

# Sedimentpetrographische Analysen an Molasseabfolgen der Westschweiz

Von HEINZ MAURER\*)

Mit 38 Abbildungen und 24 Tabellen

Westschweiz  
Molasse  
Sedimentpetrographie  
Karbonatgehalte  
Schwermineralanalysen  
Statistische Untersuchungen

## Inhalt

Zusammenfassung, Summary	24
1. Einleitung und Problemstellung	24
2. Methodik	25
2.1. Bohrungen	25
2.2. Obertagsprofile	26
2.3. Probenbearbeitung	27
2.4. Nomenklatur	27
2.5. Statistische Programme	27
3. Schwermineralprofile der Bohrungen	28
3.1. Savigny 1	28
3.2. Sorens 1	29
3.3. Servion 1	30
3.4. Chapelle 1	32
3.5. Courtion 1	33
3.6. Peissy 1	34
3.7. Essertines 1	34
3.8. Cuarny 1	35
3.9. Zusammenfassung der schwermineralogischen Ergebnisse der Bohrungen	36
4. Schwermineralprofile an Oberflächen	37
4.1. Oberflächenprofile der Plateumolasse	37
4.1.1. Lithostratigraphische Gliederung der Plateumolasse	37
4.1.2. Profil 1	39
4.1.3. Profil 2	39
4.1.4. Schwermineralverteilung zwischen Yverdon und Mormont	41
4.1.5. Profil 3	42
4.2. Oberflächenprofile der Subalpinen Molasse	43
4.2.1. Gliederung der Subalpinen Molasse E von Lausanne	43
4.2.2. Profil I	43
4.2.3. Profil II	44
4.2.4. Profil III	45
5. Herkunft der Schwerminerale	46
5.1. Mt. Pélerin-Schüttung	46
5.2. Val d'Illeiez-Schüttung	47
5.3. Genfersee-Schüttung	47
5.4. Jura-Schüttung	48
6. Zeitlicher Ablauf der Schüttungen	48
6.1. „Rupélien“	49
6.2. „Chattien“ inférieur	50
6.3. „Chattien“ supérieur	51
6.4. „Aquitaniens“	51
7. Statistische Verfahren	51
7.1. Einleitung	51
7.2. Hauptkomponentenanalysen und Diskriminanzanalysen	53
7.3. Faktoren-Analyse (Q-Technik) mit rechtwinkliger Rotation	60
7.4. Cluster-Analysen	65
Dank	67
Literatur	67

\*) Anschrift des Verfassers: Dr. HEINZ MAURER, Geologisches Institut der Universität Bern, Baltzerstraße 1, CH-3012 Bern.

## Zusammenfassung

Vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile.

Im ersten Teil werden acht Bohrungen der Schweizerischen Molasse auf ihre Schwermineralverteilung und Karbonatgehalt hin analysiert. Die dadurch erzielten Schwermineralprofile werden in sedimentpetrographische Einheiten ( $E_1-E_{3+4}$ ) gegliedert und zueinander korreliert.

Derselbe Vorgang wurde an sechs ausgesuchten Oberflächenprofilen, deren drei aus der Plateaumolasse (= Mittelländische Molasse) zwischen Yverdon und Lausanne, der Rest aus der subalpinen Molasse SE Lausanne bis Vevey stammen, wiederholt. Bei der zunächst erfolgten Gliederung der schwermineralogischen Daten nach den lithostratigraphischen Formationen wurde festgestellt, daß die schwermineralogischen Grenzen nur partiell mit den lithostratigraphischen Grenzen übereinstimmen. Die verschiedenen Schwermineralvergesellschaftungen bieten jedoch ein gutes Beispiel für Korrelationen und führen damit zum Erkennen von verschiedenen Schüttungen. Im Untersuchungsgebiet sind es deren vier (Mt. Pélerin-, Val d'Illiez-, Genfersee- und Jura-Schüttung), die im „Chattien“ und „Aquitaniens“ ihre Materialströme abgelagerten. Die regionalen verschiedenen Schwermineralspektren liefern den Schlüssel zur Abgrenzung der distributiven Provinzen.

Der zweite Teil ist der Statistik zugewandt. In ihm wird zunächst durch verschiedene statistische Verfahren die Zugehörigkeit der Proben zu den jeweiligen Gruppen überprüft. Durch einen paarweisen Vergleich der Gruppen (Oberflächenprofile sowie Bohrprofile) ist es möglich, eine Aussage sowohl über die Güte ihrer Unterscheidbarkeit, als auch die zur Trennung diagnostischen Schwerminerale zu erhalten. Anhand vieler graphischer Darstellungen wird auch einem Nichtfachmann ein Ergebnis verständlich dargelegt.

## Summary

The study presented consists of two parts.

In the first part the heavy mineral composition and carbonate-contents of samples from 8 Swiss-molasse boreholes are determined. The heavy mineral profiles are classified in units ( $E_1-E_{3+4}$ ) and then the correlation of these units was attempted.

The same procedure was repeated on six selected surface-profiles. Three of them were taken from the Plateaumolasse (= Mittelländische Molasse) between Yverdon and Lausanne while the others were from the Subalpine Molasse from the areas SE of Lausanne up to Vevey.

The above described classification of the heavy mineral data was correlated with the lithostratigraphically established Formations. This showed that the heavy mineral boundaries correspond fairly well with the distinction of the different alluvial fans. In the study area four major alluvial fans can be distinguished (Mt. Pélerin-, Val d'Illiez-, Genfersee- and Jura fan) which deposited vast amounts of material during the chattien and aquitanien.

The regional delineated heavy mineral spectra result in the recognition of the distributive provinces.

The second part reports on the results of the statistical analyses. Different statistical procedures confirmed the grouping of the samples. The comparison of the analyses of the surface samples with those of the boreholes proved the validity of the previously made differentiation as well as the diagnostic heavy mineral trends. The results of this study are illustrated by several detailed diagrams.

## 1. Einleitung und Problemstellung

Die Erdölfunde der 50<sup>er</sup> Jahre im süddeutschen Molassebecken lösten bei den Erdölfirmer intensive sedimentpetrographische Untersuchungen aus, deren Resultate sich in einer Reihe von Publikationen widerspiegeln. Vorweg sind hier die Arbeiten von FÜCHTBAUER (1954, 1955a, 1955b, 1958) sowie von LEMCKE (1953, 1955) zu nennen, die sich auf die Erforschung der deutschen Alpenmolasse erstreckten. Erst mit der im Jahre 1964 erschienenen Arbeit von FÜCHTBAUER „Sedimentpetrographie der Älteren Molasse nördlich der Alpen“

wurde auch die Schweizerische Molasse in die Untersuchungen miteinbezogen. In dieser Arbeit werden aufgrund von schwermineralogischen Untersuchungen sowie Karbonat- und Korngrößenbestimmungen die zeitlichen Abfolgen auf Schüttungskärtchen dargestellt. Dabei werden die unterschiedlichen Charakteristika der einzelnen Schuttfächer gegeneinander ausgespielt. Wie sich jedoch zeigte, fehlt in dieser Arbeit eine Behandlung des westschweizerischen Molassebeckens, vor allem was den Schuttfächer des Mt. Pélerin betrifft.

Fast zur selben Zeit (1965) erschien als Habilitationsschrift von GRIMM die Arbeit mit dem Titel „Schwermineralgesellschaften in Sandschüttungen, erläutert am Beispiel der süddeutschen Molasse“. Darin werden in einem ersten Abschnitt die wichtigsten Faktoren besprochen, denen eine Mineralgesellschaft auf dem Weg vom Liefergebiet zum Ablagerungsort unterliegt. In einem zweiten Abschnitt wird ein Überblick über den Stand der schwermineralogischen Kenntnisse in der süddeutschen Molasse gegeben. Am Beispiel dieses Sedimentationsbeckens wird dargestellt, welche Möglichkeiten die Schwermineralanalyse zur Korrelation von Sedimentprofilen sowie bei der Rekonstruktion paläogeographischer Verhältnisse bieten kann. In einem dritten Abschnitt wird auf die Schwermineralassoziaton der Chattien-Sande in Südostbayern eingegangen, wobei drei wichtige Schüttungen ausgeschieden werden.

Wertvolle Erkenntnisse brachten die Untersuchungen von BÜCHI (1965). In dieser Arbeit werden Bohrprofile von Erdölbohrungen der Zentral- und Ostschweiz lithofaciell gegliedert. Anhand von Lithofacies und Sedimentpetrographie lassen sich die paläogeographischen Gegebenheiten während der Molassezeit rekonstruieren.

Die von FÜCHTBAUER (1967) erschienene Arbeit mit dem Titel „Sandsteine in der Molasse nördlich der Alpen“ stellt eine verbesserte Fassung seiner 1964 publizierten Arbeit dar. Darin werden anhand der sedimentpetrographischen Befunde (Leicht- und Schwerminerale, Karbonatgehalt) erstmals drei verschiedene Sandsteintypen ausgeschieden. Diese gestatten es, nicht nur eine zeitliche Ordnung vorzunehmen, sondern auch deren Ursprungsgesteine zu bestimmen. Aufgrund von Mineraluntersuchungen ist es möglich, die Materialströme in den verschiedenen lithostratigraphischen Formationen zu rekonstruieren.

Die von GASSER (1966, 1968) durchgeführten sedimentologischen Untersuchungen in der äußeren und inneren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuch (westlich von Luzern), brachten die Bedeutung der Sedimentpetrographie klar ans Tageslicht. Mittels der Schwermineralanalyse war es möglich, die Granitische Molasse (Untere Süßwassermolasse = USM) in einen höheren, epidotreichen, und einen tieferen apatitreichen Teil zu gliedern. Dadurch konnte eine genaue Interpretation der Tektonik gewonnen werden. In der 1968 erschienenen Arbeit, die die Innere Zone der subalpinen Molasse betrifft, werden die Beichlen-Farneren-Schuppe und die Hilfren-Schuppe nach sedimentpetrographischen Kriterien untersucht. Ihre Schwermineralvergesellschaftung drückt sich durch eine Granat-Apatit-Kombination mit zunehmendem Spinellgehalt gegen das Hangende aus. Durchgeführte schwermineralogische Untersuchungen in den heute im Rückland anstehenden Flyschkomplexen erbrachten eine Übereinstimmung mit den Flyschgesteinen der präalpinen Decken. Mittels statistischer Bearbeitung der sedimentpetrogra-

phischen Daten war es möglich, die profilmäßig erfaßten Gesteinsabfolgen des Stampien näher zu charakterisieren und zu unterscheiden.

Die aus dem Jahre 1974 stammende Arbeit mit dem Titel „Geologie der Subalpinen Molasse zwischen Biberbrugg SZ, Hütten ZH und Aegerisee ZG, Schweiz“ von SCHLANKE beschäftigt sich mit Schwermineral- und Karbonatanalysen. Mit ihrer Hilfe konnten einerseits verschiedene Molasse-Schuttfächer abgegrenzt werden, andererseits eine neue tektonische Interpretation erzielt werden. Ferner wurde versucht, eine lithostratigraphische Korrelation zu den benachbarten Molassegebieten wiederzugeben.

Im engsten Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit stehen die Untersuchungen von VERNET. In mehreren Arbeiten, beginnend mit den sedimentpetrographischen Untersuchungen bei Morges (1958), bis zu seinem publikationsreichsten Jahre 1964, mit den Arbeiten aus der Gegend von Bulle, Yverdon, der Bohrung Peissy 1 und aus dem Val d'Illicz konnte ein ausgedehntes Gebiet sedimentpetrographisch erfaßt werden. Die Resultate, vor allem die Schwerminerale, sind jedoch nur bedingt verwendbar. Die Ursache dafür lag erstens in einem von unserer Arbeitsweise abweichenden Auszählungsmodus und zweitens wurde – mit Ausnahme der Arbeiten von Yverdon und Val d'Illicz – eine andere Aufbereitungsmethode gewählt, die den diagnostisch wichtigen Apatit zerstörte und dadurch das Bild der Schwermineralvergesellschaftung verfälschte.

In der 1969 von WAGNER erschienenen Arbeit werden drei Molasseprofile (La Morges, Le Biaz und La Roulavaz) mit zwei Profilen (Le Jamaloup und Le Fornant, vgl. WAGNER & WELLHÄUSER, 1966), die aus den Molassebecken von Bellegarde-Seysse (Hâute Savoie, Frankreich) stammen, sedimentpetrographisch korreliert. Anhand der Schwerminerale ist es möglich das „Chattien“ in drei Zonen zu gliedern. In einem eigenen Kapitel wird auf die Herkunft der Schwerminerale eingegangen. Dabei werden bestimmte Schwermineralassoziationen einem bestimmten Liefergebiet zugesprochen.

Die von SCHLANKE et al. (1978) litho- und sedimentpetrographisch durchgeführten Untersuchungen der Bohrung Tschugg 1 und Ruppoldsried 1 geben ein Beispiel dafür, daß sich mit Hilfe der Schwermineralanalyse beide Bohrungen gliedern und korrelieren lassen.

Mit einigem Erstaunen wird jedoch in der Schwermineralassoziation ein relativ hoher Spinellgehalt sowie ein Fehlen von Alkalihornblende festgestellt. Eigene weiter östlich bei Wynau (MAURER et al., 1982) durchgeführte Schwermineralanalysen, zeigen einen weitaus geringeren Spinellgehalt sowie das Vorkommen von Alkalihornblende. Beide SM besitzen für das „Chattien“ inférieur einen Leitwert und werden der Genfersee-Schüttung zugeordnet.

Eine instruktive Arbeit ist die Dissertation von MONNIER (1979). In dieser werden Proben diverser Bohrungen der Schweiz auf ihren Leichtmineral-, Karbonat- und Tonmineralgehalt röntgenologisch untersucht. Die Resultate der einzelnen Bohrungen führen zur Bildung von mineralogischen Sequenzen (S1–S7), die bei der Korrelation mit den anderen Bohrungen als „Unités corrélatives“ ausgeschieden werden. MONNIER überzeugt in seiner Arbeit von der Notwendigkeit einer elektronischen Datenverarbeitung, bei der sich anhand von Faktorenanalysen deutliche Unterschiede innerhalb der einzelnen Bohrungen erkennen lassen.

Nach dem Stand der heutigen Erkenntnisse ergab sich eine regionale Lücke (subalpine Molasse E Lausanne) an sedimentpetrographischen Informationen, die es zu schließen galt. Dazu wurden in einem ersten Schritt der Schwermineralbestand und Karbonatgehalt diverser Bohrungen der Westschweiz bestimmt. Nach den lithologischen Merkmalen umfassen die Bohrungen die Stufen des „Rupélien“, „Chattien“, „Aquitaniens“ und des „Burdigaliens“. Nach der in der Schweiz üblichen Großgliederung läßt sich der Untersuchungsbe reich ebenfalls in eine Untere Meeresmolasse (UMM), einer Unteren Süßwassermolasse (USM) und den tieferen Teil der Oberen Meeresmolasse (OMM) einteilen. Da jedoch in den Bohrungen jegliche Leitfossilien fehlten, die eine biostratigraphische Zonierung ermöglicht hätten, wurden in einem zweiten Schritt sechs Oberflächenprofile beprobt, wo es teilweise anhand von Säuger- oder Pollenbefunden gelungen war, eine altersmäßige Zuordnung vorzunehmen\*).

Als vielversprechendes Hilfsmittel in der Sedimentpetrographie gelten die Schwerminerale, konventionell all jene Minerale, die eine Dichte  $D > 2,88$  haben. Die Schwermineralanalyse eines Sediments besteht in der Bestimmung der darin vorkommenden Schwermineralarten und ihrem jeweiligen Mengenanteil an der Zusammensetzung des Gesamtsediments. Als Ergebnis der Schwermineralanalyse erhofft sich der Sedimentpetrograph die Gliederung eines Sedimentprofiles, die Korrelation von Sedimentprofilen und als Endziel die Rekonstruktion des Liefergebietes (= distributive Provinz), der Transport- und Ablagerungsverhältnisse sowie postsedimentären Prozesse durch Verwitterung und Diagenese.

Wie sich im Zuge der Untersuchungen jedoch sehr bald herausstellte, zeigten sich für zeitlich gleiche Abschnitte verschiedene miteinander verfigerte Schwermineralprovinzen. Dadurch können wir auf räumlich getrennte Schüttungen schließen, die qualitativ verschiedene Gesteinsmaterial angeliefert haben. Bei der Projektion der verschiedenen Schwermineralassoziationen in ein Raum-Zeitgefüge treten die Transportverhältnisse klar zutage und führen damit zum Erkennen der distributiven Provinzen.

In einem kleineren Rahmen wurde mittels der Schwerminerale und des Karbonatgehaltes versucht, den Mt. Pélerin-Schuttfächer in proximale und distale Faciesbereiche zu gliedern, sowie die komplizierte Tektonik der subalpinen Molasse E Lausanne besser zu verstehen.

## 2. Methodik

### 2.1. Bohrungen

Den Anfang unserer Untersuchungen bildete die Fortsetzung der sedimentpetrographischen Untersuchungen verschiedener Bohrungen im westschweizerischen Molassebecken (vgl. MAURER et al., 1980). Dazu wurden in der Regel von den an verschiedenen Orten gelagerten Bohrproben in Abständen von 30–50 m eine Sandprobe entnommen. Die ausgewählten Bohrungen sind aus

\*) Erwähnt sei hier, daß parallel zu meinen Untersuchungen in mehreren internationalen Projekten biostratigraphische Forschungen in der Molasse stattfinden, deren Ziel es ist, eine möglichst genaue Biostratigraphie sowie Korrelation auf größere Distanzen zu erarbeiten. Als ein wichtiges Kriterium für eine Zonierung gelten Kleinsäugerzähne.

Tab. 1 zu ersehen. Ihre regionale Lage vermittelt Abb. 1.

### 2.2. Obertagsprofile

Die Probenentnahme wurde in gut aufgeschlossenen Profilabschnitten vorgenommen, wobei größter Wert darauf gelegt wurde, nur Material der Psammitfraktion aufzusammeln. Die Dichte des Probennetzes wurde nach der zu erwartenden Schwermineralvergesellschaftung ausgerichtet, sie wurde dort enghesiger geführt, wo ein Wechsel in der Schwermineralassoziation zu erwarten war. Insgesamt wurden 170 Proben zwischen Yverdon und Vevey aufgesammelt und der Schwermineral- und Karbonatgehalt bestimmt. Dazu – allerdings in den statistischen Rechenprogrammen nicht berücksichtigt – kamen Proben aus dem Val d'Illiez, aus der Umgebung von Evian (Bohrproben) und aus den intrajurasischen Becken (ANTENEN, 1973), die dazu beitragen

ung ausgerichtet, sie wurde dort enghesiger geführt, wo ein Wechsel in der Schwermineralassoziation zu erwarten war. Insgesamt wurden 170 Proben zwischen Yverdon und Vevey aufgesammelt und der Schwermineral- und Karbonatgehalt bestimmt. Dazu – allerdings in den statistischen Rechenprogrammen nicht berücksichtigt – kamen Proben aus dem Val d'Illiez, aus der Umgebung von Evian (Bohrproben) und aus den intrajurasischen Becken (ANTENEN, 1973), die dazu beitragen

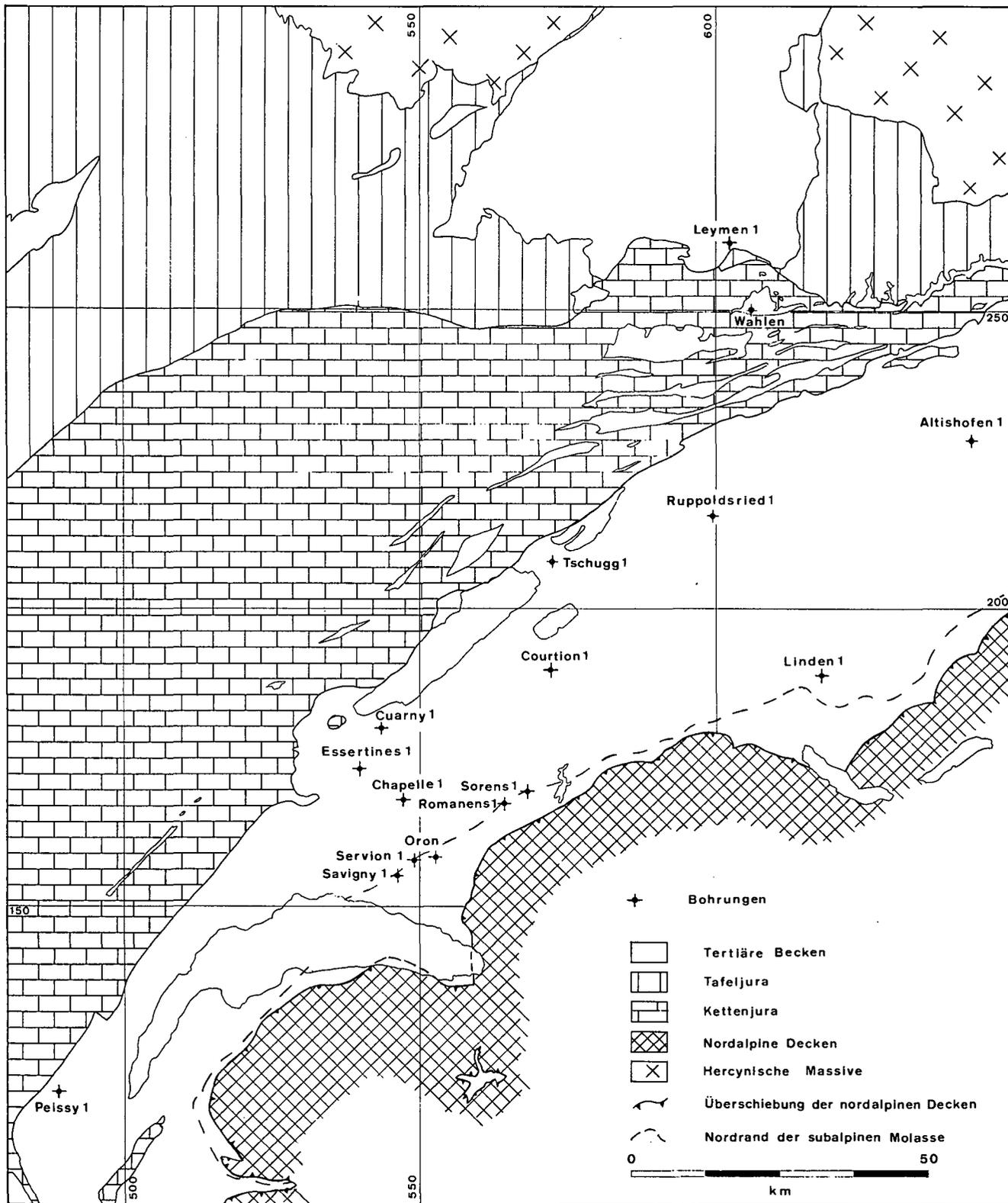


Abb. 1: Regionale Lage der Bohrungen.

Tabelle 1: Untersuchte Bohrungen.

Proximal:	Savigny 1	53 Spülproben
	Servion 1	19 Kernproben
	Oron	9 Kernproben
	Sorens 1	5 Kern-, 65 Spülproben
Median:	Chapelle 1	35 Spülproben
	Courtion 1	31 Spülproben
Distal:	Peissy 1	18 Kernproben
	Essertines 1	16 Spülproben
	Cuarny 1	15 Kernproben

das schwermineralogische Verteilungsmuster regional aufzuschlüsseln sowie die Lücken zwischen den einzelnen Bohrungen zu schließen. Insgesamt standen somit 436 Proben (Obertagsprofile + Bohrungen) zur Verfügung.

### 2.3. Probenbearbeitung

Die Oberflächenproben wurden mittels einer Presse vorsichtig zerkleinert und die Fraktion <2 mm (davon wurden 2 g für die Karbonatbestimmung zurückbehalten) mit 10-prozentiger Essigsäure versetzt. Nach dem Entkarbonatisierungsvorgang wurde das Probengut naß gesiebt (0,062–0,417 mm). Die Weiterverarbeitung war derjenigen von Spülproben gleich und geschah nach dem in Abb. 2 gezeigten Schema\*).

Bei den Schwermineralpräparaten wurden 100 durchsichtige Körner (ohne Granat) ausgezählt und gleich

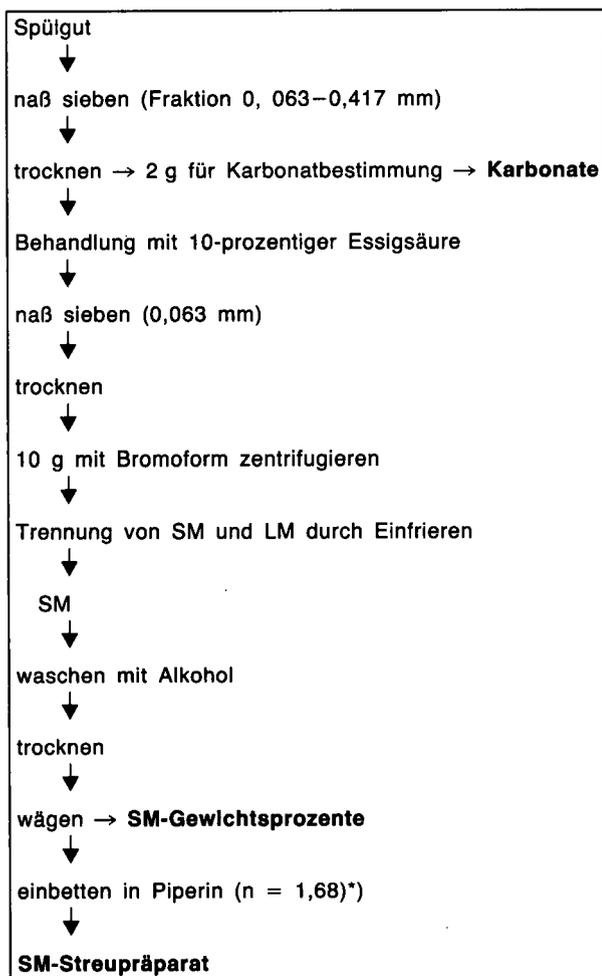


Abb. 2: Schema zur Weiterverarbeitung von Spülproben.

100 % gesetzt. Der Prozentgehalt des Granats wurde nach der Formel  $\text{Granat}/(100 \text{ SM} + \text{Granat})$  ermittelt. Die Schwermineral(= SM)-Formel wurde in Anlehnung der sedimentpetrographischen Formel von FÜCHTBAUER (1964) übernommen. Der Granat (G) wurde vorangestellt, groß geschrieben, wenn er das häufigste Schwermineral war, sonst klein. Die übrigen Schwerminerale wurden bei einem Anteil von >10 % groß geschrieben, von 2–10 % klein geschrieben. Akzessorische SM wurden in der SM-Formel nicht berücksichtigt. Die Schwerminerale wurden in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit aufgezählt. Es bedeuten: A = Apatit, AHBL = Alkalihornblende, D = Disthen, E = Epidot, H = Hornblende, M = Monazit, P = Pyroxen, S = Staurolith, S' = Spinell, T = Turmalin, T' = Titanit und  $\text{TiO}_2 = \text{SM}$  der  $\text{TiO}_2$ -Gruppe, R = Rest.

Die Karbonatgehalte wurden mittels komplexometrischer Titration (SCHWARZENBACH, 1960) bestimmt.

### 2.4. Nomenklatur

In Anlehnung an vorhergegangene Arbeiten (MAURER et al., 1978; 1980) wurde als Einteilungsschema der Bohrprofile eine „sedimentpetrographische Einheit“ (sensu Formation) verwendet. Dabei stimmen jedoch die einzelnen sedimentpetrographischen Einheiten nur bedingt mit den lithostratigraphischen Formationen überein. So entspricht die Einheit E<sub>1</sub> dem „Rupélien“ und tieferen Teil des „Chattien“ inférieur, die Einheit E<sub>2α,β</sub> dem höheren Teil des „Chattien“ inférieur, die Einheit E<sub>2γ</sub> dem „Chattien“ supérieur, die Einheit E<sub>3+4</sub> dem „Aquitaniens“ und „Burdigaliens“ und die Einheit E<sub>sub</sub> dem überschobenen Teil der subalpinen Molasse.

In der subalpinen Molasse der Westschweiz wurde eine Gliederung in lithostratigraphische Formationen vorgenommen, die Plateaumolasse (= Mittelländische Molasse) lediglich mit informellen Stufennamen bezeichnet.

### 2.5. Statistisches Programm

Zur Verarbeitung des umfangreichen Datenmaterials wurden folgende Rechen- und Zeichenprogramme verwendet:

1. Hauptkomponentenanalyse (Programm DISK von FABER & NOLLAU, 1969).
2. Paarweise durchgeführte Diskriminanzanalysen (Programm STATPLOT von SCHAFROTH, 1978).
3. Faktorenanalysen im Q-Modus (Programm COVAP von MANSON & IMBRIE, 1964).
4. Clusteranalysen im Q-Modus (Programm DENDROGRAPH von MC CAMMON & WENNINGER, 1970).

\*) Die Korngrenzen eines Kornes erscheinen bei niedriger Lichtbrechung (<1,68) orange bis gelb (Quarz, Muskovit, Baryt, Hornblende, Turmalin). Entspricht die Lichtbrechung dem Einbettungsmittel, dann sind die Korngrenzen grün. Körner mit einer höheren Lichtbrechung (1,70–1,76) zeigen beim Heben des Tubus einen gelben Rand mit einem blauen Innenrand, der sich zum Zentrum des Kornes fortsetzt (Granat, Epidot, Disthen, Staurolith, Augit, Chloritoid). Entgegen der ausführlichen Beschreibung von MARTENS (1932) sei darauf hingewiesen daß – um einen Rekristallisationsprozeß von Piperin zu verhindern – bei einer Temperatur von 180°C und einer Dauer von 1 Stunde der Brechungsindex (n = 1,68) von Piperin rapide abfällt und die damit erzielten Vorteile verschwinden. Es wird empfohlen das Streupräparat bei 180°C solange zu erhitzen, bis sich an dessen Außenrandung ein dunkelbrauner Streifen bildet.

### 3. Schwermineralprofile der Bohrungen

#### 3.1. Savigny 1

(vgl. Abb. 3)

Die ca. 8 km NE Lausanne gelegene Bohrung Savigny 1 wurde 1960 auf einer Höhe von 838 m mit den Koord. 546,271/155,312 angesetzt. Sie erreichte eine Endteufe von 2486 m. Sachbearbeiter dieser Bohrung waren die Herren LEMCKE, der seine Resultate (1963) publizierte, sowie BERSIER, der nur unveröffentlichte Berichte hinterlassen hat. Die Aufnahmen beider Herren – vor allem für die Grenzziehung von Stufen – basierten auf den lithologischen Merkmalen, wobei LEMCKE jedoch den unterschiedlichen Änderungen des Schichtfallens besondere Bedeutung zumaß und damit die Überschiebung der subalpiner auf die autochthone Molasse festlegen wollte. Tab. 2 gibt die zum Teil sehr eklatanten Unterschiede wieder.

Tabelle 2: Schichtfolge der Bohrung Savigny 1 nach Angaben verschiedener Bearbeiter.

BERSIER (1960)		LEMCKE (1963)		MAURER (1983)	
0–17 m	Moräne (Würm)	0–17 m	Moräne	0–17 m	Moräne
17–625 m	Molasse à gypse et calcaires lacustres; <b>Chattien</b>	17–655 m	<b>Chattien</b>	17–400 m	„ <b>Chattien</b> “ inférieur
625 m	Überschiebung	655 m	Überschiebung	400 m	Überschiebung
625–1055 m	Molasse grès et marnes; <b>Aquitanien</b>	655–895 m	<b>Aquitanien</b>	400–720 m	„ <b>Aquitanien</b> “
		895 m	Überschiebung	720 m	Überschiebung
		895–1323 m	<b>Aquitanien</b>	720–1250 m	„ <b>Aquitanien</b> “
1055–1540 m	Molasse, calcaires lacustres sans gypse; <b>Chattien supérieur</b>	1323–1660 m	Süßwasserkalk-Anhydritserie; <b>Chattien</b>	1250–1450 m	„ <b>Chattien</b> “ supérieur
		1660–2307 m	<b>Chattien</b>		
1540–2322 m	Molasse grès et marnes fonces; <b>Chattien inférieur</b>	2307–2321 m	?Grès de Vaulruz; <b>Rupéllen</b>	1450–2321 m	„ <b>Chattien</b> “ inférieur + „ <b>Rupéllen</b> “

Bei diesem Vergleich fallen die unterschiedlichen Mächtigkeiten der Stufen, sowie die Höhe der Überschiebung auf. Nach BERSIER gibt es nur eine Überschiebung, die bei 625 m liegt, bei LEMCKE sogar deren zwei; die sogenannte Hauptüberschiebung bei 655 m (gemessenes Einfallen 22–72°) und eine weitere Überschiebung bei 895 m (gemessenes Einfallen 4–17°). Nach den schwermineralogischen Befunden liegt die Hauptüberschiebung bei ca. 720 m und eine Aufschiebung befindet sich bei ca. 400 m.

Da sich die Untersuchungen mittels Schwerminerale in der Molasse recht gut bewährt haben, wurden 53 Spülproben der Bohrung Savigny 1 auf den Schwermineral- und Karbonatgehalt untersucht. Dabei konnten die in Tab. 3 angeführten Einheiten erkannt werden.

In der Einheit  $E_{sub}$  lassen sich zwei verschiedene Schwermineralspektren feststellen:

a. einen höheren, älteren Abschnitt (0–ca. 400 m), der

Tabelle 3: Sedimentpetrographische Einheiten in der Bohrung Savigny 1.

SP-Einheit	SM-Formel	Probenzahl	Bohrteufe	Epidot/Apatit-Verhältnis
$E_{sub}$	g,A,E, AHBL	7	0–400 m	0,32
$E_{sub}$	g,E,A	8	–≈720 m	0,20
$E_{3+4}$	g,E,A,t	11	–1250 m	1,81
$E_{2\gamma}$	g,A,E,t,z,s	5	–1450 m	0,82
$E_{2\beta}$	g,A,E,T,Z	4	–1650 m	0,22
$E_{2\alpha}$	G,A,t,e,z,s',tio <sub>2</sub>	10	–2100 m	0,17
$E_1$	G,A,S',t,z	8	2321 m	0,09

durch eine Apatit-Epidot-Alkalihornblende-Vergesellschaftung gekennzeichnet ist. Bei einem Vergleich dieser SM-Assoziation mit Oberflächenproben der subalpiner Molasse ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit dem Profil I (vgl. Abb. 18) und Profil II (vgl. Abb. 19). Beide Profilausschnitte werden der Molasse rouge zugeteilt und entsprechen dem „Chattien“ inférieur.

b. einen tieferen, jüngeren Abschnitt (ca. 400–ca. 720 m), in dem eine Verschiebung des Epidot/Apatit-Verhältnisses zugunsten des Epidots (Mittel 69 %) stattfindet. Der Apatit zeigt einen Mittelwert von ca. 21 %, die Alkalihornblende ist nicht mehr vorhanden. Vergleicht man diese Epidot-Apatit-Vergesellschaftung mit den SM des Profils II (St. Amour), so zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Proben des „Aquitaniens“. Demnach fehlt sowohl in der Bohrung, als auch im NW der Bohrung aufgenom-

menen Profil II die Molasse à charbon (= „Chattien“ supérieur). Diese ist jedoch im Profil I (Paudèze, ca. 6 km SW der Bohrung gelegen) vorhanden.

Die Grenze von subalpiner zur autochthoner Molasse ist problematisch. Sie wurde bei 720 m Teufe\*) festgelegt, da sich hier eine Abnahme des Epidots und des Granats abzeichnet. Der Dolomitgehalt, im Durchschnitt mit 7 % vertreten, zeigt ebenfalls fallende Werte.

Die Einheit  $E_{3+4}$ , die von 720–1250 m reicht, ist durch eine Epidot-Apatit-Vergesellschaftung mit Nebengemengteilen von Turmalin charakterisiert.

Von 1250–1450 m tritt eine Veränderung in der Schwermineralvergesellschaftung ein: der Epidot zeigt eine deutliche Abnahme, der Apatit dagegen eine merkliche Zunahme. Weiters sind ansteigender Granatgehalt, erhöhter Dolomitgehalt und vermehrtes Auftreten von Staurolith zu verzeichnen. Zusammengefaßt spiegelt diese Einheit  $E_{2\gamma}$  den Umschlag von einer Epidot- zu einer Apatitfacies wieder.

