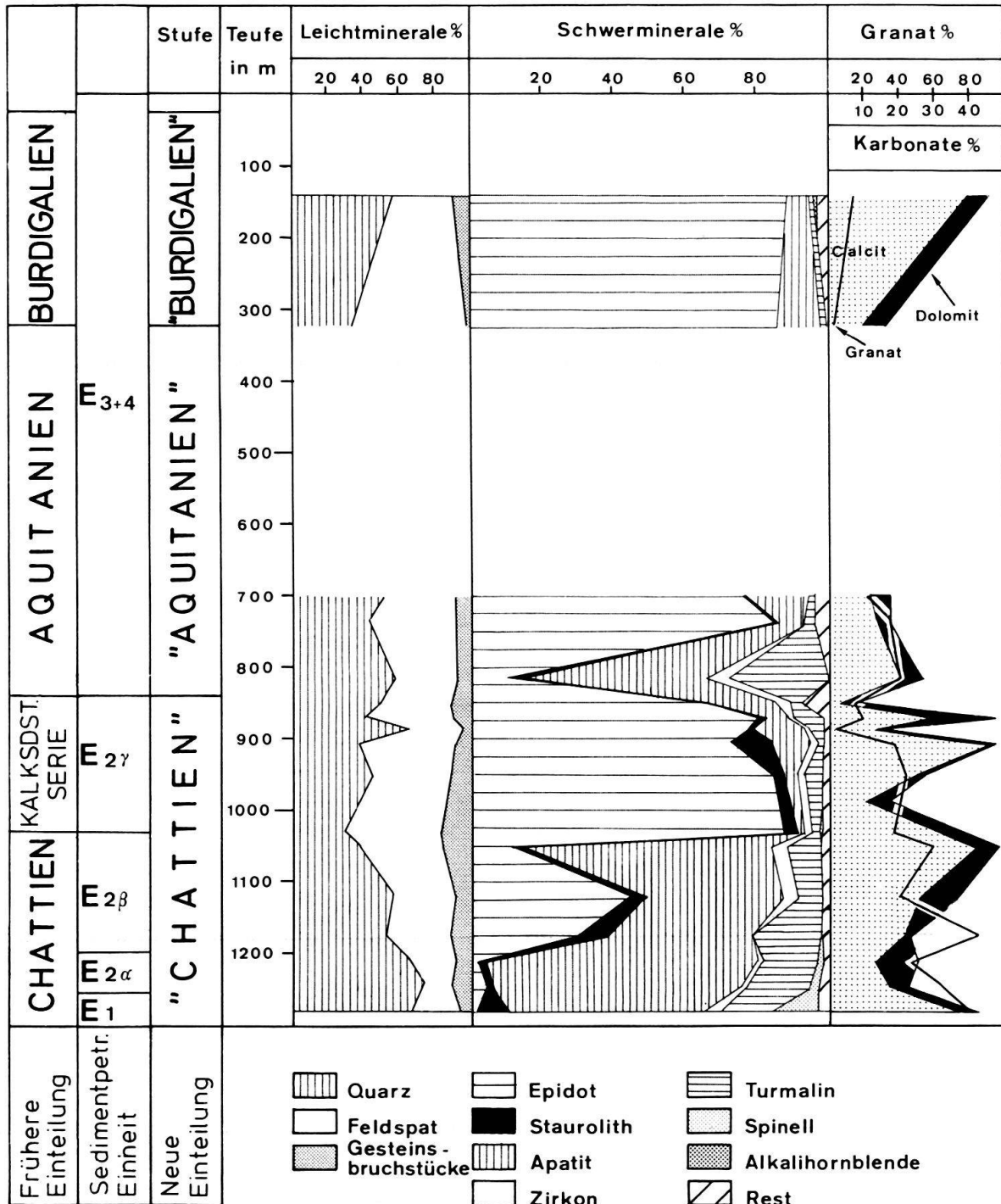


Fig. 12. Sedimentpetrographische Daten der Bohrung Altishofen 1.

wodurch die im Liegenden folgende Kalksandstein-Serie in das «Chattien» gestellt wird. Gegen unten zu zeichnen sich die obersten Teile der Kalksandstein-Serie, die wir neu ins «Chattien» stellen (12 Proben), durch eine Umgestaltung in der Schwermineralführung ab, indem zunächst der Granatgehalt auf mehr als 30%, der Calcitgehalt durchschnittlich auf 25% ansteigt. Die kurzfristige Vormachtstellung des Apatits an der Wende «Aquitaniens»-«Chattien» wird gegen unten wiederum

von einer deutlichen Epidotvormacht beherrscht, welche bis zu einer Teufe von 1030 m anhält und von da ab gegen das Liegende vom zunehmenden Apatit verdrängt wird. An Nebengemengteilen sind in diesem Abschnitt Staurolith und Turmalin vorhanden. Von 1200 bis 1302 m tritt neben dem Apatit erstmals der Spinell hinzu – ein Schwermineral, welches für das tiefere «Chattien» Leitwert besitzt.

