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

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: 14.12.2025

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

Sedimentologische Untersuchungen in der äusseren Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs (Kt. Luzern)*)

von **Urs Gasser** (Bern)

Mit 9 Figuren und 3 Tabellen im Text, sowie 1 Tafel (I)

INHALTSVERZEICHNIS

Verzeichnis der Figuren und Tabellen 724
Summary 724
Zusammenfassung 725
Vorwort 726
I. Einleitung 726
1. Allgemeines zum Bau der subalpinen Molasse 726
2. Das Gebiet des Entlebuchs 727
II. Geologisch-stratigraphische Übersicht über die äussere Zone der subalpinen Molasse im Entlebuch 728
1. Nördliche Begrenzung 728
2. Südliche Begrenzung 728
A. Schangnau-Schuppe 729
B. Hornbüel-Schuppenzone (ehemals luzernische Giebelegg-Schuppenzone) . . 729
C. Beziehungen zwischen Hornbüel-Schuppenzone und Schangnau-Schuppe . . 730
D. Gliederung der äusseren Zone 731
3. Stratigraphie der äusseren Zone 731
A. Alter der äusseren Zone 731
B. Granitische Molasse 732
C. Horwerplatten und fluvioterrestrisches Stampien der Hornbüel-Schuppenzone 735
a. Horwerplatten 736
b. Fluvioterrestrisches Stampien 738
III. Sedimentologie 738
1. Allgemeines zur Arbeitsweise 738
2. Schwermineralanalysen 739
A. Allgemeines 739
B. Methodisches 740
C. Gefundene Schwerminerale 741
D. Fazieswechsel der Schwermineralassoziation im Oligocaen des Molassebeckens 743
E. Die Schwermineralprofile 744
a. Rümlig-Hinterer Fischenbach-Profil 745
b. Entlen-Profil 748
c. Waldemme-Profil 750
F. Beeinträchtigung der Schwermineralanalysen durch «intrastratal solution» und durch Korngrössenabhängigkeit der Schwerminerale 752
G. Gewichtsanteil der Schwermineralfraktion am Gesamtgewicht des Sedimentes 754
H. Diskussion zur Herkunft der Schwerminerale 754

*) Gedruckt mit Unterstützung der Stiftung *Amrein-Troller*, Gletschergarten Luzern.

3. Leichtmineralanalysen 755
A. Methodisches 755
B. Resultate der Leichtmineralanalysen 756
4. Karbonatbestimmungen durch komplexometrische Titration 759
A. Methodisches 759
B. Resultate der Karbonatbestimmungen 761
5. Zusammenfassung der aus der Sedimentpetrographie erhaltenen Resultate . . 762
A. Kriterien zur Ausscheidung der Schangnau-Schuppe 763
B. Kriterien zur Ausscheidung der Hornbüel-Schuppenzone (ehemals luzernische Giebelegg-Schuppenzone) 765
C. Grenze zwischen äusserer und innerer Zone der subalpinen Molasse 765
Verzeichnis der zitierten Literatur 770
Geologische Karten 772

VERZEICHNIS DER FIGUREN UND TABELLEN

Fig. 1 Detailprofil aus der Granitischen Molasse 734
Fig. 2 Detailprofil aus den Horwerplatten der Hornbüel-Schuppenzone (ehemals luzernische Giebelegg-Schuppenzone) 737
Fig. 3 Schwermineralverteilung im Rümlig-Hinterer Fischenbach-Profil 746
Fig. 4 Schwermineralverteilung im Entlen-Profil 749
Fig. 5 Schwermineralverteilung im Waldemme-Profil 751
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) 753
Fig. 7 Tektonische Profile durch den Rümlig-Hinterer Fischenbach, die Entlen und die Waldemme sowie die dazugehörigen Resultate der Karbonatbestimmungen und der Leichtmineralanalysen 757
Fig. 8 Leichtmineralverteilung in den Formationen der subalpinen Molasse und im subalpinen Flysch 760
Fig. 9 Resultate von Schwer- und Leichtmineralanalysen sowie von Karbonatbestimmungen einiger Proben aus dem Steiglenbach (südöstlich Marbach) 764

Tab. 1 Numerische Parameter für die Granitische Molasse aus dem Detailprofil des Hinteren Fischenbaches 735
Tab. 2 Numerische Parameter für die Horwerplatten der Hornbüel-Schuppenzone aus dem Detailprofil des Hinteren Fischenbaches 737
Tab. 3 Zusammenstellung der Resultate aller an den Proben ausgeführten Untersuchungen 766

SUMMARY

The present study deals with the lithostratigraphy and the sedimentology of the outer zone of the Subalpine Molasse in the Entlebuch area, situated 25 km west of Lucerne. The outer zone mainly consists of the «Granitic Molasse» (Lower Fresh-water Molasse). It is probably of Aquitanian age but the lower part may well represent Chattien – as it does in the southern region of the lake of Zurich. Several upthrusted sheets consisting of marine-brackish and fluvioterrestric Molasse sediments of Stampian age, called Hornbüel-Schuppenzone, border the Granitic Molasse southwards. This part is regarded as belonging to the outer zone. The often proposed anticlinal structures of the Granitic Molasse, which can hardly be proved in the field, have been confirmed and their interpretation modified by heavy mineral analyses. The low content of epidot in the heavy mineral association, which characterizes the lower part of the Granitic Molasse, occurs at locations which MOLLET (1921) has already suspected as being the cores of anticlines. In the Waldemme section, the northern anticline («Hauptantiklinale» = A_1) is found 900 m northwest of the point indicated by FRÖHLICHER (1933). Beside the anticlinal zone, with anticlines A_1 and A_2, two tectonic units follow southeastwards and take part in the formation of the outer zone of the Subalpine Molasse. These tectonic units, already known as Schangnau-Schuppe (HAUS, 1937)

and Giebelegg-Schuppenzone (BUXTORF et al., 1941) in the southwest and northeast respectively of the investigated area, were recognized by interpreting sedimentpetrographic features in the Entlebuch area.

Since the name Giebelegg-Schuppe has already been used by RUTSCH (1933: 17) for a tectonic unit west of the Aare river, tectonically independent and with no connection to the one named Giebelegg-Schuppenzone by BUXTORF, it is proposed here to replace BUXTORF's nomenclature by calling this unit Hornbüel-Schuppenzone.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Studium der äusseren Zone der subalpinen Molasse im Gebiet des Entlebuchs (25 km W Luzern).

In einem ersten Teil werden die lithologischen Einheiten, die am Bau der äusseren Zone beteiligt sind, durch stratonomische Daten charakterisiert und ihr Alter diskutiert. Diese Untersuchungen führten zu folgenden Feststellungen:

1. Die äussere Zone besteht zur Hauptsache aus Granitischer Molasse (Untere Süsswassermolasse), die altersmässig dem Aquitanien entspricht, höchst wahrscheinlich aber noch ins Chattien hinunterreicht.

2. Südlich an die Granitische Molasse grenzen stampische marin-brackische und fluvioterrestrische Schürfpakete, die auf Grund unserer Neuuntersuchung ebenfalls zur äusseren Zone gezählt werden müssen.

In einem zweiten sedimentologischen Teil werden die an rund 150 Proben durchgeführten Schwer- und Leichtmineralanalysen sowie Karbonatbestimmungen besprochen. Die kontinuierliche Probeentnahme in drei senkrecht zum Streichen der äusseren Zone verlaufenden Profilen erlaubte eine genaue Interpretation der Tektonik der äusseren Zone:

1. Der längst postulierte Antiklinalbau der steilstehenden Schichten der Granitischen Molasse, der im Felde wegen Fehlens der Umbiegungen und wegen der Gleichförmigkeit der Gesteinsabfolge nicht zu beweisen war, konnte anhand von Schwermineralen eindeutig belegt und modifiziert werden. Wir stellten nämlich fest, dass eine epidotarme-epidotfreie Schwermineralfazies für den tieferen Teil der Granitischen Molasse charakteristisch ist. An den Stellen, wo schon MOLLET (1921) die Antiklinalkerne vermutete, konnten wir diese epidotarme Schwermineralvergesellschaftung nachweisen, so dass nun die Auffassung von MOLLET durch gewichtige Argumente gestützt wird.

2. Im Waldemme-Profil musste der von FRÖHLICHER (1933) postulierte Verlauf der «Hauptantiklinale» (= Würzenbach-Antiklinale = A_1) um ca. 900 m nach NW verlegt werden.

3. Neben der Antiklinalzone, die aus zwei Antiklinalen (A_1, A_2) und eine sie trennende Synklinale (S_1) besteht, beteiligen sich am Aufbau der äusseren Zone der subalpinen Molasse – SE an die Antiklinalzone anschliessend – noch zwei tektonische Einheiten, nämlich die Schangnau-Schuppe und die Hornbüel-Schuppenzone. Diese beiden tektonischen Einheiten – die zweite allerdings unter anderem Namen – sind in der Nachbarschaft schon bisher bekannt gewesen, konnten nun aber anhand sedimentpetrographischer Kriterien erstmals bis ins Gebiet des Entlebuchs verfolgt werden. Unsere Schangnau-Schuppe entspricht der Hauptmasse der von HAUS (1937: 34) aus dem Schangnau beschriebenen gleichnamigen tektonischen Einheit. Deren südlichste Teile müssen allerdings zu unserer Hornbüel-Schuppenzone gerechnet werden, die sich in die von BUXTORF et al. (1941) SSW Luzern ausgeschiedene Giebelegg-Schuppenzone fortsetzt (vgl. auch Geol. Atlasblatt 28, Luzern und dessen Erläuterungen, KOPP, 1962: 10).

4. Um Konfusionen zu vermeiden, halten wir es für zweckmässig, die letztgenannte tektonische Einheit, die bisher Giebelegg-Schuppenzone resp. Giebelegg-Schuppe (BUXTORF et al., 1941: 151, KOPP, 1962: 10) hiess, neu zu benennen. Neben der Giebelegg SSW Luzern gibt es nämlich auch eine Giebelegg (auf der heutigen Landeskarte Gibelegg), die dem Gurnigel S Bern im N vorgelagert ist. Nach der letztgenannten Giebelegg hat RUTSCH schon 1933 (S. 17) eine Giebelegg-Schuppe geschaffen, von der in der Molasse S Bern häufig die Rede ist. Der bisherigen luzernischen Giebelegg-Schuppe geben wir neu den Namen Hornbüel-Schuppenzone.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit ist auf Anregung und unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. W. NABHOLZ entstanden. Sie ist das Resultat von Untersuchungen, die in den Jahren 1962–1965 in der subalpinen Molasse des Entlebuchs durchgeführt wurden. Die Auswertung des Materials erfolgte im sedimentologischen Laboratorium des Geologischen Instituts an der Universität Bern, wo auch die Belegsammlung deponiert ist.

