

Zeitschrift:	Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber:	Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band:	59 (1966)
Heft:	2
Artikel:	Sedimentologische Untersuchungen in der äusseren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs (Kt. Luzern)
Autor:	Gasser, Urs
Kapitel:	III: Sedimentologie
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-163391

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: 16.01.2026

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

b) Fluvioterrestrisches Stampien

Schon KAUFMANN (1886: 392) sowie FRÖHLICHER (1933: 21) stellen fest, dass die Granitische Molasse im Grenzbereich «mit den für das untere Stampien charakteristischen Gesteinen», d.h. mit den oben unter a) behandelten Horwerplatten, wechselt.

Die Sedimentpetrographie (siehe unten) der fraglichen «granitischen» Gesteine liess jedoch an einer Zuordnung zur Granitischen Molasse zweifeln. Obschon makroskopisch kaum von dieser zu unterscheiden, stimmen sie sedimentpetrographisch mit gewissen Teilen der Beichlen-Farneren-Nagelfluh überein, die ihrerseits BAUMBERGERS Weggiser-Schichten des Rigischuttfächers entsprechen dürften. Auch diese Sandsteine weisen granitische Fazies auf, d.h. sie führen die typischen roten Feldspat- und Hornsteinkomponenten. Als makroskopisches Unterscheidungsmerkmal, das bei der Betrachtung mit der Feldlupe klar hervortritt, können in dessen die oft häufigen, gelb verwitterten Dolomitkomponenten dienen, die wir in der Granitischen Molasse nirgends gefunden haben.

Alter

Das Alter der Weggiser-Schichten des Rigischuttfächers ist palaeontologisch nicht datiert (RUTSCH, 1962: 16). Die äquivalente Serie der Beichlen-Farneren-Schuppe lieferte eine Gastropodenfauna, die von BAUMBERGER ins Chattien gestellt wurde (FRÖHLICHER, 1933: 25⁸⁾).

Die tektonisierte Lagerung sowie die schlechten Aufschlussverhältnisse des fluvioterrestrischen Stampiens der Hornbüel-Schuppenzone verunmöglichen leider die Aufnahme eines Detailprofils.

III. Sedimentologie

1. Allgemeines zur Arbeitsweise

Die sedimentologischen Arbeiten von FÜCHTBAUER (1964) und von MATTER (1964), die uns zu den vorliegenden Untersuchungen anregten, zeigen mit aller Deutlichkeit, dass der Aussagewert sedimentologischer Arbeitsweise von der Dichte der Probeentnahme abhängt. Es galt also die äussere Zone der subalpinen Molasse in möglichst lückenlosen Profilen aufgeschlossen zu finden. Hierzu ist die Gegend südöstlich von Entlebuch besonders gut geeignet. Drei Querflüsse der Kleinen Emme durchbrechen in oft schluchtartigen Einschnitten die fragliche Zone praktisch senkrecht zum Streichen. Es sind dies die schon von KAUFMANN (1886: 373–395) mit bewundernswürdiger Beobachtungsgabe und nicht zu überbietender Exaktheit beschriebenen Profile:

1. Der Rümligbach und namentlich dessen südliche Fortsetzung, der Hintere Fischenbach im E.
2. Die Entlen, im Streichen der äusseren Zone ca. 6 km südwestlich von 1) gelegen.
3. Die Waldemme, weitere 6 km im SW gelegen.

Wir erfassen mit diesen drei Querprofilen einen 12 km langen Streifen im Streichen der äusseren Zone der subalpinen Molasse (vgl. Tafel 1).

⁸⁾ Es ist aber nicht auszuschliessen, dass die fluvioterrestrischen Bildungen zum Teil zeitlich noch ins Unterstampien zu stellen sind (BUXTORF et al., 1941: 144).

Das Sammeln der Proben erfolgte derart, dass nach Möglichkeit im Profil alle 50 m – gemessen in der Schichtmächtigkeit – eine Probe entnommen wurde. Zugleich wurde das für den betreffenden Ort typische Schichtfallen eingemessen. Lokalität der Probeentnahme sowie die dazugehörige Fallmessung sind im obersten Profil der Fig. 3, 4 und 5 (S. 746, 749 und 751) eingezeichnet.

Untersuchte Gesteine

Die im folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden ausschliesslich an Sandsteinen (Fraktion 0,02–2,0 mm) durchgeführt. Nur wo die Aufschlussverhältnisse keine andere Wahl zuließen, wurden tonreiche Proben gesammelt. Ab und zu wurde auch in sandsteinreichen Abschnitten eine Mergelprobe entnommen, um deren sedimentpetrographisches Verhalten mit dem der Sandsteine vergleichen zu können.

Da Korngrössenuntersuchungen in der Granitischen Molasse bereits von MATTER (1964: 412) und VON SALIS (1966) in grösserem Rahmen durchgeführt wurden und diesbezüglich keine neuen Resultate zu erwarten waren, wurde hier auf eine erneute Korngrössenanalyse verzichtet. Dadurch wird allerdings eine genaue nomenklatürische Einstufung in das Karbonat-Sand-Ton-Dreieck (FÜCHTBAUER, 1959: 608) verunmöglich, denn das genaue Mengenverhältnis von Sandfraktion zur Tonfraktion ist nur durch quantitative Schlämmethoden erfassbar. Der Medianwert, wie er auf Fig. 3, 4 und 5 (S. 746, 749, 751) in der zweituntersten Horizontalreihe dargestellt ist, beruht deshalb auf Schätzung. Mit Hilfe der Mikrolupe «Mikoz» mit eingebauter Korngrössenskala nach Dr. G. MÜLLER (erhältlich bei Firma Stratmann, Fema, Salzgitter, Deutschland) dürfte bei einiger Übung die Kornverteilung zur Bezeichnung eines Gesteins genügend gut erfassbar sein.

Durchgeführte Untersuchungen

An allen gesammelten Proben wurden Schwer- und Leichtmineralanalysen und Bestimmungen des Calcit- und Dolomitgehaltes durchgeführt.

2. Schwermineralanalysen

A. Allgemeines

Auf den ersten Blick scheint die Schwermineralanalyse in den fossilarmen und lithologisch eintönigen Molassesedimenten ihre ideale Anwendungsmöglichkeit gefunden zu haben. Umso enttäuschter stellen wir bei der Durchsicht der älteren Literatur⁹⁾ fest, dass als einziger, allgemeingültiger Schluss die Betonung der Monotonie in der Schwermineralassoziation und die Unmöglichkeit regionaler Korrelation resultiert. Wohl gelang es VON MOOS (1935) in seiner umfassenden Arbeit einige Schwermineralprovinzen abzugrenzen, aber schon RENZ (1937a: 103) zieht diese wieder in Zweifel. Mit dem von einigen Autoren – besonders PETTJOHN (1957: 674) und WIESENEDER et al. (1958: 1171) – klar erkannten Phänomen der «intrastratal solution» ist das Ansehen der Schwermineralanalyse als Mittel zur stratigraphischen Korrelation in der ganzen Welt stark gesunken. Man billigte dieser Methode nur bei schüttungsmechanischen Fragen einen gewissen Aussage-

⁹⁾ Eine eingehende Besprechung der bisherigen Untersuchungen in der Schweiz findet sich bei MATTER (1964: 397).

wert zu. Erst in neuerer Zeit traten namhafte Autoren (vor allem VAN ANDEL, 1959) für eine Rehabilitierung der Schwermineralanalyse ein. VAN ANDEL (1959) zeigte, dass der postdepositionale Einfluss bei schnell sedimentierten Serien, wie auch die Molasse eine ist, zu vernachlässigen sei und die Schwermineralassoziation direkt die Petrographie des Einzugsgebietes wiederspiegle. Ein weiterer Grund zum Versagen älterer Untersuchungen scheint auch auf der Aufbereitungsmethode zu beruhen. Erst durch die bahnbrechenden Arbeiten von FÜCHTBAUER (1954) und HOFMANN (1957) wurden die Möglichkeiten der Schwermineralanalyse in der Schweizerischen Molasse klar erkannt und ausgeschöpft. Die älteren Autoren verwendeten nämlich zur Desaggregierung der Sandsteine verdünnte Salzsäure, obwohl VON MOOS (1935: 178) und kurz darauf RENZ (1937b: 106) feststellten, dass gewisse Schwerminerale, namentlich der Apatit, durch dieses Aufschlussverfahren angeätzt und aufgelöst wurden. FÜCHTBAUER (1954) ersetzte als erster die Salzsäure durch Essigsäure, wodurch der Apatit erhalten blieb. Da gerade dieses Mineral für die ältere Molasse charakteristisch ist, verwundert es nicht, dass HOLLIGER (1953: 164) seine auf dem alten Verfahren beruhenden Schwermineraluntersuchungen in unserer Gegend «als ungeeignet zur Unterscheidung stratigraphischer Stufen» bewertete.

B. Methodisches

Wir hielten uns bei der Aufbereitung streng an die von FÜCHTBAUER (1954) eingeführte Methodik. MATTER (1964: 399) beschreibt das Vorgehen, das er am Berner Institut eingeführt hat, ausführlich. Wir beschränken uns auf den Hinweis, dass wir zum Entkarbonatisieren der Proben, zur Schonung des Apatits 10%ige Essigsäure gebrauchten. Auch berücksichtigten wir bei der Auszählung denselben von FÜCHTBAUER (1954), HOFMANN (1957) und MATTER (1964) verwendeten Korngrößenbereich von 0,06–0,4 mm. Als Einbettungsmittel diente Aroclor Nr. 4465 ($n = 1,66$)¹⁰). Dies hat gegenüber dem niedriger brechenden Kanadabalsam ($n = 1,54$) zwei Vorteile:

1. Die Lichtbrechung des Einbettungsmittels liegt im Feld derjenigen der Schwerminerale.

So werden diese in zwei Gruppen geteilt:

a) n Einbettungsmittel	$< n$ Schwerminerale (Granat, Epidotgruppe, Zirkon, Spinellgruppe, Rutil, Brookit, Anatas, Staurolith, Titanit, Chloritoid, Zoisit, Sphalerit)
b) n Einbettungsmittel	$> n$ Schwerminerale (Turmalin, Apatit, Baryt, Hornblenden p.p.)

Bei Kanadabalsam dagegen sind praktisch alle Schwerminerale höher lichtbrechend als das Einbettungsmittel.

2. Schwer lichtdurchlässige Minerale werden durch das hohe n des Einbettungsmittels beträchtlich aufgehellt und somit leichter diagnostizierbar.

¹⁰) Herstellungs firma von Aroclor Nr. 4465: Monsanto Company, St. Louis, Missouri, USA.

Beim Auszählen wurde der Granat, da er sehr korngrößenabhängig ist, gesondert gezählt und auf die Summe der nicht opaken Schwerminerale umgerechnet. Seiner Häufigkeit wegen fielen auf 100 gezählte, nicht opake Schwermineralkörner oft einige 100, ja sogar über 1000 Granatkörner. Glimmer, Chlorite und Glaukonit wurden bei der Zählung nicht berücksichtigt, da sie je nach ihrer spezifischen Zusammensetzung entweder in die Schwermineralfraktion fallen, oder aber in der Leichtmineralfraktion verbleiben.

C. Gefundene Schwerminerale

Wir verzichten auf eine spezielle Beschreibung der einzelnen Mineralien, da wir der ausgezeichneten Arbeit von VON MOOS (1935: 181 ff.) nichts beifügen können. Einzig der besonders für die Beichlen-Farneren-Nagelfluh sehr charakteristische Spinell, der lokal bis gegen 100% die Schwermineralfraktion beherrschende Baryt sowie der sporadisch in Spuren (bis max. 5%)¹¹⁾ auftretende Monazit seien etwas näher betrachtet.

Spinell

Es handelt sich um ein tief rotbraunes, seltener olivbraunes Mineral mit einer Lichtbrechung zwischen 1,79 bis 1,95 (vereinzelt auch darüber). Morphologisch zeigt sich das Korn als unregelmässiges Bruchstück mit muscheligem Bruch. Optisch ist das Mineral völlig isotrop. Diese Eigenschaft ist diagnostisch wichtig: auch bei stärkster Lichtquelle bleibt der Spinell – im Gegensatz zu anderen isotropen Mineralien – unter gekreuzten Nicols absolut dunkel.

Baryt

Er erscheint auf zwei Arten in den Präparaten. Nämlich als nach (001) tafelige, xenomorphe Körner, meist stark von schwarzen Erzbildungen bestäubt. Daneben kommen nach (110) idiomorphe Körner vor (besonders in den Grisigermergeln), die Wachstumsstreifung zeigen und authigenen Ursprungs sein dürften. Die Lichtbrechung liegt zwischen 1,63 und 1,65.

Monazit

Er tritt als sehr schwach pleochroistisches hellgelb bis hellgrünlichgelbes Mineral auf. Morphologisch ist er kaum vom höher lichtbrechenden und meist farblosen bis rosaroten Zirkon zu unterscheiden. Er führt im Gegensatz zu Zirkon vermehrt dunkle Einschlüsse. Mit dem Augenspektroskop, als Aufsatz auf dem Mikroskop, lassen sich gut die Absorptionsbanden im gelben Bereich des Spektrums erkennen. Eine einfache Unterscheidungsmöglichkeit gegenüber Zirkon ist die folgende: Manbettet eine monazitverdächtige Schwermineralfraktion in flüssiges Einbettungsmittel mit $n = 1,85$. Während der Zirkon sehr deutlich höher bricht, liegt Monazit knapp unter $n = 1,85$.

Die gefundenen Schwerminerale werden ihrer Häufigkeit nach aufgezählt und die Art ihres Auftretens in kurzen Zügen charakterisiert:

Granatgruppe

Sie ist in der gesamten subalpinen Molasse und dem subalpinen Flysch vertreten. Ihre maximale Verbreitung findet sie in der inneren Zone der subalpinen

¹¹⁾ Die Prozentangaben beziehen sich im folgenden immer auf Kornzahlprozente.

Molasse und dem älteren Teil der Granitischen Molasse der äusseren Zone mit maximal über 1100 % der Schwermineralfraktion.

Epidotgruppe (Klinozoisit-Pistazit)

Sie ist fast ausschliesslich in der jüngeren Granitischen Molasse verbreitet (bis 98 % der Schwermineralfraktion); sporadisch kommt sie auch in den älteren Ablagerungen vor.

Apatit

Er findet sich in der ganzen subalpinen Molasse und im subalpinen Flysch, hauptsächlich aber in der inneren Zone der subalpinen Molasse und dem älteren Teil der Granitischen Molasse (bis 95 % der Schwermineralfraktion).

Turmalin

Er tritt in der gesamten subalpinen Molasse und dem subalpinen Flysch auf. Im Flysch am häufigsten (bis gegen 100 % der Schwermineralfraktion), nimmt er zu den jüngeren Ablagerungen sukzessiv ab und beträgt in der höheren Granitischen Molasse nur noch wenige Prozente der Schwermineralfraktion.

Zirkon

Er erscheint in der ganzen subalpinen Molasse und im subalpinen Flysch. Ausgesprochene Maxima wurden im subalpinen Flysch und in der älteren Granitischen Molasse (bis über 60 % der Schwermineralfraktion) festgestellt.

