

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band: 15 (1935)
Heft: 2

Artikel: Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen
Autor: Moos, Armin von
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-15335>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

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

Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen

Von A. von Moos in Zürich

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Einleitung: Einführung	170
Die Molasse im Allgemeinen	171
1. Chemismus	173
2. Korngrößenverteilung	173
3. Abrollungsgrad	176
I. Bisherige Untersuchungen	176
II. Methodischer Teil	177
1. Einsammeln der Proben	178
2. Laboratoriumsbehandlung	178
3. Statistik	178
4. Einfluss der Korngrösse	179
5. Günstigste Korngrösse zur Untersuchung	180
6. Vergleich von Bromoform- und Pfannentrennung	181
7. Nomenklatur	181
III. Spezielle Mineralbeschreibung	181
IV. Besprechung der einzelnen Gebiete	196
V. Allgemeine Zusammenhänge	215
Allgemeiner Teil	215
1. Die Anreicherung	215
2. Die Ausmerzung	215
3. Herkunftsverhältnisse	216
4. Die Allgemeine Persistenz der Mineralien in der Molasse	218
5. Mengenverhältnisse der wichtigsten Schweremineralien	219
Spezieller Teil	220
1. Herkunft der Gerölle in der Molasse	220
2. Herkunft der schweren Mineralien	220
VI. Die einzelnen Molassestufen und ihr Schweremineralien-Gehalt	227
VII. Petrographische Provinzen in der Molasse	244
VIII. Vergleich der Schweremineralien-Kombinationen der Molasse mit der anderer sedimentärer Ablagerungen	247
A. Stratigraphisch ältere Ablagerungen in der Schweiz	247
1. Alpen	247
a) Flysch	247
b) Helvetische Kreide	248
2. Juragebirge	249

	Seite
B. Stratigraphisch jüngere Ablagerungen	249
a) Diluvium	249
b) Rezente Ablagerungen	250
C. Schweremineralien-Gehalt und alpine Orogenese	251
D. Nichtschweizerische tertiäre Ablagerungen	253
a) Oberitalien	253
b) Leipziger Becken	254
Zusammenfassung	256
Literaturverzeichnis	262

Einleitung

EINFÜHRUNG

Wir kennen aus der Schweiz erst wenige sedimentpetrographische Arbeiten, die sich speziell mit schweren Mineralien befassen. Fragen der Metamorphose und der Magmenintrusion sowie tektonisch-stratigraphische Probleme standen im Vordergrund des Interesses. Paläogeographische Fragen fanden ihre Lösung durch faunistische und facielle Untersuchungen. Aber gerade unter den orogenen Sedimenten, an denen die Alpen so reich sind (Bündnerschiefer, Flysch, Molasse), treten mächtige, gleichförmige, fossilienarme Komplexe auf. Es ist daher zu versuchen, ob in solchen Ablagerungen auf sedimentpetrographischem Wege, insbesondere mit Hilfe von schweren Mineralien, Herkunfts- und Ablagerungsbedingungen näher bestimmt werden können.

Wenn in der folgenden Arbeit die spät-orogenen Sedimente der schweizerischen Molasse behandelt werden, so muss erwähnt werden, dass vor allem die allgemein ungestörtere Lagerung im Vergleich zu den mittel- oder frühorogenen Ablagerungen die orientierende Untersuchung erleichtert. Dazu kommt, dass in den letzten Jahren die Molasse durch eine Reihe von Arbeiten wieder in den Vordergrund des Interesses gerückt ist, derart, dass auch stratigraphisch und tektonisch neue Grundlagen vorhanden sind.

Bei der Untersuchung und der Auswertung von Schweremineralienfraktionen können an Hand der Literatur verschiedene Arbeitsweisen eingeschlagen werden. Namentlich von englischen Forschern (BOSWELL (6) u. a.) werden korrelative Beziehungen besonders auf Grund spezieller Mineralien oder Variationen einzelner Mineralien rekonstruiert. Notwendige Voraussetzung hierfür ist eine weitgehende Kenntnis der als Lieferanten für die betreffenden Ablagerungen in Frage kommenden sedimentären, metamorphen und eruptiven Gesteine, das heisst — BRAMMEL hat den Ausdruck geprägt — der

„distributiven Provinz“. Bei der Molasse fehlt diese Voraussetzung fast vollständig. Weder Untersuchungen der schweren Mineralien aus Sedimenten der in Frage kommenden alpinen Decken, noch solche der akzessorischen Mineralien aus den metamorphen und eruptiven Gesteinen der Deckenkerne sind in grösserem Masse vorhanden. Teilweise mögen diese als Lieferanten in Frage kommende Gesteinsserien auch vollständig erodiert sein. Man kann aber auch die neue Ablagerung an sich in Bezug auf Gleichförmigkeit oder Ungleichförmigkeit der speziellen Mineralassoziationen hin untersuchen — insbesondere auch in quantitativer Beziehung —, was EDELMANN (24) in Anlehnung an NIGGLI (50) etwa kurzweg als provinzielle Betrachtungsweise bezeichnet hat. Es ist dann immer noch die Möglichkeit vorhanden, gleichzeitig Untersuchungs- und Beobachtungsmaterial über spezielle Mineralien und deren Variationen für korrelative Zwecke zu sammeln.

Bei Untersuchung einer so umfangreichen Ablagerung besteht einerseits die Möglichkeit einer erschöpfenden Studie eines regional eng begrenzten Gebietes; andererseits kann, an Hand weitmaschig angelegter Beobachtungen, in einem grossregionalen Raume nach allgemeinen Leitlinien gesucht werden, damit spätere monographische Behandlungen bereits Vergleichsmaterial vorfinden.

Im gegenwärtigen Stadium sedimentpetrographischer Forschung schien es wünschenswert, diesem Übersichtsverfahren den Vorzug zu geben.

Notwendig ist es, noch die spezielle Verwendbarkeit der Untersuchung an psammitischem Material gegenüber derjenigen an psephitischem Material zu charakterisieren. Letzterer kommt infolge der direkten petrographischen Vergleichsmöglichkeit von Geröll und anstehendem Material stets eine gewisse Priorität zu. Neben der Möglichkeit rascherer und weiträumigerer Bearbeitbarkeit ist aber die viel subtilere Nachweisbarkeit seltener Beimengungen für die erstere kennzeichnend. Beispielsweise sind bis heute keinerlei Funde von Glaukophangesteinen aus der schweizerischen Molasse bekannt, während die blauen Hornblenden unter den schweren Mineralien gewisser Sandsteine mit grosser Regelmässigkeit, wenn auch nicht zahlreich, auftreten. Beide Untersuchungsarten müssen sich somit in Ablagerungen, die von pelitisch zu psephitisch variieren, gegenseitig ergänzen.

DIE MOLASSE IM ALLGEMEINEN

Der Ausdruck „Molasse“ wurde von DE SAUSSURE 1796 erstmals für die weichen, zerreibbaren tertiären Sandsteine der Westschweiz

in die Literatur eingeführt. ESCHER und MAYER-EYMAR übertrugen in der Folge diese Bezeichnungsweise auf die Gesamtheit der schweizerischen, vorab mitteltertiär-orogenen Sedimente. Diese mächtigen Ablagerungen — FROELICHER schätzt ihre Mächtigkeit am Alpenrande im Entlebuch-Napfgebiet auf 6000 m — sind in der Schweiz in erster Linie als bunte Mergel, mergelige Sandsteine, Sandsteine, Kalksandsteine, Muschelsandsteine, Süßwasserkalke und Nagelfluh ausgebildet. Sie bilden einen Teil der Zone von Sedimenten, die an der Aussenseite des Alpenbogens, d. h. in der nordalpinen Vortiefe, aus dem Rhonebecken S. W. Frankreichs durch das schweizerische Mittelland in die bayrische Hochebene und bis in das ausseralpine Wienerbecken hineinzieht. Das ausseralpine Wienerbecken seinerseits steht wieder mit dem inneralpinen Wienerbecken und dem pannonischen Becken in Verbindung.

Der Begriff der Molasse, der in schweizerischem Gebrauch sowohl eine stratigraphische Einheit wie auch eine bestimmte facielle Entwicklung bezeichnet (Mergel-Sandstein-Nagelfluh), wird heute auch etwa für andere orogene Ablagerungen gebraucht, die ähnliche Facies besitzen.

In diesem Sinne gehören vielleicht schon die jatulischen Formationen, sicher aber die jotnischen Ablagerungen der Kaledoniden Skandinaviens der ältesten bekannten Molasse zu. Schon öfters ist auf die Ähnlichkeit des Old Red in England, Schottland (BAILEY), Skandinavien und Grönland (L. KOCH, E. WEGMANN, H. BUETLER) mit der schweizerischen Molasse hingewiesen worden.

Auf karbonische Serien der U. S. A., aber auch etwa auf das Perm der Saar wird der Begriff der Molasse angewendet.

Wohl die grösste Verbreitung hat dieser Faciesbegriff im alpinen System gefunden. In Analogie zur nordalpinen Molasse hat man die südalpinen tertiären Ablagerungen so bezeichnet (Molasse von Como usw.). Aber auch etwa in den südamerikanischen Kordillern, wo STEINMANN den Ausdruck eingeführt hat, finden sich ähnliche Sedimente. Selbst in der Antarktis hat WILCKENS von „Molasse“ gesprochen.

Durch diese weite regionale wie stratigraphische Verbreitung des Begriffes „Molasse“ ist eine eingehendere petrographische Untersuchung gerade am primären Ausgangsmaterial dieser Faciesbezeichnung gerechtfertigt.

Stratigraphie, Tektonik, Verbreitung und spezielle lithologische Ausbildung der schweizerischen Molasseablagerungen werden in den

späteren Kapiteln eine kurze Charakteristik erfahren, — soweit dies für unsere Untersuchung notwendig erscheint.

Dagegen soll hier noch kurz auf den allgemeinen Chemismus und die Korngrößenverteilung, sowie auf Abrollungsgrad speziell der Psammite eingegangen werden.

1. Chemismus

(nach NIGGLI, Chemismus schweizerischer Gesteine) (52). Den Psammiten und Peliten der schweizerischen Molasse kommt im Durchschnitt folgende chemische Zusammensetzung zu: 20—30% Karbonat, Rest sandig—tonig. Das Material, das vorab aus dem werdenden alpinen Gebirge stammt und vorwiegend aus Silikat- und Karbonatgesteinen besteht, ist somit noch kaum zur Entmischung gelangt. Es liegen typische Mischgesteine von Tonen, Sanden und Karbonatgesteinen vor. Diese bilden unter den Peliten zur Hauptsache Mergel, unter den Psammiten sind graue Quarz-Feldspat-Glimmer-Kalksandsteine — unter marinen Entstehungsbedingungen oft mit Glaukonit — typisch.

Nur sehr selten finden sich reine Endprodukte, z. B. reine Tone oder reine Quarzsande oder Kalksteine (Süßwasserkalke).

Diese spätorogenen Molasseablagerungen lassen sich vom mittel-orogenen Flysch und vom frühorogenen Bündnerschiefer chemisch kaum unterscheiden, dagegen besitzen unter diesen Ablagerungen die Pelite im allgemeinen grössere Verbreitung, während für die Molasse die Konglomerate besonders typisch sind.

2. Die Korngrößenverteilung in den Molassepsammiten.

Um eine Vorstellung über die Verteilung der Molassesandsteine auf die einzelnen Korngrößenklassen zu erhalten, wurden 36 Schlämmanalysen nach der neuen Methode von NIGGLI (53) berechnet. Diese neue Berechnungs- und Benennungsweise stützt sich in der Bezeichnung der Korngemische auf die ATTERBERG-FISCHER'schen Intervallbildungen, die physikalischen Grenzwerten der Sedimente entsprechen. Zur Berechnung von bestimmten Werten, die ein Korngrössengemisch charakterisieren, sucht man sich von der Verteilung der Intervalle unabhängig zu machen; NIGGLI berechnet deshalb mittlere Korngrößen. So bezeichnet d bei den anschliessenden Darstellungen den mittleren Korndurchmesser des Korngemisches, d_1 den mittleren Durchmesser der von d aus berechneten feineren Fraktion, d_2 analog den mittleren Korndurchmesser der von d aus gerechnet gröberen Fraktion. p , p_1 , p_2 bezeichnen die entsprechenden quantitativen Mengen in kumulativer Darstellungsweise von 0 aus gerechnet, die diesen mittleren Korngrößen zukommen. Trägt man die d_1 - und die d_2 -Werte in der Art unseres Schaubildes (Fig. 1) auf, so kann man beobachten,

dass die meisten Projektionspunkte in Gebiete einfacher Bezeichnung fallen, d. h. die Differenz zwischen d_1 und d_2 ist relativ klein. Je grösser diese Differenz wird, desto grösser wird die Streuung des Materiales auf die verschiedenen Korngrössen. Dies bedingt dann auch kompliziertere Bezeichnungen. Sie kommen aber nur recht selten zur Verwendung, was sowohl aus unserer Untersuchung als aus der Arbeit von ZINGG (75) hervorgeht.

Die von uns berechneten Schlämmanalysen stammen aus verschiedenen Gebieten und stratigraphischen Einheiten der Molasse: GRENOUILLET (35), Stampien, Basel; LIECHTI (42) Aquitanien - Tortonien, Emme - Ilfisgebiet; GSCHWIND (36) Burdigalien, Wangen a. d. Aare, Gränichen.

Zu diesen Proben treten noch einige neu ausgeführte Schlämmanalysen hinzu. (Siehe Tabelle 1.)

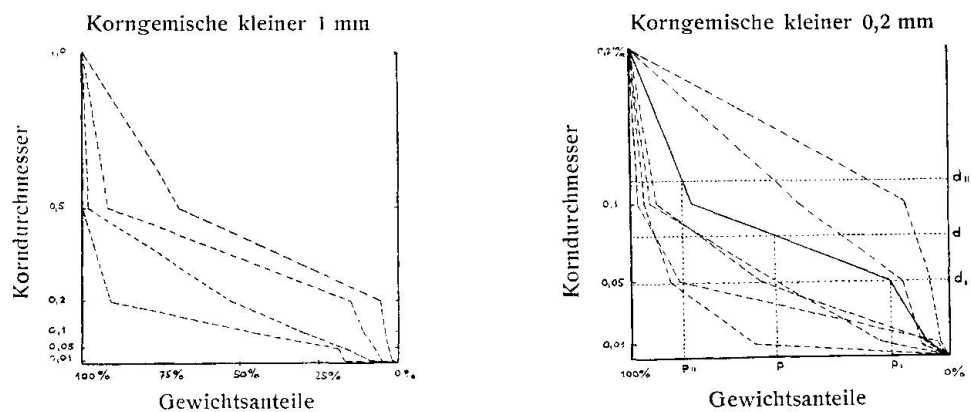


Fig. 1

Beispiele einiger Schlämmanalysen aus der Molasse in kummulativer Darstellungsweise.

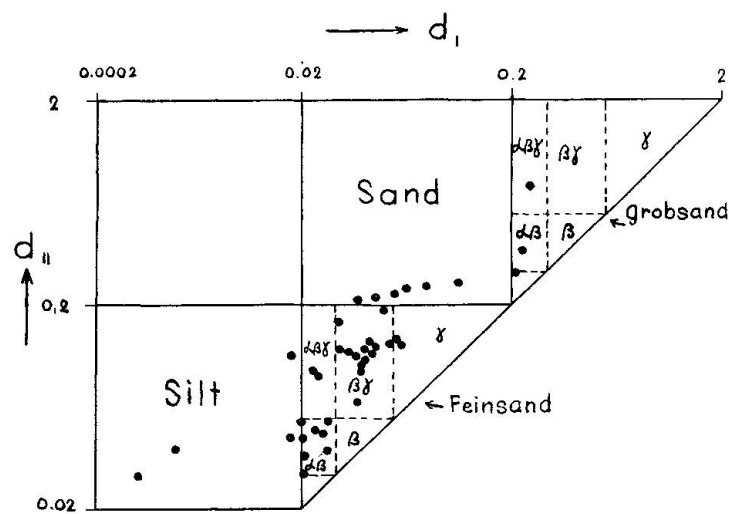


Fig. 2

Projektion der Schlämmanalysen in die verschiedenen Kornklassen.

Tabelle 1

Schlāmmanalysen aus der Molasse

	0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-2	2-2,5		d	p	d ₁	p ₁	d ₂	p ₂	α
Aquitaniien Mühlebühl	8	8	13	23	46	2				0,223	56	0,126	35	0,38	79	3,4
Aquitaniien Mühlebühl	8	5	14	52	20	1				0,1779	68	0,102	29	0,307	86	3,4
Aquitaniien Mühlebühl	5	5	9	24	54	1				0,241	53	0,117	26	0,377	76	3,2
Helvetien Benken	2	1	1	2	64	30				0,453	60	0,3	27	0,681	81	2,5
Helvetien Benken	14	50	35	0,5	0,5					0,445	57	0,022	28	0,074	81	3,7
Helvetien Benken	1	4	5	16	73	1				0,278	45	0,155	19	0,389	73	2,5
Helvetien Benken	5	81	13	0,5	0,5					0,035	54	0,0211	28	0,052	81	2,6
Helvetien Weiach	5	2	4	4	77	8				0,339	51	0,209	18	0,47	84	2,3
Helvetien Weiach	9	18	70	2	1					0,065	48	0,036	21	0,091	85	2,5
Helvetien Benken	2	13	4	1	12	43	23	2		0,763	55	0,35	26	1,23	81	3,5

Resultat: Unsere nur generell aufzufassenden Untersuchungen zeigen, dass die grosse Mehrheit der Proben als Feinsande bezeichnet werden müssen. Nur wenige der Proben sind unter Silt *) (Feinsand und Grobschluff), Sand *) (Grobsand und Feinsand) oder Grobsand *) einzureihen. Dazu kommen die Konglomerate. Eine von ZINGG (75) analysierte Nagelfluhprobe ist als Feinkies *) zu bezeichnen, sonst ist Grobkies verbreitet.

Vergleicht man die Proben einzelner Stufen untereinander, so kann man beobachten, dass insbesondere die Schlāmmanalysen der burdigalen Sedimente in den Bereich der Feinsande fallen; dann erst folgen die aquitanen und stampischen Glieder, während die untersuchte helvetische Molasse sowohl unter den Begriff Grobsand, wie Sand und Feinsand fällt.

Bevor wir diese Resultate verallgemeinern, ist es notwendig, regionale Gebiete eingehender zu untersuchen. Erst auf Grund eines umfassenden Materials liessen sich allgemeine Eigenschaften und Tendenzen in der Korngrössenverteilung der einzelnen Stufen herauslesen. Diese Zusammenstellung hat vorläufig nur als Anregung zu weiteren Untersuchungen zu dienen.

Über den Grad der Aufbereitung orientiert uns der sog. Aufbereitungsindex.

$$\alpha = 3 \left(\frac{d_1 - d_2}{d} \right)$$

Je mehr d von 1 abweicht, umso schlechter ist die Aufbereitung. Unsere Untersuchungen scheinen zu zeigen, dass den burdigalen

*) Bezeichnung nach NIGGLI (Lit. 53).

Proben die beste Aufbereitung zukommt (1,4—2,5), dann folgen wiederum die aquitanen und stampischen. Die grössten Werte finden wir im Helvetien und Tortonien (2—4). Den kleinsten Wert (1,4) ergibt eine burdigale Probe von Wangen a. d. Aare. Den maximalen Wert innerhalb unserer Proben zeigt ein aquitaner Mergel im Emme-Ilfisgebiet (5,7).

Vergleichen wir sämtliche Aufbereitungsindexe, so ergibt sich ein deutliches Maximum der Fälle im Bereiche $a = 2,5—3$.

Das alles sind naturgemäss wiederum nur Einzelbeispiele, ohne dass eine systematische Schlussfolgerungen ermöglichende Gesamtbearbeitung stattgefunden hätte.

3. Abrollungsgrad.

Entsprechend dem kurzen Transportweg des Materials — die Zerlegung in psephitisches Material kann oft in allernächster Nähe erfolgt sein — ist der Abrollungsgrad der detritischen Komponenten im allgemeinen ein sehr geringer. Da sich unsere Untersuchungen nur auf die Schweremineralien ausgedehnt haben, ist uns dort die geringe Abnützung besonders aufgefallen (siehe die beigegebenen Mineralzeichnungen). Noch deutlicher aber zeigen diese Verhältnisse die Quarze und Feldspäte.

Ausnahmen finden sich etwa an der Nordküste des Molassebeckens. So zeigt der Transgressionsgrobsand unterhalb der helvetischen Nagelfluh im Kt. Zürich und Kt. Aargau allgemein eine gute Abrollung der gröberen Komponenten (über 0,2 mm). Ähnliche Verhältnisse weisen auch die helvetischen Quarzsande von Benken auf.

Spezielle Untersuchungen des Abrollungsgrades nach der Methode von SCADECKY-KARDOSS (61), auf die ZINGG (75) hingewiesen hat, werden in den Ablagerungen an der Nordküste — mit ihren Transgressions- und Regressionserscheinungen — neue Erkenntnisse bringen.

I. Bisherige Untersuchungen

Sediment-petrographische Untersuchungen aus der schweizerischen Molasse sind bis heute vorwiegend auf die Konglomerate beschränkt geblieben. Hier hat vor allem FRÜHS klassische Arbeit (31) anregend gewirkt. Die von ihm begonnene statistische Bearbeitung des Geröllmaterials hat besonders in LIECHTIS Arbeit über das Emme-Ilfisgebiet (42) eine eingehende Anwendung gefunden. Angaben über petrographische Untersuchungen an Sandsteinen, speziell deren Schweremineralienanteil, finden sich nur sehr wenige in der

Literatur verstreut. Die klassische Arbeit von STUDER (20) enthält eine Reihe vortrefflicher Lupenuntersuchungen. KENNGOTT identifiziert 1867 mit Hilfe des Mikroskopes in einem Sand, der aus dem Napfgebiet stammt, eine Reihe von Mineralien. (Die Resultate sind von MOESCH (47) publiziert worden.) Von SCHALCH (62) kennen wir aus dem Jahre 1914 eine Untersuchung des schweren Rückstandes aus helvetischen Ablagerungen auf dem Reyath (Kt. Schaffhausen). Eine ähnliche Notiz über das Tortonien am Untersee stammt von BOEHNDL (5).

Im Rahmen der Untersuchungen schweizerischer Bausteine notiert ERNI (27) verschiedentlich schwere Mineralien aus Dünnschliffen von Molassesandsteinen, wobei vor allem die häufigsten Komponenten gesichtet wurden.

Die erste Arbeit, die sich speziell nur mit der Sedimentpetrographie von Molasseproben beschäftigt, publiziert DÉVERIN 1920 (20), wobei er an Hand seiner untersuchten Proben auf die Möglichkeit hinweist, in der fossilarmen Molasse einzelne Stufen an Hand charakteristischer Mineralien zu kennzeichnen.

1926 kommt GRENOUILLET (35) auf Grund seiner Untersuchungen am stampischen Septarienton und Cyrenenmergel aus der Umgebung von Basel zum Schlusse, dass es möglich ist, Gesteine in rein lithologischer Beziehung (Schlamm-analyse, Mineralbestand, Frequenz, Abrasion) zu vergleichen und auf Distanzen hin zu identifizieren.

LIECHTI (42) veröffentlicht 1927 mit seinen Psephitzählungen aus dem Napfgebiet auch einige Untersuchungen an Sandsteinen, folgert aber daraus, dass ein Wechsel in der Zusammensetzung verschiedener stratigraphischer Stufen sich mittels schwerer Fraktionen nicht nachweisen lasse, was aber auch für die Gerölluntersuchungen der Nagelfluhhorizonte desselben Gebietes gelte. In der Belpbergerarbeit von RUTSCH (59) wurde der Schweremineralienanteil nur kurz berücksichtigt. Gestreift wird die schweizerische Molasse ferner von CAYEUX (15), der sie auf Grund der Petrographie, die sich hauptsächlich auf Dünnschliffuntersuchungen stützt, einer eigenen petrographischen Einheit einordnet. BURRI (9) revidiert 1931 die Angaben von KENNGOTT über die goldführende Napfmolasse. In den Verwitterungsstudien an schweizerischen Gesteinen weist GSCHWIND (36) auf die geringe Veränderung der schweren Mineralien innerhalb der Verwitterungsprofile hin. Dabei finden sich auch Angaben über den Mineralbestand in den einzelnen untersuchten Molassestufen.

Eine erste regionale Arbeit stammt von GEIGER (1933) (32) über die Thurgauermolasse. Er weist auf Gesetzmässigkeiten in der Sedimentation dieses Gebietes hin. Nur fragmentarische Beobachtungen aus Dünnschliffen liefert MUHEIM (1933) (49) über das subalpine Oligocän im Allgäu. Neue Beobachtungen aus der ostschweizerischen subalpinen Molasse wird demnächst cand. phil. H. RENZ (Zürich) publizieren.

II. Methodischer Teil

Bei unseren sedimentpetrographischen Untersuchungen, die sich zeitlich vom Stampien bis ins Pontien, räumlich vom Alpenrand bis an den Vogesen-Schwarzwald Fuss und aus der Gegend um Freiburg im Uechtland bis ins St. Gallische Rheintal erstrecken, muss auf eine Standardisierung der Untersuchungsmethoden besonderes Gewicht gelegt werden.

1. EINSAMMELN DER PROBEN

Trotzdem sich nach den Untersuchungen von GSCHWIND (36) und auch nach unseren Beobachtungen keine grossen Veränderungen innerhalb eines Verwitterungsprofils zeigen, haben wir doch nach Möglichkeit frisches, anstehendes Material eingesammelt. Bei kalkreicheren Proben ist davon mehr notwendig, bei kalkarmen genügt im allgemeinen eine faustgrosse Probe, die den durchschnittlichen Verhältnissen des Aufschlusses entspricht. Es wurde dabei schon zum vorneherein eine Korngrösse von 0,1—0,3 mm (Quarz) berücksichtigt. Sie gestattet eine günstige Ausbeute und liefert gute Grössenverhältnisse für die mikroskopische Untersuchung. Prinzipiell ergeben sich keinerlei stark abweichende Resultate gegenüber benachbarten Korngrössen.

2. LABORATORIUMSBEHANDLUNG

Bei kompaktem Material erfolgt zuerst Zerkleinerung im Mörser und Siebung. Hierauf wird in der Porzellanschale die Trübe ausgeschwenkt. Mit verdünnter HCl werden durch kurzes Kochen die löslichen Karbonate entfernt. Es werden dabei nicht nur die Körner von einer limonitischen Verschmierung befreit und im Präparat eine störende Karbonatflut vermieden, sondern es werden auch gewisse Mineralien gelöst. Besonders soll der Apatit nach Angaben einzelner Autoren davon betroffen werden. Wo wir ihn auffanden, war er meist leicht bis vollkommen angerundet, was auf eine Anätzung zurückzuführen ist.

Hernach erfolgt Auswaschen und Dekantieren des Materiales. Die Trennung in eine leichte (unter 2,85 spez. Gew.) und eine schwere (über 2,85 spez. Gew.) Fraktion erfolgt aus praktischen und ökonomischen Gründen mit Bromoform. Dabei werden die zu trennenden Mengen so angesetzt, dass die vollständige schwere Fraktion (S. F.) in Kanadabalsam eingebettet werden konnte, womit die grosse Entmischungsmöglichkeit beim Teilen einer zu grossen Menge vermieden wird.

3. STATISTIK

In der Darstellung der Beobachtungen an schweren Fraktionen lässt sich eine Entwicklung von der mehr beschreibenden Art (z. B. die WATT'sche Methode (46), die Nummern verwendet, wie 9 = sehr häufig, 1 = sehr selten) zur quantitativen, statistischen Erfassung konstatieren. Die Vorteile der letzteren sind klar; sie ermöglicht unter weitgehender Ausschaltung subjektiver Schätzung Resultate

verschiedener Beobachter miteinander zu vergleichen. Besonders ergibt sich dadurch auch für den Anfänger eine grössere Arbeitssicherheit. Mit Hilfe des Quertisches und der Auszählung von mindestens 300 Körnern kann eine Probe mit genügender Genauigkeit berechnet und prozentual dargestellt werden.

4. EINFLUSS DER KORNGRÖSSE

Zur Erkenntnis dieses Einflusses wurden 18 Proben aus den verschiedenen Stufen mittelst des Kopeckyapparates in die einzelnen Korngrössenfraktionen zerlegt, daraus die schweren Mineralien gewonnen, eingebettet und ausgezählt. Dabei ergaben sich folgende Beobachtungen:

	Vergleich der Schweremineralfraktionen 0,1—0,2 und 0,2—0,5			0,05 und 0,1 und 0,1—0,2		
	Prozente der Fälle					
	Zunahme %	Abnahme %	Gleichbleib. %	Zunahme %	Abnahme %	Gleichbleib. %
Granat	67	33	—	100	—	—
Staurolith	38	30	32	80	—	20
Epidot	13	87	—	14	77	9
Zirkon	—	67	33	33	33	33
Turmalin	35	18	47	33	42	25
Rutil	12	44	44	37	37	26
Erz	33	33	33	38	31	31

Resultat: 1. Bei Granat tritt deutlich eine Zunahme mit der Kornvergrößerung ein; bei Staurolith ist das in geringerem Masse der Fall. Grosse Härte, relativ geringes spezifisches Gewicht, geringe Spaltbarkeit, chemische Widerstandsfähigkeit treten einer Kornverkleinerung oder relativen Anreicherung in der kleineren Kornklasse entgegen.

2. Epidot und Zirkon zeigen Abnahme mit der Kornvergrößerung. Dies tritt beim Epidot eindeutig, beim Zirkon nur in den beiden gröberen Fraktionen auf. Beim Epidot kann die Spaltbarkeit, eventuell auch die Verwitterung daran schuld sein, beim Zirkon ist wohl die Eigenkorngrösse als Einschluss massgebend.

3. Weniger eindeutig ist die Entwicklung beim Turmalin und beim Rutil. Bei ersterem zeigt sich eine Tendenz der Anreicherung in den extremen Gliedern; vielleicht sind die ursprünglichen Vorkommen (sowohl als kleine Einschlüsse, wie als selbständigere, grössere Individuen) dafür massgebend. Beim Rutil dagegen stellt sich eine Anreicherung in der mittleren Fraktion ein.

4. Unbeeinflusst bleibt das Erz.

Neben destruktiven Ursachen, oder solchen, die mit primären Korngrößen im Zusammenhang stehen, können auch die physikalischen Vorgänge der Sedimentation für diese Erscheinungen verantwortlich sein. Diese sehr komplexen Vorgänge sind noch sehr wenig erforscht. W. RUBEY (53) findet — in einem gewissen Gegensatz zu unseren Untersuchungen — in Schottern des Hudsonales eine Anreicherung von Epidot, Disthen, Andalusit, Rutil und eine Verarmung an Magnetit, Ilmenit, Zirkon mit steigender Korngrösse. Die Gründe hiefür sieht er darin, dass die spezifisch schwereren Mineralien beim Sedimentationsvorgang in die relativ feineren Fraktionen gelangen, und die Abrasion, der die schwereren Mineralien wiederum besonders ausgesetzt sind, eine absolute Kornverkleinerung herbeiführe. Bei Berücksichtigung dieser Tendenzen wird es möglich sein, gewisse Zähl-differenzen nicht als prinzipielle Abweichungen zu erkennen, sondern in ihnen Abweichungen, die durch die Korngrösse bedingt sind, zu sehen.