10.1 Anteil der verschiedenen Schüttungen in der Bohrung Altishofen 1

Die Bohrung Altishofen 1 liegt etwa 30 km nördlich der Alpenrandüberschiebung und befindet sich im Einflussbereich mehrerer Schüttungen.

Obere Meeresmolasse («Burdigalien»)

Napf-Schüttung (25–322 m): Grünliche mittelkörnige Sandsteine mit vereinzelt auftretenden Tonlinsen sowie Glaukonit.

Schwerminerale: etwa 90% Epidot, akzessorisch Alkalihornblende.

Leichtminerale: 55% Quarz, 36% Feldspat, 9% Gesteinsbruchstücke.

Karbonatgehalt: 40% Calcit, 5% Dolomit.

Untere Süßwassermolasse («Aquitani» und «Chattien», vgl. Fig. 15)

Vier Schüttungen beteiligen sich am Aufbau der Unteren Süßwassermolasse. Es sind dies die Schuttfächer der *aquitanen Napf-Schüttung*, der *Thunersee-Schüttung* und der *Genfersee-Schüttung* sowie einer aus dem Entlebuch stammenden Schüttung, die wir als Entlebuch-Schüttung bezeichnen.

Aquitane Napf-Schüttung (322 bis etwa 800 m): Sie besteht aus einer Wechsellaagerung feinkörniger, bunter Siltsteine und Sandsteine (fein bis grob) mit vereinzelt auftretenden Tonlinsen.

Schwerminerale: etwa 80% Epidot sowie ein mit zunehmender stratigraphischer Tiefe steigender Granatgehalt.

Leichtminerale: 51% Quarz, 41% Feldspat, 8% Gesteinsbruchstücke.

Karbonatgehalt: 11,5% Calcit, 5% Dolomit.

Thunersee-Schüttung und Genfersee-Schüttung (etwa 800 bis etwa 1200 m, höheres «Chattien»)

Von etwa 840 bis etwa 1030 m (Kalksandstein-Serie) kommen in der Bohrung grünliche bis rote Mergel, Mergelsandsteine, grauschwarze Tonmergel und Kalksandsteine vor. Darunter (etwa 1030 bis etwa 1200 m) folgen fleckige Mergel und Mergelsandsteine mit grauen, glimmerreichen Kalksandsteinen und dezimeterdicken Konglomeratlagen. Anhand der Schwermineralspektren lässt sich in diesem Abschnitt ein gegenseitiges Verfangern zweier Schüttungen, nämlich der Thunersee-Schüttung und der Genfersee-Schüttung, feststellen. Im proximalen Teil, d. h. an ihren Austrittsstellen, sind diese zwei Schüttungen durch folgende charakteristische Schwerminerale erkennbar.

Thunersee-Schüttung: Epidot bis zu 90%.

Genfersee-Schüttung: Apatit, Epidot, Staurolith, Granat und Turmalin.

In der Bohrung Altishofen 1 ist keine der beiden Schüttungen mit ihren reinen SM-Spektren vertreten, sie bilden vielmehr eine Kombination verschiedener SM-Vergesellschaftungen.

Schwerminerale: Apatit, Epidot, beide stark schwankend, daneben Staurolith, Granat und Turmalin.

Leichtminerale: 48% Quarz, 39% Feldspat, 11% Gesteinsbruchstücke; von 1030 bis 1302 m nimmt der Quarzgehalt ständig zu.

Karbonatgehalt: Im Mittel etwa 23% Calcit und 6% Dolomit.

Entlebuch-Schüttung (1200–1302 m, tieferes «Chattien»)

Feinkörnige, bunt gefärbte Siltsteine in Wechsellagerung mit grauen Sandsteinen.

Schwerminerale: Granat, Apatit und Spinell.

Leichtminerale: 70% Quarz, 22% Feldspat, 8% Gesteinsbruchstücke.

Karbonatgehalt: 22% Calcit, 6% Dolomit.

Die rein nach sedimentpetrographischen Kriterien erfolgten Unterteilungen in diverse sedimentpetrographische Einheiten (vgl. MAURER et al. 1978, 1980) lassen sich auch in der Bohrung Altishofen 1 durchführen und sind denjenigen der Bohrung Linden 1 sehr ähnlich.