Spinell

Er ist das charakteristische Mineral für die stampischen Nagelfluhschuttfächer (hier bis maximal 84 % der Schwermineralfraktion). In den jüngeren Ablagerungen ist er in Spuren und nur ganz selten vertreten. An den älteren hat er eine konstante aber sehr kleine Beteiligung. Im subalpinen Flysch kommt er nur sporadisch vor.

Baryt

Er tritt sporadisch in der älteren Granitischen Molasse und älteren Ablagerungen (inkl. subalpinem Flysch) auf. In den Grisigermergeln, Horwerplatten und stampischen Nagelfluhschuttfächern kann er plötzlich bis über 90 % der Schwermineralfraktion ausmachen. In den Grisigermergeln scheint er authigenen Ursprungs, worauf die Wachstumsformen hinweisen (siehe oben). Anreicherungen von Baryt haben namentlich in den Horwerplatten, wie auch in den stampischen Nagelfluhen eine gewisse horizontale Beständigkeit. Es kommt ihm somit lokaler Leitwert zu.

TiO₂-Gruppe

Sie umfasst die Mineralien Rutil, Brookit und Anatas, wobei Rutil sehr stark dominiert. Sie ist in allen subalpinen Komplexen (inkl. Flysch) mit einigen Prozenten vertreten. In den stampischen Nagelfluhen bildet sie ein klares Maximum (bis zu 20 %) gegen unten (exkl. subalpinem Flysch) wie oben nehmen die Gehalte allmählich ab. Besonders in der höheren Granitischen Molasse tritt sie nur vereinzelt auf.

Erwähnenswert ist eine pleochroistische dunkel bis hellbraune Rutilvarietät, wie sie in den stampischen Nagelfluhen hauptsächlich gefunden wurde¹²⁾.

Stauolith

Er wurde ganz vereinzelt – mit Ausnahme der jüngeren Granitischen Molasse – in allen älteren Ablagerungen gefunden. Ein Maximum (bis 20%) zeichnet sich in den Horwerplatten und den stampischen Nagelfluhschuttfächern ab.

Titanit

Er ist für den Übergang der älteren zur jüngeren Granitischen Molasse charakteristisch, wo er bis 10% der Schwermineralfraktion ausmacht. Daneben finden wir ihn vorwiegend in der jüngeren Granitischen Molasse, sporadisch aber auch in allen älteren Ablagerungen.

Chloritoid

Er ist in bemerkenswerter Menge (bis 20%) streng an eine Zone im Übergang der älteren zur jüngeren Granitischen Molasse gebunden und tritt sonst nur sehr vereinzelt auf. In der erwähnten Zone zeigt er jedoch erstaunliche Konstanz in der lateralen Verbreitung und dient somit als Leitmineral.

Monazit

Er fand sich nur vereinzelt, scheint jedoch in den Horwerplatten wie in den stampischen Nagelfluhschuttfächern lokal angereichert (max. 5% der Schwermineralfraktion).

Zoisit

Kleine Mengen von Zoisit treten nur in Spuren einiger Proben der stampischen Nagelfluhschuttfächer auf.

Hornblenden

Sie fehlen praktisch in allen untersuchten Ablagerungen mit Ausnahme eines Valanginienmergels wo sie über 25% der Schwermineralfraktion ausmachen. Sehr vereinzelte Hornblenden fanden sich sporadisch auch in Ablagerungen der subalpinen Molasse.

Sphalerit (Zinkblende)

In einer Probe des ?subalpinen Flysches liess sich ein hochlichtbrechendes Mineral als Sphalerit identifizieren. Es bestritt 8% der Schwermineralfraktion, wurde aber sonst nirgends gefunden.

D. Fazieswechsel der Schwermineralassoziation im Oligocaen des Molassebeckens

Die älteren publizierten Resultate der Schwermineralanalyse lassen sich leider mit modernen Ergebnissen wegen der oben erwähnten verschiedenen Aufbereitung sowie der unterschiedlichen Wahl der auszuzählenden Fraktion nicht präzis vergleichen. Trotzdem zeichnet sich für die Schweizerische Molasse wie auch für die

¹²⁾ Eine rezente Schwermineralprobe aus dem Einzugsgebiet des Centovalli enthielt dieselben Rutil.

angrenzenden französischen und deutschen Molassevorkommen im grossen gesehen eine durchgehende Konvergenz ab:

Innerhalb des Oligocaens tritt durch das dominierende Auftreten von Epidot ein eindeutiger, plötzlicher Wechsel in der Schwermineralvergesellschaftung ein. Herrscht in der älteren Molasse grob verallgemeinert eine ausgesprochene Granat-Zirkon-Apatit-Kombination, verwandelt sich diese in der Zeit des Chattien bis Aquitanien in eine Epidot-(Granat)-Kombination, die im Napfgebiet bis in die jüngsten Molasseablagerungen dominant bleibt. Diese Änderung äussert sich in den Arbeiten von FÜCHTBAUER (1954, 1958, 1964) für das deutsche und schweizerische Gebiet, in denen von HOFMANN (1957, 1965 in Büchi et al.) speziell für die Ost- und Zentralschweiz. Aber auch in der Westschweiz und in den Molassebecken von Savoyen und der Saône (westlich des Waadtländerjuras) beobachten VERNET (1958a, b, 1964), BERSIER & VERNET (1964), TCHIMIKIAN et al. (1958) und VATAN et al. (1957) denselben Wechsel. Die älteren Arbeiten von VON MOOS (1935), RENZ (1937b), KLEIBER (1937) und HOLLIGER (1953) fügen sich bei einer durch die alte Methodik bedingte Uminterpretation schön in den Rahmen der modernen Resultate.

FÜCHTBAUER (1958, 1964) interpretiert diese abrupte Veränderung der Schwermineralassoziation einzig nach schüttungsmechanischen Gesichtspunkten. In Anbetracht der regionalen Bedeutung des Einsetzens des Epidots möchten wir dieser Erscheinung jedoch auch einen den Schüttungen übergeordneten, stratigraphischen Wert beimessen. Besonders eindrücklich zeigen die Schwermineralprofile der Erdölbohrungen der SEAG und LEAG im Schweizerischen Mittelland – beschrieben von HOFMANN (in Büchi et al. 1965: 94) – den Wechsel, der sich in der Unteren Süsswassermolasse (= Granitische Molasse p.p.) vollzieht:

Der untere Teil ist gekennzeichnet durch eine eindeutige Granat-Zirkon-Apatit-Kombination. Diese kommt innerhalb der Granitischen Molasse zum Verschwinden und weicht einer meist alles andere überprägenden Epidotvormacht. Das Bild der ungestörten Schwermineralabfolge der Unteren Süsswassermolasse werden wir uns bei der Betrachtung der alpennahen, verschuppten und gefalteten Äquivalente, d.h. bei unserer äusseren Zone der subalpinen Molasse, immer wieder vor Augen halten müssen. Diese Bohrprofile liefern den Schlüssel zur Interpretation unserer Profile.

E. Die Schwermineralprofile

Als erster stellte FÜCHTBAUER (1964: 195) im Querschnitt der Waldemme die Zweiteilung der Granitischen Molasse in eine nördliche Epidot-Fazies und eine südliche Granat-Apatit-Fazies fest. Er folgert richtig, indem er die Granat-Apatit-Fazies als älteren, auf die jüngere Epidot-Fazies geschobenen Teil der Granitischen Molasse auffasst. MATTER (1964: 407) konnte das von FÜCHTBAUER erwartete Wiederauftreten der Epidot-Fazies am S-Rand der Granitischen Molasse nirgends feststellen.

Es schien nun wünschenswert, das Problem der Schwermineralvergesellschaftung in der Granitischen Molasse etwas weiter zu verfolgen. Unsere Beobachtungen umfassen ein engmaschiges Probenetz in den Einschnitten des Rümlig-Hinterer Fischenbach, der Entlen und der Waldemme.

a. Rümlig-Hinterer Fischenbach-Profil (6 km östlich Entlebuch)

Alle ermittelten Daten dieses Profils sind in Fig. 3 (S. 746) zur Darstellung gebracht. Im folgenden sei Fig. 3 (S. 746) etwas näher betrachtet:¹³⁾

1. Horizontalreihe: Sie gibt den Geländeschnitt in der Gegend des Rümlig-Hinterer Fischenbach wieder. Mit Kreuzen wurde der Ort der Probeentnahme dargestellt. Die die Kreuze schneidenden Striche zeigen das für die Probelokalität charakteristische Schichtfallen. Von NW gegen SE im Profil neigen sich die vorerst saiger stehenden Schichten allmählich zu einem SE-Fallen. In der Gegend des Folleneggrabens stehen die Schichten zueinander synkinal. Weiter gegen SE hält das erneute, vorerst schwache SE-Fallen (40°) bis ans Profilende an. Ein Blick auf MOLLETS Profiltafel zu Spez. Karte 91 (1921), Profil 2, vermittelt uns dasselbe Bild. In die saiger stehenden Schichten im NW legt MOLLET die «Hauptantiklinale» (A_1), die mit der Würzenbach-Antiklinale in der Gegend von Luzern (vgl. KOPP, 1962, Tafel 1) identisch ist. Die anschliessende Synklinale entspricht der Allmendli-Synklinale (S_1) am Vierwaldstättersee (KOPP, 1962, Tafel 1). Sie ist im Hinteren Fischenbach so schön aufgeschlossen, dass schon KAUFMANN (1860) eine Abbildung dieser Lokalität publizierte. Nach SE anschliessend bringt MOLLET (1921, Profil 2) das zweite bei Luzern als Altstaad-Antiklinale (A_2) ausgeschiedene Gewölbe zur Darstellung, hier allerdings durch einen Scheitelbruch gestört.

Die folgenden Horizontalreihen der Fig. 3 (S. 746) werden zeigen, ob diese rein aus Fallmessungen erhaltene Tektonik durch sedimentpetrographische Kriterien eine Bestätigung findet.

2. Horizontalreihe: Das schraffierte Feld gibt den Epidotgehalt wieder, die schwarzen Balken denjenigen von Chloritoid. Wir sehen in der Tat, dass in der Gegend der «Hauptantiklinale» (A_1) der Epidotgehalt zurückgeht, in der anschliessenden Synklinale (S_1) wieder auf fast 100% zunimmt, sich wieder etwas vermindert, um bei Probe Nr. 63903/2 praktisch ganz zu verschwinden.

Ferner befindet sich ein ausgesprochenes Chloritoidmaximum im Kern der «Hauptantiklinale».

3. Horizontalreihe: Sie stellt die Kurve des Apatitgehaltes dar. Er ist zu der des Epidotes komplementär und zeigt im SE-Teil, d.h. in der epidotfreien Zone ein Maximum. Staurolith (schwarze Balken) tritt nur in diesem SE-Teil in namhaften Mengen auf.

4. Horizontalreihe: Ein dem Apatit entsprechendes Verhalten zeigt der Zirkon: Ansteigen des Gehaltes in den Antiklinalkernen und im SE-Teil der Granitischen Molasse. Der Titanit (schwarze Balken) dagegen erweist sich als Durchläufer.

5.–7. Horizontalreihen: Die darunter folgenden drei Kurven stellen die TiO_2 -Gruppe (Rutil, Brookit, Anatas), den Turmalin und den Spinell dar. Da die Gehalte an diesen Mineralien relativ gering sind, lassen sich nicht mehr eindeutig gesicherte Aussagen machen. Die Kurven scheinen jedoch den Verlauf derjenigen von Apatit und Zirkon mitzumachen. Bemerkenswert ist der sprunghafte Anstieg

¹³⁾ Die Resultate aller an den Proben ausgeführten Untersuchungen sind in Tab. 3 (S. 766) zusammengestellt.

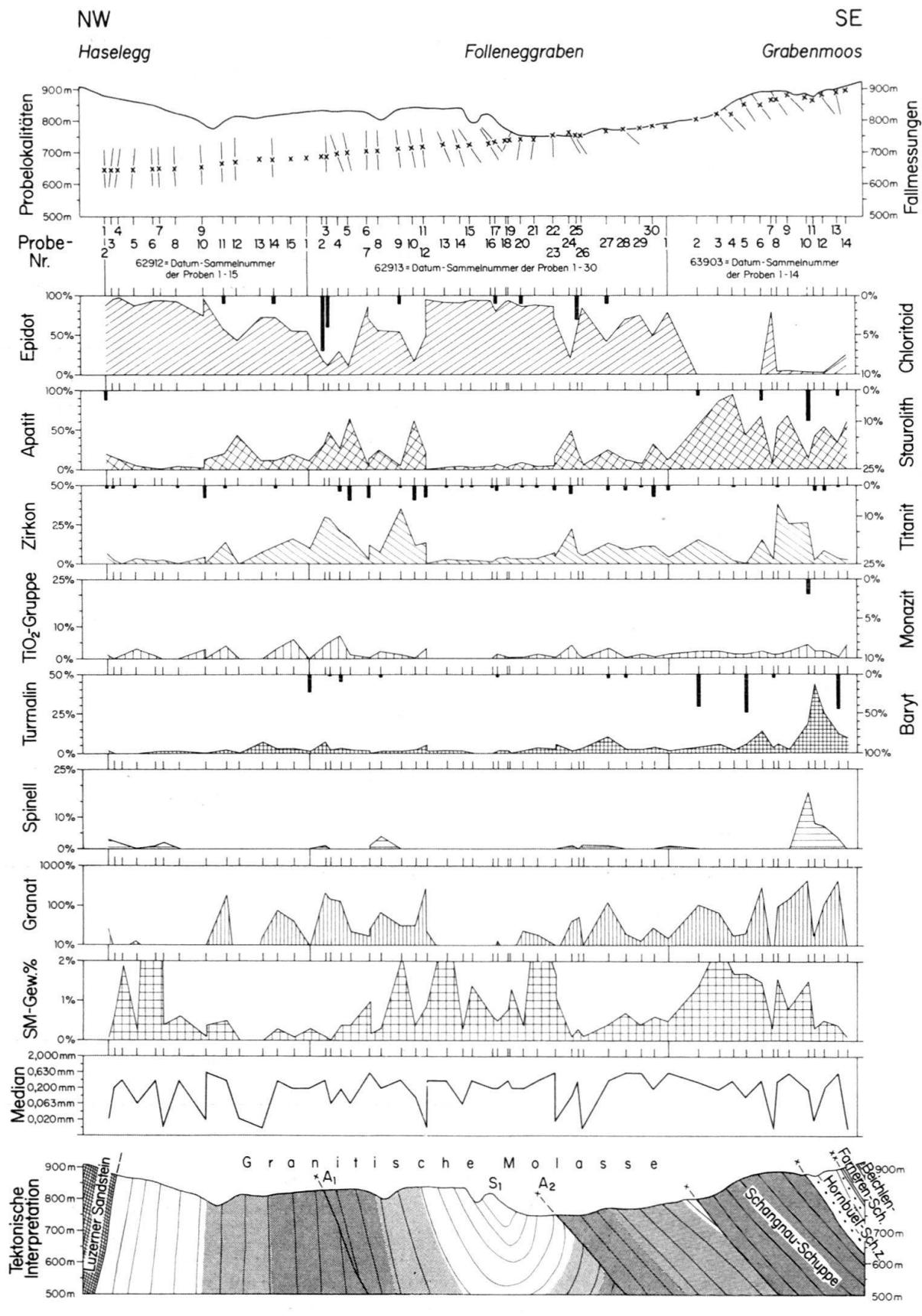


Fig. 3.

des Spinells und des Turmalins im SE-Teil des Profils (ab Proben 63903/10). Diese Schwermineralzusammensetzung ist typisch für die älteren stampischen Ablagerungen und wurde in der Granitischen Molasse nirgends angetroffen. Monazit (schwarze Balken) tritt nur im SE-Teil auf. Auch der Baryt (schwarze Balken) ist hier angereichert und findet sich sonst nur noch als Spuren in den Antiklinalkernen.