5. GÜNSTIGSTE KORNGRÖSSE ZUR UNTERSUCHUNG

Schon aus dem vorhergehenden Abschnitt ergeben sich für die mittlere Fraktion (0,2—0,1 mm) mittlere Verhältnisse. Dazu kommt, dass für optische Untersuchungen im Vergleich zur feineren und gröberen Fraktion optimale Verhältnisse vorliegen. Ferner ergeben sich im Verhältnis zur gröberen Fraktion quantitativ bessere Schwere-mineralausbeuten. Der Durchschnitt von 18 Sandproben aus der Molasse, die erst im Kopeckyapparat geschlämmt, hierauf einzeln mit Bromoform getrennt und danach gewogen wurden, ergab an Schwere-mineralien in den einzelnen Fraktionen die folgenden prozentualen Werte:

0,5 — 0,2 mm	0,2 — 0,1 mm	0,1 — 0,05 mm
0,96 %	1,26 %	1,9 %

In 47 % der Fälle lag das Maximum der schweren Mineralien bei der feinsten Fraktion, in 47 % der Fälle bei der mittleren, und in nur 6 % bei der groben Fraktion. Somit sprechen sowohl Korngrößen-abhängigkeit der einzelnen Mineralien als auch optisch-diagnostische und gewichtsmässige Gründe für die Auswahl der mittleren Fraktion. Dies wird auch von anderen Autoren empfohlen, z. B.:

WEYL (74)	0,15—0,2
WATOCKY (73)	0,15—0,23

6. VERGLEICH VON BROMOFORM UND PFANNENTRENNUNG

Einzelne Forscher haben ihre Schwermineralienfraktionen durch Konzentration mittels der Waschpfanne erhalten. Es fragt sich, inwieweit diese Resultate mit denen, die durch Trennung mittels Bromoform gewonnen wurden, verglichen werden können. Eine Untersuchung beider Methoden an Hand desselben Materials hat ergeben, dass beim Waschprozess eine Anreicherung der spezifisch schweren und der isometrischen Mineralien stattfindet, z. B. Granat, Erz, Staurolith. Dagegen tritt eine Verarmung an tafeligen und blätterigen Mineralien ein, insbesondere an Muskowit, Chlorit, Biotit, daneben auch an Hornblenden und Chloritoid. Wenn diese Tatsachen berücksichtigt werden, ist ein Vergleich prinzipiell möglich.

7. NOMENKLATUR

Zur Charakterisierung einer Schwermineralienfraktion benutzen wir in Analogie mit anderen petrographischen Nomenklaturen die mengenmässig wichtigsten Mineralien. Im folgenden verwenden wir die Hauptgemengteile (alle Mineralien, die mengenmässig über 10% vertreten sind) am Anfang und stellen die Nebengemengteile (Mineralien, die in Mengen zwischen 10 und 2 % auftreten) an den Schluss der Bezeichnung. Die akzessorischen Mineralien (weniger als 2 %) werden unberücksichtigt gelassen. Es bedeutet somit: Epidot-Erz-Granat-Kombination mit Zirkon und Turmalin, dass Epidot-Erz-Granat in Mengen über 10 % auftreten, und dass Zirkon und Turmalin zwischen 10 % und 2 % in dem entsprechenden Präparat zu finden sind. Es werden ferner im Text folgende Abkürzungen verwendet:

Hauptgemengteil	H. G.	(100 % — 10 %)
Nebengemengteil	N. G.	(10 % — 2 %)
Akzessorien	A. K.	(weniger als 2 %)
Schwermineralienfraktion	S. F.	
Stampien	S.	
Aquitani	A.	
Burdigali	B.	
Helveti	H.	
Tortonien	T.	
Ätzungen	Az.	

III. Spezielle Mineralbeschreibung

EINLEITUNG

Durch die Art der Vorbehandlung des gesammelten Materiales, durch die Nichtberücksichtigung einer Gruppe von Mineralien bestimmter Dichte, durch Instabilität unter normalen chemisch-physi-

kalischen Bedingungen und durch seltenes oder fehlendes primäres Auftreten werden zum vorneherein eine Reihe von Mineralien aus dieser Beschreibung eliminiert.

So scheiden beispielsweise aus:

1. Durch die Vorbehandlung mit HCl verd. hauptsächlich die Karbonate, ferner auch der Limonit und vielleicht auch ein Teil des Apatites.

2. Durch Nichtberücksichtigung der sog. leichten Fraktion: alle Mineralien, deren spez. Gewicht kleiner als dasjenige von Bromoform (2,85) ist, also der mengenmässig sehr wichtige Quarz, die Feldspäte und auch der Glaukonit.

3. Durch Instabilität unter normalen Druck-Temperaturbedingungen: Anhydrit, Olivin, Skapolith, Wollastonit.

4. Durch spärliches Vorkommen oder Nichtauftreten in unseren Molassesedimenten: gewisse Augite, Axinit, Bleiglanz, Korund, Dumortierit, Fluorit, gewisse Hornblenden, Melilith, Lawsonit, Periklas, Spodumen, Vesuvian.

Die gesteinsbildenden Mineralien, die nach dieser Sichtung noch verbleiben, erfahren im folgenden eine kurze Charakterisierung. Die Reihenfolge ist die alphabetische.

1. ANATAS:

Morphologie: I. Idiomorph. Die spitzen (111) Pyramiden sind selten. Häufiger sind tafelige Exemplare, begrenzt durch (100) und (111).

II. Bruchstücke, häufig schalig gebrochen.

III. Gerundete Exemplare, sehr selten.

Farben: a) farblos,

b) gelblich, Vererzungen,

c) gelbbraun,

d) braun, }

e) blau, }

öfters gelblich-bläulich fleckig, gelegentlich Pleochroismus hell-dunkelblau.

Optik: Ein-, selten zweiachsig.

Herkunft: Wahrscheinlich sowohl authigen wie allothigen (ein Individuum wurde aus Leukoxen herauswachsend gefunden).

Vorkommen: Tritt im Oligocän regelmässiger auf als im Miocän.

2. ANDALUSIT:

Morphologie: I. Bruchstücke, hauptsächlich prismatische Formen, begrenzt durch Spaltformen nach (110) und (100). Vorkommen unregelmässige Körner selten.

II. Gerundete Körner (z.B. stampischer Meeressand). Auch regelmässige Spaltrisse sind häufig.

Einschlüsse: Erz, Turmalin, oft auch Streifen von Erzpünktchen.

Verwitterung: Zersetzungen längs Spaltrissen. Muskowit-Sericitrang.

Farben: n_α = rosa (a), gelegentlich blaurot (a 2), bräunlichrot (a 3), schmutzigrot (a 4), weinrot (a 5).

n_β = farblos—grünlich.

Gelegentlich fleckige, auch zonare Farbverteilung.

Vorkommen: Die grössten Mengen an der helvetischen Nordküste, geringere in der Molasse alsacienne, im tortonischen Hörnligebiet, noch seltener im Burdigalien.

3. APATIT:

Sein Auftreten ist unregelmässig, und da die Einflüsse der Probenvorbehandlung nicht eindeutig sind, wurde auf eine Miteinbeziehung in die Zählung verzichtet. Morphologisch tritt uns der Apatit in der Regel als rundliches, oft leicht angeätztes Korn entgegen, das meist auf der Basis liegt. Neben der regulären Einachsigkeit kann man gelegentlich auch Zweiachsigkeit beobachten.

Bei farbloser bis milchiger Färbung treten oft Einschlüsse auf, die sowohl Zirkon, wie Erz oder kohlige Substanz sind.

4. AUGIT:

a) Oliv- bis gelbgrüne Augite. Auslöschungsschiefe n_γ/c = ca. 44° . Sie weisen eine Streckung nach der c-Achse auf, sind seitlich durch die Spaltformen nach (110) begrenzt und endigen mit unregelmässigen Bruchformen.

Einschlüsse: Erz, Rutil.

Neben der Spaltform nach (110), die sich auch in feinen Rissen manifestiert, ist eine Absonderung nach der Basis zu konstatieren.

b) Selten sind blassgrünliche, leicht pleochroitische Augite.

c) Besonders im Tortonien des Hörnligebietes, sehr viel seltener auch im Napfgebiet, zeigt sich folgende Augitvarietät:

Farbe: gelblichgrün—olivgrün.

Oberfläche oft leicht gerauht, mit speckigem Aussehen.

Mikrokristalline Aggregate.

Lichtbrechung ca. 1,68. Spez. Gewicht 3,1—3,2.

Hauptsächlich als Bruchstücke. Wahrscheinlich liegt ein Jadeit-ähnlicher Augit vor.

Mit dieser Varietät zusammen findet sich öfters auch ein faseriges, Nephrit-ähnliches Mineral, leicht gelbgrün—grün pleochroitisch.

Vorkommen: Alle diese Augite treten im allgemeinen nur sehr sporadisch auf. a ergibt ein lokales Maximum am Neuenburgersee und c ist typisch für die oberen Partien am Hörnli.

5. BARYT:

In einigen S. F. treten in grösseren Mengen Barytkörner auf. Ihre Form ist weitgehend durch (110) und (001) bedingt, oft bemerkt man hackige Formen. Die Oberfläche ist oft rau und die Körnchen sind von feinsten Erzpünktchen durchsetzt.

Seine Entstehung muss eine authigene sein; anders könnte man sich dieses plötzliche, häufige Auftreten nicht erklären, auch Abbildungsformen und typische Wachstumsformen unterstützen diese Annahme.

Vorkommen: Stampien (Griesiger Mergel).

Aquitaniien bei Rüdlingen (Kt. Schaffhausen).

Tortonien im Hörnligebiet (Wald, Laupen und Tösscheide) und im Delsbergerbecken (Mt. Chaibeux).

Daneben ist auch Coelestin gelegentlich vorhanden.

6. BIOTIT:

Bedeutend seltener als Chlorit oder Muskowit findet sich Biotit, in braunen oder olivgrünen Exemplaren.

Pleochroitische Höfe.

7. BROOKIT:

Morphologie: I. Unregelmässige Bruchstücke, länglich, oft mit Streifung. Meist auch angerundet.

II. Idiomorph. Meist rechteckige basale Exemplare mit (100), (010) und Flächen der Zone (011).

III. Dazu treten Agglomerationen.

Sowohl II wie III können Neubildungen sein, mit Sicherheit allerdings kann nicht darauf geschlossen werden.

Farben: a) gelb,

b) gelbbraun,

c) rotbraun,

d) braungelb—grüngrau, auch fleckige Individuen.

Vorkommen: Allgemein seltener als Anatas, regelmässiger im subalpinen Stampien.

8. CHLORIT:

Die Chlorite wurden, ihrer blätterigen Ausbildung und des variablen spez. Gewichtes (in der Nähe von Bromoform) wegen, nicht in die Zählung miteinbezogen.

Ihre Besprechung erfolgt deshalb hier in mehr summarischer Weise. Gewöhnlich beobachtet man basale, fast isotrop erscheinende, unregelmässig lappig begrenzte Chlorite. Gelegentlich tritt die randliche Partie in dunkleren, die inneren Partien in mehr helleren, grünlichen Tönen hervor. Grünliche Farben herrschen vor. Einschlüsse: Turmalin, Zirkon, Sagenitgewebe. Pleochroitische Höfe wurden beobachtet. Im Aquitanien und im Burdigalien scheinen sie reichlicher aufzutreten als in den übrigen Stufen.

9. CHLORITOID:

Morphologie: I. Blätterige Formen nach (001), oft begrenzt durch (010) und (110).

II. Unregelmässig lappig.

Oft auch von wirren Spaltrissen durchzogen. Gelegentlich können ganze Blätterpakete beobachtet werden.

Einschlüsse: Erze, Zirkon, Umhüllung durch Sericit.

Vorkommen: Er tritt numerisch kaum in den Vordergrund, ausser im Helvetien, wo eine leichte Zunahme zu konstatieren ist.

10. DISTHEN:

Morphologie: I. Immer Spaltformen, infolgedessen meist auffallend scharfe Formen, meist auf (100) liegend, selten auf (001) oder (010). Oft auffallend gestreckte Formen.

II. Selten gerundete Formen.

Gelegentlich auch gebogene Körner.

Farben: Meist farblos, selten blaue Farben sichtbar.

Verwitterungserscheinungen als bräunliche Zonen längs Spaltrissen oder als einzelne Flecken. Auch Zwillingsbildungen beobachtet.

Einschlüsse: Zirkon, Rutil, Vakuolen usw.

Vorkommen: Immer mit Staurolith zusammen, aber allgemein in geringeren Mengen.

11. EPIDOT:

Morphologie: I. Bruchformen häufig. Oft auch zerrissene, angewitterte Formen, die durch ihr graugrünes Aussehen auffallen (Burdigalien).

II. Idiomorphe Formen nach der b-Achse gestreckt, meist auf (001), dazu (110), (100).

III. Rundliche Körner, wie sie z.B. aus holländischen Quartärsanden bekannt sind, finden sich selten; sie weisen oft Ätzungen auf.

IV. Aggregate von strahligen Individuen.

Einschlüsse: Zirkon.

Farben: a) farblos,

b) grünlich bis gelb,

c) zeisiggrün—pistaziengrün,

d) braungrün,

e) braun.

Ganz vereinzelt wurde auch Thulit, ebenso Orthit gesichtet.

Vorkommen: Es wird auf die spätere Diskussion verwiesen.

12. ERZE:

Diese sehr summarische Bezeichnung erklärt sich dadurch, dass eine Differenzierung in die einzelnen allothigenen Erztypen nicht vorgenommen wurde. Innerhalb dieses Sammelbegriffes ist Magnetit sicher der wichtigste Gemengteil. Limonit ist seltener, da die Vorbehandlung mit HCl ihn oft herauslöst, aus diesem Grunde wurde er auch nicht mitgezählt, Ilmenit-Leukoxen kommen daneben in Frage. Nur sehr sporadisch wurden Kupfererze beobachtet und auch die Goldkörnchen, die sich innerhalb unseren S. F. fanden, waren nicht sehr häufig.

Nicht mitgezählt wurden in unserer Statistik Pyrit und Markasit, die beide meist authigener Entstehung sind, oft Pseudomorphosen nach Foraminiferen bilden, und gelegentlich in sehr grossen Mengen die S. F. erfüllen (Stampien, Aquitanien, Burdigalien).

13. GRANAT:

Morphologie: I. Meist Bruchstücke, scharfkantig, splitterig, sehr selten durchlöchert.

II. Gerundet, selten.

III. Idiomorph, selten, dann meist (110).

Die Oberfläche ist in der Regel glatt, daneben finden sich auch Aufrauungen, die entweder aus einer Reihe von rundlichen Grübchen, oder dachziegelartig aufeinandergreifenden Schuppen, oder aus feinen parallelen Risschen bestehen. Häufiger treten eine Reihe von Kanten und Flächen, meistens nach (110), hervor. Es handelt sich um Ätzerscheinungen, was von einer Reihe von Autoren vermutet und

von BRAMLETTE (7) mit Flusssäure auch experimentell nachgewiesen wurde.

Ob solche Ätzungen zum vollständigen Verschwinden des Granates führen, ist noch nicht aufgeklärt (BOSWELL (6), p. 44). Endlich finden sich noch, unabhängig von diesen Erscheinungen, Schlagfiguren.

Einschlüsse: Gelber und rotbrauner Rutil, Zirkon, Erz, Staurolith (!).

Gelegentlich ist das Zentrum idiomorpher oder rundlicher Körner von einer Menge feinsten Einschlüsse durchspickt. An farblosen Exemplaren wird zonarer Aufbau durch Einschlüsse markiert.

Optik: Meist isotrop; anisotrop sind dagegen meist die gelbgrünen Granate. Sie weisen niedere Interferenzfarben auf, sind optisch einachsig oder zweiachsig, zeigen mit \times Nicols oft ein wanderndes dunkles Kreuz oder eine Zerlegung in einzelne Sektoren. Sie sind auch meist mehr gerundet als die übrigen Granate. Selten beobachtet man rötliche oder bräunliche anisotrope Granate.

Farben:

a) farblos, sehr häufig

b) rötliche Farben:

1. rosarot, häufig	5. graurot
2. ziegelrot	6. violett
3. karminrot	7. gelbrod
4. blutrot	

Zonar: Rand 7, Zentrum 1.

c) gelbliche Farben: 1. gelb 2. gelbgrün 3. gelbbraun.

d) bräunliche Farben: 1. braun 2. braunrot, 3. braunschwarz.

Endlich treten auch fleckige Farbverteilungen auf, besonders in b. Vorkommen: Überall; maximale Beträge meist dort, wo Epidotmangel. Subalpines Stampien, östliche miocäne Vorkommen.

Minimale Beträge: Neuenburgersee (B), Sorvilier (B), Riedern (H), Gisiberg (H), Dagmersellen (T). Als Bestandteil einzelner Gerölle erwähnt FRÜH (31) Granat vom Rigi (St.), MUHEIM (49) aus der Bausteinzone im Allgäu (St.).

14. HORNBLENDEN:

Morphologie: Durch die Hauptspaltbarkeit nach (110) meistens prismatische Individuen mit unregelmässig begrenzten Enden. Auch ganz unregelmässige Bruchstücke. Meistens ist auch eine weitere bis engere Faserigkeit nach (110) zu konstatieren. Hahnenkammähnliche Lösungserscheinungen, wie sie etwa EDEL-

MANN (23) beschreibt, haben wir nur einmal gesichtet. Hingegen finden sich im Einflussbereich der Hegauvulkane gelegentlich Hornblenden, die magmatisch korrodiert sind.

Einschlüsse: Rutil, Zirkon.

Farben: a) farblos, gelegentlich (a 1) farblos—gelblichgrün,

b) 1. gelblichgrün—grün,

2. grasgrün,

c) 1. gelblichgrün—blaugrün,

2. grün—blaugrün,

d) 1. grasgrün—olivgrün,

2. graugrün—olivgrün,

c) 1. olivgrün—braun,

2. braun—rotbraun.

Vorkommen: Das Oligocän ist arm an Hornblenden. Am regelmässigsten werden sie im Burdigalien angetroffen. Mengemässig treten sie im Burdigalien und Tortonien mehr hervor als im Helvetien.

15. BLAUE HORNBLENDE:

Morphologie: Ähnlich den übrigen Hornblenden. Es finden sich daneben auch Aggregate, die oft „zerzaust“ erscheinen.

Optik: Es treten blaue Hornblenden mit grossem bis kleinem Achsenwinkel auf (a), wobei die Achsenebene parallel der Faserung liegt, solche, die einachsigt sind (b) und solche, deren Achsenebene quer zur Faserrichtung steht (c), somit Gastaldit, wie Glaukophan- und Crossittypen. Selten tritt, meist in kleineren kurzen prismatischen Stengelchen, eine gelb—blau pleochroistische Hornblende (d) auf. Die Crossite zeigen im allgemeinen die intensivsten Farben. Ausgebleichte Formen, Umwandlungen in Chlorit und auch Zusammenwachsungen von grünen und blauen Hornblenden sind gefunden worden. Daneben Vererzungen, Limonitausscheidungen, Rutileinschlüsse.

Vorkommen: Weitaus am regelmässigsten werden blaue Hornblenden im Burdigalien beobachtet, in denen auch mengenmässig ein Maximum vorliegt. Ähnliche Verhältnisse finden sich auch im Stampien der raurachischen Senke, etwas seltener findet man diese Hornblenden im Helvetien. Besonders arm an blauen Hornblenden ist das subalpine Stampien östlich Freiburg bis gegen das Appenzeller-Gebiet. Auch im Aquitanien und Tortonien ist ihr Vorkommen ein sporadisches.

16. MUSKOWIT:

Dieselbe Unsicherheit bei der Trennung wie beim Chlorit führte auch zur Ausschaltung des Muskowites (und des Biotites) bei der Zählung.

Doch tritt dieser Glimmer, besonders im Tortonien, oft in grossen Mengen in die S. F. ein. Seine lappige, blätterige Form, öfters von haarartigen, unregelmässigen, feinen Spalttrissen durchzogen, ist typisch. Oft löscht Muskowit undulös aus und enthält Einschlüsse von Erz, Rutil, Zirkon, Biotit, Epidot, Apatit und auch von unregelmässigen Vakuolen. Die Farbe wechselt von farblos gegen grünlich oder leicht graubraun.

17. RUTIL:

Morphologie: I. Idiomorph. Meist kurzprismatische Formen, nach c gestreckt. Selten idiomorphe Endigung (Pyramide). Meist Enden gerundet oder abgespalten. Prismen oft gestreift.

II. Bruchstücke.

III. Gerundet.

IV. Als Sagenitgewebe.

Zwillinge: Kniezwillinge nach (110) (Winkel von 110° einschliessend. Ringförmige Viellinge. Penetrationszwillinge.

In prismatischen Individuen trifft man oft feine polysynthetische Zwillingssysteme.

Einschlüsse: Erz, Zirkon.

Gelegentlich wächst Rutil als Neubildung aus Leukoxen heraus.

Farben: a) gelb, oft mit Pleochroismus hell—dunkelgelb,

b) rotbraun—fuchsrot,

c) olivgrün—olivbraun,

d) braungelb.

Mc. M. CARTNEY (14) hält die gelben Körner für noch nicht vollständig aus Leukoxen umgewandelte Individuen.

Verschiedentlich wurde auch Kassiterit gefunden. Da aber die restlose Identifizierung nicht immer durchgeführt werden konnte, wurde er mit Rutil zusammen gerechnet.

Vorkommen: Im subalpinen Stampien angereichert; ebenso im Meeressand von Aesch und am Nordrand des Helvetien (Riedern).

18. SILLIMANIT:

Aggregate von Sillimanit wurden nicht häufig konstatiert; die wenigen Fälle wurden zu den gewöhnlichen Hornblenden gezählt.

19. SPINELL:

Nur sehr sporadisch wurden farbige Spinelle beobachtet; die farblosen, auch die rosaroten Exemplare lassen sich bei dieser Untersuchung nicht von den Granaten trennen.

Morphologie: Bruchstücke.

Farben: hellgrün, olivgrün, dunkelgrün, grünblau, graublau, bläulich.

20. STAUROLITH:

Morphologie: I. Bruchstücke, meistens mit scharfen Formen und einspringenden Winkeln, auch konzentrische Schlagfiguren.

Körner oft durch die (010) Spaltform begrenzt.

II. Gerundete Exemplare selten.

III. Leicht faserige Exemplare.

IV. Idiomorph. Selten, (010), (110), (101), auf (010) liegend.

Korrosionsspuren als rundliche oder parallele, längliche Grübchen, oder schuppige Oberfläche. Auch streifige Exemplare.

Im Aquitanien, im Tortonien und auch im Stampien beobachtet man an den Staurolithen kleine Fortsätzchen (EDELMAHN (26) nennt sie Kämmchen), die steile Pyramiden darstellen. BOSWELL (6) u. a. A. glauben in ihnen Verwitterungs- oder Lösungserscheinungen zu sehen. EDELMAHN (26) hat sich eingehender damit beschäftigt.

Kniefwillinge nach (232).

Einschlüsse: Erz, oft auch reihenförmig angeordnet. Zirkon.

Farben: a) strohgelb—goldgelb,

b) braunrot—grüngelb,

c) seltener Körner mit $n_p =$ lachsrot. Diese sind allgemein stärker gerundet und weisen Lösungserscheinungen auf.

d) rötlich—gelblichbraun.

Vorkommen: Mengenmässig am häufigsten findet sich Staurolith:

1. An der helvetischen Nordküste in Tennikon und Riedern.

2. Im Hörnlfächer. Tortonien.

3. Nach cand. phil. H. RENZ (Zürich) auch im Aquitanien von Berneck (St. Gall. Rheintal).

Auffallendes Zurücktreten im Napfgebiet.

21. TITANIT:

Morphologie: I. Bruchformen häufiger, oft zerschissen.

II. Vollkommen gerundete Körner. Seltener, häufiger nur im Burdigalien.

III. Idiomorph. Nur in Gisiberg (Baselland) Helvetien. Dort authigen mit (100), (111), (112).

Abbildungsformen, Ätzgrübchen, auch geriefte Formen.

Spaltbarkeit und Absonderung beobachtet.

Farben: a) farblos,

b) 1. gelblich, 2. gelbbraun,

c) pleochroitisch blassgelb—rötlichgelb,

d) braun.

c allgemein rundlicher als die anderen Individuen. Sie wurden hauptsächlich im Gebiet zwischen Neuenburgersee-Entlebuch-Aarwangen beobachtet.

Einschlüsse: Rutil, unregelmässige Vakuolen.

Vorkommen: Mengenmässige Maxima sind im Aquitanien, im Tortonien und im jurassischen Stampien zu beobachten.

22. TOPAS:

Morphologie: I. Meist unebene, glasglänzende Bruch- oder Spaltformen. Oft auffallend grosse Formen. Gelegentlich beobachten wir feine Spaltrisse nach (201) und (021).

Aufrauungen, auch lappige—schuppige Oberflächen.

II. Nur selten runde Exemplare.

Farben: Meist farblos, ev. bläuliche Schimmer.

Vorkommen: Wiederum am helvetischen Nordufer am häufigsten, gelegentlich häufig im Burdigalien, in übrigen Stufen selten.

23. TURMALIN:

Morphologie: I. Idiomorphe Formen. Die prismatisch gestreckten Typen weisen meist abgebrochene Enden auf; selten Endigung in trigonalen Pyramiden. Gelegentlich Basisformen, begrenzt durch trigonale und ditrigonale Prismen; diese zeigen gelegentlich herausgefallene dreieckige Zentren.

Öfters Streifung parallel den Prismen. Absonderung nach (0001). Gewisse prismatische Typen weisen faserige Endungen auf, die bisweilen ausgebleicht sind.

II. Bruchstücke, häufig.

III. Gerundete Exemplare als Körner im Präparat, oft auf der Basis liegend.

Ätzerscheinungen als Grübchen.

Einschlüsse: Erz, Zirkon, Turmalin.

Die beobachteten Körner, die eventuell Neubildungen sein können, sind, nach ihrem sporadischen Auftreten zu schliessen, bereits

- ### III. Rundliche selten.

Optik: Häufig ist der α -Zoisit mit intensiver Achsendispersion. Die übrigen Ausbildungen (β -Zoisit, Klinozoisit) sind seltener identifiziert worden.

Vorkommen: Der α -Zoisit ist in den tortonischen Ablagerungen besonders oft gefunden worden (Napf, Linn am Bötzbberg, Untersee).

RESULTAT:

Der Schweremineralien-Bestand der Molasse zeigt eine bedeutende Anzahl verschiedener Mineralien und weist damit auf die komplexe Zusammensetzung der für die Belieferung in Frage kommenden Gesteinsserien hin. Trotzdem innerhalb einzelner Mineralarten gewisse Varietäten auftreten, ist es vorderhand nicht möglich, diese als Hilfsmittel zur Klassifikation zu benutzen.

Allen Mineralien ist die geringe Rundung eigen, was auf die kurze Transportstrecke als Einzelkorn und auf den Haupttransport in Geröllform hinweist.

Sowohl Korrosionserscheinungen wie auch Neubildungen sind beobachtet worden. Beide scheinen in der Hauptsache im Ablagerungsraum während der Konsolidierung entstanden zu sein.

Die unterschiedliche Resistenz, zusammen mit der Möglichkeit der petrographischen Beheimatung, bildet die Grundlage einer Gruppenbildung, die in einem folgenden Kapitel besprochen wird.

Verzeichnis der Mineralien Fig. 3

1. Granat, stark angeätzt	St., Waldemmen (Entlebuch)
2. Granat, Bruchstück	H., Schlatt (Zürich)
3. Anatas, detritisch (?)	T., Utliberg
4. Zirkon, idiomorph	P., Delsbergerbecken
5. Titanit, wahrscheinlich authigen	H., Gisiberg (Baselland)
6. Staurolith, säulig	B., Bolligen (Bern)
7. Staurolith m. Kämmchen (Lösung)	A., Pfäffikon (Schwyz)
8. Staurolith, Bruchform	H., Schlatt (Zürich)
9. Disthen, Spaltform, länglich	H., Schlatt (Zürich)
10. Disthen, Spaltform	H., Riedern, Baden (Deutschland)
11. Andalusit, Bruchform	H., Schlatt (Zürich)
12. Andalusit, gestreckt zonare F.	T., Linn (Aargau)
13. Topas	H., Benken (Zürich)
14. Epidot, säulige Form	B., Bolligen (Bern)
15. Epidot, rundliche geätzte Form	T., Napf
16. Gew. grünliche Hornblende	B., Neuenburgersee
17. Hornblende, blau	H., Wettingen (Aargau)
18. Augit, Bruchform	B., Neuenburgersee
19. Chloritoid, angewittert	A., Bern
20. Chloritoid, lagig	B., Thorberg (Bern)

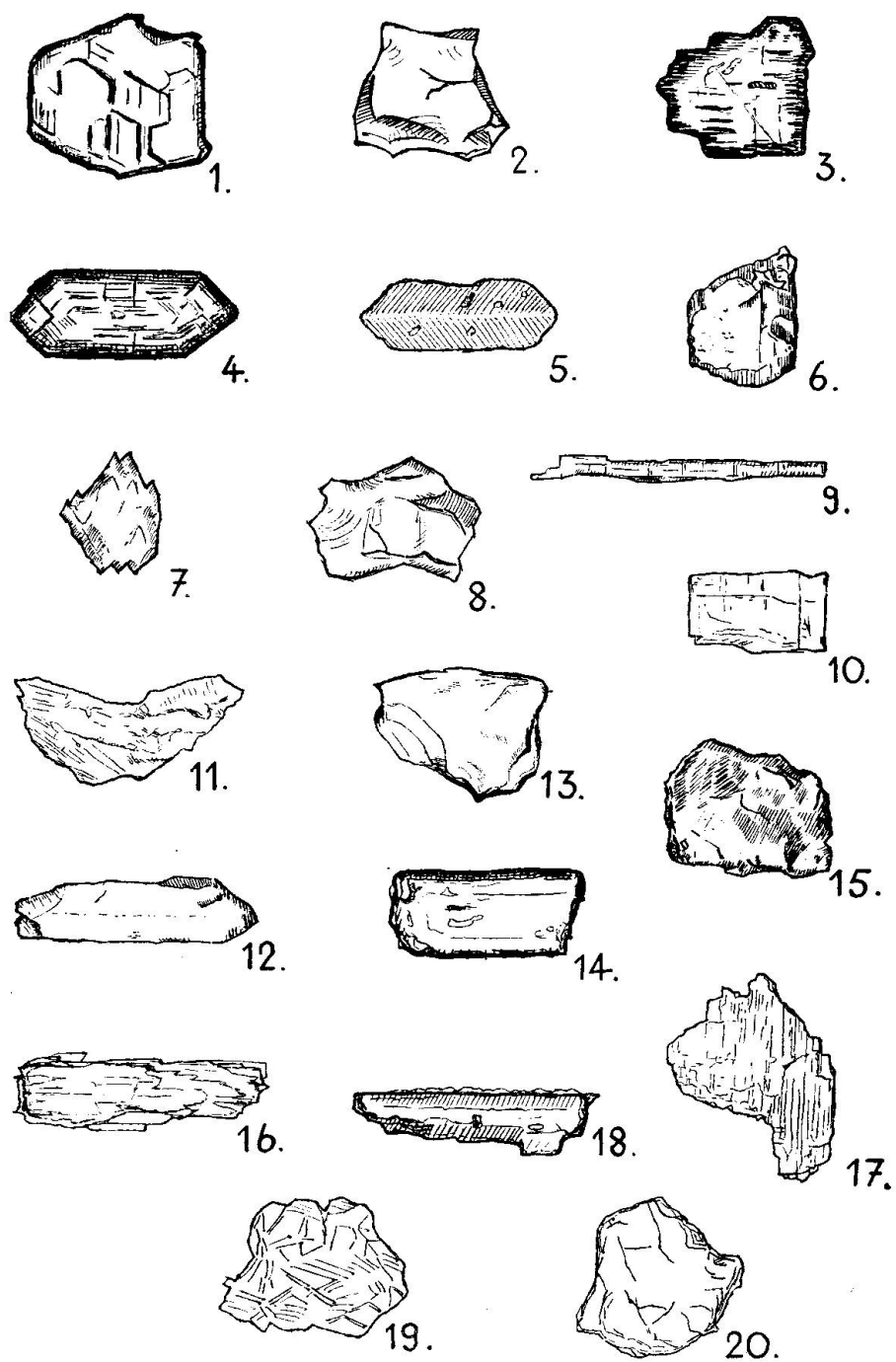


Fig. 3

IV. Besprechung der einzelnen Gebiete

a) RHEINTAL — APPENZELL — ST. GALLEN

Materialherkunft: Das Material besteht aus wenigen Proben, die grösstenteils vom Autor gesammelt wurden. Daneben verdanke ich den Herren H. BÄCHLER und H. RENZ einiges Material.