Die Einheit  $E_{2\beta}$  reicht von 1450–1650 m und ist durch einen weiteren Rückgang des Epidots sowie einen zunehmenden Apatit- und Granatgehalt gekennzeichnet. Erstmals tritt auch in dieser Einheit der Spinell auf, und ab 1500 m Anhydrit. Letzterer wurde separat gezählt und hat für Grenzziehungen keinen Einfluß. Seine untere Grenze wurde dort gezogen, wo er zum ersten Male stark abnimmt. Zwar kommt Anhydrit

\*) Diese Interpretation ist nach den Oberflächenproben gegeben (M. WEIDMANN, geol. Karte in Vorbereitung).

# SAVIGNY 1

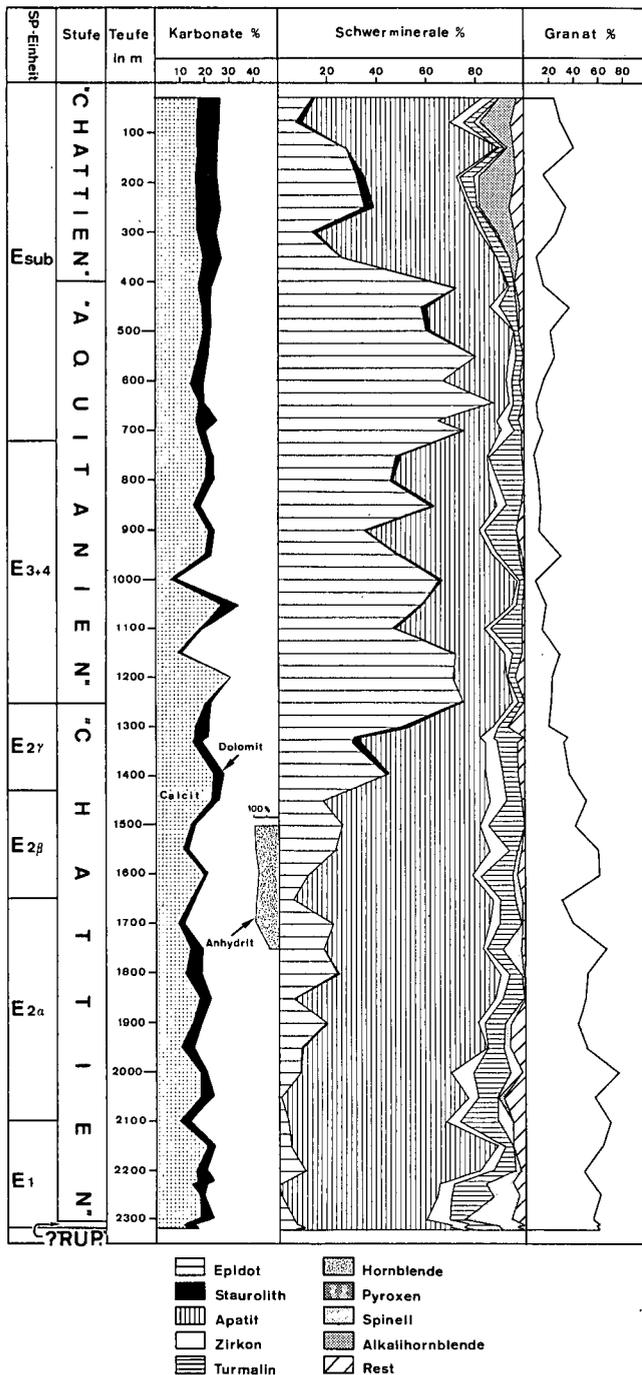


Abb. 3: Schwermineralprofil der Bohrung Savigny 1 (53 Spülproben).

bis in eine Teufe von 2250 m vor, doch dürfte es sich dabei um Nachfall des Probengutes handeln, da in Kernproben geringerer Teufe kein Anhydrit gefunden wurde. Die Grenze zur Einheit E<sub>2β</sub> wurde dort angenommen, wo einerseits der Epidot- andererseits der Granatgehalt ihr Minimum widerspiegeln.

Die Einheit E<sub>2α</sub> reicht von 1650–2100 m. In ihr ist der Epidot mit einzelnen Spitzen bis zu 20 % vertreten. Apatit, Granat sowie Spinell verzeichnen einen steigenden Trend. Erstmals kommen in diesem Abschnitt als Nebengemengteil Schwerminerale der TiO<sub>2</sub>-Gruppe vor.

Der Übergang zur Einheit E<sub>1</sub>, die von 2100–2321 m reicht, vollzieht sich ohne stark ausgeprägtes Merkmal. Geringfügige Abnahme des Granats und Epidots (von

10,4 auf 4,8 %) sowie ein deutlicher Anstieg des Spinells führen zu einer SM-Vergesellschaftung, in der Granat, Apatit und Spinell die Hauptgemengteile bilden.

Zusammenfassend lassen sich in der Bohrung Savigny 1 anhand der Schwerminerale sowie des Karbonatgehaltes charakteristische Merkmale erkennen, welche die einzelnen sedimentpetrographischen Einheiten kennzeichnen. Bei den Schwermineralen liegt das Kriterium primär im Verhältnis von Epidot zu Apatit. Ein weiteres Attribut bilden die Schwerminerale Alkalihornblende und Spinell, die für das „Chattien“ inférieur charakteristisch sind. Bei den Karbonaten hat lediglich der Dolomitgehalt einen Aussagewert. Als Besonderheit gilt das Vorkommen von Anhydrit, der ursprünglich als Gips gebildet, jedoch wegen der Bohrteufe dehydriert wurde. Für die Diagnose bei Milieuinterpretationen ist es sehr gut verwendbar, als schwermineralogischer Indikator jedoch ungeeignet.

### 3.2. Sorens 1 (vgl. Abb. 4)

Die Bohrung Sorens 1 mit den Koord. 568,470/169,180 wurde nahe der Überschiebungsfläche der subalpinen Molasse auf die autochthone Molasse niedergebracht. Sie erreichte eine Endteufe von 3165 m. Sachbearbeiter der Bohrung war PERRY, dessen Bericht aus dem Jahre 1961 einem internen Rapport der B. P. zu entnehmen ist. Nach seinen Angaben besitzt die Bohrung die in Tab. 4 angeführte lithostratigraphische Gliederung.

Für die sedimentpetrographische Analyse wurden 60 Spülproben und 10 Kernproben herangezogen und auf ihre Schwermineralverteilung sowie Karbonatgehalt untersucht. Dabei konnten von oben nach unten sechs sedimentpetrographische Einheiten ausgeschieden werden (siehe Tab. 5).

In der Einheit E<sub>sub</sub> besitzen die Schwerminerale Epidot (42,6 % im Mittel) und Apatit (33,7 % im Mittel) sowie Staurolith den größten Anteil an der SM-Verteilung. Ein weiteres charakteristisches Merkmal für diese Einheit ist das akzessorische Auftreten von Alkalihornblende.

Der Übergang zur Einheit E<sub>3+4</sub> vollzieht sich abrupt und läßt sich durch folgende Merkmale festlegen: Zunahme des Epidots auf Kosten des Apatits, Verschwinden von Staurolith, starkes Zurücktreten von Granat- und Karbonatgehalt. Es sind also eine Anzahl Charakteristika vorhanden, die diese zeitliche Grenze auch mit einer deutlichen Änderung in der Schwermineralassoziation markieren.

In der Einheit E<sub>3+4</sub> manifestiert sich eine Schwermineralverteilung, in der nur mit geringfügigen Schwankungen der Epidot, gefolgt von Apatit, den größten prozentualen Anteil einnimmt. Für die obersten 70 m, die nach lithologischen Kriterien in das „Burdigalien“ zu stellen sind, gibt es auch schwermineralogische Evidenzen, die diese Zuordnung bestätigen. So zeigen die Proben 620 und 570 m ein Maximum an Epidot, mit einem Auftreten an akzessorischer Alkalihornblende. Ein weiterer Hinweis ist durch die starke Abnahme des Granatgehaltes und Karbonatgehaltes gegeben. In den untersten Partien der Einheit E<sub>3+4</sub> beginnt sich bereits eine Veränderung des quantitativen SM-Spektrums anzubahnen, in dem der Epidot stark abnimmt, der Apatit dagegen zunimmt. Diese Veränderung markiert die Oberkante der nächst tieferen Einheit E<sub>2γ</sub>.

Tabelle 4: Lithostratigraphische Gliederung der Bohrung Sorens 1.

J. T. O'B. PERRY (1961)		MAURER (1983)*	
0– 26 m	Quartär	0– 26 m	Quartär
26– 499 m	Chattien supérieur	26– 500 m	„Chattien“ supérieur
-----	Überschiebungsfläche	-----	Überschiebungsfläche
499– 539 m	Burdigalien	500– 572 m	„Burdigalien“
539–1350 m	Aquitaniens	572–1480 m	„Aquitaniens“
1310–1785 m	Chattien supérieur	1480–1830 m	„Chattien“ supérieur
1785–3098 m	Chattien inférieur	1830–3089 m	„Chattien“ inférieur
3098–3150 m	Rupéliens	3089–3150 m	„Rupéliens“
3150–3154 m	Eozän	3150–3154 m	Eozän

Die Einheit  $E_{2\gamma}$  ist durch einen mehrmaligen Wechsel in der Epidot-Apatitvorrangstellung geprägt. Der Zirkon und der Granat zeigen einen steigenden Wert. Bei ca. 1380 m kündigt sich eine Umstrukturierung in der Schwermineralassoziation an. Diese Tiefe ist die Grenze zur nächst tieferen Einheit  $E_{2\beta}$ .

Tabelle 5: Sedimentpetrographische Einheiten in der Bohrung Sorens 1.

SP-Einheit	SM-Formel	Probenzahl	Bohrteufe	Epidot/Apatit-Verhältnis
$E_{sub}$	g,E,A,S,ahbl	9	0–500 m	1,21
$E_{3+4}$	g,E,A,z,t	19	–1480 m	3,89
$E_{2\gamma}$	g,E,A,Z,t	19	–1830 m	1,40
$E_{2\beta}$	g,A,e,t,z,p,h	12	–2350 m	0,17
$E_{2\alpha}$	G,A,T,Z,s'	11	–2750 m	0,03
$E_1$	g,A,T,S',Z	10	–3150 m	0,01

In der Einheit  $E_{2\beta}$  figurieren neben den bestehenden Schwermineralen Apatit, Epidot, Turmalin und Zirkon auch solche aus der Gruppe der Pyroxene und Hornblenden. Bei den Pyroxenen handelt es sich hauptsächlich um Hypersthene und Enstatite. Die Hornblenden sind sehr wahrscheinlich aus den Pyroxenen entstanden. Dieser Vorgang läßt sich anhand des Miteinander-vorkommens in einem Korn beweisen (vgl. Abb. 5). Nach freundlicher Mitteilung von Herrn Dr. WEIDMANN stammen diese ultrabasischen Minerale von Gesteinen einer spilittischen Vergesellschaftung ab, wahrscheinlich ultrapenninisch, die im Kreideflysch aufgearbeitet worden sind. Danach wurden sie erodiert und an der Basis der USM resedimentiert. Dieser Prozeß ist jedoch nur dann denkbar, wenn die Hornblende vor allem aber der Pyroxen als Geröll transportiert wurde und nicht als detritisches Korn, denn beide Minerale sind gegenüber Verwitterung, wie auch intrastratal solution instabil (NIKEL, 1973). Das Vorkommen von Pyroxenen und Hornblenden dürfte dadurch auch in engster Beziehung zur Lithologie stehen. In seinem Rapport über die Bohrung Sorens 1 weist PERRY (1961) neben Mergeln und Siltsteinen auf das Vorkommen von „Porphyrgeröllen“ (1855–1880 m und 1975–1990 m) hin.

Der Übergang zur Einheit  $E_{2\alpha}$  ist nicht markant genug, um eine genaue Grenze zu ziehen. Sie wurde bei ca. 2350 m angesetzt, einer Tiefe wo der Epidot vollständig verschwunden ist. In dieser Einheit  $E_{2\alpha}$  ist eine leichte Zunahme von Calcit und Dolomit zu vermerken. In der Schwermineralverteilung zeigt sich das altbekannte Bild von Apatit mit vermehrten Gehalten an Zir-

kon und Turmalin. Akzessorisch tritt auch bereits hier der Spinell auf.

Mit dem erstmals als Hauptgemengteil erscheinenden Spinell bei 2753 m wurde die Grenze zwischen der Einheit  $E_{2\alpha}$  und  $E_1$  festgelegt. Diese Einheit  $E_1$  besitzt ein SM-Spektrum, welches aus Apatit, Turmalin, Spinell, Zirkon und Rutil besteht. Die Karbonatwerte zeigen gegenüber der Einheit  $E_{2\alpha}$  mehr oder weniger gleiche Gehalte außer in der tiefsten Probe (3147 m), wo der Karbonatwert auf das doppelte ansteigt. In dieser Einheit  $E_1$  sind die Stufen des unteren „Chattien“ inférieur und des „Rupéliens“ enthalten. Nach schwermineralogischen Kriterien lassen sich diese Stufen jedoch nicht auseinandernehmen.

Zusammenfassend besitzt die Bohrung Sorens 1 folgende schwermineralogischen Charakteristika (vgl. Abb. 4): Eine Epidot-Apatit-Vergesellschaftung mit Staurolith und Alkalihornblende bis zu einer Tiefe von 500 m, die der subalpinen Molasse entspricht, eine Epidotfacies bis ca. 1480 m, einen Übergangsbereich von einer Epidot- zu einer Apatitfacies (1480–1830 m), eine Apatitfacies (1830–2710 m) mit Einschaltungen von Pyroxenen und Hornblenden und einer Apatit-Spinell-Vergesellschaftung (2710–3150 m).

### 3.3. Servion 1 (vgl. Abb. 6)

Die im Jahre 1938/39 niedergebrachte Bohrung Servion 1 wurde mit den Koordinaten 549,010/157,800 auf einer Höhe von 765 m angesetzt. Nach ALTHAUS (1947) durchteufte die Bohrung die in Tab. 6 gezeigten Stufen.

Für die sedimentpetrographischen Untersuchungen wurden an 19 Kernproben die Schwerminerale und der Karbonatgehalt bestimmt. Die Resultate führten zur in Tab. 7 ersichtlichen Einteilung in sedimentpetrographische Einheiten.

Die Einheit  $E_{3+4}$ , die von 0–1143 m reicht, besteht aus einer Epidot-Apatit-Vergesellschaftung. Das Verhältnis Epidot zu Apatit beträgt 1 : 4,59. Zwischen 600 und 700 m Teufe zeigt sich eine plötzliche Abnahme des Epidots, was bedeutet, daß sehr wahrscheinlich ein anderer Schüttungseinfluß vorliegt. Die nach den lithologischen Kriterien vorgenommene Unterteilung in ein „Burdigalien“ und ein „Aquitaniens“ läßt sich mittels der Schwerminerale nur bedingt nachweisen. So konnte in der Probe 85 m eine Alkalihornblende bestimmt werden, in den beiden anderen Proben des „Burdigalien“ (Probe 29,2 und 109 m) fehlt diese diagnostisch wichtige Mineral. Durch diesen spärlichen Befund kann somit was die Grenze „Burdigalien“ – „Aquitaniens“ betrifft keine genaue Aussage gemacht werden. Daher wurde die von ALTHAUS postulierte Grenze bei 114 m belassen.

\*) Die Gliederung basiert größtenteils nach schwermineralogischen Ergebnissen. Wo Grenzziehungen nicht möglich waren, z. B. zwischen dem „Chattien“ inférieur und dem „Rupéliens“ wurde auf die Angaben von RIGASSI (1977) zurückgegriffen.

# SORENS 1

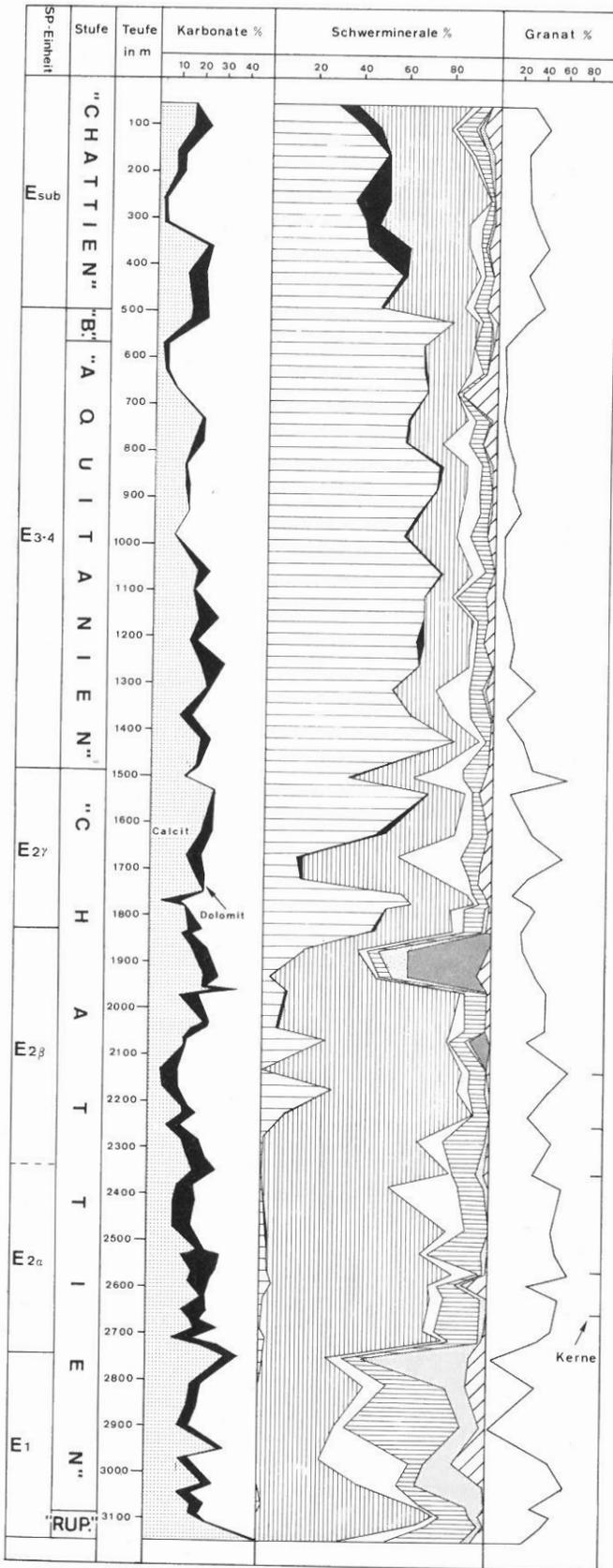


Abb. 4: Schwermineralprofil der Bohrung Sorens 1 (5 Kern-, 65 Spülproben); Legende siehe Abb. 3.

Hingegen gibt es für den Abschnitt 1143–1432,95 m schwermineralogische Hinweise, die für eine Zuordnung in das „Chattien“ sprechen. In diesem Abschnitt, der

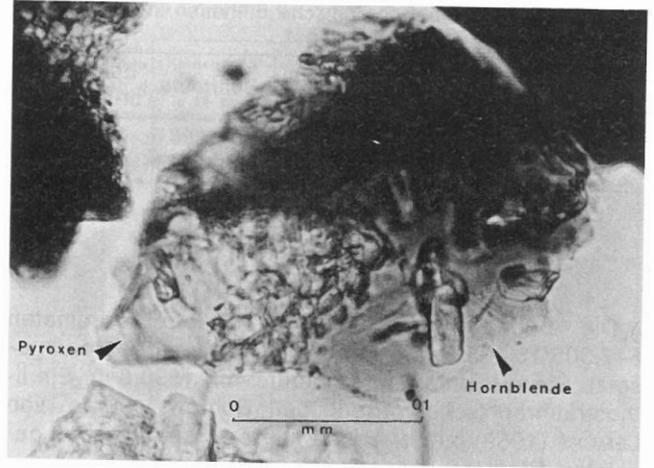


Abb. 5: Pyroxen-Hornblende-Korn aus der Bohrung Sorens 1 (1932 m).

die Einheit E<sub>2γ</sub> darstellt, verschiebt sich das Epidot/Apatit-Verhältnis zugunsten des Apatits (0,76). Vermehrte Anteile von Staurolith und Granat machen es sehr wahrscheinlich, daß in diesem Bereich der Übergang von der Epidot- zur Apatitfacies gesehen werden kann.

Tabelle 6: Lithostratigraphische Gliederung der Bohrung Servion 1.

ALTHAUS (1974)	MAURER (1983)
0– 114,00 m Burdigalien	0– 114,00 m „Burdigalien“
–1432,95 m Aquitanien	–1143 m „Aquitanien“
	–1432,95 m „Chattien“

# SERVION 1

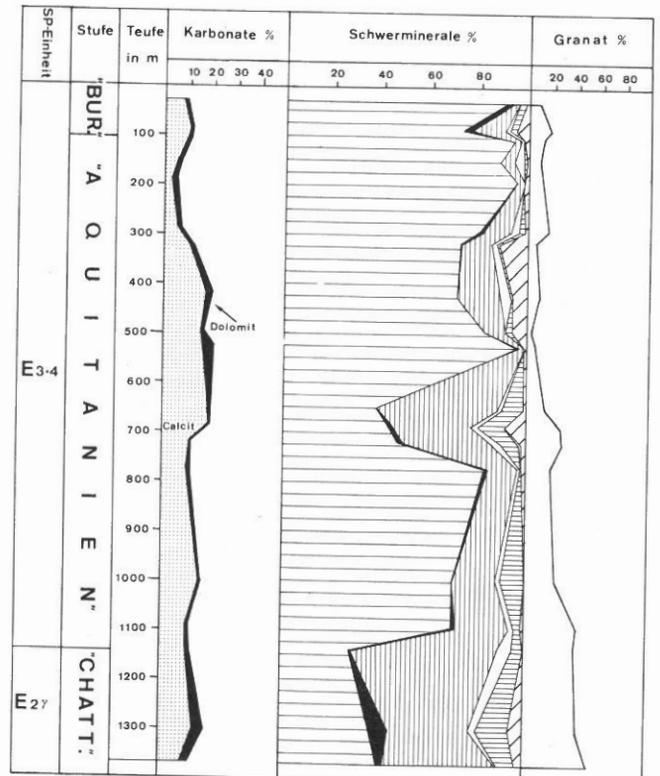


Abb. 6: Schwermineralprofil der Bohrung Servion 1 (19 Kernproben); Legende siehe Abb. 3.

Tabelle 7: Sedimentpetrographische Einheiten in der Bohrung Servion 1.

SP-Einheit	SM-Formel	Probenzahl	Bohrteufe	Epidot/Apatit-Verhältnis
E <sub>3+4</sub>	g,E,A,t'	16	0–1090 m	4,59
E <sub>2</sub>	g,A,E,t,s	3	–1432,95 m	0,76

### 3.4. Chapelle 1 (vgl. Abb. 7)

Die Bohrung Chapelle 1 mit den Koordinaten 547,305/168,359 wurde in einer Höhe von 760 m angesetzt. Sie erreichte eine Endteufe von 1530,8 m. Ein lithostratigraphisches Profil der Bohrung wurde von LEMCKE (1959) publiziert und führte zu der in Tab. 8 gezeigten Gliederung des tertiären Anteils.

Tabelle 8: Lithostratigraphische Gliederung der Bohrung Chapelle 1.

LEMCKE (1959)		MAURER (1983)	
0–17,0 m	Quartär	0–17 m	Quartär
17–112,0 m	Burdigalien	17–≈70 m	„Burdigalien“
112–≈1440,5 m	Untere Süßwassermolasse (?Aquitaniens + Chattien)	≈70–≈850 m	„Aquitaniens“
		≈850–≈1020 m	„Chattien“ supérieur
		≈1020–≈1440 m	„Chattien“ inférieur

Die Obere Molassemasse, die aus hellgrauen Sandsteinen mit etwas Glaukonit besteht, beginnt an ihrer Basis mit Quarzgeröllen. Darunter folgt die Untere Süßwassermolasse mit bunten Mergeln sowie grauen bis bräunlichen Sandsteinen und gelegentlich dünnen Einschaltungen von limnischen Kalken. Ferner konnten von 960–1050 m Tiefe kleinere Anhydritbröckchen beobachtet werden. Anhand dieser lithologischen Befunde war es LEMCKE jedoch nicht möglich, die USM näher zu unterteilen. Viel versprechender waren dagegen die Schwermineraluntersuchungen von Herrn Dr. L. RITTER (in LEMCKE, 1959), der in der Bohrung drei Schwermineralassoziationen ausschied: von 0–1000 m eine Epidot-Granat-Apatit-Zirkon-Vergesellschaftung, von 1000–1130 m eine Granat-Apatit-Epidot-Glaukophan-Zirkon-Vergesellschaftung und von 1130–1440,5 m eine Granat-Apatit-Zirkon-Glaukophan-Vergesellschaftung.

Eine ausführliche lithologische Beschreibung der Spülproben (alle 5 m) der Bohrung Chapelle 1 ist aus unveröffentlichten Berichten von BERSIER (1960) zu entnehmen. Auch hier wird nichts genaues über eine stratigraphische Zuordnung ausgesagt, lediglich eine Bemerkung auf Kohleführung in 1300 m Tiefe.

Da sich der Stand der Kenntnisse seit damals stark verbessert hatte, wurde auch diese Bohrung nach den modernsten Methoden untersucht. Dazu wurde – in Abständen von 50 m – ca. 200 gr Probenmaterial genommen, wobei jedoch das Augenmerk vorzugsweise der Psammitfraktion galt. Die Summe der untersuchten Pro-

Tabelle 9: Sedimentpetrographische Einheiten in der Bohrung Chapelle 1.

SP-Einheit	SM-Formel	Probenzahl	Bohrteufe	Epidot/Apatit-Verhältnis
E <sub>3+4</sub>	g,E,A,t',t	21	0–850 m	5,54
E <sub>2γ</sub>	g,E,A,t,s	4	–1020 m	1,61
E <sub>2β</sub>	G,A,e,t,s',ahbl	5	–1250 m	0,29
E <sub>2α</sub>	G,A,S',t,z,ahbl,e	7	–1440,5 m	0,15
E <sub>1</sub>	G,A,S',t,z,ahbl			

ben belief sich auf 37. Von den sedimentpetrographischen Untersuchungen wurden die Schwerminerale, sowie der Karbonatgehalt als die vielversprechendsten Parameter ausgewählt und in fünf Einheiten eingeteilt (siehe Tab. 9).

In der Schwermineralverteilung der Bohrung Chapelle 1 besitzen der Epidot und der Apatit den größten Anteil. In den Stufen des „Burdigalien“ und des „Aquitaniens“ (Einheit E<sub>3+4</sub>) ist der Epidot mit einem Anteil von 65–90 % vertreten, der Apatit liegt knapp über der 10 % Grenze und gehört demnach ebenfalls zu den Hauptgemengteilen. An Nebengemengteilen beteiligen sich der Titanit – ein Schwermineral, welches immer in Verbindung mit dem Epidot auftritt – und der Turmalin. Bemerkenswert ist das Vorkommen von Alkalihornblende, die als akzessorischer Anteil dem „Burdigalien“ eigen ist. Sie wurde als konstanter Begleiter bis in 60 m

Tiefe gefunden. In der Probe 80 m fehlt sie bereits, was für eine Zuordnung in das „Aquitaniens“ spricht. In der Einheit E<sub>2γ</sub>, die von 850–1020 m reicht, wechseln der Epidot und der Apatit ihre Positionen. Ein weiteres Merkmal ist das vermehrte Auftreten von Staurolith sowie ein deutlicher Anstieg des Granats (>50 %).

In der darunterliegenden Einheit E<sub>2β</sub> (1020–1250 m) hat sich der Apatit in seiner Führungsrolle manifestiert,

### CHAPELLE 1

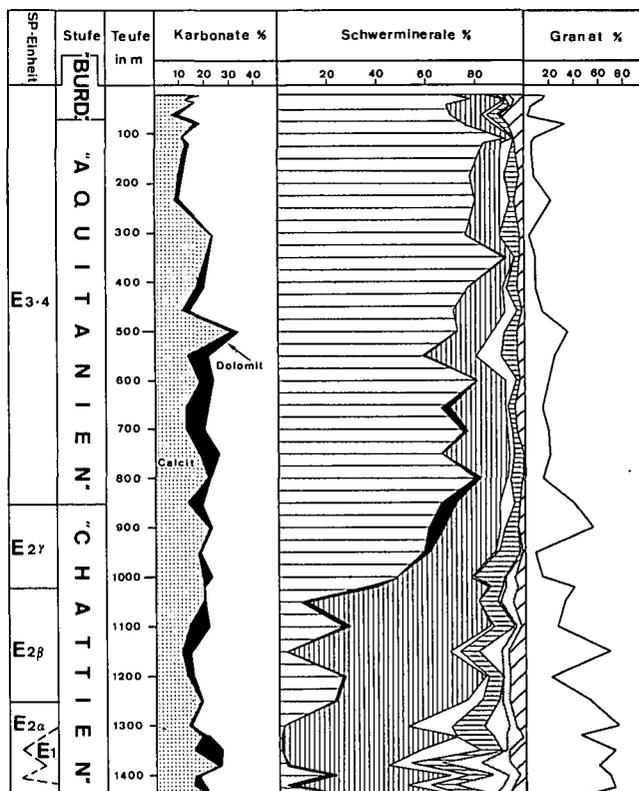


Abb. 7: Schwermineralprofil der Bohrung Chapelle 1 (35 Spülproben); Legende siehe Abb. 3.

der Epidot zeigt noch einzelne Spitzenwerte von 20 %, der Spinell sowie die Alkalihornblende treten erstmals im Spektrum auf.

Von 1250–1440,5 m wird die Einheit  $E_{2\alpha}$  und die Einheit  $E_1$  ausgeschieden, die sich gegenseitig verfangern. Als Unterscheidungskriterium dient der Epidot, der in der Einheit  $E_{2\alpha}$  vorhanden ist. Bei der Korrelation mit den Nachbarbohrungen (vgl. Kap. 7.3.) konnte im Faktorendiagramm die Zugehörigkeit der Proben erkannt werden. In der Einheit  $E_{2\alpha}$  sind es die Proben 1300, 1350, 1420 und 1440 m, in der Einheit  $E_1$  die Proben 1320, 1380 und 1400 m.

Zusammenfassend ergibt sich für die Bohrung Chapelle 1 folgendes Merkmal (vgl. Abb. 7): zwei Schwerminerale bilden den Hauptbestandteil der Bohrung, im Hangenden der Epidot, der das „Aquitaniens“ und das „Burdigaliens“ (Einheit  $E_{3+4}$ ) charakterisiert, im Liegenden der Apatit, der dem „Chattien“ inférieure (Einheit  $E_{2\beta}$ ,  $E_{2\alpha}$  und  $E_1$ ) entspricht. Dazwischen liegt die Einheit  $E_{2\gamma}$ , die dem „Chattien“ supérieure angehört. In ihr findet der Übergang von der Epidotfacies zu der Apatitfacies statt. Ein wichtiger „Marker“ ist die Alkalihornblende, die als akzessorischer Bestandteil das „Burdigalien“ kennzeichnet und als Neben- bis Hauptgemengsteil dem „Chattien“ inférieure eigen ist. Gleichfalls sehr charakteristisch ist der Spinell, der im „Chattien“ inférieure vorkommt.

### 3.5. Courtion 1 (vgl. Abb. 8)

Im Jahre 1960 wurde die Bohrung Courtion 1 mit den Koord. 572,41/189,42 abgeteuft. In einem internen Bericht der B.P., für welchen PERRY (1960) zuständig war, durchteufte die Bohrung die in Tab. 10 gezeigten Stufen (im Vergleich dazu die von mir vorgeschlagenen Grenzen).

Tabelle 10: Lithostratigraphische Gliederung der Bohrung Courtion 1.

PERRY (1959)		MAURER (1983)	
0– 19,2 m	Quartär	0– 19,2 m	Quartär
19,2– 780,0 m	Aquitaniens	19,2– ≈600,0 m	„Aquitaniens“
780– ≈1193,0 m	Chattien supérieure	600– 850,0 m	„Chattien“ supérieure
1193–1323,0 m	Chattien inférieure	850–1323,0 m	„Chattien“ inférieure

Nach der Beschreibung der Spülproben von PERRY (1960) wurde zwischen 632–638 m einige faserige Gipslagen gefunden. Dieser lithologische Befund spricht eher für ein „chattisches“ Alter („Chattien“ supérieure) als für ein „aquitanes“ Alter (vgl. JORDI, 1955).

Für die schwermineralogischen Untersuchungen und für die Bestimmung des Karbonatgehaltes wurden 28 Spülproben ausgewählt. Die Einteilung nach sedimentpetrographischen Einheiten wurde, wie in Tab. 11 zu ersehen, vorgenommen.

In der Einheit  $E_{3+4}$  (0–600 m) dominiert der Epidot, gefolgt von Apatit. Sie beide bilden zusammen mit mehr

Tabelle 11: Sedimentpetrographische Einheiten in der Bohrung Courtion 1.

SP-Einheit	SM-Formel	Probenzahl	Bohrteufe	Epidot/Apatit-Verhältnis
$E_{3+4}$	g,E,A,t	12	0–600 m	4,09
$E_{2\gamma}$	g,E,A,s,z,t	5	–850 m	1,43
$E_{2\beta}$	G,A,E,t,ahbl,s,z,s'	5	–1150 m	0,22
$E_{2\alpha}$	G,A,T,z,e,s,s'	5	–1323,5 m	0,22

## COURTION 1

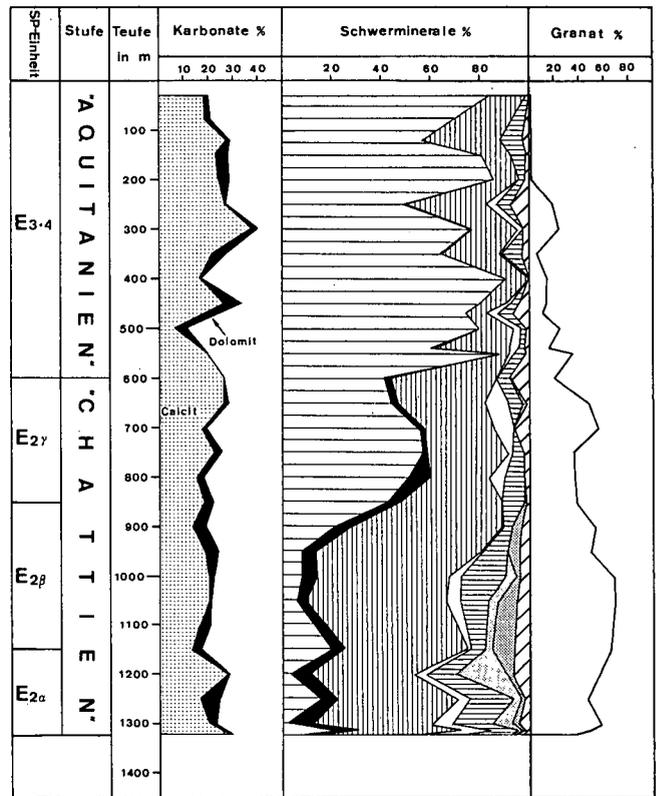


Abb. 8: Schwermineralprofil der Bohrung Courtion 1 (31 Spülproben); Legende siehe Abb. 3.

als 90 % die Hauptgemengteile des Schwermineralspektrums.

Mit der deutlichen Abnahme des Epidots sowie einem deutlichen Anstieg des Granats befinden wir uns in der

Einheit  $E_{2\gamma}$ , die von 600–850 m reicht. In diesem Übergangsbereich, wo sich der Wechsel von einer Epidot- zu einer Apatitvornmacht vollzieht, tritt erstmals der Staurolith als Nebengemengteil auf.

In der Einheit  $E_{2\beta}$ , die von 850–1150 m reicht, nimmt der Epidot weiterhin ab. Diese Einheit ist bereits dadurch gekennzeichnet, daß der Apatit im Schwermineralspektrum die Führungsrolle übernommen hat (Epidot/Apatit-Verhältnis 0,22). Charakteristisch ist das erstmalige Auftreten von Alkalihornblende, sowie im liegendsten Teil der Einheit  $E_{2\beta}$  das Vorkommen von Spinell.