8. Horizontalreihe: Sie zeigt den Granatgehalt. Er ist logarithmisch abgetragen (von 10%–1000%) und hat trotz grosser Schwankungen den oben gezeigten Kurvenverlauf: Anreicherung in den Antiklinalkernzonen und im SE-Teil des Profils.

9. Horizontalreihe: Die Gewichtsprozente der Schwermineralfraktion scheinen reziprok den obigen Kurven zu verlaufen und sich so der Epidotkurve anzugelichen. Im SE-Teil des Profils stimmt diese Analogie nicht mehr, indem wieder hohe Gewichtsprozentwerte auftreten. Auch sind die Schwankungen so gross, dass eine gültige Aussage dahinfällt.

10. Horizontalreihe: Hier sind die geschätzten Medianwerte der Gesteinsproben (vgl. S. 739) dargestellt.

Interpretation

Die unterste Horizontalreihe gibt die anhand obiger Kurven interpretierte Tektonik wieder.

Vergegenwärtigen wir uns vorerst nochmals die Situation, wie sie uns in den Bohrprofilen des Schweizerischen Mittellandes entgegentritt (BÜCHI et al. 1965: 94):

In der Unterer Süßwassermolasse (= Granitische Molasse p.p.) geht eine meist etwas staurolithführende Granat-Apatit-Zirkon-(Turmalin)-Fazies gegen oben in eine Epidot-Fazies über.

In unserem Profil tritt die epidotarme-epidotfreie Fazies an zwei Stellen auf:

1. In den Antiklinalkernen (A₁, A₂)
2. Im SE-Teil des Profils

Die Epidot-Fazies dagegen finden wir:

1. Im Liegenden des Luzerner Sandsteins
2. Im Synklinalkern (S₁) der Allmendli-Synklinale (Folleneggraben auf Fig. 3, S. 746)

Fig. 3. Schwermineralverteilung im Rümlig-Hinterer Fischenbach-Profil.

Die Mineralbezeichnungen der linken Bildseite beziehen sich auf die schraffierten Flächen der entsprechenden Horizontalreihe; die Mineralbezeichnungen der rechten Bildseite auf die schwarzen Balken über den Kurven. Die Signaturen im untersten Profil zeigen die Schwermineralverteilung: weiss = Epidot-(Granat)-Kombination der Sandstein-(Mergel)-Abfolge im höheren Teil der Granitischen Molasse; dunkler Raster = Granat-Zirkon-Apatit-Kombination der Sandstein-(Mergel)-Abfolge im tieferen Teil der Granitischen Molasse; heller Raster = Übergänge zwischen den beiden genannten Schwermineralassoziationen. A₁ = Würzenbach-Antiklinale; S₁ = Allmendli-Synklinale; A₂ = Altstaad-Antiklinale.

Im SE-Teil des Profils kommt sie nicht mehr zum Vorschein.

Die tieferen epidotarmen-epidotfreien Teile der Granitischen Molasse sind im Profil dunkel hervorgehoben, die höheren epidotführenden aber weiss gelassen.

So lässt sich die Tektonik, wie wir sie anhand der Fallmessungen erwarten mit den Schwermineralzählungen zwangslos bestätigen und präzisieren: Die tieferen Schichten (dunkel im Profil) treten in den gestörten Antiklinalkernen der nördlichen «Hauptantiklinale» (= Würzenbach-Antiklinale = A_1) und in einer südlichen stark gestörten zweiten Antiklinale (= Altstaad-Antiklinale = A_2) auf. Der SE-Teil ist epidotfrei und muss somit einer tieferen Einheit der Granitischen Molasse entsprechen, die wir schon hier als Schangnau-Schuppe bezeichnen möchten. Mit dem sprunghaften Anstieg von Spinell und Turmalin manifestiert sich im SE eine noch ältere Gesteinsserie, wie sie sonst nur in den stampischen Schuttfächern der inneren Zone auftritt. Da diese als Teil der Hornbüel-Schuppenzone ausgeschiedene Serie z. T. makroskopisch kaum von der Granitischen Molasse unterschieden werden kann – es sei denn an den oben erwähnten gelben Dolomitkomponenten (vgl. S. 738) – erstaunt nicht, dass MOLLET (1921) diese Gesteine der Granitischen Molasse zuordnet.

Die beiden südöstlichen, epidotfreien Komplexe – wir nennen sie Hornbüel-Schuppenzone und Schangnau-Schuppe – müssen an beträchtlichen Störungslinien disloziert worden sein. Sie repräsentieren gegenüber der nordwestlichen Antiklinalzone merklich ältere Gesteinsabfolgen. Die Antiklinalzone als Ganzes lässt sich in zwei Antiklinalen (A_1 und A_2) – getrennt durch die Allmendli-(Folleneggraben)-Synklinale (S_1) – unterteilen. Die Terrainbefunde weisen darauf hin, dass wir in beiden Antiklinalen mit Längsverstellungen der Kernschichten rechnen müssen, wie dies bereits MOLLET (1921: 50) betonte.

b. Entlen-Profil (Fig. 4, S. 749, vgl. auch Profiltafel MOLLET, 1921, Profil 6)

Das Bild des Rümlig-Hinterer Fischenbach-Profils wiederholt sich aufs schönste, obschon wegen der schlechteren Aufschlüsse die Proben nicht so eng gesammelt werden konnten.

Auch in Fig. 4 (S. 749) beobachten wir ein zweimaliges Zurücktreten des Epidotgehaltes mit entsprechendem Ansteigen der Gehalte an Apatit, Zirkon, der TiO_2 -Gruppe und Turmalin. Es sind dies die freigelegten, tieferen Schichten der nördlichen Würzenbach- (A_1) und der südlichen Altstaad-Antiklinale (A_2). Das Auftreten von Chloritoid im Kern der Würzenbach-Antiklinale (A_1) erfolgt im selben stratigraphischen Niveau wie im Rümlig-Hinterer-Fischenbach-Profil und scheint

Fig. 4. Schwermineralverteilung im Entlen-Profil.

Die Mineralbezeichnungen der linken Bildseite beziehen sich auf die schraffierten Flächen der entsprechenden Horizontalreihe; die Mineralbezeichnungen der rechten Bildseite auf die schwarzen Balken über den Kurven. Die Signaturen im untersten Profil zeigen die Schwermineralverteilung: weiss = Epidot-(Granat)-Kombination der Sandstein-Mergel)-Abfolge im höheren Teil der Granitischen Molasse; dunkler Raster = Granat-Zirkon-Apatit-Kombination der Sandstein-(Mergel)-Abfolge im tieferen Teil der Granitischen Molasse; heller Raster = Übergänge zwischen den beiden genannten Schwermineralassoziationen. A_1 = Würzenbach-Antiklinale; S_1 = Allmendli-Synklinale; A_2 = Altstaad-Antiklinale.

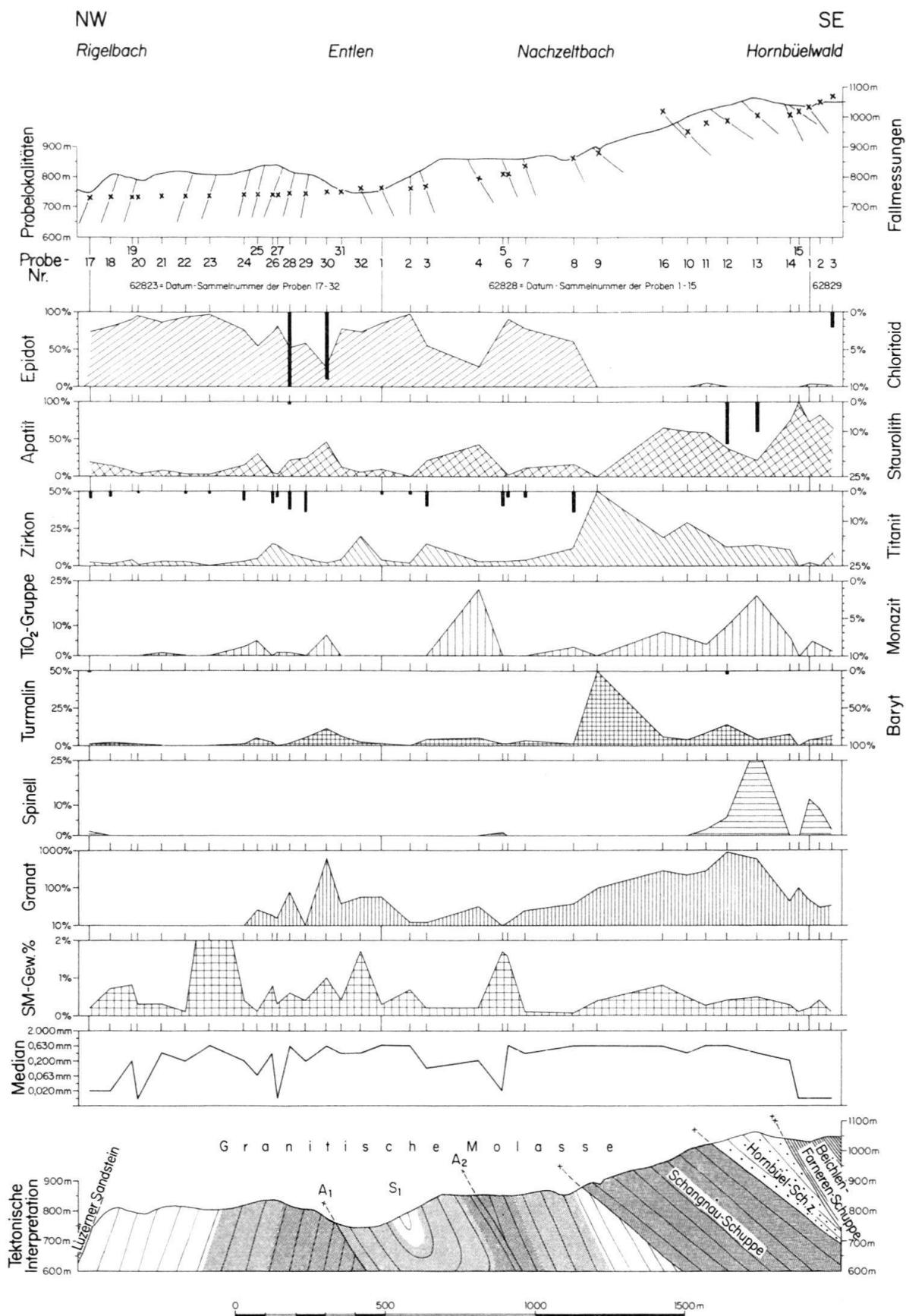


Fig. 4.

für diesen Antiklinalkern bezeichnend. Der abrupte Ausfall von Epidot im SE zeigt erneut den Beginn der Schangnau-Schuppe, das Einsetzen des Spinells den der Hornbüel-Schuppenzone.¹⁴⁾

Das unterste Profil der Fig. 4 (S. 749) gibt die tektonische Interpretation der oben dargestellten Daten wieder.

c. Waldemme-Profil (Fig. 5, S. 751; vgl. auch FRÖHLICHER, 1933, Tafel 1, Profil 4)

Ein sehr dichtes Probenetz in der Gegend der Wiss Emme (FRÖHLICHERS «Hauptantiklinale») konnte FÜCHTBAUERS Annahme eines epidotfreien SE-Flügels dieser Antiklinale nicht bestätigen. Wohl geht der Epidotgehalt im Kern der Antiklinale zurück, steigt im SE des Scheitels aber wieder an. Erst einige hundert Meter weiter südöstlich setzt die Granat-Apatit-Fazies ein, nämlich mit der Überschiebungslinie der Schangnau-Schuppe, analog den beiden vorderen Profilen. Im Waldemme-Profil konnte die Hornbüel-Schuppenzone nicht erfasst werden. Die vermeintliche Verbreiterung der Schangnau-Schuppe gegenüber den beiden östlichen Profilen ist durch lokale Torsionserscheinungen (FRÖHLICHER, 1933: 35) der Schichten im Bett der Waldemme bedingt.

Geometrische und sedimentpetrographische Überlegungen liessen uns plötzlich zweifeln, ob die Antiklinale bei der Einmündung der Wiss Emme in die Waldemme wirklich der «Hauptantiklinale», d. h. der nördlichen Würzenbach-Antiklinale (A₁), entspreche. Es können folgende Einwände erhoben werden:

1. Bei einem gegenüber den beiden östlichen Profilen nicht stark abweichenden Schichtfallen springt die Antiklinale von der N-Hälfte der Granitischen Molasse-Zone im E plötzlich im Waldemmequerschnitt auf die S-Hälfte über, ohne dass jedoch die Grenzlinie Granitische Molasse–Luzerner Sandstein dieses Ausbiegen nach S mitmacht. Mit anderen Worten: gemessen in der wahren Schichtmächtigkeit vom Dach der Granitischen Molasse (Grenze zu Luzerner Sandstein) tritt die Würzenbach-Antiklinale (A₁ = «Hauptantiklinale») im Rümlig wie in der Entlen nach ca. 800 m auf. In der Waldemme aber erst nach 1700 m. Geometrisch ist dieses Phänomen ohne primäre Mächtigkeitszunahme gegen W nicht erklärlich.

2. Das Fehlen von Chloritoid im Kern der Antiklinale bei der Wiss Emme-Mündung erstaunte uns, nachdem sich dieses Mineral in den beiden östlichen Profilen als horizontbeständig erwiesen hat.

Nach unseren Profilen lässt sich die Antiklinale beim Zusammenfluss Wiss Emme-Waldemme zwangslässig als die südliche, im E als Altstaad-Antiklinale (A₂) beobach-

¹⁴⁾ Der Einfachheit halber werden hier nur die auffälligsten Unterschiede in der Mineralführung herausgestrichen. Es ist jedoch immer die gesamte Schwermineralvergesellschaftung, die das Einsetzen einer neuen Schwermineralzone anzeigen.

Fig. 5. Schwermineralverteilung im Waldemme-Profil.

Die Mineralbezeichnungen der linken Bildseite beziehen sich auf die schraffierten Flächen der entsprechenden Horizontalreihe; die Mineralbezeichnungen der rechten Bildseite auf die schwarzen Balken über den Kurven. Die Signaturen im untersten Profil zeigen die Schwermineralverteilung: weiss = Epidot-(Granat)-Kombination der Sandstein-(Mergel)-Abfolge im höheren Teil der Granitischen Molasse; dunkler Raster = Granat-Zirkon-Apatit-Kombination der Sandstein-(Mergel)-Abfolge im tieferen Teil der Granitischen Molasse; heller Raster = Übergänge zwischen den beiden genannten Schwermineralassoziationen. A₁ = Würzenbach-Antiklinale; S₁ = Allmendli-Synklinale; A₂ = Altstaad-Antiklinale.