11. Beziehung zwischen Lithologie und Sedimentpetrographie in der Unteren Süsswassermolasse (Bohrungen von Wynau)

Das durch Ölimprägnationen von Sandsteinen bekanntgewordene Molassegebiet zwischen Aarwangen und Aarburg löste schon vor Jahrzehnten eine intensive Kartierung aus, die uns einen recht guten Einblick in die zum Teil mit Fossilien belegte Lithologie vermittelt. Nach FRÖHLICHER (1935), zitiert in ERNI & KELTERBORN (1948), wurde dabei folgende Gliederung erzielt:

OMM	Marine Molasse	«Helvétien» und «Burdigalien»	
	Obere bunte Molasse	«Aquitaniens»	500 m mächtig
	Kalksandstein-Serie	«Aquitaniens»? oberes «Chattien»	100 m mächtig
USM	Untere bunte Molasse (mit Ölsanden)	Oberes «Chattien»	300 m mächtig
	Aarwanger Molasse	Unteres «Chattien»	150 m mächtig
	Wynauer Kalk	Unteres «Chattien»	30 m mächtig

Im Zuge eines geplanten Neubaus des Kraftwerks Wynau wurden 1980 elf Sondierbohrungen abgeteuft. Für die sedimentpetrographischen Untersuchungen wurde uns das Kernprobenmaterial von den Elektrizitätswerken Wynau, Langenthal, zur Verfügung gestellt, von der Firma Colombi-Schmutz-Dorthe erhielten wir die geologischen Aufnahmen der Bohrungen.

Dieser glückliche Umstand erlaubte es uns, die aus den benachbarten Gebieten gewonnenen sedimentpetrographischen Daten zu ergänzen und insbesondere das «Chattien» besser kennenzulernen. Insgesamt wurden 23 Kernproben aus acht Bohrungen auf Schwermineral- und Karbonatgehalt untersucht. An neuen Proben erfolgten zusätzlich eine Korngrössenanalyse sowie die Bestimmung der Leichtminerale. Anhand der fundierten lithologischen Aufnahmen, die eine zeitliche Einord-

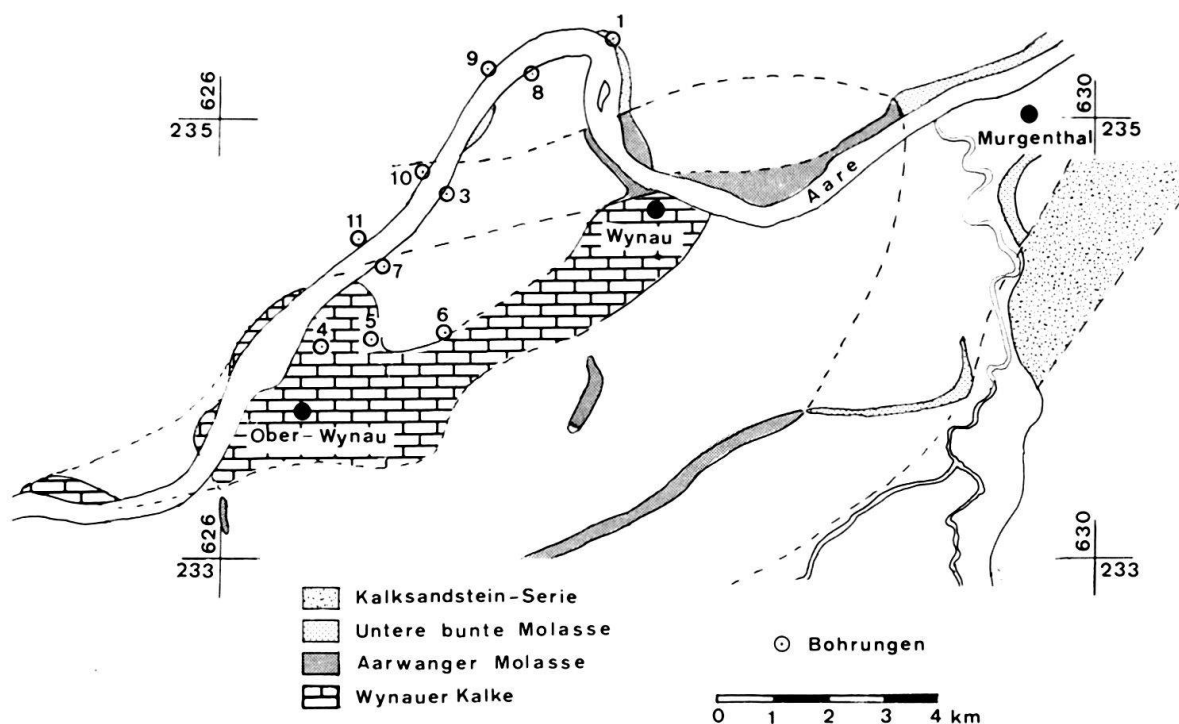


Fig. 13. Geologisches Kärtchen der Umgebung von Wynau nach ERNI & KELTERBORN (1948), ergänzt von MAURER et al. (1982).