In der Einheit  $E_{2\alpha}$  wird neben dem Apatit auch der Turmalin zum Hauptgemengteil. Im hangendsten Teil ist ein plötzlicher Anstieg des Spinells auf 21 % zu verzeichnen, der jedoch gegen das Liegende relativ schnell abnimmt.

Die Einheit  $E_1$  fehlt in der Bohrung Courtion 1.

Zusammenfassend besitzt die Bohrung Courtion 1 dieselben schwermineralogischen Eigenschaften wie die Bohrung Chapelle 1. In den jüngeren Serien der USM finden wir eine Epidotfacies vor, darauf folgt eine

Übergangszone (E<sub>2γ</sub>) von einer Epidot- zu einer Apatitfacies, die wiederum von einer Apatitfacies mit den charakteristischen Schwermineralen Alkalihornblende (sie setzt im Profil früher als der Spinell ein) und Spinell abgelöst wird. Die tiefste, epidotfreie Einheit E<sub>1</sub> wurde in der Bohrung Courtion 1 nicht abgelagert.

### 3.6. Peissy 1 (vgl. Abb. 9)

Ca. 12 km westlich von Genf wurde in den Jahren 1944 und 1945 die Bohrung Peissy 1 abgeteuft. Sie wurde auf 474 m Höhe mit den Koord. 489,970/119,055 angesetzt und erreichte eine Endteufe von 293,63 m. Eine ausführliche lithologische Beschreibung des Kernmaterials ist von LAGOTALA (1947; 1948) veröffentlicht worden. Dabei wurden vier Grundtypen von Gesteinen (Sandstein, Tonstein, Mergel und Kalkstein) ausgeschieden, wobei interessanterweise die Sandsteine mit 51,4 % den größten Anteil besitzen. Aufgrund der lithologischen Resultate konnte in der Bohrung ein höherer Komplex (31,5–250,8 m = Série marno-gréseuse) von einem tieferen Anteil (250,8–293,6 m = Série marnocalcaire de base) unterschieden werden. Beide gehören der Molasse bariolée (LAGOTALA, 1947) an und entsprechen dem „Chattien“ inférieur.

Im Jahre 1964 wurde die Bohrung von VERNET sedimentpetrographisch bearbeitet. An 36 Kernproben wurden Untersuchungen auf Schwerminerale, Leichtminerale und Karbonatgehalt durchgeführt. Die Schwerminerale ergaben eine Apatit-Epidot-Granat-Vergesellschaftung mit Nebengemengteilen von Spinell, Glaukophan und stabilen Schwermineralen. In den letzten 30 Metern der Bohrung, die dem kalkigen-mergeligen Abschnitt entsprechen, fehlt der Epidot vollständig. Für VERNET war dieses Fehlen ein Indiz, diesen Abschnitt mit den Calcaires de Grilly zu korrelieren.

Die zur Zeit in größerem Rahmen durchgeführten sedimentpetrographischen Untersuchungen machten es notwendig, diese Bohrung neu zu bearbeiten, bildet sie doch den westlichsten Punkt des Untersuchungsgebietes. Dazu wurden an 18 Kernproben die Schwerminerale und der Karbonatgehalt bestimmt. Eine Gliederung der Bohrung in sedimentpetrographische Einheiten erwies sich dabei als schwer durchführbar, da in der Bohrung das Konzept einer schwermineralogischen Abfolge nicht gewährleistet ist. Es lassen sich drei verschiedene Einheiten erkennen, wobei jedoch die Einheit E<sub>2β</sub> und die Einheit E<sub>2α</sub> sich gegenseitig verfingern, d. h. sehr wahrscheinlich aus der Zufuhr zweier verschiedener Schüttungen resultieren (siehe Tab. 12).

Die kontinuierliche Abnahme des Epidot/Apatit-Verhältnisses in den drei sedimentpetrographischen Einheiten, sowie das Auftreten von Spinell und Alkalihorn-

Tabelle 12: Sedimentpetrographische Einheiten in der Bohrung Peissy 1.

SP-Einheit	SM-Formel	Probenzahl	Bohrteufe	Epidot/Apatit-Verhältnis
E <sub>2β</sub>	g,E,A,s,t,t',z	7	33,1–44,5	1,12
			92,8	
			105,7–133,0	
E <sub>2α</sub>	G,A,E,t,z,s',s,t',ahbl	8	60,1; 81,5	0,28
			154,5–165,7	
			201,9–241,0	
E <sub>1</sub>	G,A,AHBL,T,s',t',z,s	3	276,5–290,3	0,05

## PEISSY 1

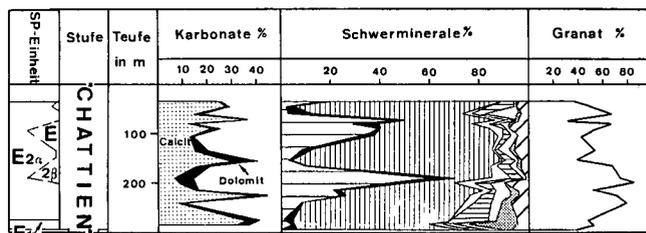


Abb. 9: Schwermineralprofil der Bohrung Peissy 1 (18 Kernproben); Legende siehe Abb. 3.

blende – letztere wird in der Einheit E<sub>1</sub> zum Hauptgemengteil – sprechen für eine Zuordnung in das „Chattien“ inférieur.

Ein direkter Vergleich der schwermineralogischen Ergebnisse mit VERNET (1964) ist nicht möglich, da die Proben aus unterschiedlicher Tiefe der Bohrung stammen. Prinzipiell hat jedoch auch VERNET die Schwankungen des Epidots erkannt (mit vier Spitzenwerten), sie aber nicht interpretiert.

### 3.7. Essertines 1 (vgl. Abb. 10)

Die Bohrung Essertines 1 wurde in den Jahren 1962 und 1963 bis zu einer Endteufe von 2936,1 m abgeteuft. Ihre Lage wurde mit den Koord. 539,775/173,490, H = 660,6 m angegeben. Der tertiäre Anteil der Bohrung umfaßt 337 m und wurde von den damaligen Bearbeitern der Bohrung (BÜCHI et al., 1965) in das „Chattien“ gestellt. Für unsere Untersuchungen wurden 15 Spülproben des tertiären Anteiles sowie eine Probe aus der Kreide (Probe 398 m) auf ihre Schwermineralvergesellschaftung analysiert. Tab. 13 zeigt die sedimentpetrographischen Einheiten, die dabei erkannt werden konnten.

Tabelle 13: Sedimentpetrographische Einheiten in der Bohrung Essertines 1.

SP-Einheit	SM-Formel	Probenzahl	Bohrteufe	Epidot/Apatit-Verhältnis
E <sub>2γ</sub>	g,E,A,ahbl,z,s',t,s	3	0– 94 m	1,13
E <sub>2β</sub>	G,A,E,t,s',ahbl,z,s,t'	5	–248 m	0,50
E <sub>2α</sub>	G,A,E,t,ahbl,s',s	6	–330 m	0,46
E <sub>1</sub>	G,A,S',ahbl	1	336 m	0,08
E <sub>Kreide</sub>	T,Z,tio <sub>2</sub>	1	398 m	

Das Schwermineralspektrum der Bohrung Essertines 1 besteht aus den diagnostisch wichtigen Schwermineralen Granat, Epidot, Apatit, Spinell und Alkalihornblende. Für die 336 m des tertiären Anteiles ist eine relative Konstanz in der Qualität mit einer geringfügigen Verschiebung in der Quantität der Schwerminerale zu verzeichnen. Daher ist es äußerst schwierig, rein vom visuellen Standpunkt eine Einteilung in sedimentpetrographische Einheiten vorzunehmen. Erst die Möglichkeit einer Korrelation mit den Nachbarbohrungen, sowie ein Vergleich mit den Oberflächenproben bringen den gewünschten Erfolg.

Bei der Erstellung einer Hauptkomponentenanalyse (vgl. Abb. 25) sowie eines Faktorendiagrammes (vgl. Abb. 37) werden unter Berücksichtigung sämtlicher Variablen (SM und Karbonatgehalt) die Ähnlichkeiten von Proben aufgezeigt, die damit zu einer Abgrenzung der jeweiligen Einheiten führen. Anhand des Faktorendia-

## ESSERTINES 1

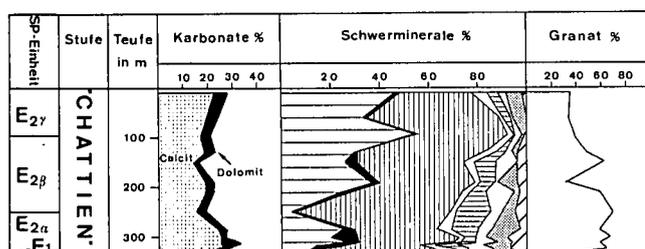


Abb. 10: Schwermineralprofil der Bohrung Essertines 1 (16 Spülproben); Legende siehe Abb. 3.

grammes konnte in der Bohrung eine Einheit  $E_{2\gamma}$  erkannt werden. Sie besteht im Profil aus den hangendsten drei Proben (0–94 m) und wird durch die Schwerminerale Epidot und Apatit gebildet. Als Nebengemengteile sind mit abnehmender Gewichtung Alkalihornblende, Zirkon, Spinell, Turmalin und Staurolith vorhanden.

In der Einheit  $E_{2\beta}$ , die von 94–248 m reicht, haben bereits Epidot und Apatit ihre Positionen getauscht (Epidot/Apatit-Verhältnis 0,50).

In der Einheit  $E_{2\alpha}$  (248–330 m) finden wir dieselbe SM-Assoziation wie in der Einheit  $E_{2\beta}$  lediglich das Epidot/Apatit-Verhältnis hat sich weiter verkleinert (0,46). In der Probe 286 m erreicht der Epidot einen Maximalwert von 25 %.

Die tiefste Probe des tertiären Anteiles (Pr. 336 m), die wir aufgrund des fast vollständigen Fehlens von Epidot in die Einheit  $E_1$  stellen, besitzt neben der normalen Schwermineralassoziation deutlich mehr Spinell und Staurolith als in der Einheit  $E_{2\alpha}$ .

Die Karbonatwerte der Bohrung liegen im Schnitt zwischen 18 % und 30 %. Sie zeigen von oben nach unten betrachtet (vgl. Abb. 10) zunächst einen schwach fallenden Verlauf der Kurve bis ca. 150 m. Von da ab bis 336 m nehmen die Werte generell wieder zu.

Die Probe 398 m, die aus dem unteren Hauterivien stammt, zeigt einen vollständigen Wechsel in der Schwermineralvergesellschaftung. Das Schwermineralspektrum setzt sich aus den ultrastabilen Mineralen Turmalin, Zirkon und Rutil sowie dem umlagerungsresistenten Staurolith zusammen.

### 3.8. Cuarny 1 (vgl. Abb. 11)

Die Bohrung Cuarny 1 wurde in den Jahren 1936 bis 1940 mit den Koordinaten 543,520/180,040 auf einer Höhe von 520 m niedergebracht. ALTHAUS (1947) hat ein Kurzprofil der Bohrung Cuarny 1 erstellt, wobei nach seinen Angaben die in Tab. 14 gezeigten lithologischen Abschnitte des tertiären Anteiles ausgeschieden wurden.

Tabelle 14: Lithologie des tertiären Anteiles in der Schichtfolge der Bohrung Cuarny 1.

0–121,0 m graue Mergel mit Gips	Chattien supérieur
–153 m Zone der Süßwasserkalke	Chattien moyen
–470 m Untere Bunte Mergel	Chattien inférieur
–475,5 m roter Boluston	

Nach JORDI (1955) beginnt die Bohrung im „Aquitaniens“. Er stellt die Grés de Cuarny bereits an die Basis des „Aquitaniens“, während ALTHAUS (1947) die Grés de Cuarny noch zu den Gipsmergeln zählt.

Tabelle 15: Sedimentpetrographische Einheiten in der Bohrung Cuarny 1.

SP-Einheit	SM-Formel	Probenzahl	Bohrteufe	Epidot/Apatit-Verhältnis
$E_{3+4}$	g,E,A,t,s	5	0–153 m	4,72
$E_{2\gamma}$	g,E,A,t,t',s	4	–338 m	1,10
$E_{2\beta}$	g,A,E,S,t,t',z	1	–362 m	0,44
$E_{2\alpha}$	g,A,E,t,s,s',ahbl	5	–470 m	0,33

Für die sedimentpetrographischen Untersuchungen wurden 15 Kernproben auserwählt. Die Analyse der Schwerminerale ergab vier charakteristische Abschnitte die den in Tab. 15 angeführten sedimentpetrographischen Einheiten zugeordnet werden können.

Die Einheit  $E_{3+4}$  wird durch ein Epidot/Apatit-Verhältnis von 4,72 gekennzeichnet. Akzessorisch sind Staurolith und Titanit vertreten. Sie reicht von 0–153 m.

Der Grenze zur nächst tieferen Einheit  $E_{2\gamma}$  wurde dort gezogen, wo der Epidot prozentual rasch abnimmt. Ein sehr wichtiges Merkmal ist durch Verlauf der Granatkurve gegeben, die bereits vor dem Epidotrückgang einen steigenden Trend zeigt und damit auf den Übergang von „Aquitaniens“ zum „Chattien“ supérieur hindeutet. Diese Einheit  $E_{2\gamma}$ , die den Übergangsbereich von einer Epidot- zu einer Apatitfacies darstellt, zeigt bereits ein ausgewogenes Epidot/Apatit-Verhältnis von 1,10. Zusätzlich ist ein vermehrtes Auftreten von Turmalin und Titanit sowie das erstmalige Auftreten von Alkalihornblende im liegendsten Teil zu verzeichnen. Die untere Grenze wurde dort gezogen, wo der Epidot plötzlich wieder ansteigt (62 %) und die Granatkurve einen Knick in ihrem Verlauf aufweist. Sie liegt bei 338 m. Die Einheit  $E_{2\beta}$ , die aus einer Probe (Pr. 362 m) besteht, ist nicht repräsentativ, wurde jedoch anhand der guten Übereinstimmung mit der Einheit  $E_{2\beta}$  von Peissy 1 und Chapelle 1 ausgeschieden. Schwermineralogisch zeigt sich bereits eine Apatitvormacht (Epidot/Apatit-Verhältnis 0,44).

Von 362 bis 466,5 m reicht die Einheit  $E_{2\alpha}$ . In ihr tritt eine quantitative Verschiebung des SM-Spektrums auf, indem der Epidotgehalt unter die 20 % Grenze fällt und der Apatit auf mehr als 50 % ansteigt. Das Epidot/Apatit-Verhältnis beträgt hier 0,33. Einen deutlichen Sprung nach oben macht der Granat (von 40 % auf 60 %). Staurolith, Spinell, Turmalin und Alkalihornblende bilden die Nebengemengteile in dieser Einheit. Der Karbonatgehalt ist stark schwankend, mit Spitzenwerten um 40 %, pendelt sich jedoch im tieferen Teil bei ca. 20 % ein.

Zusammenfassend besitzt die Bohrung Cuarny 1 ein Schwermineralspektrum, in dem eine kontinuierliche

## CUARNY 1

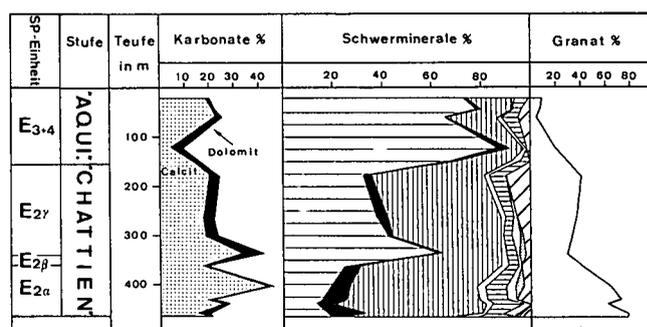


Abb. 11: Schwermineralprofil der Bohrung Cuarny 1 (15 Spülproben); Legende siehe Abb. 3.

Abnahme des Epidots (mit Ausnahme des Spitzenwertes bei 338 m), verbunden mit einer Zunahme des Apatits stattfindet. Im oberen Teil bis 153 m zeigt sich eine typische Schwermineralvergesellschaftung, die dem „Aquitaniens“ eigen ist, nämlich hoher Epidotgehalt mit Apatit und mäßiger Granatgehalt. Der drastische Rückgang des Epidots (30 %) verbunden mit dem erstmaligen Einsetzen von Alkalihornblende markiert den Bereich des „Chattien“ supérieur. Das „Chattien“ inférieur wird durch Alkalihornblende, Spinell, Staurolith und hohen Granatgehalt gekennzeichnet.

### 3.9. Zusammenfassung der schwermineralogischen Ergebnisse der Bohrungen

Eine tabellarische Zusammenfassung der Schwermineralspektren ist auf Tab. 16 wiedergegeben, eine Darstellung der Epidot/Apatit-Verhältnisse befindet sich auf Tab. 17.

fünffmal größer als der Apatitgehalt ist. Stratigraphisch wird diese Einheit mit den Stufen des „Aquitaniens“ und tieferen „Burdigaliens“ parallelisiert.

Die Einheit  $E_{2\gamma}$  ist diejenige, wo sich ein Wechsel in der Vormachtstellung von Epidot zu Apatit vollzieht. Gleichzeitig ist eine deutliche Zunahme des Granats feststellbar.

In der Einheit  $E_{2\beta}$  divergieren die Schwermineralspektren. Je nach Lage der Bohrungen, d. h. von welchem Materialstrom sie beliefert wurden, kommt es dabei zu verschiedenen Schwermineralassoziationen. So gehören die distalen wie auch medianen Bohrungen einem aus SW kommenden Materialstrom an, dessen kennzeichnende Schwerminerale Epidot, Apatit, Spinell und Alkalihornblende sind. Letztere ist ein typischer „Marker“, die der Genfersee-Schüttung eigen ist. In den proximalen Bohrungen ist eine Zunahme von Apatit, verbunden mit einer Abnahme von Epidot zu verzeich-

Tabelle 16: Schwermineralformeln in den jeweiligen sedimentpetrographischen Einheiten der Bohrungen.

sedimentpetrographische Einheit	Savigny 1	Sorens 1	Oron	Servion 1	Chapelle 1	Courtion 1	Peissy 1	Essertines 1	Quarny 1
$E_{sub}$	g,A,E,AHBL g,E,A	g,E,A,S,ahbl	g,A,s,t,z						
$E_{3+4}$ („Aqu.“)	g,E,A,t	g,E,A,z,t		g,E,A,t'	g,E,A,t	g,E,A,t			g,E,A,t,s
$E_{2\gamma}$	g,A,E,t,z,s	g,E,A,Z,t		g,A,E,t,s	g,E,A,t,s	g,E,A,s,z,t		g,E,A,ahbl,z,s',t,s	g,E,A,t,t',s
$E_{2\beta}$	g,A,E,t,z	g,A,e,t,z,p,h			G,A,e,t,s',ahbl	G,A,E,t,ahbl,s,z	G,E,A,s,t,t',z	G,A,E,t,s <sup>ahbl</sup> ,s,t'	g,A,E,s,t',z
$E_{2\alpha}$	G,A,t,e,z,s'	G,A,T,Z,s'			G,A,S',t,z,e,ahbl	g,A,T,z,e,s,s'	G,A,E,t,z,s <sup>s'</sup> ,t'ahbl	G,A,E,t,ahbl,s',s	G,A,E,t,s,s',ahbl
$E_1$	G,A,S',t,z	g,A,T,S',Z			G,A,S',t,z,ahbl	-----	G,A,AHBL,T,s',t',z,s	G,A,S',ahbl	-----

Der subalpine Anteil der Molasse ( $E_{sub}$ ) ist in den Bohrungen Savigny 1, Sorens 1 und Oron vorhanden. In Savigny 1 läßt sich dieser Anteil schwermineralogisch einem „chattischen“ und „aquitanen“ Teil zuordnen. Hingegen sind in Sorens 1 und Oron nur mehr die „chattischen“ Anteile vorhanden. Schwermineralogisch gehören die subalpinen Anteile von Savigny 1 und Sorens 1 der Genfersee-Schüttung an. Sie lassen sich auch nicht mit den altersgleichen, autochthonen Anteilen dieser Bohrungen korrelieren, da diese aus einer Verfälscherung von Val d'Illeiez- und Genfersee-Schüttung stammen.

Der autochthone Teil der Bohrungen läßt sich in verschiedene sedimentpetrographische Einheiten unterteilen. Die Einheit  $E_{3+4}$  wird in allen Bohrungen durch eine Epidot-Apatit-Vergesellschaftung gebildet, wobei der Epidotgehalt mit Ausnahme von Savigny 1 drei- bis

zehnmal größer als der Apatitgehalt ist. Stratigraphisch wird diese Einheit mit den Stufen des „Aquitaniens“ und tieferen „Burdigaliens“ parallelisiert. Die Einheit  $E_{2\gamma}$  ist diejenige, wo sich ein Wechsel in der Vormachtstellung von Epidot zu Apatit vollzieht. Gleichzeitig ist eine deutliche Zunahme des Granats feststellbar. In der Einheit  $E_{2\beta}$  divergieren die Schwermineralspektren. Je nach Lage der Bohrungen, d. h. von welchem Materialstrom sie beliefert wurden, kommt es dabei zu verschiedenen Schwermineralassoziationen. So gehören die distalen wie auch medianen Bohrungen einem aus SW kommenden Materialstrom an, dessen kennzeichnende Schwerminerale Epidot, Apatit, Spinell und Alkalihornblende sind. Letztere ist ein typischer „Marker“, die der Genfersee-Schüttung eigen ist. In den proximalen Bohrungen ist eine Zunahme von Apatit, verbunden mit einer Abnahme von Epidot zu verzeich-

nen. In Sorens 1 treten als lokale Besonderheit Pyroxene und Hornblenden auf. Ein Blick auf die Tab. 17 zeigt die sprunghafte Abnahme des Epidot/Apatit-Verhältnisses von der Einheit  $E_{2\gamma}$  zur Einheit  $E_{2\beta}$ . Lediglich in den distalen Bohrungen zeigen sich in der Einheit  $E_{2\beta}$  hohe Anteile von Epidot (Einfluß der Genfersee-Schüttung) und Staurolith (Einfluß der an verschiedenen Stellen auftretenden Jura-Schüttung).

In der Einheit  $E_{2\alpha}$  tritt als Charakteristikum in den proximalen Bohrungen, nebst einer starken Zunahme an Granat, der Spinell hinzu. Das Epidot/Apatit-Verhältnis hat sich weiterhin zugunsten des Apatits verschoben. In den distalen Bohrungen ist die Schwermineralvergesellschaftung derjenigen der Einheit  $E_{2\beta}$  sehr ähnlich, lediglich (mit Ausnahme der Bohrung Chapelle 1) eine Verschiebung des Epidot/Apatit-Verhältnisses ist feststellbar. Die Einheit  $E_{2\beta}$  und  $E_{2\alpha}$  entsprechen dem höheren „Chattien“ inférieur.

Die Einheit  $E_1$ , die dem tieferen „Chattien“ inférieur und „Rupéliens“ entspricht, besitzt fast keinen Epidot. In den proximalen Bohrungen, wie auch in Chapelle 1 verzeichnet der Spinell Anteile mit mehr als 10 % (Val d'Illeiez-Schüttung). In den distalen Bohrungen ist ein deutlicher Anstieg der Alkalihornblende feststellbar. In Courtion 1 und Quarny 1 fehlt die Einheit  $E_1$ .

Anhand unserer Ausführungen ist es möglich die Bohrprofile schwermineralogisch zu gliedern und korre-

Tabelle 17: Epidot/Apatit-Verhältnis in den jeweiligen sedimentpetrographischen Einheiten der Bohrungen.

	Savigny	Sorens	Oron	Servion	Chapelle	Courtion	Peissy	Essertines	Quarny
$E_{sub}$	0,32 3,20	1,21	0,01						
$E_{3+4}$	1,81	3,89		4,59	5,54	4,09			4,72
$E_{2\gamma}$	0,82	1,40		0,76	1,61	1,43		1,13	1,10
$E_{2\beta}$	0,22	0,17		0,29	0,22	1,12	1,12	0,50	0,44
$E_{2\alpha}$	0,17	0,03		0,35	0,22	0,28	0,28	0,46	0,33
$E_1$	0,09	0,01			0,03		0,05	0,08	

lieren. Unterschiedliche Schwermineralspektren, die zur gleichen Zeit auftreten, weisen dabei auf verschiedene distributive Provinzen hin.

#### 4. Schwermineralprofile

Zur Überprüfung unserer Erkenntnisse aus den diversen Bohrungen der Westschweiz wurden ca. 180 Oberflächenproben aufgesammelt. Die Entnahmestellen lagen alle mehr oder weniger zwischen Yverdon und Vevey und stammen sowohl aus der Plateaumolasse als auch aus der subalpinen Molasse. Die Proben wurden nach ihrer lithostratigraphischen Stellung geordnet und ihre Schwermineralverteilung dargestellt. Mangels durchgehender Aufschlüsse mußten oft mehrere Teil-

profile zusammengesetzt werden. Sechs von N nach S betrachtete Profile (Profil 1, 2, 3 und I, II, III) wurden sedimentpetrographisch untersucht (vgl. Abb. 12).

#### 4.1. Oberflächenprofile der Plateaumolasse

##### 4.1.1. Lithostratigraphische Gliederung der Plateaumolasse

Die lithostratigraphische Gliederung des Oligozäns der Plateaumolasse, nebst der Zonierung nach Säugertieren wurde aus der Dissertation von KISSLING (1974) übernommen. Auf der rechten Seite des Profiles sind die Reichweite der untersuchten Profile (vgl. Abb. 13) aufgetragen. Die in Klammern dahinter stehenden Zahlen entsprechen den Profilnummern aus der Dissertation von JORDI (1955). Eine lithostratigraphische Gliederung findet sich auch bei RIGASSI (1977).

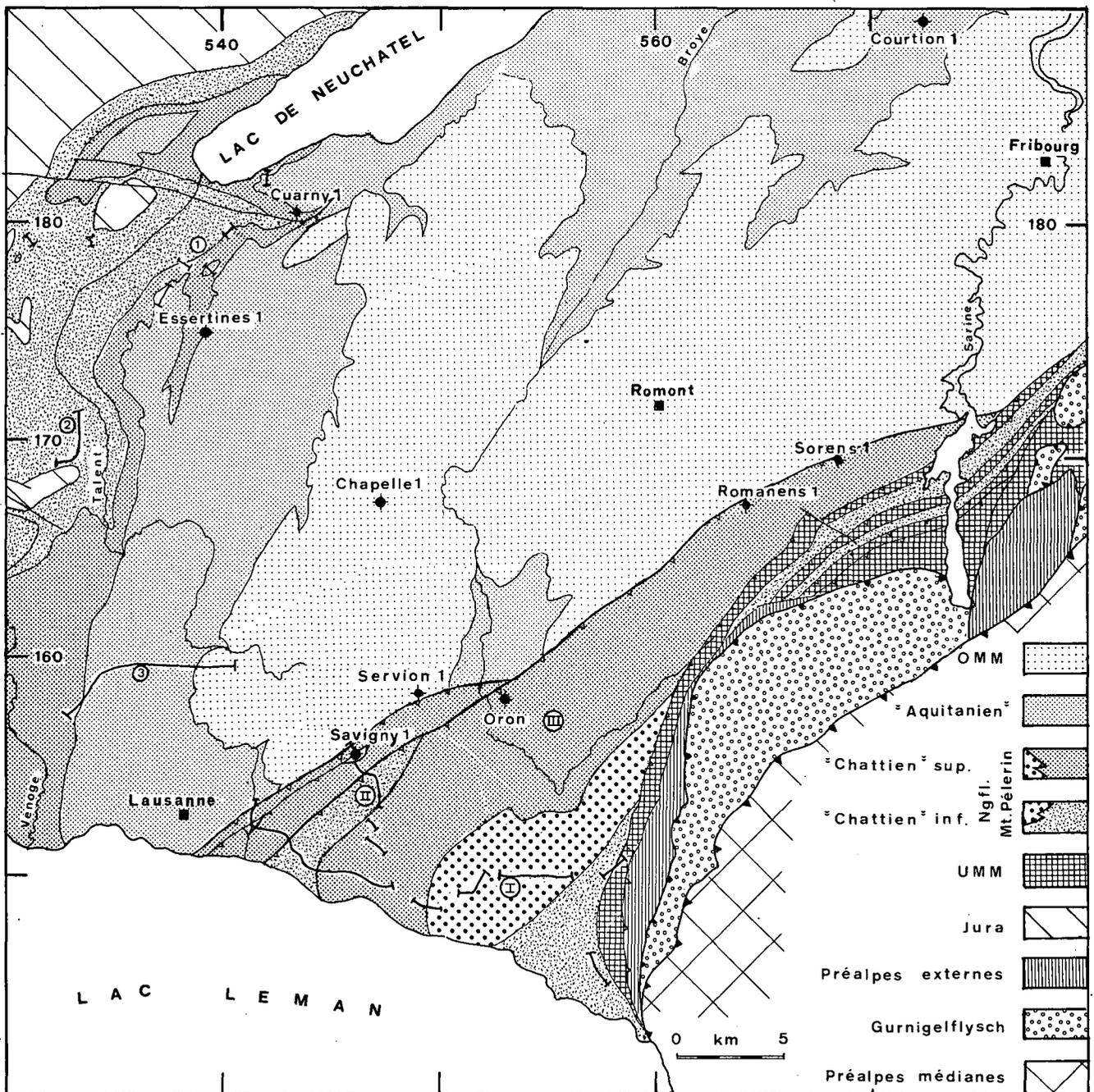
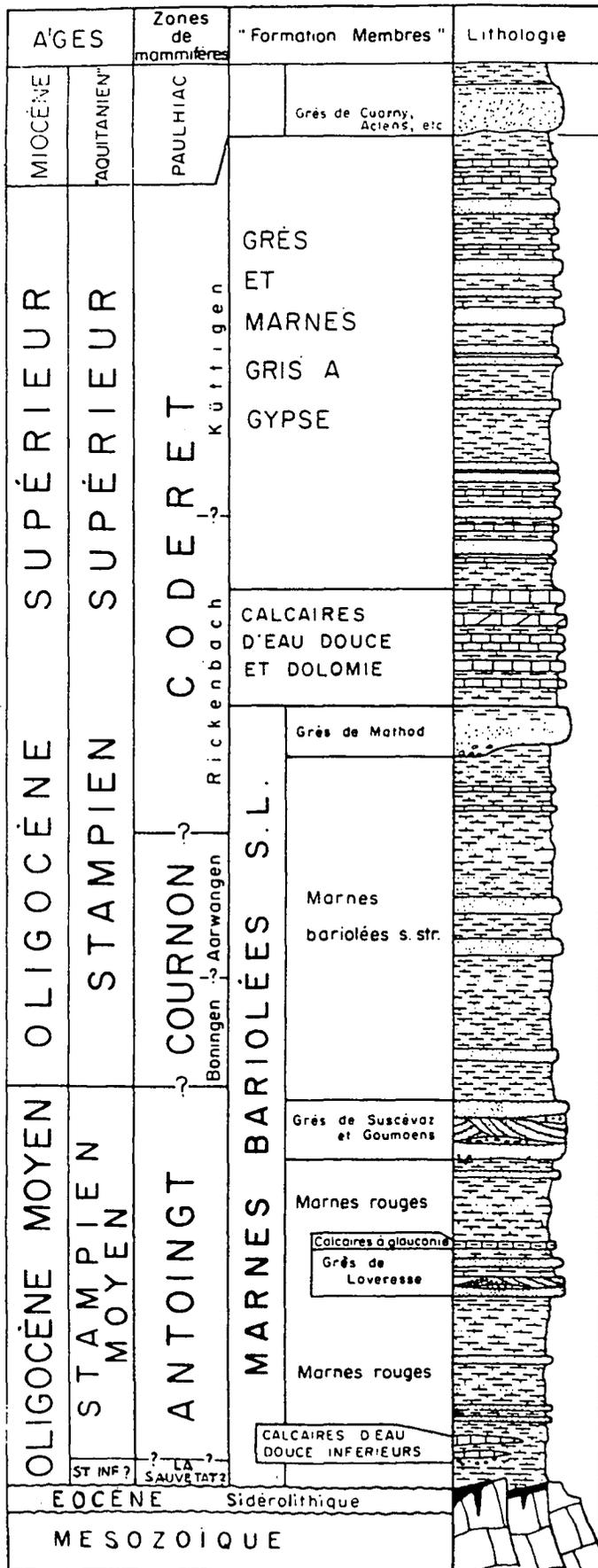


Abb. 12: Regionale Lage der Oberflächenprofile.



R. S. d'Épandes (11)

W Rances (1)

Calamin (26)

Suscévaz

Goumoens

Mormont - Bavois

Epautheyres (20)

Cheseaux-Noréaz

R. N. de Belmont (16)

Abb. 13: Lithostratigraphische Gliederung der Plateaumolasse nach KISSLING (1974) mit der Reichweite der aufgenommenen Detailprofile.

#### 4.1.2. Profil 1

(vgl. Abb. 12 u. 14)

Das Profil 1 stammt aus der Gegend von Yverdon und setzt sich aus den in Tab. 18 aufgelisteten Teilprofilen zusammen.\*)

Tabelle 18: Teilprofile des Profils aus der Gegend von Yverdon.

Profil Parriaux et al	Chesèaux–Noréaz (4 Proben)
Profil Jordi*) Nr. 20	Epautheyres (4 Proben)
Profil Jordi Nr. 16	R. N. de Belmont (3 Proben)
Profil Jordi Nr. 11	R. S. d'Ependes (3 Proben)
Profil Jordi Nr. 1	W Rances (6 Proben)
Profil Jordi Nr. 26	Calamin (2 Proben)

Diese sechs Teilprofile – sinnvoll geordnet – ergeben somit eine durchgehende Schichtfolge mit einer Gesamtmächtigkeit von ca. 330 m, beginnend mit einer Serie der Unteren Bunten Mergel („Chattien“ inférieur) bis zur Serie der Oberen Bunten Mergel („Aquitanien“). Die Schwermineralvergesellschaftung sieht vom Liegenden ins Hangende folgendermaßen aus:

Das „Chattien“ inférieur, welches die Formationen der Serie der Unteren Bunten Mergel sowie die Grés de Method (= Marnes bariolées s. l. von KISSLING) umfaßt, zeigt eine Schwermineralvergesellschaftung, die sich aus Apatit, Epidot, Alkalihornblende (darunter wird die Glaukophanreihe verstanden, bestehend aus Glaukophan, Crossit und Magnesio-Riebeckit) mit Nebengemengteilen von Turmalin, Titanit sowie Spinell zusammengesetzt. Die Mittelwerte von Epidot und Apatit sind ungefähr gleich groß (34 %), unterliegen jedoch in der Einzelprobe gewissen Schwankungen. Das Charakteristikum für diesen Abschnitt ist die Alkalihornblende. Die drei Proben an der Basis des Profils zeigen außerdem durch das Vorkommen von Spinell ihre Zugehörigkeit zu der Serie der Unteren Bunten Mergel an.

Im „Chattien“ supérieur, welches die Formationen der Serie der Süßwassertalke und Dolomite sowie die Serie der Gipsmergel beinhaltet, tritt eine geringfügige Verschiebung des Epidot/Apatit-Verhältnisses zugunsten des Epidots auf; die Alkalihornblende ist nur mehr sporadisch vorhanden. Wie sich jedoch in diesem Abschnitt zeigt, kommt sie in den untersten Partien der Süßwassertalke noch vor, d. h. die lithologischen Grenzen decken sich nicht mit den schwermineralogischen Grenzen.

Das „Aquitanien“, bestehend aus den Formationen der Grés de Cuarny und der Serie der Oberen Bunten Mergel, zeigt eine Epidot-Apatit-Vergesellschaftung, wobei die Grés de Cuarny ca. 80 % Epidot, die Serie der Oberen Bunten Mergel indessen nur 50 % Epidot aufweisen. Eine Zusammenstellung der Mittelwerte der Schwermineralverteilung der jeweiligen Formationen findet sich auf Abb. 16. Hier sind auch die Mittelwerte der Karbonatgehalte angeführt, die jedoch keine besonderen Merkmale bieten.