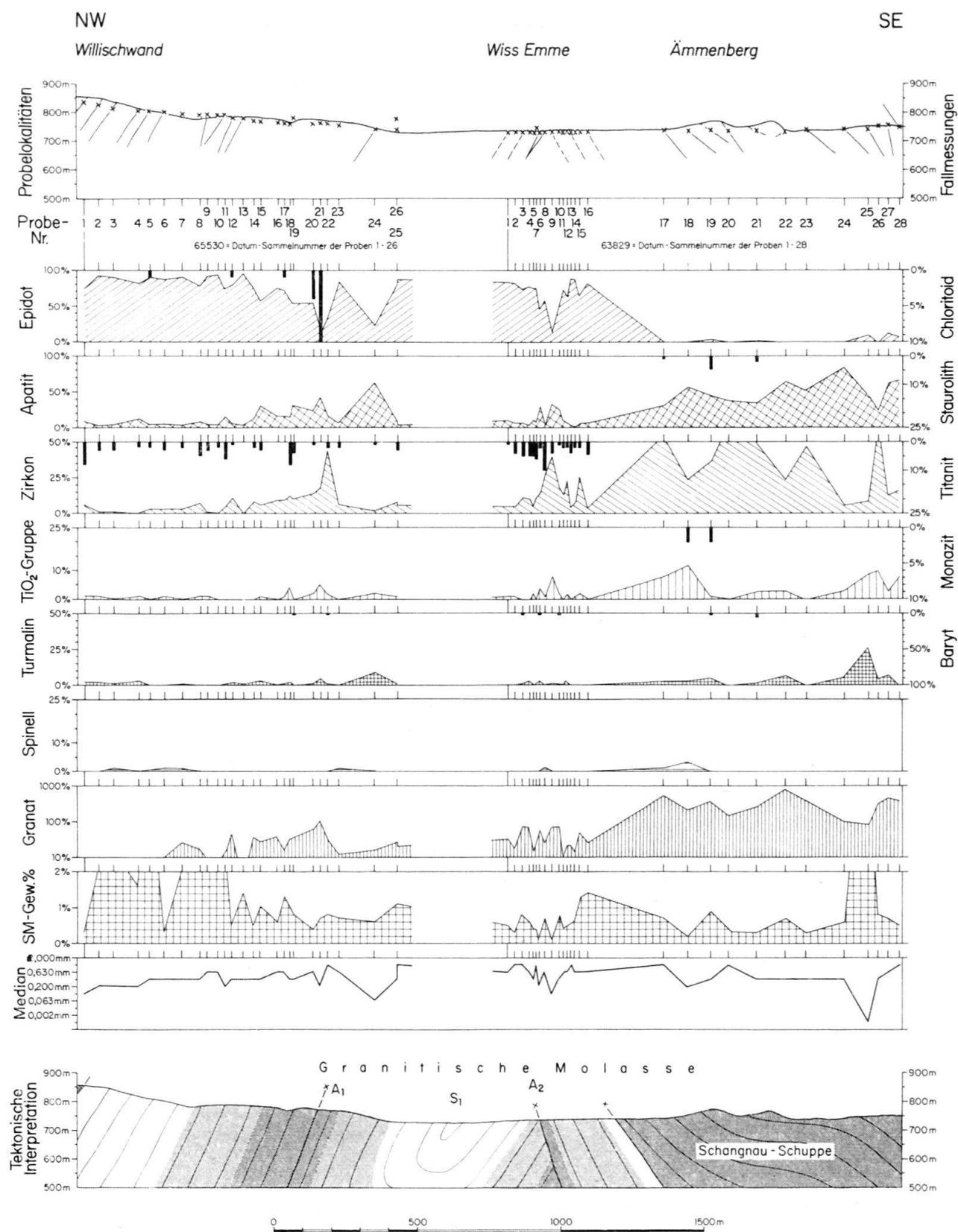


Fig. 5.

tete Struktur identifizieren. Danach musste sich aber die Würzenbach-Antiklinale (A_1) im nördlichen Teil der Granitischen Molasse auffinden lassen. Die Durchsicht der Resultate von FÜCHTBAUER (1964: 276) und MATTER (1964: 406, 407) verstärkten den Verdacht, dass schon im N, im Blattbach, der nördlichen Verlängerung des Waldemme-Profil, eine epidotarme Zone auftritt. Ein nachträglich eng gesammeltes Profil durch den erwähnten Blattbach ergab das in Fig. 5 dargestellte Resultat: Die epidotarme, chloritoidführende Zone der Würzenbach-Antiklinale (A_1) erscheint genau an der nach den östlichen Profilen zu erwartenden Stelle. Der Feldbefund zeigte zwar nirgends antiklinalgestellte Schichten, doch konnte man an der fraglichen Stelle überhaupt kein Schichtfallen ermitteln (vgl. Fig. 5, S. 751). Aber auch ein kontinuierliches NW-Fallen der Schichten würde die Existenz einer Antiklinale nicht in Frage stellen. Es könnte sich, wie wir es auch im Interpretationsprofil eingezeichnet haben, um eine Randunterschiebung im Sinne HABICHTS (1945a: 7) handeln. Das von diesem Autor geforderte starre Widerlager (HABICHT, 1945: 11), welches für diese Art von Tektonik notwendig ist, bildet der nördlich vorgelagerte mächtige, miocaene Napfschuttfächer.

Als schöne Bestätigung dieser durch Schwermineralanalysen gewonnenen, tektonischen Resultate möge KAUFMANN gelten, der 1886 (S. 398) den richtigen Verlauf der «Hauptantiklinale» (= Würzenbach-Antiklinale = A_1) schon klar erkannt hat.

F. Beeinträchtigung der Schwermineralanalysen durch «intrastratal solution» und durch Korngrössenabhängigkeit der Schwerminerale

Gegen die Schlüssigkeit der obigen Schwermineralresultate können zwei Einwände vorgebracht werden:

- 1) Selektive «intrastratal solution» bewirkte die Änderungen im Schwermineralspektrum.
- 2) Die oben beschriebene Variation des Schwermineralgehaltes ist reine Funktion der Korngrösse der Gesteinsproben.

1. «Intrastratal solution» (vgl. PETTIJOHN, 1957: 674)

Die durch rein physikalische Kräfte (partieller Überlagerungsdruck, Temperatur u.a.) gesteuerte «intrastratal solution» kann kaum eine so selektive, nicht den Gesetzen der Mineralstabilität gehorchende Wirkung haben, wie sie in der Verteilung der Schwerminerale in unseren Profilen (Fig. 3, 4 und 5, S. 746, 749, 751) zum Ausdruck kommt. Im übrigen stützen wir uns auf die Aussagen von FÜCHTBAUER (1964: 262): Er konnte in der Westmolasse anhand von Vergleichen tiefer Bohrungen mit Oberflächenaufschlüssen der gleichen Schüttung keine Wirkung der «intrastratal solution» beobachten.

2. Korngrössenabhängigkeit der Schwerminerale

Der Epidot, der für die jüngere Granitische Molasse kennzeichnend ist, hat ganz allgemein die Tendenz sich im Bereich der gröberen Fraktion anzureichern. Im Gegensatz dazu erfolgt bei Zirkon, einem für den älteren Teil der Granitischen Molasse typischen Mineral eine Gehaltzunahme gegen die Feinfaktion. Es mag

nun der Vorwurf erhoben werden, die zirkonreichen Partien der Antiklinalkerne (A_1 , A_2) und der Schangnau-Schuppe stammen von feinkörnigen Proben, die epidotreichen, höheren Abschnitte aber von grobkörnigen. Ein Blick auf die Mediankurven (zweitunterste Horizontalreihen der Fig. 3, 4 und 5, S. 746, 749, 751) zeigt jedoch eine völlige Unabhängigkeit der Schwermineralgehalte von den Korngrößenverhältnissen der Proben. Im allgemeinen weisen sowohl kiessandige Proben einer bestimmten Schwermineralzone wie auch die Mergel eine völlig analoge Schwermineralassoziation auf. Trotzdem wurde zur Kontrolle eine grobkörnige – d.h. epidothöffige – Probe der Antiklinalzone (Apatit-Zirkon-Fazies) und eine feinkörnige – d.h. zirkonhöffige – Probe der Synklinalzone (Epidot-Fazies) in den Fraktionen 0,06–0,10; 0,10–0,20; 0,20–0,30; 0,30–0,40 und 0,40–0,60 mm getrennt ausgezählt.

Das Ergebnis ist für Epidot, Zirkon und Apatit in Fig. 6 dargestellt. Die gestrichelte Kurve entspricht der Probe der Antiklinalzone, die vollausgezogene derjenigen der Synklinalzone. Wir stellen fest: Die Kurven der fraglichen Minerale Epidot, Zirkon und Apatit der beiden Proben überlagern einander nicht. Wir dürfen also annehmen, dass es sich wirklich um zwei verschiedene Schwermineralassoziationen handelt.

Wie aus Fig. 6 ferner ersichtlich ist, finden sich in den Schwermineralfraktionen $> 0,3$ mm der zwei Proben keine durchsichtigen Schwerminerale mehr. Für das Auftreten von Zirkon und Apatit ist die Fraktion 0,15 mm sogar schon die obere Korngrössengrenze.

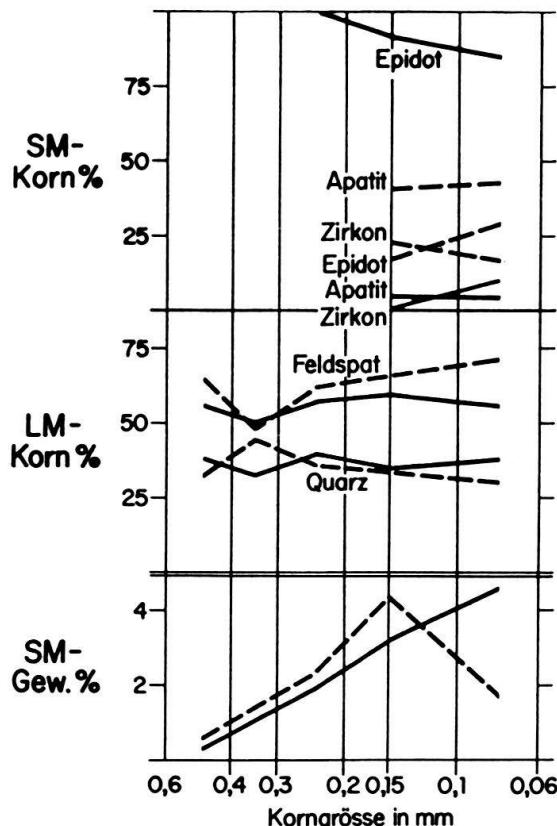


Fig. 6. Korngrößenverteilung von Epidot, Apatit, Zirkon (oben), Feldspat und Quarz (Mitte) sowie prozentualer Gehalt an Schwermineralen zweier Proben in Abhängigkeit von der Korngröße (unten). SM = Schwerminerale; LM = Leichtminerale.

Im übrigen sind in Fig. 6 auch die fraktionierten Leichtmineralzählungen der beiden erwähnten Proben dargestellt. Weder Quarz noch Feldspat weisen eine eindeutige Abhängigkeit zur Korngrösse auf (vgl. auch Kapitel über Leichtminerale S. 758).

G. Gewichtsanteil der Schwermineralfraktion am Gesamtgewicht des Sedimentes

Anders erfahren die Gewichtsgehalte der Schwerminerale, wie der unterste Teil der Fig. 6 (S. 753) zeigt, eine sehr starke Zunahme gegen die feineren Fraktionen. Die Frage, weshalb die Schwerminerale in den feineren Fraktionen angereichert sind, wird von MATTER (1964: 404) ausführlich diskutiert. Es bleibt zu erwähnen, dass in unseren Proben der Gewichtsanteil der Schwermineralfraktion sehr unterschiedlich ist, sich aber meistens in den Grenzen von 0,1 bis ca. 4 Gewichtsprozent hält (vgl. 9. Horizontalreihe der Fig. 3, 4 und 5, S. 746, 749, 751). Einige extrem hohe Werte (max. 18,1%) wurden in Mergeln beobachtet. Diese Extremgehalte beziehen (ich aber nicht auf die durchsichtigen Schwerminerale, die in diesen Proben spärlich sind, sondern sind sehr wahrscheinlich durch authigene Erzausfällungen (Pyrit ?) während der Diagenese dieser Mergel bedingt.

H. Diskussion zur Herkunft der Schwerminerale

Die Schwermineralassoziation, wie sie sich uns unter dem Mikroskop darbietet, ist das Resultat einer ganzen Anzahl komplexer, physikalischer Prozesse, die die ursprüngliche Schwermineralvergesellschaftung des Liefergebietes stark modifizieren können und deren Wirkung zum Teil noch zu wenig bekannt ist. Es handelt sich vorwiegend um folgende 4 Faktoren (VAN ANDEL, 1959):

1. Verwitterung im Liefergebiet
2. Mechanische Zerstörung während des Transportes
3. Korngrößen- und dichtebedingte Sortierungseffekte während des Transportes
4. Postdepositionale Veränderung bedingt durch den Überlagerungsdruck (= «intrastratal solution»)

Wenn auch nach dem obigen Autor diese 4 Faktoren bei schnellsedimentierten, orogenen Bildungen wie der Molasse zu vernachlässigen sind, wird die Beheimatung der Schwermineralassoziationen aus folgenden Gründen nicht wesentlich erleichtert:

1. Es können die stabilen, umlagerungsresistenten Mineralien wie TiO_2 -Gruppe, Zirkon, Turmalin, Granat, Monazit, Apatit und Staurolith auf sekundärer oder noch älterer Lagerstätte vorliegen (vgl. VON MOOS, 1935: 217, PETTIJOHN, 1957: 506).
2. Die verbleibenden, instabilen (= «umlagerungsempfindlichen» nach VON MOOS, 1935: 217), metamorphen Mineralien wie Epidot und Chloritoid, die wohl für bestimmte Zonen der alpinen Metamorphose charakteristisch sind, könnten auch aus praearpalin-metamorphen Gesteinskomplexen stammen.

FÜCHTBAUER (1964: 194) bezieht den Epidot der oberen Granitischen Molasse aus den die Sandsteine begleitenden Gerölle vom Albula-Julier-Typ (vgl. CORNELIUS, 1935). Die Schwerminerale der psammitischen Matrix brauchen aber nicht unbedingt mit denjenigen der eingelagerten Gerölle übereinzustimmen. Oft können die schon zu Sand zerfallenen, wenig transportresistenten Gerölle den Hauptanteil der Schwerminerale liefern, wie dies das Beispiel der granatführenden,

stampischen Ablagerungen der inneren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs deutlich zeigt:

Der Granat ist in den fluvioterrestrischen Ablagerungen der inneren Zone weit- aus der häufigste Bestandteil der Schwerminerale (bis über 1000% bezogen auf den Rest der Schwerminerale). Suchen wir unter den Geröllen dieser Nagelfluhbildungen den Lieferanten, kommen einzig gewisse Gneise in Betracht, da nur diese namhafte Mengen an Granat führen. Der Anteil dieser Gesteine an der gesamten Geröllzusammensetzung beträgt aber nur wenige Prozent. Zudem zeichnen sich die Gneise im Aufschluss durch den hohen Grad ihrer Verwitterung aus; sie sind oft praktisch zu Grus zerfallen. Der hohe Granatgehalt des Nagelfluhbinde- mittels einerseits und die leichte Verwitterbarkeit und das seltene Auftreten des einzigen potentiellen Lieferanten dieser Granate andererseits zeigen eindeutig, dass der Hauptanteil dieser Gneise auf ihrem Transport schon zu Sand zerfallen ist.