1. Stampien (Rupélie), Eugsttobel, westlich Weissbad (Appenzell I.-Rh.), 690 m
2. Stampien (Chattien), Berneck (St. Gallen)
3. Aquitanien, Büriswil N. Berneck (St. Gallen), 600 m
4. Burdigalien, ob. Martinstobel, Goldach bei St. Gallen, 565 m
5. Helvetien, an der Goldach bei St. Gallen, 610 m
6. Tortonien, östlich Peter und Paul, Heiligkreuz, 700 m
7. Tortonien, östlich Peter und Paul, Heiligkreuz (St. Gallen), 700 m

[Die folgende spezielle Mineralbeschreibung, die jedem Profil beigegeben ist, bezieht sich in ihren Abkürzungen auf die spezielle Mineralbeschreibung (III). Sie ist nicht vollständig, bei gewissen immer wiederkehrenden Ausbildungsweisen muss Kapitel III berücksichtigt werden.]

1. Stampien:

Granat: Az, d, a, b.

Turmalin: a, b, b III, f 2, 2-farbig b 1—g, c 1, Az.

Zirkon: a I, III, c III, a 3.

Rutil: a, b, c.

Anatas: b.

Staurolith: a, Az.

Andalusit: a 3.

Viel Chlorit.

Biotit.

Resultat:

Granat-Erz-Zirkonkombination mit Turmalin-Rutil. Bemerkenswert ist das Auftreten von blauen Hornblenden im Rupélie; auch der Staurolith erreicht dort etwas grössere Werte.

MUHEIM (49) erwähnt aus dem Allgäu Zirkon, Granat, Hornblende, Augit. Die letzten beiden Mineralien fanden sich in unseren Präparaten nicht vor. Auch eine Geröllzählung stammt von MUHEIM (49) (Kristallin mit Quarziten 3,6 % — Sedimente 96,4 %).

ERNI (27) beobachtete in Dünnschliffen des Appenzellergranites (Chattien) Granat, Rutil, Pyrit.

Neues Material wird demnächst cand. phil. H. RENZ (Zürich) publizieren.

2. Aquitanien:

Granat: b 2, d, c.

Zirkon: b 3, c, Vererzungen.

Titanit: b.

Staurolith: mit Kämmchen, Faserung.

Epidot: leichte Zunahme gegen das Hangende hin.

Hornblende: c 2, feinfaserig.

Viel Markasit und Chlorit.

Resultat:

Granat - Erzkombination mit Zirkon - Turmalin, ev. Staurolith. RENZ beobachtete in einem Kalksandstein auch Staurolith als HG. Chlorit und Markasit werden gelegentlich auch wichtig. MUHEIM (49) nennt aus dem östlichen Gebiete Turmalin, Magnetit, Granat. Von FRÜH (27) (Gäbriszone, St. Gotthard), LUDWIG (38) (Röhrenwaldtobel) und MUHEIM (49) (Allgäu) existieren Geröllzählungen; Sedimente wiegen vor, wenn auch rote Granite und Gneise gelegentlich wichtig werden.

Allgäu	Krist. durchschnittl.	6 %	Sedimente	94 %
Gäbriszone	„ „	12,4 %	„	87,6 %
St. Gallen	„ „	4,9 %	„	95,1 %
Röhrenwaldtobel	„ „	30 %	„	70 %

3. Burdigalien und Helvetien:

Granat: a, b 1, d 2, anisotrop III, selten Az fein.

Turmalin: b 4.

Zirkon: a 1, b, c.

Titanit: b 2, c?, öfters III mit violetten Interferenzfarben.

Blaue Hornblenden: d.

Dazu Apatit und Chlorit.

Resultat:

Granat - Erzkombination mit Zirkon-Turmalin-Epidot-Titanit. RENZ beobachtet, dass Epidot im Gebiete von Berneck HG wird. Es ist zu erwarten, dass auch in der Umgebung von St. Gallen solche Verhältnisse angetroffen werden. Interessant ist das erneute Auftreten von blauen Hornblenden.

4. Tortonien:

Granat: a, b 1, Az.

Turmalin: b, b 1, e, III, halb b halb g, c 2.

Zirkon: a, b, c, d 2.

Rutil: c Zwillingslamellierung.

Staurolith: a, c, Zwillinge, Kämmchen, Az (Risschen), d.

Topas: langgestreckt mit Az (Läppchen).

Andalusit: a 4 streifig.

Epidot: Az.

Grüner Spinell.

Resultat:

Granat-Erz-Zirkonkombination mit Rutil-Staurolith. Wesentlich ist hier die Zunahme von Staurolith, ebenso von Rutil und Zirkon.

Zusammenfassung:

Aus den gesammelten Proben ergeben sich nur unwesentliche Änderungen innerhalb des Profils; doch existiert eine nähere Verwandtschaft zwischen Stampien und Tortonien.

Hornblenden, Epidot und Staurolith gehören zu den interessantesten Komponenten, die letzteren beiden scheinen unter Berücksichtigung der Untersuchungen von RENZ mengenmässig stark zu variieren.

b) WÄGGITAL — OBERER ZÜRICHSEE — HÖRNLI

Materialherkunft: Die miocänen Proben stammen vom Autor, die oligocänen wurden in Begleitung von Herrn Dr. OCHSNER gesammelt, dem ich hierfür meinen besonderen Dank ausspreche.

1. Stampien, Biltner Tobel (Kt. Glarus), ca. 750 m
2. Stampien (Chattien), Gasterholz, Maseldrangerwald (St. Gallen), 524 m
3. Stampien, Flühlibödeli, Wäggital (Kt. Schwyz), 580 m
4. Stampien (Chattien), Wäggital, Granit-Sandstein (Kt. Schwyz), 575 m
5. Aquitanien, zwischen Uznach und Kaltbrunn (St. Gallen), 490 m
6. Aquitanien, zwischen Pfäffikon und Altendorf (Schwyz)
7. Burdigalien, zwischen Bäch und Freienbach (Schwyz), 425 m
8. Helvetien, Kirchhügel von Jona (St. Gallen), 440 m
9. Tortonien, Kalknagelfluh von Laupen (Wald, Kt. Zürich), 630 m
10. Tortonien, Schmiedboden, Hörnli (Zürich), 910 m

1. Stampien:

Granat: a, b 1, b 5, b 7, auch Az, Rutil, Staurolitheinschluss (?), d.
 Turmalin: a 1, b 2, d 1, e III, zweifarbig b—g, b 5, 9-eckige Basis b.
 Zirkon: a, b, b 1, III, d zonar, Erzeinschluss.
 Rutil: a 3, b, c.
 Anatas: a, b, c, b—e.
 Chlorit mit dunklem Rand und hellerem Zentrum.
 Augit: a.
 Graublauer Spinell.

Resultat:

Granat-Erz-Zirkonkombination mit Rutil-Turmalin-Staurolith. Die stam-pische Nagelfluh des Speers enthält nur sehr selten kristalline Komponenten; CADISCH (13) erwähnt rotgrüne Granite und Quarzporphyr. Von Westen her reichen gelegentlich an Kristallin reichere Lager bis ins Wäggital (OCHSNER, persönliche Mitteilung).

2. Aquitanien (Zone der granitischen Sandsteine):

Granat: a, Az.
 Turmalin: b, g, Basis mit zonarer Erzanordnung, auch durchlöchert.
 Zirkon: a I, d 4.
 Rutil: Zwillinge.
 Anatas: b.
 Staurolith: a Kämmchen.
 Hornblenden: a.
 Chlorit und Sagenit.
 Gelegentlich auch Apatit.

Resultat:

Granat-Erzkombination mit Zirkon-Turmalin-Rutil-Staurolith. Gelegentlich reichlich Chlorit, auch Markasit. Gegen das Hangende hin wird eine Epidot-zunahme angedeutet.

3. Burdigalien und Helvetien:

Granat: a, b 7, c III.
 Turmalin: b ausgefasert, g.
 Zirkon: a, b I, III, b 1, d 3.
 Titanit: a.
 Staurolith: a faserig.
 Chlorit und Sagenit.

Resultat:

Burdigalien: Granat-Erz-Zirkonkombination mit Epidot-Turmalin. Blaue Hornblenden sind gesichtet worden. Wahrscheinlich finden sich auch epidot-reichere S. F.

Helvetien: Epidot-Erz-Granatkombination mit Zirkon.

4. Tortonien:

Granat: c 2 anisotrop III, b fleckig, Az, c, c 3.

Turmalin: b III, d III, f, g, Az.

Zirkon: a, c, d.

Rutil: b, auch mit grünlichen eingeschalteten Zwillingsslamellen.

Titanit: b.

Anatas: c.

Brookit-Agglomerate.

Staurolith: a I, auch eine Hälfte von Erzpünktchen durchsetzt. c, auch mit bräunlichem Verwitterungsrand.

Andalusit: b, a 5, III.

Epidot: a, c, leicht streifige, II.

Hornblende: a, e.

Sillimanit.

Augit: c.

Apatit.

Serpentin, Nephrit.

In einer Probe aus der Kalknagelfluh von Laupen bei Wald (Kt. Zürich), ebenso an der Tösscheide finden sich eine Menge Barytkörnchen.

Authigen.

Resultat:

Erz-Granat-Epidothkombination mit Staurolith-Zirkon-Turmalin. In den oberen Geröllagen am Hörnli findet sich ein Jadeit-ähnlicher Augit bis zu 13 % der übrigen Mineralien angereichert. Auffallend ist der hohe Staurolithgehalt, der in der Kalknagelfluh (Kalk-Dolomitbreccie) ein Maximum erreicht; die Disthenmenge erreicht daneben nur geringe Werte. Auch das Erz ist allgemein reichlich vertreten, worauf GEIGER (32) im benachbarten Thurgauergebiet hinweist. Von ESCHER-HESS (28) kennen wir zwei Geröllzählungen, die eine von Lichtensteig (St. Gallen) und die andere von Wald (Zürich) (Kristallin 8,6 %, Sedimente 91,4 %).

Zusammenfassung:

Epidot-reiche S. F. finden sich im Helvetien, wahrscheinlich auch im Burdigalien. Im Tortonien ist wieder Epidotrückgang zu konstatieren, dagegen tritt Staurolithzunahme ein.

c) UETLIBERG — LENZBURG — KALTER WANGEN (Baden) — UNTERSEE

Materialherkunft: Es ist das Ausgangsgebiet dieser Arbeit; deshalb finden sich die Proben hier relativ dicht aufeinander; dies erlaubt, gewisse regionale Unterschiede zu konstatieren.

1. Aquitanien:

Material:

1. S. W. Gebenstorf (Aargau), 430 m

2. Aarüti bei Glattfelden (Zürich), 380 m

3. Rudolfingen (Zürich), ca. 450 m
 Granat: a, b, d 2, Kern voller Einschlüsse.
 Turmalin: a 3, b, g, f 3, Erz, Querrissen.
 Anatas: e.
 Epidot: d.
 Hornblende: c.
 Viel Chlorit.

Resultat:

Epidot-Erz-Granatkombination mit Zirkon-Turmalin im S. W. und Granat-Erzkombination mit Zirkon-Epidot im N. E.

2. Burdigalien:

Material:

1. Othmarsingen (Aargau),
 2. Othmarsingen (Aargau),
 3. Othmarsingen (Aargau),
 4. Mägenwil (Aargau),
 5. Mägenwil (Aargau),
 6. Gebenstorf (Aargau),
 7. Gebenstorf (Aargau),
 8. Anzfluh, Gebenstorf (Aargau), 490 m
 9. Unterwil, Turgi (Aargau), 450 m
 10. Würenlos (Aargau),
 11. Würenlos (Aargau),
 12. Würenlos (Aargau),
 13. Würenlos (Aargau),
 14. Oberblum bei Dielsdorf (Zürich),
 15. Oberblum bei Dielsdorf (Zürich),
 16. Seeb, Bachenbülach (Zürich),
 17. Seeb, Bachenbülach (Zürich),
 18. Rorbas unt. Tösstal, alter Steinbruch (Zürich), 385 m
 19. Rorbas unterhalb dem Steinbruch (Zürich), 380 m
 20. Eigental bei Flaach (Zürich), 395 m
 21. Humlikon, Andelfingen (Zürich),
 22. Humlikon, Andelfingen (Zürich),
- Granat: a, b, c, c 3, d 2, c anisotrop.
 Turmalin: b, e, g, g 1, zweifarbig b—e.
 Zirkon: a, b, c, d 2, d 3, d 6.
 Titanit: a, b 1.
 Anatas: 2-achsig.
 Staurolith: a I, c, Az.
 Epidot: meist zerrissen.
 Hornblende: b (schwach), c 2, b (feinfaserig).
 Glaukophan mit Chlorit.
 Diopsidischer und gewöhnlicher Augit.
 Oft reichlich Chlorit.

Resultat:

- I. Typ: Granat-Epidot-Erzkombination mit Zirkon-Turmalin, vorwiegend im S. W.-Gebiet.

II. Typ: Granat-Erzkombination mit Epidot - Zirkon - Turmalin - Rutil, vorwiegend im N. E.-Gebiet.

Es können gelegentlich in demselben Steinbruch (Othmarsingen, Mägenwil, Würenlos) beide Typen konstatiert werden. Dabei wurde — allerdings nur im Muschelsandstein — beobachtet, dass die gelblichen, kalkreicheren (über 60 % CaCO_3) Sande meist dem Typus II angehören, während die Typen I meist in den blaugrauen, kalkarmen Sanden (unter 60 % CaCO_3) zu finden sind. Allgemein ist Glaukophan etwas reichlicher vertreten als Chloritoid. Lokal kann Zirkon (Rorbas) oder Hornblende (Mägenwil) hervortreten.

3. Helvetien:

1. Oberburg bei Brugg (Aargau), 370 m
 2. Rüteli, Obersiggingen (Aargau), 430 m
 3. Stumpfen, Ober-Endingen (Aargau), 470 m
 4. Äusserer Sulzberg, Wettingen (Aargau), 470 m
 5. Riedenbach, nördl. Lägern (Zürich), 560 m
 6. Siglisdorf (Aargau)
 7. Böhikon (Aargau)
 8. Sandhof, Lienheim (Baden, Deutschland)
 9. Balterswil (Baden, Deutschland)
 10. Bühl, südlich Baden (Deutschland), 540 m
 11. Rüti ob Hüntwangen (Zürich), 550 m
 12. Weiach (Zürich), 445 m
 13. Glattfelden (Zürich), 440 m
 14. Humlikon (Zürich), 395 m
 15. Benken, Basis (Zürich),
 16. Benken, Mitte (Zürich),
 17. Benken, oben (Zürich),
 18. Wildensbuch, unten (Zürich),
 19. Wildensbuch, Mitte (Zürich),
 20. Wildensbuch, oben (Zürich),
 21. Schlatt, am Kohlfirst, unten,
 22. Schlatt, am Kohlfirst, Mitte,
 23. Schlatt, am Kohlfirst, oben,
- 500—510 m
- 490—500 m
- 420—430 m

Resultat:

Epidot-Granat-Erzkombination mit Staurolith-Zirkon-Turmalin. Chloritoid etwas häufiger als Glaukophan. Gegen N. E. hin konstatiert man eine Verminderung an Epidot und eine Zunahme an Staurolith, Disthen, Chloritoid. Gegen das Nordufer hin findet sich häufiger Rutil, auch Zirkon, vor allem auch Topas und Andalusit.

Zum Verständnis dieser Verhältnisse trägt wesentlich bei

d) RIEDERN AM „KALTEN WANGEN“ südlich dem Wutachtal (Baden, Deutschland).

Materialherkunft:

1. Quarzsandwerk Riedern am Kalten Wangen (Baden, Deutschland), unten.
2. dito, Mitte
3. dito, oben, feine rote mergelige Sande

4. Bühl, westlich Riedern, 570 m

Granat: a, Az, c 2 anisotrop, oft in Segmente zerlegt, c 3 wie Staurolith in der Farbe.

Turmalin: b, e, g 1, 9-eckige Basis dunkelgraubraun.

Zirkon: a, b, c.

Rutil: Neubildung an Leukoxen, Zwillinge.

Staurolith: a, c, Vererzung.

Andalusit: a 1, c 3, mit Turmalineinschluss.

Resultat:

Erz - Granat - Staurolithkombination mit Rutil - Epidot - Disthen - Turmalin. Auch Topas und Andalusit in bemerkenswerten Quantitäten. Die geringen Zirkon- und Turmalinmengen, besonders in 3, sind auffällig, da in den mesozoischen Ablagerungen des Hinterlandes diese reichlich vertreten sind. Es fehlen Glaukophan, Chloritoid, Hornblende, die dem normalen helvetischen Typus sonst nicht fremd sind. Die Proben stammen aus einer quarzreichen, deltaartigen Schüttung, die auch vereinzelt Gerölllagen aufweist. Neben alpinen Geröllen findet sich in der Austernagelfluh (auch der weiteren Umgebung) vorwiegend sedimentäres Material, dessen Dogger- und Malmgerölle nach SCHALCH (63) in westschweizerischer Facies auftreten.

Die Rotfärbung des Materials und die reichlich eingestreuten Bohnerzkörner deuten zudem auf Materialzufuhr aus der Bohnerzformation hin. Die Vertebratenresten enthalten eine sehr heterogene Fauna mit oligocänen, untermiocänen und mittelmiocänen Formen. Westlich dieses Aufschlusses finden sich Lokalitäten, die vollständig frei von kristallinem, alpinem Material sind; und 1,5 km östlich von Riedern, nördlich von Bühl, treffen wir wieder auf den normalen helvetischen S. F.-Typus, der nur im Rutilgehalt die Deltanähe verrät.

Eine Probe von Büttenhardt (Reyath, Kt. Schaffhausen) erwies sich vorwiegend als aus schaligen Bohnerzkörnern zusammengesetzt. Daneben finden sich vereinzelt:

Granat: a, b.

Turmalin: b, g 1, e 2.

Zirkon: a, b.

Rutil: b, a.

Anatas, Staurolith, Disthen, Andalusit, etwas Chlorit, kaum Magnetit, grüner Spinell.

SCHALCH (62) erwähnt vom Reyath aus helvetischen Sanden: Granat, Rutil, Titaneisen, Magnetit und Zirkon.

e) ZÜRICH — BRUGG — UNTERSEE

Tortonien:

Materialherkunft:

1. Ütliberg (Zürich), 580 m
2. Forch (Zürich), 710 m
3. Linn, Bözberg (Aargau), } 470 m
4. Linn, Bözberg (Aargau), }
5. Öhningen, am Untersee, } ca. 600—650 m
7. Öhningen, am Untersee, }
8. Kalkdarren bei Frauenfeld (Thurgau), 408 m

9. Kalkdarren bei Frauenfeld (Thurgau), 410 m

Granat: a, b, b 2, c 2, d, d fleckig, Az, c 2 anormal.

Turmalin: a 2, b fleckig, b 5, e, e 1, f 1, f 2, g 1, h Basis, zonar gebauter e, a Neuanwachsung an kleine farblose Resten, b mit c 2 Einschluss.

Zirkon: a 1, b, b 4, c.

Rutil: c, d, b Penetrationszwillinge.

Anatas: c, e, selten 3.

Staurolith: a, b, c, Ütliberg Kämmchen, Vererzungen, braune Kränze.

Disthen: mit Erz, Rutil.

Andalusit: mit Muskowitrand, auch streifig.

Hornblenden: c 2, fein- und breittfaserig, c 1, e, Ütliberg a feinfaserig, Öhningen e 1, e braun, e 2 rotbraun.

Augit: I (Linn).

Chlorit mit Turmalineinschluss.

Biotit im Tuff häufig mit pleochroitischen Höfen; braun, olivgrün.

Muskowit mit Rutil.

Zoisit öfters.

Apatit im Hegau.

Resultat:

Granat-Erz-Epidotkombination mit Zirkon.

Gegen Norden scheint eine Granatzunahme einzutreten, worauf auch GEIGER (32) hinweist. Epidot ist weniger wichtig geworden. Glaukophan ist verschwunden. Durchwegs sind hohe Staurolithbeträge vorhanden.

BOEHNDL (5) macht im Unterseegebiet auf das Vorhandensein von Staurolith, Erz, Granat, Turmalin, Zirkon, Rutil aufmerksam.

GEIGER (32) nennt Magnetit, Granat, Rutil, Staurolith, Epidot (HG.), Turmalin, Hornblende (NG.). (Die S. F. wurde mittelst der Pfanne gewonnen.)

Gerölluntersuchungen von ESCHER-HESS (28) aus der Gegend von Zürich ergeben: Kristallin 7 %, Sedimente 93 %.

GEIGER (33) nennt vom thurgauischen Seerücken Kristallin 9,2 %, Sedimente 90,8 %.

Eine interessante Beeinflussung ergibt der mitteltortonische Vulkanismus, speziell dessen explosive Phase, im Hegau. Er manifestiert sich in der S. F. durch häufigeres Auftreten von Hornblenden, auch von Biotit. In einem untersuchten Tuff finden wir reichlich braune und olivbraune Hornblenden; daneben scheint auch Biotit und Apatit in vermehrtem Masse aufzutreten.

Zusammenfassung:

In allen Molassestufen dieses Gebietes treten epidotreiche S. F. auf, mit einem Maximum im Helvetien. In dieser Stufe tritt eine leichte Abnahme nach N. E. ein. Dieses Zurücktreten des Epidotes gegen N. E. findet sich auch im Aquitanien, im Burdigalien und im Tortonien. Dazu ergeben sich lokale Beeinflussungen an der helvetischen und tortonischen Nordküste.

f) RIGI — LUZERN

Materialherkunft: Einen Teil der Proben verdanke ich Herrn Dr. BENDEL, Luzern.

1. Stampien, Weggiserschichten nördl. Weggis, ca. 480 m

2. Stampien, zwischen Weggis und Vitznau (Unterriedsberg), 445 m

3. Aquitanien, Weinbergli südlich Luzern
4. Burdigalien, Luzern
5. Helvetien, Luzern
6. Tortonien, Luzern

1. Stampien:

Granat: a, b 1, d 2, Az.

Zirkon: a, b 2, c 4, I, III.

Turmalin: b 4.

Resultat:

Granat-Erz-Turmalin-Zirkon-Rutilkombination mit Epidot. Staurolith ist nicht mehr festgestellt worden.

Zwischen Weggis und Vitznau wurde von ESCHER-HESS (28) eine Geröllzählung ausgeführt (Kristallin 6,4 %).

Eine Probe von Grisigermengel wies eine grosse Menge von Baryt auf. Die Art des Auftretens spricht für authigene Entstehung.

2. Aquitanien:

Eine Geröllzählung von ESCHER-HESS (28) zeigt ein starkes Hervortreten der kristallinen Komponenten (Rote Granite bis zu 50 %). Kristallin 74,9 %. ERNI (27) beschreibt im Zegersandsteintypus Granat, Turmalin, Zirkon, Rutil, Epidot, Hornblende.

3. Burdigalien, Helvetien und Tortonien:

Granat: a, b, b 7 anisotrop, b 1, c 3 im Tortonien.

Zirkon: b 1 mit dunklem Kern, a II, b 3, a 3, a I.

Turmalin: a, b, ausgefasert, g, f 2.

Rutil: d, c.

Titanit: b, b 2, III auch.

Chlorit.

Muskowit mit Rutil.

Resultat:

Epidot-Granat-Erzkombination. Glaukophan findet sich im Burdigalien. Auffallendes Aussetzen von Staurolith.

Zusammenfassung:

Wieder setzen mit dem Aquitanien die epidotreichen S.F. ein und halten bis ins Tortonien an.

g) ENTLEBUCH — NAPP

Materialherkunft:

1. Stampien (Rupélie), Hilfernzzone (FROEHLICHER), Steinibach, Waldemme (Kt. Luzern), 960 m
2. Stampien (Chattien), Bäuchlernzone (FROEHLICHER), Auss. Lamm, Waldemme (Kt. Luzern), 825 m
3. Aquitanien, Kappenhübel, Schüpfheim (Kt. Luzern), 740 m
4. Burdigalien, Hinter Bodenmatt, Schwandgraben, Escholzmatte (Kt. Luzern), 860 m
5. Helvetien, Schwandgraben, Escholzmatte (Kt. Luzern), 910 m
6. Tortonien, Romoos westlich Wohlhusen (Luzern)

1. Stampien:

Granat: a, b 1, c 1, d 1, d, Az, sehr häufig hier.

Turmalin: b, e, blaue.

Zirkon: a III, b, c, letztere im ob. St. häufiger.

Rutil: a 1, b.

Staurolith: d.

Chlorit.

Biotit.

Markasit, gelegentlich häufig.

Resultat:

Granat-Erzkombination mit Zirkon, Rutil, Turmalin.

FROELICHER (30) weist auf eine Zunahme des kristallinen Anteils unter den Geröllen vom liegenden Rupélien zum hangenden Chattien hin (3—19 % Kristallin), dabei sind namentlich Granite beteiligt.

2. Aquitanien:

Granat: b 5, c 2 leicht anisotrop.

Turmalin: b, zweifarbig b 5.

Zirkon: a, b, c.

Titanit: a, b 1, b 1—b 2.

Dazu treten Chlorit, Augit c, vereinzelt.

Biotit, Pyrit, Serpentin.

Resultat:

Es setzt eine Epidot-Granat-Erzkombination ein, mit Zirkon-Titanit.

Das Geröllmaterial weist bis 60 % Kristallin, vorab rote Granite auf.

2. Burdigalien, Helvetien, Tortonien:

Granat: a, b, b 2 (T), b 7 (T), c 2, c 3, d 1, mit einschlussreichem Zentrum.

Gelegentlich zonare Farbanordnung.

Turmalin: b, g, f 2, ausgefaserte Exemplare.

Titanit: a, b 1, b 2, c.

Staurolith: a, c, getreppte Exemplare.

Epidot: I, auch e, auch fleckige.

Hornblende: a, c 1, e 2, Kämmchenbildung.

Augit: c, selten.

Grasgrüner Spinell.

Apatit mit Korrosionsspuren.

Zoisit häufig.

Resultat:

Durch das ganze Miocän findet sich eine Epidot-Granat-Erzkombination.

Sehr monoton; nur gelegentlich tritt etwas vermehrt Hornblende auf. Blaue Hornblende nur in den basalen burdigalen Sandsteinen (Luzernertypus) gesichtet.

KENNOOTT (47) bestimmt Magnetit-Granat-Zirkon-Beryll, welches letzteres Mineral von BURRI (9) richtigerweise als Epidot umgedeutet wurde. Dazu nennt BURRI (9) noch Haematit, Ilmenit, Pyrit. LIECHTI (42) erwähnt aus dem Emmentaler Gebiet: Haematit, Pyrit, Limonit, Granat, Turmalin, Zirkon, Rutil, Epidot, Hornblende, Pyroxen, Apatit, Glimmer. Die Geröllzählungen von LIECHTI (42) und FROELICHER (30) enthalten recht hohe kristalline Anteile:

Burdigalien	70 %	Kristallin
Helvetien	62 %	Kristallin
Tortonien	60 %	Kristallin

Unter den Sedimenten sind Kalk, Dolomit und Quarzit (bis 70 % lokal) am wichtigsten. Rote und grüne Granite nehmen vom Burdigalien-Tortonien ab.

Zusammenfassung:

Mit dem Aquitanien setzen die epidotreichen Glieder ein und halten durch das ganze Miocän an. Es herrscht Staurolitharmut. Blaue Hornblenden nur im Burdigalien (basales) beobachtet.

h) AARWANGEN — ZOFINGEN

Materialherkunft:

1. Stampien, Aarwangen, Mühlebühl (Kt. Bern), } 425 m
 2. Stampien, Aarwangen, Mühlebühl (Kt. Bern), }
 3. Stampien, Im Holen (Kt. Bern), 470 m
 4. Aquitanien, Roggwil (Kt. Bern), } 455 m
 5. Aquitanien, Roggwil (Kt. Bern), }
 6. Burdigalien, Lutherthal, Hängeler bei Zofingen (Kt. Aargau)
 7. Burdigalien, Kuttenhöhle, Steinbruchwald bei Zofingen (Kt. Aargau), 580 m
 8. Burdigalien, Lutherthal, Hochstichgraben bei Zofingen (Kt. Aargau), 575 m
 9. Helvetien, Munihubel bei Zofingen (Kt. Aargau), 645 m
 10. Helvetien, Fuchshubel bei Zofingen (Kt. Aargau), 650 m
 11. Tortonien, Lutherthal bei Zofingen (Kt. Aargau), 690 m
 12. Tortonien, Dagmersellerwald bei Zofingen (Aargau), 705 m
 13. Tortonien, Dagmersellerwald (Kt. Aargau), 730 m
1. Stampien und ev. Aquitanien:
- Granat: a, b 1, c 2, d, d 1, d 5, Az, c 2 anisotrop, c 3.
 - Turmalin: b, g, g 1.
 - Zirkon: a, c, d 2, pleochroitisch a—b.
 - Anatas: d, e, fleckig.
 - Titanit: a, b 1, c.
 - Staurolith: faserig.
 - Epidot: faserig, c.
 - Hornblende: a, c 1, b 2, b 1.
 - Blaue Hornblenden: a, b, c.
 - Augit: a.
 - Saussurit.
 - Serpentin in der leichten Fraktion.

Resultat:

Epidot - Erz - Granatkombination mit Zirkon - Staurolith - Turmalin. Blaue Hornblenden sind öfters vorhanden.

STEHLIN (69) hat aus säugetierpaläontologischen Gründen die Ablagerungen vom Mühlebühl bei Aarwangen ins Stampien gestellt, und BAUMBERGER (1) setzt die Wynauerkalke ins obere mittlere Stampien. Möglicherweise können die Proben von Roggwil bereits zum Aquitanien gerechnet werden. Die Delsbergerkalke, die BAUMBERGER (1) als Grenzhorizont benützt, sind nicht vorhanden und in der weiteren Umgebung treten bunte Mergel auf. Das Aquitanien hätte demnach folgende Zusammensetzung:

Granat-Erz-Epidotkombination mit Titanit, ev. Zirkon.
Blaue Hornblenden sind akzessorisch vorhanden.

2. Burdigalien und Helvetien:

Granat: a, b 3, c 3, d.
Turmalin: b, e, g, b—b 3.
Zirkon: a, c, d 2.
Rutil: a, b.
Titanit: b 1, c, d.
Staurolith: Kämmchen (H).
Epidot: im Helvetien klarere Individuen, im Burdigalien getrübt.
Hornblende: a, c, b, e, b 2 faserig, e, d.
Blaue Hornblenden: d.
Chlorit häufig, mit Sagenit.

Resultat:

Epidot-Granat-Erzkombination. Blaue Hornblenden vorhanden. Im Burdigalien häufig Saussurit, im Helvetien sporadisch grössere Hornblendemengen.

3. Tortonien:

Granat: a, b 2, b 6.
Turmalin: f 1, f 2, b, f und g mit Flecken.
Zirkon: a, b 2, c, d 2.
Disthen: mit Rutileinschluss, III, blau.

Resultat:

Epidot-Granat-Erzkombination.

Die Epidotianreicherung erinnert an die Verhältnisse im Napfgebiet. Hornblendegehalt erwähnenswert, ebenso die reichliche Glimmerführung. Blaue Hornblenden (!).

Zusammenfassung:

Alle Stufen erweisen sich als epidotreich, wobei ein Maximum im Tortonien besteht. Staurolith tritt zumeist stark zurück. Gegen das Hangende nimmt auch der Erzgehalt ab; der Titanit tritt in den tieferen Stufen etwas reichlicher auf; dasselbe gilt für die Hornblende in den höheren Stufen.

i) TENNIKERFLUH (Baselland)

Materialherkunft: Auf der Tennikerfluh (Baselland) findet sich transgressiv auf Malm ein gelbes-rötliches, marines Muschelagglomerat mit Geröllen, das zum Helvetien gerechnet wird. Im Hangenden folgen lagunäre Bildungen (Süsswasserkalk und rote Mergel), die zum Tortonien überleiten.

1. Tennikon (Baselland), Muschelagglomerat, basale Partie, 605 m
2. Tennikon (Baselland), mittlere Partie, 606 m
3. Verschleppter Block nördlich Wittinsburg
4. Rote Mergel von Gisiberg, Baselland, 610 m
Granat: a, b, b 1, c 3, c 2 anisotrop, Az. c 2 zonarer Aufbau.
Turmalin: hell - dunkel e, g 2, b.
Brookit: b 1.
Titanit: gehäuft in den roten Mergeln I, Abbildungsformen, Az.
Staurolith: a, vererzt, c, d, III, Az.
Disthen: bläulich mit Rutileinschlüssen.

