

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 71 (1978)
Heft: 3

Artikel: Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molasse-Abfolgen der Bohrung Linden 1 und ihrer Umgebung (Kt. Bern)
Autor: Maurer, Heinz / Funk, Hanspeter / Nabholz, Walter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-164743>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Eclogae geol. Helv.	Vol. 71/3	Seiten 497–515	4 Textfiguren 1 Falttafel	Basel, November 1978
---------------------	-----------	----------------	------------------------------	----------------------

Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molasse-Abfolgen der Bohrung Linden 1 und ihrer Umgebung (Kt. Bern)¹⁾

Von HEINZ MAURER²⁾, HANSPETER FUNK³⁾ und WALTER NABHOLZ²⁾

ABSTRACT

The 5,447 m deep drill hole Linden 1, located 20 km SE of Berne, reached the base of the Lower marine Molasse at 4,316 m. The cuttings from this continuous section through the Molasse of the Swiss Mittelland revealed two lithologic divisions: the marine Rupelian - overlain by a fluvio-terrestrial sequence from the "Chattian" to the "Helvetian" in the uppermost third of which the Nagelfluh increases in abundance. The light and heavy minerals as well as carbonate contents showed significant changes with depth: of the light minerals the quartz/feldspar ratio varies with depth (separation of Granitische Molasse) and the heavy mineral suite is characterized by an epidote dominance at the top of the sequence underlain by an highly variable apatite-zircon-tourmaline suite. At the base, just above the Rupelian, a spinel suite is found. Multivariate statistical treatment of these data produced 4 groupings, which can be meaningfully placed into the stratigraphic sequence.

Comparison of the bore-hole cuttings with bedrock outcrops in the vicinity reveals the possible presence of an Ur-Lütschine alluvium to the east in addition to the well-known Thunersee alluvium.

ZUSAMMENFASSUNG

Die 20 km im SE von Bern gelegene Bohrung Linden 1, die bis zu einer Endteufe von 5447 m vorstieß, erreichte bei 4316 m die Basis der Unteren Meeresmolasse. Die Untersuchung der Cuttings einer durchlaufenden Abfolge durch die Molasse des schweizerischen Mittellandes zeigt in der Lithologie zwei Abschnitte: im Liegenden das marine Rupélien, im Hangenden eine fluvioterrestrische Abfolge - «Chattien» bis «Helvétien» umfassend -, in der im oberen Drittel die Nagelfluh sukzessive zunimmt. Signifikante Unterschiede ergaben die Leicht- und Schwermineral-Untersuchungen im Verband mit den Karbonatbestimmungen: die LM hinsichtlich eines divergierenden Quarz/Feldspat-Verhältnisses (Ausscheidung der Granitischen Molasse), die SM mit einer deutlichen Epidot-Vormacht im oberen Teil, gefolgt von einem Apatit-Zirkon-Turmalin-Epidot-Spektrum, welches starken Schwankungen unterliegt. Im tiefsten Abschnitt, wenig über dem Rupélien, fügt sich der Spinell jener Assoziation hinzu. Eine statistische Auswertung dieser verschiedenen Daten führt zu einer Gruppierung des Bohrprofils in 4 sedimentpetrographische Einheiten, die sich der stratigraphischen Abfolge sinnvoll zuordnen lassen.

¹⁾ Ein Teil der Untersuchungen konnte im Rahmen des Forschungsprojektes «Sedimentologische Geologie an vorwiegend detritischen Gesteinsabfolgen der Schweiz» durchgeführt werden, wofür dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung der beste Dank ausgesprochen sei. Ferner danken wir dem Bernischen Erdölkonsortium für die Erlaubnis zur vorliegenden Veröffentlichung, der Gesellschaft Pétroles d'Aquitaine (Berne) S.A. für die Überlassung des Probenmaterials sowie einiger Informationen über die Bohrung.

²⁾ Geologisches Institut der Universität Bern, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern.

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

Bei einem Vergleich der Bohrproben mit Oberflächenproben der näheren Umgebung von Linden wird erstmals - neben der bereits bekannten Thunersee-Schüttung - eine östlich davon gelegene Schüttung der Ur-Lütschine postuliert.

1. Einleitung und Problemstellung

Im April 1972 begann die Bohrung Linden 1 und durchteufte bis zum Oktober 1972 das Tertiär. Für diese Bohrung verantwortlich war das Bernische Erdölkonsortium, das zur Betreuung der Arbeiten als Operator die Pétroles d'Aquitaine (Berne) S.A. einsetzte. Im Zuge der Arbeiten in der Molasse, die vom Berner Geologischen Institut seit Jahren ausgeführt werden, interessierten wir uns für diese Bohrung besonders deshalb, weil sie eine 3450 m mächtige Molasse-Abfolge zusammenhängend aufschloss. Wir bekamen Spülproben des tertiären Anteils, die wir nach dem Schwermineral-Inhalt (SM), dem lithologischen Kornbestand und dem Leichtmineral-Inhalt (LM) untersuchten. Von seiten des Operators standen wir in erfreulichem Kontakt mit den Herren Dr. M. Zimmermann und Dr. J. Marti, die ermächtigt waren, uns über die lithostratigraphische Gliederung Auskunft zu geben, und die uns ausserdem die Resultate der Karbonatbestimmungen zur Verfügung stellten. Die Diskussionen mit diesen beiden Herren führten zur Bereicherung unserer Kenntnisse, wofür hier der beste Dank ausgesprochen sei.

Die Bohrung Linden 1 (siehe Fig. 1) befindet sich ca. 4 km östlich Oberdiessbach (Landeskarte der Schweiz 1:25 000, Blatt Münsingen, Nr. 1187, Koordinaten 617.740/188.567, Höhe 881,3 m). Im Überblick sei hier die durchteufte Abfolge wiedergegeben:

- 0,0-26,7 m: Quartär (Kies und Moräne)
- 26,7-888,0 m: Obere Meeresmolasse («Helvétien» - «Burdigalien»); 861 m mächtig
- 888,0-4248,0 m: Untere Süsswassermolasse («Aquitaniens» - «Chattien»); 3360 m mächtig
- 4248,0-4316,0 m: Untere Meeresmolasse (Rupélien); 68 m mächtig
- 4316,0-4350,5 m: Siderolithikum; 34,5 m mächtig

Für uns ergab sich folgende Aufgabe: sedimentpetrographische Analyse der Molasseproben aus der Bohrung und Vergleich mit den uns bekannten Oberflächenproben aus der weiteren Umgebung. Unsere Arbeiten führten uns insbesondere zum Problem, die SM-Assoziationen von Linden paläogeographisch zu deuten, d. h. den bisher bekannten Molasse-Schüttungen zuzuordnen. Dabei war zu berücksichtigen, dass die jeweiligen SM-Assoziationen nicht nur vom Liefergebiet abhängig sind, sondern auch vom Transportweg zum Ablagerungsraum (vgl. GRIMM 1965, SCHLANKE 1974).

Zur Überprüfung, Klassifikation und Interpretation unseres Datenmaterials wurden verschiedene Rechen- und Zeichenprogramme verwendet, die uns Herr Dr. U. Gasser freundlicherweise zur Verfügung stellte.

2. Methodik

Das in Abständen von 10 m gelieferte Spülproben-Material (maximale Grösse der Cuttings: 1 cm) wurde zunächst von seinen Spülmittelzusätzen $< 63 \mu$ befreit. Zur Untersuchung wurden Proben in 50-m-Abständen herangezogen. Wir sind uns

bewusst, dass dadurch verschiedene Bänke mit möglicherweise wichtigen Informationen nicht erfasst werden und Grenzen über 40 m falsch liegen können, was aber angesichts der Länge des Profils nur ca. 1% ausmacht. Beispielsweise könnte eine Nagelfluhbank von 20 m Mächtigkeit, eingebettet in Feinsanden oder Mergeln, bei der Darstellung gänzlich verschwinden.

Als weitere Erschwerung bei der «Cutting-Auszählung» erweist sich die Verwendung verschiedener Bohrmethoden. In den Abschnitten 2489–2629 m, 2661–2759 m,