Die Beheimatung des selten auftretenden Chloritoids ist noch fragwürdiger als die des viel häufigeren Epidots.

Sein Auftreten im Oligocaen würde nicht gegen alpines Alter sprechen. Sein heutiges alpines Verbreitungsgebiet jedoch (NIGGLI, 1960: 133, 134, 1965: 340, 342), nämlich ein relativ schmaler Gürtel von der penninischen Bernhard-Monte-Rosa- decke des Wallis über das Gotthardmassiv nach Graubünden bis Reichenau und bis zum San Bernardino, dürfte zur Zeit des Oligocaens kaum schon der Erosion zugänglich gewesen sein. Nach Prof. NIGGLI (frdl. müdl. Mitteilung) wäre eine Herkunft aus voralpin metamorphen, ostalpinen Einheiten denkbar. Es bleibt aber auch die Beheimatung des Chloritoids unbestimmt.

Von dem ganzen Schwermineralspektrum steht schlussendlich allein die Herkunft des als authigen erkannten Baryts eindeutig fest.

Dieses wenig ermutigende Resultat zeigt, dass die Schwermineralanalyse zu Rückschlüssen auf die Petrographie eines orogenen Hinterlandes wenig geeignet ist. Zur Beantwortung dieser Fragen muss der Geröllanalyse der Vorrang gelassen werden. Dagegen liefert die Schwermineralanalyse zur tektonisch-lithostratigraphischen und schüttungsmechanischen Gliederung fossilärmer und petrographisch eintöniger Gesteinsserien unschätzbare und oft einzige Hilfe.

3. Leichtmineralanalysen

Die neueren sedimentpetrographischen Arbeiten berücksichtigen neben den Schwermineralen auch die Leichtmineralzusammensetzung eines Gesteins. Man erwartet gerade von den Leichtmineralen, die ja bei weitem den Hauptanteil eines Gesteins ausmachen, weitere, die Schwermineralanalyse unterstützende Unterscheidungsmöglichkeiten lithologisch monotoner Gesteinsabfolgen.

A. Methodisches

Wir hielten uns im Prinzip bei der Aufbereitung und Auszählung der Leichtminerale an die von FÜCHTBAUER (1964: 163) und MATTER (1964: 400) verwendete Methode.

Von den Leichtmineralen wurde die Fraktion 0,10–0,15 mm ausgesiebt und in einer Mischung von Zedernholzöl und Benzoesäure-benzylester mit einer Lichtbrechung von 1,54 untersucht. Es wurden jeweils 100 Körner ausgezählt, wobei der Glimmer, der je nach seiner spezifischen Zusammensetzung sowohl in der Leicht-

wie in der Schwermineralfraktion erscheint, nicht miteinbezogen wurde. Er wurde – wie der Granat bei den Schwermineralen – gesondert gezählt und auf die Summe der Leichtminerale umgerechnet.

Chlorite und der sehr seltene Glaukonit, die in der Schwer- wie der Leichtmineralfraktion vorkommen, wurden nicht berücksichtigt.

Die Unterscheidung Quarz-Feldspat erfolgte mit Hilfe der Lichtbrechung, da die auftretenden Feldspäte fast ausschliesslich unter $n = 1,54$ brechen.

In der Zählung wurden folgende Mineralien ausgeschieden (vgl. MATTER, 1964: 401):

Quarz

Die eckigen, klaren, oft auch bräunlich pigmentierten Körner zeigen z. T. undulöse Auslöschung. Da der Anteil an undulös auslöschenden Individuen sich als wesentliches Bestimmungsmerkmal der Sandsteine erwies (FÜCHTBAUER, 1964: 248), wurden sie gesondert gezählt.

Feldspäte

Es handelt sich um zum Teil frische, zum Teil aber bis zur Unkenntlichkeit zersetzte Alkalifeldspäte (Orthoklas, Mikroklin und Albit). In kleinen Mengen zeigten sich unter dem Mikroskop schön verzwillingte Individuen (Albitzwillinge, Mikrokline), die in der Zählung berücksichtigt wurden. Ihr Gehalt (wenige Prozente) ist jedoch zu gering, um irgendwelche Schlüsse zu ziehen. Allerdings scheinen Zwillinge in der Granitischen Molasse etwas häufiger als in den älteren Ablagerungen.

Wir zählten die stark zersetzen, aber noch als Feldspäte identifizierbaren Körner der Feldspatgruppe zu. MATTER (1964: 401) dagegen bezeichnete diese als Alterite.

Gesteinsbruchstücke

Hierzu werden Mineralaggregate von mindestens 3 Individuen gerechnet (MATTER, 1964: 401). Es sind meistens Quarz-Feldspat-Aggregate, die häufig auch Glimmer enthalten können. Daneben treten vereinzelt mikrokristalline Quarzitbruchstücke (Chert) auf. In den Zählungen besonders ausgeschieden, wurden sie in den Figuren zu den Gesteinsbruchstücken geschlagen.

B. Resultate der Leichtmineralanalysen

In Fig. 7 sind die drei Profile des Rümlig-Hinterer Fischenbach, der Entlen und der Waldemme mit der aus den Schwermineralanalysen resultierenden Tek-

Fig. 7. Tektonische Profile durch den Rümlig-Hinterer Fischenbach, die Entlen und die Waldemme sowie die dazugehörigen Resultate der Karbonatbestimmungen und der Leichtmineralanalysen.

Die Signaturen in den tektonischen Profilen zeigen die Schwermineralverteilung: weiss = Epidot-(Granat)-Kombination der Sandstein-(Mergel)-Abfolge im höheren Teil der Granitischen Molasse; dunkler Raster = Granat-Zirkon-Apatit-Kombination der Sandstein-(Mergel)-Abfolge im tieferen Teil der Granitischen Molasse; heller Raster = Übergänge zwischen den beiden genannten Schwermineralassoziationen. Vertikal schraffiert = Quarz, davon undulös auslöschender Quarzanteil = feinere Schraffur. A_1 = Würzenbach-Antiklinale; S_1 = Allmendli-Synklinale; A_2 = Altstaad-Antiklinale.

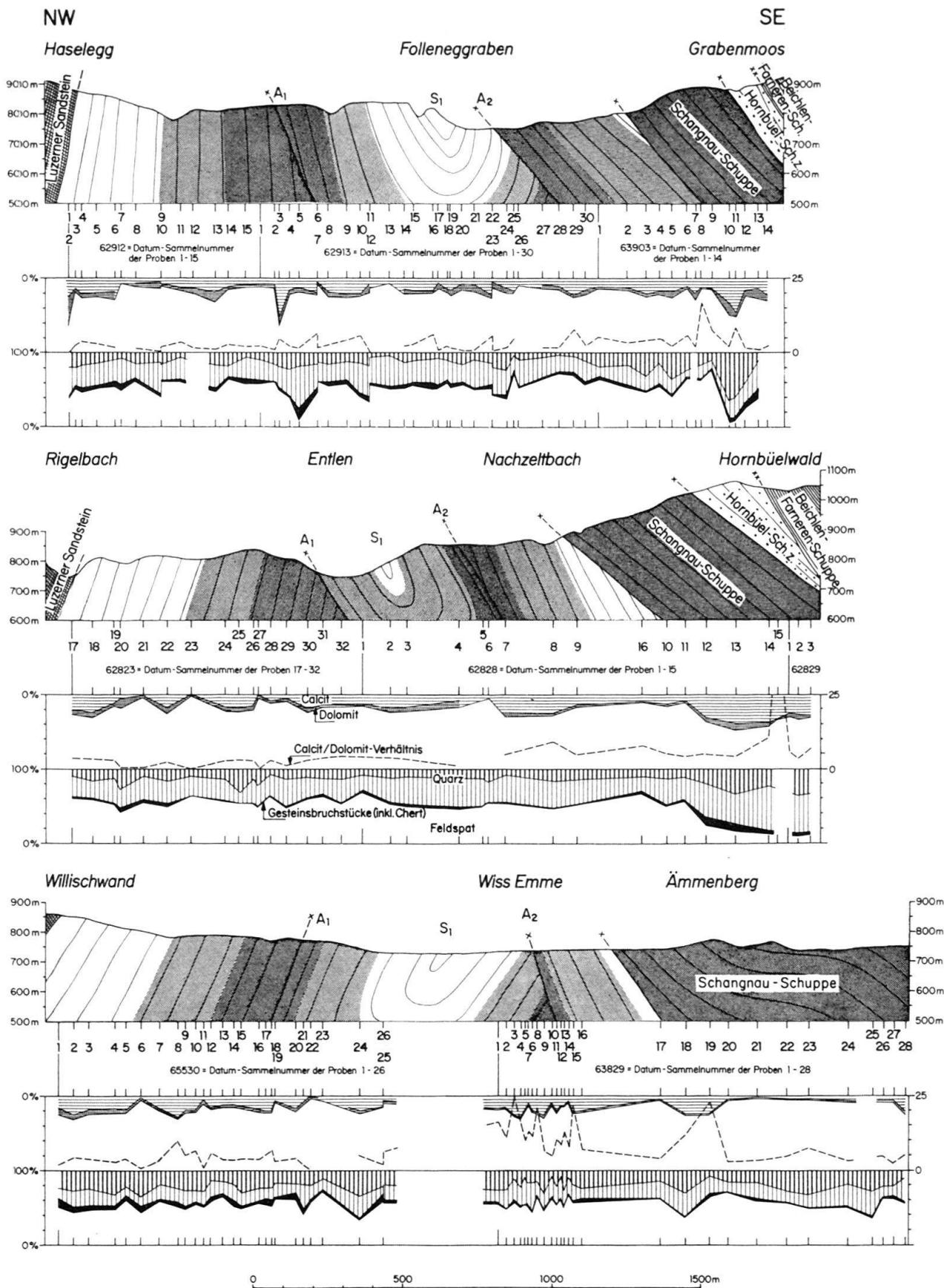


Fig. 7.

tonik nochmals zusammengestellt. Die unter dem jeweiligen Profil dargestellten Kurven zeigen in der ersten Horizontalreihe die Ergebnisse der Calcimetrie, in der zweiten diejenigen der Leichtmineralanalyse. Der Quarzgehalt ist senkrecht schraffiert, wobei die feinere Schraffur den Gehalt an undulös auslöschendem Quarz angibt. Der Anteil an Gesteinsbruchstücken ist schwarz gefärbt, derjenige an Feldspat aber weiss gelassen.

Granitische Molasse

Die durch die Schwerminerale erzielte Gliederung in höhere und tiefere Einheiten lässt sich anhand der Leichtminerale nicht nachweisen. Die Leichtmineralgehalte bleiben in allen Profilen für die Granitische Molasse sehr konstant und zeigen keinen Trend. Kleine Unterschiede im Gehalt der Gesteinsbruchstücke und im Anteil an undulös auslöschenden Quarzen, wie sie sich zwischen den einzelnen Profilen manifestieren, sind wohl auf individuelle, auszählungstechnische Mängel zurückzuführen.

Besonders heikel schien uns die Grenze zwischen undulös- und nicht undulös auslöschenden Quarzen zu ziehen. Vergleichende Zählungen mit unserem Studienkameraden A. MATTER ergaben bei sonst sehr guter Übereinstimmung der Resultate hier die grössten Divergenzen. Auf keinen Fall dürfen diese kleinsten Differenzen zwischen den Profilen genetisch interpretiert werden. In den Leichtmineralen, die ja schliesslich mengenmässig mit weit über 75 Gewichtsprozent das Gestein aufbauen, spiegelt sich die makroskopische Einförmigkeit der Granitischen Molasse wieder. Weder die tieferen Teile der Serie repräsentierenden Antiklinalkerne, noch die ebenfalls tiefe Schangnau-Schuppe zeichnen sich in den Leichtmineralanalysen ab. Der Durchschnitt von rund 130 Proben aller Profile ergibt folgende Werte:

Quarz: 43% davon sind 61% undulös auslöschend

Feldspat: 54%

Gesteinsbruchstücke: 3%

Das Quarz-Feldspatverhältnis beträgt 0,8.

Der gesondert gezählte Glimmer, meist Muskovit, schwankt von 0–200%.

Diese Werte decken sich gut mit denjenigen von FÜCHTBAUER (1964: 229, 276) mit Ausnahme der undulös auslöschenden Quarze, die bei obigem Autor mit 42% aller Quarze wesentlich geringer sind (individuelle Auszähldifferenzen). Die Feldspatwerte sind gegenüber MATTER (1964: 416) leicht erhöht, da dieser ja die zerstzten Feldspäte als eigene Gruppe ausschied. Der extrem hohe Feldspatgehalt dokumentiert das kristalline Liefergebiet der Granitischen Molasse. Die starke Transportempfindlichkeit des Feldspats zeigt sich in einem folgenden Vergleich: Der Feldspatgehalt unserer alpennahen Granitischen Molasse beträgt 54%, derjenige der rund 50 km entfernten, alpenferneren in der Bohrung Küsnacht I 42% (FÜCHTBAUER in BÜCHI et al., 1961: 14). Das Quarz-Feldspatverhältnis steigt von 0,8 bei uns auf 1,4 in Küsnacht (ZH).

Hornbüel-Schuppenzone

(ehemals Giebelegg-Schuppenzone, BUXTORF et al., 1941)

So wenig sich die Granitische Molasse mit Leichtmineralanalysen gliedern lässt, so evident hebt sie sich im Leichtmineralgehalt von dem makroskopisch oft

gleichaussehenden fluvioterrestrischen Stampien und der Hornbüel-Schuppenzone ab. Das Einsetzen der Hornbüel-Schuppenzone, in der Schwermineralfraktion vor allem durch das Auftreten von Spinell charakterisiert, zeigt sich hier (vgl. Fig. 7, S. 757, 3. und 6. Horizontalreihe) mit dem brüsken Rückgang des Feldspatgehaltes und dem merklichen Anstieg der Gesteinsbruchstückwerte. Das Mittel aus 9 Proben der Hornbüel-Schuppenzone, wobei allerdings auch der Horwerplattenanteil mitgerechnet wurde, ergibt:

Quarz:	68%
Feldspat:	23%
Gesteinsbruchstücke:	8%

Die Werte stimmen mit denjenigen des marin-brackischen Unterstampiens und des fluvioterrestrischen Stampiens der inneren Zone der subalpinen Molasse überein, wie dies in Fig. 8 zum Ausdruck kommt. Diese Figur zeigt in Dreiecksprojektion von Quarz-Feldspat-Gesteinsbruchstücken (inkl. Chert) die Felder der Leichtminerale für

- die Granitische Molasse
- das marin-brackische Unterstampien der inneren Zone (Hilfern- und Beichlen-Farneren-Schuppe)
- und d) das fluvioterrestrische Stampien (? Chattien) der inneren Zone (Hilfern- und Beichlen-Farneren-Schuppe)
- die Horwerplatten und das fluvioterrestrische Stampien der Hornbüel-Schuppenzone
- den subalpinen Flysch.