Zusammenfassend kann nach schwermineralogischen Kriterien eine Unterteilung des „Chattien“ in einen tieferen, alkalihornblendeführenden Abschnitt (entspricht dem „Chattien“ inférieur, höherer Teil) und in einen höheren Abschnitt (entspricht dem „Chattien“ su-

périeur) ohne Alkalihornblende durchgeführt werden. Die jüngeren Formationen besitzen gegenüber dem „Chattien“ zwar mehr Epidot, doch wie sich in den Oberen Bunten Mergeln zeigt, ist es auch hier möglich, daß der Epidot prozentual abnimmt. Demzufolge ist es oft schwierig – vor allem in Einzelproben – Rückschlüsse zu erzielen, es bedarf einer größeren Anzahl von Proben, um die Variationsbreite in den einzelnen Formationen abschätzen zu können. Eine ähnliche Schwermineralverteilung konnte VERNET (1964b) bestimmen, lediglich seine Probe 114 – sie entspricht den Grés de Suscévaz, die im Liegenden der Unteren Bunten Mergel auftritt – ist durch ein Schwermineralspektrum von Zirkon, Turmalin sowie dem umlagerungsresistenten Staurolith charakterisiert. Wie wir im folgenden Profil feststellen werden, kommen solche „abnormale“ Schwermineralspektren in ganz bestimmten Abschnitten vor, deren Vergangenheit sich gut rekonstruieren läßt.

#### 4.1.3. Profil 2

(vgl. Abb. 12 u. 15)

Das Profil 2 beginnt an der N-Flanke der Antiklinale von Mormont, wird in Cristallin-Loveresse fortgesetzt und reicht bis zu den neu erschlossenen Aufschlüssen der Autobahn N1, E bis SE von Bavois gelegen.

Der von uns beprobte Abschnitt gehört dem „Chattien“ inférieur an und umfaßt die Formationen der Marnes rouges mit Einschaltungen von Grés de Loveresse und Calcaires à glauconie sowie den Grés de Goumoëns und den Marnes bariolées s. str. (vgl. Abb. 15). In diesem Abschnitt zeigt das Schwermineralspektrum zwei verschiedene Assoziationen. Erstens haben wir ein fast gleiches schwermineralogisches Bild wie im tiefsten Teil des Profils 1 mit einer mehr oder weniger regelmäßigen Verteilung von Epidot und Apatit, begleitet von den charakteristischen Schwermineralen Alkalihornblende und Spinell. Lediglich der Granat und Staurolith sind anteilmäßig vermehrt vorhanden, als im Profil 1. Anhand der recht guten schwermineralogischen Übereinstimmung der Grés de Goumoëns mit den Grés de Suscévaz sind diese beiden parallelisierbar. Zweitens finden wir in der Nähe der Calcaires à glauconie (diese bestehen aus umgelagertem höheren Kreidematerial mit Globotruncanen und gerundetem Glaukonit) eine Schwermineralassoziation, die aus Turmalin, Staurolith, Zirkon, der TiO<sub>2</sub>-Gruppe und mit akzessorisch auftretendem Disthen besteht. Für den Beweis unserer Aussage haben wir Probenmaterial aus dem Eozän (Siderolithikum) und der Kreide (vgl. Abb. 16) schwermineralogisch untersucht und fanden ein fast identisches Spektrum wie in den Calcaires à glauconie. Bei Betrachtung der geologischen Karte stellen wir fest, daß solche Schwermineralspektren an die Nähe der Kreidevorkommen des Jura gebunden sind. Die Grés de Suscévaz, die am Fuße der Mt. Chamblon Antiklinale liegen, zeigen nach VERNET (1964b) ein stabiles Spektrum. Diesem Befund stehen meine Schwermineraluntersuchungen gegenüber, die ein Spektrum von Epidot, Apatit, Granat mit Nebengemengteilen von Staurolith, Zirkon, Turmalin, Spinell und Alkalihornblende zeigen, was jedoch nichts anderes beweist, als daß die stabilen Spektren in einer relativ schmalen Zone in ein normales Spektrum eingeschaltet sind. Der zweite Fundpunkt befindet sich an der NW-Flanke der Mormont-Antiklinale (Kreide in Urgonfacies), wo neben den umgelagerten Calcaires à glauconie ebenfalls ein stabiles Spektrum auftritt.

\*) H. A. JORDI hat in seiner Dissertation „Geologie der Umgebung von Yverdon“ (1955) die Profile stratigraphisch koordiniert. Die hier angeführten Profilnummern decken sich mit denen in seiner Arbeit.

PROFIL NACH  
JORDI (1955)

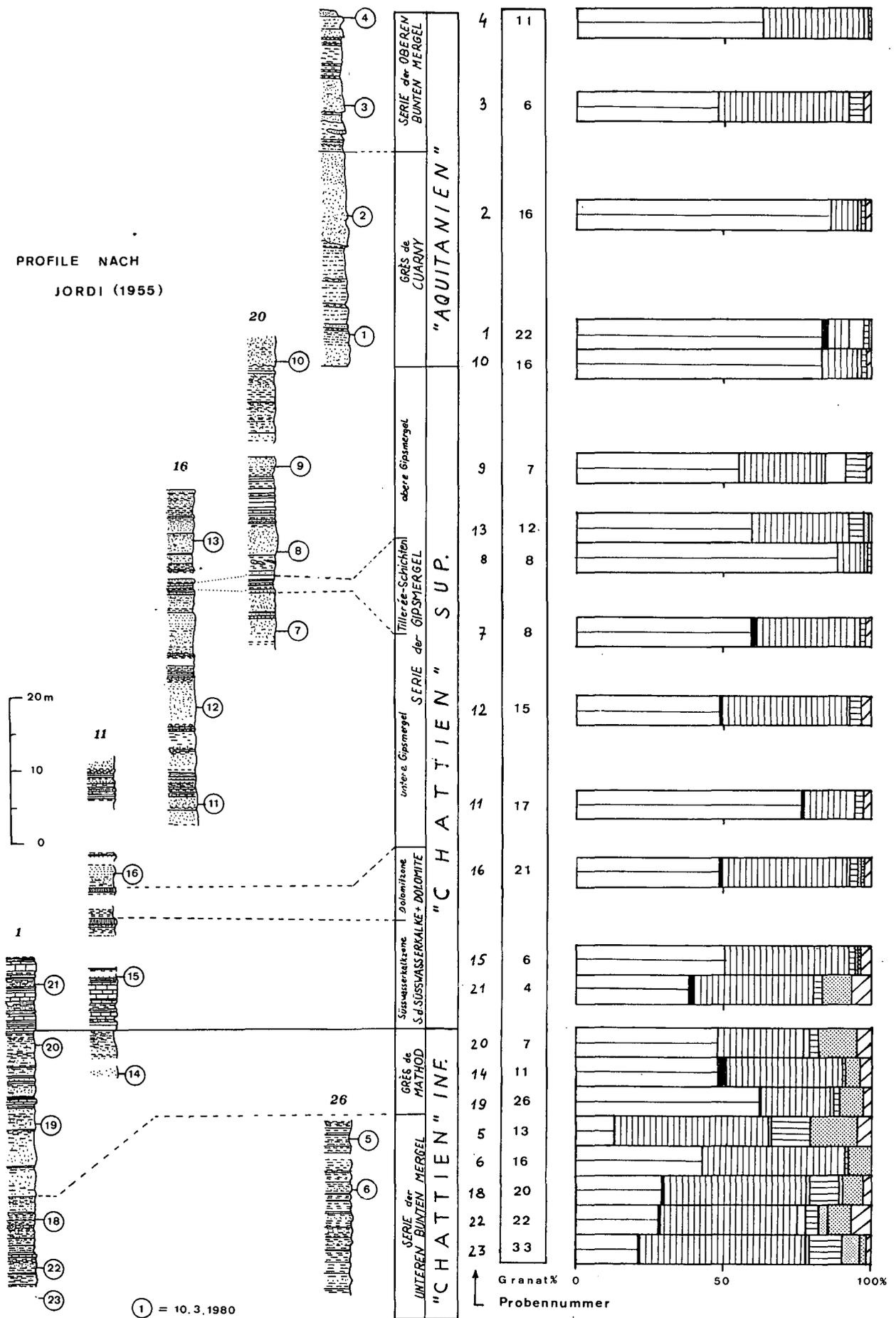


Abb. 14: Profil 1 (Schwermineralprofil aus der Umgebung von Yverdon).

Schwermineralogische Untersuchungen von M. MANGE (persönliche Mitteilung) im „Chattien“ des Findreuse (Hte. Savoie, Frankreich) zeigen gleichfalls Einschaltungen der stabilen Spektren.

Wir können also zusammenfassen, daß zur Zeit des „Chattien“ inférieur Kreidematerial des Jura abgetragen wurde und in das Molassebecken geschüttet wurde (wie übrigens auch zur Zeit des Eozän in die Taschen der Bohnerzformation). Dadurch existiert neben der bekannten axialen SW–NE Schüttung (Genfersee-Schüttung) eine an mehreren Stellen des Jurafußes austretende radiale Schüttung (Jura-Schüttung), die diese stabilen Spektren in das Molassebecken schütten (vgl. KISSLING, 1974; AUBERT, 1975; AUBERT & LE RIBAUT, 1975).

#### 4.1.4. Schwermineralverteilung zwischen Yverdon und Mormont

Die aus mehreren Probenfundstellen erfaßten Schwermineralverteilungen wurden für jede der lithostratigraphischen Formationen als Mittelwert (vgl. Abb. 16) dargestellt. Das „Chattien“ supérieur bis „Aquitainen“ (oberste vier Balken der Abb. 16) wird durch eine Apatit/Epidot-Vergesellschaftung gekennzeichnet, wobei das Verhältnis großen Schwankungen unterliegt. Für das „Chattien“ inférieur tritt neben Epidot und Apatit als charakteristisches Merkmal die Alkalihornblende und der Spinell hinzu. Als lokale Besonderheit haben die Einschaltungen der stabilen Schwerminerale innerhalb der Normalabfolge zu gelten. Dieses Schwermineralspektrum mit Turmalin, Staurolith, Zirkon sowie  $TiO_2$

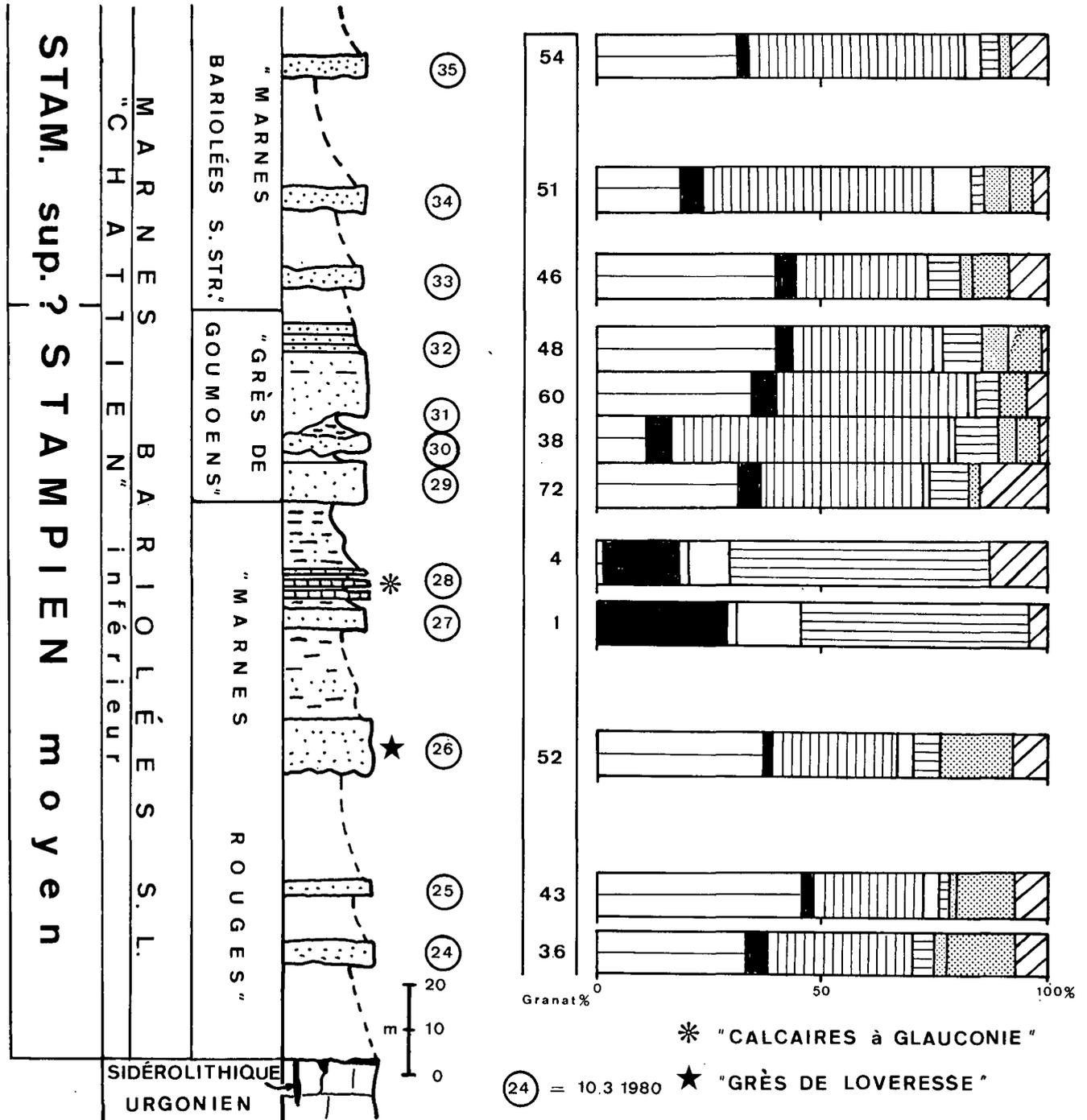


Abb. 15: Profil 2 (Schwermineralprofil NW der Antiklinale von Mormont–Cristalline–Loveresse–AR N1).

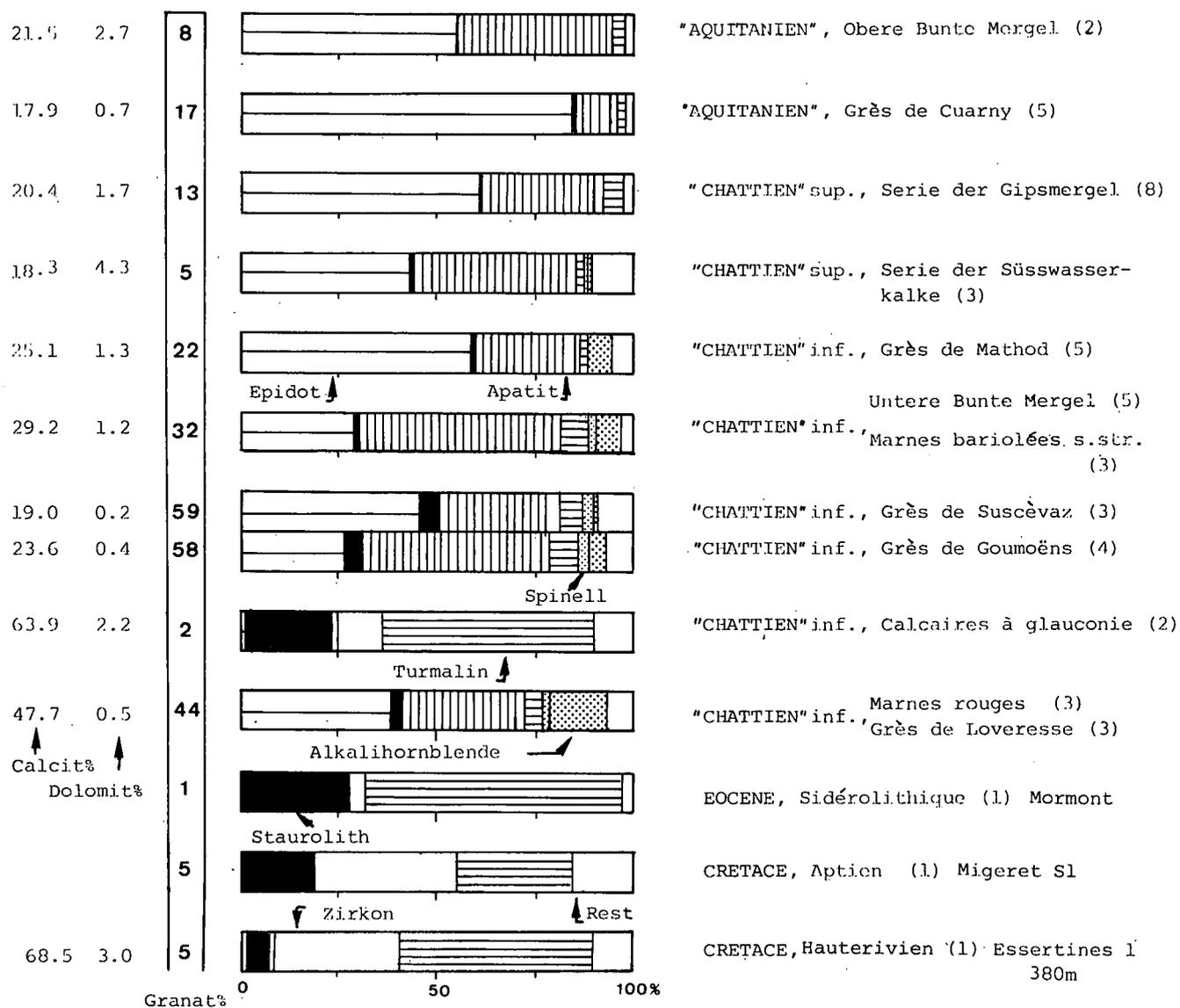


Abb. 16: Schwermineralverteilung in den jeweiligen Stufen zwischen Mormont und Yverdon.

als Hauptgemengteile finden sich nahe bei Kreideaufschlüssen, die dem Jura angehören. Bei einem Vergleich mit dem Probenmaterial aus dem Eozän und der Kreide (unterste drei Balken der Abb. 16) läßt sich eine vorzügliche Übereinstimmung feststellen.

#### 4.1.5. Profil 3: Sorge – Petite Chamberonne – Mébre (vgl. Abb. 12)

In seiner Dissertation „Recherches sur la Géologie et la Stratigraphie du Jorat“ hat BERSIER (1938) eine ausführliche lithologische Beschreibung der Sedimente des „Aquitaniens“ und „Burdigaliens“ wiedergegeben. Anhand seines zusammengefaßten Profils (1938, S. 102 ff.) wurde die Probenentnahme durchgeführt.

Die lithostratigraphische Dreigliederung des Profils in ein „Chattien“, „Aquitaniens“ und „Burdigaliens“ läßt sich auch anhand der Schwermineralverteilung erkennen. Im „Chattien“ finden wir eine Schwermineralassoziation von Epidot und Apatit mit Nebengemengteilen von Zirkon und Turmalin. Hinzu kommt der akzessorisch auftretende Spinell, der einen Hinweis für „chattisches“ Alter gibt. Im „Aquitaniens“ nimmt der prozentuale Gehalt des Epidot auf Kosten des Apatit zu. Die Epidote sind stark korrodiert und

von zackigem Umriß. Bemerkenswert ist die Schwermineralvergesellschaftung der Probe 11.3.80/16, wo eine deutliche Abnahme des Epidots (56 %) stattfindet, verbunden mit einem Auftreten von Alkalihornblende. Diese Kombination ist eher typisch für das „Burdigaliens“ und könnte dadurch eine Hinweis für marines Milieu sein. BERSIER (1938) konnte anhand von Ostreen und authigenem Glaukonit (La Mébre, Coupe 9) auf ein marines „Aquitaniens“ verweisen. Im „Burdigaliens“ manifestiert sich eine Schwermineralassoziation, die Epidot und Apatit als Hauptgemengteile sowie Alkalihornblende und Hornblenden (grüner bis blaugrüner Pleochroismus) als charakteristische Nebengemengteile aufweisen. Bemerkenswert ist die auffallende Frische der Epidote mit einem ausgeprägten Pleochroismus von hellgrün zu gelbgrün.

Zusammenfassend lassen sich innerhalb der zeitlichen Abfolge auch schwermineralogische Veränderungen feststellen. Diese liegen einerseits im Verhältnis Epidot zu Apatit, andererseits im Auftreten der charakteristischen Akzessorien wie Spinell und von Nebengemengteilen wie Hornblende und Alkalihornblende. Die Karbonatwerte unterliegen in diesem Profil zu starken Schwankungen (2–37 %), um aussagekräftig zu sein. Lediglich im „Chattien“ ist ein erhöhter Dolomitgehalt zu verzeichnen.

## 4.2. Oberflächenprofile der subalpinen Molasse

### 4.2.1. Gliederung der subalpinen Molasse im E von Lausanne

Zum besseren Verständnis sind die einzelnen Formationen der subalpinen Molasse, die größtenteils auf einer lithofaziellen Gliederung basieren, tabellarisch zusammengefaßt (Tab. 19). Sie betreffen einen Profilschnitt Lausanne–Mt. Pélerin–Vevey–Montreux.

Molasse à charbon) und Nagelfluh des Mt. Pélerin. Nach sedimentologischen und auch nach schwermineralogischen Erkenntnissen sind diese Formationen allochthonen Ursprungs und mehrere Kilometer überschoben worden. Im Tal der Veveyse findet man zahlreiche Hinweise, die das tektonische Geschehen entlang dieses Flusses widerspiegeln (verkehrt liegende Serie, Gesteine stark von Klüften durchsetzt). Hier verläuft auch die Grenze zwischen der

Tabelle 19: Die Formationen der subalpinen Molasse, basierend auf lithofazieller Gliederung.

	„AQUITANIEN“	Molasse de Lausanne	Aufschiebung	PLATEAUMOLASSE
UNTERE SÜSS- WASSER- MOLASSE	„CHATTIEN“ sup.	Molasse de Lausanne	Aufschiebung	Ecaille de Belmont-Paudéze
	„CHATTIEN“ inf.	Molasse à charbon		
	„CHATTIEN“ sup.	Molasse rouge	Aufschiebung (Faille de Lutry)	SUBALPINE MOLASSE
	„CHATTIEN“ inf.	Molasse à charbon		
	„CHATTIEN“ sup.	Molasse rouge		
	„CHATTIEN“ sup. + inf.	Grès de la Cornalle		
UMM	„RUPÉLIEN“	Poudingues du Pélerin	Aufschiebung	Ecaille d'Oron et Palézieux
	„LATTORFIEN“	Molasse rouge de Vevey		
		Grès et Marnes de Vaulruz		
		Grès et Marnes du Cucloz	Alpenrand	

Der Übergang der Plateaumolasse in die subalpine Molasse (Schuppe von Belmont–Paudéze) vollzieht sich innerhalb des „Aquitaniens“, wobei im aufgeschobenen Teil das „Aquitanien“ fast senkrecht steht. Darauf folgt in normaler Serie die Molasse à charbon (= „Chattien“ supérieur), die zunächst mit einer steilstehenden Gesteinsabfolge beginnt und in flach liegende Partien überleitet. Gegen NE keilt die Molasse à charbon aus und ist im Profil von St. Amour, ca. 6 km von Paudéze entfernt, nicht mehr vorhanden. Lithologisch besteht die Molasse à charbon aus Sequenzen die mit Kalksandsteinen an der Basis beginnen und über Mergel sowie Süßwasserkalke bis zur Kohle reichen (vgl. BERSIER, 1945).

Durch eine Aufschiebung getrennt, finden wir als nächste Formation die Molasse rouge (= „Chattien“ inférieur), der wiederum die Molasse à charbon in normaler Stellung aufliegt.

Getrennt durch eine weitere Aufschiebung – der Faille de Lutry – baut sich eine weitere Schuppe (Schuppe von Oron und Palézieux) ESE dieser tektonischen Linie auf. Sie besteht zunächst aus Molasse rouge, übergehend in die Grès de la Cornalle (= laterales, proximales Äquivalent der

Nagelfluh des Mt. Pélerin und der Molasse rouge de Vevey (siehe Abb. 17). Diese zeigt zu ihrem nordwestliegenden Äquivalent deutliche schwermineralogische Unterschiede. Nahe der Alpenrandüberschiebung finden sich die Grès de Cucloz, deren lithofazielle Ausbildung eher schon einem Flyschtypus gleicht.

Die schwermineralogischen Untersuchungen (vgl. Profil I, Abb. 16) brachten es mit sich, das von WEIDMANN (1980) gezeichnete Profil neu zu gestalten. Dieses Profil (Abb. 17) erfährt eine Dreiteilung der Molasse, wobei der mittlere Abschnitt (Schuppe von Belmont–Paudéze) durch den anfahrenen Abschnitt III (Schuppe von Oron und Palézieux) steilgestellt worden ist. In diesem mittleren Abschnitt kommen zwei verschiedene Einzugsbereiche vor, die sich teilweise gegenseitig verfangern.

### 4.2.2. Profil I: Paudéze – Le Daley – Le Grabe – Rosset – Cornalle – Chexbres – Mont de Chardonne – Mt. Pélerin – Blonay – Brent – Tavel (vgl. Abb. 12 u. 18)

Das Profil von Flon–Morand–Chandelar–Paudéze ist 1978 von RIGASSI (unpubl.) gezeichnet worden. In diesem Profil sind nicht nur die einzelnen Formationen mit ihren Mächtigkeiten dargestellt, es gibt auch die tektonische Kompliziertheit dieser Region wieder. Dank der sehr guten Betreuung und Führung von Herrn Dr. WEIDMANN konnte ein gezieltes, dichtes Porbennetz von Vevey bis Lausanne ausgelegt werden und auf seine Schwermineralvergesellschaftung und den Karbonatgehalt untersucht werden. Die Resultate sind auf der Abb. 18 graphisch dargestellt, wo nicht nur die einzelnen, wichtigsten Schwerminerale aufscheinen, sondern auch die Beziehungen zu ihrer Formationszugehörigkeit hergestellt sind. In einer weiteren Graphik sind die Mittelwerte der Schwerminerale, darunter ihre Probenzahl, SM-Formel und der Karbonatgehalt gezeichnet. Zum Vergleich sind auf selbige Weise das Profil II (St. Amour) und das Profil III (Bohrung Oron) daneben gesetzt.

Bei genauer Betrachtung der Abb. 18 wird erkenntlich, daß mittels der Verteilung der hier angeführten sieben Schwerminerale jede Formation von der anderen gut unterscheidbar ist.

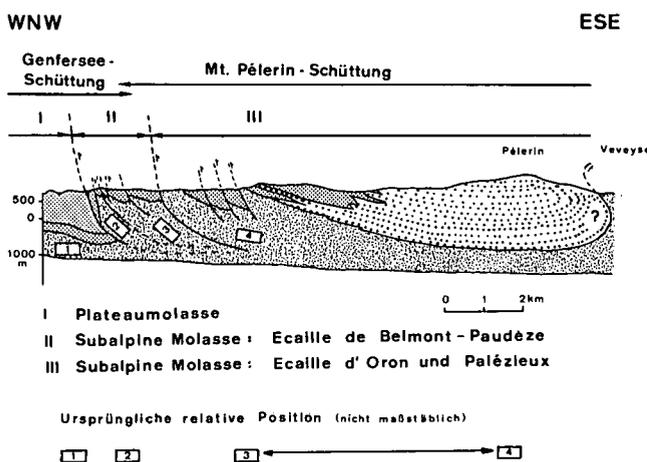


Abb. 17: Profilquerschnitt zwischen Lausanne und Vevey (nach WEIDMANN, 1980; ergänzt von MAURER, 1981). Die Signaturen entsprechen denjenigen auf Abb. 12).

NW

SE

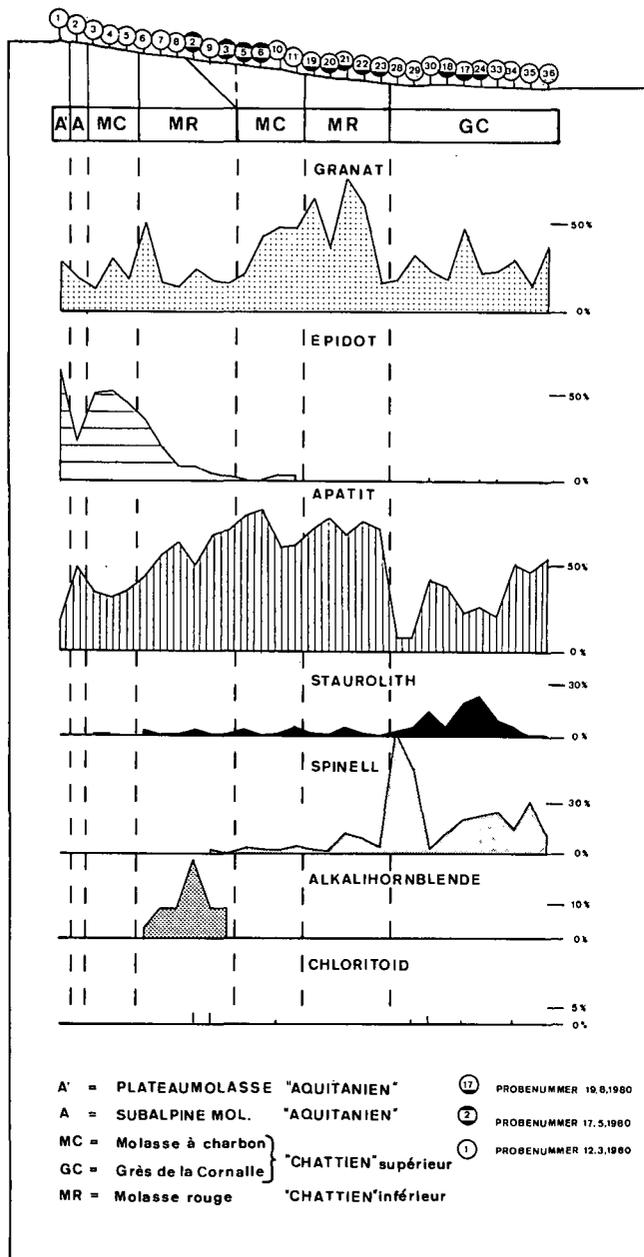


Abb. 18: Die wichtigsten Schwerminerale des Profils I im Profilschnitt Paudéze–Le Daley–Le Grabe–Rosset–Cornalle–Chexbres–Mont de Chardonne–Mt. Pélerin–Blonay–Brent–Tavel.

Im „Aquitaniens“ der Plateaumolasse findet man das gewohnte Bild einer Epidot/Apatit-Vergesellschaftung vor. Das Epidot/Apatit-Verhältnis beträgt 3,56.

Im „Aquitaniens“ der subalpinen Molasse nimmt der Epidot deutlich ab, was einen Hinweis für tieferes „Aquitaniens“ gibt. Das Epidot/Apatit-Verhältnis beträgt hier 0,48.

In der darauf folgenden Molasse à charbon ist eine deutliche Zunahme des Epidots zu vermerken. Das Epidot/Apatit-Verhältnis beträgt 1,48.

Mit dem Beginn der Molasse rouge tritt eine deutliche Veränderung der Schwermineralvergesellschaftung auf. Das Epidot/Apatit-Verhältnis ist auf 0,24 gesunken. Als markantes Merkmal besitzt diese Formation Alkalihornblende, die in ihrer stratigraphischen Reichweite das „Chattien“ inférieur umfaßt. Der Übergang zur Molasse à charbon ist nicht nur schwermineralogisch, sondern auch lithologisch unterscheidbar; die nach diesen beiden Kriterien gebildeten

Grenzlinien differieren voneinander. Dasselbe Phänomen ist gleichfalls im Profil II von St. Amour feststellbar. Wir haben hier den Fall vorliegen, wo die Schwermineralassoziation diachron die lithostratigraphischen Grenzen schneidet. In dieser Formation der Molasse à charbon ist ein fast völliges Verschwinden von Epidot zu verzeichnen, das Epidot/Apatit-Verhältnis beträgt 0,03. Erstmals treten bemerkbare Gehalte von Staurolith und Spinell auf. Der Granatgehalt verzeichnet einen steigenden Trend.

Die Grenze zu der nächst älteren Formation der Molasse rouge wird durch die Aufschubung (Faille de Lutry) gekennzeichnet. Diese tektonisch wichtige Linie trennt die Schuppe von Belmont–Paudéze von der Schuppe von Oron und Palézieux (vgl. Tab. 19 und Abb. 17). Schwermineralogisch wird die Molasse rouge von Granat, Apatit, Turmalin mit Nebengemengteilen von Spinell und Staurolith aufgebaut. Ein wesentliches Merkmal ist der vollständig fehlende Epidot.

Die nächst folgende Formation wird durch die Grès de la Cornalle gebildet. Sie ist das wahrscheinliche laterale Äquivalent der Molasse à charbon. Das Schwermineralspektrum hat sich gegenüber der Molasse rouge lediglich quantitativ verschoben. So ist ein deutlicher Anstieg von Spinell und Staurolith festzustellen, hingegen ein Rückgang von Granat und Apatit. Erstmals tritt die  $TiO_2$ -Gruppe als Nebengemengteil auf.

Den proximalen Teil der Grès de la Cornalle bildet die Nagelfluh des Mt. Pélerin. Schwermineralogisch tritt eine geringfügige Verschiebung des ansonsten gleichbleibenden SM-Spektrums auf, indem der Staurolith zunimmt, der Spinell dagegen abnimmt. Ein weiteres Merkmal ist der außerordentlich hohe Karbonatgehalt, der mit 40,6 % Calcit und 11,8 % Dolomit die höchsten Werte des Profils annimmt.

Die ESE anschließende Molasse rouge de Vevey ist primär durch das vollständige Fehlen von Staurolith gekennzeichnet. Das SM-Spektrum zeigt die üblichen Vertreter der Mt. Pélerin-Schüttung mit Apatit, Spinell, Turmalin als Hauptgemengteile und Zirkon,  $TiO_2$ -Gruppe als Nebengemengteile. Anhand des Fehlens von Staurolith wird für die Sedimente der Molasse rouge de Vevey eine neue Schüttung (Val d'Ille-Schüttung) postuliert.

Zusammenfassend spiegelt das Profil I zwei qualitativ verschiedene Schwermineralvergesellschaftungen wieder. Zum ersten ein Apatit-Epidot-Alkalihornblende-Spektrum (Genfersee-Schüttung), zum zweiten ein Apatit-Spinell-Staurolith-Spektrum (Mt. Pélerin-Schüttung). Beide SM-Spektren besitzen eine Variationsbreite, die sich lediglich in einer qualitativen Änderung ausdrückt. Anhand der schwermineralogischen Unterschiede ist es aber möglich, jede Formation voneinander abzugrenzen.

#### 4.2.3. Profil II: St. Amour – Le Grenet – N bis ESE Tour de Gourze (vgl. Abb. 19)

Ca. 6 km NE des Profils Flon Morand–Paudéze gelegen, wurde im Bach des St. Amour sowie an den sich im SE forsetzenden Straßenaufschlüssen (vgl. Übersichtskarte Abb. 12) Proben für sedimentpetrographische Untersuchungen aufgesammelt. Die Probenpunkte betrafen den Südrand der Plateaumolasse („Burdigalien“) sowie SE anschließend die in mehreren Schuppen aufgeschlossene subalpine Molasse („Aquitaniens“, „Chattien“ inférieur, „Chattien“ supérieur). Die bisher nach rein lithologischen Kriterien eingeteilten Formationen konnten durch ihre Schwermineralführung einer neuen, besseren Einteilung zugeführt werden.