Andalusit: fleckig, Az. III auch.

Topas: Az, schuppig.

Hornblende: c, b 2, c 1.

Spinell: grünlich-grau.

Apatit: Az.

Bohnerz sehr häufig.

Resultat:

Erz-Granatkombination mit Staurolith.

Reichliches Auftreten von Andalusit und Topas. Wir konstatieren eine Vermischung von südlichem, alpinem Material (Gerölle) mit solchem aus der jurassischen Umgebung: Mesozoische Gerölle, Material der Bohnerzformation (Terra rossa- und Bohnerzeinschwemmung). Die roten Mergel weisen eine Erz-Titanitkombination auf mit Granat-Staurolith. Der Titanit ist höchst wahrscheinlich authigener Herkunft, worauf sein abnormal häufiges Auftreten, die zum Teil idiomorphen Formen, auch die Abbildungsformen hinweisen. Diese roten Mergel stellen ein in Tümpeln auf der helvetischen Erosionsoberfläche (BUXTORF (10)) zusammengeschwemmtes Material dar.

k) BERN — BELPBERG

Materialherkunft:

1. Aquitanien, am Steilufer des Wohlensees bei Riedern-Stülen (Kt. Bern)
2. Aquitanien, am Steilufer des Wohlensees, 500—580 m
3. Burdigalien, Ostermündingen, Hätterberg, } 600 m
4. Burdigalien, Ostermündingen, }
5. Burdigalien, Bolligen, } ca. 750 m
6. Burdigalien, Bolligen, }
7. Burdigalien, Fuss der Strafanstalt Thorberg (Bern), 600 m
8. Burdigalien, Falkenhaus bei Belp (Kt. Bern), 550 m
9. Helvetien, Quarzitnagelfluh-Basis (Kt. Bern)
10. Helvetien, Belpberg (Kt. Bern), 665 m
11. Helvetien, Belpberg (Kt. Bern), 715 m
12. Helvetien, Belpberg (Kt. Bern), 690 m
13. Helvetien, Belpberg (Kt. Bern), 740 m

1. Aquitanien:

Granat: a, b 1, c 3, einschlussreiches Zentrum, auch I.

Turmalin: g 1.

Zirkon: a, b 1, d 2, I, basale Körner mit Einbuchtungen.

Titanit: b 1.

Chloritoid: von wirren Spaltrissen durchzogen.

Epidot: a, b, c, d, auch II.

Hornblende: b 2.

Chlorit: reichlich, Rand oft dunkler gefärbt als Zentrum.

Augit: a.

Saussurit: reichlich.

Resultat:

Erz-Epidot-Granatkombination mit Zirkon.

GSCHWIND (36) erwähnt von Felsenau (Bern): Turmalin, Zirkon, Hornblende, Strahlstein, Aktinolith, Glaukophan.

2. Burdigalien:

Granat: a 1, b, c 2 anisotrop, c 3.

Turmalin: b, b 2, g, e 1, f 3, I, III, fleckige: b und e 1, b mit g Flecken.

Zirkon: a, b, c, III. Auch Körner, die nur aus Bipyramiden bestehen.

Rutil: a, c.

Anatas: b, e.

Titanit: a, c.

Epidot: pleochroitisch c—d.

Hornblende: c 2, nicht faserig b 2, c 4, e.

Blaue Hornblenden: a, b, c, zerschissen.

Grasgrüner Spinell.

Chlorit reichlich mit Sagenit, mit Zirkoneinschluss.

Biotit: olivgrün.

Oft Markasit.

Resultat:

Epidot-Granat-Erzkombination mit Zirkon-Turmalin. Titanit tritt in erheblicheren Mengen auf.

ERNI (27) beobachtet im Bernersandsteintypus aus Dünnschliffen: Granat, Titanit, Epidot, Pyrit.

GSCHWIND (36) beschreibt von Wangen an der Aare: Magnetit, Turmalin, Zirkon, Epidot, Hornblende, Strahlstein, Glaukophan.

3. Helvetien:

Granat: b mit dunklem Kern, b 7.

Turmalin: b 5, g, g 1, f 1.

Brookit: b, e, schwach 2-achsig.

Titanit: b 1, c.

Hornblende: a farblos, c 1, b 2, c faserig.

Blaue Hornblenden: a, Rutileinschluss, d.

Diopsidischer Augit: a, c.

Chlorit: blaugrün—grasgrün.

Zoisit.

Viel Saussurit.

Resultat:

Epidot-Erz-Granatkombination mit Zirkon-Turmalin.

RUTSCH (59) erwähnt: Magnetkies, Turmalin, Zirkon, Rutil, Brookit, Orthit, Epidot, Zoisit, Opazith.

Die Resultate einer Geröllzählung aus der Quarzitnagelfluh ergeben: Kristallin (mit Quarziten) 53 %, wobei die Quarzite bis zu 40 % des Geröllbestandes ausmachen. Daneben findet sich in der obersten Partie am Belpberg auch eine Kalknagelfluh.

Zusammenfassung:

Vom Aquitanien bis ins Helvetien herrscht hier der epidotreiche Typus. Die blauen Hornblenden sind nach unseren Beobachtungen hauptsächlich auf das Miocän beschränkt.

1) BASEL -- DELSBERG — COURT

Materialherkunft:

1. Stampien (Rupélie), Aesch (Baselland)

2. Stampien, Übergang Septarienton-Cyrenenmergel, Allschwil (die Probe verdanke ich Herrn Dr. WINTERHALDER)
3. Stampien, Stadt Basel, Dittmarstrasse, östlich St. Margaretenpark, 290 m
4. Stampien, westlich Bottmingen (Baselland), 300 m
5. Stampien, Therwil, Fichtenrain (Baselland), 375 m
6. Stampien, Fleischbach bei Reinach (Baselland), 300 m
7. Stampien, Le Tayement, Delsberg (Kt. Bern), 440 m
8. Stampien, Moutier, Verrerie (Kt. Bern)
9. Stampien, Champ chalmé, Court (Kt. Bern)
10. Burdigalien, S. Sorvilier, Muschelsandstein (Kt. Bern), ca. 700 m
11. Burdigalien, Sorvilier (Kt. Bern), ca. 700 m
12. Helvetien, westlich Sorvilier (Kt. Bern), ca. 700 m
13. Helvetien, nördlich Sorvilier (Kt. Bern), 690 m
14. Tortonien, Sorvilier, Golat (Kt. Bern), 770 m
15. Tortonien (rote Mergel), Mt. Chaibeux s. Delsberg (Bern), 490 m
16. Tortonien (Sandstein), Mt. Chaibeux s. Delsberg (Bern), 565 m
17. Pontien, Mt. Choisi, westliches Delsbergerbecken (Bern), 510 m
18. Pontien, Charmoille, Ajoie (Kt. Bern)

1. Stampien:

a) Meeressand:

Erz: Magnetit, Haematit, Limonit.

Granat: a, b 1, grosse Exemplare, II.

Turmalin: b, b 4, d, e 1, f 2, Kern e 1, Rand g, b gestreift, viel III.

Zirkon: a III, selt. I, b 2, d 1 idiomorph, einschlussreich.

Rutil: a, b, c 1.

Anatas: b—e.

Staurolith: a—c III.

Disthen.

Andalusit.

Topas II.

Allgemein weitgehende Rundung.

Resultat:

Zirkon-Rutilkombination mit Turmalin-Erz.

Das Material stammt aus einem Kalksandstein, der in Mergel und Konglomerate übergeht. Es handelt sich um eine Küstenfacies mit weitgehender Aufarbeitung des Untergrundes (Korallenkalk, Malm). Eine 2. Probe des stampischen Meeressandes stammt aus dem Delsbergerbecken (NW von Delsberg). Das S.F.-Präparat wird beherrscht von einer Menge von konzentrisch aufgebauten Bohnerzkörnern, dazu treten: selten Magnetit, einige Staurolithe, Turmalin (b mit stengeligen Einschlüssen), Topas und einige glaukonitähnliche Körner. Auch hier ist aufgearbeitetes Material aus den liegenden mesozoischen Sedimenten für diese Zusammensetzung verantwortlich.

2. Molasse alsacienne und Cyrenenmergel (Stampien):

Granat: b 1, b 4, b 7, c 1, c 3, d, a, b 1 mit d 1 Streifen, b 1 mit einschlussreichem Kern, c 1 anisotrop.

Turmalin: b, e, g, g 2, d, b mit Einschluss d, b III. 9-eckige Basis mit herausgefallenem Kern, Rand e, Kern b.

Rutil: b, c, d.

Anatas: b, c, e.

Brookit: a, b, Agglomerationen, III.

Titanit: b 1, II, c, d.

Staurolith: c, Kämmchen Az.

Hornblende: a, b 1, c 1.

Blaue Hornblenden: a, c, auch ausgebleichte Exemplare.

Spinell: blaugrau, bläulich, olivgrün, dunkelgrün, hellgrün.

Resultat:

Erz-Granatkombination mit Epidot-Staurolith-Rutil-Zirkon-Turmalin.

Der Staurolithgehalt und das Auftreten von blauen Hornblenden sind bemerkenswert.

GRENOUILLET (35) beschreibt aus dem Übergangsgebiet Septarienton-Cyrenenmergel (nach BAUMBERGER (1)) von Allschwil und weiteren Lokalitäten der Umgebung von Basel: Anatas, Kassiterit, Chromit, Disthen, Epidot, Granat, Glaukophan, Korund, Pyroxen, Rutil, Sagenit, Spinell, Titanit, Turmalin, Zirkon, Zoisit. Aus seiner beschreibenden Darstellung der Resultate entnimmt man, dass eine Granat-Zirkonkombination mit Spinell-Epidot vorliegt.

3. Burdigalien:

Granat: a, b 1, b 2, b 2 I, d 1, c 2, d 1 anisotrop, Az.

Turmalin: b, b 2, e, f 2, f 4, h III, zweifarbig b—e.

Zirkon: a zonar, b 1 I, mit Erz, b 3, d 1 I.

Rutil: Herauswachsen von a 1 aus b, Zwillinge.

Titanit: b 1, b 2, c.

Staurolith: a, c, III, Az, Schlagfiguren.

Andalusit: grosse Individuen, a 4, streifig.

Chloritoid: aufgeblättert, voller Erz.

Hornblende: a, e 1, b, c blaugrün.

Blaue Hornblenden: a, vererzt, mit Chloritrand.

Spinell: blaugrau.

Resultat:

Epidot-Granat-Erzkombination mit Turmalin. Rundung oft auffallend.

4. Helvetien und Tortonien:

Granat: a, b 1, b 2, c 3, b 2, III, mit einschlussreichem Kern, d 1, c 2 anormal.

Turmalin: b, e, f, g.

Zirkon: a, d 1, d 2, d 3, d 3 zonar.

Rutil: b, Zwillinge.

Titanit: a, b 1.

Staurolith: a.

Disthen: blau.

Andalusit: II, fleckig.

Epidot: a, b, e Rutileinschluss.

Hornblende: faserig c 2, d 2, e 1, c 1, Rutileinschluss.

Zoisit: b.

Resultat:

Epidot-Granatkombination mit Erz-Hornblende-Staurolith. Hornblenden, Staurolith, auch Topasgehalt sind bemerkenswert. Eine Geröllzählung von SCHLAICH (64) enthält 8 % kristallines Material, das aus den Alpen stammt. Daneben sind Quarzite von grosser Wichtigkeit (bis 71 %). Zu diesem aus grosser

Entfernung herbeitransportierten Material gesellt sich auch solches aus den mesozoischen Ablagerungen der Umgebung.

5. Tortonien am Mt. Chaibeux:

Granat: a, b, b 7, c 2 anisotrop, Az, Einschlüsse, auch III.

Turmalin: b, b 5, c 2, e 2, e 3, g 1, f 1, g. 9-eckige Basis, Zentrum h, Rand e. a 4 mit b-Einschluss, Hälfte b, Hälfte g 1.

Anatas: e, e mit gelbem Kern.

Brookit: b.

Titanit: b 1, Az.

Staurolith: a, c, c oft II, Az, Kämmchen, Erzeinschlüsse.

Disthen: oft gebogen.

Andalusit: a 2, a 5.

Epidot: c, auch strahlige Aggregate.

Hornblende: b 2.

Spinell: grasgrün, blaugrau.

Resultat:

Granat-Erzkombination mit Staurolith - Epidot - Zirkon - Turmalin. Nach LINIGER (43) handelt es sich bei den roten Mergeln um fluviatil aufgearbeitetes Material, wobei rote, tortonische Mergel, Untervindobon, Delémontien und ob. Elsässermolasse in gleicher Weise umgelagert worden sind. In den Dinotheriumsandsteinen des Mt. Chaibeux tritt an Stelle des aufgearbeiteten und umgelagerten Materials mehr und mehr fein zerriebener Vogesenschutt. Letzterer ist angedeutet durch die bedeutende Zirkonzunahme. Die tortonischen Delsbergerablagerungen weisen eine starke Abweichung gegenüber dem normalen Tortonienvorkommen, etwa bei Court, auf. Granat, Erz werden wieder wichtiger, der Epidot hat an Bedeutung stark verloren; blaue Hornblenden aus den aufgearbeiteten Schichten. Eine Probe aus dem Sandstein erwies sich als sehr reich an Baryt, der als Neubildung gewertet werden muss.

6. Pontien aus dem Delsbergerbecken und von La Charmoille (Ajoie):

Granat: a, b 1, b 5, b 6, d, d 2, b 1 und c 1 anisotrop.

Turmalin: b voll Einschlüsse, g, e, viele III, Erzstreifen.

Zirkon: a, b 2 zonar, d 2 zonar, d 3, c fleckig, d 5, viele I.

Titanit: b 1 mit Zirkoneinschluss.

Staurolith: a, auch c II, Az.

Disthen: vererzt, angewittert, gelbe Flecken.

Andalusit: mit typisch gebogenen Rissen.

Blaue Hornblenden: b.

Resultat:

Erz-Granat-Epidotkombination mit Staurolith-Turmalin-Zirkon. Neu sind: violettgrauer Granat, gelbbraune, idiomorphe zonare Zirkone. Eine Auszählung von LINIGER (43) am Mt. Choisi ergibt 48 % kristalline Komponenten (wobei Quarzporphyre, Labradorporphyrerit des Burbachtales 15 %, Diabastuff 9 %, Granit 7 %, Diorit 2 % betragen). Unter den Sedimenten stehen Buntsandsteine und Kulmgesteine an erster Stelle, mit 15 %, resp. 10 %, Kimmeridgerölle 10 %. Der Gehalt an Glaukophan deutet auf eine Beimengung von älterem tertiärem Material hin; worauf LINIGER (43), allerdings von einer andern

Stelle im Delsbergerbecken, hinweist. In der Ajoie fehlen die jurassischen Komponenten.

Zusammenfassung:

Ausser dem Meccressand, der rein lokal beeinflusstes Material enthält, beobachten wir vorab im Burdigalien, Helvetien und teilweise auch im Tortonien epidotreiche S. F. Diese zeigen geringere Werte in der Molasse alsacienne, im Tortonien des Delsbergerbeckens und in den pontischen Ablagerungen. Eine auffallende Erzarmut findet sich im Helvetien und Tortonien von Court, dagegen stellt sich im Pontien wieder ein Maximum ein. Der Staurolithgehalt ist allgemein hoch (Ausnahme Burdigalien und Helvetien).

m) UMGEBUNG VON FREIBURG IM UECHTLAND

Materialherkunft:

1. Stampien, Vaulruzschichten, Riaz bei Bulle an der Saane (Kt. Freiburg)
2. Burdigalien, Vuisternens en Ogoz am Mt. Gibloux (Kt. Freiburg)
3. Helvetien, Pont du Pilon, am Rio des Pylons (Kt. Freiburg)

Ich verdanke diese und weitere Proben Herrn Dr. BÜCHI, Konservator am naturhistorischen Museum Freiburg im Uechtland.

1. Stampien:

Granat: a, b 1, b 7, Zentrum einschliessreich.
 Turmalin: b.
 Zirkon: a, c.
 Rutil: a.
 Titanit: b 1 auch II, a.
 Staurolith: c.
 Oft viel Chlorit, Markasit, auch Biotit.

Resultat:

Erz-Granat-Zirkon-Turmalinkombination mit Rutil-Staurolith. DÉVERIN (20) beschreibt eine Probe aus der stampischen roten Molasse oberhalb Vevey. Er findet: Granat, Turmalin, Zirkon, Rutil, Anatas, Staurolith; einige Epidote, Hornblende, Aktinolith, Tremolith, Glaukophan, Augit, Chloritoid, Obsidian.

2. Aquitanien:

Es wurde kein Material untersucht, hingegen publizierte DÉVERIN (20) die petrographische Analyse einer Probe aus der Greppe oberhalb Vevey. Er findet: Glaukophan, grün—grünbraune Hornblende, Granat, Turmalin, Zirkon häufig, Anatas, Rutil, Titanit, Idiocras (!), Epidot selten, Zoisit, Chloritoid selten, Spinell, Korund, Staurolith.

3. Burdigalien und Helvetien:

Granat: d 2, a, b.
 Turmalin: b 1, b 2, g, mit Rutileinschluss.
 Zirkon: Kern b 2, Spitze a.
 Titanit: a, b 1 auch II.
 Staurolith: c.
 Epidot: halb a, halb b.
 Hornblende: a 1, a 2, b 1 feinfaserig.
 Blaue Hornblenden: a, b, mit Chlorit zusammen.

Resultat:

Epidot-Granat-Erzkombination mit Zirkon-Turmalin-Rutil.

Zusammenfassung:

Im Stampien finden sich fast epidotfreie S. F.; Staurolith wird wieder etwas wichtiger. Im Miocän zeigen sich die üblichen epidotreichen S. F.

n) SÜDLICH NEUENBURGERSEE

Materialherkunft:

1. 2. 3. Aquitanien, oberhalb Cheyres (Kt. Freiburg), am kleinen Verbindungsweg, ca. 480—500 m
4. 5. 6. Burdigalien, oberhalb Cheyres (Kt. Freiburg), Fussweg, ca. 500—620 m
7. 8. Burdigalien, westlich Bollion (Kt. Freiburg), Steinbruch, ca. 600 m

1. Aquitanien:

Granat: a, b 1, c, c 3.

Turmalin: a 2, a 3, f, g 1.

Zirkon: a 2, d 1, d 2.

Rutil: a.

Titanit: c, pleochroitisch b 1—b 2, a.

Epidot: halb a, halb b, e.

Chlorit mit grossem Zirkoneinschluss. Rand dunkelgrün, Zentrum hellgrün.

Resultat:

Erz-Epidot-Granatkombination mit Zirkon. Gelegentlich viel Saussurit. Titanit relativ häufig. Es ist möglich, dass diese Proben bereits zum Stampien gehören.

Nach BAUMBERGER (2) finden sich in Epanthères südlich Yverdon Chattienfossilien. Nach BÜCHI (persönliche Mitteilung) ist es wahrscheinlich, dass auch in Portalban am Neuenburgersee Stampien vorliegt.

2. Burdigalien:

Granat: a, b 1, c 1 und c 2 anisotrop.

Zirkon: a 1, b 2, d 3 zonar.

Rutil: b.

Anatas: c.

Titanit: a, b 1, b 2, c.

Staurolith: a, c, oft ausgefasert.

• Disthen in den Spaltrissen braune Verwitterungsansätze.

Epidot: fleckig, c, d.

Hornblenden: c 2, e, b 1, e 2 braunrot, b mit einer blauen Hornblende verwachsen.

Augit: a.

Blaue Hornblenden: a oft ausgebleicht, zerlappt, mit Chlorit, b, c.

Biotit: olivgrün mit pleochroitischem Hof.

Chlorit: mit Sagenit, Saussurit.

Resultat:

Epidot-Erzkombination mit Granat-Hornblende-Zirkon. Neu sind: die bedeutenden Hornblende- und im Muschelsandstein vor allem auch Augitmengen.

Der Granat ist gegenüber anderen Gebieten zurückgegangen.

Zusammenfassung:

Der Epidotreichum hält in beiden Stufen an. Dazu tritt in vermehrtem Masse auch Hornblende und Augit im Burdigalien. Granatrückgang.

V. Allgemeine Zusammenhänge**ALLGEMEINER TEIL**

Bevor wir an die Besprechung der Zusammenhänge der qualitativen und quantitativen Schwermineralien-Verteilung treten, ist eine Diskussion über das Zustandekommen von Anhäufungen schwerer Mineralien im allgemeinen notwendig.

Die Schwermineralien-Kombination, die uns unter dem Mikroskop entgegentritt, stellt das gegenwärtige Endprodukt einer Reihe sehr komplexer Vorgänge dar, bei denen — unter anderen — Anreicherungs- und Ausmerzungsprozesse, Um- und Neubildungen mitbeteiligt sind. Diese lassen sich im folgenden etwas näher präzisieren.

1. Die Anreicherung

Sie setzt schon beim Verwitterungsvorgang im anstehenden Gestein ein und schafft eine erste Auslese verwitterungsresistenter Mineralien. Ist hier vor allem die chemische Stabilität von Bedeutung, so bedingt beim nachfolgenden Transport wesentlich auch die mechanische Widerstandsfähigkeit eine relative Häufung transportresistenter Mineralien, bei denen neben der Härte die Spaltbarkeit und das spezifische Gewicht sowohl des betreffenden Mineralen, als auch (soweit zunächst Gerölltransport in Frage kommt) der Einbettungsmasse massgebend ist. Halmyrolyse und Diagenese stellen im Verlaufe der Ablagerung und Konsolidierung des Trümmermaterials erneute Anforderungen an die verschiedenen Mineralien, wobei unter Umständen nur die ablagerungsresistenten Glieder zurückbleiben. Umlagerung von Sedimenten, eventuell mit gleichzeitig neu eintretenden Verwitterungsmöglichkeiten, bedingen eine erneute Auslese speziell umlagerungsresistenter Mineralien.

2. Die Ausmerzung

Diese setzt vorab als chemische Ausmerzung schon im Gestein ein, sowohl bei der säkulären wie auch bei der gewöhnlichen Oberflächenverwitterung; sie scheidet die verwitterungsempfindlichen Mineralien aus. Die physikalischen Anforderungen der Ortsveränderung des Materiales trennen erneut eine transport-

empfindliche Gruppe von Mineralien ab. Neue Instabilitäten rufen die Konsolidierungsvorgänge hervor und tendieren zur Vernichtung der hauptsächlich konsolidierungsempfindlichen Glieder. Endlich lassen Umlagerungs-, eventuell auch nachträgliche Verwitterungsprozesse, erneut eine Anzahl speziell umlagerungsempfindlicher Mineralien ausschalten.

Die erwähnten Vorgänge wirken sich aber nicht in allen Fällen vollständig aus, sondern können durch Komplikationen stark modifiziert werden.

Beispielsweise spielt die Art des Transportes eine grosse Rolle. Das einzelne Mineral kann entweder als Individualkorn schon aus dem Lieferungsgebiet hertransportiert werden oder im Verband mit anderen Mineralien, d. h. im Gestein, die Haupttransportstrecke relativ geschützt zurücklegen. Je nach der Transportart finden wir so eine reine Kombination transportresistenter Mineralien, oder es beeinflussen transportempfindliche Mineralien die Kombination wesentlich.

Des weiteren können Umbildungen, etwa während des Transportes, und Neubildungen, etwa bei der Konsolidierung, entstehen und die Assoziation charakterisieren.

3. Herkunftsverhältnisse

Die Herkunftsbestimmung des abgelagerten Materials ist eines der Ziele sedimentpetrographischer Studien. Sie gestaltet sich relativ einfach bei epirogen entstandenen Sedimenten, denn dort sind geographische und petrographisch-geologische Herkunft identisch, da die tektonischen Kräfte der Epirogenese als Grossaufwölbung und Bruchfaltung hauptsächlich vertikale Bewegungskomponenten ergeben. Die dadurch hervorgerufene Abtragung erfolgt petrographisch mehr oder weniger in chronologischer Reihenfolge im Sinne fortschreitender Rückwärts- und vor allem auch Tiefenerosion, die sich dann im korrelativen Sediment in umgekehrter Reihenfolge wieder spiegelt.

Im orogen durchbewegten Gebiete müssen geographische und petrographische Herkunft auseinandergehalten werden, denn dort führen die vorwiegend horizontalen Komponenten der Bewegung einem geographischen Herkunftsgebiete, beispielsweise dem Einzugsgebiet der Ur-Aare, durch fortwährend vordringende tektonische Einheiten, sog. Decken, ständig neue Gesteinsserien zu. Das Studium der Sukzessionen im Erosionsschutt aus einem orogenen Gebiete, in unserem Falle der Molasse, sollte uns deshalb Aufschluss über die

einzelnen tektonischen Bewegungsphasen im orogenen Hinterlande geben, sofern die Variabilität der Gesteinsbeschaffenheit der verschiedenen Deckenbildungen gross genug ist.

Um aus den schweren Mineralien solche Rückschlüsse ziehen zu können, ist es vorerst notwendig, die einzelnen Mineralien auf ihre petrographischen Herkunftsmöglichkeiten aus bestimmten geologisch-tektonischen Einheiten hin zu untersuchen. (Ebenso notwendig wäre es, die verschiedenen in Frage kommenden Gesteine auf ihre Schwere-mineralien hin zu untersuchen.) Es lassen sich dabei gewisse Mineralien mit ähnlichen Eigenschaften in Gruppen zusammenfassen, die als Grundlage für die weitere Besprechung dienen sollen. Diese Gruppen stimmen im wesentlichen mit der Einteilung von EDELMANN (20) überein.

I. Gruppe	II. Gruppe	III. Gruppe	IV. Gruppe
Erze	Granat	Staurolith	Epidot
	Zirkon	Disthen	gew. Hornblenden
	Turmalin	Andalusit	blaue Hornblenden
	Rutil	Topas	Augit
	Anatas		Chloritoid
	Brookit		
	Titanit		

a) Gruppe I und II

Sie enthalten Mineralien, die auf keine bestimmte primäre Gesteinsart hindeuten. Einerseits dadurch, dass sie sowohl primär aus magmatischen und metamorphen (sekundär auch aus sedimentären) Gesteinen stammen, andererseits dadurch, dass einzelne unter ihnen auch als Neubildungen auftreten. Es sind sowohl herkunftsunempfindliche, als auch umlagerungsstabile Mineralien. Wir bezeichnen sie als sog. *Durchläufer* (diesen Ausdruck hat bereits EDELMANN (24) für einzelne Mineralien dieser Gruppe angewandt).

b) Gruppe III

Eine dritte Gruppe von Mineralien, die wohl aus einer ganz bestimmten primären Gesteinsart stammen, die aber, weil umlagerungs-resistent, sekundär aus umgelagerten Sedimenten stammen können, sind nur beschränkt zur exakten Herkunftsbeheimatung verwendbar. Es sind zwar herkunftsempfindliche, aber umlagerungsresistente Mineralien.

c) Gruppe IV

Zur sicheren Herkunftsbestimmung eignen sich nur herkunfts- und umlagerungsempfindliche Mineralien, deren primäres Auftreten

entweder vorwiegend magmatisch (gewisse Augite, gewisse Hornblenden, Olivin) oder vorwiegend metamorph ist (gewisse Augite, gewisse Hornblenden, z. T. Epidot, auch Chloritoid).

Nach diesen Erörterungen wenden wir uns unter Berücksichtigung der gewonnenen Gesichtspunkte allgemeiner Art unserem speziellen Arbeitsgebiet, der schweizerischen Molasse, zu. Die vorhergehenden Kapitel haben uns eine Fülle von Einzeltatsachen geliefert. Bevor wir an die detaillierte Besprechung der einzelnen Stufen treten, ist es nun notwendig, einen Überblick über die allgemeinen Zusammenhänge, speziell aber über die petrographisch-geologischen Herkunftsverhältnisse, zu erhalten.

4. Die allgemeine Persistenz der Mineralien in der Molasse

Tabelle 2

Persistenz der Mineralien in der Molasse (in %)

	Subalpines Stampien 13 Zählungen				Jurassisches Stampien 10 Zählungen				Aquitanien 15 Zählungen				Burdigalien 43 Zählungen				Helvetien 54 Zählungen				Tortonien 22 Zählungen				
	HG	NG	AK	—	HG	NG	AK	—	HG	NG	AK	—	HG	NG	AK	—	HG	NG	AK	—	HG	NG	AK	—	
Erz	100	—	—	—	100	—	—	—	100	—	—	—	100	—	—	—	79	21	—	—	73	27	—	—	
Granat	100	—	—	—	100	—	—	—	93	7	—	—	95	5	—	—	97	3	—	—	100	—	—	—	
Turmalin	23	69	8	—	—	50	50	—	33	66	—	—	70	30	—	—	59	38	3	—	—	45	55	—	
Zirkon	69	31	—	—	—	20	80	—	80	20	—	—	18	65	17	—	36	63	1	—	9	41	45	5	
Rutil	15	85	—	—	—	30	70	—	14	86	—	—	39	61	—	—	5	57	38	—	—	36	50	14	
Anatas	—	—	61	39	—	—	80	20	—	28	72	—	—	39	61	—	—	—	21	79	—	—	41	59	
Brookit	—	—	15	85	—	—	50	50	—	28	72	—	—	9	91	—	—	—	21	79	—	—	24	76	
Titanit	—	—	15	85	—	—	100	—	—	33	39	28	—	9	49	42	2	3	43	52	—	—	73	27	
Staurolith	—	46	23	31	—	100	—	—	—	14	39	47	—	33	65	2	11	54	32	3	—	9	69	13	
Disthen	—	—	39	61	—	—	80	20	—	—	14	86	—	—	42	58	—	14	59	27	—	—	5	58	
Topas	—	—	7	93	—	—	30	70	—	—	20	80	—	—	20	80	—	3	45	52	—	—	18	82	
Andalusit	—	—	—	—	—	—	20	80	—	—	—	—	—	—	12	88	—	3	38	59	—	—	32	68	
Epidot	—	15	39	46	50	50	—	—	72	7	14	7	65	28	5	2	79	18	3	—	60	31	9	—	
H'blde gew.	—	—	7	93	—	—	30	70	—	—	53	47	—	13	55	32	—	6	48	46	—	—	50	50	
H'blde blau	—	—	15	85	—	—	80	20	—	—	20	80	—	—	2	78	20	—	32	68	—	—	9	91	
Chloritoid	—	—	47	53	—	—	40	60	—	—	33	66	—	—	2	59	39	—	5	68	27	—	—	45	55

Die Übersicht über die Persistenz der einzelnen Mineralien in den verschiedenen Stufen der Molasse soll die Häufigkeit, mit der ein Mineral in den untersuchten Lokalitäten auftritt, angeben. Dabei wurde differenziert in Auftreten als HG, NG, AK und gänzliches Fehlen. Beispiel: Epidot tritt im Burdigalien in 65 % der Lokalitäten im Präparat als HG auf. In 2 % der Fälle (54) fehlt er im Präparat überhaupt.

Diese Zusammenstellung zeigt klar, dass gewisse Glieder der Gruppe I und II, d. h. die Durchläufer, fast in allen Präparaten zu finden sind, (Erz, Granat, Zirkon, Turmalin, Rutil) während das Auftreten der übrigen Glieder weniger konstant ist. Von der Gruppe III tritt vom Miocän an der Staurolith mit einiger Regelmässigkeit auf. In ähnlicher Weise finden wir den Epidot in den nachstampischen Proben.

5. Mengenverhältnisse der wichtigsten Schweremineralien

Tabelle 3

Mittlere Mengenverhältnisse der wichtigsten Schweremineralien in der Molasse (in %)

	Subalpines Stampien	Jurassisches Stampien	Aquitän.	Burdigal.	Helvetien	Tortonien
Erz	26,5	36	32	23,5	19,2	16
Granat	47	35	34	35,4	36,5	46,6
Turmalien	5,5	2	1	1,1	2,2	1,8
Zirkon	12,5	5	3,5	5,9	1,5	3,3
Rutil	5,5	2	0,5	1,5	1,8	1,9
Anatas	+	+	+	+	+	+
Brookit	+	+	+	+	+	+
Titanit	+	0,4	0,5	0,3	0,1	0,5
Staurolith	2,6	4	0,5	1,4	2,5	4,7
Disthen	+	0,4	+	+	0,3	0,5
Andalusit	+	+	+	+	0,1	+
Topas	+	+	+	+	0,2	+
Epidot	0,5	15,2	28	19,9	35	24
H'blde gew.	+	+	+	0,7	0,3	0,7
H'blde blau	+	+	+	0,3	+	+
Chloritoid	+	+	+	+	0,3	+

Diese Übersicht zeigt insofern einen Parallelismus mit der allgemeinen Persistenz, als die oben erwähnten Glieder der einzelnen Gruppen auch zu den mengenmässig wichtigsten Mineralien gehören. Wesentlich ist vor allem, dass die Glieder der Gruppen I und II eine bedeutendere Rolle spielen, während die Mineralien der Gruppen III und IV im Durchschnitt zurücktreten.