Die abgegrenzten Felder geben an, wieviel Prozent aller Proben in einem bestimmten Bereich konzentriert sind (vgl. Legende Fig. 8). Uns interessieren hier die Dreiecke a) bis e).

Auffallend ist in Abb. a) das eng umrissene Feld der Granitischen Molasse, das die quarz- und gesteinsbruchstückreicher Abfolgen der inneren Zone (Abb. b-d) kaum überlappt.

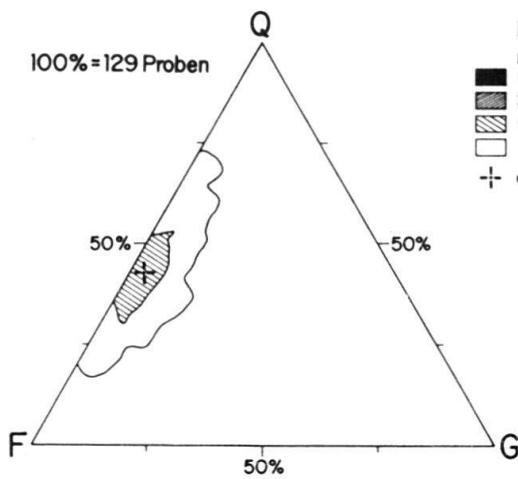
In den verschiedenen Maxima des Leichtmineraldreiecks der Hornbüel-Schuppenzone (Abb. e) zeigt sich die Heterogenität dieser Schürfmasse. Zu deren Aufbau gesellen sich Gesteine der Dreiecke Abb. b-d. Ein kleines Maximum im Bereich der Granitischen Molasse legt sogar die Vermutung nahe, dass auch solche Schürflinge am Aufbau der Hornbüel-Schuppenzone beteiligt sind.

4. Karbonatbestimmungen durch komplexometrische Titration

A. Methodisches

Zur Bestimmung des Karbonatgehaltes verwendeten wir die von MATTER (1964: 392) an unserem Labor eingeführte Methode der komplexometrischen Titration nach MÜLLER (1956a, b). Die Methode hat sich für unsere Reihenuntersuchungen bestens bewährt. Bei tonreichen Proben empfiehlt sich die Vorbehandlung nach MÜLLER (1956b: 385), denn durch das Aufbereiten dieser Proben werden aus dem Gitter der Phyllosilikate Ca- und Mg-Jonen herausgelöst, die dann bei der Titration miterfasst werden.

Der genaue Arbeitsvorgang der Titration ist bei den oben aufgeführten Autoren ausführlich erläutert, so dass wir auf eine erneute Beschreibung verzichten können.

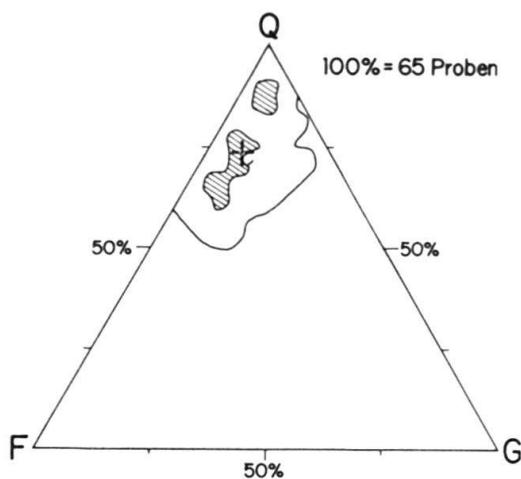


a) Granitische Molasse

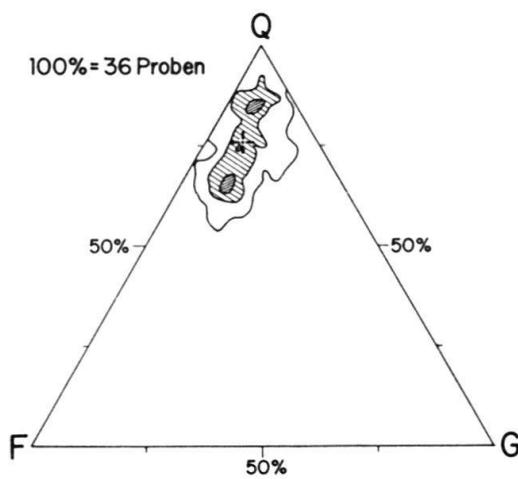
Legende:

Konzentration

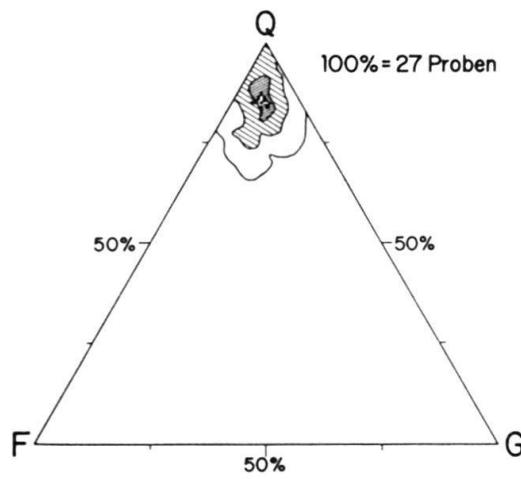
- > 40 %
- 30 - 40 %
- 10 - 30 %
- 0 - 10 %
- arithmetisches Mittel



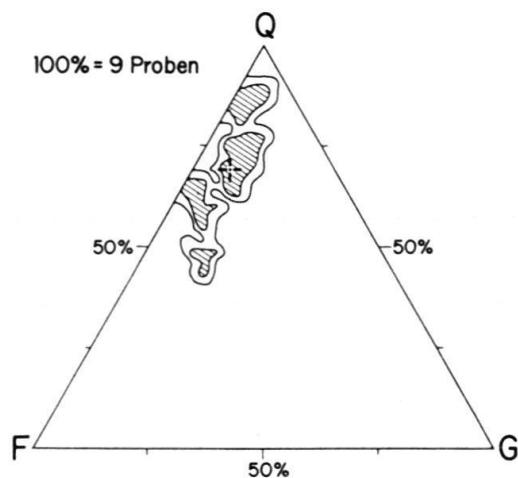
b) marin-brackisches Unterstampien der inneren Zone (Hilfern- und Beichlen-Farneren-Schuppe)



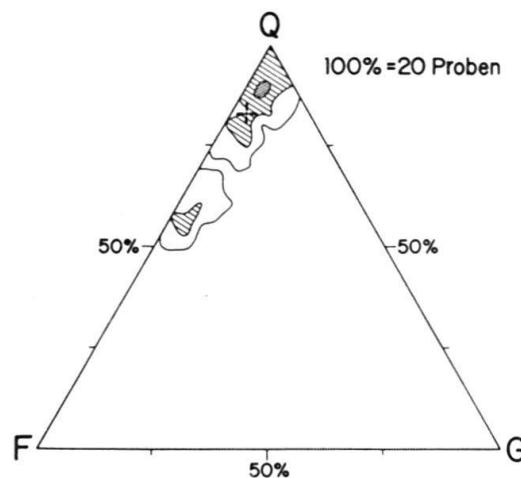
c) fluvioterrestrisches Stampien der inneren Zone (Beichlen-Farneren-Schuppe)



d) fluvioterrestrisches Stampien der inneren Zone (Hilfern-Schuppe)



e) Horwerplatten und fluvioterrestrisches Stampien der Hornbüel-Schuppenzone



f) Subalpiner Flysch

Fig. 8. Leichtmineralverteilung in den Formationen der subalpinen Molasse und im subalpinen Flysch. Q = Quarz, F = Feldspat, G = Gesteinsbruchstücke (inkl. Chert). Erläuterungen siehe im Text.

B. Resultate der Karbonatbestimmungen

Die Ergebnisse sind in Fig. 7 (S. 757) für den Rümlig-Hinterer Fischenbach-, den Entlen- und den Waldemmequerschnitt zusammengefasst. Es sind dies die Kurven der jeweils ersten Horizontalreihen unter den entsprechenden tektonischen Profilen. Das horizontal stark schraffierte Feld zeigt den Calcitgehalt, das fein schraffierte den Dolomitgehalt. Die gestrichelte Kurve gibt das Calcit/Dolomit-Verhältnis von 0-25 wieder (Anschrift an der rechten Bildeseite!).

Granitische Molasse

Die bei den Leichtmineralen gefundene Monotonie kennzeichnet auch die Karbonatwerte der Granitischen Molasse. Es lässt sich überhaupt keine Tendenz feststellen mit Ausnahme des Karbonatanstiegs ganz im Dach der Granitischen Molasse, d.h. an der Grenze zum Luzerner Sandstein im Rümlig-Hinterer Fischenbach- und im Entlen-Profil (vgl. MATTER, 1964: 395). Die Einzelwerte schwanken oft stark, was vor allem auf den verschiedenen Tongehalt der Proben zurückzuführen sein dürfte. Oft ist es auch nicht gelungen aus dem tiefgründig verwitterten Gestein eine frische Probe zu entnehmen. Die sehr tiefen Werte stammen von solchen Proben. Nicht zu erklären vermögen wir uns die extremen Sprünge des Calcit/Dolomit-Verhältnisses im Gebiet der Wiss Emme-Antiklinale (Fig. 7, S. 757, 1. Horizontalreihe unter dem letzten Profil). Da gerade diese Proben aus dem ständig mit Wasser überfluteten Teil des Flussbettes der Waldemme stammen, mögen vielleicht rezente Lösungsvorgänge für diese Unregelmässigkeiten verantwortlich gemacht werden.

Die gemittelten Werte für die gesamte Granitische Molasse betragen:

Gesamtkarbonat:	19,6%	davon
Calcit:	14,7%	und
Dolomit:	4,9%	
Calcit/Dolomit-Verhältnis:	3,0	

Zu ganz ähnlichen Resultaten kamen auch FÜCHTBAUER (1964: 194), MATTER (1964: 395, 416) und HOFMANN (in Büchi et al., 1965: 95).

Hornbüel-Schuppenzone

(ehemals Giebelegg-Schuppenzone, BUXTORF et al., 1941)

Die Calcimetrie erwies sich neben der Schwermineral- und Leichtmineralanalyse als drittes eindeutiges Kriterium zur Abgrenzung der Hornbüel-Schuppenzone. In Fig. 7 (S. 757) kommt der Sprung nach höheren Karbonatwerten mit dem Einsetzen der Hornbüel-Schuppenzone im Entlen-Profil (mittleres Profil der Fig. 7, S. 757) besonders deutlich zum Ausdruck.

Die Mittelwerte aus 11 Proben der Hornbüel-Schuppenzone betragen:

Gesamtkarbonat:	38,7%	davon
Calcit:	29,4%	und
Dolomit:	9,3%	
Calcit/Dolomit-Verhältnis:	3,2	

Im Unterschied zu den anderen Karbonatwerten ändert das Calcit/Dolomit-Verhältnis gegenüber der Granitischen Molasse nicht.

Zum Schluss der Ausführungen über die Karbonatgehalte sei noch auf einen allen chemischen Karbonatbestimmungen innewohnenden Nachteil hingewiesen:

Durch die Aufbereitung mit Säure werden sowohl die detritischen Karbonatkörper wie der karbonatische Zement aufgelöst, so dass deren gegenseitiger Anteil am Gesamtkarbonat nicht mehr fassbar ist. Gerade in karbonatreichen Proben spielt aber das detritisch eingeschwemmte Karbonat eine wesentliche Rolle. Das Verhältnis dieser beiden Karbonatanteile sollte daher in jedem Fall anhand von Dünnschliffuntersuchungen überprüft werden. Wir finden so z.B. in den Dünnschliffen der Granitischen Molasse das spärliche Karbonat als Zement in Zwickelfüllungen. Bei den karbonatreichen Proben der Hornbüel-Schuppenzone dagegen liegt ein grosser Teil des Karbonats in relativ gut gerundeten Calcit- und Dolomitkörnern vor.

5. Zusammenfassung der aus der Sedimentpetrographie erhaltenen Resultate

1. Die makroskopisch völlig einförmige ca. $2\frac{1}{2}$ km mächtige Abfolge der Granitischen Molasse kann mit Schwermineralzonen stratigraphisch in einen tiefen und einen höheren Teil gegliedert werden. Der tiefere – gekennzeichnet durch eine Granat-Zirkon-Apatit-Kombination – tritt in den Antiklinalkernen und dem SE-Teil der Formation auf. Der höhere – gekennzeichnet durch eine Epidot-(Granat)-Kombination – findet sich im Liegenden des Luzerner Sandsteins und im Kern der Allmendli-Synklinale (S_1).

2. Durch die Korrelation der Schwermineral-Profile lässt sich die gedoppelte Antiklinalzone mit der nördlichen Würzenbach-Antiklinale (= «Hauptantiklinale» = A_1), der südlichen Altstaad-Antiklinale (= A_2) und der dazwischenliegenden Allmendli-Synklinale (= S_1) von Luzern bis Schüpfheim durchverfolgen. Im Querschnitt der Waldemme indessen verläuft die «Hauptantiklinale» (= A_1) ca. 900 m weiter im Nordwesten, als dies FRÖHLICHER (1933) angenommen hatte. Seine als «Hauptantiklinale» aufgefasste Struktur in der Wiss Emme (südwestlich Schüpfheim) konnte als südliche Altstaad-Antiklinale (= A_2) identifiziert werden.

3. An die Granitische Molasse im SE anschliessend erfolgt in lithologisch ganz ähnlichen Gesteinen, die von den früheren Autoren der Granitischen Molasse zugerechnet wurden, ein Wechsel in der Sedimentpetrographie. Die Schwermineralassoziation gleicht sich – durch das vermehrte Auftreten von Spinell, Staurolith und Baryt – gewissen Teilen der stampischen Ablagerungen der inneren Zone an. Dasselbe kann bei den Leichtmineralen und den Karbonatbestimmungen festgestellt werden: Der Feldspatgehalt fällt auf 23% zurück, der Karbonatgehalt steigt auf 38% an.

Die unter 3. aufgeführten Gesteine und die damit eng verknüpften plattigen Sandsteine vom Horwerplattentypus (= Plattensandsteine und Sandsteine mit Schiefermergeln nach MOLLET, 1921: 46 und FRÖHLICHER, 1933: 21) schieden wir in Analogie zu ihrem Auftreten im Vierwaldstätterseegebiet als Hornbüel-Schuppenzone aus, die der bisherigen luzernischen Giebelegg-Schuppenzone entspricht (BUXTORF et al., 1941: 151).

Die in 1. aufgezeigte Granat-Zirkon-Apatit-Zone im SE-Teil der Granitischen Molasse bezeichneten wir nach der von HAUS (1937) aufgestellten Schangnau-Schuppe.