nung gestatten, lassen sich vier verschiedene Schwermineralspektren erkennen (vgl. Fig. 14):

1. Das älteste erbohrte Schichtglied sind die Wynauer Kalke, die in den Bohrungen 4 und 5 durchteuft wurden. Ihre Schwermineralvergesellschaftung besteht aus Apatit, Staurolith, Turmalin, Spinell mit Nebengemengteilen von Zirkon. Akzessorisch treten Alkalihornblende und Disthen auf.
2. Die zwei Proben der Bohrung 11, die der Aarwanger Molasse (wahrscheinlich tieferer Teil) angehören, zeigen eine Granat-Apatit-Alkalihornblende-Vergesellschaftung mit Nebengemengteilen von Titanit und Turmalin.
3. Die Bohrungen 10 und 3 durchhören sicherlich jüngere Schichten als Bohrung 11, da hier der Epidot auftritt. Sehr wahrscheinlich entsprechen sie der Aarwanger Molasse (höherer Teil). Ihre Schwermineralvergesellschaftung besteht aus Apatit, Epidot mit Nebengemengteilen von Turmalin, Zirkon, Spinell und Alkalihornblende.
4. Die jüngsten Proben stammen aus den Bohrungen 1, 8 und 9 und gehören der Unteren bunten Molasse an. Schwermineralogisch ist hier eine deutliche Übermacht von Epidot gegenüber Apatit vorhanden. Das vollständige Fehlen von Spinell und Alkalihornblende ist ein Hinweis für die jüngeren lithostratigraphischen Einheiten, im vorliegenden Fall für das obere «Chattien». Schwermineralogisch können diese Proben mit der Kalksandstein-Serie der Bohrung Altishofen 1 korreliert werden, was bedeutet, dass sich die Untere bunte Molasse und die darüber liegende Kalksandstein-Serie schwermineralogisch nicht unterscheiden lassen.