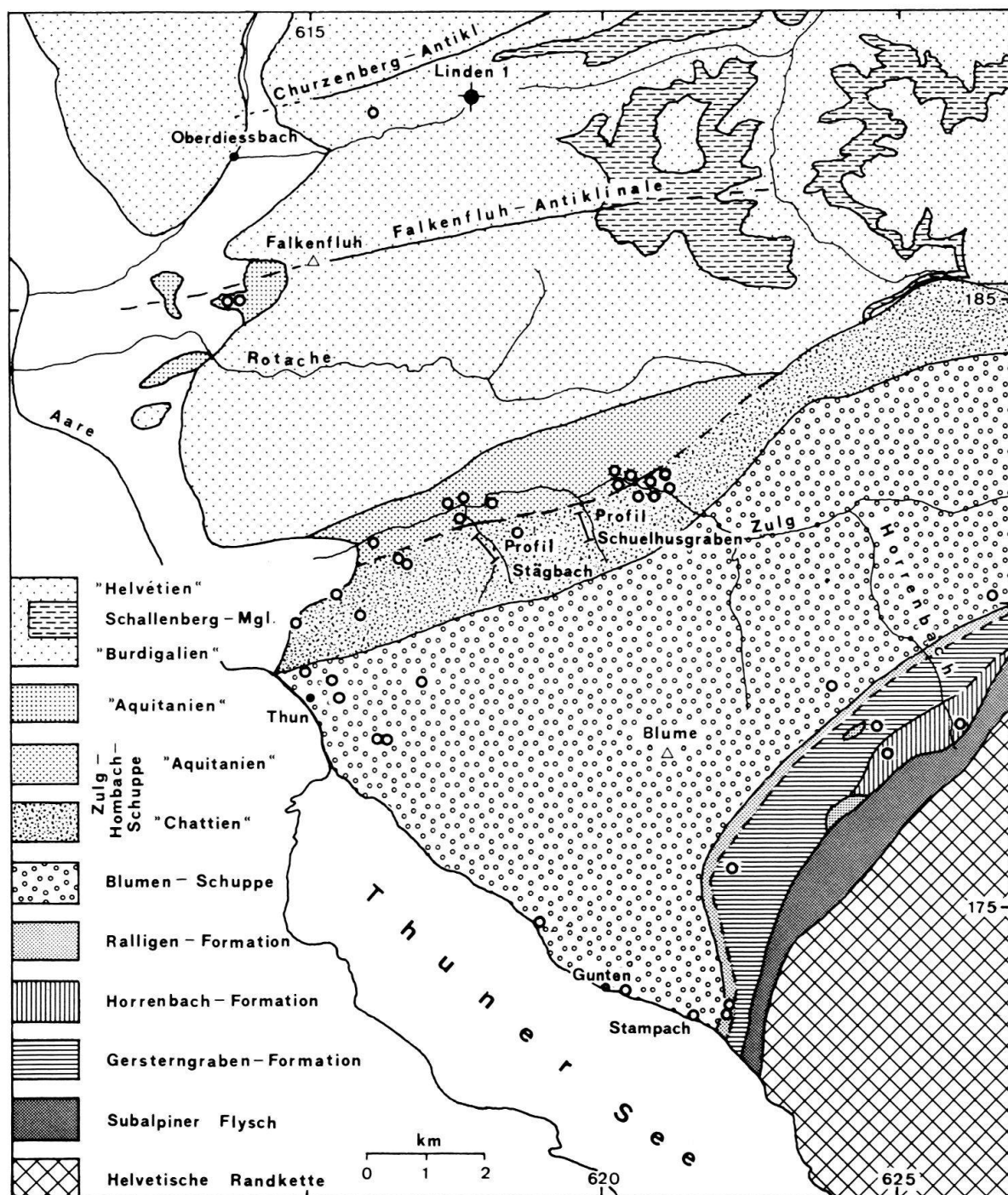


Fig. 1. Geologisch-tektonische Übersichtskarte mit den Probeentnahmestellen.

2878–3136 m und 3167–3299 m wurde anstelle der sonst üblichen Meisselbohrung eine Turbinenbohrung durchgeführt. Diese Abschnitte sind in der Untersuchung ganz deutlich durch einen hohen Anteil an «Siltsteinen» gekennzeichnet. Offensichtlich bewirkt die Turbinenbohrung eine starke mechanische Zertrümmerung des durchteuften Gesteines, wodurch eine Anreicherung des Silt-Mergel-Anteiles vorgetäuscht wird. Um daher eine Grossgruppierung der Lithologie aufgrund unserer Auszählung durchführen zu können, muss im Abschnitt 2489–3299 m die Feinsand/Silt-Grenze ungefähr gemäss der gestrichelten Linie korrigiert werden (vgl. Tafel). Schliesslich ist festzustellen, dass der Nachfall bei diesen Probenabständen keine wesentliche Rolle spielen kann.

Von den erwähnten Nachteilen der «Cutting-Auszählung» ist die SM- und LM-Analyse kaum betroffen und lieferte uns wesentliche zusätzliche Informationen – besonders auch deshalb, weil die diesbezüglichen Proben, wo nötig, in engerem Abstand als 50 m genommen wurden.

a) Schwerminerale

Das Ausgangsmaterial, aus dem wir unsere Schwerminerale gewannen, bestand aus der durch Siebung abgetrennten Fraktion 0,063–0,417 mm. Diese wurde in 10prozentiger Essigsäure aufgelöst und von den beim Entkarbonatisieren entstandenen Partikeln <0,063 mm befreit. Die weitere Verarbeitung geschah nach der am hiesigen Institut angewandten Methode (vgl. GASSER 1968, MATTER 1964). Für die SM-Verteilung wurden 100 durchsichtige Körner bestimmt. Dabei wurde jedoch der Granat – seiner extremen Korngrössen-Abhängigkeit wegen – gesondert gezählt und auf die Summe der nichtopaken Körner aufgerechnet.

b) Lithologie

Zur Bestimmung der Lithologie standen die Cuttings aus den Spülproben zur Verfügung. Die Fraktion 2–5 mm wurde jeweils mit dem Probenteiler auf 200 Körner geteilt und diese unter dem Binokular mit einfachen Hilfsmitteln (HCl, Glasscheibe, Nadel) in 6 grobe Gesteinsklassen unterteilt:

Gangquarze

Die Gangquarze sind durch ihre milchigweisse Farbe gekennzeichnet. Eine Unterscheidung von den Quarziten ist unter dem Binokular leicht möglich.

Magmatische Gesteine

Die magmatischen Gesteine stellen eine recht heterogene Gruppe dar. Hier, wie auch in Geröllzählungen benachbarter Nagelfluhzonen der Molasse, zeigt sich aber, dass Granit gegenüber den anderen Erstarrungsgesteinen (Syenit, Gabbro, Diorit usw.) stark dominiert. Eine weitere Unterteilung wäre nur mit grösserem Aufwand (Dünnschliffe) möglich gewesen, wofür sich bei unseren Fragestellungen keine Notwendigkeit ergab.

Metamorphe Gesteine

Gneise und Schiefer, nicht aber Quarzite (gesondert gezählt), bilden die Gruppe der metamorphen Gesteine. Etwas schwierig war manchmal die Trennung von Granit und Gneis. Der textuelle Habitus war für die Einteilung entscheidend.

Karbonate

Zu den Karbonaten stellen wir reine Kalke und Dolomite sowie leicht mergelige Karbonate, nicht aber Kalksandsteine und Sandsteine mit kalkigem Bindemittel. Mergel mit geringem Anteil an CaCO_3 werden den «Siltsteinen» (s. u.) zugewiesen. Mit HCl ist diese Unterscheidung unter dem Binokular recht einfach.

Sandsteine

Die Gruppe der Sandsteine umfasst Sand-, Silt- und Tonsteine. Diese kommen entweder als Komponenten in der Nagelfluh, als deren Grundmasse, oder als eigentliche Gesteinslagen vor. Die Art unseres Probenmaterials lässt eine Zuteilung zu einem dieser Typen nicht zu. Um jedoch die Aussagekraft dieser Gruppe zu erhöhen, erfolgte unterhalb 1300 m Tiefe eine Unterteilung nach der Korngrösse, die wir gegenüber den gebräuchlichen Normen etwas vereinfacht haben. Die Bestimmung der Korngrösse nahmen wir mit Hilfe ausgemessener Musterpräparate vor.

Bei den groben Sandsteinen (mittlere Korngrösse $> 630 \mu$) ergeben sich gegenüber Graniten gelegentlich Unterscheidungsschwierigkeiten, die aber dank dem karbonatischen Zement mit Salzsäure überwunden werden können.

Die «feinen Sandsteine» mit Korngrössen zwischen 630 und 63μ sind leicht zu erkennen. Sie unterscheiden sich auch ohne Schwierigkeit von den feinkörnigen Quarziten.

Zu den «Siltsteinen» gehören bei einer Korngrösse $< 63 \mu$ auch Tonsteine. Tonige und siltige Mergel mit geringem Karbonatgehalt werden ebenfalls hier mitgezählt. Eine Unterscheidung der oft rötlich gefärbten Tone und Mergel von ebenfalls rötlichen Radiolariten ist aufgrund der Härte einfach. Auch feinkörnige Kalke können nicht mit dieser Gruppe verwechselt werden.

Quarzite und Hornsteine

Da Hornsteine und Radiolarite sehr selten auftreten, werden diese den feinkörnigen Quarziten zugeschlagen.

c) Gesamtkarbonatgehalt

Die Karbonatgehalte wurden mittels eines Manocalcimeters der Firma Géoservices ermittelt und uns in dankenswerter Weise vom Operator zur Verfügung gestellt.

d) Leichtminerale

Der Leichtmineral-Anteil (Fraktion $0,10$ – $0,15$ mm) wurde in ein Immersionsöl ($n = 1,540$) eingebettet und nach seinem Glimmer-, Quarz-, Feldspat- und Gesteins-

bruch-Anteil gegliedert. Dabei wurden 100 Körner bestimmt, der Glimmer-Anteil jedoch gesondert gezählt, weil er in feinkörnigen Lagen strömungsbedingt in grossen Mengen auftreten kann.

3. Gliederung des Profils

Die auf der Tafel dargestellten sedimentpetrographischen Einheiten (*sensu* Formation) wurden aufgrund der Verschiedenheit der Resultate unter besonderer Berücksichtigung der Schwermineral-Verteilung aufgestellt. Mehrmals, unter Verwendung verschiedener Parameter durchgeführte Rechenabläufe liessen erkennen, dass beim alleinigen Gebrauch der Schwerminerale Grenzziehungen zum Teil nur undeutlich erscheinen. Erst durch den Gesamtinhalt an Informationen (SM, LM, Karbonate, Lithologie, siehe hierzu Kapitel 4) ergab sich eine Gruppierung in 4 verschiedene Einheiten (E_4 bis E_1 auf Tafel).