Es bleibt noch zu zeigen, warum die oben erwähnten, nach rein sediment-petrographischen Kriterien abgegrenzten Zonen mit der Schangnau-Schuppe resp. Hornbüel-Schuppenzone parallelisiert werden können.

A. Kriterien zur Ausscheidung der Schangnau-Schuppe

Das Studium der Arbeit von HAUS (1937) legte die Vermutung nahe, die südliche epidotfreie Zone der Granitischen Molasse, die von MOLLET (1921) und FRÖHLICHER (1933) dem «Aquitán» zugezählt wurde, entspreche der Schangnau-Schuppe. Eine Vergleichsbegehung an der Steiglenstrasse bei Marbach lieferte folgende Daten:

1) Die Gesteine der Schangnau-Schuppe, die am Strassenbord verschiedentlich aufgeschlossen sind, unterscheiden sich in nichts von unserer Granitischen Molasse.

2) Unmittelbar im Liegenden der unterstampischen Grisigermergel der Beichlen-Honegg-Schuppe findet sich eine «etwa 8 m mächtige Kalknagelfluh zusammen mit zerquetschten Mergeln und zerbrochenen Sandsteinbänken» (ARBENZ et al., 1936: 528). Diese Gesteine, von HAUS noch zur Schangnau-Schuppe gerechnet, geben sich durch ihre Dolomitkomponenten und Kalkkonglomerate als fluvio-terrestrisches Stampien zu erkennen. Es ist dies unsere zwischen Granitischer Molasse und Grisigermergeln aufgeschürzte Hornbüel-Schuppenzone.

Zur Erhärtung des Feldbefundes wurden vier Proben aus dem fraglichen Gebiet gesammelt und sedimentologisch untersucht; nämlich zwei (641 027/3 und 4) aus der Granitischen Molasse der Schangnau-Schuppe, eine (641 027/2) aus der fraglichen Hornbüel-Schuppenzone (= oberster Teil Schangnau-Schuppe nach HAUS, 1937) und eine (671 027/1) aus der Beichlen-Honegg-Schuppe der inneren Zone.

Die Resultate sind in Fig. 9 (S. 764) zusammengestellt. Sie decken sich eindeutig mit den Befunden aus unserem Gebiet:

Schangnau-Schuppe

Schwerminerale:	epidotfreie Granat-Zirkon-Apatit-Kombination mit Spinel und Staurolith
Leichtminerale:	hoher Feldspatgehalt, wenig Gesteinsbruchstücke
Karbonatbestimmungen:	geringer Karbonatgehalt

Hornbüel-Schuppenzone

Schwerminerale:	barytreiche Granat-Apatit-Zirkon-Kombination mit Spinel und Staurolith
Leichtminerale:	gegenüber der Schangnau-Schuppe stark verminderter Feldspatgehalt und erhöhter Gesteinsbruchstückanteil
Karbonatbestimmungen:	gegenüber der Schangnau-Schuppe wesentlich erhöhter Karbonatgehalt

Beichlen-Honegg-Schuppe

Auch diese Probe zeigt in allen drei Analysen Übereinstimmung mit der in dieser Arbeit nicht näher behandelten Beichlen-Farneren-Schuppe der inneren Zone (u.a. Turmalin-Spinell-Reichtum, niedriger Feldspatgehalt und relativ hoher Karbonatgehalt).

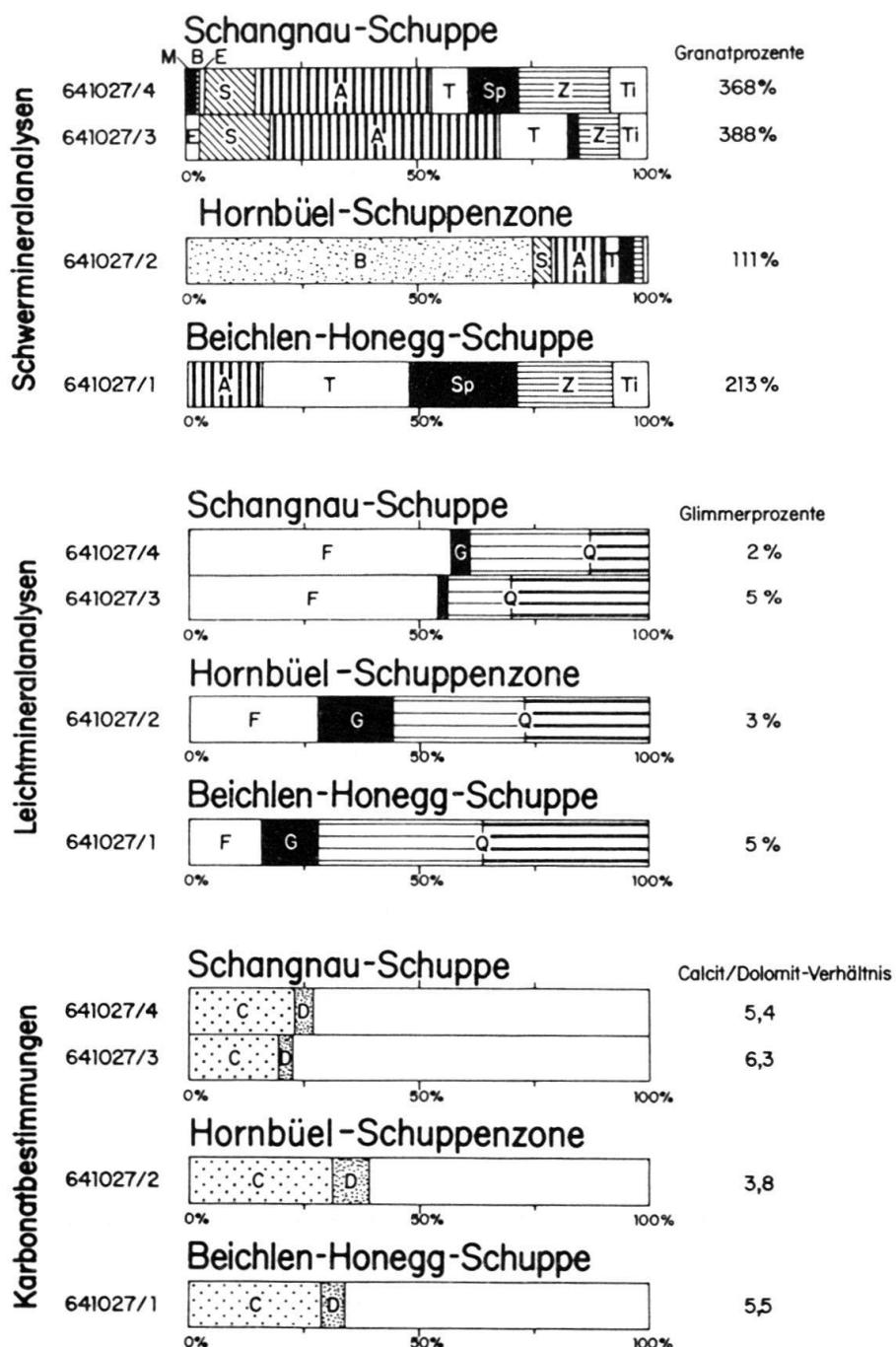


Fig. 9. Resultate von Schwer- und Leichtmineralanalysen sowie von Karbonatbestimmungen einiger Proben aus dem Steiglenbach (südöstlich Marbach).

Schwermineralanalysen: M = Monazit, B = Baryt, E = Epidot, S = Staurolith, A = Apatit. T = Turmalin, Sp = Spinell, Z = Zirkon, Ti = TiO_2 -Gruppe. Leichtmineralanalysen: F = Feldspat, G = Gesteinsbruchstücke (inkl. Chert), Q = Quarz (schwachschraffiert = undulös auslöschen, stark = dunkel auslöschen). Karbonatbestimmungen: C = Calcit, D = Dolomit.

Nach diesen Untersuchungen erachten wir die Existenz der Schangnau-Schuppe in unserem Gebiet als erwiesen. Sie umfasst allerdings bei uns wie im Gebiet von HAUS nur die Gesteine der tieferen Granitischen Molasse. Die Gesteinsserie, die sich zwischen diese und die unterstampischen Grisigermergel der Beichlen-Honegg-Schuppe einschaltet und von HAUS noch seiner Schangnau-Schuppe zugerechnet wird, gehört einer anderen tektonischen Einheit, nämlich der Hornbüel-Schuppenzone, an.

*B. Kriterien zur Ausscheidung der Hornbüel-Schuppenzone
(ehemals luzernische Giebelegg-Schuppenzone, vgl. S. 729)*

Das Durchziehen dieser Schuppe von Luzern bis in unser Gebiet wurde schon von BUXTOF et al. (1941: 152) postuliert. Unsere Vergleichsbegehungen im Gebiet von Horw konnten diese Annahme bestätigen. Der obige Autor erwähnt in unserem Gebiet nur den Horwerplatten-Anteil der Hornbüel-Schuppenzone (= Plattsandsteine und Sandsteine mit Schiefermergeln nach MOLLET, 1921, und FRÖHLICHER, 1933). Nach sedimentpetrographischen Kriterien konnte jedoch auch ein der Granitischen Molasse makroskopisch ähnlich sehender Gesteinskomplex als Anteil des fluvioterristischen Stampiens zu unserer Hornbüel-Schuppenzone gezählt werden.

Der Charakter der Schürfzone zeigt sich in den tektonisch bedingten, starken Mächtigkeitsschwankungen im Bereich von einigen Zehnern bis 200 Metern. Erstaunlich ist das laterale Aushalten dieser untergeordneten tektonischen Einheit, die nun vom Vierwaldstättersee bis ins Schangnau nachgewiesen ist.

C. Grenze zwischen äusserer und innerer Zone der subalpinen Molasse

Wie eingangs erwähnt (S. 729) muss zum Schluss dieser Arbeit die südliche Begrenzung der äusseren Zone der subalpinen Molasse festgelegt werden. Eine Unterscheidung nach tektonischen Kriterien in einen gefalteten, äusseren und einen verschuppten, inneren Teil fällt dahin; denn die Granitische Molasse weist an der Überschiebung der Schangnau-Schuppe und auch in den Verstellungen der Antiklinalkerne eine Bauart auf, die nichts mehr mit reiner Faltung zu tun hat. Eine stratigraphische Trennung in stampische Schuppen (= innere Zone) und «Aquitane» (= äussere Zone) ist nach unseren Untersuchungen nicht mehr möglich. Es verläuft nämlich diese Grenze Stampien-Aquitaniens innerhalb der Granitischen Molasse (= «Aquitaniens» der früheren Autoren). Sie ist mit der im Felde nicht sichtbaren Überschiebungsfläche der Schangnau-Schuppe identisch. Ebensowenig geeignet ist die Grenze Granitische Molasse-Hornbüel-Schuppenzone, da auch hier oft im Felde nicht unterscheidbare Gesteinskomplexe aneinanderstossen (vgl. auch KOPP, 1962, Tafel 1).

Falls wir die Trennung in äussere und innere Zone beibehalten wollen, müssen wir die «Hauptaufschiebung» an die Grenze Hornbüel-Schuppenzone/Beichlen-Farneren-Schuppe legen.¹⁵⁾ Mit dem Auftreten der mächtigen unterstampischen Grisigermergelserie an der Basis der Beichlen-Farneren-Schuppe ist zumindest für unser Gebiet ein lithologisch eindeutiges Kriterium zur Grenzziehung gegeben.

¹⁵⁾ HAUS (1937) und HOLLIGER (1953) haben in ihren Arbeiten von einer solchen Aufgliederung abgesehen.

Tab. 3. Zusammenstellung der Resultate aller an den Proben ausgeführten Untersuchungen.

Abkürzungen: k = Kiessandstein, g = Grobsandstein, gm = Grobmittelsandstein, mi = Mittelsandstein, fm = Feinmittelsandstein, f = Feinsandstein, M = Mergel, sK = siltiger Kalk, B = Baryt, C = Chloritoid, H = Hornblende, M = Monazit, Z = Zoisit.

Proben Nr.	Koordinaten		Höhe über Meer	Makroskopische Bezeichnung	SM ohne Granat							SM-Gew. %	LM ohne Glimmer			Karbonat							
	Epidot	Apatit			Turmalin	Spinell	Zirkon	TiO ₂ -Gruppe	Titanit	Staurolith	Sonstige		dunkel	undulös	Feldspat	Feldspat Gesteinsbruch- stücke (incl. Chert)	Glimmer	Calcit	Dolomit	Gesamtkarbonat CaCO ₃ /Dolomit- Verhältnis			
Granitische Molasse des Rümlig-Hinterer Fischenbach-Profil																							
62912/1	653420/206060	645	sK	88	5	2	0	3	1	1	0	14	0,1	25	43	31	1	3	35,1	35,7	70,8	1,0	
62912/2	653420/206060	645	f	56	19	7	3	7	5	0	3	24	0,1	19	39	39	3	14	26,5	35,7	62,2	0,7	
62912/3	653390/206000	645	mi	96	0	0	0	3	0	1	0	2	0,7	20	24	52	4	2	13,1	4,8	17,9	2,7	
62912/4	653430/205990	650	gm	98	1	0	0	0	1	0	0	7	1,9	12	37	45	6	0	20,9	5,4	26,3	3,9	
62912/5	653490/205960	650	f	87	5	0	0	4	3	1	0	12	0,3	14	30	52	4	5	19,0	5,9	24,9	3,2	
62912/6	653590/205940	655	gm	94	1	1	1	2	1	0	0	3	9,4	9	29	54	8	1	17,8	10,0	27,8	1,8	
62912/7	653640/205930	655	M	94	0	1	2	3	0	0	0	3	0,4	7	35	49	9	0	-	-	6,9	-	
62912/8	653650/205890	660	gm	94	4	1	0	0	0	1	0	4	0,6	4	19	63	4	0	6,5	4,2	10,7	1,6	
62912/9	653650/205800	665	f	75	13	0	0	5	3	4	0	5	0,2	13	42	41	4	168	4,6	8,1	12,7	0,6	
62912/10	653650/205800	665	g	98	1	0	0	1	0	0	0	8	0,4	15	21	62	2	1	7,0	2,9	9,9	2,4	
62912/11	653630/205710	665	gm	58	20	2	0	14	4	1	0	1C	170	0,5	6	29	62	3	1	12,2	3,3	15,5	3,7
62912/12	653655/205680	670	f	43	43	0	0	0	14	0	0	0	<0,1	-	-	-	-	-	12,4	7,4	19,8	1,7	
62912/13	653655/205595	680	M	73	12	7,5	0	7,5	0	0	0	15	<0,1	16	31	48	5	4	17,8	13,6	31,4	1,3	
62912/14	653585/205530	675	gm	68	12	3	0	12	3	1	0	1C	71	0,3	17	15	65	3	0	11,4	3,8	15,2	3,0
62912/15	653620/205475	675	mi	56	19	3	0	16	6	0	0	40	0,2	6	29	58	7	3	8,3	3,8	12,1	2,2	
62913/1	653590/205425	680	mi	55	11	1	0	10	0	0	0	23B	9	0,3	9	28	58	5	1	8,0	3,5	11,5	2,3
62913/2	653535/205340	690	gm	20	31	7	1	30	4	0	0	7C	218	0,2	15	24	61	0	2	7,0	5,5	12,5	1,3
62913/3	653555/205340	690	sK	11,5	47,5	2	0	29	5	0	0	30,2B	144	<0,1	19	28	51	2	13	52,7	10,4	63,1	4,9
62913/4	653540/205295	695	gm	29,5	26,5	3	0	21	7	2	0	11B	133	0,4	22	35	40	3	8	14,9	6,1	21,0	2,4
62913/5	653510/205250	700	f	11,5	63	2	0	17,5	1	5	0	21	0,4	18	56	10	16	18	11,5	6,4	17,9	1,8	
62913/6	653510/205175	700	g	88	5	0	0	3	0	4	0	17	1,2	15	32	47	6	4	18,9	2,8	21,7	6,8	
62913/7	653510/205175	700	g	72	12	1	1	12	0	0	0	1II, 1B	21	0,2	13	26	61	0	2	4,4	2,7	7,1	1,6
62913/8	653490/205125	705	mi	57,5	24	1	4	7,5	2	0	0	4B	64	0,3	15	24	55	6	2	18,0	6,4	24,4	2,8
62913/9	653435/205035	710	gm	55	5	1	0	36	1	1	0	1C	29	2,2	12	24	59	5	1	21,0	4,8	25,8	4,4
62913/10	653430/204990	715	mi	18	61,5	2	0	12,5	0	5	0	1B	32	0,4	14	40	41	5	12	20,5	3,5	24,0	5,9
62913/11	653400/204940	715	M	52	23	5	0	13	3	4	0	260	0,9	18	41	34	7	32	7,2	11,7	18,9	0,6	
62913/12	653400/204940	715	gm	96	1	1	0	0	0	2	0	23	0,9	6	34	57	3	1	7,8	4,8	12,6	1,6	
62913/13	653380/204865	725	gm	92	3	1	0	3	0	1	0	4	3,1	3	42	51	4	1	-	-	7,3	-	
62913/14	653380/204815	720	f	91	4,5	1	0	2	0	1,5	0	3	0,3	13	30	52	5	11	14,8	6,1	20,9	2,4	
62913/15	653390/204775	725	gm	94	3	0	0	2	0	1	0	9,5	1,4	11	29	56	4	0	15,5	5,3	20,8	2,9	
62913/16	653400/204735	730	mi	94	4	0	0	1	0	1	0	2,5	0,6	8	32	51	9	1	17,2	2,8	20,0	6,2	
62913/17	653430/204695	735	mi	81	6	1,5	0	3	1	1,5	0	5B, 10	12	0,5	7	36	52	5	2	6,1	8,5	14,6	0,7
62913/18	653430/204655	735	gm	93	2,5	1	0	3,5	0	0	0	2,5	0,8	10	26	60	4	0	13,8	6,2	19,8	2,2	
62913/19	653430/204640	735	mi	93	4	0	0	3	0	0	0	5	1,3	12	29	53	6	3	15,1	8,3	23,4	1,8	