Die Lösung der Frage nach der petrographisch - geologischen Herkunft der Mineralien, die dadurch erschwert wird, dass die Mineralien der ersten beiden Gruppen mengenmässig die bedeutendere Rolle einnehmen, erfährt jedoch durch das Vorhandensein von Geröll-

massen in der Molasse eine wesentliche Erleichterung. Es ist deshalb notwendig, zuerst die Ergebnisse dieser Untersuchungen heranzuziehen, um sie darnach mit den Resultaten der Schweremineralien-Untersuchung zu vergleichen.

SPEZIELLER TEIL

1. Herkunft der Gerölle in der Molasse

Wir wollen hier lediglich einige der neueren Untersuchungen aus der Molasse anführen, nachdem schon die älteren Autoren (ESCHER, GUTZWILER, FRÜH usw.) die alpine Natur namentlich der subalpinen Molassegerölle postuliert hatten.

a) Allgäu:

MUHEIM (49) schreibt über das Stampien: „Als Herkunftsgebiet der Gerölle erweisen sich (mit Ausnahme der fremden Dolomite) die ostalpinen Deckenkerne. Die Einschwemmung erfolgte wahrscheinlich aus NE.“

b) Speergebiet:

Die Kalknagelfluh (Stampien) des Speergebietes enthält nach CADISCH (13) vor allem sedimentäres Material aus stirnnahen, mesozoischen Teilen aus ober-, unterostalpinen und penninischen Decken. Im Miocän hat nach CADISCH (13) die Erosion auch die rückwärtigen triasischen, paläozoischen und kristallinen Deckenkerne ergriffen. Daneben nennt er jurassische Gesteine der ostalpinen, Kreide der unterostalpinen Decken, und mesozoische basische Eruptiva der unterostalpin-penninischen Grenzzone.

c) Napf:

FROEHLICHER (30) erkennt im Stampien des Entlebuch vor allem ostalpines sedimentäres und kristallines Material, LIECHTI (42) für das Miocän unterostalpinen Kristallin, mesozoische Ophiolite aus dem Pennikum, ostalpine und penninische Sedimente.

Aus diesen wenigen Beispielen ist ersichtlich, dass im Stampien vorwiegend ostalpine Deckenteile zur Erosion gelangten, während im Miocän die penninischen Elemente zahlreicher werden.

2. Herkunft der schweren Mineralien

a) Authigene Mineralien:

Im Verlaufe der Untersuchung konnten eine Reihe von Mineralien in der Molasse als Neubildungen bestimmt werden. An lagunäre Bedingungen sind wahrscheinlich die Vorkommen von Baryt und Coelestin geknüpft. Vielleicht in ähnlichen, abgeschnürten Süßwassertümpeln bildete sich lokal authigener Titanit. Die Entstehung von Markasit und Pyrit scheint im Zusammenhang mit in Zersetzung

begriffenen organischen Materialien erfolgt zu sein. Neubildungen der verschiedenen TiO_2 -Modifikationen haben ihren Ausgang in Ilmenit-Leukoxenumwandlungen. Nur vermutungsweise sind Spuren von authigenen Turmalinanwachsungen konstatiert worden.

b) Allothigene Mineralien:

Alle übrigen schweren Mineralien scheinen detritischen Ursprungs zu sein, indem bei ihnen keinerlei Anzeichen von Neubildungen beobachtet werden konnten. Dagegen zeigten sich bei fast allen diesen Mineralien Ätzerscheinungen (Zirkon, Turmalin, Apatit, Topas, Epidot (?)), die sich bei einzelnen Gliedern (Granat, Stauroolith, Apatit) bis zu eigentlichen Ätzformen steigern.

Die petrographisch-geologische Herkunftsbestimmung der allothigenen Mineralien erfolgt nun im Sinne der soeben definierten Gruppen:

1. Gruppe IV: Herkunft- und umlagerungsempfindliche Mineralien

Diese Gruppe von Mineralien kann bestimmten Gesteinsserien im alpinen Hinterlande zugeordnet werden; ihre Ausbildungsweise und ihre Stabilitätsverhältnisse lassen eine mehrfache Umarbeitung kaum zu.

Epidot: Vergleichen wir vorderhand die Geröll- und Mineralauszählungen im Tortonien des Toggenburgerfächers mit den entsprechenden im Napffächer, so können wir beobachten, dass parallel der Zunahme an Geröllern aus dem Kristallin von Osten nach Westen auch eine Zunahme des Epidotgehaltes geht. In ähnlicher Weise ist im Entlebuch-Napfgebiet vom Stampien zu Aquitanien eine parallele Entwicklung zu beobachten. Undeutlich nur zeigt sich diese Tendenz im Aquitanien, während die uns bekannten Geröllzählungen aus stamписchen Gebieten allgemein weniger als 20% kristalline Komponenten aufweisen. Sie erreichen somit nur Werte, wie sie für die miocänen, epidotarmen Gebiete Geltung haben.

Wenn wir unter den kristallinen, alpinen Gesteinen nach epidotreichen Komponenten Umschau halten, so zeichnen sich vorab einzelne Glieder der Ophiolite in den Bündnerschiefern dadurch aus: z. B. Prasinite, Grünschiefer, Epidotchloritschiefer. Ophiolite = Differentiationsprodukte basischer Eruptiva und deren metamorphe Äquivalente, meist mesozoischen, selten paläozoischen Alters. Sie sind vor allem für die penninischen Gebiete typisch. Allerdings rechnen

einzelne Autoren auch kleinere Vorkommnisse den unterostalpinen Decken zu.

Wenn wir die aus der Literatur bekannten Angaben über das Auftreten von Ophiolitgeröllen in der Molasse sammeln, so fällt auf, dass die Gebiete ophiolitführender Gerölle auch epidotreiche Schwere-mineralienkombinationen besitzen.

Aus dem Miocän des Napfgebietes wurden öfters Ophiolitgerölle erwähnt (Serpentin, Variolit, Spilit usw.). Aus dem miocänen Toggenburgerfächer nennen FRÜH (31), ESCHER-HESS (28), CADISCH (13), auch GEIGER (32) und SCHMIEDLE (65) Ophiolite. Auch die Gabbros, die ebenfalls unter den Ophioliten figurieren können, werden kaum im Stampien genannt, finden sich dafür in den miocänen Ablagerungen häufiger.

CADISCH (13) macht auf die Häufigkeitszunahme von Diabasen und Varioliten in der Stromrichtung innerhalb der Ablagerungen aufmerksam, während besonders die Serpentine zurückbleiben sollen. Ähnlich wie die Serpentine mögen auch die Grünschiefer beim Transport rasch zerstört werden. Auch LIECHTI (42) hat darauf hingewiesen, dass hauptsächlich die massigen Typen der kristallinen Gesteine in der Nagelfluh zu finden sind.

Diese rasche Zerstörung mag die Seltenheit der schiefrigen Ophiolite unter den Geröllen einerseits und die Häufigkeit des Epidotes im Sande andererseits erklären. Es mögen ähnliche, vor allem texturell bedingte Verhältnisse wie bei den Bündnerschiefern vorliegen, die ja auch im heutigen Strombett des Rheines durch Zerstörung rasch verschwinden.

Wir nehmen somit die vorwiegend penninischen Ophiolite als unmittelbare Lieferanten des Epidotes an. Daneben werden, allerdings in weit geringerem Masse, auch die umgewandelten basischen Feldspäte gewisser unterostalpiner Eruptiva beteiligt sein.

Blaue Hornblenden: Die bis heute bekannten Fundorte blauer oder alkalischer Hornblenden, deren Entstehung im Zusammenhang mit natronreichen, basischen Eruptivgesteinen oder deren Tuffen steht, sind in den Alpen hauptsächlich auf die penninischen Gebiete beschränkt, wobei diese Hornblenden sowohl in den eingedrungenen Eruptivmassen wie in den umgebenden kontaktmetamorphen Sedimenten auftreten.

Aus anderen tektonischen Einheiten der Alpen sind sie bis heute kaum bekannt geworden, mit Ausnahme des noch nicht bearbeiteten Vorkommens im Val Ladrail im Vorderrheintal (Dr. F. WEBER, Lugano).

Aus tertiären Geröllen kennt man blaue Hornblenden nördlich der Alpen noch nicht, während die ersten Funde in der Schweiz überhaupt aus den diluvialen Ablagerungen des Rhonegletschers stammen.

Entsprechend unseren heutigen Kenntnissen müssen wir somit die blauen, detritischen Hornblenden der Molasse aus dem Penninikum herleiten. Es ist allerdings schwierig zu entscheiden, woher die blauen Hornblenden, besonders in den älteren Ablagerungen, stammen. Verschiedene Möglichkeiten können in Betracht gezogen werden: Penninische Schürflinge, von höheren Einheiten vorgedrängt, können zur Erosion gelangt sein (bei Weissbad (Appenzell), Stampien) — aufgearbeiteter Flysch, analog dem Niesenflysch, kann für einzelne Vorkommen verantwortlich gemacht werden — die vorrückenden penninischen Decken können direkt zum Abtrag gelangt sein.

Beim Studium der Verteilung und des Auftretens von Hornblenden wirkt allgemein erschwerend, dass wir über die Stabilitätsverhältnisse der Varietäten unter marinen, brackischen oder limnischen Bedingungen kaum orientiert sind. Es lässt sich nur vermuten, dass marine Umgebung allgemein eine konservierende Wirkung ausübt, und dass eventuell die Möglichkeit einer Umwandlung gewöhnlicher Hornblenden in blaue unter marinen Bedingungen besteht.

2. Gruppe III: Herkunftsempfindliche, aber umlagerungsstabile Mineralien

Die Mineralien dieser Gruppe sind unter ziemlich scharf umrissenen chemisch-physikalischen Bedingungen entstanden. Für die Beheimatung ungünstiger ist die Tatsache, dass ihre Stabilitätsverhältnisse eine mehrmalige Umlagerung erlauben.

Staurolith und Disthen:

Vorkommen: In anstehenden Gesteinen der Einzugsgebiete tertiärer Flüsse: In den Alpen weisen vor allem die Mulde zwischen Gotthardmassiv und penninischen Decken (Nufenen-Piora-Scopi), sowie die Tessinerdecken staurolith- und disthenführende Gesteine auf, während ihr Gehalt in der praetriadischen gotthardmassivischen Tremolaserie stark zurücktritt. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass von diesen Serien zur Miocänzeit schon Teile zum Abtrag gelangten, obschon sie durchaus im Einzugsgebiet tertiärer, nordgerichteter Flüsse lagen. Wir kennen weder staurolith-disthenführende Gesteine aus der tertiären Nagelfluh, noch zentralmassivische Granite und Gneise, mit denen sie in engem Zu-

sammenhänge stehen. Daneben finden sich aber Gesteine mit Staurolith-Disthen-Andalusit vereinzelt in der Wurzelzone (z. B. Andalusit-Staurolithgneis von Brissago); vor allem aber im Kristallin der Silvrettadecke (Staurolithschiefergneis im Flüelagebiet).

Im ganzen Schwarzwald-Vogesengebiet finden sich, von wenigen, unbedeutenden Vorkommnissen abgesehen, keine grösseren mesometamorphen Gesteinsserien, die diese Mineralien führen. (DECKE (19) erwähnt Disthen beispielsweise aus einem Kontakthof in der Nähe von Baden-Baden, JUNG (38) nennt Staurolith und Andalusit am Granitkontakt von Hohenwalde in den Vogesen.)

Dagegen enthalten die Sedimente, insbesondere am Nordufer des Molassemeeres, verschiedentlich diese umlagerungsstabilen Mineralien der Gruppe III.

1. THUERACH (72) erwähnt aus dem Keuper neben Magnetit, Granat, Turmalin, Zirkon, Rutil, Apatit auch Staurolith.

2. Der Meeressand von Aesch, in dem wir im wesentlichen aufgearbeiteten Malm erkennen, führt akzessorisch Staurolith.

3. Proben aus der mittleren Kreide (Albien und Aptien) aus der Gorge de l'Areuse, Kt. Neuenburg, die ich Prof. JEANNET verdanke, führen beide als Hauptgemengteile neben Turmalin und Erz auch Staurolith. Als Nebengemengteile figurieren Disthen, Rutil, Andalusit.

In den eocänen Huppererden, die als Derivate mesozoischer Sedimente betrachtet werden müssen, beobachten wir als Hauptgemengteile Zirkon, Turmalin, Rutil. Als Nebengemengteile Erz, Staurolith, Disthen, und als Akzessorien Topas, Andalusit, Anatas, Granat, Epidot.

Detritisch in der Molasse: Vielleicht am aufschlussreichsten sind die Proben von Riedern (Baden, Deutschland) an der helvetischen Nordküste. Die nicht alpine Herkunft, angedeutet durch die auffallende Staurolithabnahme, verbunden mit einer Epidotzunahme gegen das Innere des helvetischen Molassebeckens hin, scheint eindeutig zu sein. Im Quarzsandwerk von Riedern, besonders aber auch in der Austernagelfluh der weiteren Umgebung wiegen sedimentäre mesozoische Gerölle vor.

Insbesondere für die jurassischen Komponenten macht SCHALCH (63) auf Grund facieller Kennzeichen auf die westschweizerische Herkunft aufmerksam. Trotz der Häufigkeit des Staurolithes unter den schweren Mineralien der Sande suchen wir vergeblich nach kristallinen Geröllen, die solche enthalten könnten. Wir sind deshalb ge-

zwungen, sie aus den Sedimenten, die hier eingeschwemmt wurden, herzuleiten. Diese führen — wie wir oben gesehen haben — zum Teil reichlich Staurolith, Disthen, sowie Andalusit und Topas.

In ähnlicher Weise müssen wir uns auch die verwandten Vorkommnisse von Tennikon, wo Staurolith ebenfalls als Hauptgemengteil auftreten kann, entstanden denken; auch der erhöhte Staurolithgehalt in der „Molasse alsacienne“, im Tortonien und im Pontien des Delsbergerbeckens scheint darauf zurückzuführen zu sein.

Auch im tortonischen Toggenburgerfächer tritt der Staurolith wesentlich hervor und erreicht ein Maximum in der Kalknagelfluh von Laupen bei Wald (Kt. Zürich). Diese Vorkommnisse stehen im Zusammenhang mit der Appenzeller Kalknagelfluh von Degersheim und Abtwil. Nach einer Analyse (Lit. 52) kommt ihr ein wesentlicher Dolomitgehalt zu; CADISCH (13) spricht von einer Kalk-Dolomitbreccie. Auch H. RENZ hat ein Staurolithmaximum bei Berneck (St. Gallen) in einem aquitanen Kalksandstein vorgefunden. Diese auffallende Kumulation gerade in den sedimentreichen Partien (der Dolomitgehalt deutet auf ostalpine Provenienz hin) erscheint uns wesentlich und macht es wahrscheinlich, dass sich der Staurolith und mit ihm der sporadisch auftretende Disthen, Topas und Adalusit auch hier als umlagerungsstabiles Mineral auf tertiärer Lagerstätte befindet. Welche ostalpinen Sedimente insbesondere diese Mineralien enthalten ist noch fraglich. Sie scheinen aber in dieser staurolithführenden Ausbildung im Einzugsgebiet des Napffächers nicht vorhanden zu sein.

Daneben besteht, unseres Erachtens aber in weit geringerem Masse, die Möglichkeit einer direkten Belieferung aus den oben angeführten kristallinen Elementen der ostalpinen Deckenkerne.

Dass Topas und Andalusit ebenfalls sedimentärer Herkunft sind, erscheint wahrscheinlich, ist aber bei dem so vereinzelt Auftreten kaum mit Sicherheit zu entscheiden. In den nordhelvetischen Ablagerungen fallen die überdurchschnittliche Grösse und die frischen Bruchformen sowohl der Andalusit- als der Topaskörner auf, und dies dürfte wieder für direkte Belieferung (z. B. aus Kontakthöfen) sprechen.

3. Gruppe II: Herkunftsunempfindliche, umlagerungsstabile Mineralien

Mineralien, die weder eindeutig für eine bestimmte petrographische Herkunft, noch für direkte Belieferung sprechen.

Granat: Als Gerölle erwähnen sowohl FRÜH (31) aus der stampischen Riginagelfluh, als auch MUHEIM (49) aus der gleichaltrigen Bausteinzone im Allgäu granatführende Gneise und Schiefer. Vergleichen wir damit die entsprechenden Gesteine in den Alpen, so müssen a priori die granatführenden Paragesteine südlich des Gott-hardmassives (Tremolaserie, Muldenzone Nufenen-Scopi, Luco-magnodecke und andere) ausgeschaltet werden, zum mindesten für das Stampien, in dem aber zugleich die granatreichsten Kombinationen zu finden sind. Da die Molasseablagerungen dieser Stufe besonders reich an ostalpinen Geröllen sind, deren Komponenten sich zum grossen Teile noch mit anstehenden Serien vergleichen lassen, besteht die Möglichkeit, den detritischen Granat aus diesen herzu-leiten. Aus der Silvrettadecke kennen wir besonders granatführende Gneise, Biotitschiefergneise, Granulite und Amphibolite. Allerdings müssten die Amphibolite, die im Flüelagebiet sehr reichlich auf-treten, den erodierten analogen Gesteinen der heutigen Silvretta-decke gefehlt haben. Aus der Literatur sind uns nur zwei Stellen bekannt, wo Amphibolite als Gerölle in der Molassenagelfluh ge-funden worden sind: MUHEIM (49) nennt die stampische Baustein-zone des Allgäu, ROMAN FREI die helvetische Nagelfluh ob Hünt-wangen.

Nach den Untersuchungen von GEIGER (33) reichern sich die Amphibolite als sog. Auslesegesteine auf Grund ihrer grösseren Zähigkeit mit zunehmendem Wassertransport an. Somit kann ihr Fehlen in der Molassenagelfluh nicht durch rasche Abrasion erklärt werden.

Neben der direkten Belieferung von Granat aus kristallinen Erosionsprodukten muss sicherlich auch ein Teil des detritischen Materials aus Sedimenten (ostalpinen) herkommen, die im Stampien, parallel dem grossen Granatgehalt, reichlich vertreten sind. Aber so-wohl in dieser Stufe, wie auch im Miocän lässt sich der Anteil di-rekter oder indirekter Granatbelieferung sehr schlecht voneinander abgrenzen. Denn bei den allgemein nur kurzen Transportstrecken als Einzelkorn (die Zertrümmerung der entsprechenden Gerölle kann oft in nächster Nähe erfolgt sein) können Bruchformen nur mehr wenig aussagen.

Zirkon, Turmalin, Rutil. Ähnlich wie im Falle Granat können wir auch bei diesen Mineralien nur vermuten, dass ein grosser Teil aus aufgearbeiteten älteren Sedimenten stamme. Besonders im sub-alpinen Stampien erscheint uns diese Annahme naheliegend.

VI. Die einzelnen Molassestufen und ihr Schwere-mineralien-Gehalt*)

1. DAS STAMPIEN

Stampische Ablagerungen innerhalb der schweizerischen Molasse kennen wir:

1. In einem südlichen, aufgeschobenen Streifen, der sich dem Alpenrande anschliesst (innere Zone der aufgeschobenen Molasse).
2. In einem nördlichen Gebiete am Südfuss des Faltenjuras, in dessen Synklinalen und innerhalb des mit dem Rheintalgraben mit-ingesunkenen Tafeljuras, — getrennt vom ersteren durch jüngere tertiäre, diluviale und quartäre Ablagerungen des schweizerischen Mittellandes.

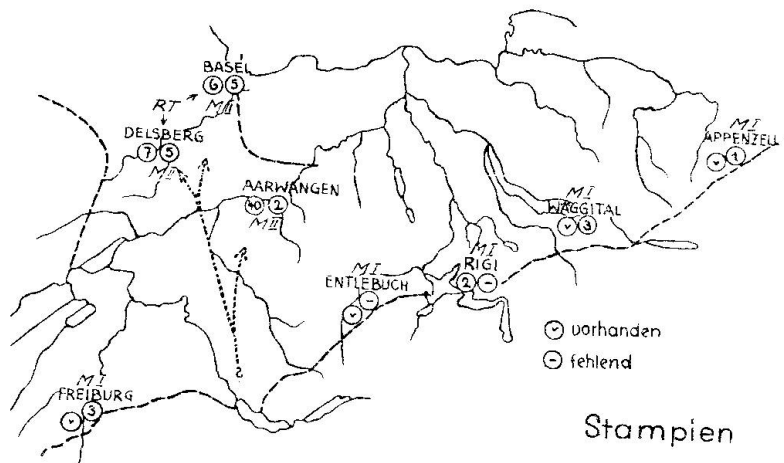


Fig. 4

Dieses und die folgenden Übersichtskärtchen sollen für die einzelnen Stufen die Verteilung der Gruppen IV und III und damit die Zugehörigkeit zu den verschiedenen Molasseprovinzen darstellen. Dabei bedeutet die erste (linke) Zahl unter der Lokalität den prozentualen Anteil der Gruppe IV (Epidot, Hornblenden, Augit, Chloritoid); der zweiten (rechten) Zahl entspricht der Anteil der Gruppe III (Staurolith, Disthen, Andalusit, Topas). — Die zugehörige sedimentpetrographische Provinz findet sich als Symbol (z. B. M I) ebenfalls angegeben. Die Grenzlinie entspricht ungefähr der heutigen Grenze der Aufschlüsse der betreffenden Stufe. — Die Unterlagen stammen teilweise von BAUMBERGER.

A. Das subalpine Stampien, das je nach Zusammensetzung und Lagerung teilweise steif verschuppt, teilweise gefaltet aufgeschoben ist, lässt sich nach BAUMBERGER (2) u. A. differenzieren in:

*) Stratigraphie, Tektonik und Lithologie hauptsächlich nach BAUMBERGER (2) und STAUB (68).

1. **Rupélien:** Marin-brackische Mergel und Kalksandsteine mit starken Anklängen an die mittelorogenen Flyschablagerungen. Bilten, Horw, Rallingen und Vaulruz sind typische Lokalitäten dieser Zone. Dazu gehört auch die von den helvetischen Decken überfahrene, inneralpine Molasse rouge von Monthey. Im Hangenden treten gelegentlich limnische Nagelfluhkompexe mit eingeschalteten Mergeln auf und leiten über zum sandstein- und nagelfluhreichen Chattien.

2. **Chattien:** Hier lassen sich Gebiete mit reichlicher sedimentärer Geröllführung — Kalknagelfluh (max. 10 % kristalline Komponenten) — trennen von Gebieten bunter Nagelfluh (über 10 % kristalline Gerölle). Kalknagelfluhgebiete sind bekannt vom Allgäu, vom Stockberg-Speer-Hirzelgebiet (ESCHER-HESS (28) „sehr wenig kristalline Gerölle“), vom Entlebuch aus der basalen Bäuchlernpartie (FROEHLICHER (30) 2,3 % kristalline Komponenten), vom Gebiet zwischen Aare und Sense (Lienegg, Fuchsegg GERBER (34)), am Mont Pélerin usw. Dazwischen, zum Teil auch darüber, schalten sich an Kristallin etwas reichere Komplexe ein, z. B. am Kronberg, im Rossberg-Rigiberg, im Entlebuch, an der Blume bei Thun und an der Giebelegg westlich der Aare. Doch ist deren stratigraphische Position noch umstritten, und sie werden von anderen Autoren aus prinzipiellen Gründen ins Aquitanien verlegt. Die kristallinen Komponenten erreichen dabei aber nicht die Menge, die wir vom Miocän her kennen. Die stampischen Nagelfluhfächer scheinen unter dem schweizerischen Mittellande auszuweichen; im Juragebiete finden sich keine Geröllbeimengungen mehr.

Spezielles:

Ergebnisse der Schwermineralienuntersuchung:

Innerhalb dieser sehr mächtigen Ablagerungen (nach FROEHLICHER (30) im Entlebuch bis 2300 m, nach BAUMBERGER und BECK (3) im Gebiete westlich davon (mittleres und oberes Stampien zusammen) bis 3400 m) zeigen die wenigen Schwermineralien-Analysen sehr gleichmässige Resultate.

Erz und Granat treten in allen Fällen als HG. auf, wobei der Erzgehalt sehr variabel sein kann. Nicht ganz so häufig findet sich der Zirkon als HG., noch seltener Turmalin und Rutil. Diese letzteren drei Mineralien figurieren vor allem auch unter den NG., wo auch Staurolith, seltener Epidot beobachtet wurden. Der Staurolith tritt dabei vor allem in den Randgebieten auf: E. Appenzell, Zürichsee, W. Freiburg im Uechtland, oberhalb Vevey (nach DÉVERIN (20)). Als Akzessorien bemerken wir meist Epidot, auch Chloritoid und Anatas, etwas seltener Brookit, Disthen, Titanit und Hornblenden. Die blauen Hornblenden finden sich wiederum in den Randgebieten (E. Weissbad bei Appenzell, W. oberhalb Vevey nach DÉVERIN (20)).

B. **Stampien im Juragebiet:** Schärfer als im subalpinen Stampien lässt sich hier ein marines, zyklisch gegliedertes Rupélien (im Delsberger-Laufenerbecken und im Rheintalgraben) mit Meeres-

sand, Fischeschiefern und Septarienton trennen von einem rhythmisch gegliederten Chattien.

Dieses Chattien gliedert sich in:

1. brackische Cyrenenmergel und Glimmermolasse im Rheintalgraben,
2. Molasse alsacienne der raurachischen Senke (Rollier 1893).

(Die letztere wird von drei Süßwasserkalkniveaus unterteilt; das oberste — Grenzhorizont Stampien - Aquitanien — Delsbergerkalke nach BAUMBERGER (1)). Auch in diesem nördlichen Gebiete liegen ganz wesentliche Sukzessionen vor (bis zu 1000 m bei Basel).

Auf Grund ähnlicher Fossilien halten es BUXTORF und FROEHLICHER (11) für möglich, dass schon im Mittelstampien und nicht erst im Oberstampien, wie bisher angenommen wurde, eine Verbindung mit dem subalpinen Becken existiert hat. Diese Ablagerungen liegen im Rheintalgraben, allerdings durch Brüche stark bewegt, mehr oder weniger horizontal, während sie im Kettenjura mitgefaltet worden sind.

Ergebnisse der Schweremineralienuntersuchung:

a) Rupélien:

Die Verhältnisse im Rupélien ergeben sich aus einer Probe aus dem Meeressand von Aesch. Diese zeigt in ihrem Schweremineraliengehalt vollständige Beeinflussung durch die aufgearbeiteten anstehenden Sedimente, HG. sind Zirkon und Rutil, NG. sind Turmalin und Erz und akzessorisch treten Granat, Anatas und Brookit, Staurolith, Disthen, Andalusit, Topas und Epidot auf. Die Rundung ist eine sehr ausgesprochene. Als primäre „distributive Provinz“ kommen saure Eruptivgesteine mit Kontakthöfen in Frage; dazu mögen meso-metamorphe Schiefer treten. Zur Heimatbestimmung ist erst eine Untersuchung der jurassischen Ablagerungen notwendig.

b) Chattien:

Im Chattien differenzieren sich die untersuchten Proben in den nördlichen Gebieten von denen am Jurasüdfuss.

1. Rheintalgraben und raurachische Senke:

Wiederum beobachten wir, ähnlich wie im subalpinen Stampien, Erz und Granat als HG., seltener figurieren darunter Zirkon und Epidot. Die Erzführung ist recht bedeutend. Unter den Nebengemengteilen treten zum Zirkon Epidot und Staurolith hinzu, dann auch, etwas seltener, Turmalin und Rutil. Akzessorisch finden sich Turmalin, Rutil, Anatas, Brookit, Titanit, Disthen, Topas, Andalusit, grüne und blaue Hornblenden, Chloritoid.

Ausser den blauen Hornblenden und dem nur spärlich vorhandenen Granat und Epidot finden sich alle aufgeführten Mineralien

in den alttertiären und mesozoischen Ablagerungen des Vogesen-Schwarzwaldgebietes und der näheren Umgebung. Trotzdem müssen wir eine Hauptmaterialzufuhr aus dem Süden annehmen, worauf reichliche Granatführung, blaue Hornblenden, Epidotgehalt, auffallende Glimmerführung, allgemeine Mächtigkeitszunahme und lithologischer Übergang von Glimmermolasse im Süden zu Cyrenenmergel im Norden hinweisen (von BAUMBERGER (1) u. a. postuliert). Diese alpine Zufuhr setzte bereits im mittleren Stampien ein, was aus der Probe von Allschwil ersichtlich ist.

2. Südlicher Jurafuss (Aarwangen):

Erstmals konstatieren wir, dass Epidot neben Erz und Granat als HG. figurieren. Mengenmässig tritt der Erzgehalt im Vergleich zu gewissen subalpinen Präparaten zurück. Zirkon und Staurolith, teilweise auch Turmalin, alle in geringeren Quantitäten als in den eben besprochenen Gebieten, bilden die NG. Als wesentliche Akzessorien verzeichnen wir Rutil, Anatas, Brookit, Titanit, Disthen, grüne und blaue Hornblenden. Ob die Differenzen zwischen diesen beiden nördlichen Stampienvorkommnissen auf gemischte Zufuhr im ersten Gebiete (Staurolith!) und reinere im zweiten zurückzuführen oder ob zeitlich auseinanderliegende Ablagerungen vorhanden sind, lässt sich vorderhand nicht entscheiden. Im Vergleich zu miocänen Ablagerungen tritt Anatas ziemlich regelmässig auf. Auffallend ist auch der Disthengehalt, ebenso das Vorkommen von Topas und Andalusit.

Vergleichen wir die subalpinen stampischen Ablagerungen mit denen des Juragebietes, so tritt uns die Schwierigkeit einer Verbindung der epidotreicheren Ablagerungen im Norden mit entsprechenden im Süden entgegen. Wir glauben nicht an die Möglichkeit einer Strömung aus dem Genferseegebiete, wo nach DÉVERIN (20) neben blauen Hornblenden auch Epidot gefunden worden ist. Naheliegender scheint uns die Möglichkeit einer Materialherkunft aus der mächtigen, und vorwiegend bunten Geröllschüttung im oberen Stampien der Blume und Hohenegg bei Thun. Es finden sich westlich des Thunerseegebietes, innerhalb zweier Nagelfluhkomplexe, eine Serie Blättermolassen, deren lithologische Beschreibung und Flora derjenigen von Aarwangen auffallend gleicht. Dazu kommt noch, dass im Westen, nach TERCIER (71), an Stelle des groben detritischen Materials mehr und mehr „des dépôts lacustres“ treten. Dieser Wechsel, und auch die Mächtigkeitszunahme der Ablagerungen von Westen her, machen den Austritt alpiner Gewässer im Gebiete von Thun wahrscheinlich.

Die Dreiecksprojektion *) zeigt für das Stampien: 1. Eine Gruppe von Proben arm an IV. Diese differenzieren sich wieder in an I + III reichere Proben (raurachische Senke etc.) und solche, die arm an I + III sind (aus dem subalpinen Gebiete). 2. Die wenigen an IV reicheren Proben stammen aus dem subjurassischen Gebiet von Aarwangen.