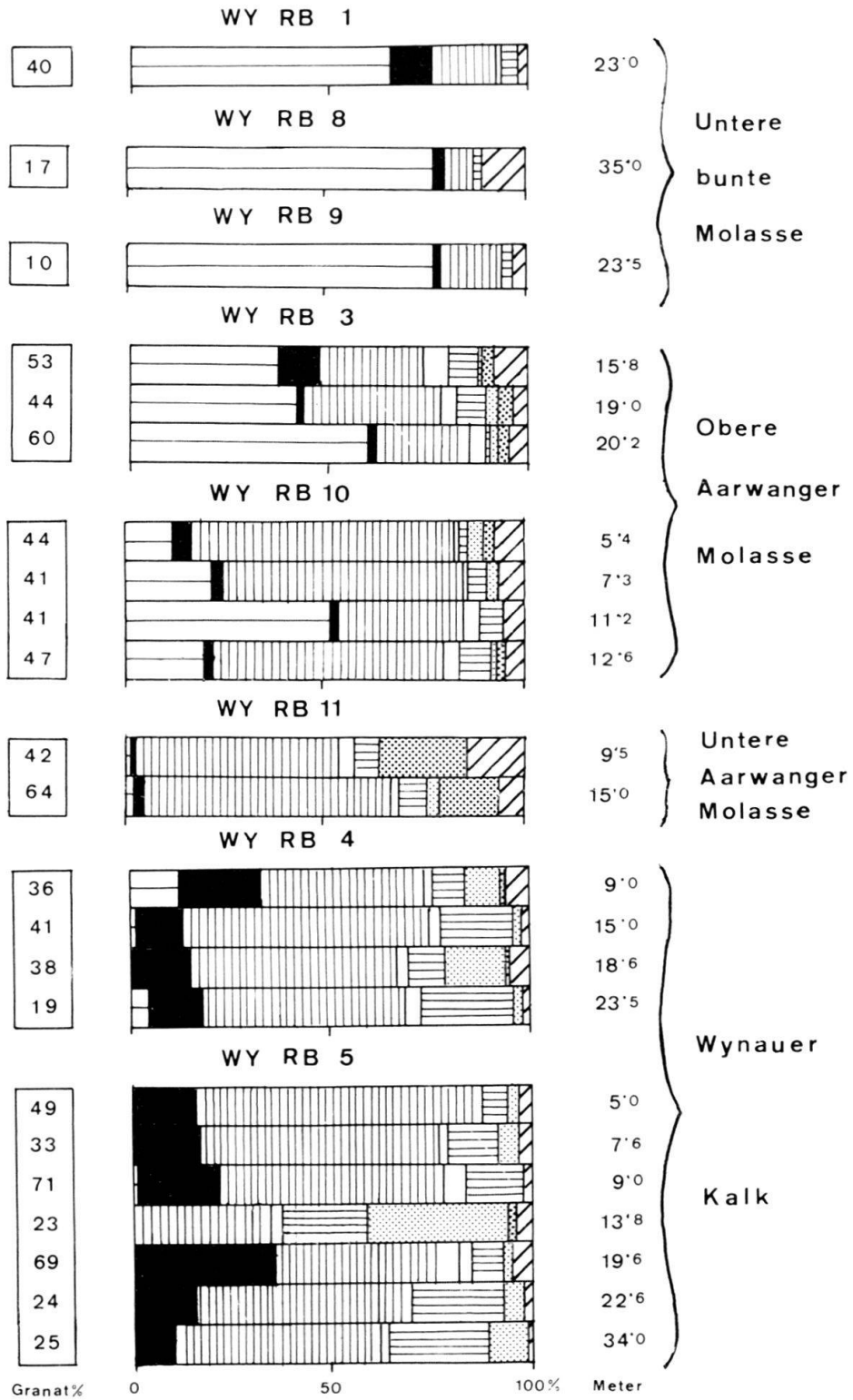


Fig. 14. Schwermineralverteilung in den Bohrungen von Wynau.

12. Schwermineralogischer Vergleich der Bohrungen Altishofen 1 und Wynau mit der Bohrung Ruppoldsried 1

Drei Schwerminerale sind es, die für eine Korrelation der Unteren Süßwassermolasse von Bedeutung sind, und zwar der Epidot, der Spinell und die Alkalihornblende. Mit dem Einsetzen des Epidots im höheren Teil der Unteren Süßwassermolasse kündigt sich eine völlige Änderung der distributiven Provinz an. Der Spinell besitzt einen ausgezeichneten Leitwert für das tiefere «Chattien» (und auch «Rupélien»). Die Alkalihornblende ist gleichfalls für das tiefere «Chattien» leitend und fehlt im höheren «Chattien».

Versucht man nun anhand dieser Charakteristika eine Korrelation von Altishofen 1 und Wynau mit der etwa 32 km WSW Wynau gelegenen Bohrung Ruppoldsried 1 (SCHLANKE et al. 1978) durchzuführen, so stösst man auf einige Schwierigkeiten. Zum ersten vermischen wir das Vorhandensein der Alkalihornblende (diese ist ein charakteristischer Bestandteil der axialen Genfersee-Schüttung und kommt sowohl südwestlich Ruppoldsried 1, nämlich in den Bohrungen Chapelle 1 und Courtion 1, wie auch östlich davon, nämlich in der Bohrung Wynau, vor). Zum zweiten zeigt die Bohrung Ruppoldsried 1 einen stark erhöhten Spinellgehalt⁶⁾, der nach eigenen Untersuchungen nur sporadisch zu verzeichnen ist.