Das „Burdigalien“ der Plateaumolasse (vgl. Abb. 19,

NW

SE

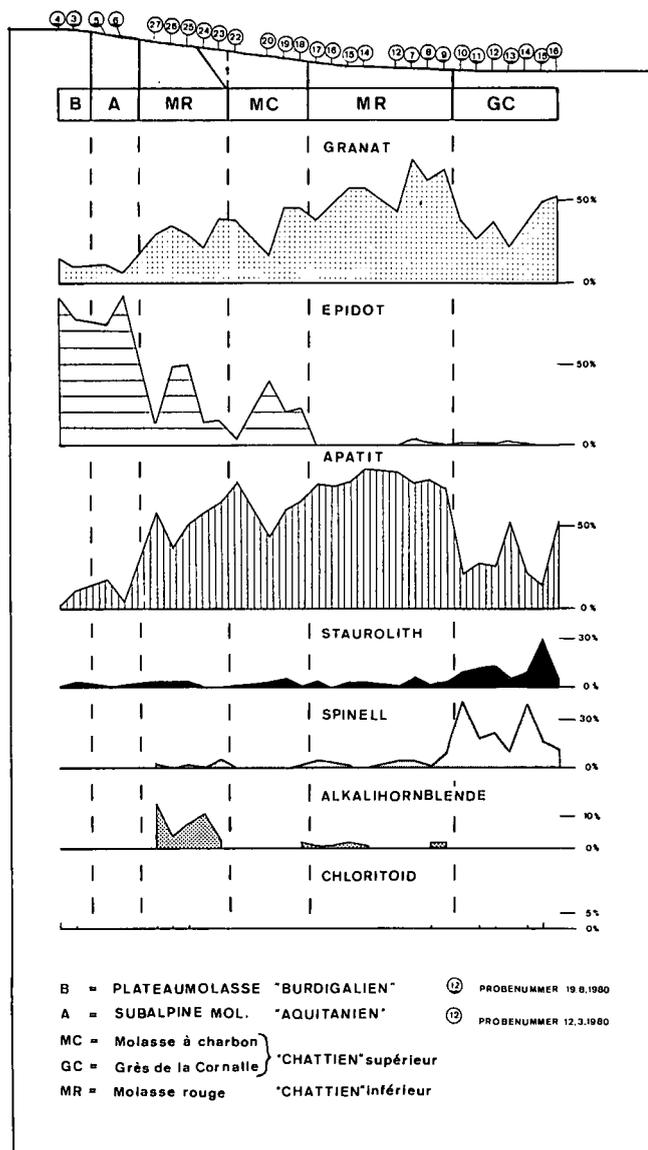


Abb. 19: Die wichtigsten Schwerminerale des Profils II im Profilschnitt St. Amour–Le Grenet–N bis ESE Tour de Gourze.

Proben 19.8.80/3,4) manifestiert sich durch einen hohen Epidotgehalt (>90 %), einen niederen Granatgehalt und einen akzessorisch auftretenden Chloritoidgehalt. Die Proben 19.8.80/5,6 konnten erst durch ihre Schwermineralverteilung einer bestimmten Formation zugeteilt werden. Durch ihre gute Übereinstimmung mit den Proben 19.8.80/1,2, die aus dem steilstehenden „Aquitaniens“ der subalpinen Molasse stammten, ergab sich dadurch eine Fortsetzung in Richtung WSW. Die Schwermineralassoziation ist gleichfalls wie im „Burdigalien“ durch einen sehr hohen Epidotgehalt (>85 %) charakterisiert, doch ist eine Zunahme des Apatits auf mehr als 10 % sowie ein vollständiges Fehlen des Chloritoids zu verzeichnen (vgl. Abb. 21, 1. Zeile, 2. Spalte). Das Epidot/Apatit-Verhältnis der vier Proben beträgt 7,93.

In südöstlicher Richtung treten im Bachbett des St. Amour eine Abfolge von Molasse rouge–Molasse à charbon–Molasse rouge auf. Diese Formationen, die sich nach ihrer lithologischen Ausbildung einem ganz bestimmten Ablagerungsmilieu zuordnen lassen, geben

auch nach den schwermineralogischen Befunden ein exaktes Bestimmungskriterium. Bei Betrachtung der Abb. 19, die den Verlauf der diagnostisch wichtigsten Schwerminerale darstellt, läßt sich jede Formation anhand der Schwermineralassoziation unterscheiden.

So besitzt die dem „Aquitaniens“ nächst anschließende Formation der Molasse rouge ein Epidot/Apatit-Verhältnis von 0,44. Charakteristisch ist das Vorhandensein von Alkalihornblende, die auf ein Alter von „Chattien“ inférieur hinweist. Dieser Befund trifft auch für die obersten 400 m der Bohrung Savigny 1 zu, wie sich auf der Abb. 21, 2. und 3. Zeile, 2. Spalte erkennen läßt.

Der Übergang zur Molasse à charbon (er ist mit der lithologischen Grenze nicht identisch) vollzieht sich durch einen relativ raschen Wechsel in der Schwermineralvergesellschaftung. Das Epidot/Apatit-Verhältnis beträgt 0,35, gegenüber der Molasse rouge also deutlich gesunken, der Granat zeigt weiterhin einen steigenden Trend und als typisches Merkmal ist das Fehlen von Alkalihornblende zu werten (vgl. Abb. 21, 4. Zeile, 2. Spalte).

Die nächstfolgende Formation zeigt stark gefaltete Gesteine der Molasse rouge. Zwischen dieser Molasse rouge und der vorher beschriebenen Molasse à charbon verläuft eine markante Aufschubung (Faille de Lutry), die die subalpine Molasse (II) (= jener Teil, der sich durch stark verschuppte Kompartimente äußert) von der subalpinen Molasse (III) (= überschobener Teil des Mt. Pélerin-Komplexes) trennt (vgl. dazu Abb. 17). Schwermineralogisch ist hier ebenfalls ein deutlicher Umschlag zu verzeichnen, indem der Epidot fast vollständig verschwunden ist (Epidot/Apatit-Verhältnis 0,03) und der Granat hier sein Maximum (im Mittel 52,1 %) erreicht. Als Nebengemengteile treten der Spinell, Staurolith und Alkalihornblende auf (vgl. Abb. 21, 5. Zeile, 2. Spalte).

Das Profil findet seine Fortsetzung in den Grès de la Cornalle, die sich in Straßenaufschlüssen N bis E des Tour de Gourze befinden. Das Schwermineralspektrum dieser Formation ist durch die Schwerminerale Apatit, Spinell, Staurolith und Granat charakterisiert (vgl. Abb. 21, 6. Zeile, 2. Spalte).

Zusammenfassend besitzt das Profil II dieselben Merkmale wie das Profil I. Auch hier treten zwei differenzierbare Schwermineralvergesellschaftungen auf, die der Genfersee-Schüttung und der Mt. Pélerin-Schüttung zugeordnet werden. Innerhalb des SM-Spektrums ist eine qualitative Änderung der SM-Verteilung vorgegeben, die es ermöglicht, einzelne Formationen zu unterscheiden.

#### 4.2.4. Profil III: Oron

(vgl. Abb. 12, 20 und 21)

S von Oron la Ville gelegen, wurden in der subalpinen Molasse drei Bohrungen mit den Koord. (S1 = X 553,035/157,460, S2 = Y 553,130/157,420 und S3 = Z 552,995/157,495) abgeteuft. Sie wurden von BERSIER (interner Bericht) lithologisch bearbeitet und in die Molasse à charbon gestellt. Anhand zweier Kohleflözabänder, wovon mindestens eines in jeder Bohrung vorhanden war, ließ sich das Einfallen der Schichten bestimmen. Dadurch war eine Zuordnung der aus den drei Bohrungen entnommenen neun Kernproben in der stratigraphischen Höhe gegeben. Auf einer vertikalen Abfolge von ca. 60 m wurde dabei das in Abb. 20 dargestellte Schwermineralprofil ausgeschieden.

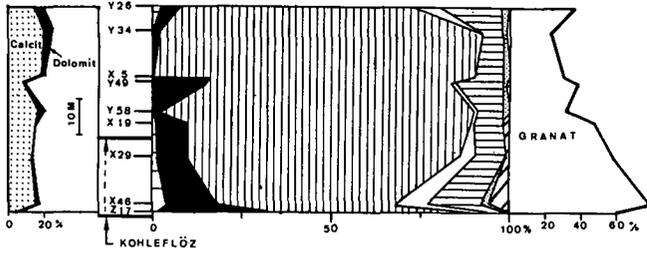


Abb. 20: Schwermineralprofil III (Bohrung Oron); Legende siehe Abb. 3.

Anhand des Schwermineralprofils wird die Vormachtstellung des Apatits mit ca. 80 % im Mittel deutlich sichtbar. Turmalin, Staurolith und Zirkon treten bereits nur mehr als Nebengemengteile (<10 %) auf. Akzessorisch kommt Spinell vor. Der Granat verzeichnet mit zunehmender stratigraphischer Tiefe einen deutlichen Anstieg.

Bei einem Vergleich der Schwermineralspektren (siehe Abb. 21) besitzt die Bohrung Oron (= Profil III) die größte Übereinstimmung mit dem Profil II (5<sup>er</sup> Balken von oben) und im weiteren auch mit dem Profil I (5<sup>er</sup> Balken von oben). Wir haben deshalb auf der Abb. 21

wegen der guten Korrelation die drei Balken in einer Horizontalen gezeichnet, obwohl im Profil I und II die Balken der Molasse rouge angehören. Dies würde jedoch bedeuten, daß gleiche SM-Spektren zu verschiedener Zeit in einem relativ eng begrenzten Gebiet vorhanden sind, d. h. daß die Schwermineralassoziation diachron die lithologische Formation schneidet. Eine biostratigraphische Analyse aller Formationen ist unvollständig, sodaß man bis jetzt keinen genauen chronologischen Rahmen aufstellen kann.

## 5. Herkunft der Schwerminerale

### 5.1. Mt. Pélerin-Schüttung

Das Probenmaterial stammt aus Sandsteinbänken, die innerhalb der Nagelfluh vorkommen. Die Analyse von 31 Proben auf ihre Schwermineralverteilung sowie ihren Karbonatgehalt ergab ein relativ konstantes SM-Spektrum, sowie einen Karbonatgehalt, der im Mittel bei 40 % lag. Nach ihrer Häufigkeit geordnet, bilden die Schwerminerale Granat, Apatit, Staurolith, Spinell mit Nebengemengteilen von TiO<sub>2</sub> und Zirkon das Spektrum. In einer Studie über den Geröllbestand in den Konglo-

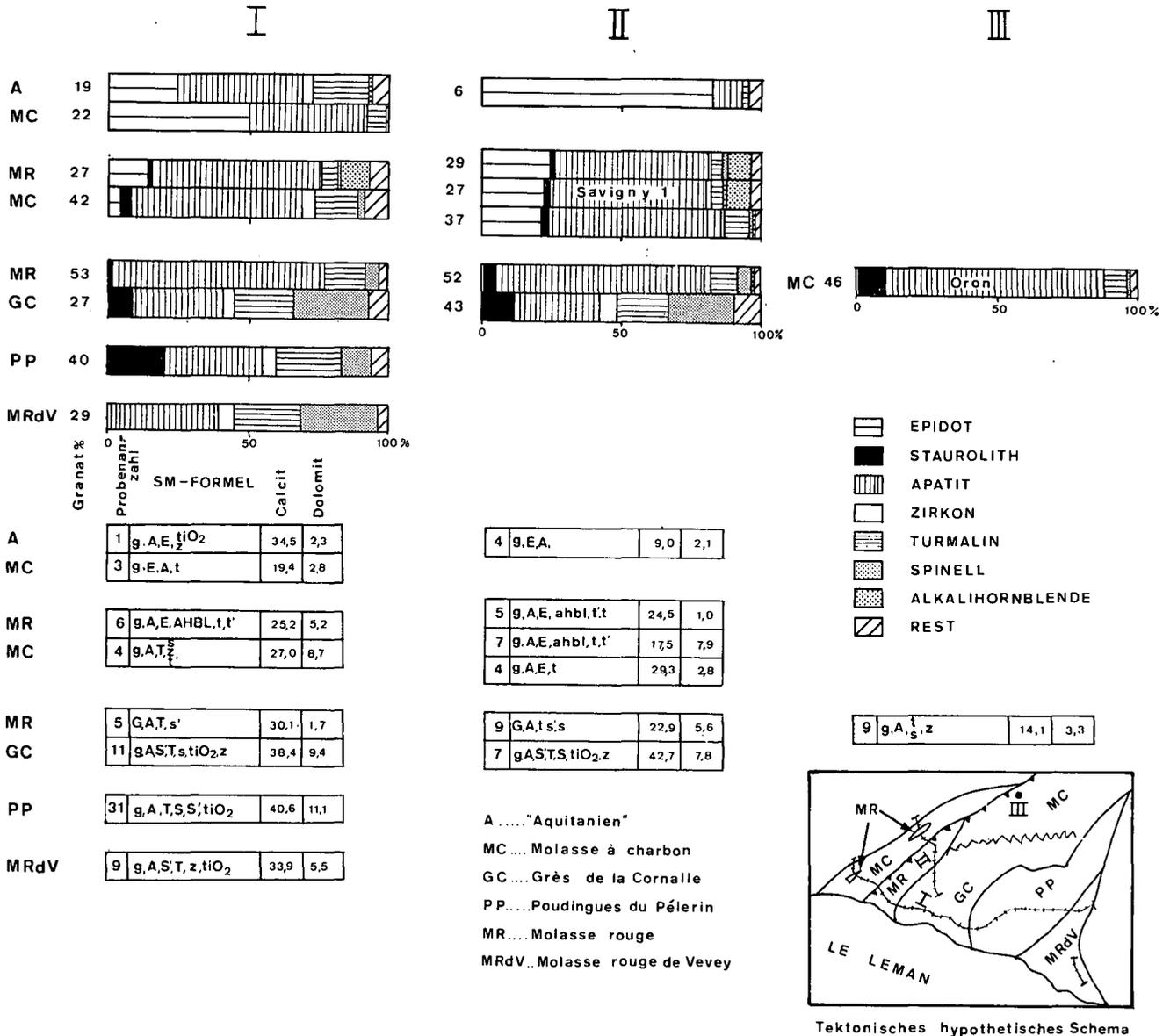


Abb. 21: Korrelation der Schwermineralprofile der subalpinen Molasse.

meraten des Mt. Pélerin fanden TRÜMPY und BERSIER (1954) eine auffallende Übereinstimmung mit den Mo-causa-Konglomeraten. Aufgrund dieses Vergleiches bezogen sie die Mt. Pélerin-Konglomerate von einem kretazischen, präalpinen Flysch, der in das tektonische Stockwerk der „Nappe Supérieure“ oder „Super-Simme“ gestellt wird. Die gute Korrelierbarkeit der Konglomerate galt es nun mittels der Schwerminerale zu bestätigen.

FLÜCK (1973) hat in den Flyschen der präalpinen Decken drei verschiedene lithostratigraphische bzw. tektonische Einheiten auf ihre Schwermineralverteilung hin untersucht. Für die Simmen-Decke ergab sich dabei eine Schwermineralverteilung von Spinell, Zirkon und Turmalin. Im höchsten tektonischen Stockwerk der Simmen-Decke – der Gêts-Decke – tritt anstelle des Spinells der Apatit auf. Wenn man das SM-Spektrum der Simmen-Decke mit dem vom Mt. Pélerin vergleicht, so zeigt sich mit Ausnahme von Staurolith und Granat eine gute Übereinstimmung. Auf der Suche nach einem möglichen Herkunftsgebiet für den Staurolith stößt man auf große Schwierigkeiten. Zwar findet man im Sockel der Bernhard-Decke voralpinen Staurolith (Metamorphosekarte der Alpen 1 : 100.000, 1973), doch kommt dieser als möglicher Lieferant nicht in Frage, da er zur damaligen Zeit (ca. 24–26 my) wahrscheinlich noch nicht frei gelegen war. Man könnte sich jedoch vorstellen, daß der Staurolith aus einer ehemals vorhandenen, jedoch heute der Erosion anheimgefallenen ostalpinen Einheit stammt:

Diese Überlegung wurzelt in folgenden Tatsachen:

1. In den Mt. Pélerin-Konglomeraten finden sich nach TRÜMPY und BERSIER (1954) unter anderem auch Granite des Typs von Baveno (Aufschluß S, nördlich von Châtel St. Denis gelegen). So wie diese Granite aus einem kristallinen Basement, wie wir es in den Südalpen finden, stammen, so ist es auch möglich, den Staurolith aus einer kristallinen Einheit ähnlich der „Strona-Ceneri Zone“ zu beziehen. Dabei sind diese Serien von ihrer Wurzel losgelöst worden und haben als ehemals oberste Einheiten auf den ostalpinen Einheiten gelegen. Diese ostalpinen Einheiten sind heute nur als spärliche Relikte der Dt. Blanche-Decke sowie der Sesia-Zone vorhanden. Als mögliche Staurolithlieferanten sind sie jedoch nicht geeignet, da ihre Gesteine einen höheren voralpinen Metamorphosegrad (Sillimanit) besitzen, als es für den Staurolith der Fall ist. Die aus dem Abtrag der jüngsten ostalpinen Elemente resultierenden Gesteinsmassen wurden zunächst in einem der heutigen Drance entsprechenden Flußlauf NNE transportiert, wobei auch die präalpinen Decken (Spinell) angeschnitten, abgetragen und in ein oligozänes Molassebecken geschüttet wurden.
2. Schwermineralogische Untersuchungen von HAHN (1969) im Einzugsbereich des Alpenrheins zeigen für die Oberläufe der Ill, Landquart, Landwasser und Albula zwei verschiedene Schwermineralprovinzen; eine Granat-Staurolith-Assoziation und eine Hornblende-Epidot-Granat-Assoziation. Beide Schwermineralvergesellschaftungen stammen aus kristallinen Gesteinsserien der ostalpinen Silvretta-Decke. Demzufolge könnte auch im Untersuchungsgebiet der Staurolith aus einer ostalpinen Einheit, die allerdings heute nicht mehr vorhanden (da abgetragen) ist, stammen.

## 5.2. Val d'Illeiez-Schüttung

Schwermineraluntersuchungen der autochthonen Molasse von Val d'Illeiez weisen gegenüber dem SM-Spektrum des Mt. Pélerin ein vollständiges Fehlen von Staurolith auf. Das gleiche Phänomen findet man in Le Bouveret, sowie in der Molasse rouge de Vevey. Letztere zeigt eine Schwermineralassoziaton mit der

SM-Formel: g, A, S', T, z, TiO<sub>2</sub>.

In den proximalen Bohrungen Savigny 1 und Sorens 1 läßt sich in dem autochthonen Anteil der Molasse die gleiche Schwermineralvergesellschaftung feststellen.

Zusammenfassend ergibt sich für das „Chattien“ inférieure eine radiale Schüttung, nämlich die Val d'Illeiez-Schüttung. Als möglicher Lieferant kommen dabei die präalpinen Flysche, insbesondere die der Simmen-Decke durchaus in Frage, zeigen sie doch wie vorher beschrieben eine gute schwermineralogische Übereinstimmung.

## 5.3. Die Genfersee-Schüttung

Die Genfersee-Schüttung, die zur Zeit der Unteren Süßwassermolasse als axiales Rinnensystem einen Verlauf von Südwesten nach Nordosten hatte, läßt sich im Untersuchungsgebiet anhand ihrer Schwermineralvergesellschaftung näher unterteilen. So ist sie, zum überwiegenden Teil aus Sandsteinen bestehend, im „Chattien“ inférieure durch eine Granat-Apatit-Epidot-Assoziation mit Nebengemengteilen von Staurolith, Spinell und Alkalihornblende, im „Chattien“ supérieure durch eine Granat-Apatit-Epidot-Assoziation und im „Aquitaniens“ durch eine Epidot-Apatit-Assoziation mit Granat als Nebengemengteil charakterisiert. So wie der Spinell für den stampischen Schuttfächer des Entlebuch (GASSER, 1968) charakteristisch ist, ist es die Alkalihornblende für die „chattische“ Genfersee-Schüttung. Man findet diese im Becken von Fragny-Bellegarde (Profile: Le Jamaloup und Le Fornant von WAGNER & WELHÄUSER (1968), WAGNER (1969), im Becken von Rumilly-Aix les Bains (VATAN, 1957), sowie nach eigenen Untersuchungen in der Umgebung von Evian (Haute Savoie, Frankreich), in den Profilen von Morges, in der Umgebung von Yverdon, im Profil Cristallin-Loveresse AR N1 sowie in den Erdölbohrungen Chapelle 1, Courtion 1, Peissy 1, Esertines 1 und Cuarny 1. Ebenfalls vorhanden ist die Alkalihornblende im überschobenen Teil der Molasse der Bohrungen Savigny 1 und Sorens 1.

Als mögliche Lieferanten der Alkalihornblenden müssen Gesteine gesucht werden, die neben dieser auch die in der Schüttung assoziierten Schwerminerale führen. MICHEL (1953) hat über das Vorkommen von Alkalihornblenden in den Schistes lustrés berichtet. Die Schistes lustrés-Zone kann vom Gebiet des Grand Paradiso ohne Unterbruch bis zum Grand Combin–Zinal–Zermatt verfolgt werden. Eine Herkunft der Alkalihornblende aus dem Grand Combin–Zermatt muß verneint werden, da diese Gegend zur Zeit des „Chattien“ inférieure von ostalpinen Einheiten bedeckt war, die ihrerseits ihre Gesteinsmassen in das Molassebecken schütteten (Mt. Pélerin-Schüttung).

BOCQUET (1974) und SALIOT (1978) beschreiben die alpine Metamorphose in den französischen Alpen. So finden sich Alkalihornblenden nicht nur in den Schistes lustrés des Piémontais, sie kommen auch an der Basis des Briançonnais vor. Die Schwermineralparagenese läßt auf eine Herkunft des Materials aus den Schistes

lustrés und nicht aus dem Briançonnais schließen, da nur hier der Granat, Epidot und Alkalihornblende zusammen gefunden werden. Anhand absoluter Altersbestimmungen (HUNZIKER, 1974b) liegt das Metamorphosealter für glaukophanführende Gesteine zwischen 15–80 my. Dabei müssen diese jedoch für relativ kurze Zeit unter hohen Druck – bei relativ niedrigen Temperaturen – gelangt sein. Dies ist nur dann der Fall, wenn man eine rasche Versenkungs- sowie eine ebenso rasche Auftauchphase für diese Gesteine annimmt.

Diese Alkalihornblendensowie ihre assoziierten Schwerminerale wurden zur Zeit des „Chattien“ in einem der heutigen Isère ähnlichen Flußsystem zunächst weiter westwärts transportiert. Südlich von Chambéry muß sich damals eine Schwelle befunden haben, die sich aus den schwermineralogischen Unterschieden im Becken der Bas-Dauphiné gegenüber dem Becken von Savoyen (vgl. LATREILLE, 1969) ergeben. Ersteres zeigt eine Schwermineralvergesellschaftung der stabilen Schwerminerale sowie Staurolith und Disthen, letzteres besitzt hingegen die Schwerminerale Epidot, Granat und Alkalihornblende. Erst im „Aquitaniens“ beginnt sich der alpine Einfluß im Becken der Bas-Dauphiné bemerkbar zu machen und führt damit zu einer Anpassung der schwermineralogischen Verhältnisse, wie sie im Becken von Savoyen vorhanden sind. Von Chambéry nahm der Paläofluß einen Verlauf Richtung NE. Seine Materialfracht wurde in einem verzweigten Rinnensystem durch das Becken von Savoyen in die Schweiz, und zwar bis nach Aarwangen\*), transportiert.

Schwermineralogische Untersuchungen von VATAN (1957) im kontinentalen Eozän von Savoyen zeigen dieselbe Vergesellschaftung. Das Vorkommen von Monazit im Becken von Valence, ein Schwermineral, welches sich aus sauren Eruptivgesteinen (Graniten) ableiten läßt, deutet nach VATAN auf eine Herkunft aus dem Massiv central hin. TCHIMICHKIAN et al. (1958) und DUPLAIX et al. (1965) fanden im Eozän und Oligozän des Beckens von Bresse eine Schwermineralvergesellschaftung von Turmalin, Staurolith, TiO<sub>2</sub>-Gruppe, Zirkon und Disthen. LATREILLE (1969) führte zwischen Lyon und Valence schwermineralogische Untersuchungen der rechtsseitigen Zubringerflüsse der Rhône durch. Dadurch konnte die Herkunft der stabilen Schwerminerale (Zirkon, Turmalin, Rutil) und der metamorphen Schwerminerale (Staurolith, Disthen und Andalusit) eindeutig bestimmt werden.

Als distributive Provinz hat nach VATAN (1949) das Massiv central zu gelten. Damals sind zu Beginn der Kreidezeit Glimmerschiefer des Zentralplateaus abgetragen worden, die bereits die stabilen Schwerminerale sowie Staurolith und Disthen mit sich führten. Diese wurden zunächst fluviatil bis zu einer Kreideküste transportiert, dann darin verfrachtet und in den Sedimenten des Hauterivien, Albien und Aptien abgelagert. Am Ende der Kreidezeit setzt eine Regression ein. Im Tertiär findet ein erneuter fluviatiler Transport im Eozän (mit teilweiser terrestrischer Verwitterung, die zur Bildung von Paläokarst und Boluston führt) und im Oligozän statt, in der das Kreidematerial resedimentiert wird.

Tabelle 20: Auftreten der Jura-Schüttung in verschiedenen Stufen.

Rotbraune, siltige Tonmergel aus dem unteren Hauterivien (Bohrung Essertines 1, 398 m)	SM-Formel: g,T,Z,tio <sub>2</sub> ,s
Olivbraune, siltige Mergel mit Glaukonit aus dem Aptien (Bohrung Miguet; 8,5 m; Synklinale von Neirroux; Koord. 527,92/187,80)	SM-Formel: g,T,Z,S,tio <sub>2</sub> ,m
Rote bis bräunliche Mergel aus dem Siderolithikum (Eozän)	
a) von Mormont (Koord. 531,60/167,50)	SM-Formel: T,S,z,tio <sub>2</sub>
b) Südschenkel des Weißensteingewölbes (Koord. 609,05/233,15)	SM-Formel: g,S,T,z,e,d,a,tio <sub>2</sub>
Kalksandsteine aus den Calcaires à glauconie des „Chattien“ inférieur (vgl. Abb 16)	SM-Formel: T,S,Z,tio <sub>2</sub> ,a
Kalksandsteine aus dem „Chattien“ inférieur mit aufgearbeitetem Siderolithikum (Bohrung im Lac de Neuchâtel, Koord. 563,280/205,317)	SM-Formel: g,A,E,t,z,s,tio <sub>2</sub> *

#### 5.4. Jura-Schüttung

Die Jura-Schüttung ist durch eine Schwermineralvergesellschaftung charakterisiert, die aus den stabilen Schwermineralen (Zirkon, Turmalin, TiO<sub>2</sub>-Gruppe) sowie Staurolith und Disthen besteht. Sie läßt sich im Gegensatz zu den anderen Schüttungen auch in älteren Sedimenten feststellen. Nach eigenen Untersuchungen konnte sie in den in Tab. 20 angeführten Stufen nachgewiesen werden.

\*) Eine Fortsetzung der Genfersee-Schüttung in die Oberrheinische Tiefebene ist durch die schwermineralogische Übereinstimmung der Proben gegeben. Diese Vertiefung, d. h. Öffnung der „Raurachischen“ Senke gilt jedoch für die Zeit des „Chattien“ inférieur als gesichert, eine Öffnung, die bereits im „Rupélien“ stattfand, muß jedoch durch die unterschiedliche Schwermineralführung [kein Epidot im „Rupélien“ der subalpinen Molasse, Epidot im Septarienton (= „Rupélien“) der Bohrung Leymen 1] verneint werden. Zu einer gänzlich anderen Interpretation gelangte SCHLANKE et al. (1978), der anhand einer übereinstimmenden Spinellführung im Septarienton und einer Spinellfacies in den Bohrungen Tschugg 1 und Ruppoldsried 1 bereits eine Verbindung im „Rupélien“ postulierte.

Anhand exoskopischer und endoskopischer Untersuchungen an Quarzkörnern aus dem Albien, Aptien und dem Siderolithikum konnten AUBERT & RIBAUT (1975) die Entstehungsgeschichte bis in das Liefergebiet zurückverfolgen. Daß bei diesem zweimaligen Vorgang von Abtragung, Transport und Sedimentation nur die stabilen Schwerminerale sowie die umlagerungsresistenten Schwerminerale Staurolith und Disthen erhalten blieben, ist evident.

#### 6. Zeitlicher Ablauf der Schüttungen

Schon in der Einleitung wurde festgehalten, daß es das Ziel der Sedimentpetrographie sein sollte, ein Sedimentprofil nicht nur zu gliedern und mit anderen Sedimentprofilen zu korrelieren, sondern wenn möglich auch das Liefergebiet zu rekonstruieren. Im vorliegen-

\*) Nach der Schwermineralformel besteht hier eine Vorherrschaft von Apatit und Epidot, die der Genfersee-Schüttung zugesprochen wird. Der über 50% liegende Karbongehalt sowie ein erhöhter Anteil der stabilen Schwerminerale weisen aber auch auf einen Einfluß der Jura-Schüttung hin.

den Fall wurde versucht, die zeitliche Abfolge von Schüttungen anhand der Änderungen der Schwermineralvergesellschaftungen (vgl. Abb. 22, 23, und 24) darzustellen.

### 6.1. „Rupéllen“

Der Beginn der Molassesedimentation wird allgemein dort angenommen, wo die typischen Flyschmerkmale

verschwinden und sich ein zunehmender Einfluß einer brackischen Fazies in der Untere Meeres Molasse bemerkbar macht. Daß diese Übergänge nicht abrupt, sondern fließend vonstatten gehen, läßt sich anhand von Sedimentstrukturen beweisen. Die stratigraphisch tiefsten Schichtglieder im Untersuchungsgebiet bilden im subalpinen Teil der Molasse die Grès à Cyrènes, die mit den im NE vorkommenden Grès de Valruz parallelisiert werden. Im autochthonen Teil der Molasse ist das

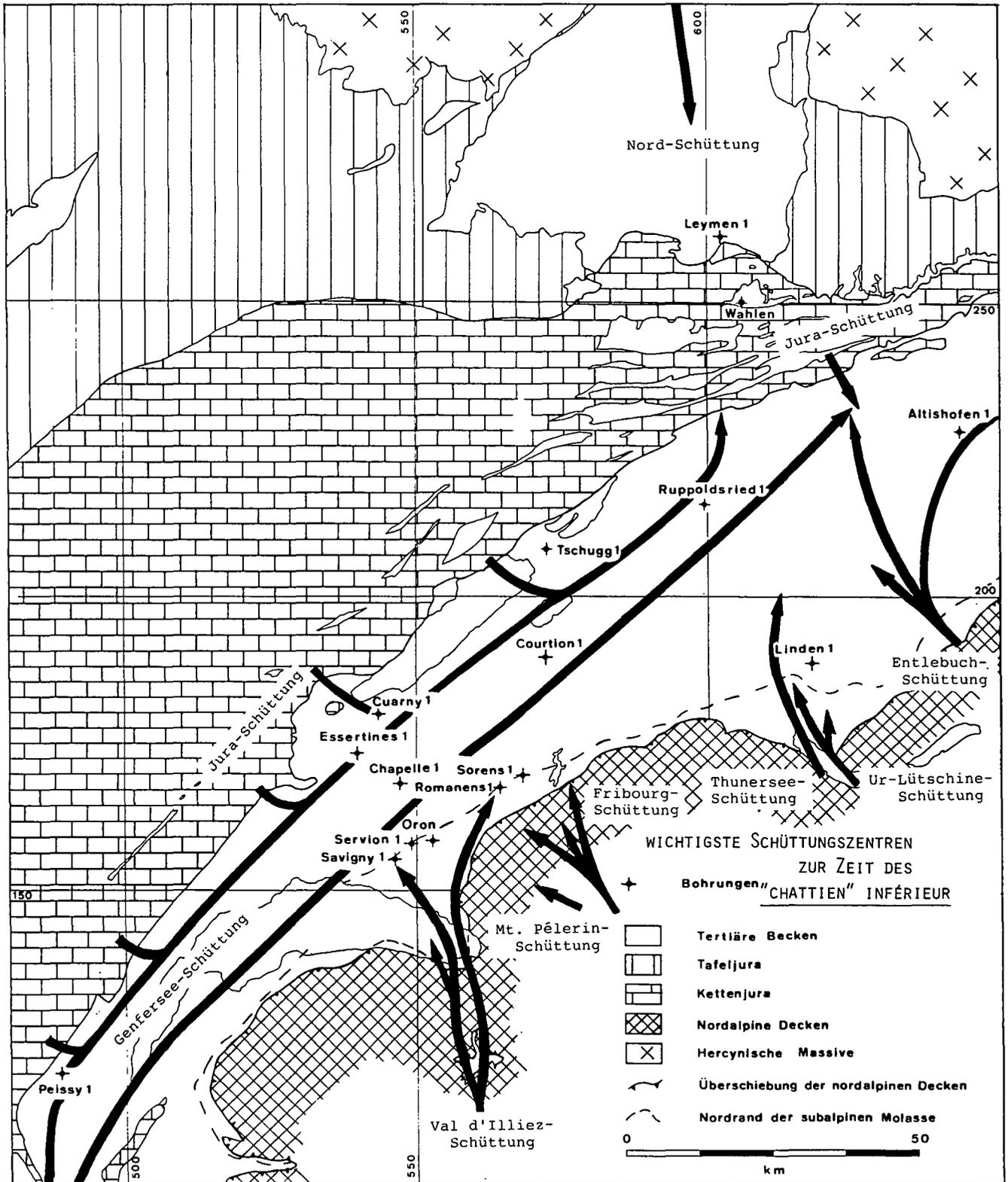


Abb. 22: Die wichtigsten Schüttungszentren zur Zeit des „Chattien“ inférieure.

„Rupélien“ in den Bohrungen Sorens 1 und ?Savigny 1, sowie im Val d'Illyez vorhanden. Die Schwermineral-spektrien des „Rupélien“ zeigen eine mehr oder weniger einheitliche SM-Vergesellschaftung von Turmalin, Zirkon und der TiO<sub>2</sub>-Gruppe. Untergeordnet treten Spinnell, Staurolith und Granat auf. Es sind also primär die stabilen Vertreter, die als typische SM-Vergesellschaftung gleichfalls in den Flyschen vorkommen.