62913/20	653450/204610	740	mi	86	8,5	I	o	3	1	o	1	o	1	o	1	7,5	7,9	9,7	17,6	0,8	
62913/21	653470/204580	740	gm	88,5	3,5	3,5	o	2,5	1	o	1	o	1	o	1	37	50	3	1	16,2	
62913/22	653510/204535	750	gk	85	4,5	2	o	6,5	0	2	0	2	0	2	0	10,5	1,6	28	52	6	
62913/23	653510/204535	750	f	73,5	16,5	4,5	o	4,5	0	1	0	1	0	1	0	5,5	1,1	19	36	43	
62913/24	653535/204495	760	fm	20,5	48,5	1	1	22	4	3	0	43	0,1	23	33	39	5	13	13,4	6,9	
62913/25	653500/204450	745	gm	63,5	23	2	0	7,5	1	0	0	3C	50,5	0,3	4	20	74	2	2	16,1	3,7
62913/26	653485/204440	745	M	86	5	3	1	5	0	0	0	10	0,1	10	36	53	1	2	—	9,9	
62913/27	653500/204360	755	gm	43	24	9,5	1	12,5	3	2	0	16,4B	130	0,4	7	27	64	2	0	9,3	5,2
62913/28	653440/204275	765	g	70	11	2	0	9	0	2	0	6B	20	0,7	3	22	72	3	0	10,6	4,9
62913/29	653435/204210	775	g	77	7,5	2	0	11,5	1	1	0	13,5	0,4	5	21	70	4	4	21,9	2,8	
62913/30	653455/204175	780	mi	49	32,5	3	+	11,5	0	4	0	28	0,6	11	28	57	4	5	15,7	6,4	
63903/1	653470/204140	780	g	81	11	0,5	0,5	4	0,5	2	0	0,5H	16	0,5	19	13	64	4	2	11,7	2,2
63903/2	653525/204065	805	gm	0	35	3	0	15	2	0	2	III,42B	110	1,4	17	26	53	4	2	12,2	3,5
63903/3	653510/203990	820	mi	0	85	5	0	8	2	0	0	69	2,5	31	20	47	2	4	20,2	4,8	
63903/4	653520/203950	830	gm	0	95	1	0	2	1	1	0	17,5	1,7	14	27	55	4	0	17,9	3,7	
63903/5	653550/203910	845	fm	0	44	5	0	0	1	0	0	50B	20	1,7	36	20	41	3	10	18,3	8,3
63903/6	653560/203870	850	gm	0	67	13,5	0	14,5	2	0	3	278	1,5	23	9	66	2	5	11,3	2,0	
63903/7	653595/203835	870	M	79,5	7	3	0	3	0,5	0	0	2H,5B	3	0,3	—	—	—	—	—	19,5	
63903/8	653595/203825	865	gm	4	52	5	0	37	1	1	0	100	1,6	17	18	63	2	4	12,5	0,7	
63903/9	653625/203800	865	g	5	66	2	0	25	2	0	0	160	0,8	10	11	76	3	1	13,6	1,8	
Horwerplatten und fluvioterrestrisches Stampien des Rümig-Hinterer Fischenbach-Profiles (Hornbüel-Schuppenzone)																					
63903/10	653655/203755	875	mi	2	14	17	18	26	8	0	11	2H,3M	410	1,5	64	24	7	5	1	33,8	16,7
63903/11	653685/203745	875	f	2	41	43	8	2	2	2	0	17	0,3	60	27	10	3	1	46,2	5,5	
63903/12	653680/203715	880	mi	1	53	25	7	8	3	2	0	1C	113	0,5	42	25	24	9	13	15,8	
63903/13	653725/203680	890	g	0	34	12	3	3	0	1	2	45B	407	0,4	11	37	39	13	9	14,0	
63903/14	653750/203650	895	M	24	60	9	0	2	5	0	0	—	9,1	—	—	—	—	—	—	22,1	
Grisigermergel des Rümig-Hinterer Fischenbach-Profiles (Heuboden-Aeschitannen-Zone)																					
62823/17	647765/203200	725	f	73	18	1	2	0	3	0	2B	3	0,2	10	28	60	2	14	20,8	6,2	
62823/18	647800/203135	730	f	81	14	2	0	1	0	2	0	0	0,7	17	23	59	1	2	24,3	7,3	
62823/19	647820/203065	730	mi	89	6	1	0	4	0	0	0	3	0,8	13	34	51	2	1	11,8	4,4	
62823/20	647830/203050	730	M	94	3	1	0	1	0	1	0	6	0,3	28	25	41	6	11	5,5	13,1	
62823/21	647860/202980	735	gm	87	8	0	0	3	1	0	1B	1	0,3	11	31	54	4	3	1,6	4,9	
62823/22	647795/202850	730	mi	93	3	0	0	3	0	1	0	6	0,1	17	30	48	5	2	18,2	7,6	
62823/23	647810/202790	730	g	97	2	0	0	0	1	0	0	1	4,9	10	27	63	0	1	0,0	2,9	
62823/24	647830/202675	740	mi	75	15	1	0	3	3	0	0	0	0,4	14	29	56	1	27	16,8	5,8	
62823/25	647950/202665	735	f	55	30	5	0	5	5	0	0	25	0,1	32	15	53	0	201	17,7	6,1	
62823/26	647940/202630	740	gm	74	5	2	0	15	0	4	0	19	0,8	14	32	53	1	3	15,2	5,3	
62823/27	647930/202620	740	M	80	3	0	0	14	1	2	0	+C	16	0,3	22	29	48	1	11	0,5	
62823/28	648010/202585	745	g	52	21	1	0	8	1	6	1	10C	77	0,6	8	28	63	1	6	8,8	
62823/29	648060/202555	745	mi	59	24	5	0	5	0	7	0	0	10	0,4	14	36	48	2	8	5,2	
62823/30	648110/202505	745	g	24	47	11	0	2	7	0	0	9C	603	1,0	11	28	59	1	6	18,1	
62823/31	648195/202485	750	gm	78	12	6	0	4	0	0	0	39	0,4	13	21	63	3	3	13,6	3,7	
62823/32	648270/202450	755	gm	74	5	2	+	19	0	0	0	54	1,7	14	32	53	1	4	14,0	2,9	
62823/33	648360/202430	755	g	85	9	1	0	4	0	0	0	55	0,3	9	19	68	3	1	12,5	3,1	

Tab. 3. Zusammenstellung der Resultate aller an den Proben ausgeführten Untersuchungen (Fortsetzung).

Proben-Nr.	Koordinaten	Höhe über Meer	Makroskopische Bezeichnung	SM ohne Granat				Granitische Molasse des Entlen-Profil (Fortsetzung)				LM ohne Glimmer				Karbonat							
				Epidot	Apfyllit	Zirkon	TiO ₂ -Gruppe	Titanit	Staurolith	Sonsstige	Granat	SM-Gew.	Quarz	Quarz	Feldspat	feldspat-	Calcit	Dolomit	Gesamtkarbonat				
62828/2	648460/202320	760	g	97	0	0	2	0	1	0	12	0,7	13	32	52	3	6	18,7	5,2	23,9	3,6		
62828/3	648460/202250	770	mi	55	21	4	0	15	0	5	0	12	0,2	11	36	49	4	7	17,2	5,4	22,6	3,2	
62828/4	648470/202120	795	mi	27	42	5,5	0	3,5	22	0	0	33	0,2	13	38	46	3	69	8,4	8,2	16,6	1,0	
62828/5	648495/202050	810	M	80	10	1	1	3	0	5	0	4	1,7	13	37	49	1	7	-	-	8,0	-	
62828/6	648495/202040	810	g	91	2	1	0	4	0	2	0	12	1,6	18	27	54	1	2	-	-	6,0	-	
62828/7	648530/201940	840	gm	78	11	3,5	0	5,5	0	2	0	24	0,1	9	36	53	2	6	24,9	5,2	30,1	4,8	
62828/8	648490/201725	860	g	61	16	1	0	12	3	7	0	37	0,1	17	36	46	1	0	26,4	2,9	29,3	9,1	
62828/9	648525/201700	885	g	0	0	50	0	50	0	0	0	100	0,4	15	33	51	1	0	13,8	2,9	16,7	4,8	
62828/10	648515/201475	1020	g	1	65	6	0	19	8	0	0	1H	283	0,8	11	19	66	4	13	10,1	1,3	11,4	7,8
62828/11	648705/201485	955	gm	0	61	4	0	29	6	0	0	218	0,5	14	35	49	2	3	13,3	2,6	15,9	5,1	
62828/12	648815/201340	995	g	0	38	14	5	14	10	0	14	5B	818	0,4	20	45	24	11	1	31,0	6,4	37,4	4,9
62828/13	648855/201250	1005	gm	0	21	4	31	14	20	0	10	523	0,5	34	40	16	10	0	39,1	9,1	48,2	4,3	
62828/14	648885/201200	1010	mi	0	75	8	0	11	6	0	0	42	0,3	23	60	13	4	2	37,9	3,6	41,5	10,5	
Horwerplatten und fluvioterrstrisches Stampien des Entlen-Profil (Hornbüel-Schuppenzone)																							
62829/15	648820/201145	1020	M	0	100	0	0	0	0	0	0	100	0,1	-	-	-	-	-	32,7	0,7	33,4	46,7	
62829/1	648895/201115	1030	M	2,5	73	5	12	2,5	5	0	0	46	0,2	-	-	-	-	-	25,3	4,5	29,8	5,6	
62829/2	648925/201090	1050	M	2,5	82	5	9	0	1,5	0	0	27	0,4	36	50	10	4	97	26,7	7,0	33,7	3,8	
62829/3	648960/201060	1070	M	2	64	7	2	9	14	0	0	2C	32	0,1	34	51	11	4	443	27,8	4,0	31,8	7,0
Grisigermergel des Entlen-Profil (Beichlen-Farneren-Zone)																							
62829/15	641760/199950	835	fm	75	8	2	0	6	1	8	0	2	0,3	25	12	51	12	4	15,8	9,7	25,5	1,6	
65530/2	641800/199910	825	mi	92	2	0	1	0	3	0	9	2,1	2,1	28	21	43	8	2	25,3	6,2	31,5	4,1	
65530/3	641840/199870	815	mi	90	4	1	1	0	3	0	5	2,6	2,6	25	22	47	6	0	19,4	5,4	24,8	3,6	
65530/4	641900/199810	810	mi	82	12	3	0	0	1	2	0	4	1,6	33	14	48	5	0	17,2	6,3	23,5	2,7	
65530/5	641950/199800	805	gm	90	4	0	0	3	0	2	0	+H,10	+	4,7	22	12	61	5	0	18,9	5,1	24,0	3,7
65530/6	641980/199750	800	gm	87	5	0	1	3	1	0	10	0,3	35	13	44	8	0	2,5	3,6	6,1	0,7		
65530/7	642010/199700	795	gm	90	3	1	1	3	0	2	0	25	2,0	19	20	59	2	2	16,2	4,6	20,8	3,5	
65530/8	642030/199650	790	gm	78	8	0	0	7	1	5	0	1Z	17	6,7	24	18	51	7	0	28,0	2,8	30,8	10,0
65530/9	642040/199630	790	g	91	4	0	0	1	1	3	0	9	1,9	27	21	48	4	6	19,0	3,8	22,8	5,0	
65530/10	642090/199610	790	g	94	4	0	0	0	2	0	0	6	2,8	27	15	55	3	3	19,0	2,9	21,9	6,6	
65530/11	642090/199570	785	mi	74	15	1	0	4	0	6	0	14	2,5	28	18	51	3	8	5,0	6,2	11,2	0,8	
65530/12	642140/199580	780	gm	79	6	2	0	11	0	1	0	43	0,5	14	22	58	6	0	15,1	2,6	17,7	5,5	
65530/13	6a2210/199540	780	gm	95	4	1	0	0	0	0	0	5	1,4	15	16	65	4	6	12,9	3,5	16,4	3,7	
65530/14	642250/199560	775	gm	75	13	2	0	0	8	0	0	35	0,5	19	18	52	8	2	12,2	3,5	15,7	3,5	
65530/15	642280/199550	770	gm	57	30	3	0	6	0	0	0	27	1,0	38	18	48	3	4	14,0	3,8	17,8	3,5	

Vereinfachung
Gletscher/Deutlichkeit