Tabelle 4

		Stampien																	
			Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Topas	Andalusit	Epidot	Hornbl. gew.	Hornbl. blau	Chloritoid	
A. Subalpines	a 1	■	■	■	■	■	.	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
	a 2	■	■	□	■	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	a 1	■	■	□	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
	b 1	■	■	□	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
	b 3	■	■	□	■	□	.	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
	b 4	■	■	□	■	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	f 1	■	■	■	□	□	.	.	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.
	f 2	■	■	□	■	■	.	.	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.
	g 1	■	■	□	□	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	g 2	■	■	□	□	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	g 3	■	■	.	□	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	m 1	■	■	■	■	□	.	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
m 2	■	■	□	■	□	.	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
B. Jurassisches	h 1	■	■	.	□	.	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
	h 2	■	■	□	□	.	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
	h 3	■	■	□	□	.	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
	e 2	■	■	.	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
	e 3	■	■	□	■	□	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
	e 4	■	■	□	□	.	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
	e 5	■	■	□	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
	e 6	■	■	.	■	.	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
	e 7	■	■	.	□	.	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
	e 8	■	■	.	□	.	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
	e 1	□	.	□	■	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
		■	Hauptgemengteile																
		□	Nebengemengteile																
		.	Akzessorien																

2. AQUITANIEN

Den stampischen subalpinen Ablagerungen nördlich sich anschliessend, tritt das gefaltete, limnische Aquitanien als bunte Mergel, als Mergelsandsteine, als Arkosesandsteine (granitische Mol.) und als bunte Nagelfluh auf; insbesondere östlich der Emme - Ilfislinie. Im schweizerischen Mittellande, am Südfusse

*) Fig. 9.

des Faltenjuras und in den jurassischen Tälern (— das Aquitanien fehlt aber der raurachischen Senke —) ist die Nagelfluh fast vollständig ausgekeilt. Bunte Mergel und Mergelsandsteine sind vorherrschend. In der Westschweiz werden die äquivalenten bunten Ablagerungen (= Molasse Rouge) dem Stampien zugeteilt, die Kohlenmolasse und die Molasse grise de Lausanne werden ins Aquitanien verlegt.

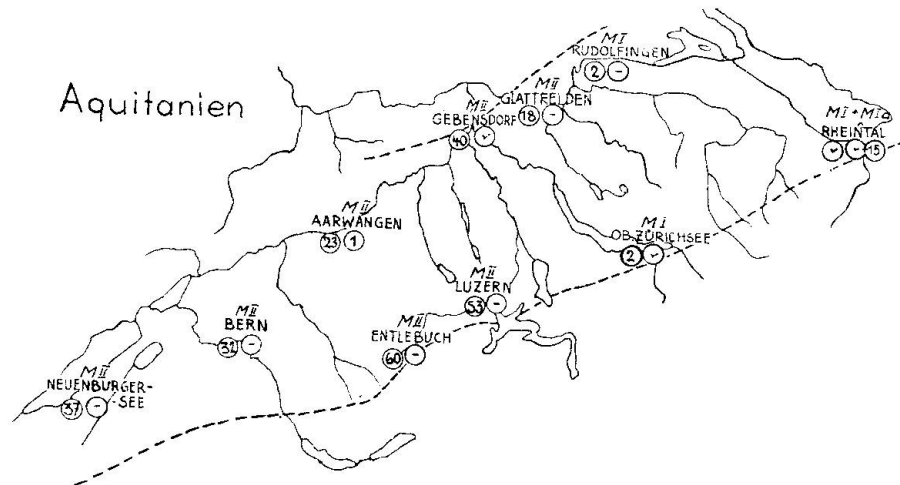


Fig. 5

Ergebnisse der Schweremineralienuntersuchung:

Allgemeines: Erz, praktisch auch Granat, figurieren als HG. Ihnen gesellt sich, allerdings etwas seltener, Epidot zu. Wichtiger NG. wird der Zirkon. Weniger häufig können wir als NG. auch Turmalin, Titanit und seltener nur Rutil, Staurolith, Granat und Epidot beobachten. Unter den Akzessorien figurieren: Turmalin, Rutil, Hornblenden, Staurolith, Chloritoid, Titanit, Brookit, Anatas, Disthen, Topas, Epidot und Augit.

Spezielles: Regional ergeben sich folgende Differenzierungen:

1. Westlich einer Linie Tössmündung-Zugersee treten als HG., ähnlich wie im Stampien von Aarwangen, Granat, Erz und Epidot auf. Als NG. figurieren vor allem Zirkon und Titanit, seltener nur Rutil und Turmalin.

2. Östlich der Linie Tössmündung-Zugersee tritt der Epidot wesentlich zurück. Neben Granat und Erz als HG. finden sich Zirkon, Turmalin, auch Staurolith und seltener Epidot. Der Erzgehalt zeigt allgemein eine grössere Streuung mit der Tendenz zur Anreicherung zwischen 30 und 40 %.

Sowohl DÉVERIN (20) wie auch GSCHWIND (36) beschreiben aus aquitanen Sedimenten blaue Hornblenden. Wir konnten sie nur in den Proben von Roggwil beobachten (deren Position allerdings noch nicht geklärt ist). Auffallend ist, ähnlich wie im nördlichen Stampien,

das vermehrte Auftreten von Titanit. Es ist möglich, dass die vielen sauren Eruptivgesteine dafür verantwortlich sind. Der Staurolithgehalt nimmt erst in dem östlichen Gebiet zu. Das Mineral wird im St. Galler Rheintal nach H. RENZ lokal HG. Auch nach den Angaben von DÉVERIN (20) scheinen grössere Mengen (assez abondant) im Westen aufzutreten. Innerhalb unseres Untersuchungsgebietes tritt Staurolith unregelmässig auf, ähnlich Disthen, Andalusit, Topas. Mengenmässig tritt Staurolith allgemein zurück, ebenso Rutil und Turmalin.

Tabelle 5

Aquitani en

		Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Topas	Andalusit	Epidot	Hornbl. gew.	Hornbl. blau	Chloritoid
a	3	■	■	□	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
b	5	■	■	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
b	7	■	■	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
c	3	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.	.
c	2	■	■	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.	.
c	1	■	■	.	□	□	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.	.
f	3	■	□	.	□	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.	.
g	4	■	■	.	□	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.	.
h	4	■	■	.	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.	.
h	5	■	■	.	□	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.	.
k	1	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.	.
k	2	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.	.
n	1	■	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.	.
n	2	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.	.
n	3	■	■	□	□	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.	.

Die im Stampien angedeutete Differenzierung in epidotärmere und epidotreichere Partien setzt sich somit im Aquitanien fort. Die letzteren treten innerhalb unseres Untersuchungsbereiches erstmals auch in alpennahen Gebieten auf. Unter den Nagelfluhkomponten erreichen die sauren Eruptiva grössere Beträge. Dazu treten Gneise im Osten wesentlich in Erscheinung (Zählung LUDWIG (44)). Zwischen dem Reichtum an roten Graniten, ihren Derivaten, den roten Feldspäten in der granitischen Molasse und dem Epidotgehalt scheint insofern kein Zusammenhang zu bestehen, als wir aus granitischen Sandsteinen sowohl epidotarme (St. Gallisches Rheintal, oberer Zürichsee), als auch epidotreiche Schweremineralienfraktionen kennen (Luzern, Bern, Entlebuch). Die Epidotbelieferung scheint somit unabhängig davon erfolgt zu sein.

Die Dreiecksprojektion (Fig. 9) ergibt für das Aquitanien eine grosse Streuung der Werte, wobei mit zunehmendem Gehalt an II (östliche Gebiete) eine Tendenz zur Vermehrung der III-Werte angedeutet ist, während bei Zunahme von IV eine Tendenz zur Anreicherung von I besteht (westliche Gebiete).

3. BURDIGALIEN UND HELVETIEN

Mit Beginn des Miocän setzen neue mächtige Schuttbeflieferungen ein, die die oligocänen an Ausdehnung weit übertreffen. Deutlicher erkennbar als im Stampien und Aquitanien stehen sie im Zusammenhange mit großtektonischen Erscheinungen im alpinen Hinterlande (STAUB (68)). Vor der Septimerdepression dehnt sich der Toggenburgerfächer aus. Vor der Maggia-Haslitalsenke bildet sich die Napfschüttung. Aus der Walliserdepression, allerdings

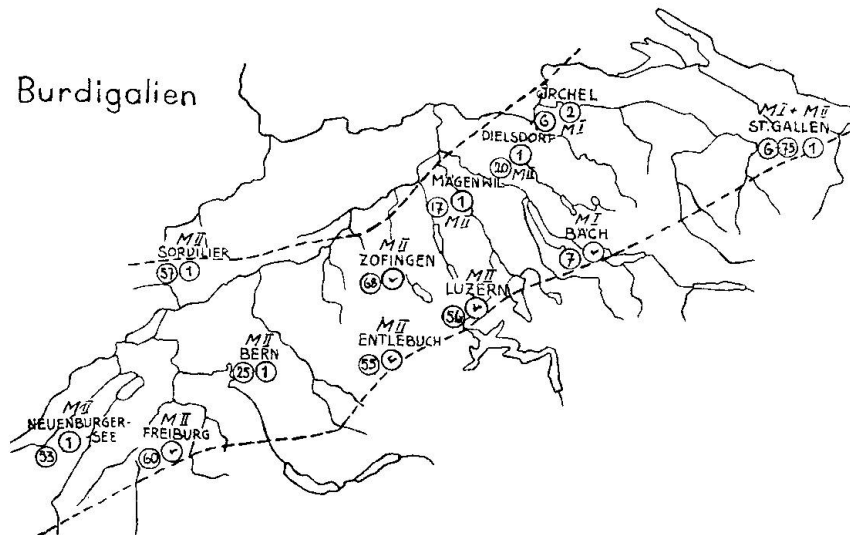


Fig. 6

zum grössten Teil verdeckt durch die Prealpen, quellen die Nagelfluhkomplexe des Guggisberg und Mont Gibloux hervor, und vor der heute weniger markant in Erscheinung tretenden Reschen-Arlbergdepression im Osten, breitet sich die miocäne Pfändernagelfluh aus. Diese, zusammen mit der Guggisberg-nagelfluh, führt vorwiegend sedimentäre Gerölle, während sich in den bedeutend mächtigeren, vor allem in den mittleren Fächern des Toggenburg und des Napf, das kristalline Element stärker bemerkbar macht. Vor den Kulminationen, sozusagen im Schatten der Schüttungen, dringen im Burdigalien Plattensandsteine und Seelaffen bis an die südlichen, aufgefalteten Ränder, während im Helvetien die blaugrauen Schiefermergel überwiegen (RUTSCH (59)). Es herrschen vorwiegend marine Verhältnisse, aber daneben treten auch grosse limnische Zwischenkomplexe auf (z. B. zwischen Jona und St. Gallen). Im Mittelland und im Juragebirge sind, besonders im Burdigalien, riffartige Komplexe von Muschelkalksandsteinen typisch, graue Sandsteine aber herrschen vor. Nagelfluhstrahlungen, zum Teil über das ganze Mittelland in wenigen Lagern ausgebreitet, treten dazu und dehnen sich im Helvetien zum Teil transgressiv nach Norden aus. Dort treten eigentliche Strandbildungen auf (Citha-

rellenkalke, Muschelagglomerate). Diese werden gelegentlich von limnischen roten Mergeln, die zur tortonischen Juranagelfluh führen, überlagert. Die Mächtigkeit von Burdigalien + Helvetien erreicht z. B. im Napfgebiet nach FROEHLICHER (30) 1300 m. Im Süden, westlich von Schangnau, taucht das Burdigalien unter die aufgeschobene oligocäne Molasse. Östlich davon streicht sie über dem Oligocän in die Luft aus. Im Mittelland ist der Westen bis an den Jurarand hin weit bewegter als der Osten, der tektonisch mehr oder weniger ungestört bleibt. Im Juragebirge endlich hat das Miocän die Faltung miterlebt.

Ergebnisse der Schweremineralienuntersuchung im Burdigalien:

Allgemeines:

Folgende Resultate ergeben sich innerhalb der burdigalen Stufe: Erz, praktisch auch Granat, bilden in den untersuchten Proben die HG., wozu häufig auch Epidot, etwas seltener Zirkon treten. Der Erzgehalt beträgt meistens zwischen 10 und 30 %. Unter den NG. figurieren vor allem Turmalin und Zirkon, etwas seltener Rutil, Staurolith, Epidot und selten nur Hornblenden, Titanit, Granat und Chloritoid. Unter den Akzessorien beobachtet man vor allem Hornblenden, Staurolith, Rutil und Chloritoid, etwas seltener Titanit, Disthen, Anatas, Turmalin und nur selten Topas, Zirkon, Andalusit und Brookit.

Spezielles:

Wiederum tritt eine Differenzierung ein; wir unterscheiden:

1. Ein westliches Gebiet, das etwa bis zur Linie Aarau-Zug reicht, mit Granat-Erz-Epidot als HG., Zirkon-Turmalin-Rutil als NG.
2. Ein östliches Mischgebiet, wo neben diesem Typus wiederum ein epidotarmer Typus einsetzt, mit Granat-Erz als HG. und Turmalin-Zirkon als NG. Nahe der Grenzlinie können diese beiden Typen bisweilen in demselben Aufschlusse beobachtet werden.

Mit grosser Regelmässigkeit und auch mengenmässig mit einem Maximum innerhalb unserer Untersuchungen erscheinen die Hornblenden im Burdigalien. Inwieweit dies mit den marinen Verhältnissen im Zusammenhang steht, insbesondere mit ihrem Gehalt an gelösten Salzen, ist noch ungeklärt. RUTSCH (60) hält allerdings marine Verhältnisse für das Helvetien als besonders typisch, während nach ihm im Burdigalien eher brackisch-limnische Verhältnisse geherrscht haben. Nun scheinen aber diese Verhältnisse in der N- und NE-Schweiz, woher ein Grossteil unserer Proben stammt, insofern verschoben zu sein, als gerade das Helvetien hier rasch aussüsst.

Die Dreiecksprojektion zeigt für das Burdigalien gleichmässige Anteile an den Gruppen I und III. Dagegen treten zwischen den an

II reicheren Gliedern (östliches Gebiet) und den an IV reicheren Gliedern (westliches Gebiet) alle Übergänge auf.

Tabelle 6

Burdigalien

		Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Topas	Andalusit	Epidot	Hornbl. gew.	Hornbl. blau	Chloritoid
a	4	■	■	□	□	.	.	.	□	.	.	.	.	□	.	.	.
b	7	■	■	□	■	.	.	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.
c	25	■	■	□	□	□	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
c	24	■	■	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
c	23	■	■	□	■	□	.	.	□	□	.	.	.	■	.	.	□
c	22	■	■	□	■	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
c	21	■	■	□	■	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
c	20	■	■	□	□	□	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
c	19	■	■	□	□	□	.	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.
c	18	■	■	□	■	□	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
c	17	■	■	□	■	□	.	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.
c	16	■	■	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
c	15	■	■	□	■	□	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
c	14	■	■	□	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
c	13	■	■	□	□	□	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
c	12	■	■	□	■	.	.	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.
c	11	■	■	.	□	□	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
c	10	■	■	□	□	□	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
c	9	■	■	□	□	□	.	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.
c	8	■	■	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	□	□	.	.
c	7	■	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
c	6	■	■	□	□	□	.	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.
c	5	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
c	4	■	■	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
f	4	■	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
g	5	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
h	6	■	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
h	7	■	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
h	8	■	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
k	3	■	■	□	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
k	4	■	■	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
k	5	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
k	6	■	■	□	□	□	.	.	.	.	.	.	.	■	□	.	.
k	7	■	■	□	□	□	.	.	□	□	.	.	.	■	.	.	.
k	8	■	■	□	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
l	10	■	■	□	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
l	11	■	■	□	□	□	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
m	3	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
n	4	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	□	□	.
n	5	■	■	.	□	.	.	.	□	□	.	.	.	■	□	.	.
n	6	■	□	□	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	□	.	.
n	7	■	■	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	■	□	.	.
n	8	■	■	.	□	.	.	.	.	.	.	.	.	■	□	.	.

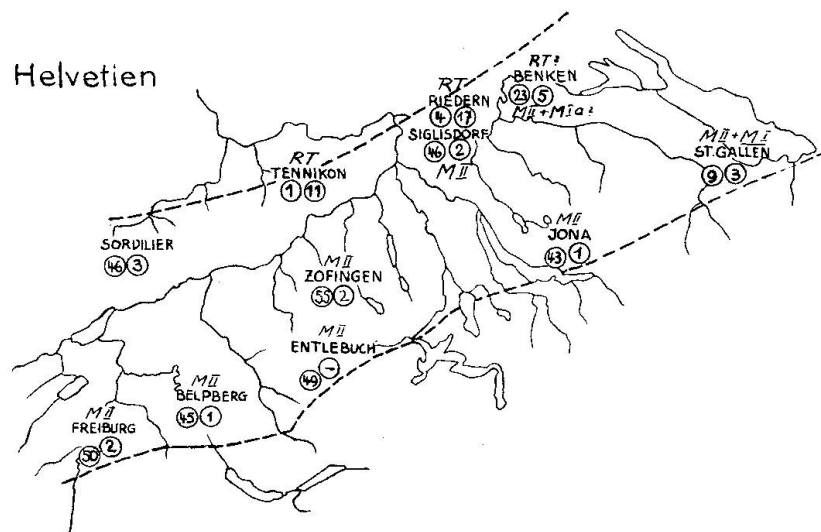
Ergebnisse der Schwermineralienuntersuchung im Helvetien:

Fig. 7

Allgemeines:

Als HG. zeigt sich vor allem Granat, sehr häufig auch Erz und Epidot. Seltener figuriert darunter auch der Staurolith und nur sporadisch trifft man auf Rutil und Titanit.

Unter den NG. treten Turmalin, Rutil, Staurolith, auch Zirkon hervor. Seltener finden sich dabei Disthen, gew. Hornblenden, Chloritoid, Topas, Andalusit und Granat.

Als Akzessorien kommen vor allem Zirkon, Chloritoid, Disthen, dann auch gew. Hornblende, Topas, Titanit, Rutil, Turmalin, etwas seltener Anatas und Brookit und nur sehr selten Epidot in Frage. In bemerkenswerter Art und Weise trennen sich einige staurolith- und zugleich erzreichere Glieder von den im übrigen mit bescheidenen Erzmengen versehenen Helvetienproben, denen aber im Vergleich zur übrigen Molasse meist etwas überdurchschnittliche Staurolithmengen zukommen.

Spezielles:

Die in den tieferen Stufen schon angedeutete Zweiteilung kehrt hier wieder. Die Grenzlinie hat sich allerdings nach Osten bis zur Töss verschoben. Östlich dieses Flusses vermindert sich der Epidotgehalt allmählich, um bei St. Gallen extrem niedrige Werte zu erreichen. KIDERLEN (39) nimmt auf Grund seiner Untersuchungen in der schwäbischen und bayrischen Molasse bei Schaffhausen die Mündung eines von Ulm herkommenden Flusses ins helvetische Meer an, dem geröllreiche Seitenflüsse in der Hegaugegend aus den Alpen

Tabelle 7

Helvetien

		Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Topas	Andalusit	Epidot	Hornbl. gew.	Hornbl. blau	Chloritoid
a	5	■	■	□	□	□			□	□				□			
b	8	■	■		□	□								■			
c	48	□	■	□		□				□				■			□
c	47	□	■			□				□				■			
c	46	■	■			□				□				■			
c	45	■	■	□						□	□			■			
c	44	■	■	□						□				■			
c	43	■	■	□						□		□	□	■			
c	42	□	■	□		□				□				■			
c	41	■	■	□		□				□				■			
c	40	■	■	□	□	□				□				■			
c	39	■	■	□	□					□				■			
c	38	■	■	□	□	□				□				■			
c	37	□	■											■			
c	36	■	■	□	□	□				□				■			
c	35	□	■		□	□								■			
c	34	■	■	□	□	□								■			
c	33	■	■	□	□									■			
c	32	■	■			□						□		■			
c	31	■	■		□					□				■			
c	30	■	■	□										■			
c	29	■	■							□				■			
c	28	■	■	□										■			
c	27	■	■							□				■			
c	26	■	■			□					□			■			
d	1	■	■			□				■				□			
d	2	■	■	□	□	■				■	□			□			
d	3	■	■			□				■	□			□			
d	4	■	■	□		□				■	□			□			
g	6	■	■	□										■			
h	9	■	■	□						□				■	□		
h	10	■	■			□								■			
i	1	■	■	□	□	□			□	■	□			□			
i	3	■	■			□				□							
i	3	■	■	□						□				□			
i	4	■	□						■	□							
k	9	■	■	□										■			
k	10	■	■	□	□									■			
k	11	■	■		□	□				□				■			
k	12	■	■	□	□	□								■			
k	13	■	■		□									■			
l	12	□	■	□		□				□				■	□		
l	13	□	■							□				■	□		
m	4	■	■	□	□	□				□				■			□

zufließen. Zu dessen Material gesellt sich solches aus der alt-tertiären und mesozoischen Bedeckung des Schwarzwald-Vogesenfusses und des Juragebirges. Die Schweremineralien-Untersuchung zeigt in Richtung dieses Mündungsgebietes und seiner Umgebung Staurolith-, Granat-, Andalusit- und Topaszunahme und Epidotabnahme.

Auch bei St. Gallen fällt ein leicht erhöhter Staurolithgehalt auf und es ist sehr wahrscheinlich, dass diese Mengen im Allgäu noch eine Steigerung erfahren.

Spezielle Verhältnisse im Helvetien zeigen Riedern (Baden, Deutschland). Erz-Granat-Staurolith sind dort HG., Rutil-Epidot-Turmalin NG. Unter den Geröllen treten die kristallinen Komponenten, alle alpiner Provenienz, zurück. Alpenwärts, schon im Lägerngebiet wo sie reichlicher vorhanden sind, sinkt der Staurolithgehalt und steigt der Epidotgehalt.

Ähnliche Verhältnisse wie in Riedern treten uns in Tennikon (Baselland) entgegen. HG. sind wiederum Erz-Granat, NG. Staurolith-Rutil-Zirkon. Neu tritt ein gelbbrauner Granat hinzu, dessen unmittelbare Herkunft wir auch aus dem sedimentären Material herleiten. Erstmals finden sich hier auch deutliche Anzeichen einer Neubildung von Titanit (in den roten Mergeln). Weitere Untersuchungen gerade in diesen küstennahen Ablagerungen sind notwendig, um genaue Herkunft dieses Materials aus den Gesteinen im Rücklande aufzuklären.

Die Dreiecksprojektion (Fig. 9) zeigt drei sich differenzierende Gruppen. Eine erste ergibt mittlere II- und IV-Werte und geringe I + III-Werte (westliches Gebiet). Die beiden andern Gruppen zeigen bei geringen IV-Werten entweder Anreicherung von II (westliche Gebiete) oder Anreicherung von I + III (Tennikon, Riedern).

4. TORTONIEN

Die durchwegs limnischen tortonischen Ablagerungen keilen an der Emmentlinie im Westen aus. Verstreute reliktsche Vorkommen im Berner- und Neuenburgerjura deuten darauf hin, dass primär eine zusammenhängende tortonische Sedimentdecke wohl bis zum Genfersee reichte. Wiederum dominieren in Alpennähe limnische Nagelfluhkonglomerate mit eingeschalteten Süßwassermergeln. Ihre Hauptzentren liegen, in Fortsetzung zu burdigalen und helvetischen Verhältnissen, vor alpin tektonischen Depressionen. Gegen Norden wechselt die Nagelfluh in Sandstein und Mergelkonglomerate. Dazu tritt noch eine Juranagelfluhschüttung aus dem Schwarzwaldgebiet. (Diese fast reine Kalknagelfluh ist bedingt durch den alpinen Paroxysmus, der im Schwarzwald eine neue Hebung und damit Erosionsperiode auslöst.) Tektonisch ergeben sich ähnliche Verhältnisse wie für das ältere Miocän.

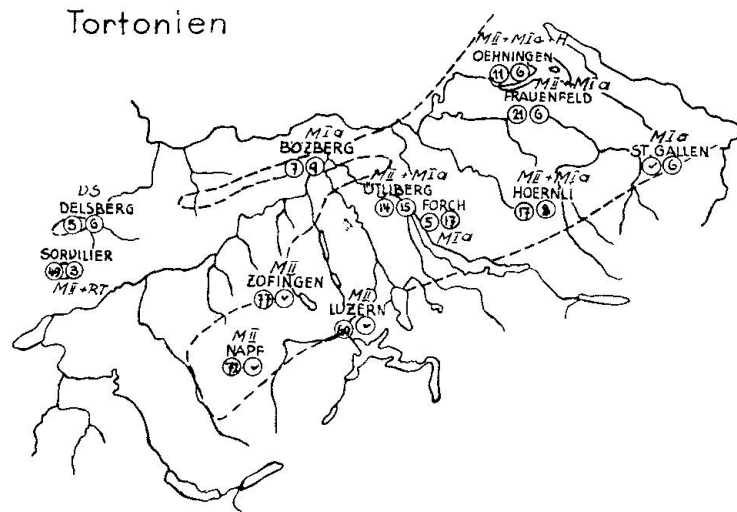


Fig. 8

Ergebnisse der Schwermineralienuntersuchung:

Allgemeines:

Wiederum erweist sich der Granat, ähnlich wie im Helvetien, als der wichtigste HG., ihm folgen Erz, auch in weiterem Abstand Epidot mit verminderter Häufigkeit. Selten nur figurieren Zirkon und Staurolith unter den HG.

Unter den NG. erhält der Staurolith grosse Bedeutung; wichtig wird auch Turmalin, Zirkon, Rutil und Epidot, während der Disthen zurücktritt.

Als Akzessorien bemerkt man Titanit, Disthen, Turmalin, Rutil, auch Chloritoid.

Der Erzgehalt weist eine grosse Streuung auf. Der Epidot tritt zumeist gegenüber dem Granat zurück.

Spezielles:

Auffallend differenzieren sich Toggenburger- und Napffächer. Im Toggenburger-Schüttungsgebiet sind Granat-Erz HG., Staurolith-Zirkon-Rutil-Epidot NG. Gelegentlich treten sowohl Staurolith, (Abtwiler Kalknagelfluh) wie auch Epidot (im Westen) als HG. auf. Mit zunehmender Entfernung vom Nagelfluhfächer beobachten wir auch eine Abnahme an Erz und Epidot und eine Zunahme an Granat, worauf besonders GEIGER (32) hingewiesen hat.

Im Hegau einbruchsgebiet beeinflusst der lokale Vulkanismus einen Teil der tortonischen Ablagerungen durch vermehrte Hornblenden- und Biotitzufuhr. Gerade hier wird eine detaillierte Untersuchung für Altersfolgen und für die Reichweite des vulkanischen Einflusses von grossem Interesse sein.

Tabelle 8

Tortonien

		Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Topas	Andalusit	Epidot	Hornbl. gew.	Hornbl. blau	Chloritoid
a	6	■	■	□	■	□	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
a	7	■	■	□	■	□	.	.	.	□	.	.	.	.	.	.	.
b	10	■	■	□	□	.	.	.	.	■	.	.	.	■	.	.	.
b	9	■	■	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
e	2	■	■	.	□	□	.	.	.	■	.	.	.	■	.	.	.
e	3	■	■	.	□	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
e	4	■	■	□	.	□	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
e	5	■	■	□	.	.	.	.	.	□	□	.	.	□	.	.	.
e	6	□	■	.	□	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
e	7	□	■	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.	■	□	.	.
e	8	■	■	□	.	□	.	.	.	□	.	.	.	■	□	.	.
e	9	■	■	□	.	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
e	10	■	■	.	□	.	.	.	.	□	.	.	.	■	.	.	.
f	6	■	■	□	□	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
g	7	■	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
h	11	□	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
h	12	■	■	.	□	□	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
h	13	□	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	□	.	.
l	14	□	■	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	■	.	.	.
l	15	□	■	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.	■	□	.	.
l	16	■	■	.	.	.	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.
e	1	■	■	□	□	□	.	.	.	□	.	.	.	□	.	.	.

Im Napf schüttungsgebiet wird neben dem Granat, der etwas zurücktritt, vor allem Epidot wichtig und erreicht gelegentlich maximale Beträge. Als NG. figurieren Erz, Zirkon, Rutil. Der Staurolith verliert vollständig an Bedeutung.

Die tortonischen Ablagerungen im Bernerjura (Sorvilier) gehören zum Bereich des Napffächers. Dazu kommt eine leichte Beeinflussung durch autochthones Material.

Im Delsbergerbecken macht sich der Vogeseneinfluss mit seinem Sedimentmantel geltend durch Häufung von Erz und Granat und Rückgang an Epidot. Der Staurolith ist wieder wichtiger geworden.

Toggenburger- und Napfeinfluss berühren sich auf der Linie Aarau-Zugersee.

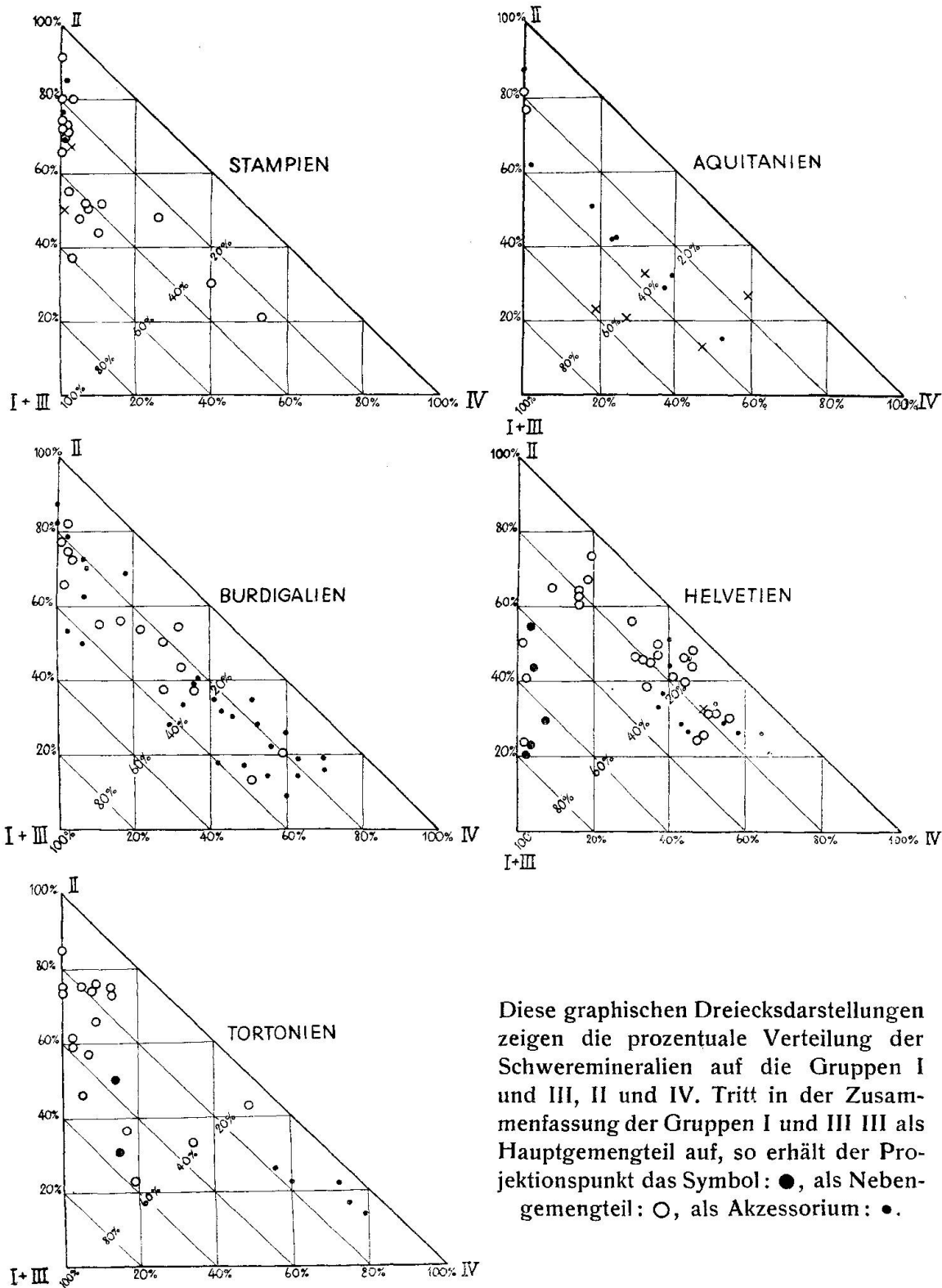
Im Osten, im Pfänderfächer bei Bregenz, herrscht Kalknagelfluh vor. Im Toggenburgerfächer steigert sich der kristalline Anteil. Daneben aber existieren dort noch sedimentreichere Komplexe, die 500 m über der Grenzzone Helvetien-Tortonien liegen. Im Hörnli-gebiet sollen nach CADISCH (13) in den oberen Lagen nur noch

wenige Prozente kristalliner Komponenten vorliegen. Dominierender wird der kristalline Anteil im Napfgebiet. Allerdings konstatierte hier LIECHTI (42) eine Abnahme der roten und grünen Granite vom Burdigalien zum Tortonien und eine Zunahme der gelben Flysch-sandkalke, der Kalke und Dolomite. Doch wirkt sich dies im Vergleich mit anderen Gebieten nur unwesentlich aus. In allen Stufen sind Quarzite wichtig. Im Guggisbergerfächer erhält die Kalknagelfluh wieder vermehrte Bedeutung. Nach RUTSCH (59) auch am Belpberg, während weiter im Westen am Mont Gibloux, Montevraz und Combert die bunte Nagelfluh erneut auftritt.