## 6.2. „Chattien“ Inférieur (Abb. 22)

Mit dem Wechsel von marin-brackischem in ein limnisch-fluvioterrestisches Milieu bringen radiale und axiale Materialströme ihre Fracht in das Molassebecke-n. Durch unterschiedliche Schwermineralvergesell-schaftungen lassen sich im Untersuchungsgebiet fol-gende Schüttungen auseinanderhalten. Ein breites Rin-

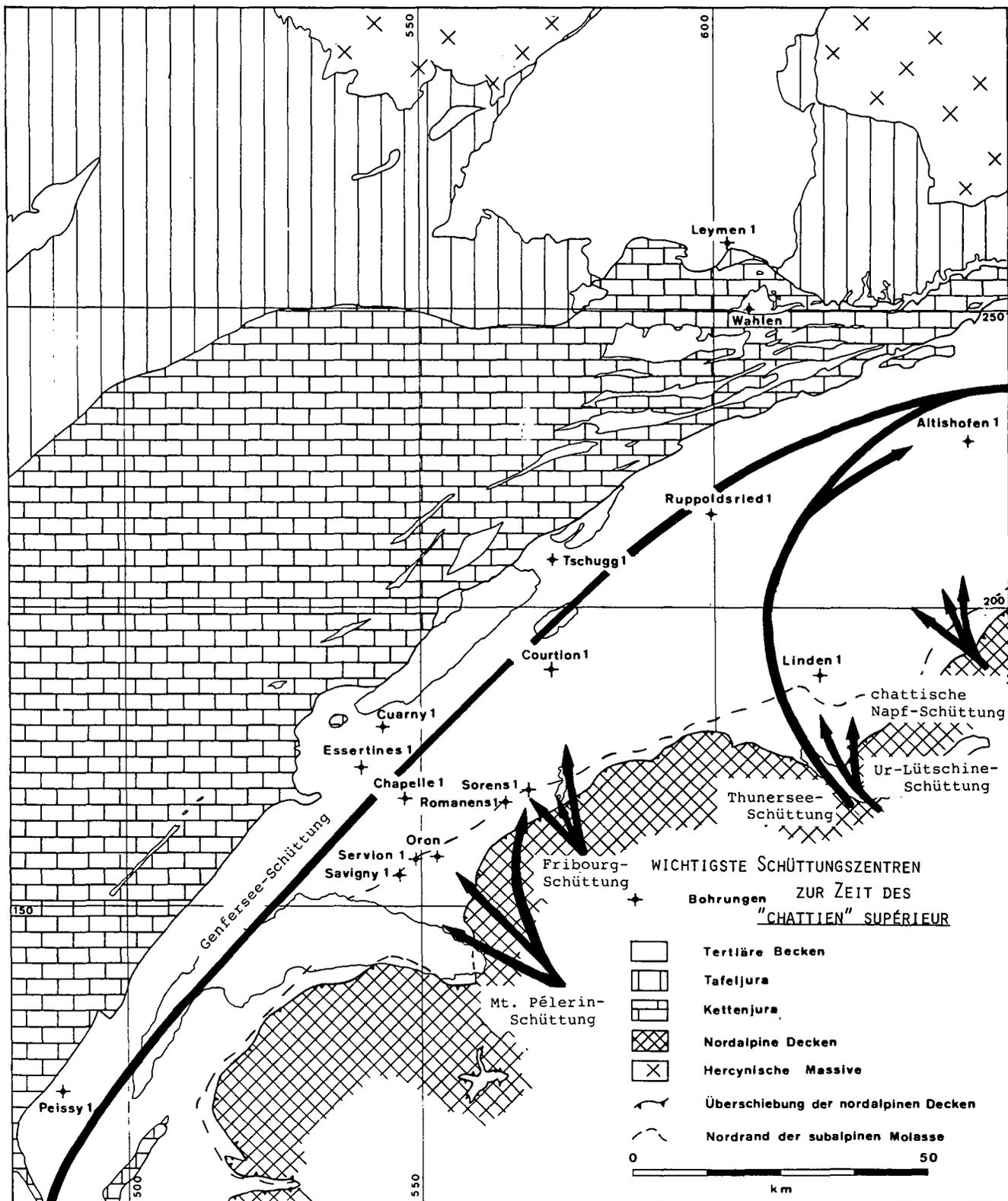


Abb. 23: Die wichtigsten Schüttungszentren zur Zeit des „Chattien“ supérieur.

nensystem, welches sich vom S-Rand des Jura bis SE Lausanne (dazu zählen auch die nördlichsten Schuppen der subalpiner Molasse) erstreckt, bildet die Genfersee-Schüttung. Sie läßt sich in den proximalen Bohrungen (überschobener Teil der Bohrung Savigny 1 und Sorens 1) und in den medianen und distalen Bohrungen, sowie in den Profilen 1 und 2 und zum Teil in den nördlichsten Schuppen der Profile I und II der subalpiner Molasse (Schuppe von Belmont-Paudèze) anhand ihrer charakteristischen SM-Vergesellschaftung (Epidot, Alkalihornblende) nachweisen. Dieser axiale Schuttstrom wird einerseits im Norden bis Nordwesten durch mehrere kleinere radiale Schüttungen der Jura-Schüttung, bestehend aus den stabilen Schwermineralen und Staurolith sowie Disthen, beliefert, andererseits bringen zwei unterschiedliche Schüttungen von Süden und Südosten ihr Material. Es ist dies die Val d'Illicz-Schüttung, charakterisiert durch Apatit, stabile Schwerminerale, Granat und Spinell. Zu ihr werden die Molasse rouge von Val d'Illicz, die Molasse rouge de Vevey und der autochthone Teil der Bohrung Savigny 1 (E<sub>1</sub>, 2100–2320 m) sowie der Bohrung Sorens 1 (E<sub>1</sub>, 2750–3100 m) gezählt. Durch die Verschiedenheit in der Schwermineralassoziation (Staurolithführung) muß für die weiter östlich vorkommenden Couches de Chaffa, die altersmäßig der Molasse rouge entspricht, eine eigene Schüttung postuliert werden. Sie wird als Fribourg-Schüttung bezeichnet.

Im höheren Teil des „Chattien“ inférieur beginnt sich eine neue Schüttung – die Mt. Pélerin-Schüttung – zu manifestieren. Schwermineralogisch besteht eine verblüffende Ähnlichkeit (Staurolithführung) zu den Couches de Chaffa (= Fribourg-Schüttung), die es wahrscheinlich macht, daß sich die Mt. Pélerin-Schüttung durch Abspaltung eines westlichen Armes der Fribourg-Schüttung gebildet hat.

Daß sich die Mt. Pélerin-Schüttung und auch die Fribourg-Schüttung als kleine, radiale Schüttungen in ihrer lateralen Ausdehnung lediglich auf den überschobenen Teil der subalpiner Molasse beziehen, dafür sind folgende Hinweise gegeben. Die nördlichsten Schuppen der subalpiner Molasse gehören bereits der Genfersee-Schüttung an (vgl. Abb. 18 und Abb. 20). In der Bohrung Savigny 1 (1650–2100 m) sowie Sorens 1 (1850–2100 m) entsprechen die Einheiten E<sub>2β</sub> und E<sub>2α</sub> sicherlich nicht der Mt. Pélerin- oder Fribourg-Schüttung. Viel eher liegt die Vermutung nahe, daß diese Schichtfolgen eine Verfälscherung der Genfersee-Schüttung (Epidotfacies) und der Val d'Illicz-Schüttung darstellen.

### 6.3. „Chattien“ supérieur (Abb. 23)

Im „Chattien“ supérieur tritt eine geringfügige Änderung in der Schwermineralführung der Genfersee-Schüttung auf. Die bis anhin so typische Alkalihornblende ist nur mehr sehr selten vorhanden. Der Epidot zeigt eine deutliche Zunahme. Die Jura- und die Val d'Illicz-Schüttung sind beendet. Dafür deuten die mächtigen Konglomeratlagen auf die relative Nähe des Schüttungszentrum der Mt. Pélerin-Schüttung hin. Schwermineralogisch hat sich gegenüber dem Erstauftreten im höheren „Chattien“ inférieur nicht geändert, lediglich das Delta hat sich zunehmend vergrößert, indem es in seinem distalen Teil auch Sandsteine (Grès de la Cornaille) abgelagert. Diese Sandsteine besitzen ein Schwer-

mineralspektrum, welches gegenüber dem SM-Spektrum aus dem Bindemittel der Nagelfluh des Mt. Pélerin deutlich weniger Staurolith aufweist. Der verschieden hohe Staurolithgehalt läßt sich durch die unterschiedliche Transportweite (von proximal zu distal) erklären. Derselbe Mechanismus trifft auch für die NE vorkommenden Couches du Gérignoz p. p. zu, die als distale Fortsetzung der Nagelfluh des Mt. Pélerin interpretiert werden.

In der Fribourg-Schüttung findet eine Änderung in der Schwermineralführung statt, indem der Epidot an Stelle des Apatits tritt und der so charakteristische Staurolith fast vollständig verschwindet. Daß eine solche Schüttung, die dem heutigen Verlauf der Sarine folgt, postuliert werden muß, läßt sich in der Bohrung Sorens 1 darlegen. Dort treten bei ca. 1780–1930 m Tiefe Gerölle auf, die neben Epidot auch Hornblende und Pyroxene führen. Diese Gerölle markieren somit eine neue Schüttung mit altem Namen.

### 6.4. „Aquitaniens“ (Abb. 24)

Mit dem „Aquitaniens“ hat sich der Wechsel von einer grob verallgemeinert ausgesprochenen Granat-Apatit-Zirkon-Kombination in eine Epidot-Apatit-Kombination bereits vollzogen. Diese Änderung ist nicht nur lokal begrenzt, sondern zeichnet sowohl für die schweizerische Molasse wie auch für die angrenzenden französischen und süddeutschen Molassevorkommen eine durchgehende Äquivalenz ab. An Stelle der vielen, kleinen, „chattischen“ Schüttungszentren, treten im „Aquitaniens“ große Schuttfächer auf, die bis in den mittelländischen Teil des Molassebeckens ihre Geröllfracht transportieren. Im Untersuchungsgebiet werden sie durch die Genfersee-Schüttung und die Fribourger-Schüttung dargestellt.

Zusammenfassend ergeben sich für die Untere Süßwassermolasse des Untersuchungsgebietes schwermineralogische Evidenzen, die zur Klassifizierung verschiedener Materialströme beitragen.

## 7. Statistische Verfahren

### 7.1. Einleitung

Die Vielzahl der Daten brachte es mit sich, daß diese nicht mehr überblickbar, geschweige denn darstellbar waren. Um die Fülle der Information voll auszunutzen zu können, wurden daher statistische Auswertungsmethoden, sowohl graphischer, als auch rechnerischer Art herangezogen. Folgende Fragen sollten dabei mit Hilfe der Statistik geklärt werden:

1. Nach welchen schwermineralogischen Kriterien gruppieren sich die Proben?
2. Bestehen Korrelationen zwischen den Konzentrationen einzelner Schwerminerale?
3. Lassen sich Unterschiede in der sedimentpetrographischen Zusammensetzung der Proben 1.) in Bezug auf ihre stratigraphische Höhe und 2.) in ihrer regionalen Lage erkennen?
4. Ist es möglich, die verschiedenen lithologischen Formationen anhand ihrer mineralogischen Zusammensetzung optimal zu trennen, bzw. können auch Proben mit fraglicher lithostratigraphischer Position zugeordnet werden?

Die Untersuchungen wurden in derselben Reihenfolge wie in den Kapiteln 3. und 4. durchgeführt, indem zunächst die Bohr- und dann die Oberflächenproben statistisch erfaßt wurden.

Die Gliederung der Bohrproben in sechs verschiedene sedimentpetrographische Einheiten wurde an den Schwermineralprofilen der diversen Bohrungen ermittelt. Unter Zuhilfenahme eines Diskriminanz-Zuordnungsverfahren (vgl. HARBAUGH & MERRIAM, 1968,

S. 206 ff.) wurden die Proben auf ihre Zugehörigkeit zu den jeweiligen Gruppen überprüft und wenn notwendig neu zugeordnet. Nach mehreren, durchgeführten Programmabläufen konnte somit eine optimale Grenzziehung, d. h. Proben mit wenig Neuuzuordnungen zu den Einheiten erzielt werden.

Bei den Oberflächenproben wurde eine Gliederung nicht in sedimentpetrographische Einheiten, sondern in lithostratigraphische Formationen (subalpine Molasse)

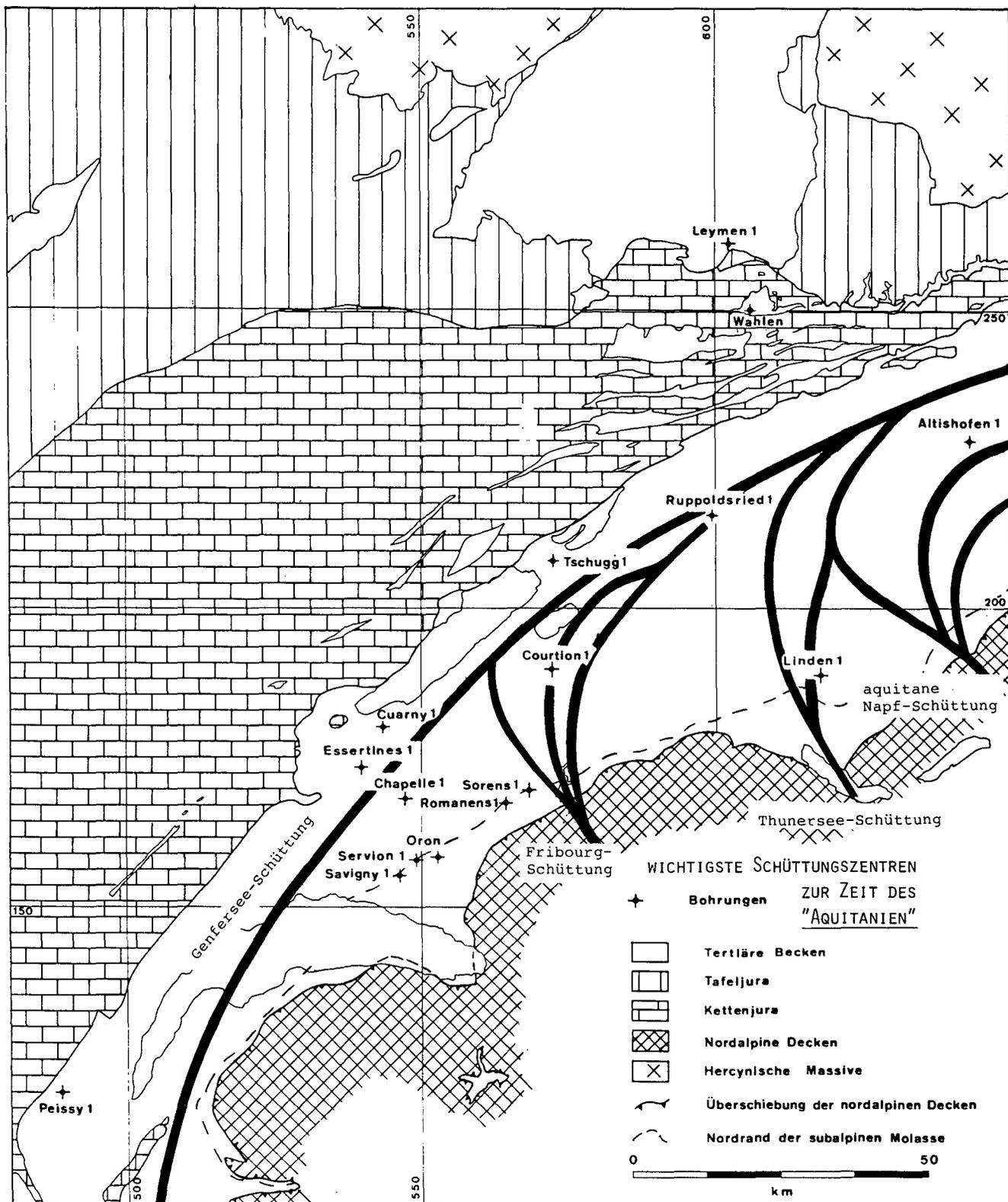


Abb. 24: Die wichtigsten Schüttungszentren zur Zeit des „Aquitaniens“.

und informale Stufenbezeichnungen (Plateaumolasse) vorgegeben.

Die Darstellung aller Schwermineralkonzentrationen erfolgte in einem mehrdimensionalen Koordinatensystem. Von der n-dimensionalen Punktwolke, welche graphisch nicht darstellbar ist, interessiert primär die Streuung (Varianz) und nicht die n-dimensionale geometrische Form der Punktwolken. Um eine optimale Graphik der gestreuten Punkte zu erhalten, wurde das Koordinatensystem so gedreht, daß die Achse mit der längsten Varianz die erste Hauptkomponente, diejenige mit der zweitlängsten Varianz die zweite Hauptkomponente usw. bildet. Mit dem Höherwerden der Hauptkomponenten nimmt die Varianzstaffelung rapide ab und es tritt eine starke Verkürzung der Punktwolken ein (vgl. CAMMON, 1969).

In der folgenden Phase wurde jede Gruppe – getrennt nach Bohr- und Oberflächenproben – gegen jede andere diskriminiert. Mit dem paarweisen Vergleich konnten durch Elimination der redundanten (= nicht signifikant) Schwerminerale schlußendlich die zur Tren-

nung diagnostischen Schwerminerale gefunden werden.

Als zusätzliches Procedere wurden die Faktoren der Bohrproben bestimmt (vgl. HARBAUGH & MERRIAM, 1968, S. 179 ff.), wobei die regionale Lage der Bohrungen (proximal bzw. distal in Bezug zur Alpenrandüberschiebung) berücksichtigt wurde.

Eine weitere Methode, die in die statistischen Untersuchungsmethoden einbezogen wurde, bildete die Clusteranalyse (vgl. HARBAUGH & MERRIAM, 1968, S. 174 ff.). Dabei werden Ähnlichkeitsrangfolgen aufgestellt, indem wahlweise Proben oder Variable in einem hierarchisch verzweigten Netzwerk angeordnet sind.

## 7.2. Hauptkomponentenanalysen und Diskriminanzanalysen

Aufgrund der standartisierten Mineralanalysen-Daten von insgesamt 251 Bohrproben aus acht Bohrungen (Savigny 1, Servion 1, Sorens 1, Chapelle 1, Courtion 1, Peissy 1, Essertines 1 und Cuarny 1) wurden die ersten neun Hauptkomponenten berechnet. Hierzu sind

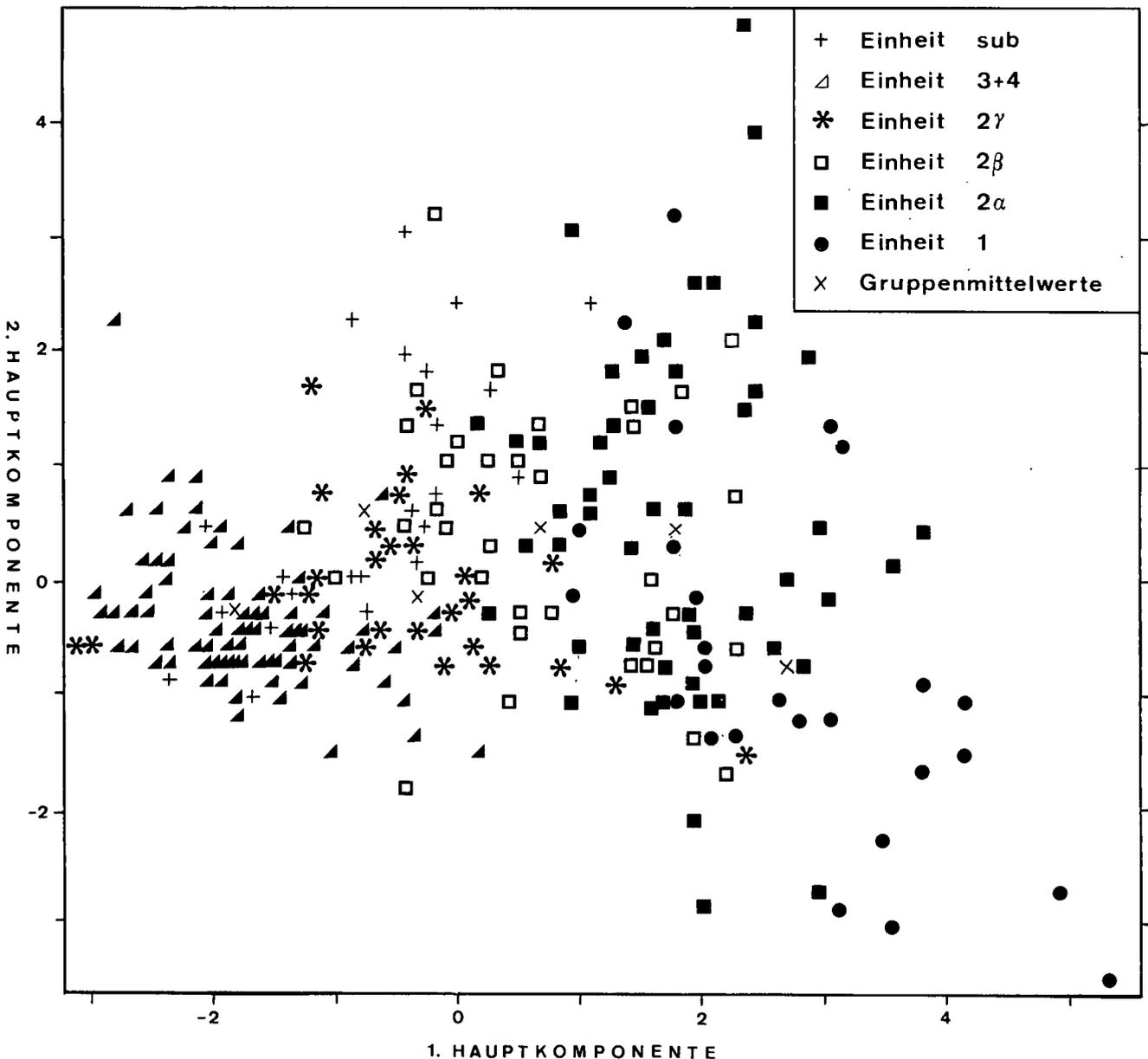


Abb. 25: Hauptkomponentenanalysen der Bohrproben.

folgende 15 Variablen berücksichtigt worden: Granat, Epidot, Apatit, Turmalin, Spinell, Zirkon, Rutil, Titanit, Staurolith, Chloritoid, Hornblende, Disthen, Alkalihornblende, Pyroxen und Hypersthen. Die in der Abb. 25 dargestellten 251 Bohrproben (erste gegen zweite Hauptkomponente) wurden in sechs Gruppen unterteilt, nämlich in die Einheiten  $E_{sub}$ ,  $E_{3+4}$ ,  $E_{2\gamma}$ ,  $E_{2\beta}$ ,  $E_{2\alpha}$  und  $E_1$ . Anhand der Graphik lassen sich die Einheiten mehr oder weniger als deutlich abgrenzbare Punktwolken erkennen, wobei in der Einheit  $E_{sub}$  durch die relativ große Streuung der Proben keine einheitliche Schwermineralvergesellschaftung vorliegt. Die Richtung der ersten Hauptkomponente im  $n$ -dimensionalen Raum resultiert mit der Betragsabnahme der Grundvektorenkomponenten aus den Schwermineralen Epidot, Granat und Apatit, diejenige der zweiten Hauptkomponente aus Titanit, Staurolith und Alkalihornblende. Von der ersten bis einschließlich zur sechsten Hauptkomponente sind 62,4 % des Datenmaterials erfaßt und verarbeitet worden. Die im Anschluß durchgeführte Diskriminanzanalyse bestätigt die vorgenommene Gruppeneinteilung, indem sich alle sechs Gruppen signifikant voneinander unterschei-

Tabelle 21: Aufteilung der Oberflächenproben auf 9 Gruppen.

„Burdigalien“	4 Proben
„Aquitaniens“	26 Proben
„Chattien“ supérieur	15 Proben
„Chattien“ inférieur	23 Proben
Jura	4 Proben
Molasse à charbon	11 Proben
Grès de la Cornalle	20 Proben
Poudingues du Pélerin	33 Proben
Molasse rouge	33 Proben

den. Die geringsten Werte zeigen dabei immer die benachbarten Gruppen (vgl. Abb. 28).

In derselben Art und Weise wurde auch mit den Oberflächenproben verfahren. Hier wurden zunächst neun Gruppen, die mit den informellen Stufenbezeichnungen (Plateaumolasse) bzw. lithostratigraphischen Formationen (subalpine Molasse) gekennzeichnet sind, ausgeschieden (siehe Tab. 21).

Die Untersuchungen wurden an 170 Proben mit den Variablen Granat, Epidot, Apatit, Turmalin, Spinell, Zirkon, Rutil, Titanit, Staurolith, Chloritoid, Hornblende,

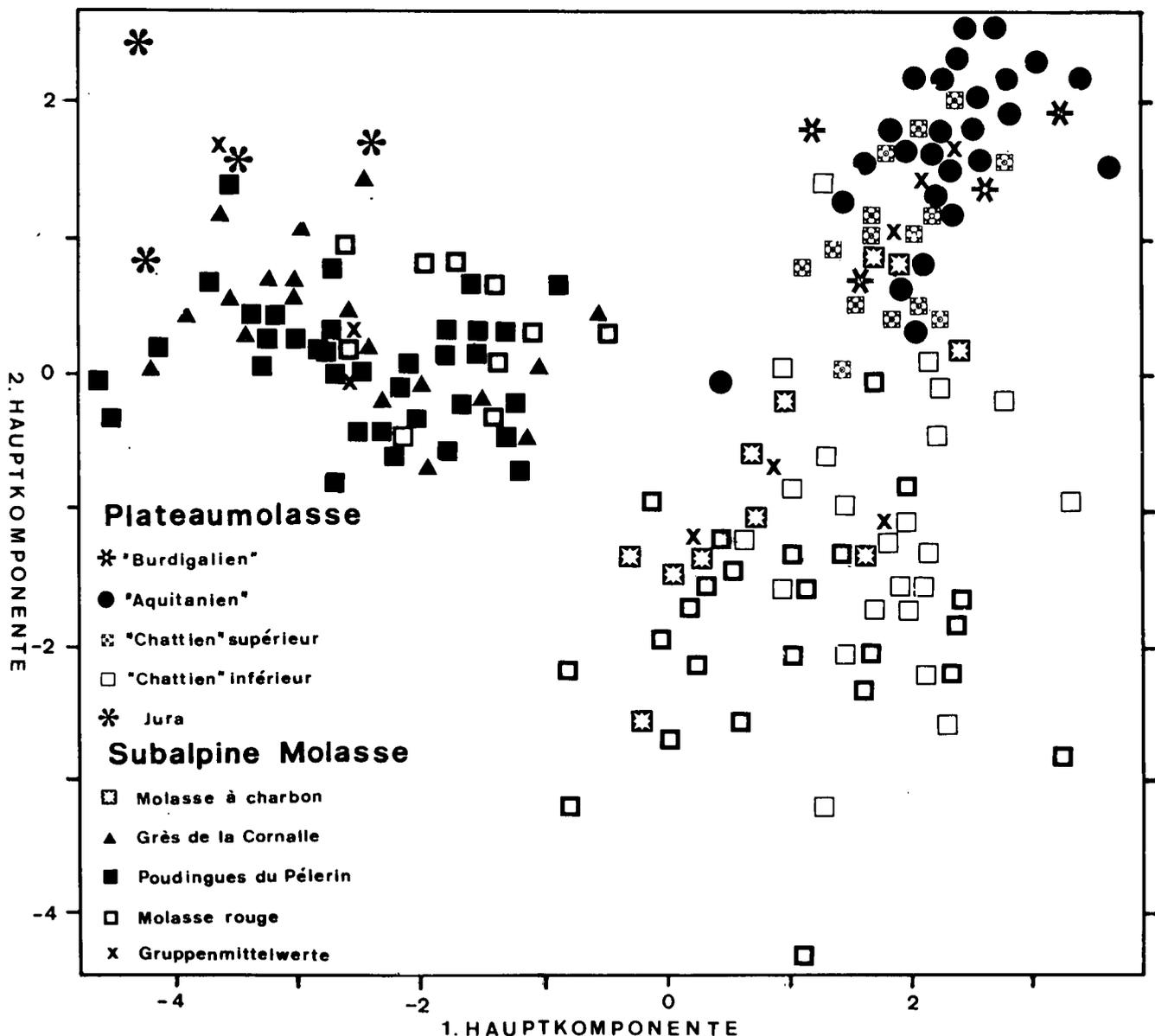


Abb. 26: Hauptkomponentenanalysen der Oberflächenproben (9 Gruppen).

Disthen, Alkalihornblende, Calcit, Dolomit und Schwermineralgewichtsprozente durchgeführt.

Aus der Darstellung der ersten Hauptkomponente gegen die zweite Hauptkomponente (vgl. Abb. 26) ergibt sich eine deutliche Trennung. So bilden die Gruppen „Burdigalien“, „Aquitaniens“ und „Chattien“ supérieur eine Punktwolke im rechten oberen Viertel der Abbildung, im unteren Viertel zeigen „Chattien inférieur, Molasse à charbon und ein Teil der Molasse rouge ihre Artverwandtheit. Die linke Hälfte der Abbildung nehmen die Proben des Jura sowie die Proben der Grès de la Cornalle, Poudingues du Pélerin und der Molasse rouge (p. p.) ein.

Dagegen wurde der Anteil am Vektor 2 (= zweite Hauptkomponente) durch folgende Variable bestimmt:

- a. Apatit,
- b. Granat,
- c. Alkalihornblende,
- d. Titanit.

Anhand einer weiteren Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse wurde zu den bisherigen neun

Gruppen als zehnte Gruppe die Molasse rouge de Vevey hinzugefügt. Gleichzeitig wurde unter Wegnahme von Calcit und Dolomit die Variablenzahl auf 14 reduziert. Wie auf Abb. 27 ersichtlich ist, hat sich am Grundkonzept – einer Dreigliederung der Punktwolken – nichts geändert, lediglich die Richtungen der Hauptkomponenten haben sich gedreht und dadurch eine andere Konfiguration der Abb. 27 ergeben.

Aufgrund der Reduktion der Variablen trat eine Veränderung der Beträge der Grundvektorenkomponenten der ersten Hauptkomponente und der zweiten Hauptkomponente ein. Der Vektor 1 (= erste Hauptkomponente) wird aus folgenden Schwermineralen gebildet:

- a. Rutil,
- b. Turmalin,
- c. Epidot,
- d. Staurolith,
- e. Titanit,
- f. Zirkon,
- g. Spinell,
- e. Alkalihornblende.

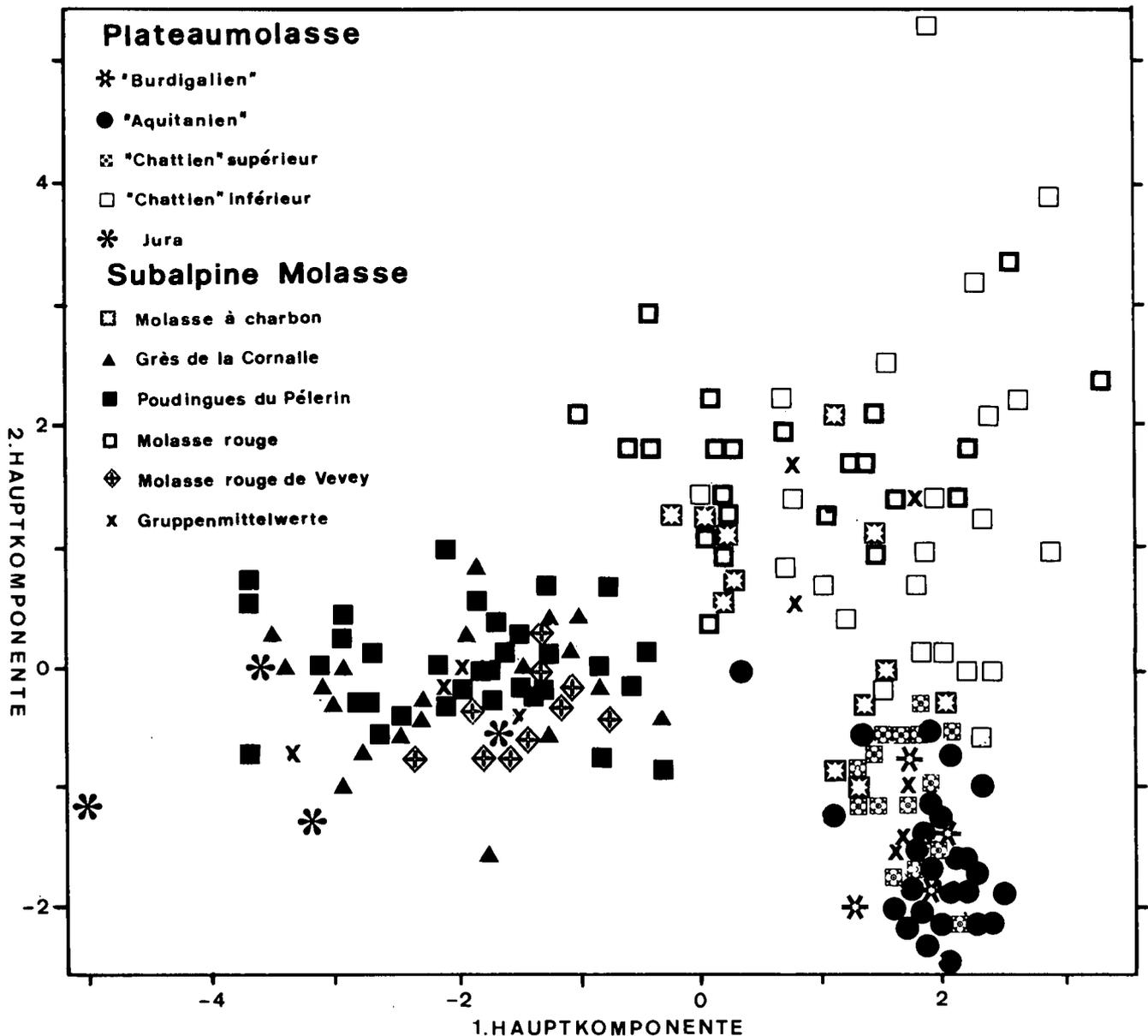


Abb. 27: Hauptkomponentenanalysen der Oberflächenproben (10 Gruppen).

Der Vektor 2 (= zweite Hauptkomponente) setzt sich hauptsächlich aus folgenden Schwermineralen zusammen:

- a. Granat,
- b. Apatit,
- c. Spinell,
- d. Epidot,
- e. Disthen,
- f. Titanit.

Von Interesse sind auch die Gruppenmittelwerte, die auf Tab. 22 zusammengefaßt sind. Anhand der deutlich erkennbaren Unterschiede der Schwermineralvergesellschaftungen ist jede Gruppe von der anderen unterscheidbar. Dabei spielen nicht nur die prozentual am stärksten vertretenen Schwerminerale wie Epidot und Apatit eine wesentliche Rolle, sondern auch die zahlenmäßig untergeordneten Schwerminerale wie z. B. Alkalihornblende und Staurolith tragen zum Erkennen der einzelnen Gruppen bei. Daneben zeigt sich im Karbonatgehalt eine deutliche Trennung, wobei ein hoher Prozentgehalt den Gesteinen des Mt. Pélerin entspricht.

Eine weitere Aufgabe bestand darin, mit Hilfe diskriminanzanalytischer Methoden die Unterscheidbarkeit der Gruppen auf ihre Signifikanz zu prüfen, sowie die zur Trennung der Gruppen diagnostischen Variablen (Schwerminerale) zu finden.

Die Aufgabe der Diskriminanzanalyse besteht darin, einen Linearkombination der Zufallsvariablen

$$X_1, X_2, \dots, X_n$$

(z. B. Granat, Epidot usw.) zu finden, welche zwei Gruppen optimal trennt. Die Koeffizienten

$$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$$

einer solchen Linearkombination

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

müssen so gewählt werden, daß sich zwei vorgegebene Gruppen in Y maximal unterscheiden. FISHER (1936) konnte zeigen, daß dieser Ansatz der Diskriminanzanalyse und derjenige der mehrfachen linearen Regression (vgl. KRUMBEIN & GRAYBILL, 1965, S. 277 ff.) äquivalent sind. Er setzt an Stelle der abhängigen Variablen Y eine Pseudovariablen  $p_i$  (Gruppencode), welche nur die zwei Werte  $c_1$  und  $c_2$  annehmen kann, und zwar wie folgt:

$$p_i = \begin{cases} c_1 & \text{falls die Probe Nr. } i \text{ aus der Gruppe 1 stammt} \\ c_2 & \text{falls die Probe Nr. } i \text{ aus der Gruppe 2 stammt} \end{cases}$$

Die Größen  $c_1$  und  $c_2$  können im Prinzip frei gewählt werden. Aus praktischen Gründen empfiehlt es sich jedoch, die von FISHER (1936) vorgeschlagene Codierung zu benutzen.

Tabelle 22: Gruppenmittelwerte der wichtigsten Schwerminerale sowie Karbonatgehalte von den Oberflächenproben.

	GRANAT %	EPIDOT	APATIT	TURMALIN	SPINELL	ZIRKON	RUTIL	TIANIT	STAUROLITH	ALKAHLI- HORNBLLENDE	CALCIT	DOLOMIT
"Aquitaniien"	11	71	17	3	0.1	2	0.4	2	0.5	0.1	17.8	1.4
"Chattien" supérieur	14	58	28	4	0.5	2	0.4	2	0.5	0.4	23.8	1.9
Molasse à charbon	37	21	58	10	1.0	2	1.6	3	2.0	0.2	25.7	4.9
Grès de la Cornalle	36	1	30	19	23.6	6	7.1	0	11.0	0.1	40.0	8.5
Poudingues du Pélerin	41	0	33	22	10.5	5	6.0	0	17.8	0.0	40.0	10.6
"Chattien" inférieur	43	37	35	5	1.8	2	0.9	3	2.6	6.1	27.6	0.8
Molasse rouge	50	9	64	8	2.3	2	1.5	2	1.9	4.6	24.9	3.5
Molasse rouge de Vevey	31	1	36	24	26.7	5	4.1	0	1.8	0.0	36.1	5.8

In Analogie zur mehrfachen linearen Regression können durch eine schrittweise Abwärtsselektion redundante (nicht signifikante) Variablen eliminiert werden (vgl. KRUMBEIN & GRAYBILL, 1965, S. 391 ff.).

Die Untersuchungen erfolgten zunächst an den Proben der Bohrungen, indem jede der sechs verschiedenen Einheiten als Gruppe und die 14 verschiedenen Schwerminerale als Variable erfaßt wurden. Bei der paarweisen Diskriminanzanalyse wurde als abhängige Variable eine Fisher-codierte Pseudovariablen gewählt

$$(c_1 = n_1/n_1 + n_2, c_2 = -n_2/n_1 + n_2)$$

Dabei bedeutet  $n_1$  die Anzahl Proben der ersten Gruppe und  $n_2$  die Anzahl der Proben der zweiten Gruppe.