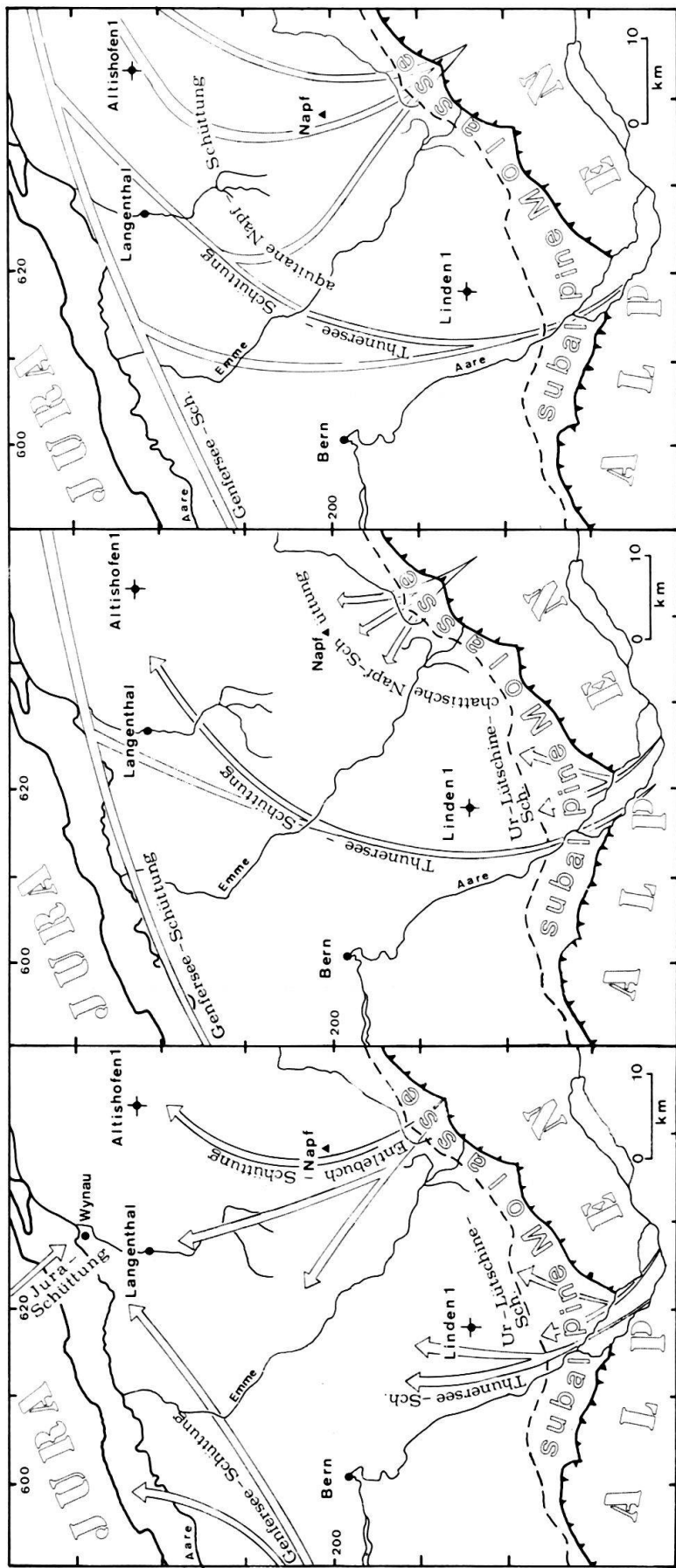
Wenn man trotz dieses Handicaps eine Korrelation bewerkstelligt, so wird ersichtlich, dass nach unseren Untersuchungen der Epidot viel früher einsetzt (in Wynau in der Oberen Aarwanger Molasse) als in Ruppoldsried 1 (Einsetzen des Epidots in der Unteren bunten Molasse). Demzufolge ist eine Korrelation äusserst problematisch, und es bedarf noch einiger Untersuchungen sowie Abklärungen.

13. Paläogeographische Schüttungsverhältnisse (vgl. Fig. 15)

Aus den Bohrungen Altishofen 1 und Wynau lassen sich die zeitlichen Abfolgen verschiedener SM-Vergesellschaftungen höchst instruktiv ableiten, und zwar wenn wir sie mit den zeitgleichen Schwermineralverteilungen in der subalpinen Molasse des Entlebuches (GASSER 1966, 1968) und in der Bohrung Linden 1 (MAURER et al. 1978) vergleichen. Dadurch wird einem nicht nur der Schlüssel für die Interpretation der damaligen Ablagerungsverhältnisse gegeben, es lässt sich auch die Herkunft verschiedener Schüttungen rekonstruieren. Im folgenden wollen wir den Ablauf der Schüttungen im Raume Langenthal (vgl. Fig. 15) etwas näher beschreiben.

Mit der Verlandung des Rupélienmeeres beginnen im tieferen unteren «Chattien» an mehreren Stellen der werdenden Alpen Entwässerungssysteme ihre Materialfracht in das Molassebecken zu schütten. Nebst den zum überwiegenden Teil aus Sandsteinen und Mergeln bestehenden Gesteinen kommt es dabei lokal zur Bildung von Süßwasserkalken. Im Untersuchungsgebiet sind es die Wynauer Kalke (Bohrungen Wynau 4 und 5), deren SM-Vergesellschaftung aus Granat, Apatit,

⁶⁾ Wir stellen uns vor, dass die hohen Spinellwerte durch eine unterschiedliche Aufbereitungsmethode der Schwerminerale zustande kommen. Es fällt auf, dass bei den Untersuchungen Schwerminerale mit höherem spezifischem Gewicht zahlreicher vertreten sind (Spinell), solche dagegen mit niedrigem spezifischem Gewicht fehlen (Alkalihornblende).



“Aquitanien”

höheres “Chattien”

tieferes “Chattien”

Fig. 15. Paläogeographische Schüttungsverhältnisse.

Turmalin, Staurolith, Spinell und akzessorisch aus Disthen besteht. Die Zuordnung dieses Spektrums zu einer bestehenden Schüttung an den Austrittsstellen (vgl. Tab. 8) bereitet keine Schwierigkeiten, lässt sich darin doch eindeutig eine Verfälscherung von Entlebuch-Schüttung (Spinell), Jura-Schüttung (stabile Schwerminerale, Staurolith und Disthen) und geringfügigen Anteilen der Genfersee-Schüttung (Alkalihornblende) feststellen. Wir finden also in den ältesten Schichten der USM der Bohrung Wynau eine aus dem SSE (Entlebuch), eine aus NNW (Jura) und eine aus WSW (Genfersee) stammende Schüttung. In der Bohrung Altishofen 1 fehlt der Einfluss der Genfersee-Schüttung in den sedimentpetrographischen Einheiten E_1 und E_{2a} .