Die graphische Darstellung (Fig. 9) zeigt eine grössere Streuung der Projektionspunkte, wobei die an IV reicheren Glieder (Napf-fächer) arm an I + III sind, während bei Zunahme von II eine Zunahme von I + III zu spüren ist (Toggenburgerfächer).

5. PONTIEN

Ganz ähnlich wie das Tortonien im Delsbergerbecken verhält sich das Pontien. Allerdings steigt der Epidotgehalt etwas an und dieses Mineral wird mit Erz-Granat HG. Staurolith-Zirkon-Turmalin sind NG. Die Zufuhr aus den Vogesen, vermischt mit aufgearbeitetem tertiärem und mesozoischem Material, ist für diese Zusammensetzung verantwortlich.



Diese graphischen Dreiecksdarstellungen zeigen die prozentuale Verteilung der Schwerminerale auf die Gruppen I und III, II und IV. Tritt in der Zusammenfassung der Gruppen I und III III als Hauptgemengteil auf, so erhält der Projektionspunkt das Symbol: ●, als Nebengemengteil: ○, als Akzessorium: •.

Fig. 9

VII. Petrographische Provinzen in der Molasse

Das vorhergehende Kapitel, das der Besprechung der einzelnen Tertiärstufen innerhalb der Molasse gewidmet war, hat uns auf gewisse Gesetzmässigkeiten in der Verteilung der Schwermineralien dieser Ablagerung hingewiesen. Wir konnten vor allem eine weitgehende Monotonie innerhalb der Schwermineralien-Kombination konstatieren. Wir erkennen darin die Bestätigung einer Ansicht, die bereits aus geologischen, chemischen und auch petrographischen Untersuchungen gefolgert werden konnte (Orogene Provinz). Wir haben allerdings in der Einleitung von der Möglichkeit gesprochen, dass auch in der Molasse schwere Mineralien zu korrelativen Zwecken Verwendung finden könnten, d. h. wir wollten untersuchen, ob für einzelne Stufen typische Mineralkombinationen an Stelle von Leitfossilien zur Charakterisierung benutzt werden können.

Unsere Untersuchungen haben wohl eindeutig gezeigt, dass eine solche Differenzierung nach schweren Mineralien innerhalb der Molasse nicht zu finden ist, dass vielmehr ähnliche Mineralkombinationen sich über mehrere Stufen und auch über weiträumige Gebiete erstrecken.

Diese Gleichförmigkeit innerhalb der Schwermineralien-Kombination steht im Zusammenhang mit den allgemeinen lithologischen Verhältnissen in der Molasse. Die rhythmische Wiederholung ähnlicher Gesteinsserien, etwa als Mergel-Sandstein-Nagelfluh in der Molasse, steht im Zusammenhang mit gebirgsbildenden Vorgängen. Deckenschübe und damit verbundene Erosion ausgedehnter, petrographisch ähnlicher, Gesteinsserien im Rückland, aber auch Auffaltung und nachträgliche Erosion älterer Molasseablagerungen und Emersionserscheinungen gehören zu den Ursachen, die ein so wenig variierendes Material liefern. Diese Gleichförmigkeit in der Ausbildung und im chemisch-petrographischen Aufbau ist eine prägnante Eigenschaft orogener Sedimente.

NIGGLI hat 1920 magmatische, metamorphe und auch sedimentäre Gesteinsassoziationen, die unter ähnlichen physikalischen und physikalisch-chemischen Bedingungen entstanden sind, als verwandt bezeichnet und sie zu sogenannten petrographischen Provinzen vereinigt.

EDELMANN (24, 25) griff in jüngerer Zeit diese provinzielle Betrachtungsweise wieder auf und definierte die petrographische Pro-

vinz als Einheit in Bezug auf Alter, Herkunft und Verbreitung. Die Gesamtheit der orogenen Ablagerungen im schweizerischen Mittelland, bis über das Jura Gebirge hinaus, stellt eine solche Einheit, eine sedimentpetrographische Provinz, dar. Wir können sie hier, von der schlämmanalytischen Untersuchung abgesehen, lediglich vom Schwermineraliengehalt aus beurteilen. Dieser steht aber in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Gesamtmineralbestand, so dass wir mit seiner Hilfe Schlüsse auf die allgemeine Entwicklung der Molasseprovinz ziehen dürfen.

Trotz alledem bestehen innerhalb der Monotonie unserer Schwermineralien-Kombinationen gewisse vertikale und auch gewisse horizontale Sonderungen. Ähnlich, wie etwa bei den magmatischen Provinzen, bilden sich innerhalb der sedimentären Ablagerungen seriale Entwicklungen, die auf veränderte Bedingungen zurückzuführen sind. Im Folgenden sollen die sedimentäre Molasseprovinz und anhangsweise die nördlichen Einstrahlungen neuer Provinzen eine kurze Charakteristik erfahren. Ihre Verbreitung geht aus dem beigegebenen Übersichtskärtchen hervor.

Voralpine Molasseprovinz (M-Provinz)

M I. *Allgemeines:* Vorherrschen von Gruppe I und II.

Spezielles: Granat, Erz (event. Zirkon-Rutil-Turmalin) Hauptgemengteile.

Verbreitung: Hauptsächlich subalpines Stampien, ferner östliches Aquitanien und Miocän.

Herkunft: Sedimentäres und kristallines Material der ostalpinen Decken.

M I a. *Allgemeines:* Vorherrschen der Gruppe I und II, neu tritt III hinzu.

Spezielles: Granat-Erz-Staurolith Hauptgemengteile.

Verbreitung: In ziemlich reiner Ausbildung im Aquitanien von Berneck, in den östlichen Teilen des tortonischen Toggenburgerfächers. Vielleicht auch im Helvetien des nördlichen Kt. Zürich mitbeteiligt.

Herkunft: Ostalpine Decken. Genaue Herkunft noch fraglich.

M II. *Allgemeines:* Vorherrschen der Gruppe IV, II und I.

Spezielles: Epidot-Granat-Erz Hauptgemengteile.

Verbreitung: Jurassisches Stampien, westliches Aquitanien und Miocän.

Herkunft: Penninische und ostalpine Decken.

Zwischen diesen drei Typen der gleichen Gesamtprovinz existieren, namentlich in horizontaler Beziehung, deutlich erkennbare Interferenzerscheinungen.

Beispiele: Im Burdigalien findet sich zwischen der Linie Aarau-Zugersee und dem St. Gallischen Rheintal ein Mischgebiet von M I und M II, dem Abtrag rein ostalpinen Materials gesellen sich mehr und mehr auch penninische Elemente zu.

Im tortonischen Toggenburgerfächer kommen M I a und M II zur Interferenz, wobei gegen Osten der Einfluss von M II allmählich zurückzutreten scheint.

Fremde provinzielle Einstrahlungen:

In gewissen Ablagerungen an der Nordküste des Molassebeckens wurden Interferenzen mit Materialien beobachtet, die der eigentlichen alpinen Molasse fremd sind. Da diese nicht alpiner Herkunft sind, sondern aus Gebieten stammen, die nur im Zusammenhang mit alpinen Vorlandsbewegungen von mehr epirogenem Charakter zur Erosion gelangten, ist die Berechtigung zur Bildung neuer provinzieller Einheiten gegeben.

R-T Provinz

Allgemeines: Vorherrschen der Gruppe III, I und II.

Spezielles: Staurolith-Erz-Rutil Hauptgemengteile.

Verbreitung: Helvetien von Riedern und Tennikon (Einfluss am klarsten). Wahrscheinlich auch im Stampien des Jura-gebietes, im Tortonien und Pontien des Delsbergerbeckens.

Helvetien im nördlichen Kt. Zürich (fraglich).

Herkunft: Ältere Sedimente der Molassenordküste.

V-Provinz

Allgemeines: Vorherrschen der Gruppen I und II.

Spezielles: Erz und Zirkon treten stärker hervor.

Verbreitung: Tortonien und Pontien des Delsbergerbeckens.

Herkunft: Kristallines Material der Vogesen.

H-Provinz

Allgemeines: Hervortreten der Gruppe IV.

Spezielles: Hornblenden (Biotit) wichtig.

Verbreitung: Tortonien im Hegau.

Herkunft: Tertiäre Eruptionen im Hegau.

VIII. Vergleich der Schwermineralien-Kombinationen der Molasse mit der anderer sedimentärer Ablagerungen

A. STRATIGRAPHISCH ÄLTERE ABLAGERUNGEN IN DER SCHWEIZ.

1. Alpen

a) Flysch:

Sowohl LIECHTI (41) wie SCHNEEBERGER (66) beschreiben aus der Gegend des Thunersee hauptsächlich umlagerungs- und herkunfts-unempfindliche Mineralien, d. h. solche der Gruppe II (Zirkon-Turmalin-Rutil als Hauptgemengteile, wozu noch Leukoxen treten kann). In geringen Mengen finden sich auch Magnetit, Ilmenit, Anatas und Kassiterit. LIECHTI (41) weist darauf hin, dass als „distributive Provinz“ Sedimente in Frage kommen, worauf Mineralkombination, Abrollungsgrad und geringe Grösse hinweisen sollen. Gegenüber der Molasse, insbesondere dem subalpinen Stampien, zu dem gewisse lithologische Beziehungen bestehen — FROEHLICHER hat darauf hingewiesen —, ist das vollständige Ausbleiben der Mineralien der Gruppen III und IV, dann aber auch des Granates aus der Gruppe II auffallend. Wir vermuten, dass weder die ostalpinen noch die penninischen Decken im petrographischen Herkunftsgebiet vorhanden waren oder zum Abtrag gelangten. Ein näheres Studium gerade der Beziehungen von stampischer Molasse zu helvetischem Flysch auf sedimentpetrographischem Wege könnte die von FROEHLICHER (30) angeregte Parallelisierung Rupélieu - Dachschiefer (Flysch) klären. Der sog. Taveyannazsandstein, von obereocänem—unteroligocänem Alter, ist dem helvetischen tertiären Flysch vom Rheintal bis in die Dauphiné eingeschaltet, allerdings nur in seinem nördlichen Faciesbereiche. Nach DE QUERVAIN (54) handelt es sich um die klastisch sedimentären Ablagerungen eines Ergussgesteines von dioritischem Chemismus, denen untergeordnet auch Trümmer von Tiefen- und Sedimentgesteinen zugesellt sind. Nach Dünnschliffuntersuchungen von DE QUERVAIN (54) dürften folgende Schwermineralien zu erwarten sein: Augit, Hornblenden, Magnetit, Apatit, event. Olivin, Epidot, Klinozoisit, Leukoxen, Rutil, Pyrit, Titanit, Zirkon, Turmalin, Granat.

Der Einfluss tuffogenen Materials, der im Tortonien in der Umgebung der Hegauvulkane nur schwach angedeutet ist, findet hier seine bedeutenderen Vorläufer. Die normale Flyschschwermineralien-Kombination wird plötzlich durch eine Reihe anderer Mineralien gestört, unter denen insbesondere die transport- und herkunfts-unempfindlichen Glieder der Gruppe IV (Hornblenden und Augite) eine grosse Rolle spielen.

Näher den einsetzenden orogenen Bewegungen im penninischen Geosynklinalgebiet, südlich dem ultrahelvetischen Wildflysch, kommt der penninische Niesenflysch zur Ablagerung. DE RAAF (56) hat unter seinen exotischen Geröllen eine Reihe Gesteine penninischer Herkunft genannt und nach ALB. HEIM (37, p. 588) haben Schüler von LUGEON in diesen Sedimenten auch Glaukophan gefunden. Wahrscheinlich gehört auch der von DÉVERIN (20) beschriebene Flysch von Ormont (Kt. Waadt) hierzu. Er beschreibt dort als HG. Turmalin und Zirkon, wozu in einer Probe auch Magnetit kommt; Rutil, Brookit, Chloritoid, Hornblenden, Glaukophan, Augit, Tremolit, Disthen, Anatas treten ferner noch hinzu. Wiederum fällt das Fehlen von Granat aus der Gruppe II, auch des Staurolithes aus der Gruppe III gegenüber den stampischen Ablagerungen auf. Von Interesse sind, da sie wohl im Zusammenhange mit der penninischen orogenen Tätigkeit stehen, die Glieder der Gruppe IV: Epidot und Hornblenden.

b) Helvetische Kreide:

Ganz dieselbe Kombination wie im helvetischen Flysch (die Monotonie erscheint eher noch prononzierter) zeigen nach LIECHTI (41) und SCHNEEBERGER (66) die helvetischen cretacischen Ablagerungen im Thunerseegebiet.

Im wesentlichen scheint die Kombination der Glieder der Gruppe II (Zirkon, Rutil, Turmalin) in der helvetischen Kreide über grosse Gebiete führend zu sein.

Nach DÉVERIN (21) trifft man sie, mit Anatas und Brookit zusammen, auch in den Alpes maritimes Südwestfrankreichs. Als Nebengemengteil kommt dort gelegentlich noch Staurolith hinzu und sporadisch werden Granat, Epidot, Hornblenden, Glaukophan, Augit, Beryll genannt.

Aus der mittleren helvetischen Kreide zwischen St. Gallischem Rheintal und Reuss, besonders aus den abbauwürdigen Sandsteinen und Echinodermenbreccien der Gargasienstufe, nennt DE QUERVAIN (55) als HG. Zirkon, Turmalin, Rutil. Daneben finden sich vereinzelt Magnetit, Granat, Apatit; auch grüne Hornblenden werden erwähnt. Wiederum sind es die schon erwähnten Glieder der Gruppe II, die dank ihrer grossen Stabilität hervortreten.

Die grosse Monotonie in der Schweremineralien-Kombination, als Kennzeichen orogener Entstehung, scheint sich auch im helvetischen Flysch und andeutungsweise bereits in der helvetischen Kreide wiederzufinden. Inwieweit das auch für den penninischen Flysch oder gar für die Bündnerschiefer Geltung hat, kann vorerst nicht angegeben werden.

2. Juragebirge

Die meisten uns bekannten Schwermineralien-Kombinationen aus den Sedimenten im Norden des Molassebeckens wurden bereits bei der Besprechung der Herkunftsverhältnisse des Staurolithes erwähnt (siehe Seite 224). Gerade durch das wesentliche Hinzutreten der Glieder der Gruppe III (Staurolith, Disthen, Andalusit, Topas) unterscheiden sich diese Ablagerungen (insbesondere die cretäischen) von den äquivalenten Sedimenten des Helvetikums und deuten damit auf eine andere Herkunft eines Teils des detritischen Materials hin. Ausserdem scheint diesen epirogen entstandenen Ablagerungen eine grössere Kombinationsvariabilität eigen zu sein. Ein Studium der Schwermineralien dieser Sedimente scheint recht interessante Resultate, besonders im Zusammenhange mit den Untersuchungen von CAYEUX (15), zu ergeben. Ähnlich wie in den entsprechenden Sedimenten im Helvetikum bleiben Zirkon, Rutil und Turmalin mengenmässig wichtige Mineralien, während sowohl Granat, wie auch alle Glieder der Gruppe IV, praktisch fehlen.

Erst in der Trias (Stubensandstein. Keuper. Beggingen, Kt. Schaffhausen) kommt der Granat wieder zur Bedeutung und tritt neben Zirkon, Erz, Turmalin als Hauptgemengteil auf, zusammen mit dem akzessorischen Rutil und Anatas. Auffällig ist die regelmässige Ätzung der Granate, wie wir das in der Molasse nur vereinzelt, am häufigsten noch im subalpinen Stampien vorfinden (Entlebuch).

B. STRATIGRAPHISCH JÜNGERE ABLAGERUNGEN

a) *Diluvium*:

Eine Probe aus einer Sandlinse aus dem älteren Deckenschotter (Irchel, Kt. Zürich); nach BECK (4) Pliocän, zeigt im Vergleich zur Molasse in ihrer Schwermineralien-Kombination ein stärkeres Hervortreten der Gruppe IV. Wir finden als Hauptgemengteile Granat-Epidot-Erz-Hornblenden, als Nebengemengteile Turmalin-Rutil-Zirkon und als Akzessorien Staurolith-Disthen-blaue Hornblenden-Chloritoid-Andalusit-Titanit. Ähnliche Resultate ergaben auch Untersuchungen an jüngeren Schottern desselben Gebietes. Gegenüber den Molassesedimenten scheint das stärkere Hervortreten der Hornblenden wesentlich. Folgendes mögen die Ursachen für dieses unterschiedliche Verhalten sein:

1. Primär häufigeres Auftreten im diluvialen Schutt. Die diluvialen und auch die quartären Ablagerungen im schweizerischen Mittellande weisen bedeutende Mengen Hornblende-führender Gesteine auf. Neben Dioriten und Hornblendegneisen finden sich vor allem

häufig Amphibolite. Die letzten fehlen nach FRÜH, LUDWIG, FROEHLICHER, LIECHTI usw. der tertiären Nagelfluh fast vollständig. Nur R. FREY (29) erwähnt ein Exemplar aus der helvetischen Nagelfluh von Hüntwangen, und MUHEIM (43) nennt einen Fund in der stam-pischen Bausteinzone im Allgäu. Dies ist umso auffälliger, als in den heute noch anstehenden oberostalpinen Deckenkernen (Silvretta-decke, etwa nach STRECKEISEN) (72) Amphibolite häufig auftreten.

2. Klimatische Konservierung: Sowohl Loslösung vom Anstehenden, wie auch Haupttransport fanden bei den diluvialen Ablagerungen unter nivalen Klimabedingungen statt, wodurch die chemische Verwitterung auf ein Minimum beschränkt blieb.

Bei Berücksichtigung dieser Umstände besteht die Möglichkeit der Trennung diluvialer und tertiärer Ablagerungen auf sediment-petrographischem Wege, in Fällen, wo eine andere Lösung nicht möglich ist.

Erstaunlich gering bleibt der quantitative Unterschied zwischen diluvialen und tertiären Schweremineralien-Kombinationen. Von den Derivaten der Zentralmassive und der helvetischen Decken, die sich im Geröllbestand so deutlich und zahlreich herausheben und damit die relativ einfache Unterscheidung tertiärer und diluvialer Psephite erlauben, ist kaum etwas zu spüren. Nur die Hornblenden treten, wie oben erwähnt, etwas stärker hervor. Es ist aber möglich, dass bei genaueren Untersuchungen sich Unterschiede qualitativer Art zeigen. Wenigstens konnten wir eine Differenzierung unter den Hornblenden konstatieren.

b) Rezente Ablagerungen:

BURRI (8) findet im alpinen Teil des Tessinflusses folgende Mineralien, deren Herkunft er grosso modo bestimmen konnte: Magnetit, Turmalin, Zirkon, Rutil, Apatit, Titanit, Staurolith, Disthen, Epidot, gewöhnliche Hornblenden, Aktinolith, Sillimanit. Unter den magnetischen Schweremineralienkomponenten scheinen die blaugrünen Hornblenden aus der Pioramulde und der Tremolaserie in den obersten Flussgebieten vorzuwiegen, während in den tieferen Partien vor allem der Granat zum Hauptgemengteil wird. Oberhalb der Einmündung in den Lago maggiore kommen auch Magnetit und Turmalin zu einiger Bedeutung. Der Staurolith, dem als Nebengemengteil eine gewisse Rolle zukommt, stammt aus der Pioramulde. Über die unmagnetischen Schweremineralien sind keine Angaben quantitativer Art vorhanden.

Im Vergleich zur Molasse fällt die Abwesenheit der blauen Hornblenden vom Typus der Glaukophan-Crossit-Reihe auf. Die penninischen Ophiolite, insbesondere auch die glaukophanführenden Glieder, spielen im Einzugsgebiete des Tessinflusses keine grosse Rolle. Dies zeigt auch das Zurücktreten des Epidot-Zoisitgehaltes. Andalusit und Topas, die wir in der Molasse oft mit Staurolith zusammen kombiniert vorfinden, fehlen. Sie treten anstehend vor allem in den ostalpinen Deckenkernen (Silvrettadecke) und im Gebiete der Wurzelzone auf. Auch der Chloritoid wird nicht erwähnt, trotzdem er, wenn auch seltener, in der Pioramulde und auch in der Tambodecke nachgewiesen wurde (KRIEGE (70)). Ebenso bleiben im Vergleich zu unseren Molasseuntersuchungen Anatas und Brookit unerwähnt; ferner die grünen Spinelle.

Sedimentpetrographische Untersuchungen an rezenten Ablagerungen der Saane, ausgeführt im Min.-Petr. Institut der Universität Freiburg i. Ue., Schweiz, sind bis jetzt nicht publiziert worden und konnten deshalb noch nicht zu Vergleichszwecken herangezogen werden.

C. SCHWEREMINERALIENGehALT UND ALPINE OROGENESE

Wenn wir die Entwicklung im Schweremineralienbestand der Sedimente von der helvetischen Kreide bis zu den diluvialen Ablagerungen verfolgen, so gibt uns dies gewissermassen ein, allerdings etwas verzerrtes, Abbild der orogenen und zugleich erosiven Tätigkeit im alpinen Hinterlande.

1. Kreide und Alttertiär

Zur Kreide- und Alttertiärzeit (Flysch) kommen im helvetischen Sedimentationsgebiet hauptsächlich Sedimente, vielleicht auch saure Eruptivgesteine als detritisches Ausgangsmaterial in Frage. Orogene, kristalline Elemente sind in ihrem petrographischen Herkunftsgebiet kaum zur Erosion gelangt. Sie lagen entweder noch in der Tiefe oder die Orogenese hatte sie noch nicht so weit nach Norden vorgeschoben.

Nur der eingeschaltete helvetische Taveyannazsandstein weist auf eruptive Vorgänge hin, deren genaue Lokalisierung bis heute immer noch aussteht. Doch steht dieser Vulkanismus sicherlich mit der alpinen Orogenese im Zusammenhang.

Der penninische Flysch hingegen deutet durch seine detritischen Mineralien aus kontakt- und dislokationsmetamorphen Gesteinen auf die kräftig einsetzende Orogenese im penninischen Geantiklinalgebiete hin, die wahrscheinlich unmittelbar von einer Erosion ge-

folgt war. Ein Grossteil der penninischen Metamorphose muss demnach vortertiär erfolgt sein.

Tabelle 9

Vergleich mit andern Sedimenten in der Schweiz

	Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Andalusit	Topas	Epidot	Hornbl. gew.	Hornbl. blau	Augit	Chloritoid
Mittlere Kreide (Jurageb.)	■	.	■	■	□	.	.	.	■	□
Huppererde Eocän (Jura)	□	.	■	■	■	.	.	.	□	□
Meeressand Unt. Stampien	□	.	□	■	■
Helv. Kreide Thunersee	.	.	□	■	■
Flysch vom Thunersee	□	.	■	■	■
Taveyannazsandstein	□	.	□	.
Penn. Flysch (Ormont)	■	.	■	■	□
Subalp. Stampien	■	■	□	■	□	.	.	.	□
Jurass. Stampien	■	■	□	□	□	.	.	.	□	.	.	.	■
Aquitaniën	■	■	.	□	■
Burdigalien	■	■	.	■	■
Helvetien	■	■	□	□	.	.	.	■
Tortonien	■	■	.	□	□	.	.	.	■
Pontien	■	■	□	□	□	.	.	.	■
Diluvium	■	■	□	□	■	■	.	.	.

Molasse

Das subalpine Stampien weist in seinem Schwermineralien-Bestand hauptsächlich auf ostalpines Material hin, das von der alpinen Metamorphose kaum erfasst worden ist. Diese ostalpinen Decken müssen somit zu Beginn des Stampien in das Einzugsgebiet der Flüsse gelangt sein. Aber schon deutet die Anhäufung von Mineralien der Gruppe IV — besonders im jurassischen Oberstampien, aber wahrscheinlich auch im Stampien der Blume bei Thun und am Mont Gibloux — darauf hin, dass die Erosion bereits penninische Elemente, allerdings nur in kleinem Ausmasse, ergriffen hat. Diese werden im Aquitaniën mehr und mehr freigelegt. Bis an den Zugersee finden wir von Westen her ihre Derivate in den Schwermineralien-Kombinationen angehäuft.

Im Miocän, besonders im Burdigalien, gelangen auch im Einzugsgebiet des Rheines penninische Einheiten zur Erosion. Diese fortschreitende Abtragung tieferer Einheiten von Westen nach Osten dürfte im Zusammenhang stehen mit einer, in dieser Richtung mehr

und mehr fortschreitenden, axialen Erhebung. Im oberen Miocän beginnt der Einfluss des penninischen Materiales im Toggenburgerfächer wieder zu schwinden. Ein erneuter Vorstoss ostalpiner Elemente scheint hier zur Auswirkung zu gelangen.

Diluvium

Die Aufwölbung und Erosion der Zentralmassive und der helvetischen Decken scheint sich im Schweremineralien-Bestand kaum wiederzuspiegeln. Vielleicht werden eingehendere Untersuchungen hier noch deutlichere Einflüsse feststellen.

D. NICHTSCHWEIZERISCHE TERTIÄRE ABLAGERUNGEN

a) Oberitalien

Für das Miocän nennt CHELUSSI (16) folgende Schweremineralien: Magnetit, Ilmenit, Granat, Turmalin, Zirkon, Rutil, Titanit, Staurolith, Disthen, Andalusit, Epidot, Zoisit, gewöhnliche Hornblenden, blaue Hornblenden, Chloritoid.

Blaue Hornblenden, Chloritoid, Staurolith, Disthen sollen für das Tortonien und Helvetien leitend sein und den übrigen Stufen meistens fehlen (Ausnahme: Blaue Hornblenden nach SALMOIRAGHI (erwähnt von CHELUSSI (16)) bei Triest, Staurolith im Eocänkalk von Ternate bei Como). Strömungen aus W. und NW. sollen diese Mineralien aus den Westalpen hergeleitet haben.

Eine von uns untersuchte burdigale Probe vom Stadthügel in Schio zeigt folgende Zusammensetzung:

Granat-Zirkon-Erz = Hauptgemengteile.

Rutil-Staurolith = Nebengemengteile.

Epidot-Hornblende-Titanit-Turmalin - Anatas - Chloritoid = Akzessorien.

Dieselbe Stufe aus dem inneralpinen tertiären Becken von Belluno weist folgende Mineralien auf:

Granat-Erz-Rutil-Zirkon = Hauptgemengteile.

Turmalin = Nebengemengteil.

Chloritoid-Brookit-Staurolith-Epidot = Akzessorien.

Diese Proben gleichen in ihrer Kombination sehr unserer Molasseprovinz M I. Ostalpine und dinarische Einheiten mögen für die Materialbelieferung verantwortlich sein.

In Ablagerungen des Helvetien scheinen nach CHELUSSI (16) Epidot, blaue Hornblenden, Staurolith und Disthen numerisch stärker hervortreten, dafür Granat, auch Zirkon, Turmalin und Rutil mehr und mehr zurückzutreten. Die analogen Kombinationen in den nord-

alpinen Molasseablagerungen sind noch nicht bekannt. Sie dürften aber gewisse Verwandtschaften mit M II aufweisen, und wiederum sind wahrscheinlich als Ausgangsmaterialien penninische Elemente mitbeteiligt.

Interessant ist auch eine Beschreibung der tertiären Nagelfluhmassen aus der Umgebung von Turin (Superga usw.) von CHELUSSI (17). Schon erstaunlich früh in der alpinen Orogenese werden Glaukophangesteine erwähnt:

- Oberes Eocän (selten).
- Zwischen Bartonien und Tongrien (selten).
- Tongrien (sehr häufig und charakteristisch).
- Aquitaniien (selten bis häufig).
- Helvetien (häufig bis selten).

Auch die Serpentine werden bereits im Bartonien als häufig beschrieben und erreichen im Helvetien ihr Maximum („frequentissimo“).

Diese Beobachtungen sprechen für eine sehr frühe Blosslegung penninischer Einheiten und für deren teilweise sicherlich vortertiäre Metamorphose.

Um so erstaunlicher ist es, dass aus den eocänen und oligocänen Sanden und Sandsteinen nur Granat, Turmalin, Zirkon, gewöhnliche Hornblenden beschrieben werden, und dass die blauen Hornblenden erst im Helvetien und Tortonien, dann aber sofort als Leitminerale auftreten.

b) Leipziger Becken

Die Monotonie der spätorogenen Molasseablagerungen kommt deutlich zum Ausdruck, wenn wir ein epirogen entstandenes Ablagerungsgebiet zum Vergleich heranziehen.

Zur Verfügung standen uns einige Körnerpräparate mit vergleichendem Text von M. ROST (57) aus dem Leipziger Tertiär. Das Eocän weist im Depressionsgebiet der Leipzigerbucht limnische autochthone Braunkohlenlager auf, die von einzelnen limnisch-terrestrischen Ton-Sand-Kieslagern durchzogen werden. Bei einer Totalmächtigkeit des Eocäns von 22 m, kommt diesen Zwischenbildungen eine solche von 10 m zu.

Die Schwerminerale-Kombination zeigt nach den in unserem Sinne umgerechneten Zählungen von ROST (57) folgende Zusammensetzung:

- Hauptgemengteile: Turmalin-Erz-Topas-Zirkon-Rutil-Anatas.
- Nebengemengteile: Andalusit-Disthen.

Das Material stammt nach ROST (57) aus sauren granitischen Eruptivgesteinen mit pneumatolytisch imprägniertem Kontakthof und Gneismassen. Ihre Heimat wird im Erzgebirge gesucht.

Im Mitteloligocän findet ein Meereseinbruch statt mit neuer detritischer Zufuhr. Die Mächtigkeit der Ablagerungen (Meeressand und Septarienton) beträgt 24 m.

In der basalen Partie setzt sich erst noch die Kombination des Eocäns fort. (Dabei vermindert sich allerdings der Gehalt an Rutil und Anatas. Sie werden Nebengemengteile und neu tritt Staurolith mit analoger Häufigkeit auf.)

Dann aber setzt ein Wechsel ein. Erz-Granat-Epidot-Zirkon werden Hauptgemengteile. Als Nebengemengteile figurieren Rutil-Picotit-Turmalin-Anatas-Topas-Staurolith.

Die kristallinen Schiefer, die eine solche Kombination liefern, sind nach ROST (57) entweder im frühkambrischen erzgebirgischen Kristallin oder in Fennoskandia zu suchen.

In den obersten Partien des Oligocäns ändert sich die Kombination erneut, indem Hornblenden und Epidot zu Hauptgemengteilen und Erz-Granat-Augit-Zirkon-Rutil zu Nebengemengteilen werden. Dazu treten saussuritische Massen und Lawsonit. Die Herkunft ist ähnlich dem soeben besprochenen Oligocän.

Sofern hier keine diluvialen Beimischungen vorliegen — die Proben wurden alle in unmittelbarer Nachbarschaft der diluvialen Ablagerungen entnommen — so dürfte der grosse Hornblendegehalt für marine Verhältnisse sehr typisch sein, was auch aus unseren Untersuchungen hervorgegangen ist.

Über dem marinen Oligocän folgt die sog. Formsandgruppe, deren stratigraphische Position mangels Organismenresten nicht eindeutig bestimmt werden kann. Sie wird von Mitteloligocän unter- und von Miocän überlagert. Die Mächtigkeit dieser Quarzsande, die event. Dünenbildungen darstellen, beträgt maximal 19 m.

In den nördlichen Formsandvorkommen setzt sich die Schwere-mineralien-Kombination des marinen Oligocän fort. Allerdings tritt die empfindliche Hornblende als Hauptgemengteil zurück.