Zum Abschluss meiner Dissertation möchte ich allen denen herzlich danken, die zu ihrem Gelingen mitgeholfen haben:

An erster Stelle meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. W. NABHOLZ, der diese Arbeit durch sein stetes Interesse und seine grosszügige Unterstützung mit Rat und Tat förderte.

Herrn Dr. F. ALLEMANN für seine wertvollen Ratschläge und Anregungen.

Herrn Dr. R. HERB für die kritische Durchsicht meines Manuskriptes.

Herrn Prof. Dr. A. LOMBARD für die Einführung in die Methodik der Stratonomie anlässlich einer mehrtägigen Exkursion ins Entlebuch.

Herrn Prof. Dr. E. NIGGLI für bereitwillige Auskünfte betreffend die Herkunft von Schwermineralen.

Herrn Prof. Dr. R. RUTSCH für seine sachkundige Kritik.

Herrn Dr. K. MÄDLER (Hannover) für die Bestimmung der Charophyten.

Herrn W. FREI für die Reinzeichnung der Figuren.

Allen meinen jüngeren und älteren Studienkameraden am Geologischen und am Mineralogisch-petrographischen Institut, die mir durch manche wertvolle Hinweise weitergeholfen haben. Ganz besonders aber meinem Freund und Gebietsnachbarn Dr. A. MATTER für die praktische Einführung in die Labormethodik sowie für die vielen angeregten Diskussionen.

Der Stiftung *Amrein-Troller*, Gletschergarten Luzern, sowie dem Vorstand der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft für ihre grosszügige finanzielle Unterstützung bei der Drucklegung.

Mein grösster Dank jedoch gilt meinen Eltern, die mir überhaupt mein Studium ermöglichten, sowie meiner lieben Frau, die mir in den letzten, strengsten Jahren meines Studiums immer hilfsbereit und aufopfernd zur Seite stand.

I. Einleitung

1. Allgemeines zum Bau der Subalpinen Molasse

Eine Vielzahl von Forschern hat sich mit dem Bau der subalpinen Molasse beschäftigt. Es seien nur einige unter den wichtigsten Arbeiten – gleichsam als Meilensteine in der Geschichte der Entwicklung – erwähnt.

Mit STUDERS «Monographie der Molasse» (1825) beginnt die moderne, wissenschaftliche Erforschung der Molasse. In KAUFMANNS Arbeiten (1860, 1872, 1886) sind die unmittelbar beobachtbaren tektonischen Erscheinungen für einen grossen Abschnitt der Ost- und Zentralschweiz schon aufs genaueste niedergelegt. Die Interpretation seiner Beobachtungen dagegen war wegen Unkenntnis der wahren palaeontologisch-stratigraphischen Verhältnisse nicht haltbar. Es blieb BAUMBERGER (1925, 1929, 1931 u.a.) vorbehalten, die Stratigraphie der subalpinen

Molasse zu klären und die Tektonik anhand dieser Entdeckungen umzudeuten. Damit waren die Grundlagen zu lokalen Detailstudien geschaffen. Aus diesen neueren, zahlreichen Untersuchungen hat sich heute folgendes Bild herauskristallisiert:

Vom sanktgallischen Rheintal bis ins Gebiet von Marbach-Schangnau (Kt. Bern) bleibt der Aufbau der subalpinen Molasse trotz mannigfaltiger lokaler Komplikationen prinzipiell gleich. Die flachliegende mittelländische Molasse richtet sich gegen die Alpen hin auf und geht über in die «äussere, gefaltete Zone» der subalpinen Molasse. Im S schliesst sich die «innere, überschobene Zone» der subalpinen Molasse an, die ihrerseits gegen S von der Alpenrandüberschiebung begrenzt wird. Südwestlich von Marbach-Schangnau bis ins Gebiet des Genfersees fehlt die «äussere, gefaltete Zone». Die innere Zone ist bis auf die flachliegende mittelländische Molasse überschoben und hat die äussere Zone vollständig überfahren (TERCIER, 1928; EMMENEGGER, 1962; MORNOD, 1949; LOMBARD, 1940).

Die Zweiteilung nach tektonischen Kriterien in eine «äussere, gefaltete» und eine «innere, überschobene» Zone in der Ost- und Zentralschweiz stösst auf namhafte Schwierigkeiten. Der Faltenbau beschränkt sich nämlich nicht ausschliesslich auf die äussere Zone und der Schuppenbau nicht allein auf die innere. Dies zeigen besonders klar die Arbeiten von KLEIBER (1937), RENZ (1937 a) und HABICHT (1945 a, b) sowie auch FÜCHTBAUER (1964). Auch die vorliegende Arbeit wird sich mit diesen mannigfaltigen Wechselwirkungen von Faltung und Schuppenbildung zu befassen haben. Gerade in Hinsicht auf den komplexen Bau unseres Arbeitsgebietes lässt sich mit SCHUPPLI (1952:18) die Frage stellen, ob eine Zweiteilung überhaupt gerechtfertigt sei. Wir glauben jedoch diese Zweiteilung beibehalten zu dürfen, falls wir die Betonung nicht auf die Bauart, sondern rein auf die geographische Lage in bezug auf den Alpenkörper legen. Als Grenze zwischen äusserer und innerer Zone der subalpinen Molasse gilt die Hauptaufschiebung, d.h. für unser Gebiet die Schubfläche, an der unterstampische Grisigermergel mit stratigraphisch höheren Einheiten im Kontakt stehen.

2. Das Gebiet des Entlebuchs

MOLLET (1921) und FRÖHLICHER (1933) unterscheiden im Gebiet des Entlebuchs von N nach S folgende stratigraphisch-tektonische Einheiten:

1. a) postaquitane, steilgestellte Schichten der nördlichen Hauptantiklinale;
   b) «aquitane» Antiklinalzone.
2. a) unter- bis mittelstampische Beichlen-Farneren-Schuppe;
   b) unterstampische Hilfern-Schuppe.

Wir möchten zum vorneherein mit SCHUPPLI (1952: 1) und RENZ (1937 a: 188) die postaquitanen Gesteine der N-Flanke der Hauptantiklinale zur mittelländischen Molasse zählen, da sich dadurch eine vom Rhein bis nach Marbach scharf definierte stratigraphische Grenzlinie abzeichnet[1]). Somit gehören die unter Punkt 1.a) aufgeführten Schichten nicht zu unserer äusseren Zone. Im folgenden befassen wir uns ausschliesslich mit der im vorhergehenden im S wie im N abgegrenzten äusseren Zone der subalpinen Molasse.

[1]) HABICHT (1945a: 5) geht noch weiter, indem er im südlichen sanktgallisch-appenzellischen Molassegebiet auch die NNW-fallenden Schichten der Granitischen Molasse (?Aquitanien) zur mittelländischen Molasse zählt.

II. Geologisch-stratigraphische Übersicht über die äussere Zone der subalpinen Molasse im Entlebuch

Als $2^1/_2$–3 km breiter Streifen durchzieht die äussere Zone[2]) das Gebiet des Entlebuchs in SW–NE-Richtung (vgl. Tafel I). Zwischen Escholzmatt und Schüpfheim läuft das Haupttal völlig parallel zu dieser Zone. Nordöstlich von Schüpfheim allerdings schneidet die Kleine Emme die N-Grenze der subalpinen Molasse und bahnt sich ihren Lauf durch die nagelfluhreichen Gesteine der mittelländischen Molasse (vgl. Tafel I). Die durch leichtverwitternde Sandsteine ausgezeichnete äussere Zone dagegen setzt sich in der sanften Hügellandschaft südlich von Entlebuch nach NE fort.

1. Nördliche Begrenzung

Die Abgrenzung der subalpinen Molasse von der mittelländischen bietet keine Probleme. Sie ist nach unserer obigen Definition identisch mit dem stratigraphischen Kontakt der Granitischen Molasse (?Aquitanien) und dem hangenden Luzerner Sandstein (?Burdigalien). Es ist jedoch beizufügen, wie zuletzt MATTER (1964: 322) feststellte, dass die Granitische Molasse im Dach schon starke Anklänge an den Luzerner Sandstein aufweist. Im westlichen Teil diente FRÖHLICHER (1933) eine Nagelfluhbank (sog. «Basisnagelfluh») als Kartiergrenze. Östlich von Entlebuch, wo die eigentliche Basisnagelfluh nicht mehr vorhanden ist, weist das Auftreten von Geröllnestern und -schnüren sowie das Einsetzen des typisch plattigen Luzerner Sandsteins leicht die Grenze.

Die bei Luzern über 80° nach NNW-fallende Grenzfläche zieht – sich langsam aufrichtend – zum Sonnenberg (südöstlich Littau), von hier – in nach N überkippter Lagerung – über den Kreuzhubel in das Längstälchen des Rümligbaches (südlich Schwarzenberg). Dann quert sie den Einschnitt der Rümligschlucht und läuft in saigerer Stellung entlang der Anhöhe der Haselegg (vgl. Tafel I). Mit langsam abnehmendem NNE-Fallen schneidet sie den Entlenquerschnitt (südlich Entlebuch), dann nördlich Schüpfheim das Haupttal. Hier beträgt ihr Einfallen nur noch 55°. Nun verläuft sie in den sanften nördlichen Talhängen des Haupttales bis nördlich von Escholzmatt, springt bei Wiggen auf die S-Seite des Ilfistales, um zwischen Marbach und Schangnau unter die innere Zone der subalpinen Molasse hineinzustreichen. Die die ganze Ost- und Zentralschweiz auszeichnende stratigraphisch-tektonische Leitlinie findet hier ihr Ende (vgl. Tafel I und LIECHTI, 1928).

2. Südliche Begrenzung

Die S-Grenze der äusseren Zone der subalpinen Molasse ist im Gegensatz zur nördlichen eine tektonische Fläche und fällt mit der Hauptüberschiebung zusammen.