Zur Zeit der Aarwanger Molasse (tieferes «Chattien») lassen sich zwei verschiedene SM-Spektren erkennen. In einem älteren Abschnitt (Bohrung Wynau 11) finden wir eine Schwermineralvergesellschaftung vor, die die typischen Merkmale der Genfersee-Schüttung (Alkalihornblende) besitzt. Im jüngeren Teil (Bohrungen Wynau 3 und 10) tritt innerhalb der Genfersee-Schüttung eine Änderung des SM-Spektrums auf, indem der Epidot als Hauptgemengteil (> 18%) erscheint und die Alkalihornblende nur mehr akzessorisch vertreten ist. In der Bohrung Altishofen 1 ist der jüngere Abschnitt gleichfalls vorhanden und entspricht der sedimentpetrographischen Einheit $E_{2\beta}$.

Die Untere bunte Molasse, die lithologisch wie auch schwermineralogisch dem höheren «Chattien» entspricht, ist in Wynau in den Bohrungen 1, 8 und 9 sowie in der Bohrung Altishofen 1 (Abschnitt $E_{2\gamma}$) vorhanden. Schwermineralogisch ist dieser Abschnitt durch das gehäufte Auftreten (> 75%) von Epidot charakterisiert. Die Zuordnung dieser SM-Spektren zu einer einzigen Schüttung, nämlich der Genfersee-Schüttung, ist wegen des hohen Epidotgehalts nicht möglich. Altersgleiche Proben der Genfersee-Schüttung zeigen in den Bohrungen der Westschweiz ein SM-Spektrum, in welchem Apatit und Epidot anteilmässig gleich sind. Wir gelangen

Tabelle 8: *Sedimentpetrographische Formeln verschiedener Schüttungen der USM an ihren Austrittsstellen in die flache Mittellandebene. Sie sind für die Korrelation sowie paläogeographische Rekonstruktion der Schüttungen von grösster Wichtigkeit, stellen sie doch die «ursprüngliche» Schwermineralvergesellschaftung dar. Das Schwermineralspektrum der Genfersee-Schüttung wurde aus den Bohrungen Chapelle 1, Courtion 1, Essertines 1 und Cuarny 1 ermittelt.*

«Aquitaniens»	
Genfersee-Schüttung: g, E, a Aquitane Napf-Schüttung: g, E	Q/F = 0,79 (24 Proben)
Höheres «Chattien»	
Genfersee-Schüttung: g, A, E, s Thunersee-Schüttung: g, E Urlütschine-Schüttung: G, A, s Chattische Napf-Schüttung: G, A, Z	Q/F = 0,58 (7 Proben) Q/F = 0,70 (10 Proben) Q/F = 0,76 (4 Proben)
Tieferes «Chattien»	
Genfersee-Schüttung: G, A, e, s, s', ahbl Jura-Schüttung: T, Z, S, tiO ₂ , d Thunersee-Schüttung: g, E Urlütschine-Schüttung: G, A, s Entlebuch-Schüttung: G, A, T, S', z	Q/F = 0,60 (4 Proben) Q/F = 1,01 (14 Proben) Q/F = 5,46 (20 Proben)

deshalb zum Schluss, die SM-Spektren von Wynau und Altishofen I seien durch eine Verfälschung der Genfersee-Schüttung mit der Thunersee-Schüttung (Epidot) zustande gekommen, indem die radiale Thunersee-Schüttung – sie ist in der Bohrung Linden I bereits aktiv – in das beckenaxial verlaufende Sammelstromrinnensystem mündete. Dadurch kam es zu einer Vermischung beider SM-Spektren. Im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden, wohl aber in den Austrittsstellen in die flache Mittellandebene (vgl. Tab.8), sind die Urlütschine-Schüttung und die chattische Napf-Schüttung.

Mit dem Beginn des «Aquitaniens» tritt eine vollständige Umgestaltung der distributiven Provinzen auf, die ihren Niederschlag in den Schwermineralen findet. So liefern alle Schüttungen vom «Aquitaniens» an und bis ins «Tortonien» ein Epidotspektrum, wodurch die Möglichkeit einer Differenzierung wegfällt. Man dürfte jedoch mit der Annahme nicht weit fehlgehen, dass die grossen Flüsse zur Zeit des «Aquitaniens» einem ähnlichen Lauf folgten wie im höheren «Chattien», dass aber in ihrem der Erosion offenstehenden Nährgebiet eine grundsätzliche Änderung eingetreten sein musste.