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass das Profil der Bohrung Linden I in der von ZIMMERMANN et al. (1976) erschienenen Arbeit (S. 597) in 7 verschiedene Abschnitte eingeteilt ist, und zwar aufgrund eines Detritus-Indexes $D = \text{Quarz}/(\text{Quarz} + \text{Feldspat}) - \text{Dolomit}/(\text{Dolomit} + \text{Calcit})$. Die danach ausgeschiedenen Abschnitte stimmen mit unseren 4 Einheiten nicht überein, was bei einer viel grösseren Anzahl der untersuchten Parameter (24 gegen 4) nicht überrascht.

Einheit E₄: Bereich: 90–1250 m; Probenzahl: 25
Epidot-Granat-Hornblende-Assoziation

	Minimum (%)	Mittelwert (%)	Maximum (%)
Granat	3	22,96	49
Epidot	54	81,32	97
Apatit	0	4,2	10
Turmalin	0	1,16	6
Zirkon	0	1,60	7
Titanit	0	1,52	4
Hornblende	0	7,56	40
Pyroxen	0	2,00	8
SM-Gewicht (%)	0,8	3,26	7,3
Quarz	43	55,38	66
Feldspat	21	34,54	44
Gesteinsbruchstücke	5	10,08	15
Calcit	7	17,96	25
Dolomit	0	3,0	10

Schwerminerale: Das Schwermineral-Spektrum dieser Einheit ist durch die Dominanz des Epidots (Mittel 81%) geprägt. Er liegt selten als klar durchsichtiges Korn vor. Die meisten Körner sind von braunen Substanzen (? Limonit) bedeckt, ihre Kornoberfläche ist stark korrodiert. Die Granate, von meist grösserem Umfang als die anderen Körner, zeigen eine starke Verschmutzung ihrer Kornoberfläche, wodurch ihr Aussehen im Mikroskop als «trübes» Korn erscheint. Der durchschnitt-

liche Gehalt beträgt 22%. Als Nebengemengteile (2–10%) beteiligen sich ausserdem Hornblende, Apatit und Pyroxen.

Die Hornblende liegt als braun- bis olivfarbene Körner vor. Ihre Ränder sind meist von gezacktem Umriss. Ihr Auftreten in dieser Einheit ist charakteristisch. Normalerweise unterliegt die Hornblende als instabiles Schwermineral der Verwitterung (NICKEL 1973). Im vorliegenden Fall können wir keine Aussage darüber machen, ob die Hornblende aus Granitgeröllen der Nagelfluh entstammt, die beim Bohrprozess zertrümmert wurden, oder aus dem Bindemittel der Nagelfluh. Für die erstgenannte Möglichkeit spricht die Beobachtung, dass FÜCHTBAUER (1964, S. 278) aus einem Granitgeröll im Schwandgraben bei Escholzmatt bis zu 42% Hornblende nachweisen konnte. Die sehr hohen Schwankungen der Hornblende lassen sich darauf zurückführen, dass das Probenmaterial verschieden zusammengesetzt ist. Einerseits Nagelfluhgerölle mit hohem Hornblende-Gehalt, andererseits Silt- und Sandsteine (inkl. Schallenberg-Mergel, siehe Fig. 1) mit geringfügigem Hornblende-Gehalt.

Als Akzessorien (<2%) beteiligen sich Zirkon, Titanit, Turmalin, Staurolith und sehr selten blaue Hornblenden (Proben 170, 280 und 340 m). Auffallend ist in dieser Einheit der hohe Anteil der Schwermineral-Gewichtsprozente, der in keiner der anderen Einheiten mehr erreicht wird. Die sprunghafte Zunahme der SM-Gewichtsprozente wird einerseits durch eine Kornvergrößerung erklärt, andererseits kann auch – neben einem Korngrössen-Effekt – der primär vorhandene SM-Gehalt in den zur Abtragung gelangten Gesteinen verschieden gross gewesen sein (MATTER 1964, S. 404). Schliesslich besteht aber auch die Möglichkeit, dass die hohen SM-Gewichtsprozente – wie im oben beschriebenen Fall der Hornblende – auf mechanische Zertrümmerung der Nagelfluh-Komponenten durch den Bohrvorgang zurückzuführen sind.

Lithologie: Die oberste Einheit (E_4) ist eine Nagelfluh, wobei im oberen Teil karbonatische, im unteren (unterhalb 700 m) kristalline Gerölle dominieren. Die Gangquarze erreichen im allerobersten Teil einen Anteil von über 30%. Solche gangquarzreichen Nagelfluhbänke sind im Gebiet Röthenbach–Schallenberg recht häufig (HALDEMANN 1948).

Der Sandanteil in diesem Abschnitt ist nicht nur den Sandsteingeröllen, sondern auch zementierter Grundmasse der Nagelfluhbänke sowie dazwischengelagerten Sandsteinbänken zuzuordnen.

Der Lithologie entsprechend liegt die Untergrenze dieser obersten Einheit etwa bei 1300 m; dies stimmt mit der schwermineralogisch bestimmten Grenze E_3/E_4 bei 1250 m gut überein (Aussetzen der Hornblende sowie deutliche Zunahme des Apatit-, Zirkon- und Turmalin-Gehaltes gegen unten).

Karbonatgehalt: Calcit und Dolomit sind im Durchschnitt mit 18% und 3% vertreten. Im Bereich von 300 bis 600 m ist jedoch ein erhöhter Anteil von Calcit und Dolomit zu verzeichnen, was sich gut mit den Resultaten der Cutting-Auszählung deckt.

Leichtminerale: Das Quarz/Feldspat-Verhältnis beträgt 1,60 und ist damit doppelt so hoch wie in der nächsttieferen Einheit.

Einheit E₃: Bereich: 1251–2480 m; Probenzahl: 24
Epidot-Granat-Apatit-Assoziation

	Minimum (%)	Mittelwert (%)	Maximum (%)
Granat	12	42,63	112
Epidot	51	74,00	89
Apatit	0	10,54	24
Turmalin	0	4,0	13
Zirkon	0	5,29	21
Titanit	0	5,42	13
SM-Gewicht (%)	0,2	0,58	1,3
Quarz	31	43,00	51
Feldspat	39	51,00	61
Gesteinsbruchstücke	1	6,00	22
Calcit	8	12,58	22
Dolomit	1	1,58	4

Schwerminerale: Diese Einheit ist zwar weiterhin durch die Dominanz des Epidots (74%) charakterisiert, weist jedoch gegenüber Einheit E₄ keine Hornblende und keinen Pyroxen auf. Dafür nehmen die übrigen Schwerminerale prozentual zu, so vor allem der Apatit (10,5%). Granat zeigt ebenfalls eine steigende Tendenz, ist aber im Gegensatz zu der darunterliegenden Einheit E₂ untergeordnet.

Lithologie: In dieser Einheit dominieren siltig-mergelige Sedimente. Die kontinuierliche Abnahme der magmatischen und metamorphen Komponenten, wie auch der Gangquarze, deuten das Zurücktreten der Konglomerate an. Aus letzteren stammen bräunlichgelbe Quarzite und Kalk-Komponenten (Häufigkeit zwischen 3 und 9%).

Was die Untergrenze der Einheit E₃ betrifft, wäre nach lithologischen Gesichtspunkten eine Grenze bei 2350 m gegeben (Aussetzen der Nagelfluhbänke gegen das Liegende). Sie wurde indessen unter Berücksichtigung des Schwermineral-Spektrums auf 2460 m festgelegt, weil hier unvermittelt im Liegenden der Epidot zurücktritt und die plötzliche Vormacht von Zirkon einsetzt.

Karbonatgehalt: Die Durchschnittswerte des Karbonatgehalts sind gegenüber der Einheit E₄ um ca. 6% gesunken und unterliegen keiner grossen Schwankungsbreite.

Leichtminerale: Das Quarz/Feldspat-Verhältnis beträgt hier 0,84 (gegenüber 1,60 in der Einheit E₄). Der offensichtlich hohe Feldspatgehalt weist darauf hin, dass wir es mit Sandsteinen der «Granitischen Molasse» zu tun haben. 25–30 km östlich der Bohrung Linden 1 hat GASSER (1966, S. 758) die Granitische Molasse des Entlebachs beschrieben und kommt zu auffällig ähnlichen Resultaten, nämlich 54% Feldspat (bei uns 51%)⁴.

⁴) Allerdings ist die Korngrösse des Gesamtgesteines (vgl. Lithologie auf Tafel) kleiner als im Entlebach, wo mächtige Abschnitte in der Kies/Grobmittelsandstein-Fraktion auftreten (vgl. GASSER 1966, Fig. 1).