Nebengemengteile: Turmalin, Anatas, Titanit, Staurolith, Andalusit.

Unter den Akzessorien sind blaue Hornblenden auffällig.

Die südlichen Formsandvorkommen zeigen dagegen Übereinstimmung mit den hangenden miocänen Ablagerungen. (Diese weisen nochmals limnische Braunkohlenbildungen auf, die von feinsandigen Ablagerungen mäandernder Flüsse überlagert werden.)

Bei nur geringen Differenzen finden sich als Hauptgemengteile Erz-Turmalin-Zirkon-Rutil; als Nebengemengteile Andalusit-Anatas-Staurolith. Als Muttergestein kommen ähnliche Mineralien wie im Eocän in Frage.

Im Vergleich zu unseren mächtigen Molasseablagerungen zeigen diese epirogen entstandenen Sedimente bei nur geringen Mächtigkeiten eine starke Variabilität der Mineralkombinationen. Das erleichtert eine Verwendung schwerer Mineralien zu stratigraphischer Parallelisierung naturgemäss bedeutend.

Tabelle 10

Tertiär der Leipzigerbucht nach ROST

	Erz	Granat	Picotit	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Andalusit	Topas	Epidot	Hornbl. gew.	Hornbl. blau	Augit	Chloritoid
Eocän	■	.	.	■	■	■	■	.	.	.	□	□	■
Basales Mitteloligocän	■	.	.	■	■	□	□	.	.	□	□	□	■
Mittleres „	■	■	□	□	■	□	□	.	.	□	.	.	□	■
Oberes „	□	□	.	.	□	□	■	■	.	□	.
Nördl. Formsandgruppe	■	□	□	□	□	□	□	.	□	□	.	□	.	■
Südl. „	■	.	□	■	■	■	□	.	.	□	.	□
Miocän	■	.	.	■	■	■	□	.	.	□	.	□

Zusammenfassung

Zu Beginn dieser Arbeit wird kurz auf den Chemismus, die Korngrößenverteilung und den Abrollungsgrad der Molassesandsteine hingewiesen.

Der Hauptteil der Arbeit befasst sich mit den Schweremineralien, ihrem Auftreten, ihrer Verteilung und ihrer Herkunft. Innerhalb der sehr mächtigen Molasseablagerungen, die mit wenigen Ausnahmen ein und derselben sedimentpetrographischen Provinz angehören, beobachten wir eine erstaunliche Monotonie in der Schweremineralienverteilung, wie sie für orogene Sedimente typisch zu sein scheint. Immerhin lassen sich dabei folgende Differentiationen beobachten:

Molasseprovinz MI: Herkunftsunempfindliche und umlagerungsstabile Mineralien (Gruppe I und III) wie Erz, Granat, Turmalin, Zirkon, Rutil sind mengenmässig wichtig, dazu treten auch gelegentlich Anatas, Brookit, Titanit, grüne Spinelle. Diese Kombinationen von Schweremineralien beobachten wir vor allem im subalpinen Stampien, im Aquitanien und im Miocän der östlichen schwei-

zerischen Molasseablagerungen. Ihre ursprüngliche petrographische Heimat suchen wir in den ostalpinen Decken.

M o l a s s e p r o v i n z M I a: Gelegentlich treten zu diesen Mineralkombinationen noch herkunftsempfindliche, aber umlagerungsstabile Mineralien (Gruppe III), insbesondere Staurolith, aber auch Disthen, Andalusit, Topas. Auch sie leiten wir aus den ostalpinen Decken her.

M o l a s s e p r o v i n z M I I: Dominierend werden herkunfts- und umlagerungsempfindliche Mineralien (Gruppe IV), insbesondere Epidot, gelegentlich treten auch gewöhnliche und blaue Hornblenden, Augit und Chloritoid hinzu. Daneben aber beobachten wir auch Mineralien der Gruppen I, II, III. Diese Kombinationen finden sich im jurassischen Stampien, im westlichen Aquitanien und Miocän. Zu den ostalpinen Deckeneinheiten sind vor allem noch die penninischen Decken als Belieferungsgebiet hinzugetreten.

An der Nordküste treten neue petrographische Einstrahlungen auf, die nicht alpinen Ursprungs sind.

a) Im Hegaugebiet macht sich im Tortonien der dortige Vulkanismus durch Hornblenden und Biotit bemerkbar (Provinz H).

b) Besonders in Riedern (Baden, Deutschland) und in Tennikon (Baselland) erweist sich die Kombination reich an Gliedern der Gruppe III und I (Provinz RT). Sie stammen aus den älteren sedimentären Ablagerungen der Nordküste.

c) Im Tortonien und Pontien des Delsbergerbeckens tritt noch der Einfluß von Schwarzwald und Vogesen hinzu durch eine Zunahme an Erz und Zirkon.

Beim Vergleich der Molasseablagerung mit anderen Sedimenten erkennen wir, dass ihr eine durchaus selbständige Stellung zukommt. In der helvetischen Kreide und im helvetischen Flysch fehlen oder treten im allgemeinen zurück die Gruppen III, IV, auch der Granat der Gruppe II und teilweise auch die Gruppe I. Den Ablagerungen an der Nordküste fehlen ebenfalls die Mineralien der Gruppe IV und der Granat (Ausnahme Trias) der Gruppe II.

Die diluvialen und rezenten Ablagerungen zeigen noch enge Beziehungen zur Molasse, bei den diluvialen Ablagerungen fällt der vermehrte Hornblendegehalt (der klimatisch und herkunftsgemäss bedingt ist) auf.

Im Vergleich zu epirogen entstandenen Sedimenten (z. B. Leipziger Bucht) mit ihren im allgemeinen starken Mineralvariabilitäten bei sehr geringer Mächtigkeit, tritt die Monotonie der orogen entstandenen Molasse prägnant hervor.

Schweremineralien-Gehalt der einzelnen Proben

a) St. Gallen

	Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Topas	Andalusit	Epidot	H'bid. gew.	H'bid. blau	Chloritoid
1. St. R.	23	43	10	10	11	+	+	+	3	—	+	—	+	—	+	+
2. St. Ch.	29	49	9	12	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3. A.	12	78	3	7	+	—	—	—	+	—	—	—	+	+	—	—
4. B. ob.	29	46	4	9	1	—	—	3	1	+	—	—	6	+	1	+
5. H.	23	45	8	7	3	—	+	2	3	+	—	—	8	—	+	1
6. T.	19	49	5	15	5	1	—	+	6	+	+	+	+	—	—	—
7. T.	19	51	5	10	9	+	+	+	6	+	—	—	+	—	—	—

b) Wäggital — Ob. Zürichsee

1. St. R.	22	63	2	6	2	+	—	—	5	+	—	—	+	—	—	+
2. St. Ch.	18	62	6	9	3	—	—	—	2	—	—	—	+	—	—	—
3. St.	25	43	3	28	7	—	—	—	4	+	—	—	—	—	—	—
4. St. Ch.	30	33	9	19	8	+	+	—	+	+	—	—	—	+	—	1
5. A.	20	62	7	3	5	+	—	—	2	—	—	—	1	+	—	+
6. A.	15	74	3	5	+	+	+	—	3	+	—	—	—	—	—	—
7. B.	20	54	4	14	1	—	—	+	+	+	—	—	7	+	+	—
8. H.	28	21	1	4	2	—	—	—	1	—	—	—	42	—	—	1
9. T.	41	19	4	7	1	+	—	+	13	+	—	+	15	—	—	—
10. T.	56	10	+	8	4	+	—	+	3	+	—	—	19	—	—	—

c) Uetliberg — Kalter Wangen — Untersee

1. A.	28	16	+	3	3	+	—	+	+	—	—	—	40	+	—	—
2. A.	31	47	2	1	1	—	—	+	+	—	—	—	18	+	—	+
3. A.	36	55	1	5	1	—	+	—	+	+	+	+	2	+	—	—
4. B.	19	42	4	4	1	+	—	—	2	—	—	+	27	+	1	+
5. B.	32	25	1	7	1	+	—	—	1	+	—	—	33	—	+	—
6. B.	42	40	3	6	5	+	+	—	1	+	—	—	3	+	+	—
7. B.	42	27	1	1	+	—	—	+	+	+	—	—	28	1	+	+
8. B.	32	42	4	8	1	+	+	+	2	—	—	—	6	4	1	+
9. B.	41	45	2	2	2	—	—	+	1	—	+	—	7	—	+	—
10. B.	31	30	3	4	2	—	—	+	3	+	+	+	27	+	+	+
11. B.	25	30	1	5	3	—	—	—	+	+	+	—	35	+	1	+
12. B.	18	60	6	12	1	—	—	—	+	—	—	—	3	—	+	+
13. B.	13	66	7	6	2	—	—	—	3	—	—	—	3	—	—	+
14. B.	11	47	3	4	1	—	—	—	2	—	—	—	32	—	—	+
15. B.	11	47	4	15	4	—	—	—	1	—	—	—	18	—	—	+
16. B.	21	37	2	5	+	—	—	+	2	—	+	—	33	+	—	+
17. B.	20	56	2	11	5	—	+	—	1	—	1	—	3	1	+	+
18. B.	18	58	4	13	3	—	—	+	3	—	—	—	1	—	—	+
19. B.	20	58	2	9	2	+	—	—	1	+	—	—	7	1	+	—
20. B.	27	42	3	6	3	+	—	+	2	+	—	—	17	+	+	+
21. B.	16	53	3	25	2	+	—	—	1	+	—	—	—	+	+	—

	Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Topas	Andalusit	Epidot	H'ld. gew.	H'ld. blau	Chloritoid
22. B.	11	64	4	18	12	+	—	—	1	+	—	—	+	+	+	+
23. B.	22	38	4	10	2	—	—	—	2	—	—	—	20	—	—	2
24. B.	19	61	4	9	1	—	—	—	3	—	—	—	3	+	+	—
25. B.	27	58	5	2	2	+	+	—	4	+	+	+	2	+	+	—
26. H.	16	20	1	1	3	—	—	—	1	+	—	—	58	+	+	+
27. H.	12	30	1	1	1	—	—	+	2	—	—	—	53	+	—	+
28. H.	13	30	2	1	1	—	—	+	1	—	+	—	51	1	—	—
29. H.	15	38	1	1	1	—	—	—	2	+	1	—	40	—	+	1
30. H.	16	36	2	1	1	—	—	—	2	+	1	—	40	—	+	1
31. H.	15	36	1	—	2	—	—	+	2	+	+	—	43	—	+	1
32. H.	15	26	1	1	2	+	—	+	1	—	2	—	52	+	—	+
33. H.	9	21	2	2	1	—	—	—	1	—	—	+	64	—	—	—
34. H.	7	39	3	2	2	+	—	—	1	1	1	+	44	—	—	+
35. H.	8	39	2	5	5	—	+	+	1	+	+	—	40	+	—	+
36. H.	19	36	4	2	4	—	—	—	2	+	—	—	33	—	—	—
37. H.	8	43	1	1	1	—	—	—	1	+	+	—	45	+	—	+
38. H.	14	38	4	2	3	—	—	—	2	+	—	—	36	1	—	+
39. H.	20	56	3	2	—	—	—	—	3	—	—	—	15	1	+	+
40. H.	17	51	2	8	2	—	—	+	3	1	+	+	15	—	—	1
41. H.	10	51	2	1	2	+	—	+	4	+	+	—	29	+	—	1
42. H.	3	67	2	1	3	—	—	+	5	+	+	+	18	+	—	1
43. H.	23	40	5	1	1	—	—	—	2	1	2	2	22	—	—	1
44. H.	14	60	2	1	1	—	—	—	3	1	1	1	15	1	—	+
45. H.	14	41	4	1	1	—	—	—	4	3	—	1	30	+	—	1
46. H.	16	42	1	+	2	—	—	+	4	+	—	—	34	+	—	1
47. H.	8	62	1	1	4	—	—	—	5	1	+	—	18	+	—	+
48. H.	8	45	2	1	2	+	—	+	5	—	—	+	35	+	+	2

d) Riedern a. Kalten Wangen — Baden

1. H.	38	37	1	1	4	—	—	—	13	1	1	+	4	—	—	—
2. H.	39	29	2	4	10	—	+	—	10	2	—	1	3	—	—	—
3. H.	54	15	1	1	8	+	+	+	16	3	+	+	2	—	—	—
4. H.	42	21	4	1	4	+	+	+	18	3	—	+	7	—	—	—

e) Zürich — Brugg — Untersee

1. T.	21	39	1	7	3	+	—	+	15	+	+	+	14	+	—	—
2. T.	42	26	1	8	1	+	—	—	5	+	—	—	17	—	—	—
3. T.	12	70	2	+	3	—	—	—	7	1	—	+	5	+	—	+
4. T.	16	61	3	1	1	—	—	—	6	3	—	—	9	—	—	—
5. T.	9	70	1	2	1	+	+	—	8	1	—	—	8	+	—	+
6. T.	7	73	+	+	2	—	+	+	5	+	—	—	11	2	—	+
7. T.	10	69	2	—	2	—	—	+	3	1	—	—	10	3	—	—
8. T.	11	71	2	+	1	—	—	+	5	1	—	+	9	+	—	+
9. T.	26	36	1	5	—	—	—	—	6	—	—	—	36	—	—	—
10. T.	33	50	3	4	—	—	—	—	3	—	—	—	7	—	—	—

* Hornblende — Augit!

f) Rigi — Luzern

	Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Topas	Andalusit	Epidot	H' bld. gew.	H' bld. blau	Chloritoid
1. St.	30	47	11	6	3	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—
2. St.	48	22	2	11	16	+	+	—	—	—	—	—	1	—	—	—
3. A.	32	6	+	5	1	—	—	3	—	—	—	—	53	+	—	—
4. B.	21	21	+	1	+	—	—	1	+	—	—	—	56	—	+	+
5. T.	18	19	1	1	—	—	—	1	+	—	—	—	60	—	—	—

g) Entlebuch — Napf

1. St. R.	13	67	4	11	4	+	—	—	+	—	—	—	1	—	—	+
2. St. Ch.	10	76	2	10	2	+	—	—	—	—	—	—	+	—	—	+
3. St.	24	64	1	8	3	+	+	+	+	+	—	—	+	—	—	+
4. A.	13	21	1	3	+	+	+	2	—	—	+	—	60	+	+	—
5. B.	30	13	+	2	+	+	—	+	+	—	—	—	54	1	—	—
6. H.	19	29	2	+	+	—	—	—	+	—	—	—	49	+	—	—
7. T.	6	20	1	+	+	+	—	+	+	—	—	—	72	—	—	—

h) Aarwangen — Zofingen

1. St.	25	16	+	2	1	—	—	1	2	+	—	—	53	—	+	—
2. St.	22	42	3	3	1	+	+	1	2	+	—	—	25	+	1	—
3. St.	27	20	2	6	1	+	—	1	3	—	—	—	40	—	+	—
4. A.	32	38	1	1	1	—	—	2	1	—	—	—	23	—	1	—
5. A.	31	37	1	3	1	—	+	2	1	—	+	—	24	+	+	+
6. B.	11	15	1	1	1	+	—	1	+	—	+	+	69	+	+	1
7. B.	17	16	1	1	1	+	—	+	1	+	—	+	63	+	+	—
8. B.	14	14	1	1	+	—	—	+	—	—	+	—	70	+	+	+
9. H.	25	20	2	+	1	+	—	1	4	+	—	—	44	2	—	1
10. H.	12	17	1	1	2	—	—	+	1	+	+	—	65	1	+	+
11. T.	18	18	1	3	3	—	—	+	1	—	—	—	55	1	+	+
12. T.	9	15	+	+	1	—	—	+	—	—	—	—	72	2	—	1
13. T.	8	10	1	1	1	—	—	+	—	+	—	—	78	1	—	+

i) Tennikerfluh (Baselland)

1. H.	60	13	2	4	2	—	—	2	13	2	—	+	2	+	*	—
2. H.	41	45	+	1	3	—	—	+	7	1	1	+	1	—	—	—
3. H.	48	37	2	1	1	—	+	—	7	1	1	—	2	+	*	—
4. H.	74	10	+	1	+	+	—	12	2	+	—	+	1	+	—	—

k) Bern — Belpberg

1. A.	32	23	1	4	1	—	—	+	—	1	—	—	38	+	*	—
2. A.	51	18	+	2	+	—	—	1	—	—	—	—	37	—	—	1
3. B.	21	30	5	4	1	+	—	1	1	—	—	—	36	—	1	+
4. B.	18	23	3	1	1	—	—	1	1	—	—	—	51	+	1	—
5. B.	22	25	1	3	1	—	—	+	1	—	—	—	45	1	1	+
6. B.	25	24	2	4	2	—	—	—	+	+	—	—	41	2*	+	+

* Hornblende — Augit!

	Erz	Granat	Turmalin	Zirkon	Rutil	Anatas	Brookit	Titanit	Staurolith	Disthen	Topas	Andalusit	Epidot	H'bid. gew.	H'bid. blau	Chloritoid
7. B.	20	31	3	4	2	+	—	2	2	+	—	—	36	+	+	+
8. B.	24	23	2	9	+	—	—	1	+	—	—	—	41	—	+	+
9. H.	28	22	2	1	1	—	+	+	1	—	—	—	45	+	+	+
10. H.	16	23	3	2	1	+	+	+	1	—	—	—	54	+	+	+
11. H.	24	21	—	2	2	+	—	—	2	—	—	—	48	+	+	1
12. H.	24	21	8	6	2	—	+	—	1	+	—	—	38	+	+	+
13. H.	29	29	1	2	1	—	—	+	1	+	—	—	36	+	+	1

l) Basel — Delsberg — Court

1. St. R.	4	+	8	65	18	1	+	—	1	1	1	1	+	—	—	—
2. St. Ch.	35	47	+	2	7	+	—	+	6	1	+	—	2	—	+	+
3. St. Ch.	38	35	3	11	3	+	+	+	3	+	—	—	7	—	—	+
4. St. Ch.	42	37	3	7	1	+	+	1	5	1	+	+	5	—	+	+
5. St. Ch.	34	43	3	3	3	+	—	+	6	1	+	—	7	+	+	—
6. St. Ch.	34	39	1	10	1	+	—	+	4	+	—	—	11	+	+	—
7. St. Ch.	41	38	1	3	+	1	—	1	4	1	—	+	10	—	+	—
8. St. Ch.	53	39	1	6	1	—	—	+	6	1	—	—	3	—	—	+
9. St. Ch.	54	34	1	2	1	—	—	+	5	+	+	+	3	+	+	—
10. B.	12	31	2	1	1	+	—	+	1	1	+	+	51	+	+	—
11. B.	21	9	2	3	2	—	—	+	1	+	—	—	61	—	—	1
12. H.	3	42	2	1	2	—	—	+	3	+	1	—	42	4	—	+
13. H.	7	43	1	+	+	—	—	+	2	+	1	+	43	3	—	+
14. T.	5	42	1	+	+	—	—	+	2	1	+	+	47	2	—	+
15. T.	32	54	1	1	+	—	+	+	6	1	—	—	5	+	+	+
16. T.	42	30	3	12	2	+	+	—	5	+	+	+	6	+	+	+
17. P.	49	15	4	11	3	+	+	—	4	—	—	—	14	+	—	—
18. P.	63	16	4	1	—	+	+	+	6	+	—	+	10	—	+	+

m) Freiburg i. Uechtland

1. St. R.	31	29	10	20	7	+	—	—	3	—	—	—	+	—	—	—
2. St.	24	42	2	25	2	—	—	1	4	+	+	—	—	—	+	—
3. B.	14	21	1	2	1	—	—	1	+	+	—	—	58	1	1	+
4. H.	17	19	2	6	4	—	—	—	2	+	—	—	47	1	+	2

n) Neuenburgersee

1. A.	39	11	1	1	+	—	—	—	—	—	—	—	48	—	—	+
2. A.	57	16	1	4	1	—	—	1	—	—	—	—	20	—	—	—
3. A.	35	16	2	2	+	—	—	2	—	—	—	—	43	—	—	+
4. B.	39	12	1	4	1	—	—	—	1	—	—	—	38	2	2	—
5. B.	35	5	1	3	1	+	—	2	2	—	—	—	46	4	1	—
6. B.	29	4	2	2	1	—	—	1	1	—	—	—	56	3	1	—
7. B.	18	12	2	6	1	+	—	1	2	—	—	—	48	9 ³	1	—
8. B.	32	15	1	3	1	+	—	1	1	—	—	—	39	6 ³	1	—

* Hornblende + Augit!

LITERATURVERZEICHNIS

1. BAUMBERGER, E., Die stampischen Bildungen der N. E. Schweiz und ihrer Nachbargebiete unter besonderer Berücksichtigung der Molluskenfauna. *Eclogae geol. helvet.* 20 (1927).
2. — Die Molasse des schweizerischen Mittellandes und Juragebirges. *Geol. Führer der Schweiz.* Basel (1934).
3. BECK, P., Das stampische Alter der Thunernagelfluh und deren Bedeutung. *Mitt. natf. Ges. Bern* (1922).
4. — Über das schweizerische und europäische Pliocän und Pleistocän. *Eclogae geol. helv.* 26 (1933).
5. BOEHNDL, E., Die obere Süsswassermolasse in der Umgebung des Untersee. *Diss. Freiburg i. Br.* (1926).
6. BOSWELL, P. G. H., *On the mineralogy of sedimentary rocks.* London (1933).
7. BRAMLETTE, M. N., Natural etching of detrital garnets. *Amer. Mineral.* 24 (1929).
8. BURRI, C., Sedimentpetrographische Untersuchungen an alpinen Flussanden. I. Die Sande des Tessin. *Schweiz. Mineral.-Petrogr. Mitt.* 9 (1930).
9. — Schwere Mineralien aus den Goldsanden des Napfgebietes. *Schweiz. Mineral.-Petrogr. Mitt.* 11 (1931).
10. BUXTORF, A., Oberflächengestaltung und geologische Geschichte d. Nordschweiz. Tafeljura. *Eclogae geol. helvet.* 11 (1910).
11. — Geologie der Umgebung von Gelterkinden im Basler Tafeljura. *Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F.* 11 (1901).
12. BUXTORF, A., und FROELICHER, H., Zur Frage des Zusammenhanges des subalpinen stampischen Meeres mit dem Rheintalgraben. *Verh. natf. Ges. Basel* (1933/34).
13. CADISCH, J., Ein Beitrag zur Entstehungsgeschichte der Nagelfluh. *Eclogae geol. helvet.* 18 (1932).
14. MC. CARTNEY, M., Study of the Chester sandstones Indiana. *Journ. Sed. Petr.* 1 (1931).
15. CAYEUX, L., *Introduction à l'étude petrographique des roches sedimentaires.* Paris (1916).
16. CHELUSSI, J., Sulla presenza di minerali caratteristici in molte rocce mioceniche dell'Italia centrale. *Atti soc. ligustica sc. nat. geogr.* 21 (1910).
17. — Prospetto delle rocce principali che formano i ciottoli dei conglomerati torinesi. *Atti soc. ligustica sc. nat. geogr.* 22 (1911).
18. CHUDoba, K., Mikroskopische Charakteristik gesteinsbildender Mineralien. *Freiburg i. Breisgau* (1932).
19. DECKE, W., *Geologie von Baden.* Berlin (1926).
20. DÉVERIN, L., Analyse minéralogique de quelques sédiments arénacés. *Bull. soc. vaud. sc. nat.* 53 (1920).
21. — Etude lithologique des roches crétacées des Alpes maritimes et des topographies souterraines. *Bull. serv. carte géol. France* 26 (1923).
22. DÉVERIN, L., et CUSTER, W., Sur un affleurement de la molasse châtienne. *Bull. soc. vaud. sc. nat.* 56 (1927).
23. EDELMANN, C. H., Diagenetische Umwandlungerscheinungen an detritischen Pyroxenen und Amphiboliten. *Fortschritte Mineral. Kristallogr.* 16 (1931).

24. — Bijdrage tot de petrologie van het nederlandsche tertiair. Verh. Geol. Mijnb. Gen. Ned. en Kol. Geol. Serie 10 (1933).
25. — Petrologische Provincies in het nederlandsche Kwartair. Diss. Amsterdam (1933).
26. EDELMANN, C. H., und DOEGLAS, D. J., Über Umwandlungserscheinungen an detritischen Stauolithen und anderen Mineralien. Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt. 45 (1934).
27. ERNI, E., Die mikroskopische Untersuchung und Beurteilung schweiz. Bau- steine. Beiträge geol. Karte Schweiz. Geotechn. Serie, 5 (1915).
28. ESCHER-HESS, Vorkommnisse der oligocänen und miocänen Molasse und Nagelfluh der östlichen Schweiz. Zürich (1907).
29. FREI, R., Monographie der schweizerischen Deckenschotter. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F. 37 (1912).
30. FROEHLICHER, H., Geologische Beschreibung der Gegend von Escholz matt im Entlebuch. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F. 67 (1933).
31. FRÜH, J., Beiträge zur Kenntnis der Nagelfluh der Schweiz (1888).
32. GEIGER, E., Petrographie der Molasse. Mitt. thurg. natf. Ges. (1933).
33. — Zusammensetzung thurgauischer Schotter. Mitt. thurg. natf. Ges. (1930).
34. GERBER, E., Geologie des Gurnigels und der angrenzenden subalpinen Mo- lasse. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F. 50 (1925).
35. GRENOUILLET, W., Schlämmanalytische Untersuchungen an Sedimentgesteinen. Schweiz. Mineral.-Petrogr. Mitt. 6 (1926).
36. GSCHWIND, M., Untersuchungen über die Gesteinsverwitterung in der Schweiz. Diss. E. T. H. Zürich (1930).
37. HEIM, A., Geologie der Schweiz. Leipzig (1922).
38. JUNG, J., Contribution à la géologie des vosges hercyniennes d'Alsace. Strasbourg (1928).
39. KIDERLEN, H., Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des süd- deutschen Tertiärs. Neues Jb. Mineral. usw. Abt. B 66 (1931).
40. KRIGE, L. J., Petrographische Untersuchungen im Val Piora und Um- gebung. Diss. Zürich (1918).
41. LIECHTI, P., Geologische Untersuchungen der Dreibergspitz - Standfluh- gruppe und der Flyschregion südlich des Thunersees. Mitt. nat. Ges. Bern (1930/31).
42. — Geologische Untersuchung der Molassennagelfluhregion zwischen Emme und Ilfis. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F. 61 (1928).
43. LINIGER, H., Geologie des Delsbergerbeckens und der Umgebung von Mo- velier. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F. 55 (1925).
44. LUDWIG, A., Erläuterungen zum geologischen Atlasblatt No. 4 (1930).
45. MARTIN, R., Die untere Süswassermolasse in der Umgebung von Aarwangen. Eclogae geol. helvet. 9 (1905).
46. MILNER, H. B., Sedimentary petrography. London (1929).
47. MOESCH, C., Der Aargauer Jura. Beitr. geol. Karte Schweiz 4 (1867).
48. VON MOOS, A., Über einige metamorphe Mineralien i. d. Molasse. Schweiz. Mineral.-Petrogr. Mitt. 14 (1934).
49. MUHEIM, P. Franz, Die subalpine Molasse im östlichen Vorarlberg. Eclogae geol. helvet. 27 (1934).
50. NIGGLI, P., Die Gesteinsassociationen und ihre Entstehung. Verh. schweiz. natf. Ges. Neuenburg (1921).

51. — Tabellen zur allgemeinen und speziellen Mineralogie. Berlin (1927).
52. NIGGLI, P., DE QUERVAIN, F., WINTERHALDER, R. U., Chemismus schweizerischer Gesteine. Beitr. geol. Karte Schweiz. Geotechn. Serie 14 (1930).
53. NIGGLI, P., Zur Charakterisierung der klastischen Sedimente nach der Kornzusammensetzung. Schweiz. Mineral.-Petrogr. Mitt. 15 (1935).
54. DE QUERVAIN, F., Zur Petrographie und Geologie der Taveyannazgesteine. Schweiz. Mineral.-Petrogr. Mitt. 8 (1928).
55. — Sandsteine und Echinodermienbreccien der Gargasienstufe (mittl. Kreide) der helvetischen Kalkvorpalen. Beitr. geol. Karte Schweiz. Geotechn. Serie. Kleine Mitt. 1 (1931).
56. DE RAAF, La géologie de la Nappe du Niesen entre la Sarine et la Simme. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F. 68 (1934).
57. ROST, M., Zur Geologie und Paläogeographie des Leipziger Tertiärs. Jb. Halleschen Verb. Erforschung mitteld. Bodenschätze (1933).
58. RUBEY, W. W., The size distribution of heavy minerals within a waterlaid sandstone. J. Sed. Petrogr. 3 (1934).
59. RUTSCH, R., Geologie des Belpberges. Diss. Bern (1927).
60. — Die Gastropoden des subalpinen Helvetien der Schweiz und des Vorarlberges. Abh. schweiz. paläont. Ges. 49 (1929).
61. SCADECKY-KARDOSS, E. v., Flussschotteranalyse und Abtragungsgebiet. Ref. N. Jahrb. Mineral. etc. II (1933).
62. SCHALCH, F., Das Tertiärgebirge auf dem Reyath, Kt. Schaffhausen. Mitt. grossh. Bad. geol. Landesanstalt (1914).
63. — Erläuterungen zu Blatt Griessen. Geol. Spezialkarte Baden (1922).
64. SCHLAICH, E., Geologische Beschreibung der Gegend von Court. Beitr. geol. Karte Schweiz. N.F. 26 (1934).
65. SCHMIEDLE, H., Über Gerölle in der marinen Molasse bei Überlingen. Mitt. grossh. Bad. geol. Landesanstalt (1912).
66. SCHNEEBERGER, W., Die stratigraphischen Verhältnisse von Kreide und Tertiär der Randketten nördlich des Thunersee. Mitt. natf. Ges. Bern (1926).
67. STAUB, R., Der Bau der Alpen. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F. 52 (1924).
68. — Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie. Denkschriften schweiz. natf. Ges. 69. I (1934).
69. STEHLIN, H. G., Übersicht über die Säugetiere der schweizerischen Molasseformation, ihre Fundorte und ihre stratigraphischen Verbreitungen. Verh. d. naturf. Ges. Basel, Bd. 25, 1914.
70. STUDER, B., Beiträge zu einer Monographie der Molasse (1825).
71. TERCIER, J., Géologie de la Berra. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F. 60 (1928).
72. THÜRACH, H., Über das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titanmineralien in den Gesteinen. Verh. physik. med. Ges. Würzburg 18 (1884).
73. WATOCK, W., Der Granatsand von Hel am baltischen Meere. Bull. acad. polonaise sc. lettres (1928).
74. WEYL, R., Studien zur vergleichenden Sedimentpetrographie des norddeutschen Tertiärmeeres. Centralblatt Min. usw. B (1922).
75. ZINGO, TH., Beiträge zur Schotteranalyse. Schweiz. Mineral.-Petrogr. Mitt. 15 (1935).

N a c h w o r t.

Die vorliegende Dissertation entstand im Anschluss an eine Diplomarbeit über „Die Lithologie und die Stratigraphie der marinen Molasse zwischen Reuss und Thur“. Ausgeführt wurde sie sowohl im mineralogisch-petrographischen, wie auch im geologischen Institut der E. T. H. und der Universität Zürich.

Ich möchte an dieser Stelle Herrn Prof. P. Niggli und Herrn Prof. R. Staub meinen besten Dank für das mir entgegengebrachte Interesse aussprechen.

Insbesondere gedenke ich dankbar des ständig anregenden Kontaktes mit Herrn Prof. Niggli, der mir immer wieder Mut und Freude zur Weiterführung und Vollendung dieser Arbeit zu geben wusste.

Für Ratschläge und Hilfe mannigfacher Art danke ich ferner den Herren Prof. A. Jeannet, Prof. C. Burri, P.-D. Dr. E. Brandenberger, Dr. H. Suter und meinen Mitstudierenden an den beiden Instituten.

Für die liebenswürdige Aufnahme an der School of Mines in London und für die Einführung in die Sedimentpetrographie bin ich den Herren Prof. P. G. H. Boswell, Prof. Illing und Dr. Brammell zu Dank verpflichtet.

Dankbar gedenke ich hier auch meiner Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben. Ihnen sei diese Arbeit gewidmet.

Zürich, den 16. Juli 1935.

A. v. M.