Die Grenzziehung ist infolge tektonischer Komplikationen, die sich aus Feldbefunden nicht immer eindeutig erkennen lassen, erschwert und muss in unserem Gebiet neu definiert werden. Neuere Untersuchungen im Vierwaldstätterseegebiet (BUXTORF et al., 1941) einerseits und im Gebiet von Schangnau (HAUS, 1937;

[2]) Die Gleichsetzung der «äusseren Zone» mit der «aquitanen Antiklinalzone» wird bewusst vermieden, da sich die beiden Ausdrücke – wie wir später sehen werden – weder im stratigraphischen noch im tektonischen Sinn decken.

HALDEMANN, 1948; HOLLIGER, 1955) andrerseits haben im NW und SE neue Ergebnisse geliefert. Wir werden versuchen müssen, diese Erkenntnisse auf unser Gebiet zu übertragen.

Es handelt sich um die Ausscheidung zweier neuer Schuppen, die sich zwischen das ?Aquitanien s.s. und die unterstampische Basis der inneren Zone der subalpinen Molasse einschalten, nämlich im SW die Schangnau-Schuppe und im NE die Hornbüel-Schuppenzone. Da beide Einheiten aller Wahrscheinlichkeit nach auf weite Strecken zu verfolgen sind, müssen wir vorerst deren Existenz in unserem Gebiet beweisen, ihre gegenseitige Stellung abklären und können somit erst am Ende dieser Arbeit auf die Frage der S-Grenze der äusseren Zone zurückkommen. Betrachten wir zuerst die Stellung der Schuppen in ihren Typgebieten.

A. Schangnau-Schuppe

Die Schangnau-Schuppe wurde erstmals von HAUS (1937: 34) als selbständige tektonische Einheit im Gebiet von Schangnau ausgeschieden (vgl. Tafel I). Er sah sich hierzu veranlasst, weil er im Liegenden der unterstampischen Basis der Beichlen-Honegg-Schuppe im Hombach eine oberstampische Säugerfauna finden konnte. Die Lithofazies der Schangnau-Schuppe zeigt weit grössere Analogie zu der «aquitanen» Antiklinalzone südlich von Escholzmatt als zu der hangenden stampischen Beichlen-Honegg-Schuppe. So wirft HAUS die Frage auf, ob nicht im NE, d.h. im Gebiet des Entlebuchs, am S-Rand der «Aquitanzone» Äquivalente der Schangnau-Schuppe auftreten, die bisher zum «?Aquitanien» gestellt wurden. RENZ (1937a: 153) glaubt in der Schangnau-Schuppe den hochgepressten S-Schenkel der im Gebiet von Wiggen-Marbach axial unter ihre postaquitane Sedimenthülle abtauchende «Hauptantiklinale» zu sehen (vgl. Tafel I und LIECHTI, 1928).

Nach SW zieht die Schangnau-Schuppe als 600–1400 m mächtige Zone durch den N-Fuss der Honegg (HALDEMANN, 1948: 67) und scheint in der Gegend von Schwarzenegg (SW-Ecke NLK 1:25000, Blatt 1188, Eggiwil) auszuklingen (vgl. Tafel I). Im NE verfolgt HOLLIGER (1955: 84) eine intensiv gestörte und verschuppte Zone bis in den Alpbach südsüdöstlich von Escholzmatt. Die geringe Mächtigkeitsangabe von nur 150 m lässt uns vermuten, dass dieser Autor nur den südlichsten Teil der Schangnau-Schuppe erfasst habe. Wie an anderer Stelle zu zeigen ist, dürfte aber dieser südlichste Teil dem von MOLLET (1921) und FRÖHLICHER (1933) ausgeschiedenen «Plattensandstein» resp. der «basalen Sandsteinzone der Beichlen-Schuppe» entsprechen. Die Durchsicht von HOLLIGERS Belegsammlung scheint diese Vermutung zu bestätigen[3]).

B. Die Hornbüel-Schuppenzone (ehemals luzernische Giebelegg-Schuppenzone)

Wie Neuaufnahmen von BUXTORF et al. (1941) im Gebiete von Ennethorw (5 km südlich Luzern) ergaben, liegen die Grisigermergel der stampischen aufgeschobenen Molasse nicht direkt dem gefalteten «Aquitanien» auf. Es schaltet sich eine Zwischenzone von stampischen Schürfmassen ein, die in ihrer Mächtigkeit von einigen Metern bis zu mehreren hundert Metern ansteigen kann. Diese Schub-

[3]) Der weitaus grösste Teil der Handstücke von HOLLIGERS Schangnau-Schuppe zeichnen sich durch die stark verwitterten, gelben Dolomitkomponenten aus, die für unsere Hornbüel-Schuppenzone charakteristisch sind (siehe unten). Allerdings finden sich auch einige Handstücke, die sich makroskopisch nicht von der Granitischen Molasse unterscheiden lassen.

pakete von Horwer- und unteren Weggiser-Schichten (Rupélien – ?Unteres Chattien), die die Hauptaufschiebung Stampien – «Aquitanien» begleiten, wurden nach ihrer interessantesten Entwicklung an der Giebelegg (ca. 3 km südwestlich Kriens) als Giebelegg-Schuppenzone bezeichnet[4]). Diese Bezeichnung ist insofern sehr unglücklich, als westlich von Thun in der subalpinen Molasse ebenfalls eine Giebelegg-Schuppe existiert. Diese steht aber weder tektonisch noch altersmässig in irgendwelcher Beziehung zur luzernischen Giebelegg-Schuppe (vgl. RUTSCH, 1933: 17; 1947: 34). Nachdem durch unsere Beobachtungen die Giebelegg-Schuppe der Zentralschweiz von E her bis ins Schangnau (vgl. Tafel I) verfolgt werden konnte, ist sie in bedenkliche Nähe derjenigen westlich des Aaretales gerückt (33 km). Eine Umbenennung der einen oder anderen tektonischen Einheit ist deshalb nicht zu umgehen. Wir schlagen vor, den Namen der von BUXTORF et al. (1941: 151) aufgestellten Giebelegg-Schuppe zu ändern, weil RUTSCH seine Giebelegg-Schuppe schon 1933 eingeführt hatte. Der bisherigen luzernischen Giebelegg-Schuppe geben wir neu den Namen Hornbüel-Schuppenzone. Die Typlokalität, der Hornbüel-Chnubel – ein markanter Hügel etwa 4 km südlich Entlebuch (P. 648200/200975) – wird ausschliesslich von Gesteinen der ehemaligen luzernischen Giebelegg-Schuppe aufgebaut.

Weiter im E, im sanktgallisch-appenzellischen Molassegebiet erwähnt HABICHT (1945a: 115) im Liegenden der Grisigermergel Sandsteine bis zu 200 m Mächtigkeit. Er lässt allerdings die Frage offen, ob es sich nicht um das Normalliegende der Grisigermergel handelt, entsprechend der Interpretation von MUHEIM (1934: 186) und RICHTER (1940: 3) im Vorarlberg, Allgäu und in Südbayern. Diese Autoren scheiden als Normalliegendes ihrer Tonmergelstufe (= Grisigermergel) die Sandstein-Mergel-Abfolge der Deutenhausener-Schichten aus.

Weiter im W, in unserem Arbeitsgebiet, lassen MOLLET (1921: 46) und FRÖHLICHER (1933: 21) die stampische Beichlen-Farneren-Schuppe mit einer Sandstein-Mergelserie mit untergeordneten Nagelfluheinlagerungen beginnen. BUXTORF et al. (1941: 152) sehen in dieser basalen Plattensandsteinzone die westliche Fortsetzung ihrer Giebelegg-Schuppe (vgl. auch KOPP, 1962: 21), die wir nun Hornbüel-Schuppenzone nennen. Durch unsere Beobachtungen konnte diese Annahme voll bestätigt werden, wie an anderer Stelle noch gezeigt wird.

C. Beziehungen zwischen Hornbüel-Schuppenzone und Schangnau-Schuppe

Durch unsere Untersuchungen, über die im folgenden zu berichten sein wird, sind wir zum Schluss gelangt, dass der südlichste Teil der von HAUS (1937: 34) ausgeschiedenen Schangnau-Schuppe unserer Hornbüel-Schuppenzone und damit der bisherigen luzernischen Giebelegg-Schuppenzone zwischen Horw und Eigenthal (BUXTORF et al., 1941) entspricht. Diese wiederum umfasst die basalen Sandsteine der Beichlen-Farneren-Schuppe von MOLLET (1921) und FRÖHLICHER (1933) sowie die von HOLLIGER (1953: 76) als Schuppenzone bezeichnete Serie der westlichen Beichlen.

---

[4]) In der Arbeit von 1941 (BUXTORF et al.) werden die Ausdrücke Giebelegg-Schuppenzone und Giebelegg-Schuppe nebeneinander verwendet. In den späteren Veröffentlichungen (Geol. Atlasblatt 28, Luzern und dessen Erläuterungen, KOPP, 1962: 10) findet sich nur noch der Name Giebelegg-Schuppe. Wir bevorzugen aber die Bezeichnung Schuppenzone, da es sich hier um eine Anhäufung von Schürfpaketen verschiedener stratigraphischer Herkunft handelt.

D. Gliederung der äusseren Zone

Die äussere Zone der subalpinen Molasse des Entlebuchs würde sich nach obigen Annahmen von N nach S in folgende Einheiten aufteilen:

	mittelländische Molasse
Äussere Zone der subalpinen Molasse	1) Antiklinalzone der Granitischen Molasse 2) Schangnau-Schuppe (nur aus Granitischer Molasse bestehend) 3) Hornbüel-Schuppenzone
×	Hauptaufschiebung ×
Innere Zone der subalpinen Molasse	unterstampische Grisigermergel der Beichlen-Farneren-Schuppe

3. Stratigraphie der äusseren Zone

Eines der charakteristischen Merkmale der Molassedimentation ist der rasche Fazieswechsel in vertikaler, wie in horizontaler Richtung. Dies ist nicht verwunderlich, wenn wir uns die Ablagerungsbedingungen dieser Sedimente vergegenwärtigen: Die aus den werdenden Alpen entspringenden Flüsse tragen ihren Schutt in Form von mächtigen Deltas in die voralpine Senke, die zu gewissen Zeiten vom Meer überflutet ist (Untere und Obere Meeresmolasse), zum Teil aber als riesige Schwemmebene trocken liegt (Untere und Obere Süsswassermolasse). Gegen den S-Rand dieses Molassetroges, d.h. im Bereich der Flussmündungen, werden sich auch zu Zeiten der marinen Überflutungen die brackischen, terrestrischen und limnischen Einflüsse derart geltend machen, dass eine Unterteilung in Meeres- und Süsswassermolasse illusorisch wird. Für die Biostratigraphie bedeutet dies aber, dass gleichaltrige Schichten je nach ihrer Lage im Molassetrog marine, brackische, limnische und terrestrische Faunen enthalten können. Biostratigraphische Korrelationen und eine exakte geochronologische Einstufung sind nur in extrem seltenen Fällen möglich.