Das auf Abb. 28 dargestellt Diagramm gibt Aufschluß

über die Gruppenunterschiede. Alle Gruppen unterscheiden sich signifikant (95 %-Schwelle) bzw. hoch signifikant (F-Werte >10). Signifikante Unterschiede bestehen – mit Ausnahme der Einheit  $E_{27}$  zu  $E_{3+4}$  – jeweils zu den benachbarten Gruppen. Dies ist auch verständlich, da sich ein Wechsel in der Schwermineralassoziation in der Regel nicht als ein plötzliches Ereignis, sondern langsam d. h. über längere Zeiträume hinweg ankündigt. Dementsprechend lassen sich die Einheiten, die nicht in direkter „nachbarlicher“ Beziehung stehen, viel besser unterscheiden. Sie werden dadurch hochsignifikant (F-Wert >10).

Die zur Trennung beitragenden Schwerminerale sind nach ihrer Wichtigkeit geordnet, groß geschrieben bei einem F-Wert >10, klein geschrieben bei einem F-Wert

$E_{3+4}$	$E_{2\gamma}$	$E_{2\beta}$	$E_{2\alpha}$	$E_1$	
EPIDOT TURMALIN Zirkon Granat	AHBL EPIDOT Apatit Staurolith	GRANAT APATIT Hypersthen	EPIDOT GRANAT Ahbl	TURMALIN SPINELL GRANAT APATIT	$E_{sub}$
	GRANAT ZIRKON EPIDOT TURMALIN Apatit Rutil	EPIDOT GRANAT TURMALIN AHBL Zirkon Titanit	EPIDOT GRANAT Turmalin Ahbl	EPIDOT GRANAT APATIT ZIRKON	$E_{3+4}$
		EPIDOT GRANAT Zirkon Ahbl	EPIDOT GRANAT ZIRKON	EPIDOT ZIRKON APATIT Granat Staurolith	$E_{2\gamma}$
			EPIDOT STAUROLITH	EPIDOT SPINELL	$E_{2\beta}$
				SPINELL TURMALIN APATIT ZIRKON Ahbl	$E_{2\alpha}$

Ahbl = Alkalihornblende

Abb. 28: Diagnostische Schwerminerale in den sedimentpetrographischen Einheiten der Bohrungen.  
Enge Schraffur: hoch signifikant; weite Schraffur: signifikant.

<10. Das am häufigsten diagnostische Schwermineral, das die Einheiten unterscheidet, ist der Epidot. Bei den insgesamt 15 Möglichkeiten der Gruppenunterscheidbarkeit, liegt es zehnmal an erster Stelle. In den stratigraphisch älteren Einheiten sind es der Granat, Spinell, Turmalin und Apatit, die die charakteristischen Unterscheidungsmerkmale liefern.

Die Qualität der Trennbarkeit der Einheiten ist durch die Histogramme der Abb. 29 und 30 deutlich veranschaulicht.

Ein weiteres Indiz gibt das sogenannte Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ), das Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten, das die Differenz der Mittelwerte der Gruppen numerisch ausgedrückt. Es erreicht Werte von 0 (= keine Trennung) bis maximal 1 (= optimale Trennung).

In derselben Art und Weise wie vorher erfolgten die Untersuchungen an den Oberflächenproben. Hier sollte mittels der Diskriminanzanalyse folgende Fragen geklärt werden:

- unterscheidet sich die Plateaumolasse von der subalpinen Molasse?
- sind die rein nach lithologischen Gesichtspunkten vorgenommene Gliederung der subalpinen Molasse (Mt. Pélerin-Schüttung) zutreffend?
- welche Variablen (Schwerminerale) sind für die Unterscheidbarkeit zuständig?

Tab. 23 zeigt die untersuchten Gruppen.

Beim paarweisen Vergleich (eine Probengruppe stammt aus der Plateaumolasse, die andere Probengruppe aus der subalpinen Molasse) zeigt sich eine hochsignifikante Trennung, die gleichfalls durch ein hohes Bestimmtheitsmaß ( $R^2 = 0,9$ ) dokumentiert wird (vgl. Abb. 32, 33 u. 34). Die Unterscheidbarkeit der Gruppen liegt in den verschiedenen Schwermineralassoziationen und wird von Spinell, Staurolith, Epidot und Apatit gebildet (vgl. Abb. 31). Eine Ausnahme macht die Molasse à charbon verglichen mit dem „Chattien“ inférieur oder mit dem „Chattien“ supérieur, die sich lediglich signifikant unterscheiden. Die signifikanten Merkmale sind Epidot, Apatit und Turmalin.

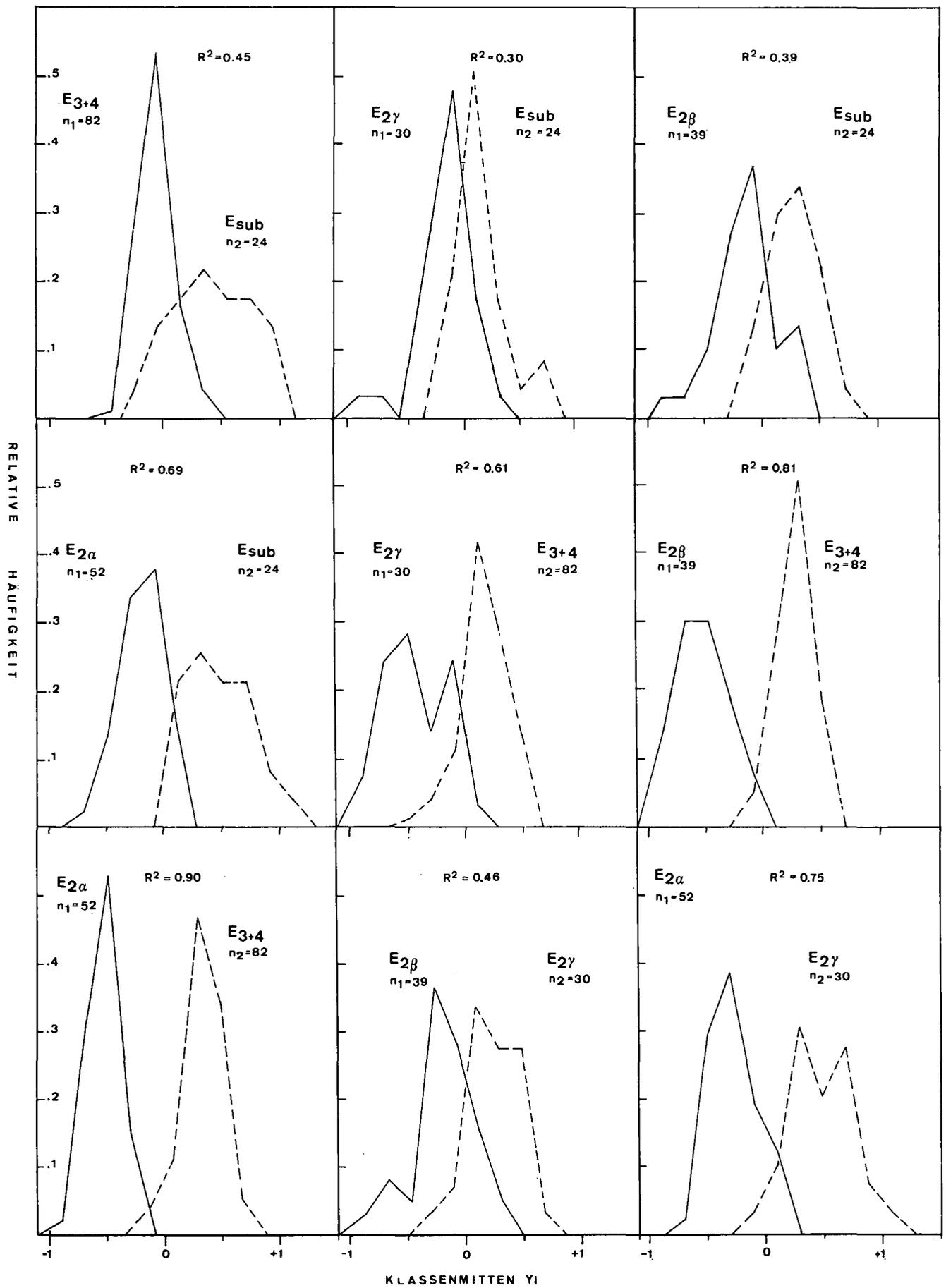


Abb. 29: Histogramme der sedimentpetrographischen Einheiten der Bohrungen.

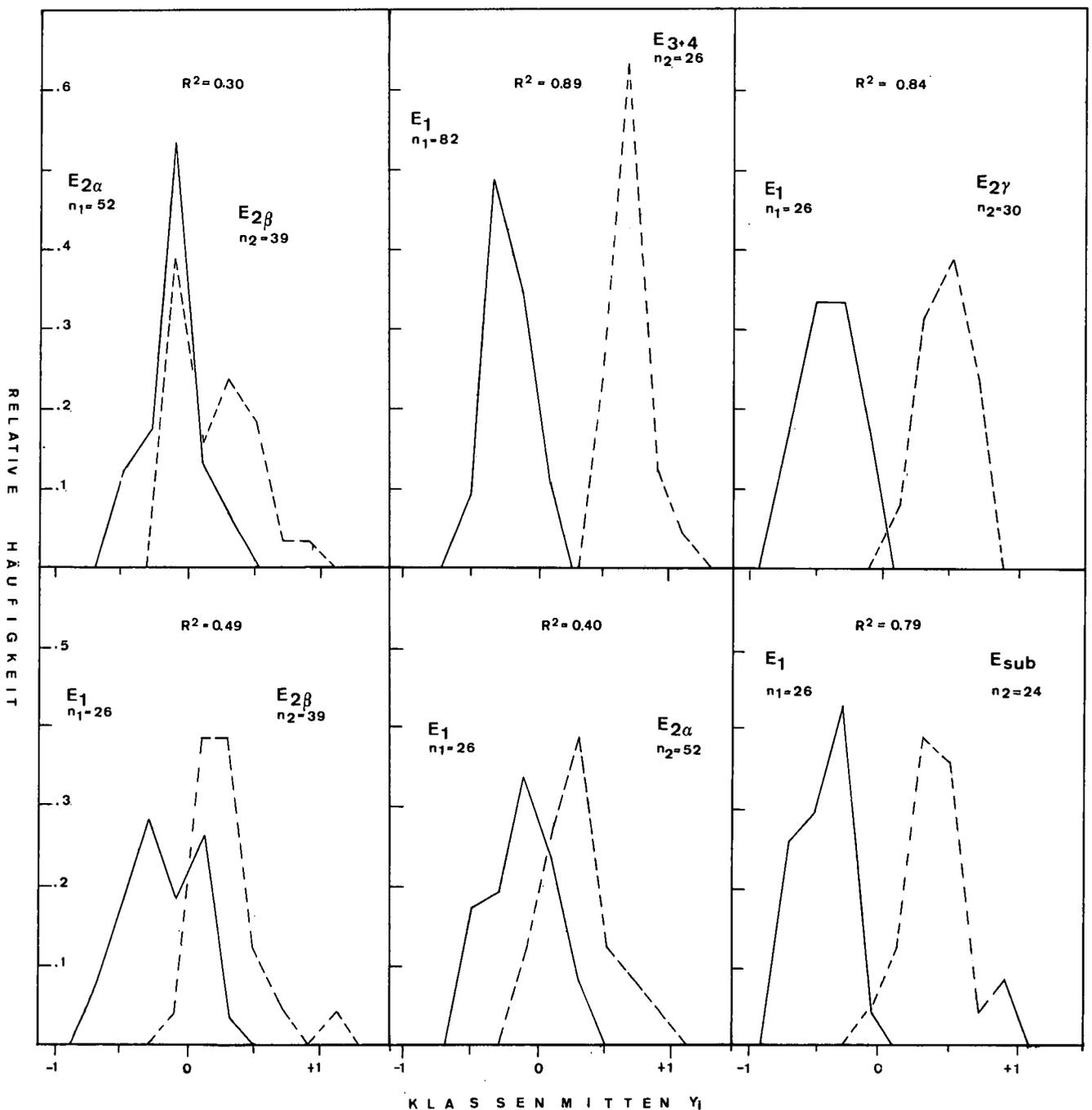


Abb. 30: Histogramme der sedimentpetrographischen Einheiten der Bohrungen (Fortsetzung).

Wie bei der Analyse der Bohrproben, wo benachbarte Einheiten sich deutlich weniger signifikant unterscheiden, ist dies auch bei den Oberflächenprofilen sowohl in der Plateaumolasse, als auch in der subalpinen Molasse der Fall. In der subalpinen Molasse ist es die Molasse à charbon zur Molasse rouge, die nicht signifikant

ist (Feld ohne Schraffur auf Abb. 31), signifikant (= 95 % Schwelle) sind die Molasse rouge de Vevey zu den Poudingues du Pélerin und zu den Grès de la Cornalle, sowie die Grès de la Cornalle zu den Poudingues du Pélerin.

Betrachtet man die signifikanten Schwerminerale innerhalb ein und desselben Zeitabschnittes, so können folgende Aussagen gemacht werden. Im „Chattien“ inférieur sind es die Schwerminerale Apatit, Spinell, Turmalin und Epidot, die zur Unterscheidung beitragen. im „Chattien“ supérieur treten noch Staurolith und Rutil hinzu. Diese Unterscheidbarkeit der Gruppen gibt einen Hinweis auf die Verschiedenheit des Liefergebietes, respektive bei geringfügiger Signifikanz zeigt es die Änderung von einem Schuttfächer (vom proximalen zu distalen Bereich) an (vgl. dazu Histogramme der Abb. 32, 33 und 34).

Tabelle 23: Oberflächenproben von Schichtgliedern, die mittels Diskriminanzanalyse untersucht wurden.

Plateaumolasse	1. „Chattien“ supérieur
	2. „Chattien“ inférieur
Subalpine Molasse	3. Molasse à charbon
	4. Grès de la Cornalle
	5. Poudingues du Pélerin
	6. Molasse rouge
	7. Molasse rouge de Vevey

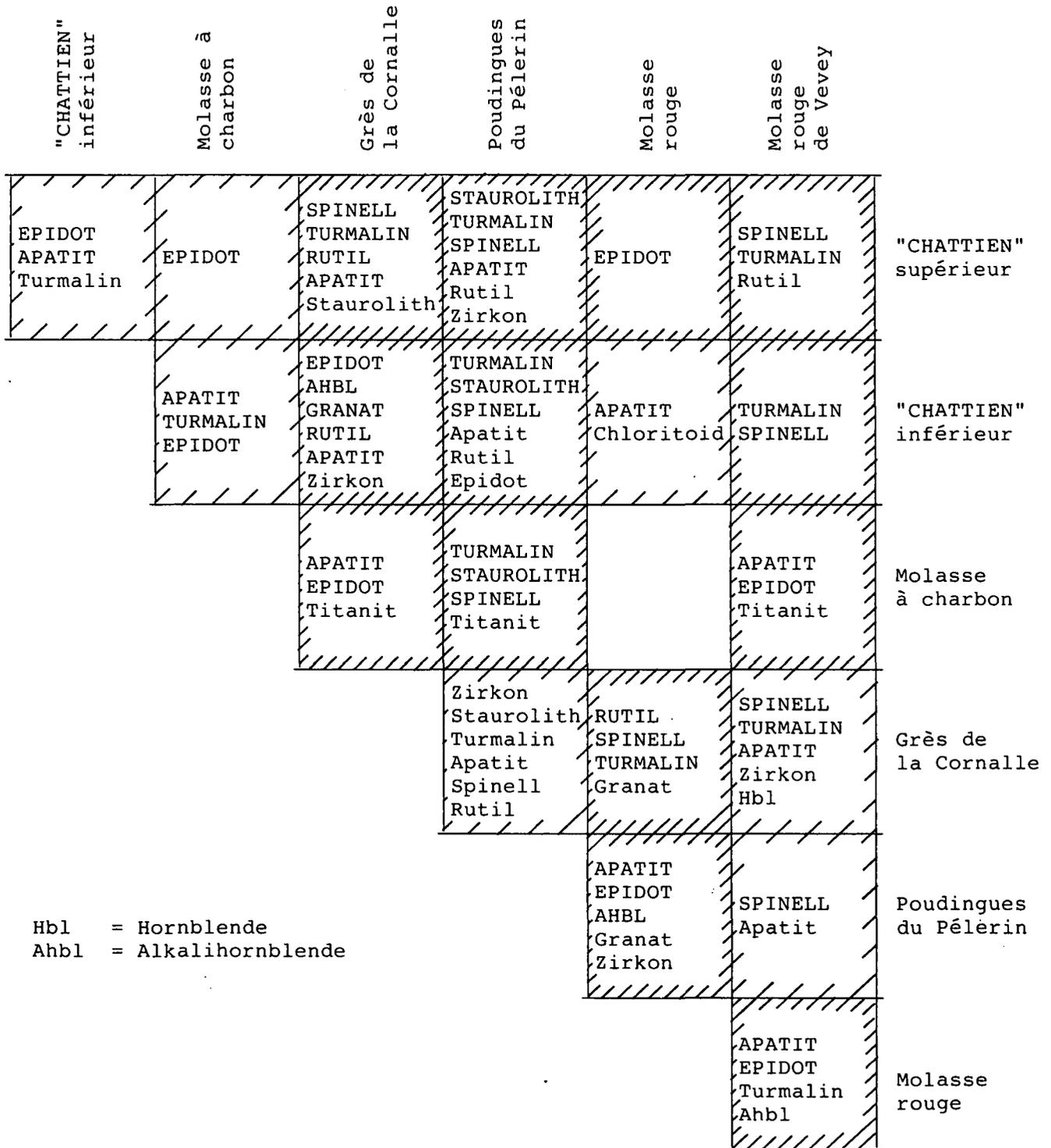


Abb. 31: Diagnostische Schwerminerale, die zur Unterscheidung der Plateaumolasse und der subalpinen Molasse beitragen. Enge Schraffur: hoch signifikant; weite Schraffur: signifikant.

### 7.3. Faktoren-Analyse (Q-Technik) mit rechtwinkliger Rotation

Die mittels der Hauptkomponentenanalyse (vgl. Abb. 25) erzielte Unterteilung in sechs sedimentpetrographische Einheiten bildeten die Grundlage zur Erstellung der Faktorendiagramme. Durch die Einschränkung der Probenzahl auf maximal 120, wurden die Faktorendiagramme nach der regionalen Lage der Bohrungen aufgeschlüsselt. So wurde für die proximalen Bohrungen Savigny 1 und Sorens 1 je ein Diagramm erstellt, ein

drittes für den Rest der medianen und distalen Bohrungen. Damit konnte eine Überschneidung der unterschiedlichen Schwermineralspektren zur Zeit des „Chattien“ inférieur vermieden werden. Die Darstellung erfolgte in der Art und Weise, indem die Probenvektoren auf einen Hauptkomponentenraum reduziert und ihre Endpunkte auf die drei Faktorenachsen projiziert wurden. Bei einer räumlichen Betrachtung bilden die drei Faktorebenen einen Würfel. Jede Faktorebene besitzt ein charakteristisches Anordnungsmuster, die eine Interpretation der stratigraphischen Abfolge enthalten.

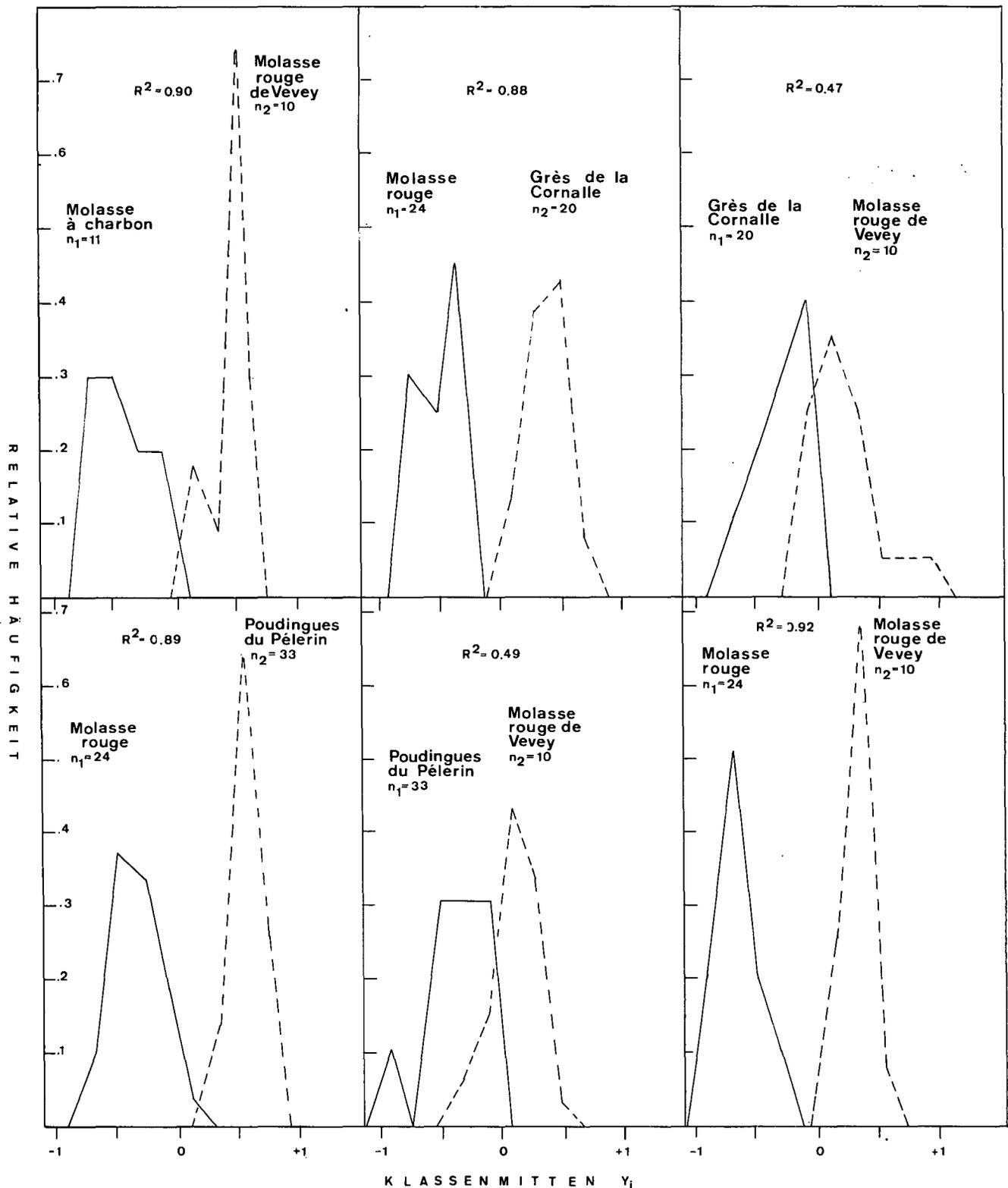


Abb. 32: Histogramme der sieben ausgeschiedenen Gruppen von Plateaumolasse und subalpiner Molasse.

Das Faktorendiagramm (vgl. Abb. 35) der Bohrung Savigny 1 wurde mit 52 Proben und 17 Variablen – ohne den authigen gebildeten Anhydrit – durchgeführt. Die Proben der überschobenen Molasse, die die Einheit  $E_{sub}$  darstellt, fallen in allen Koordinatenebenen durch ihre großen Streuwerte auf. Ein Teil der  $E_{sub}$ , die in der Bohrung von 0 bis 400 m reicht, kommt jeweils als Punktwolke in der Mitte von jeder Koordinatenebene zu liegen und zeigt dadurch seine Verwandtschaft mit den

Einheiten  $E_{2\gamma}$  und  $E_{2\beta}$ . Hingegen ist der von 400 m bis 720 m reichende Abschnitt  $E_{sub}$  eindeutig mit der Einheit  $E_{3+4}$  korrelierbar. Am besten und damit am wenigsten streuend lassen sich die Punktwolken der Einheit  $E_{3+4}$  und diejenige der Einheit  $E_1$  abgrenzen. Beide liegen zeitlich im Profil am weitesten auseinander und haben dementsprechend die geringste Ähnlichkeit. Die sich dazwischen befindlichen Einheiten  $E_{2\gamma}$ ,  $E_{2\beta}$  und  $E_{2\alpha}$  nehmen eine intermediäre Stellung ein. In allen drei

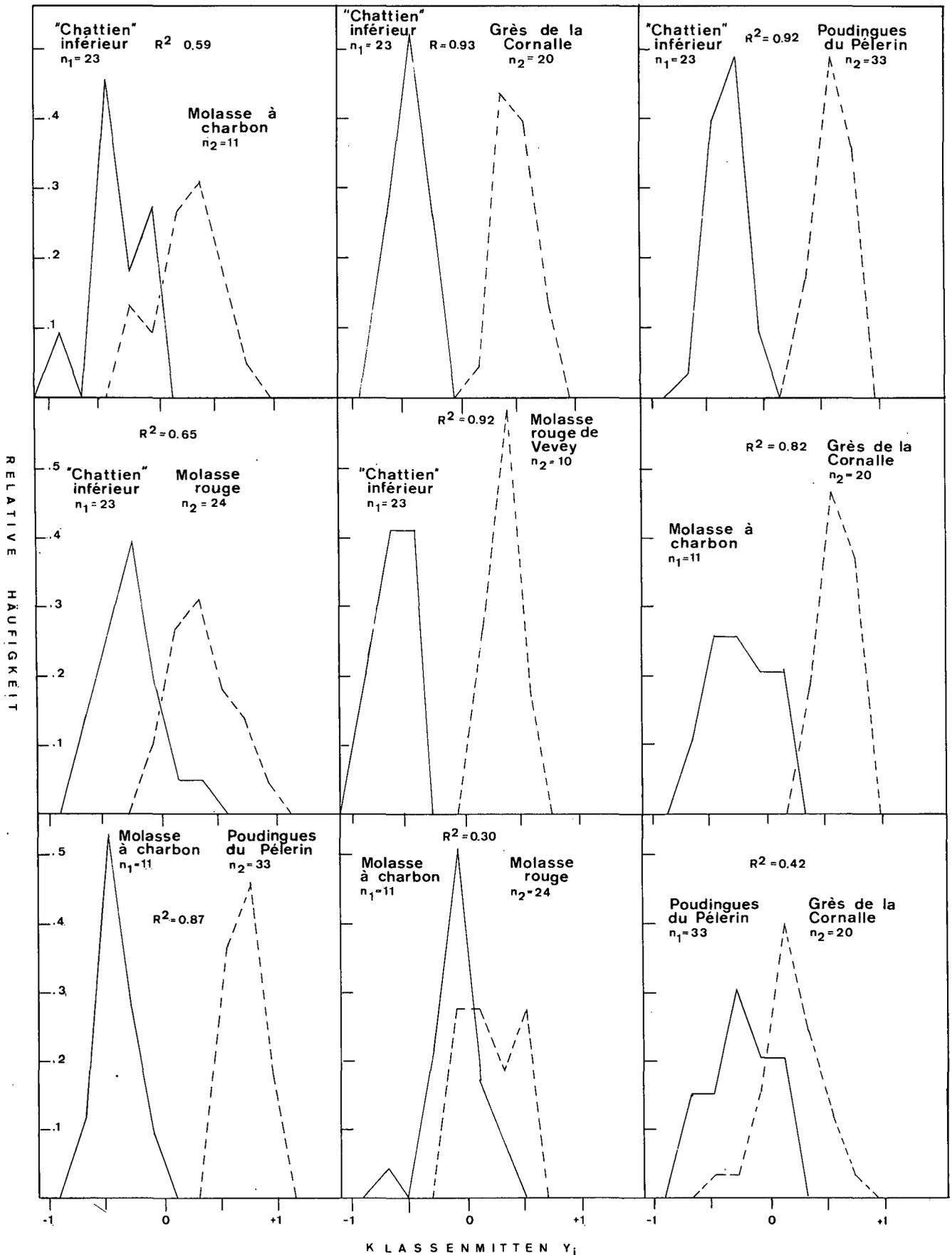


Abb. 33: Histogramme der sieben ausgeschiedenen Gruppen von Plateaumolasse und subalpiner Molasse (Fortsetzung).

Ebenen ergeben sich Überlappungen der Probenwolken, die durch ihre geringfügigen Unterschiede (Spinellgehalt, Apatitgehalt) zueinander vorgegeben sind. Der

Informationsverlust, der bei der Reduktion des hochdimensionalen Merkmalraumes in einen niedrigen Faktorenraum auftritt, ist bei den Proben Savigny 1 nicht vor-

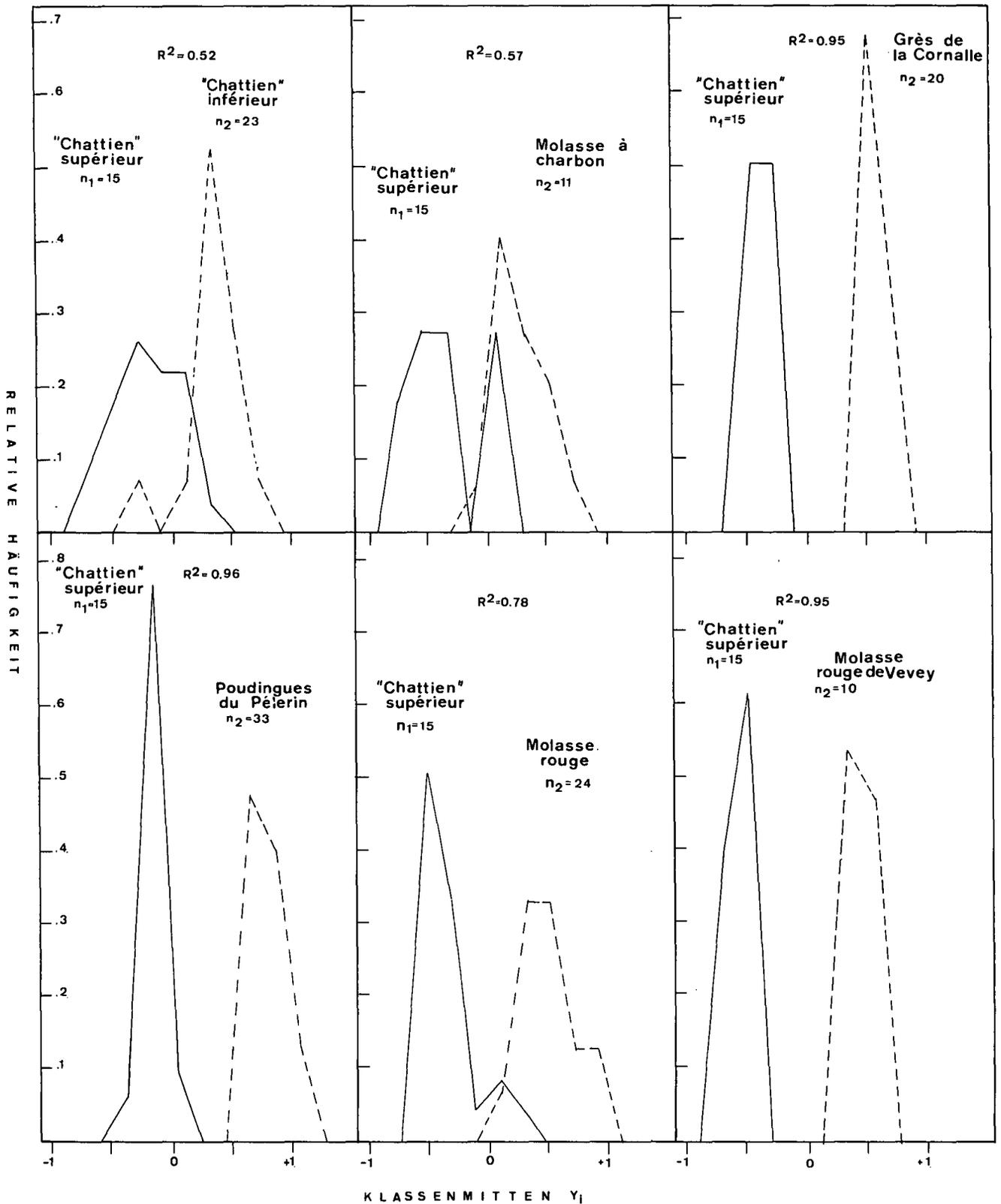


Abb. 34: Histogramme der sieben ausgeschiedenen Gruppen von Plateaumolasse und subalpiner Molasse (Fortsetzung).

handen. Die drei Faktoren ergeben zusammen 99,9 % der Gesamtinformation.

Das Faktorendiagramm der Bohrung Sorens 1 (vgl. Abb. 36) wurde anhand 70 Proben mit 17 Variablen (ohne Pyroxen und Hypersthen, die das Bild verzerrt hätten) erzielt. Die Anordnungsmuster in allen drei Ebenen sind denjenigen der Bohrung Savigny sehr ähnlich. Lediglich die Einheit  $E_{sub}$  ist hier weit weniger streuend

und läßt sich nur mit der Einheit  $E_{2\gamma}$  vergleichen. Am besten unterscheidbar ist die Einheit  $E_{3+4}$ , die in allen drei Ebenen mehr oder weniger als isolierte Punktwolken vorhanden sind. Die Überlappungen in den übrigen Einheiten  $E_{2\gamma, \beta, \alpha}$  und  $E_1$  sind durch die allmählichen Verschiebungen in der Schwermineralassoziation gegeben, die nicht plötzlich sondern schrittweise zum Teil auch wiederkehrend, ändert. Der auf drei Faktoren reduzierte

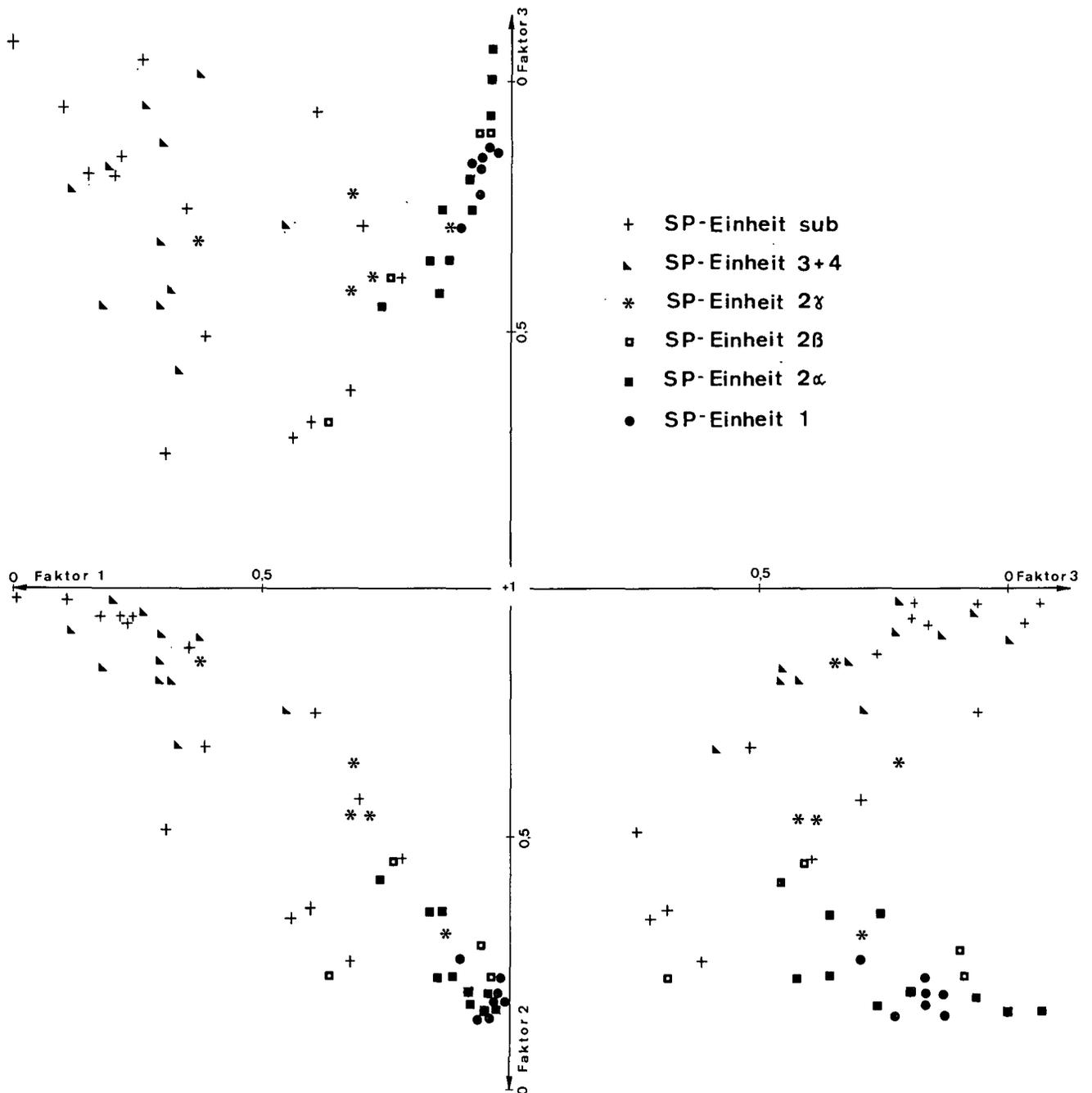


Abb. 35: Faktorendiagramm (Q-Technik) der Bohrung Savigny 1 mit 52 Proben und 17 Variablen.