Einheit E₂: Bereich 2481–4050 m; Probenzahl: 32
Granat–Zirkon–Apatit–Epidot–Turmalin-Assoziation

	Minimum (%)	Mittelwert (%)	Maximum (%)
Granat	29	311,72	1251
Epidot	1	24,06	71
Apatit	2	27,72	65
Turmalin	2	12,25	31
Zirkon	2	30,91	75
SM-Gewicht (%)	0,1	0,85	2,4
Quarz	28	37,33	56
Feldspat	37	53,30	65
Gesteinsbruchstücke	2	9,37	30
Calcit	8	18,63	28
Dolomit	1	2,34	8

Schwerminerale: Diese Einheit unterscheidet sich von Einheiten E_3 und E_4 durch den geringen Anteil von Epidot (Mittel 24%) und durch den deutlichen Anstieg des Granat-Gehalts (Mittel 311%). Nach GASSER (1968, S. 295) deutet ein gehäuftes Vorkommen von Granat auf Granat-Glimmerschiefer im Liefergebiet. In seinem Aussehen zeigt der Granat nicht wie in den beiden höheren Einheiten eine stark verschmutzte Oberfläche, sondern die Körner erscheinen als klare, durchscheinende Minerale, die des öfteren Ätzfiguren in Form kleiner Dreiecke besitzen. Relativ selten finden sich idiomorphe Körner von dodekaedrischer Form (Proben 2920, 3020, 3070 und 4240 m). Schwerminerale, die im Hangenden nur als Nebengemengteile aufgetreten sind (Zirkon, Turmalin), bilden nun die Hauptgemengteile. Ein weiteres Charakteristikum stellt die grosse Schwankungsbreite der einzelnen SM-Anteile dar. So fällt besonders auf, dass von 3100 m bis 3350 m der Epidot noch einmal deutlich in Erscheinung tritt, so dass man sich fragen muss, ob bei 3100 m, vielleicht auch bei 3700 m, eine epidotreiche Schüttung ins Spiel kommt. Die Schwankungen können entweder durch die Verfälscherung von zwei verschiedenen Schüttungen bedingt sein oder auf tektonischen Ursachen beruhen. Für letzteren Aspekt spricht das gehäufte Auftreten von Baryt von 2950 m bis 3100 m. Baryt besitzt bekanntlich als authigenes Mineral keinen Leitwert, tritt jedoch nach eigenen Untersuchungen an tektonischen Schwächezonen der subalpinen Molasse auf (bis zu 80% des SM-Anteils). Das bestätigen auch die Untersuchungen von GASSER (1964, S. 763). Wir sehen keinen Grund zur Annahme, dass die Schwankungen der SM-Anteile auf die unterschiedlichen Bohrmethoden zurückzuführen sind; diese Schwankungen verlaufen nämlich nicht konform zu den jeweiligen Bohrmethoden.

Lithologie: Es handelt sich um eine Zone mit vermutlich wechsellagernden Feinsanden und siltigen Mergeln. Karbonat-Komponenten und Grobsande treten vor allem im oberen Teil stark zurück. Ab 3100 m sind vermehrt karbonatische Gerölle vorhanden, ab 3300 m nehmen die siltigen Mergelsedimente zu, gleichzeitig auch die Grobsande. Mergelsedimentation mit häufigen Feinsand-Einschaltungen charakterisieren den untersten Teil der Einheit E_2 . Wie schon früher erwähnt (vgl. Kapitel «Methodik»), sind im Bereich der Turbinenbohrungen Korrekturen in der

Korngrößen-Verteilung der Sedimente vorzunehmen. Eine Abgrenzung der Einheit E_2 gegen das Liegende aufgrund der Lithologie ist nicht durchführbar.

Karbonatgehalt: Die Karbonatgehalte zeigen gegen das Liegende im wesentlichen eine steigende Tendenz mit einem deutlichen Anstieg des Calcit-Gehaltes.

Leichtminerale: Das Quarz/Feldspat-Verhältnis beträgt 0,7. Nach diesem Kriterium haben wir es mit «Granitischer Molasse» zu tun, wofür auch die rote Farbe der Cuttings spricht, aber die Korngröße ist durchlaufend feiner als im Entlebuch, wo grössere Kies/Grobmittelsandstein-Partien auftreten (vgl. GASSER 1966, S. 734).

Einheit E_1 : Bereich: 4051–4300 m; Probenzahl: 7
Granat–Zirkon–Turmalin–Apatit–Spinell-Assoziation

	Minimum (%)	Mittelwert (%)	Maximum (%)
Granat	4	232,0	516
Epidot	0	6,71	32
Apatit	6	19,34	31
Turmalin	14	27,0	42
Zirkon	11	28,29	51
Spinell	2	16,57	58
SM-Gewicht (%)	0,3	1,0	1,7
Quarz	39	49,8	60
Feldspat	29	33,6	38
Gesteinsbruchstücke	8	16,6	28
Calcit	22	27,2	32
Dolomit	2	3,8	8

Schwerminerale: Diese Einheit wird durch das Auftreten von Spinell (16%) gekennzeichnet, wobei aber seine Dominanz nur in zwei Proben (Probe 4210 m mit 58% und Probe 4220 m mit 27%) vorhanden ist. In den übrigen Proben tritt er als Nebengemengteil auf. Auf seinen Leitwert für stampische Ablagerungen der subalpinen Molasse wurde schon bei GASSER (1968) sowie HOFMANN (1968) hingewiesen. Epidot ist nur mehr akzessorisch vorhanden; die übrigen SM-Minerale zeigen nur geringfügige Unterschiede gegenüber Einheit E_2 .

Lithologie: Diese Einheit ist durch eine leichte Zunahme der Feinsande gekennzeichnet. Gelegentliche Lagen mit Karbonatgeröllen scheinen auch hier aufzutreten. Im untersten Teil der Einheit E_1 zeigen die Cuttings einen markanten Farbumschlag von Rot zu Grau. Er fällt mit der Grenze «Chattien» / Rupélie zusammen, die von der Pétroles d'Aquitaine festgelegt wurde⁵⁾.

Karbonatgehalt: Bei den Karbonatgehalten ist im oberen Teil der E_1 ein deutlicher Anstieg (Calcit um ca. 9%, Dolomit um ca. 1,4%) gegenüber Einheit E_2 zu verzeichnen. Im unteren Teil, dort, wo das Rupélie ausgeschieden werden konnte, tritt der Karbonatgehalt kräftig zurück.

Leichtminerale: Das Quarz/Feldspat-Verhältnis beträgt in dieser Einheit 1,48. Dieser Index bestätigt somit ein ehemals sedimentäres Liefergebiet, indem haupt-

⁵⁾ Dank freundlicher Mitteilung von Herrn Dr. M.A. Zimmermann wissen wir, dass die Stufe des Rupélie durch marine Mikrofaunen belegt werden konnte.

sächlich Gesteine sedimentären Ursprungs zur Abtragung gelangten. Unsere Resultate stimmen auch gut mit den LM-Auszählungen der tieferen Molasse-Anteile von den Oberflächenproben überein.

Eine Probe aus dem tiefsten Anteil (4320 m) der Bohrung – dem Siderolithikum – zeigt ein völlig anderes SM-Spektrum. Epidot fehlt, Apatit und Granat sind vereinzelt vorhanden, die Hauptgemengteile bilden die ultrastabilen Schwerminerale Turmalin (42%), Zirkon (45%) und der bis dahin nur sehr sporadisch aufgetretene Rutil mit 10%. Diese Probe wurde deshalb bei unseren statistischen Auswertungen nicht berücksichtigt.

4. Statistische Auswertung der sedimentpetrographischen Daten

Die vorangegangene Beschreibung hat das Profil der Bohrung Linden 1 in die Einheiten E_1 bis E_4 eingeteilt. Diese Einteilung ist das Resultat der statistischen Auswertung unserer Daten. Dabei haben wir die Methoden der multivariaten Analysetechnik herangezogen. Sie bieten den Vorteil einer objektiven Zuordnung quantitativer Analysen, wobei selbst geringfügige Anteile einer Variablen berücksichtigt werden. Dadurch ist es möglich, eine exaktere Zuordnung des Probenmaterials zu erzielen, werden doch bei einer visuellen Durchsicht nur relativ grobe Unterschiede erfasst.

Wir stellten uns die Aufgabe, folgende Fragen mittels statistischer Verfahren zu klären:

- Eine Klassifizierung der Proben aufgrund sedimentpetrographischer Daten, d. h. Bildung von Gruppen mit ähnlichen Merkmalen (Einheiten 1 bis 4);
- überprüfen, ob die gebildeten Gruppen (E_1 bis E_4) aufgrund der vorhandenen Unterscheidungsmerkmale eine Einheit bilden (Diskriminanz-Analyse).

Unser Datenmaterial bestand aus 88 Proben (vgl. hierzu auch Fig. 4 oben), charakterisiert durch folgende Variablen (vgl. hierzu Tafel):

- *Kolonne Lithologie*: Gangquarze, magmatische Gesteine, metamorphe Gesteine, Karbonate und Sandsteine;
- *Kolonne Leichtminerale*: Quarz, Feldspat, Gesteinsbruchstücke und Glimmer;
- *Kolonne Karbonate*: Calcit und Dolomit;
- *Kolonne Schwerminerale*: Granat, Epidot, Apatit, Turmalin, Spinell, Zirkon, Rutil, Titanit, Staurolith, Chloritoid, Hornblende, Baryt und Rest SM.

Die Verarbeitung des Datenmaterials erfolgte mit folgenden Rechenprogrammen⁶⁾:

- a) Hauptkomponenten-Analysen im Q-Modus mit rechtwinkliger Rotation (Programm *Covap* von Manson & Imbrie 1964);
- b) Cluster-Analysen im Q-Modus (Programm *Dendrograph* von Cammon & Weninger 1970);

⁶⁾ Die Rechenprogramme wurden uns in dankenswerter Weise aus der Programmbibliothek von Herrn Dr. U. Gasser zur Verfügung gestellt.

c) Diskriminanz-Analysen (Programm *Disk* von Faber & Nollau 1969).