A. Alter der äusseren Zone

Der Hauptanteil der äusseren Zone der subalpinen Molasse wurde von den früheren Autoren der Stufe des Aquitaniens gleichgesetzt. Diese «Aquitan-Zone» ist jedoch eine lithostratigraphische Bezeichnung und umfasst die lithofaziell einheitliche Gesteinsabfolge der Granitischen Molasse. FRÖHLICHER (1933: 9) stellt anhand einer spärlichen Schneckenfauna, die eine von BAUMBERGER bestimmte aquitane Leitform *Triptychia (Triptychia) antiqua* (ZIETEN) 1830 enthält, die Granitische Molasse des Entlebuchs ins Aquitanien.

Uns gelang es aus einer roten Mergelprobe (Nr. 63829/25) vom Steilufer der Waldemme gegenüber Schachenhüsli (P.643525/197825) eine Charophytenfauna zu isolieren. Die Bestimmung wurde in freundlicher Weise von Herrn Dr. K. MÄDLER, Hannover, durchgeführt. Er stellte folgende Arten fest:

Maedlerisphaera ulmensis (STRAUB) HORN af RANTZIEN

Tectochara meriani helvetica MÄDLER.

Die Fundstelle deckt sich mit einem von FRÖHLICHERS Gastropodenfundorten. Zur Altersfrage aber schreibt Dr. K. MÄDLER: «Die beiden Formen kommen sowohl im Chattien als auch im Aquitanien vor; eine weitere Einengung ist mit diesen beiden Arten nicht möglich». Im SW findet HAUS (1937: 35) am S-Rand der «Aquitan-Zone» in einer Gesteinsserie, die sich von der Granitischen Molasse im

Felde nicht unterscheiden lässt, eine von STEHLIN dem jüngeren Stampien zugewiesene Säugerfauna. Aus diesem rein palaeontologischen Grund hat er, wie schon oben erwähnt, seine Schangnau-Schuppe ausgeschieden. Im Gebiet des Oberen Zürichsees hat ZÖBELEIN (1963: 25) neulich auf Grund einer Gastropodenfauna den grössten Teil der Granitischen Molasse ins Chattien gestellt.

Wir haben in der Granitischen Molasse zwei tektonische Einheiten zu erwarten, nämlich die Antiklinalzone und die Schangnau-Schuppe. Die dritte tektonische Einheit der äusseren Zone, die Hornbüel-Schuppenzone (ehemals Giebelegg-Schuppenzone) setzt sich südlich von Luzern, wie BUXTORF (1941: 151) beschreibt, aus Schürfmassen von stampischen Horwer- und unteren Weggiser-Schichten zusammen. Obschon das generell stampische Alter dieser Schichten nirgends angezweifelt wird, bestehen auch hier bei der genauen Alterszuweisung Differenzen. BAUMBERGER (1931: 206) zählt beide zum Unterstampien. BUXTORF (1941: 144) glaubt einen Teil der Weggiser-Schichten eventuell schon dem unteren Chattien zuordnen zu dürfen. FRÖHLICHER (1933) und MOLLET (1921) stellen die fraglichen Schichten ins Rupélien, allerdings aus anderen Gründen: Sie erkannten die tektonischen Gegebenheiten nicht und betrachteten deshalb die Sandsteine mit z.T. konglomeratischen Einlagerungen als Normalliegendes der sicher als unterstampisch datierten Grisigermergel der Beichlen-Farneren-Schuppe.

Wir stellen also fest, dass eine biostratigraphische Alterszuweisung der sehr fossilarmen äusseren Zone in unserer Region nur an zwei Orten möglich ist: Bei HAUS (1937: 35) im Hombach (Schangnau) und bei FRÖHLICHER (1933: 61) im Schwändlenbach (südsüdwestlich Schüpfheim)[5]. Die Datierung der übrigen Gesteinsabfolgen der äusseren Zone beruht ausschliesslich auf lithofaziellen Vergleichen.

Wir sollten deshalb, wie dies MATTER (1964) in unserer Gegend als erster konsequent durchgeführt hat, chronostratigraphische Bezeichnungen für lithostratigraphische Einheiten nach Möglichkeit vermeiden, um das Alter scharf von der jeweiligen Gesteinsausbildung zu trennen.

B. Granitische Molasse

Die vom Vierwaldstättersee bis Marbach durchlaufende 2–3 km breite, steilgestellte Zone der Granitischen Molasse ist in ihrer lithologischen Abfolge sehr einheitlich. Es handelt sich um «eine Wechsellagerung von grob- und feinkörnigen, kalkigen oder mergeligen Sandsteinen, gelben, roten, violetten oder schwarzen Mergeln und untergeordnet Nagelfluhen» (MATTER, 1964: 322). Bei einem Querprofil lassen sich im Feld von N nach S allenfalls drei nicht sehr auffallende Unterschiede feststellen:

1. Im Dach, d.h. im Grenzbereich zum Luzerner Sandstein der nördlich vorgelagerten mittelländischen Molasse, verliert die Granitische Molasse ihren Habitus. Es treten grünblaue, harte, tonig-mergelige Feinsandsteine auf, die dem hangenden Luzerner Sandstein schon recht ähnlich sehen. Es zeichnet sich hier bereits die Transgression der Oberen Meeresmolasse ab, wie MATTER (1964) für unser Gebiet und KLEIBER (1937) für das der Hohen Rone zeigen.

[5]) Diese Lokalität lieferte die oben erwähnte aquitane Leitform *Triptychia* (*Triptychia*) *antiqua* (ZIETEN) 1830 und gehört sedimentpetrographisch zum südlichsten Teil unserer Epidotzone (siehe unten).

2. Die typische Knauermolasse tritt in grosser Mächtigkeit nur im nördlichen Abschnitt auf.
3. Im südlichsten Teil ist eine merkliche Zunahme der Nagelfluhbänke zu verzeichnen (besonders schön im Gretenbach, 2 km südöstlich Hasle).

Sandsteine

Das auffallendste Gestein ist ein graugrüner, kalkarmer Kies-Grobmittelsandstein, der der ganzen Formation den Namen «Granitische Molasse» gab. Das «granitische» Aussehen verdankt er den häufigen, roten Feldspat- und Quarzkörnern. Der Feldspatgehalt ist so hoch, dass das Gestein als Arkose bezeichnet werden kann. Auf die genauere Sedimentpetrographie dieses porösen, tiefgründig verwitternden Sandsteins wird später eingegangen. Neben dem eigentlichen groben, granitischen Sandstein treten auch feinkörnigere, kalk- und tonreichere, meist grünrot, gelb gefleckte Varietäten auf, die alle Übergänge zu den Mergeln aufweisen.

Mergel

Die durch ihre Buntheit hervorstechenden roten, grünen, grauen, gelben und seltener schwarzen Mergel bilden geringmächtige Zwischenlagen in den psammitischen Schichtserien. Der Sandanteil (> 0,02 mm) in diesen limnoterrestrischen Mergeln ist sehr hoch. Wo er zu Gunsten des Ton- und Karbonatanteils zurücktritt, können die harten, rötlich gefleckten «Süsswasserkalke» FRÖHLICHERS (1933: 8) auftreten[6]).

Nagelfluh

Durch den sehr grossen Gehalt an Kristallinkomponenten – nach MATTER (1964: 322) über 50% – unterscheidet sich die Nagelfluh der Granitischen Molasse in unserem Gebiet von allen übrigen Nagelfluhbildungen. Eine weitere Eigenheit ist ihr Auftreten in locker gepackten Geröllschnüren und wenig mächtigen Nagelfluhbänken, im Gegensatz zu den kompakten, oft sehr mächtigen Nagelfluhen anderer Formationen.

Stratonomie

Ein für den ganzen $2^1/_2$ km breiten Abschnitt der Granitischen Molasse repräsentatives Profil ist in Fig. 1 (S. 734) wiedergegeben. Es stammt aus dem Hinteren Fischenbach, der südlichen Fortsetzung des Rümligs, wo an der Waldstrasse gegen Eggspüri ab P. 653600/203800 rund 50 m der Gesteinsabfolge lückenlos aufgeschlossen sind. Leider steht in diesem Teil keine Nagelfluh an. Man hat sich in Fig. 1 einzelne der auftretenden Geröllschnüre als geringmächtige Nagelfluhbänke zu denken, um der Formation auch in den seltenen, etwas nagelfluhreicheren Teilen gerecht zu werden.

Zur Darstellungsweise von Fig. 1

Die hier gezeichnete Kurve entspricht der «courbe lithologique» von LOMBARD (1963: 494). Alle in der betreffenden Formation auftretenden Gesteinstypen werden zu einer Standardserie (= «série virtuelle locale») zusammengestellt. In unserem Falle umfasst die lokale Standardserie

[6]) Es handelt sich aber nicht um eigentliche, meist Gastropodenschalen führende, praktisch aus 100% Karbonat bestehende Süsswasserkalke, die als fossile Seekreidebildungen aufgefasst werden (vgl. PIA, 1933). Vielmehr sind es etwas feinere, karbonatreichere Varietäten einer detritischen Schüttung.