Im Gegensatz zu den Schwermineralen kann man in den jüngeren informalen Stufen aus dem Geröllbestand zwei Schüttungszyklen unterscheiden: einen ersten, charakterisiert durch eine granitische Vormacht an Geröllen an der Wende «Aquitaniens»–«Burdigalien» und einen zweiten im «Helvétien» und im «Tortonien», dessen Gerölle hauptsächlich aus Gangquarzen, feinkörnigen Flyschsandsteinen und Sandsteinen bestehen.

LITERATURVERZEICHNIS

- ALTHAUS, H. E. (1947): *Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz*. – Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 26/1.
- BÜCHI, U. P., & SCHLANKE, S. (1977): *Zur Paläogeographie der Schweizerischen Molasse*. – Erdöl-Erdgas-Z. 93, 57–69 (Sonderausg. 1977).
- ERNI, A., & KELTERBORN, P. (1948): *Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz, II. Teil*. – Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 26/2.
- FABER, E., & NOLLAU, W. (1969): *Über Algorithmus zur mehrdimensionalen Diskriminanzanalyse*. – Schriftenr. Dtsch. Rechenzent. H. S-8, 1–51.
- FÜCHTBAUER, H. (1964): *Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen*. – Eclogae geol. Helv. 57/1, 157–298.
- GASSER, U. (1966): *Sedimentologische Untersuchungen in der äusseren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuch (Kt. Luzern)*. – Eclogae geol. Helv. 59/2, 723–772.
- (1968): *Die innere Zone der subalpinen Molasse des Entlebuch*. – Eclogae geol. Helv. 61/1, 229–319.
- GASSER, U., & NABHOLZ, W. (1969): *Zur Sedimentologie der Sandfraktion im Pleistozän des schweizerischen Mittellandes*. – Eclogae geol. Helv. 62/2, 467–516.
- Geologische Generalkarte 1:200000, Blatt 2, Basel–Bern, 1942, – Schweiz. geol. Komm.
- GERBER, ED. (1950): *Geologischer Atlas der Schweiz 1:25000, Atlasblatt 22 (Fraubrunnen–Wynigen–Hindelbank–Burgdorf), Erläuterungen (1950)*. – Schweiz. geol. Komm.
- GERBER, M. ED. (1982): *Der Berner Sandstein. Das «Burdigalien» im Gebietsabschnitt zwischen Sense und Langeten*. – Diss. Univ. Bern.
- HAHN, CH. (1969): *Mineralogisch-sedimentpetrographische Untersuchungen an den Flussbettsanden im Einzugsbereich des Alpenrheins*. – Eclogae geol. Helv. 62/1, 227–278.
- KOPP, J. (1952): *Die Erdölbohrung Altishofen*. – Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 19, 21–24.
- (1955): *Die Ergebnisse der Erdölbohrung Altishofen*. – Mitt. natf. Ges. Luzern 17.
- MATTER, A. (1964): *Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet*. – Eclogae geol. Helv. 57/2, 315–429.

- MAURER, H., FUNK, H.P., & NABHOLZ, W. (1978): *Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molasseabfolgen der Bohrung Linden 1 und ihrer Umgebung (Kt. Bern)*. – *Eclogae geol. Helv.* 71/3, 497–516.
- MAURER, H., & NABHOLZ, W. (1980): *Sedimentpetrographie in der Molasse-Abfolge der Bohrung Romanens 1 und in der benachbarten subalpinen Molasse (Kt. Fribourg)*. – *Eclogae geol. Helv.* 73/1, 205–222.
- MC. CAMMON, R.B. (1969): *A primer on correlation*. In: *Models of geologic processes*. – AGI/CEGS short course lecture notes, Washington, D.C. 20037.
- SCHAFROTH, M. (1978): *Statplot I*. – Inst. für math. Statistik und Versicherungslehre, Univ. Bern.
- SCHLANKE, S., HAUBER, L., & BÜCHI, U.P. (1978): *Lithostratigraphie und Sedimentpetrographie der Molasse in den Bohrungen Tschugg 1 und Ruppoldsried 1 (Berner Seeland)*. – *Eclogae geol. Helv.* 71/2, 409–425.
- SCHWARZENBACH, G. (1960): *Die komplexometrische Titration*. – Ferdinand Enke, Stuttgart.
- STURM, M., & MATTER, A. (1972): *Sedimente und Sedimentationsvorgänge im Thunersee*. – *Eclogae geol. Helv.* 65/3, 563–590.
- VONDERSCHMITT, L., & TSCHOPP, H.J. (1953): *Die Jura-Molasse-Grenze in der Bohrung Altishofen (Kt. Luzern)*. – *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.* 20, 23–28.
- WALGER, E. (1962): *Die Korngrößenverteilung von Einzellagen sandiger Sedimente und ihre genetische Bedeutung*. – *Geol. Rdsch.* 51, 494–507.