Für die Berechnungen stand uns die Rechenanlage IBM/370-148 der Universität Bern zur Verfügung.

a) *Hauptkomponenten-Analyse im Q-Modus mit rechtwinkliger Rotation*

Das Ziel dieses Analysenvorgangs ist es, Proben durch ihre Merkmale (Variablen) zueinander in Beziehung zu setzen und in diverse Gruppen zu unterteilen.

Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsdaten erfolgte zunächst eine Normierung der Daten, indem die Variationsbreite der Variablen gleich 1 gesetzt wurde.

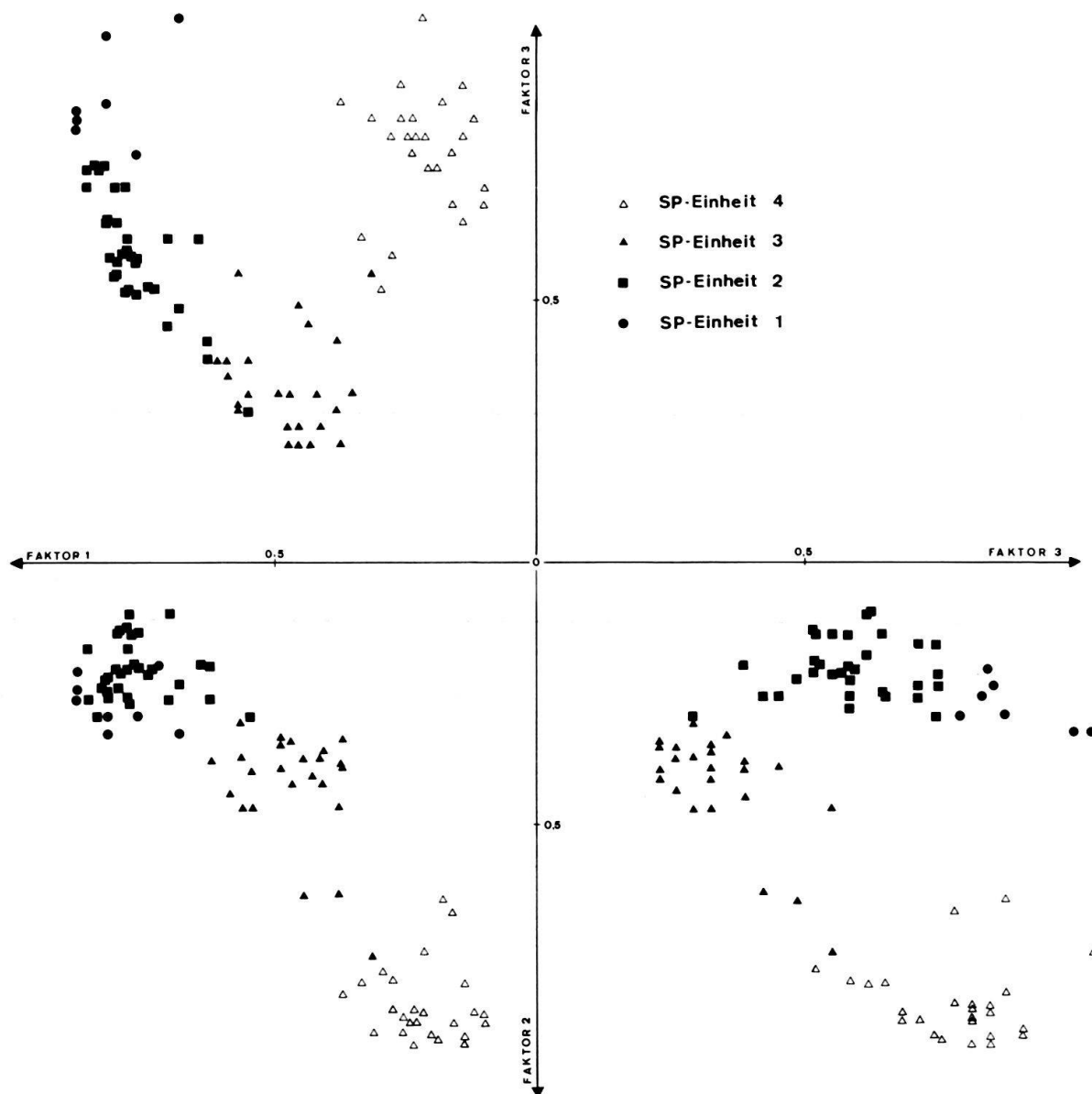


Fig. 2. Hauptkomponenten-Analyse im Q-Modus von 88 Proben mit 24 Variablen der Bohrung Linden 1. Dargestellt ist die Verteilung in drei Koordinaten-Ebenen.

Dann wurden alle 88 Proben aufgrund der 24 ausgeschiedenen Merkmale miteinander verglichen. Der unanschauliche hochdimensionale Merkmalsraum wurde dabei auf einen dreidimensionalen Hauptkomponentenraum reduziert. Die Koordinaten dieses Würfels sind «Faktor» 1, «Faktor» 2 und «Faktor» 3. Die Probenwolken in diesem Raum zeigen eine deutliche Gruppierung in 4 Einheiten. Dies kommt in Figur 2 zum Ausdruck, wo der Würfel aufgeklappt ist, indem die Proben in die senkrecht aufeinanderstehenden Koordinaten-Ebenen projiziert wurden. Bei der Übertragung der 4 Einheiten in das Profil (vgl. Tafel) ergibt sich erfreulicherweise auch eine sinnvolle Abfolge in der stratigraphischen Höhe.

b) Cluster-Analyse im Q-Modus

Sie ist der Hauptkomponenten-Analyse ähnlich und dient – neben einer Klassifizierung der Proben – zur Kontrolle der Hauptkomponenten-Analyse. Bei diesem Analysenvorgang werden die «ähnlichsten», d.h. die am höchsten korrelierten Proben aufgesucht und durch eine «gedachte» Probe ersetzt, die wiederum mit der nächstähnlichen Probe verglichen wird. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis die Korrelationsmatrix abgebaut ist. Dadurch entsteht das in Figur 3 dargestellte Dendrogramm. Auf der Abszisse befinden sich die Proben geordnet nach Ähnlichkeiten, auf der Ordinate der den betreffenden Proben zugehörige Korrelationskoeffizient (r). Kleine Abstände, sowohl auf der Abszisse als auch auf der Ordinate, weisen auf grosse Ähnlichkeit hin.

Für unsere Untersuchungen wurde auch hier das Datenmaterial transformiert, indem wir die Standardabweichung gleich 1 setzten. Im Gegensatz zur Hauptkomponenten-Analyse ist ersichtlich, dass die Unterteilung in 4 Einheiten nur teilweise erkannt werden kann. Wohl lassen sich die Einheiten E_3 und E_4 auseinanderhalten, die Einheiten E_1 und E_2 bilden jedoch eine in sich geschlossene Gruppe.

Die Einheit E_4 lässt eine Zweiteilung erkennen, die durch das Vorkommen bzw. Nichtvorkommen von Hornblende erklärt werden kann. Abgetrennt, jedoch im Zusammenhang mit Einheit E_4 , ist die Einheit E_3 . Die Zusammenhänge sind durch den gemeinsamen hohen Anteil an Epidot erklärbar, ihre Trennung beruht auf der verschiedenartigen lithologischen Ausbildung. So zeichnet sich Einheit E_4 durch einen Nagelfluh-Komplex aus, während Einheit E_3 aus Sandsteinen besteht. Ausserdem besitzt Einheit E_3 einen erhöhten Anteil an Apatit, Zirkon und Turmalin. Die Abtrennung der Einheiten E_3 und E_4 von den Einheiten E_1 und E_2 ist durch das Verschwinden von Epidot sowie das gehäufte Vorkommen von Granat gewährleistet. Eine weitere Unterteilung in Einheit E_2 und Einheit E_1 kann nicht erkannt werden, es lassen sich aber Untergruppen ausscheiden. Die Differenzierung erfolgt dabei nach einem hohen Calcit-Gehalt und einem Verhältnis Quarz > Feldspat gegenüber einem mittleren Calcit-Gehalt und einem Verhältnis Quarz < Feldspat.

c) Diskriminanz-Analyse

Aufgrund der Resultate der Hauptkomponenten-Analyse, bei der das Probenmaterial in 4 Einheiten gegliedert wurde, werden bei der Diskriminanz-Analyse