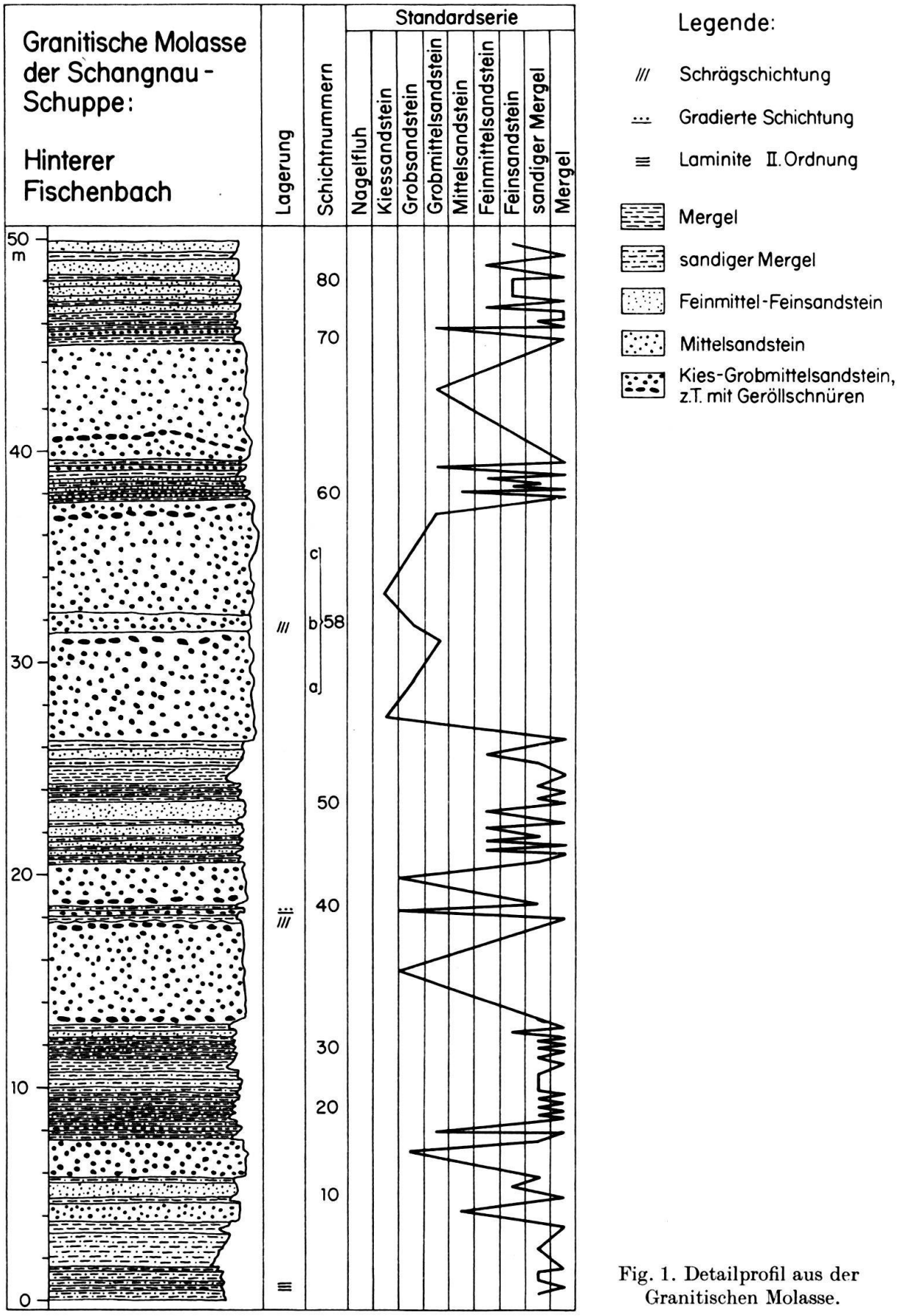


Fig. 1. Detailprofil aus der Granitischen Molasse.

Nagelfluh
Kiessandstein
Grobsandstein
Grobmittelsandstein
Mittelsandstein
Feinmittelsandstein
Feinsandstein
Sandiger Mergel
Mergel

Jedem Gesteinstyp wird neben dem Profil eine Vertikalkolonne zugeordnet. Die im Profil auftretenden Schichten erhalten in der ihrer lithologischen Ausbildung entsprechenden Kolonne einen Punkt. Die Verbindung der Punkte ergibt die «courbe lithologique».

Interpretation

Wir vermissen eine auffallende Gesetzmässigkeit der regelmässigen Aufeinanderfolge von Nagelfluh, Sandstein und Mergel, was sich als oscillierende Kurve mit vollem Amplitudenausschlag manifestieren würde. Eine regelmässige Oscillation findet nur im feinklastischen Bereich statt, während im grobklastischen die Kurve viel gestreckter verläuft. D. h. die mächtigsten Bänke werden vom gröbsten Material gebildet. Dieselbe Tatsache kommt auch in Tabelle 1 schön zur Geltung. Hier wurde eine weitere Darstellungsmethode von LOMBARD (1963: 493) übernommen. Die Fraktion der Kies- bis Grobsandsteine bildet 35,4% der Gesamtmächtigkeit, aber nur 9% aller Schichten. Dagegen sind die Mergel, die nur 27% der Gesamtmächtigkeit ausmachen, mit 62,8% an der Schichtenzahl beteiligt. Dementsprechend sind die durchschnittlichen Schichtdicken bei den Kies-Grobsandsteinen 2,25 m, bei den Mergeln dagegen nur 0,24 m. Diese auf den ersten Blick banalen Feststellungen sind nicht selbstverständlich und scheinen für die Ablagerungsbedingungen der Granitischen Molasse charakteristisch zu sein.

Tabelle 1. Numerische Parameter für die Granitische Molasse aus dem Detailprofil des Hinteren Fischenbaches

Lithofazies	Kiessand-stein-Grob-sandstein	Grobmittel-sandstein-Feinmittel-sandstein	Fein-sandstein	Sandiger Mergel und Mergel	Total
Mächtigkeit pro Lithofazies in Metern	18,05	17,03	2,17	13,77	51,02
Mächtigkeit in % der Gesamtmächtigkeit	35,4	33,3	4,3	27,0	100
Anzahl der Schichten pro Lithofazies	8	15	6	56	89
Anzahl in % aller Schichten	9	21,4	6,8	62,8	100
Durchschnittliche Schichtdicke in Metern	2.25	1,13	0,36	0,24	

C. Horwerplatten und fluvioterrestrisches Stampien der Hornbüel-Schuppenzone

Da es sich bei der Hornbüel-Schuppenzone um eine Schürfzone handelt, welche die Hauptaufschiebung Beichlen-Farneren-Schuppe auf die Granitische Molasse begleitet, wird eine allgemeingültige, stratigraphische Beschreibung zum vorne-

herein verunmöglicht. Die starke tektonische Beanspruchung führt stellenweise zu einer Ausquetschung der Zone, zum Teil aber auch zu einer gegen 200 m mächtigen Anhäufung der Gesteine. Prinzipiell lassen sich zwei lithologisch verschiedene Komplexe unterscheiden:

a) Horwerplatten, zum Teil mit geringmächtigen Nagelfluheinlagerungen. Diese marin-brackischen, plattigen Sandsteine werden von BUXTORF et al. (1941: 144) im Querprofil von Luzern als mittlere Horwer-Schichten ausgeschieden.

b) Teil des fluvioterrestrischen Stampiens. Als Ganzes umfasst dieses die Nagelfluh-Sandstein-Mergel-Abfolgen im Hangenden der Horwerplatten der inneren Zone. Im Abschnitt Luzern-Entlebuch sind in der inneren Zone der subalpinen Molasse drei Schüttungszentren zu erkennen, nämlich im E die Rigi-Nagelfluh, SW anschliessend die Heuboden-Aeschitannen-Regenflüeli-Nagelfluh und weiter im SW die Beichlen-Farneren-Nagelfluh. BUXTORF et al. (1941: 144) bezeichnet in der Rigi-Schüttung die fluvioterrestrischen Serien im Hangenden der Horwerplatten als Obere Horwer-Schichten und als Weggiser-Schichten.

Die Beziehung der unter a) und b) ausgeschiedenen Gesteinskomplexe zueinander ist aber nicht konstant. Tektonische Durchknetung verwischt die gegenseitigen Grenzen oft ganz. Gewissermassen als Leitgestein der Hornbüel-Schuppenzone dürfte ein über 1 m mächtiges rotes Mergelband angesehen werden, das überall auftritt, wo die Hornbüel-Schuppenzone aufgeschlossen ist (z.B. im Hinteren Fischenbach, in der Kleinen Entlen, im Nachzeltbach und im Chienismattbach östlich Heiligkreuz). Oft schaltet es sich mitten in die Serie der Horwerplatten ein und beweist dadurch deren tektonisch gestörte Stellung. In den «echten» Horwerplatten der Beichlenserie nämlich finden sich nur Mergeleinschaltungen des Typus der grauen, marinen Grisigermergel.

a) Horwerplatten (= Mittlere Horwer-Schichten)[7]

Alter

Auf Grund rein sedimentpetrographischer Analogien stellen wir die plattigen, graugrünen Sandsteine mit Glimmerplättchen und Pflanzenhäcksel auf den Schichtflächen den Horwerplatten gleich. Diese sonst im Hangenden der Grisigermergel auftretenden Komplexe behalten ihre Lithofazies auf grosse Strecken bei und werden in der ganzen Schweiz sowie im Vorarlberg gefunden. Synonyme der Horwerplatten sind u.a. Grès de Massongex, Vaulruz-Sandsteine, Biltener-Sandsteine und Bausteinschichten.

Nach RUTSCH (1961: 30) ist einzig der Sandstein von Vaulruz bei Bulle biostratigraphisch sicher als Unterstampien datiert, wobei es sich nicht um eine direkte Korrelation mit dem Typus des Rupélien (DUMONT, 1849, Tone von Boom in Belgien) handelt.

Stratonomie

Ein für die Horwerplatten der Hornbüel-Schuppenzone charakteristisches Detailprofil ist im Hinteren Fischenbach, am Weg nach Eggspüri bei P. 653700/203700 aufgeschlossen und in Fig. 2 dargestellt. Es handelt sich ausdrücklich nicht

[7]) Die Horwerplatten der Hornbüel-Schuppenzone entsprechen den «Plattensandsteinen» von MOLLET (1921: 46) und den «Sandsteinen mit Schiefermergeln» von FRÖHLICHER (1933: 21).

um die ganze Hornbüel-Schuppenzone, sondern nur um einen Ausschnitt aus dem Horwerplattenanteil. Die Horwerplatten werden in diesem Aufschluss von etwa 80 m mächtigem, fluvioterrestrischem Stampien, das ebenfalls zur Hornbüel-Schuppenzone gehört, unterlagert. Leider erlaubten die Aufschlussverhältnisse dieser Schichten keine Profilaufnahme.