Merkmalsraum besitzt 97,7 % der Gesamtinformation.

Von Interesse war es, Ähnlichkeitsrangfolgen nicht nur von einer Bohrung, sondern mehrerer aufzustellen. Vorbedingung dazu war jedoch die Herkunft des Materials aus ein und derselben Schüttung. So erfährt jede Bohrung nicht nur eine Gliederung in ihre sedimentpetrographischen Einheiten, sondern es ist auch möglich durch Korrelation zu den Nachbarbohrungen fragliche Bohrungen zuzuordnen.

An fünf Bohrungen (Chapelle 1, Courtion 1, Peissy 1, Essertines 1 und Cuarny 1), die alle der Genfersee-Schüttung angehören, wurden 112 Proben mit 16 Variablen im Faktorendiagramm (vgl. Abb. 37) dargestellt. Ihre Einteilung erfolgte einerseits nach sedimentpetrographischen Einheiten, andererseits nach der Bohrung.

Auf diese Art und Weise ergaben sich die in Tab. 24 angeführten Neuzuordnungen.

Die Verfingerungen in der Bohrung Chapelle 1 (Einheit  $E_{2\alpha}$  mit Einheit  $E_1$ ) und Peissy 1 (Einheit  $E_{2\beta}$  mit  $E_{2\alpha}$ ) sind auch im Faktorendiagramm sehr schwer zu unterscheiden. Die Ursache dafür sind einerseits die geringfügigen Unterschiede in den Einheiten  $E_{2\beta}$  und  $E_{2\alpha}$  und  $E_1$ , die zu Überlappungen dieser Einheiten führen, andererseits bestehen bei Vergleich der Bohrungen zwischen diesen wieder größere Unterschiede, die die Punktwolken von  $E_{2\beta}$ ,  $E_{2\alpha}$  und  $E_1$  als weit verstreut

Tabelle 24: Neuzugeordnete Proben aus 3 Bohrungen.

Essertines 1	Probe 10,62 und 94 m von $E_{2\beta}$ in $E_{2\gamma}$
Cuarny 1	Probe 153 m von $E_{3+4}$ in $E_{2\gamma}$ Probe 306 und 338 m von $E_{2\beta}$ in $E_{2\gamma}$
Courtion	Probe 600 m von $E_{2\gamma}$ in $E_{3+4}$ Probe 950, 1000, 1050 und 1150 m von $E_{2\alpha}$ in $E_{2\beta}$

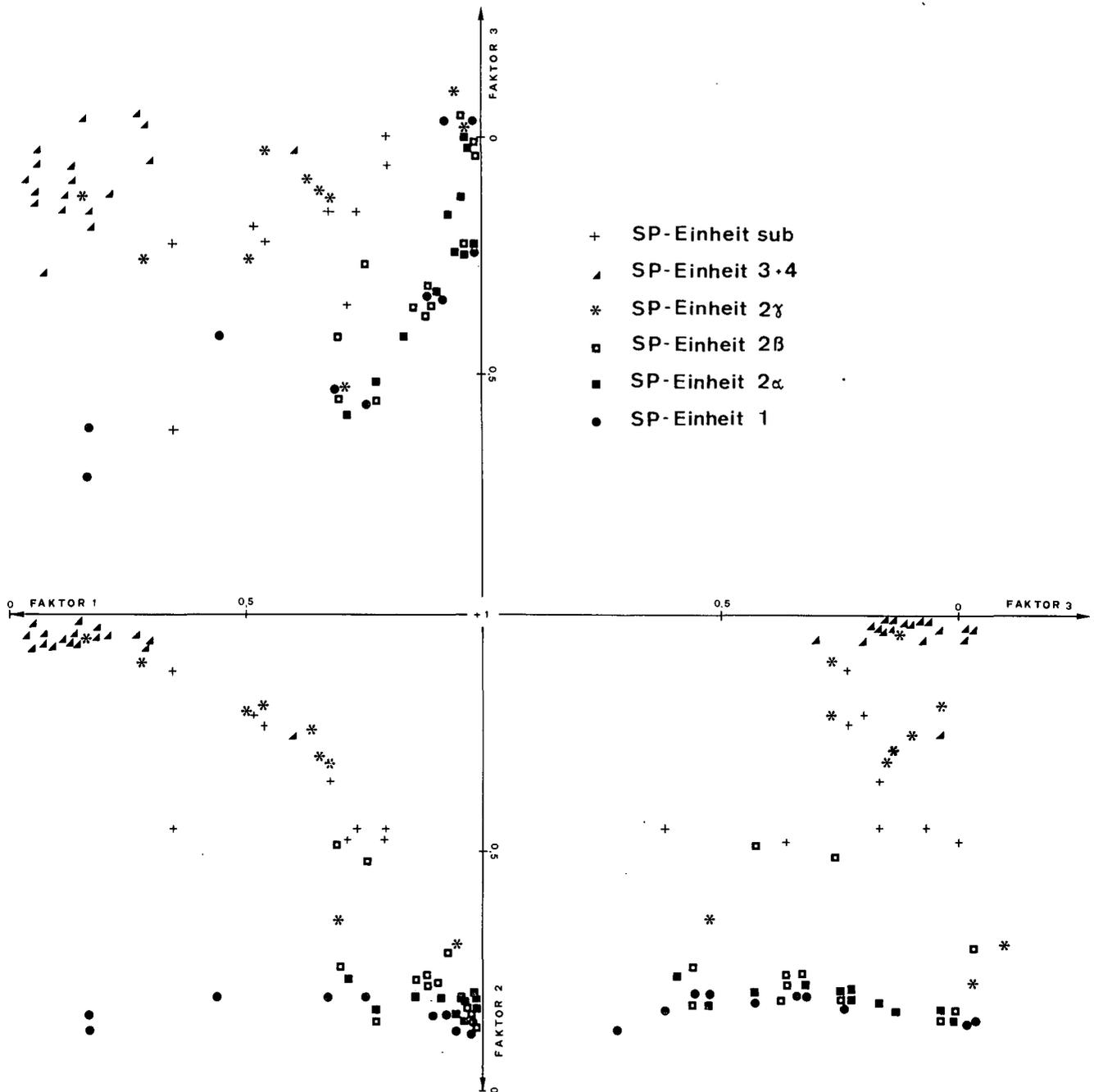


Abb. 36: Faktorendiagramm (Q-Technik) der Bohrung Sorens 1 mit 70 Proben und 17 Variablen.

tes Anordnungsmuster erscheinen lassen. Die Gesamtinformation bei diesem Faktorendiagramm beträgt für drei Ebenen lediglich 87 %.

Zusammenfassend ergeben sich für die Einheit  $E_{3+4}$  und  $E_{2\gamma}$  eindeutig abgrenzbare Punktwolken mit guter Übereinstimmung der Bohrungen. Für die Einheiten  $E_{2\beta}$ ,  $E_{2\alpha}$  und  $E_1$  treten in allen drei Ebenen Überlappungen auf, die keine klare Trennung ermöglichen. Die schlechte Trennbarkeit von  $E_{2\alpha}$  zu  $E_{2\beta}$  oder  $E_{2\beta}$  zu  $E_1$  oder  $E_{2\alpha}$  zu  $E_1$  kommt auch in den Histogrammen der Abb. 36 zur Geltung.

#### 7.4. Cluster-Analyse

Zum Vergleich der Oberflächenproben untereinander wurde eine Clusteranalyse (vgl. Abb. 38) durchgeführt. Als Ähnlichkeitsmaß wurde dabei der Produkt-Moment-Koeffizient ( $r$ ) verwendet, wobei eine übliche Transforma-

tion der ungleich gewichteten Rohdaten (Schwerminerale, Karbonatgehalt und Schwermineralgewichtsprozente) vorausging. Dazu wurde der Mittelwert eines jeden Merkmals gleich 0 und die Standardabweichung gleich 1 gesetzt. Durch die Erstellung von Ähnlichkeitsrangfolgen erfolgte eine Gruppierung von Proben. Im unteren Teil des Clusters sind die Proben der jeweiligen Stufe bzw. Formation zugeordnet, die zur folgenden Interpretation führen.

Es lassen sich drei Gruppen, nämlich A, B und C unterscheiden. Gruppe A besteht aus „Burdigalien“, „Aquitainen“, „Chattien“ supérieur und Molasse à charbon p. p. Die Verbundenheit dieser Stufen liegt in dem Schwermineral Epidot, der in allen Schichten dominiert. Die Gruppe B setzt sich aus Molasse rouge, „Chattien“ inférieur und Molasse à charbon p. p. zusammen. Auffallend ist – wie auch in der Gruppe A – das Zusammengehen von altersgleichen Schichten der Plateaum-

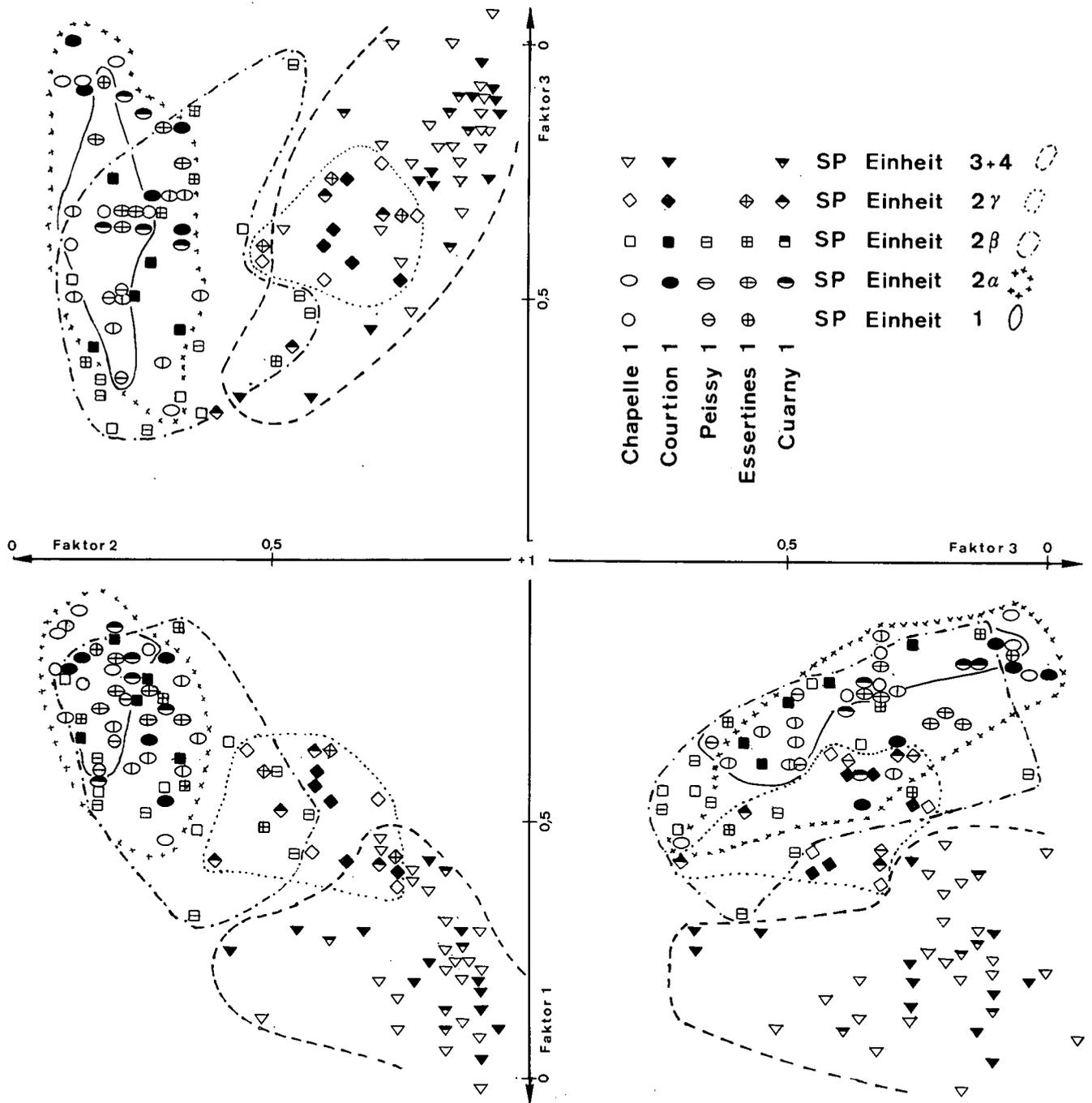


Abb. 37: Faktorendiagramm (Q-Technik) der Bohrungen Chapelle 1, Courtion 1, Peissy 1, Essertines 1 und Cuarny 1 mit 112 Proben und 16 Variablen.

lasse („Chattien“ inférieur) und der subalpinen Molasse (Molasse rouge). Nach der Aufschlüsselung des Clusters ist die Gruppe B zweigeteilt, wobei der linke Teil der Gruppe A, der rechte Teil der Gruppe C zugeordnet ist. Die Ursache dieser Aufspaltung beruht in einer unterschiedlichen Schwermineralvergesellschaftung der Proben, indem nämlich solche mit einem Spektrum von Epidot-Apatit-Alkalihornblende und Granat sich auf der linken Hälfte vorfinden, solche mit einer Schwermineralvergesellschaftung von Apatit-Turmalin und Granat auf der rechten Hälfte vorhanden sind. Die Zäsur die hier vollzogen ist, liegt klar auf der Hand und ist durch die schwermineralogische Änderung innerhalb der Molasse rouge (vgl. Abb. 38) bedingt.

In der Gruppe C finden sich die Proben der Grès de

la Cornalle, Poudingues du Pélerin, Molasse rouge de Vevey und Jura. Das gemeinsame dieser Gruppe liegt in den Schwermineralen Turmalin und Zirkon. Staurolith findet sich mit Ausnahme der Molasse rouge de Vevey in allen übrigen Formationen, dasselbe gilt für den Spinell der dagegen in den Proben des Jura fehlt.

Zusammenfassend veranschaulicht das Clusterdiagramm in eindrücklicher Weise die Entwicklung von Schwermineralvergesellschaftungen im Zeit-Raumgefüge. In dem ältesten, untersuchten Molasseabschnitt, der gleichsam die Wurzel der jüngeren Stufen bildet, hat sich bereits ein unterschiedliches SM-Spektrum manifestiert (Gruppe B). Daraus entstehen in den jüngeren Stufen der Molasse zwei Gruppen (A und C), deren SM-Vergesellschaftung vollständig verschieden ist.

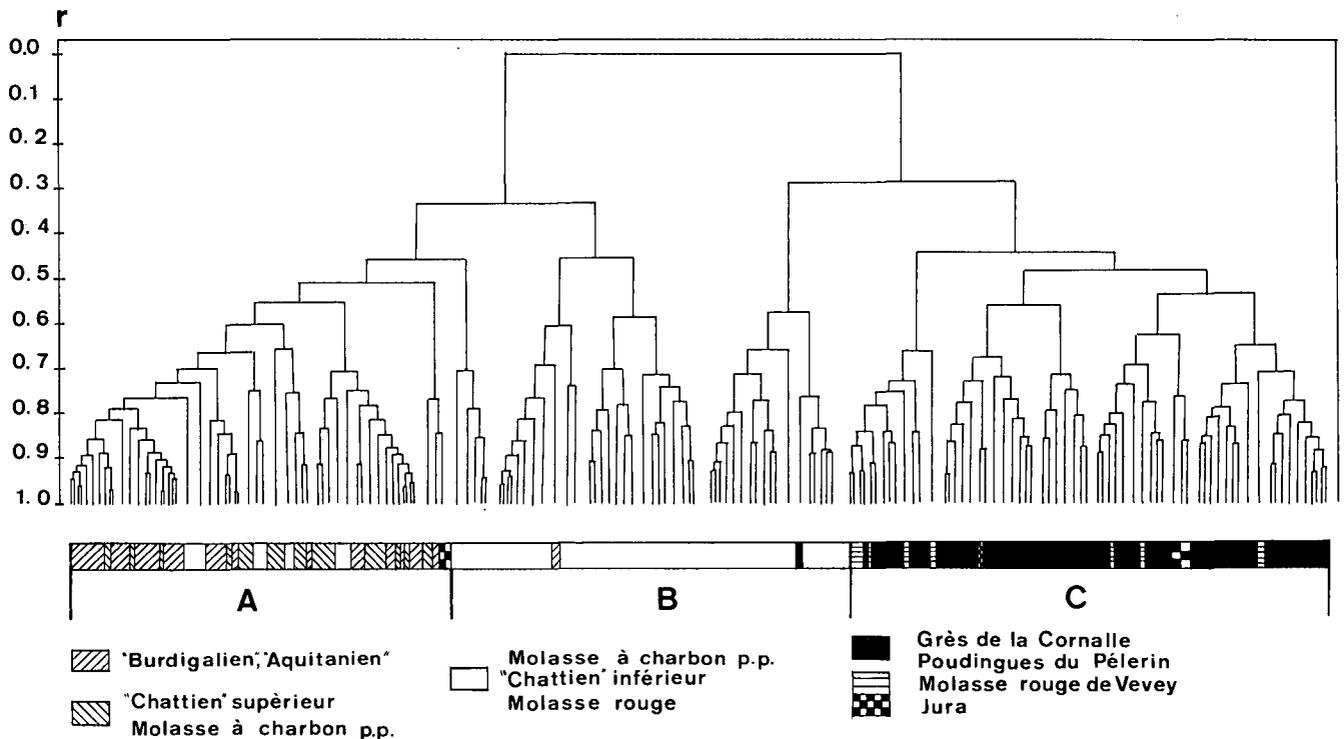


Abb. 38: Dendrogramm der Clusteranalyse (Q-Technik) von 170 Oberflächenproben mit 16 Variablen.

#### Dank

Dank gebührt dem Direktor des Geologischen Institutes der Universität Bern, Herrn Prof. Dr. W. NABHOLZ, der es mir ermöglichte im Rahmen meiner Oberassistentz diese Arbeit zu schreiben.

Ferner gilt mein Dank den Herren

Dr. M. WEIDMANN, mit dem ich einige Feldtage beim Aufsammeln des Probenmaterials verbrachte, der mich mit der Kompliziertheit der subalpinen Molasse bei Lausanne vertraut machte und der es mir in seiner Eigenschaft als Vorstand der geologischen Abteilung des Musée géologique Lausanne ermöglichte, Probenmaterial der Bohrungen Chapelle 1, Servion 1, Cuarny 1, Essertines 1, Savigny 1 und Oron zu erhalten;

Dr. E. LANTERNO, Museum Genf, für die Überlassung von Probenmaterial der Bohrung Peissy 1;

Prof. Dr. C. CARON, Vorstand des geologischen Institutes der Universität Fribourg für die Überlassung von Probenmaterial der Bohrungen Courtion 1 und Sorens 1;

Doz. Dr. H. HOLZER und Dr. M. WEIDMANN für die sorgfältige Prüfung des Manuskriptes;

Herrn B. DIEM, der mir bei der Bearbeitung des statistischen Teiles mit Rat und Tat zur Seite stand;

meinen Kollegen Dr. B. FERRAZZINI, Dr. P. HEITZMANN, Dr. E. SCHLÄPPI und Dr. J. ZIEGLER für den regen Meinungsaustausch;

#### Literatur

- ALTHAUS, H. E.: Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. — Beitr. Geol. der Schweiz, Geotech. Ser. **26/1**, Bern 1947.
- ANTENEN, M. A.: Geologie der Montoz-Kette unter besonderer Berücksichtigung des Tertiärs in den angrenzenden Mulden von Péry und Tavannes (Berner Jura). — Unpubl. Diss., Bern 1973.
- AUBERT, D.: L'évolution du relief Jurassien. — *Eclogae geol. Helv.*, **68/1**, Basel 1975.
- AUBERT, D. & LE RIBAUT, L.: Quarz du pied du Jura. — *Bull. Soc. Vaud. Sc. nat.*, **72/5**, Lausanne 1975.
- BERSIER, A.: Recherches sur la géologie et la stratigraphie du Jorat. — *Mém. Soc. vaud. Sc. nat.*, **6/3**, 1–128, Lausanne 1938.

BERSIER, A.: Sédimentation molassique: Variations latérales et horizons continus à l'Oligocène. — *Eclogae geol. Helv.*, **38/2**, Basel 1945.

BERSIER, A.: Unpubl. Berichte über die Bohrungen Savigny 1, Chapelle 1. — *Archives Musée géologique*, Lausanne 1960.

BERSIER, A. & VERNET, J.-P.: Etudes sédimentologiques dans la Chandelar. — *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, **68**, 455–465, Lausanne 1964.

BOCQUET, J.: Etudes minéralogiques et pétrologiques sur les métamorphismes d'âge alpin dans les Alpes françaises. — *Tèse Univ. scient. et médicale de Grenoble*, Grenoble 1974.

BOUMA, A. H.: Sedimentology of some Flysch deposits. — *Elsevier Publ. Comp.* Amsterdam, New York 1962.

BÜCHI, U. P., LEMCKE, K., WIENER, G. & ZIMDARS, J.: Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des Schweizerischen Molassebeckens. — *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing.*, Vol. 32, **82**, 7–38, Basel.

BÜCHI, U. P. & SCHLANKE, S.: Zur Paläogeographie der Schweizerischen Molasse. — *Erdöl-Erdgas-Z.*, **93**, Sonderausgabe 1977, 57–69, Hamburg–Wien 1977.

CADISCH, J.: Das Werden der Alpen im Spiegel der Vorlandse-dimentation. — *Geol. Rdsch.*, **19**, 105–119, Stuttgart 1928.

DUPLAIX, S., GUILLAUME, S. & LEFAVRAIS-RAYMOND, A.: Le Tertiaire de la Bresse, stratigraphie et minéralogie, comparaison avec les régions voisines. — *Rev. géogr. phys. Géol. dyn.*, **VII**, fasc. 2, 135–148, Paris 1965.

FABER, E. & NOLLAU, W.: Über Algorithmus zur mehrdimensionalen Diskriminanzanalyse. — *Schriftenreihe Deutsches Rechenzentrum*, H. S-8, 1–51, Darmstadt 1969.

FISCHER, R. A.: The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Ann. Eugenics*, **7**, 179–188, London 1936.

FLÜCK, W.: Die Flysche der praealpinen Decken im Simmental und Saanenland. — *Beitr. Geol. Karte der Schweiz*, N. F. **146**, Bern 1973.

FÜCHTBAUER, H.: Transport und Sedimentation der westlichen Alpenvorlandmolasse. — *Heidelb. Beitr. Min. u. Petr.*, **4**, 26–53, Heidelberg 1954.

FÜCHTBAUER, H.: Die Sedimentation der westlichen Alpenvorlandmolasse. — *Z. dtsh. geol. Ges.*, **105**, 527–530, Hannover 1955a.

- FÜCHTBAUER, H.: Die sedimentpetrographischen Untersuchungen in der Bohrung Scherstetten 1. — *Geol. Bavarica*, **24**, 44–51, München 1955b.
- FÜCHTBAUER, H.: Die Schüttung im Chatt und Aquitan der deutschen Alpenvorlandmolasse. — *Eclogae geol. Helv.*, **51/3**, 928–941, Basel 1958.
- FÜCHTBAUER, H.: Zum Einfluß des Ablagerungsmilieus auf die Farbe von Biotiten und Turmalinen. — *Fortschr. Geol. Rheini. Westf.*, **10**, 331–336, Krefeld 1963.
- FÜCHTBAUER, H.: Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. — *Eclogae geol. Helv.*, **57/1**, 157–298, Basel 1964.
- FÜCHTBAUER, H.: Die Sandsteine in der Molasse nördlich der Alpen. — *Geol. Rdsch.*, **56/1**, 266–300, Stuttgart 1967.
- FÜCHTBAUER, H.: Sediments and sedimentary rocks 1. — Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung) 1974.
- GASSER, U.: Sedimentologische Untersuchungen in der äußeren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuch (Kt. Luzern). — *Eclogae geol. Helv.*, **59/2**, 723–772, Basel 1966.
- GASSER, U.: Die innere Zone der subalpinen Molasse des Entlebuch. — *Eclogae geol. Helv.*, **61**, 1, Basel 1968.
- GRIMM, W. D.: Schwermineeralgesellschaften in Sandschüttungen erläutert am Beispiel der süddeutschen Molasse. — *Abh. Bayer. Akad. Wiss.*, (N. F.) **121**, München 1965.
- GUILLAUME, A., GUILLAUME, S. & HEIN, P.: Analyse statistique des minéraux Lourds du tertiaire Jurassien et Bressan. — *Arch. Sc. Genève*, **31**, fasc. 1, 17–37, Genève 1978.
- HAHN, C.: Mineralogisch-Sedimentpetrographische Untersuchungen an den Flußbetsanden im Einzugsbereich des Alpenrheins. — *Eclogae geol. Helv.*, **62/1**, 227–278, Basel 1969.
- HARBAUGH, J. W. & MERRIAM, D. F.: Computer applications in stratigraphic analysis. — 282 S., New York–London–Sydney (John Wiley & Sons, Inc.) 1968.
- HOFMANN, F.: Materialherkunft, Transport und Sedimentation im Schweizerischen Molassebecken. — *Jb. St. Gall. natw. Ges.*, **76**, 1–28, St. Gallen 1960.
- HOFFMANN, P.: Zur Sedimentpetrographie der Molasse in den Bohrungen Pfaffnau Süd 1, 2, 4 und 5, Boswil 1 und Hühnenberg 1. — *Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.*, **35**, 35–41, Basel 1968.
- HUNZIKER, J. C.: RB-SR and K-AR age determination and the alpine tectonic history of the western Alps. — *Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova*, **31**, 55 S., Padova 1974b.
- IMBRIE, J. & PURDY, E. G.: Classification of modern Bahamian carbonate sediments. — *Mem. amer. Assoc. Petroleum Geol.*, **1**, 253–272, Chicago 1962.
- JORDI, H. A.: Geologie der Umgebung von Yverdon. — *Beitr. geol. Karte Schweiz*, (N. F.) **99**, Bern 1955.
- KISSLING, D.: L'Oligocène de l'extrémité occidentale du bassin molassique suisse. Stratigraphie et aperçu sédimentologique. — Thèse no. 1648, Fac. Sci., Genève 1974.
- KRUMBHIN, W. C. & GRAYBILL, F. A.: An introduction to statistical models in geology. — New York (Mc. Graw-Hill Book Company) 1965.
- LAGOTALA, H.: Quelques résultats du sondage de Peissy (Genève). — *C. R. Séances Soc. Phys. Hist. nat.*, vol. **64**, 3, Genève 1947.
- LAGOTALA, H.: Les roches bitumineuses de Peissy (Genève). — *Le Globe*, vol. **87**, Genève 1948.
- LATREILLE, G.: Le sédimentation détritque au Tertiaire dans le Bas-Dauphiné et les régions limitrophes. — Thèse no. 567, Faculté des sciences de l'université de Lyon, Lyon 1969.
- LEMCKE, K.: Das Profil der Bohrung Chapelle 1. — *Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.*, **26**, 25–29, Basel 1959.
- LEMCKE, K.: Die Ergebnisse der Bohrung Savigny 1 bei Lausanne. — *Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.*, **30**, 4–11, Basel 1963.
- LOMBARD, Aug. & VERNET, J.P.: Pétrographie sédimentaire dans le massif des Voirons. — *Arch. Sc. phys. nat.*, **17**, fasc. 1, Genève 1964.
- MANSON, V. & IMBRIE, J.: Fortran-program for factor and vector analysis of geologic data using an IBM 7090 or 7094/1401 computer system. — *Spec. Distr. Publ. Geol. Surv. Kansas*, **13**, 1–46, Lawrence 1964.
- MARTENS, J. H. C.: Piperine as an Immersion medium in sedimentary petrography. — *The American Mineralogist*, **17**, 198–199, Lancaster 1932.
- MATTER, A.: Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet. — *Eclogae geol. Helv.*, **57/2**, 315–420, Basel 1964.
- MAURER, H., FUNK, H. P. & NABHOLZ, W.: Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molasseabfolgen der Bohrung Linden 1 und ihrer Umgebung (Kt. Bern). — *Eclogae geol. Helv.*, **71/3**, 497–516, Basel 1978.
- MAURER, H. & NABHOLZ, W.: Sedimentpetrographie in der Molasse-Abfolge der Bohrung Romanens 1 und in der benachbarten subalpinen Molasse (Kt. Fribourg). — *Eclogae geol. Helv.*, **73/1**, 205–222, Basel 1980.
- MAURER, H., GERBER, M. E. & NABHOLZ, W.: Sedimentpetrographie und Lithostratigraphie der Molasse im Einzugsgebiet der Langete (Aarwangen-Napf, Oberaargau). — *Eclogae geol. Helv.*, **75/2**, 381–413, Basel 1982.
- MC CAMMON, R. B.: A primer on correlation. — In: *Models of geologic processes*, AGI/CEGS short course lecture notes, Washington D. C. 1969.
- MC CAMMON, R. B. & WENNINGER, G.: The Dedrograph. — *Computer Contr.*, **48**, 1–27, Lawrence 1970.
- MICHEL, R.: Les schistes cristallins des Massif du Grand Paradis et de Sesia-Lanzo (Alpes franco-italiennes). — *Sc. Terre Nancy*, **1**, 287 S., Nancy 1953.
- MONNIER, F.: Diagenèse et corrélations minéralogiques à travers le bassin molassique suisse. — Thèse Univ. Neuchâtel, Neuchâtel 1979.
- MOOS, A. v.: Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen. — *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* **15/1**, 169–265, Zürich 1935.
- MORNOD, L.: Géologie de la région de Bulle (Basse-Gruyère), Molasse et bord alpin. — *Beitr. geol. Karte Schweiz*, (N. F.) **91**, Bern 1949.
- NICKEL, E.: Experimental dissolution of light and heavy minerals in comparison with weathering and intratratral solution. — *Contr. Sedimentology*, **1**, 1–68, Stuttgart 1973.
- NIEDERMAYR, G.: Beiträge zur Sedimentpetrographie des Wienerwaldflysches. — *Verh. Geol. Bundesanst.*, **1/2**, 106–141, Wien 1966.
- PARRIAUX, A., RIGASSI, D. & WEIDMANN, M.: Coupe du ruisseau à l'E de Cheseaux-Noréaz, près Yverdon. — *Annexe Rapport I. G. C.* p. 25, non publié, Lausanne 1978.
- PERRY, J. T. O'B.: Geological Completion Report for Courtion 1. — *Rapport interne BP.*, London 1960.
- PERRY, J. T. O'B.: Geological Completion Report for Sorens 1. — *Rapport interne BP.*, London 1961.
- RIGASSI, D.: Le Tertiaire de la Région genevoise et savoisiennne. — *Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.*, **24**, 19–34, Basel 1957.
- RIGASSI, D.: Subdivision et datation de la molasse d'"eau douce inférieure" du Plateau suisse. — *Paleolab News*, **1**, Genève 1977.
- RUTSCH, R. F.: Zur Paläogeographie der subalpinen Unteren Meeresmolasse (Rupélien) der Schweiz. — *Bull. Ver. Schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing.* **28/74** und **28/75**, Basel 1962.
- RUTSCH, R. F. & SCHLÜCHTER, CHR.: Stratigraphische Gliederung der Molasse im Bernischen Mittelland. — *Mitt. natf. Ges. Bern* (N. F.), **30**, 86–90, Bern 1973.
- SALOT, P.: Le Métamorphisme dans les Alpes françaises. — Thèse, Univ. Paris-Sud, centre d'Orsay, 183 S., Paris 1978.
- SCHAFFROTH, M.: STATPLOT I. — *Inst. math. Statistik und Versicherungslehre*, Univ. Bern, Bern 1978.
- SCHLANKE, S., HAUBER, L. & BÜCHI, U. P.: Lithostratigraphie und Sedimentpetrographie der Molasse in den Bohrungen Tschugg 1 und Ruppoldsried 1 (Berner Seeland). — *Eclogae geol. Helv.*, **71/2**, 409–425, Basel 1978.
- SCHLANKE, S.: Geologie der subalpinen Molasse zwischen Biberburg SZ, Hütten ZH und Aegerisse ZG, Schweiz. — *Palaeogeol. Helv.*, **27/2**, 243–332, Basel 1974.

- SCHROEDER, J. W. & DUCLOZ, C.: Géologie de la Molasse du Val d'Illeiez. — Mat. carte géol. Suisse, NS, 100, Bern 1955.
- SCHWARZENBACH, G.: Die komplexometrische Titration. — Stuttgart (Ferdinand-Enke-Verlag) 1960.
- TCHIMICHKIAN, G., REULET, A. & VATAN, A.: Etude pétrographique des matériaux mollassiques de quelques sondages profonds de Bresse. — *Eclogae geol. Helv.*, 51/3, 1093–1115, Basel 1958.
- TRÜMPY, R. & BERSIER, A.: Les éléments des conglomérats oligocènes du Mont Pélerin. — *Eclogae geol. Helv.*, 47/1, 119–166, Basel 1954.
- VATAN, A.: La sédimentation détrique dans la zone subalpine et le Jura méridional au Crétacé et au tertiaire. — *CR som. soc. géol. Fr.*, 5, 102–104, Paris 1949.
- VATAN, A. et al.: Etudes sédimentologiques et pétrographiques dans le Tertiaire subalpin et subjurassien et des régions limitrophes. — *Rev. IFP*, 12/4, 468–480, Paris 1957.
- VERNET, J.-P.: Etude pétrographiques des sédiments argileux oligo-miocènes de la molasse de la région de Lausanne. — *Rev. IFP*, XII/6, 481–488, Paris 1957.
- VERNET, J.-P.: Les minéraux lourds d'une série chattienne de la molasse du Plateau suisse. — *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, 67, 93–101, Lausanne 1958.
- VERNET, J.-P.: Pétrographie du sondage de Peissy. — *Arch. Sci. phys. et nat.*, 17, fasc. 1, Genève 1964.
- VERNET, J.-P.: Etudes sédimentologiques dans la molasse des Préalpes valaisannes. — *Arch. Sci. phys. et nat.*, 17, fasc. 3, Genève 1964.
- VERNET, J.-P.: Pétrographie sédimentaire des formations mollassiques de la région de Bulle à Vevey. — *Bull. Ver. Schweiz. petroleum-Geol. u. -Ing.*, 31/80, 25–32, Basel 1964.
- VERNET, J.-P.: Pétrographie sédimentaire dans la molasse de la région d'Yverdon. — *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, 68, 443–454, Lausanne 1964.
- WAGNER, A. & WELLHÄUSER, F.: Corrélations pétrographiques et stratigraphiques dans l'est du bassin de Bellegrade Seysel. — *CR séances Soc. Sc. phys. nat. Genève*, 1, fasc. 2, 75–83, Genève 1969.
- WAGNER, A.: Etudes minéralogiques et sédimentologiques dans les formations tertiaires des bassin lémanique et de Frangy-Bellegrade. — *Arch. Sc. Genève*, 22/3, 605–624, Genève 1969.
- ZIMMERMANN, M. . et al.: "Molasse d'eau douce inférieure" du Plateau suisse. — *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, 10/2, 585–526, Pau 1976.
- Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 10. September 1982.