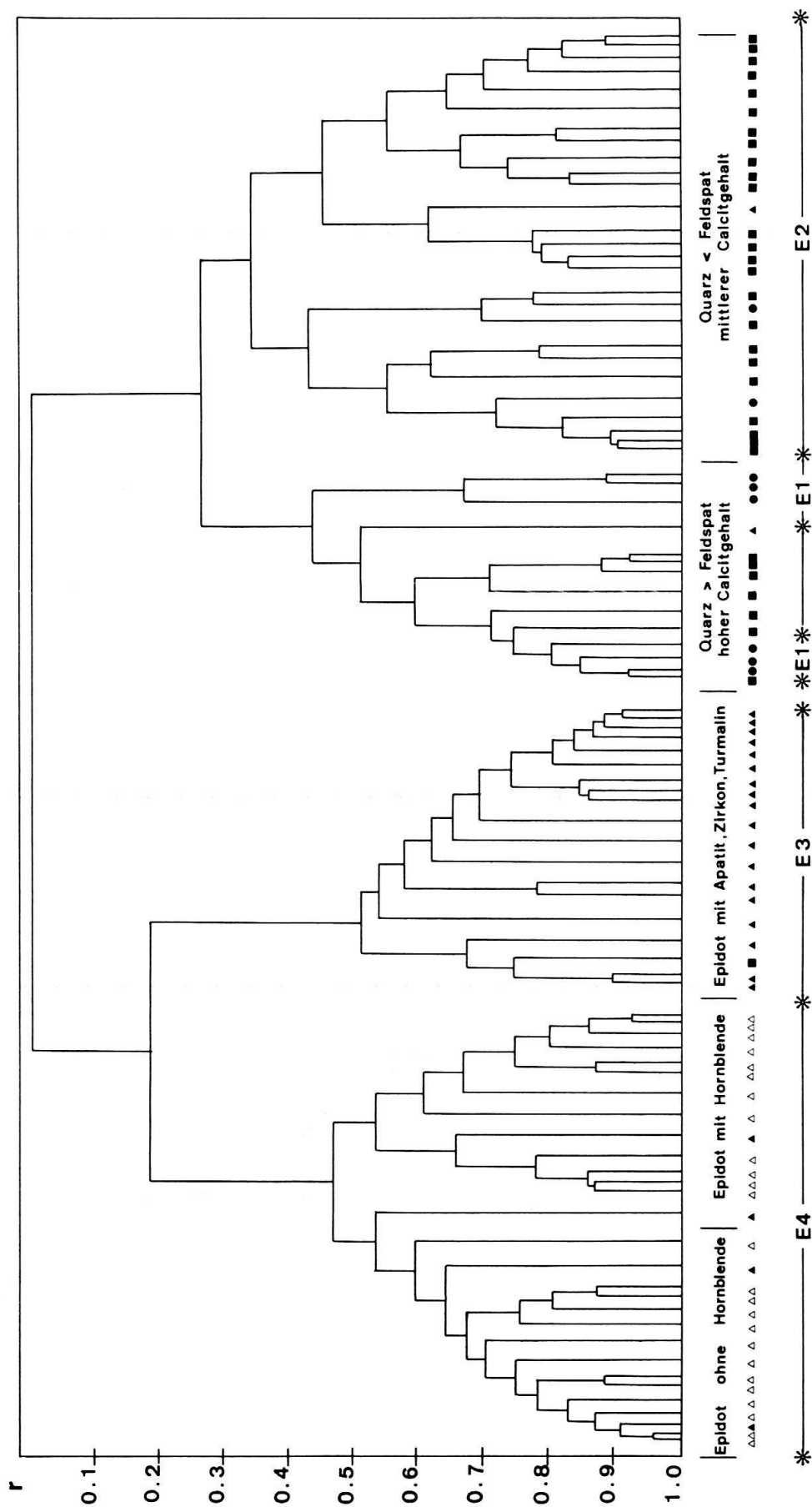


Fig. 3. Dendrogramm der Cluster-Analyse im Q-Modus. Sedimentpetrographische Einheiten 1 bis 4. Die Proben tragen die gleichen Signaturen wie auf Figur 2.

diese 4 Einheiten auf ihre Richtigkeit hin geprüft. Dabei werden fragliche Proben einer Einheit einer andern Einheit neu zugeordnet.

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben die Neuordnung einer einzigen Probe (Probe 3900 m von E_3 in E_4), was bei 88 Proben ungefähr 1% ausmacht. Die wesentlichen Merkmale, die zur Bildung der 4 Einheiten führten, ergaben sich anhand der 1. Diskriminanz-Funktion. Es sind dies mit abnehmender Gewichtung: kristalline Gesteine, Karbonate, Epidot, Quarz, Rutil, Gangquarze, Sandsteine und Feldspat.

5. Das Profil der Bohrung Linden 1 im Vergleich mit den angrenzenden Gebieten

Vorerst sei festgehalten, dass sich die Bohrung auf dem Gebiet des Geologischen Atlasblattes Münsingen-Heimberg (BECK & RUTSCH 1949) befindet, und zwar in dem von P. Beck in den Jahren 1923-1938 kartierten Abschnitt. Die zugehörigen Erläuterungen, von P. Beck und R. F. Rutsch verfasst, sind 1958 erschienen. In den letzten Jahren wurde in den gegen S und SE anschliessenden subalpinen Molassegebieten eine gezielte Reihe sedimentpetrographischer Untersuchungen ausgeführt, deren Resultate wir in die nachfolgenden Betrachtungen einbeziehen; hiezu gehören auch einige bisher unveröffentlichte Daten von SM-Untersuchungen, die von den Herren U. Gasser und A. Matter ausgeführt wurden. Beiden Herren sei hiefür der beste Dank ausgesprochen, besonders aber auch für die Diskussion der regionalen Molasseprobleme.

Aus der Betrachtung der Kolonne *Lithologie* der Tafel ergibt sich als Hauptmerkmal des Bohrprofils, dass der Nagelfluh-Anteil (mit magmatischen und metamorphen Komponenten sowie Gangquarzen) nur bis 1250 m Teufe der Bohrung eine wesentliche Rolle spielt. Von 1250 m bis 2100 m Teufe ist der Nagelfluh-Anteil nur mehr in wenigen Prozenten vorhanden. Der tiefere Teil des Tertiärprofils (Chattien und Rupélien) besteht ausschliesslich aus Wechsellagerungen von Sandsteinen und Siltsteinen (bestätigt durch mündliche Mitteilung von Herrn Dr. M. A. Zimmermann) sowie geringfügigen Kalk- und Dolomitbänken.

Eine kurze Betrachtung sei nun den lithostratigraphischen bzw. sedimentpetrographischen Einheiten, wie sie auf der Tafel ausgeschieden sind, gewidmet. Die in Anführungszeichen gesetzten Stufen des «*Helvétien*» und «*Burdigalien*», die wir mitsamt ihren mutmasslichen Grenzen aus dem Profil der Pétroles d'Aquitaine übernommen und auf die Tafel eingetragen haben, beinhalten die oberen zwei Drittel unserer *Einheit E₄*. Diese Einheit besteht in der Bohrung wie auch in den Oberflächenaufschlüssen der Umgebung aus einer Nagelfluh-Abfolge, in der der unterste Abschnitt des «*Helvétien*» und das ganze «*Burdigalien*» vertreten ist. Eine Evidenz für die Trennung von «*Helvétien*» und «*Burdigalien*» kann nicht gefunden werden, handelt es sich doch um eine einheitliche fluvioterrestrische Schüttung, die gegen E zu mächtiger wird. HALDEMANN (1948), der das Schallenberg-Gebiet in seiner Dissertation bearbeitete, betrachtet die Schallenberg-Mergel (vgl. Fig. 1) als fluvioterrestrisches Altersäquivalent eines Teiles der marinen Belpberg-Schichten des Helvétien. Darunter folgen die Seli-Nagelfluh, ferner die von BECK (1928) eingeführten Falkenfluh- und Diessbach-Schichten, ca. 5 km SW der Bohrung

gelegen. Alle diese Schichten gehören zu einer fluvioterrestrischen Schüttung, die nach HALDEMANN in die Zeit der OMM fällt.

Im fluvioterrestrischen Milieu der Einheit E_4 ist eine chronostratigraphische Zuordnung noch nicht gesichert (siehe auch BECK & RUTSCH 1958). Im Zeitabschnitt des Burdigalien und Helvétien schiebt sich zwischen die marinen OMM-Gebiete Belpberg-Sense-Thun im W und Entlebuch im E der fluvioterrestrische Schwemmkegel der *Thunersee-Schüttung*. Diese ist schwermineralogisch durch ihre Epidot-Vormacht sowie Apatit als Nebengemengteil charakterisiert; das gleiche SM-Spektrum kennzeichnet die Napf-Schüttung, doch ist diese von der Thunersee-Schüttung durch die dazwischenliegende Schüttung der Ur-Lütschine (vgl. unten) abgetrennt. Die jüngsten Schichten der Thunersee-Schüttung innerhalb unseres Untersuchungsgebietes sind in der Einheit E_4 sowie in den Oberflächenaufschlüssen des «Helvétien» 4 km WSW der Bohrung (vgl. Fig. 4) erhalten geblieben.

Mit der für die Thunersee-Schüttung typischen Epidot-Vormacht erscheint in der Bohrung die *Einheit* E_3 , in den Oberflächenaufschlüssen das «Aquitaniens» der Falkenfluh-Antiklinale (6 km SW Linden), ferner das «Aquitaniens» N und NE von Thun sowie der ganze Westrand der Blumen-Schuppe E von Thun bis Gunten-Stampach (siehe die entsprechenden 4 Balken auf Fig. 4). Alle diese Proben gehören zur USM, doch wissen wir beim Stand der heutigen Kenntnisse nicht, in welchem Umfang sie dem Chattien bzw. Aquitaniens zuzuordnen sind. Die mutmassliche Grenze «Aquitaniens»/«Chattien», die wir auf unserer Tafel aus den Angaben der Pétroles d'Aquitaine übernommen haben, stimmt mit der «Fourchette où se situe la limite Oligocène / Miocène (Nannofossiles)» überein, die auf dem Bohrprofil Linden 1 der Publikation ZIMMERMANN et al. (1976, S. 597) zwischen 2100 m und 2150 m eingetragen ist. Inwieweit die Argumente von RIGASSI (1977), der diese Nannoplankton-Daten stark anzweifelt, zutreffen, können wir nicht beurteilen.