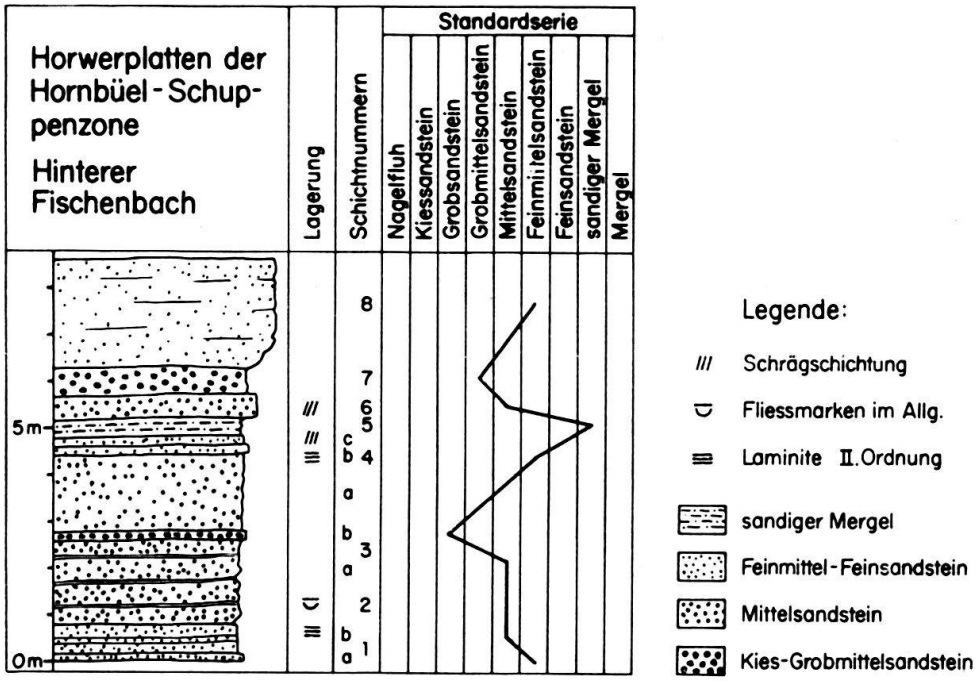


Fig. 2. Detailprofil aus den Horwerplatten der Hornbüel-Schuppenzone.

In Tabelle 2 wurden wiederum die stratonomischen Daten nach LOMBARD (1963: 493) zusammengestellt. Der Unterschied der Ablagerungsbedingungen der marin-brackischen Horwerplatten zu der limnoterrestrischen Granitischen Molasse manifestiert sich augenfällig in der Stratonomie: Das Maximum der Schichtmächtigkeiten, wie das der Schichthäufigkeiten verlagert sich von der Grobsandfraktion bei der Granitischen Molasse auf die Mittelsandfraktion bei den Horwerplatten.

Tabelle 2. Numerische Parameter für die Horwerplatten der Hornbüel-Schuppenzone aus dem Detailprofil des Hinteren Fischenbaches

Lithofazies	Kiessandstein-Grobsandstein	Grobmittelsandstein-Feinmittelsandstein	Feinsandstein	Sandiger Mergel und Mergel	Total
Mächtigkeit pro Lithofazies in Metern	0,1	8,05	–	0,4	8,55
Mächtigkeit in % der Gesamtmächtigkeit	1,2	94,1	–	4,7	100
Anzahl der Schichten pro Lithofazies	1	10	–	1	12
Anzahl in % aller Schichten	8,3	83,3	–	8,3	100
Durchschnittliche Schichtdicke in Metern	0,1	0,8	–	0,4	

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 indessen 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: 25)[8]).

Die tektonisierte Lagerung sowie die schlechten Aufschlussverhältnisse des fluvioterrestrischen Stampiens der Hornbüel-Schuppenzone verunmöglichten 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 nomenklatorische Einstufung in das Karbonat-Sand-Ton-Dreieck (FÜCHTBAUER, 1959: 608) verunmöglicht, 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 Literatur[9]) 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 PETTIJOHN (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 Einzuggebietes 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, obschon 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 Insitut 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) $n_{\text{Einbettungsmittel}} < n_{\text{Schwerminerale}}$ (Granat, Epidotgruppe, Zirkon, Spinellgruppe, Rutil, Brookit, Anatas, Staurolith, Titanit, Chloritoid, Zoisit, Sphalerit)

b) $n_{\text{Einbettungsmittel}} > n_{\text{Schwerminerale}}$ (Turmalin, Apatit, Baryt, Hornblenden p.p.)

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

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

[10]) Herstellungsfirma 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: Man bettet 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.

TiO_2-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 wurde[12]).

Staurolith

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 Einzuggebiet des Centovalli enthielt dieselben Rutile.

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 Widerauftreten 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 synklinal. 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.

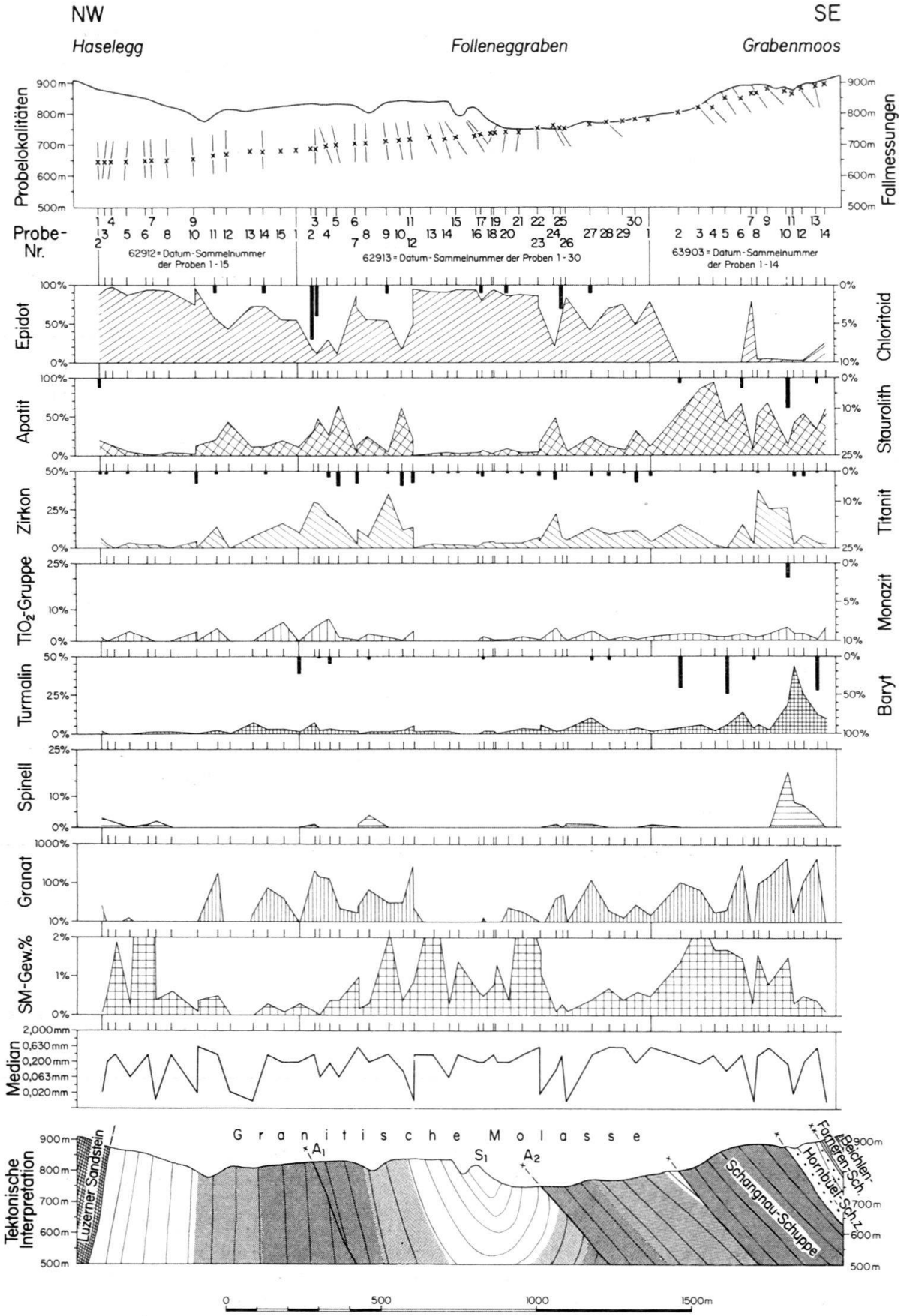

NW
SE
Haselegg
Folleneggraben
Grabenmoos
Probelokalitäten
Fallmessungen
Probe-Nr.
62912 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-15
62913 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-30
63903 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-14
Epidot
Chloritoid
Apatit
Staurolith
Zirkon
Titanit
TiO2-Gruppe
Monazit
Turmalin
Baryt
Spinell
Granat
SM-Gew.%
Median
Tektonische Interpretation
Granitische Molasse
Luzerner Sandstein
Schangnau-Schuppe
Hornbüel-Sch.
Fontanen-Sch.
Beichlen-Sch.
0
500
1000
1500m

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 anzugleichen. 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 Unteren 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 (A_1, A_2)
2. Im SE-Teil des Profils

Die Epidot-Fazies dagegen finden wir:

1. Im Liegenden des Luzerner Sandsteins
2. Im Synklinalkern (S_1) 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. A_1 = Würzenbach-Antiklinale; S_1 = Allmendli-Synklinale; A_2 = Altstaad-Antiklinale.

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

Die tieferen epidotarmen-epidotfreien Teile der Ganitischen 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.