Was die von uns ausgeschiedene *Einheit* E_2 anbetrifft, so ist deren Obergrenze durch den scharfen Wechsel im SM-Spektrum klar definiert (vgl. Tafel und Fig. 4). Diesen SM-Umschlag, der die USM in einen höheren und tieferen Teil trennt, finden wir in überregionaler Ausdehnung zwischen der Westschweiz und dem süddeutschen Bodenseegebiet, insbesondere auch in der subalpinen Molasse des Entlebuch (vgl. GASSER 1966, 1968) und in den neu untersuchten Proben der subalpinen Molasse aus der Zulg-Hombach-Schuppe (vgl. Fig. 4), ferner auch im Profil der Bohrung Romanens 1, wie erste von Dr. H. Maurer durchgeführte Untersuchungen zeigen.

Innerhalb der Einheit E_2 zeigen die SM-Spektren deutliche Schwankungen, die für die Bohrung kennzeichnend sind, nicht jedoch für die übrigen Molassebohrungen der Schweiz. Wir wären geneigt, die aus dem Bohrprofil ersichtlichen epidotreichen Abschnitte der Thunersee-Schüttung, die zirkon-, apatit- und granatreichen Abschnitte hingegen einem etwas E gelegenen Schüttungszentrum, z.B. einer *Ur-Lütschine*⁷⁾, zuzuordnen. Zu letzterem Gedanken gibt uns auch der Staurolith-

⁷⁾ Wir führen hier erstmals den Begriff einer «Ur-Lütschine» ein, weil die prinzipiell gleich aussehenden SM-Spektren der Napf-Schüttung im E und der Thunersee-Schüttung im W durch die dazwischenliegende Schüttung der Ur-Lütschine klar getrennt sind. Im Gegensatz zur heutigen Lütschine hat die Ur-Lütschine die Gesteinskomplexe ostalpiner Decken erodiert, in denen auch kristalline Serien zum Abtrag gelangten.

Reichtum in den Oberflächenproben der tieferen Granitischen Molasse der Zug-Hombach-Schuppe (vgl. Fig. 4) Anlass, der sich von den benachbarten Schüttungssystemen deutlich abhebt. In letzteren fehlt der Staurolith, und dies kann nicht auf «intrastratal solution» zurückgeführt werden, da sonst der Epidot, der bekanntlich weniger resistent als der Staurolith ist (NICKEL 1973), bereits vorher verschwunden sein müsste. Andererseits erinnert dieses Phänomen an das plötzliche Auftreten von Staurolith im rezenten Alpenrhein bei der Einmündung der Ill (HAHN 1969, S. 269). Die hier erwähnten SM-Proben aus dem Profil Stägbach und Schuelhusgraben, die zur Zug-Hombach-Schuppe gehören, liegen heute N des Gipfels der Blume. Wir

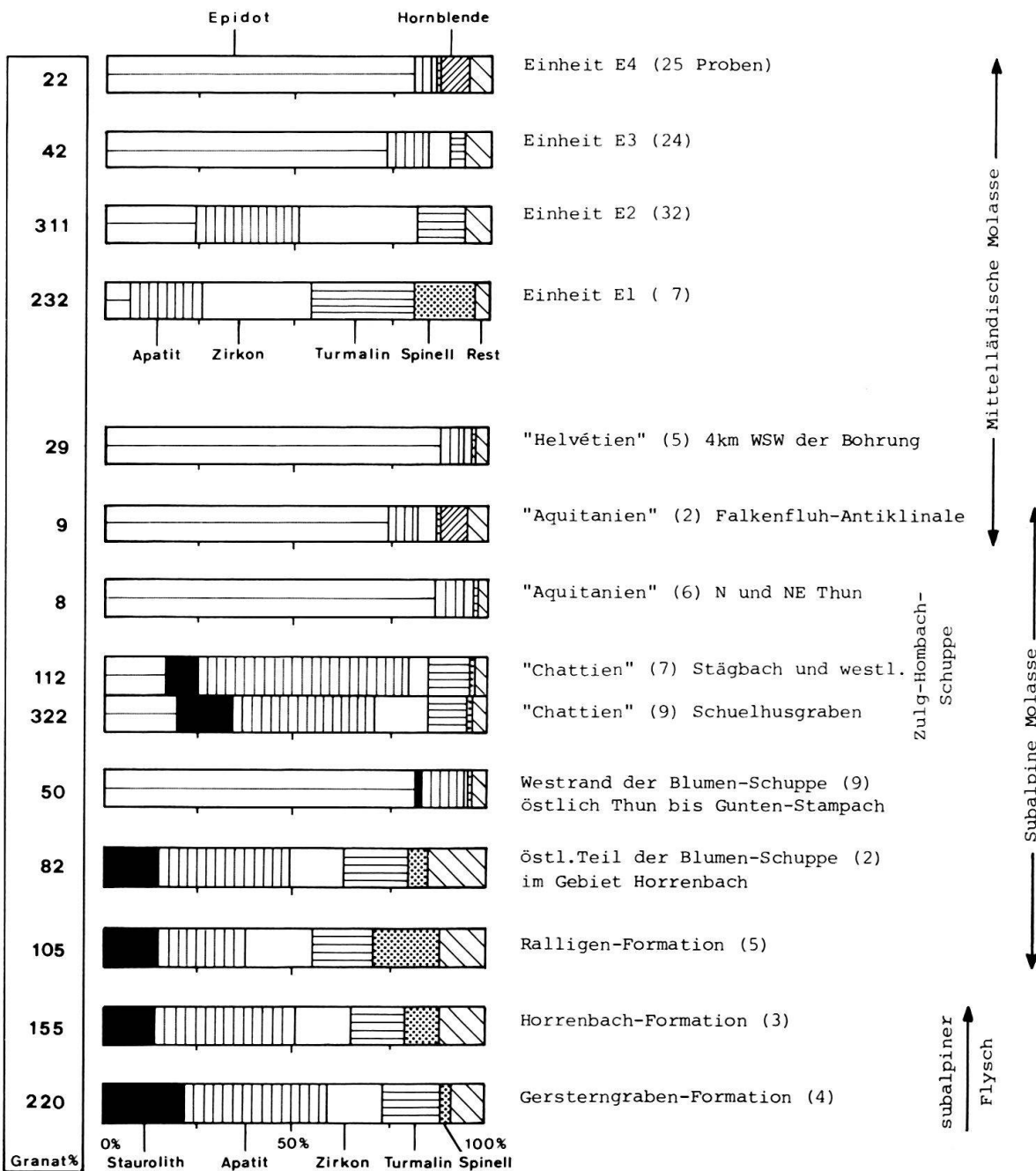


Fig. 4. Schwermineral-Spektren der Bohrung Linden 1 im Vergleich mit den angrenzenden Gebieten.

stellen uns vor, dass ihre ursprüngliche Lage vor Eintreten der subalpinen Schuppen-tektonik weit im SE zu suchen ist, d.h. E der ursprünglichen Lage des Blumen-Gipfels.