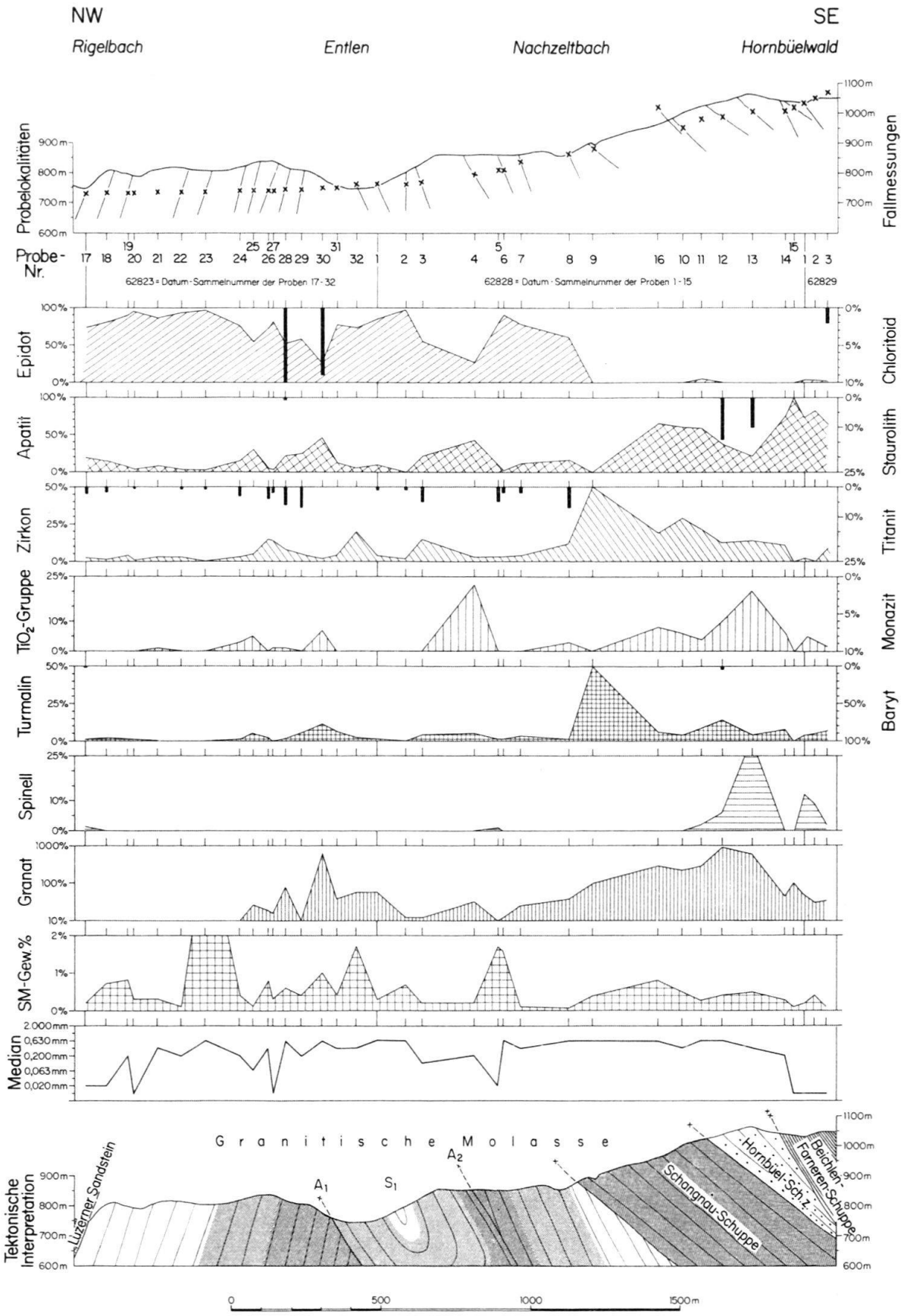

NW
SE
Rigelbach
Entlen
Nachzeltbach
Hornbüelwald
Probelokalitäten
Fallmessungen
Probe-Nr.
62823 = Datum-Sammelnummer der Proben 17-32
62828 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-15
62829
Epidot
Chloritoid
Apatit
Staurolith
Zirkon
Titanit
TiO2-Gruppe
Monazit
Turmalin
Baryt
Spinell
Granat
SM-Gew.%
Median
Tektonische Interpretation
Granitische Molasse
Luzerner Sandstein
A1
S1
A2
Schangnau-Schuppe
Hornbüel-Sch.z.
Beichlen-Farneren-Schuppe
0
500
1000
1500m

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 (A_1), 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 (A_1 = «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 zwangslos als die südliche, im E als Altstaad-Antiklinale (A_2) 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 anzeigt.

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. A_1 = Würzenbach-Antiklinale; S_1 = Allmendli-Synklinale; A_2 = Altstaad-Antiklinale.

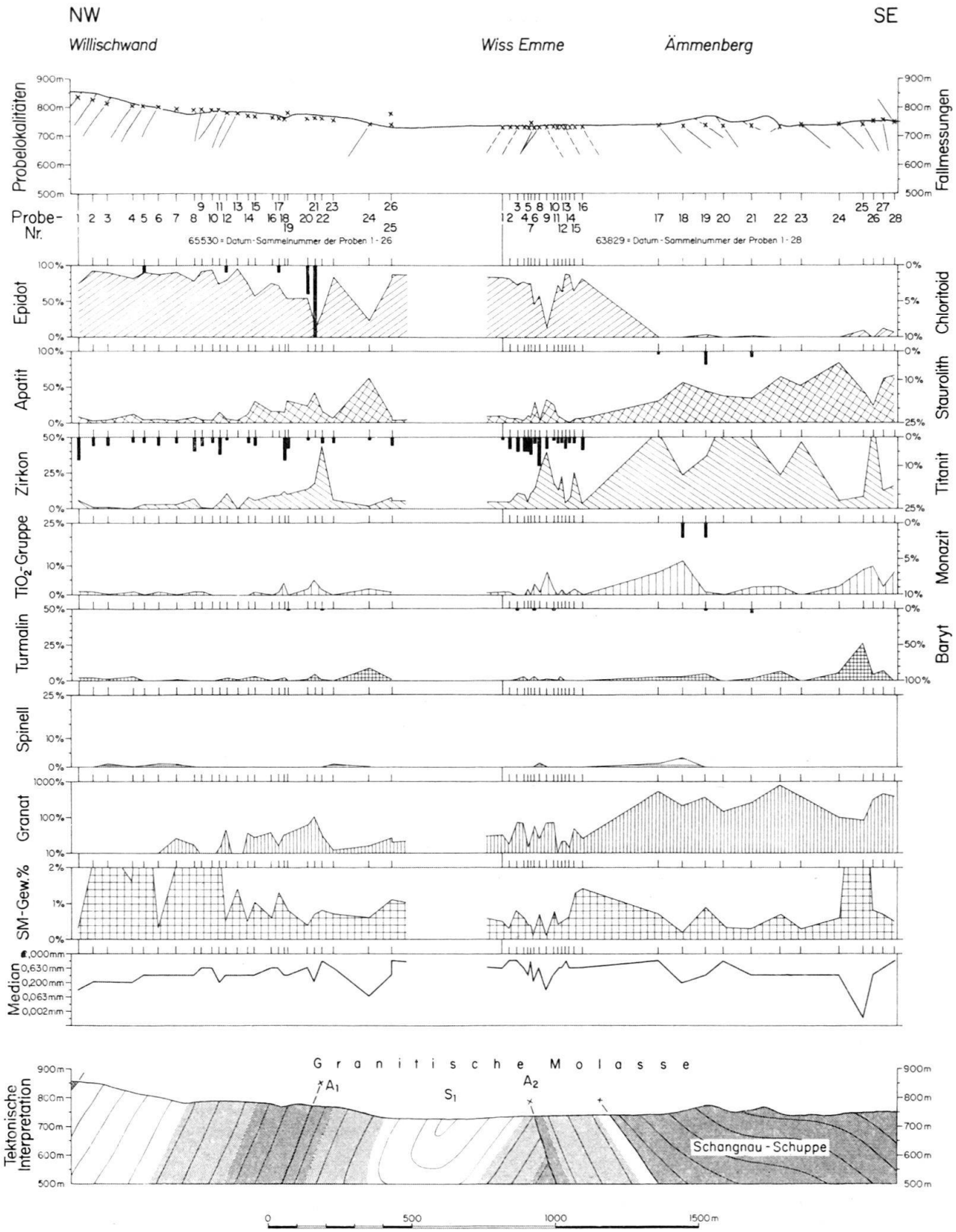

NW
SE
Willischwand
Wiss Emme
Ämmenberg
Probelokalitäten
Fallmessungen
Probe-Nr.
65530 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-26
63829 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-28
Epidot
Chloritoid
Apatit
Staurolith
Zirkon
Titanit
TiO2-Gruppe
Monazit
Turmalin
Baryt
Spinell
Granat
SM-Gew.%
Median
Granitische Molasse
Tektonische Interpretation
Schangnau-Schuppe
0
500
1000
1500m

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-Profils, 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 Feinfraktion. 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 Mineralien 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.

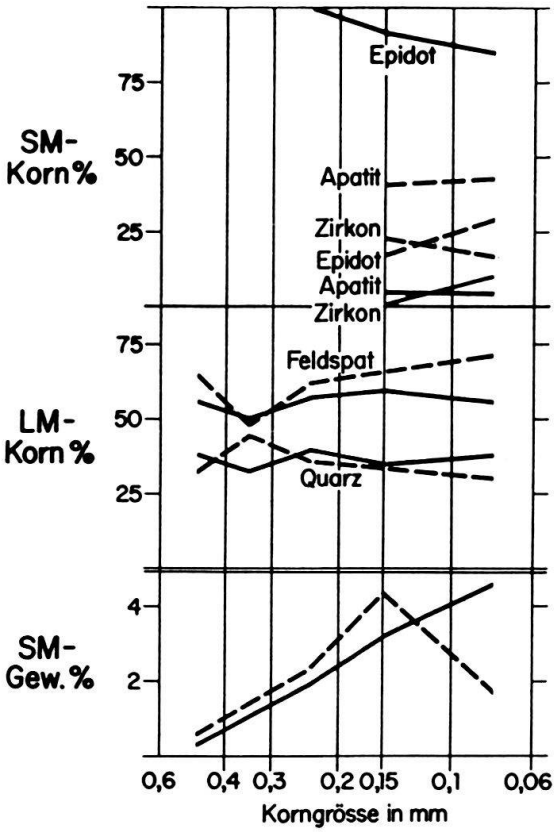


Fig. 6. Korngrössenverteilung von Epidot, Apatit, Zirkon (oben), Feldspat und Quarz (Mitte) sowie prozentualer Gehalt an Schwermineralen zweier Proben in Abhängigkeit von der Korngrösse (unten). SM = Schwerminerale; LM = Leichtminerale.

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 praealpin-metamorphen Gesteinskomplexen stammen.

FÜCHTBAUER (1964: 194) bezieht den Epidot der oberen Granitischen Molasse aus den die Sandsteine begleitenden Geröllen 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 weitaus 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 Nagelfluhbindemittels einerseits und die leichte Verwitterbarkeit und das seltene Auftreten des einzigen potentiellen Lieferanten dieser Granate andrerseits 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-Rosadecke 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 fossilarmer 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 zersetzten, 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.