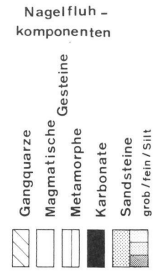
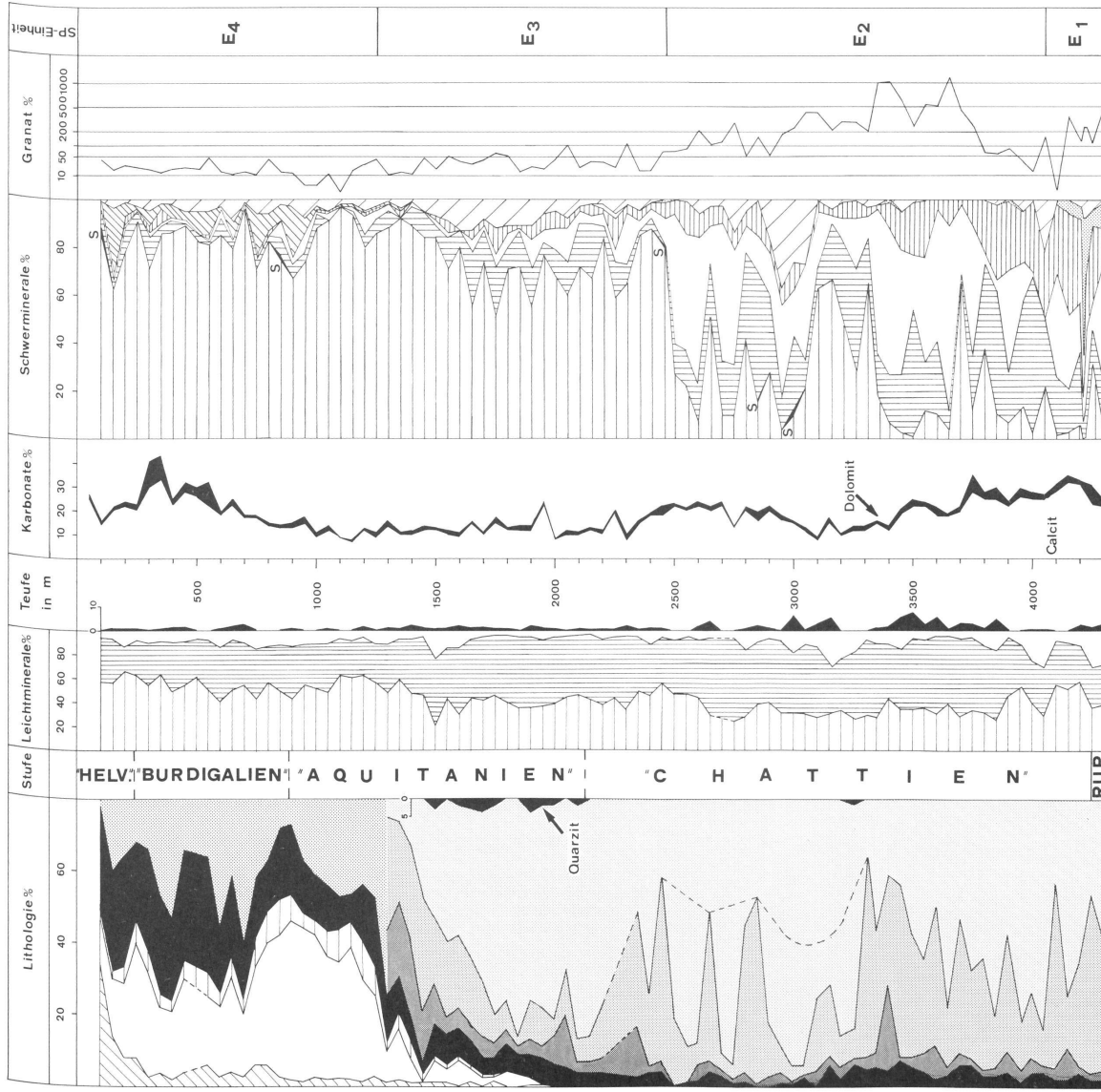
Ein wesentliches Merkmal, das zur Ausscheidung der *Einheit E₁* (tieferes Chattien und Rupélien) führte, ist unter den Schwermineralen das Auftreten von Spinell. Er bestätigt auch hier seinen Leitwert für stampische Molasse-Sedimente (vgl. FÜCHTBAUER 1964; GASSER 1966, 1968). Für einen schwermineralogischen Vergleich mit unserer Einheit *E₁* stehen uns folgende, an der Oberfläche anstehende oligozäne Mergel-Sandstein-Abfolgen zur Verfügung: die Ralligen-Formation (Rupélien), die Horrenbach- und die Gersterngraben-Formation (nach SCHERER 1966, Oligozän-Flysch) sowie 2 Proben aus dem östlichen Teil der Blumen-Schuppe im Gebiet Horrenbach (siehe unterste 4 Balken auf Fig. 4). Die 4 letztgenannten schwermineralogischen Spektren stimmen mit derjenigen der Einheit *E₁* mit Ausnahme des Stauroliths recht gut überein. Der Staurolith, der in der USM für die Schüttung der Ur-Lütschine typisch ist, kommt in unseren am Alpenrand gelegenen Schichtreihen vor, nicht aber in der Bohrung. Wahrscheinlich haben die marinen Strömungen zur Zeit der UMM und im vorangegangenen Flyschtrog des Alpenrandes den Staurolith nicht sehr weit verschwemmt, jedenfalls nicht bis ins Gebiet der Bohrung Linden. Statt des Stauroliths erscheinen in der Bohrung 7% Epidot, der für die später einsetzende fluvioterrestrische Thunersee-Schüttung typisch ist.

Wir sind uns bewusst, dass die Evidenzen, die uns dazu führten, in der Molasse N des Thunersees eine Thunersee-Schüttung und die neu eingeführte Schüttung der Ur-Lütschine zu unterscheiden, noch durch umfassendere Untersuchungen untermauert werden müssen, können aber hinzufügen, dass auch aus der Oberflächen-geologie Hinweise vorhanden sind, die in die gleiche Richtung weisen.

LITERATURVERZEICHNIS

- BECK, P. (1923): *Das stampische Alter der Thuner Nagelfluh und deren Bedeutung für den Bau des Alpenrandes*. - Mitt. natf. Ges. Bern 1922.
- (1928): *Über die Falkenfluhantiklinale bei Thun*. - *Ecolgae geol. Helv.* 21/2, 320-322.
- BECK, P., & RUTSCH, R. (1949): *Geologischer Atlas der Schweiz 1:25000, Atlasblatt 21 (Münsingen-Heimberg)*; Erläuterungen (1958). - Schweiz. geol. Komm.
- BLAU, R.V. (1966): *Molasse und Flysch im östlichen Gurnigelgebiet (Kt. Bern)*. - Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 125.
- BÜCHI, U.P., COLOMBI, C., FEHR, W.R., LEMCKE, K., KOEWING, K., HOFMANN, F., FÜCHTBAUER, H., & TRÜMPY, R. (1961): *Geologische Ergebnisse der Bohrung Künsnacht 1*. - Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 28/74, 7-16.
- BÜCHI, U.P., WIENER, G., & HOFMANN, F. (1965): *Neue Erkenntnisse im Molassebecken aufgrund von Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz*. - *Ecolgae geol. Helv.* 58/1, 87-108.
- FÜCHTBAUER, H. (1958): *Die Schüttungen im Chatt und Aquitan der süddeutschen Alpenvorlandmolasse*. - *Ecolgae geol. Helv.* 51/3, 929-941.
- (1963): *Zum Einfluss des Ablagerungsmilieus auf die Farbe von Biotiten und Turmalinen*. - Fortschr. Geol. Rheinl. Westfal. 10, 331-336.
- (1964): *Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen*. - *Ecolgae geol. Helv.* 57/1, 157-298.
- (1967): *Die Sandsteine in der Molasse nördlich der Alpen*. - *Geol. Rdsch.* 56, 266-300.

- 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 (Kt. Luzern): Geologie und Sedimentologie*. – *Eclogae geol. Helv.* 61/1, 229–319.
- GRIMM, W.D. (1965): *Schwermineralgesellschaften in Sandschüttungen, erläutert am Beispiel der süddeutschen Molasse*. – *Abh. bayer. Akad. Wiss. [N.F.]* 121.
- HAHN, CH. (1969): *Mineralogisch-sedimentpetrographische Untersuchungen an den Flussbettsanden im Einzugsbereich des Alpenrheins*. – *Eclogae geol. Helv.* 62/1, 227–278.
- HALDEMANN, E.G. (1948): *Geologie des Schallenberg–Honegg-Gebietes*. – Diss. Univ. Bern.
- HOFMANN, F. (1960): *Materialherkunft, Transport und Sedimentation im schweizerischen Molassebecken*. – *Jb. st.gall. natw. Ges.* 76, 1–28.
- (1968): *Zur Sedimentpetrographie der Molasse in den Bohrungen Pfaffnau Süd 1, 2, 4 und 5, Boswil 1 und Hünenberg 1*. – *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.* 35/87, 35–41.
- LEMCKE, K., BÜCHI, U.P., & WIENER, G. (1968): *Einige Ergebnisse der Erdölexploration auf die mittelländische Molasse der Zentralschweiz*. – *Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.* 35/87, 15–34.
- MATTER, A. (1964): *Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet*. – *Eclogae geol. Helv.* 57/2, 315–428.
- MOOS, A. VON (1935): *Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen*. – *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 15/2, 169–265.
- NICKEL, E. (1973): *Experimental dissolution of light and heavy minerals in comparison with weathering and intrastratal solution*. – *Contr. Sedimentol.* 1, 1–68.
- RIGASSI, D.A. (1977): *Subdivision et datation de la Molasse «D'eau douce inférieure» du plateau suisse*. – *Paleolab News* 1.
- RUTSCH, R.F. (1933): *Beiträge zur Geologie der Umgebung von Bern*. – *Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.]* 66.
- (1967): *Erläuterungen zum Geologischen Atlas der Schweiz 1:25000, Atlasblatt 26 (Neuenegg–Rüeggisberg)*. – *Schweiz. geol. Komm.*
- RUTSCH, R.F., & SCHLÜCHTER, CHR. (1973): *Stratigraphische Gliederung der Molasse im Bernischen Mittelland*. – *Mitt. natf. Ges. Bern [N.F.]* 30, 86–90.
- SCHERER, F. (1966): *Geologisch-paläontologische Untersuchungen im Flysch und in der Molasse zwischen Thunersee und Eriz (Kt. Bern)*. – *Beitr. geol. Karte Schweiz. [N.F.]* 127.
- SCHLANKE, S. (1974): *Geologie der Subalpinen Molasse zwischen Biberburg SZ, Hütten ZH und Ägerisee ZG, Schweiz*. – *Eclogae geol. Helv.* 67/2, 243–332.
- ZIMMERMANN, M.A., KÜBLER, B., OERTLI, H.J., FRAUTSCHI, J.M., MONNIER, F., DERES, F., & MONBARON, M. (1976): *«Molasse d'eau douce inférieure» du plateau suisse*. – *Bull. Cent. Rech. Pau-SNPA* 10/2, 585–625.



STUFEN nach Péroles d'Aquitaine (Berne) SA
 Turbinenbohrung: 2489 - 2629
 2661 - 2759
 2875 - 2956
 3071 - 3299

Bohrung Linden 1
 Sedimentpetrographische Daten der Molasse