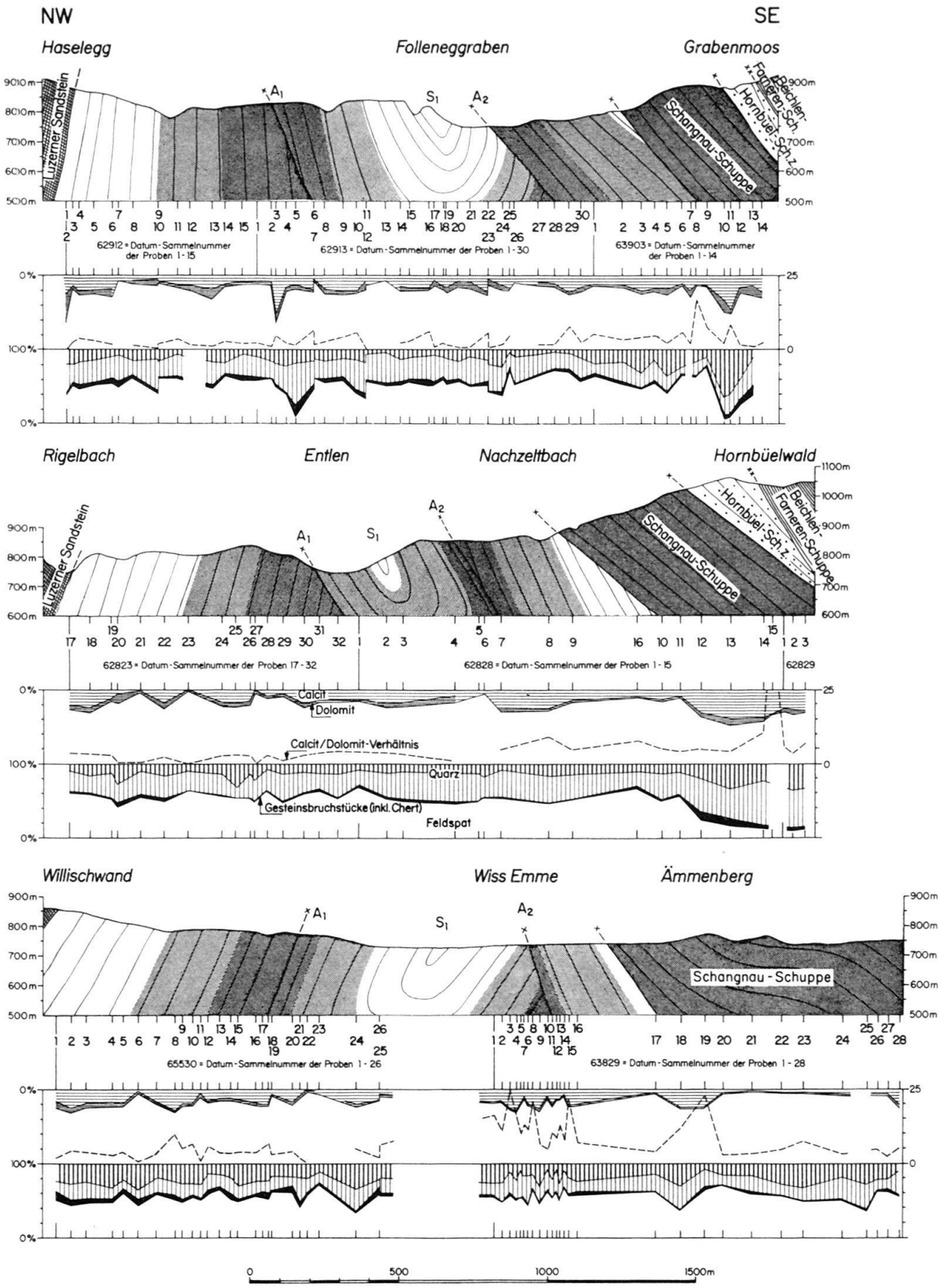

NW
SE
Haselegg
Folleneggraben
Grabenmoos
Luzerner Sandstein
Schangnau-Schuppe
Hornbüel-Sch.z.
Farneren-Sch.
Beichlen-
62912 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-15
62913 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-30
63903 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-14
Rigelbach
Entlen
Nachzeltbach
Hornbüelwald
Beichlen-Farneren-Schuppe
62823 = Datum-Sammelnummer der Proben 17-32
62828 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-15
62829
Calcit
Dolomit
Calcit/Dolomit-Verhältnis
Quarz
Gesteinsbruchstücke (inkl. Chert)
Feldspat
Willischwand
Wiss Emme
Ämmenberg
65530 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-26
63829 = Datum-Sammelnummer der Proben 1-28
0
500
1000
1500m

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 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 zersetzten 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

a) die Granitische Molasse
b) das marin-brackische Unterstampien der inneren Zone (Hilfern- und Beichlen-Farneren-Schuppe)
c und d) das fluvioterrestrische Stampien (? Chattien) der inneren Zone (Hilfern- und Beichlen-Farneren-Schuppe)
e) die Horwerplatten und das fluvioterrestrische Stampien der Hornbüel-Schuppenzone
f) 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 gesteinsbruchstückreicheren Abfolgen der inneren Zone (Abb. b–d) kaum überlappt.

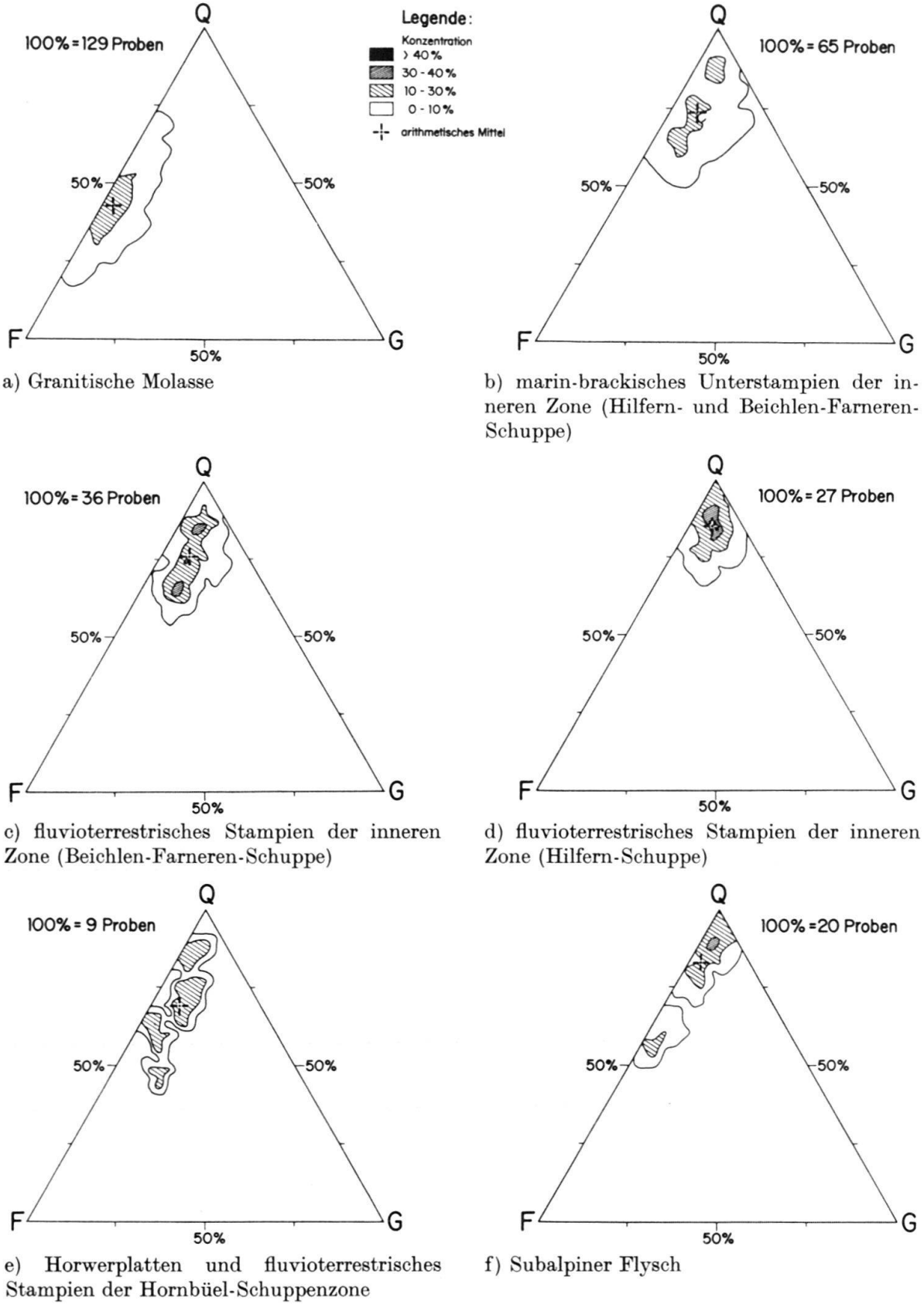
In den verschiedenen Maxima des Leichtmineraldreiecks der Hornbüel-Schuppenzone (Abb. e) zeigt sich die Heterogenität dieser Schürfmasse. Zu deren Aufbau gesellen sich Gesteine der Dreiecke Abb. b–d. Ein kleines Maximum im Bereich der Granitischen Molasse legt sogar die Vermutung nahe, dass auch solche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

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 Karbonatkörner 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. $2^1/_2$ km mächtige Abfolge der Granitischen Molasse kann mit Schwermineralzonen stratigraphisch in einen tieferen 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 sedimentpetrographischen 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 «Aquitan» 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 fluvioterrestrisches Stampien zu erkennen. Es ist dies unsere zwischen Granitischer Molasse und Grisigermergeln aufgeschürfte Hornbüel-Schuppenzone.

Zur Erhärtung des Feldbefundes wurden vier Proben aus dem fraglichen Gebiet gesammelt und sedimentologisch untersucht; nämlich zwei (641027/3 und 4) aus der Granitischen Molasse der Schangnau-Schuppe, eine (641027/2) aus der fraglichen Hornbüel-Schuppenzone (= oberster Teil Schangnau-Schuppe nach HAUS, 1937) und eine (671027/1) 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 Spinell und Staurolith
Leichtminerale:	hoher Feldspatgehalt, wenig Gesteinsbruchstücke
Karbonatbestimmungen:	geringer Karbonatgehalt

Hornbüel-Schuppenzone

Schwerminerale:	barytreiche Granat-Apatit-Zirkon-Kombination mit Spinell 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).

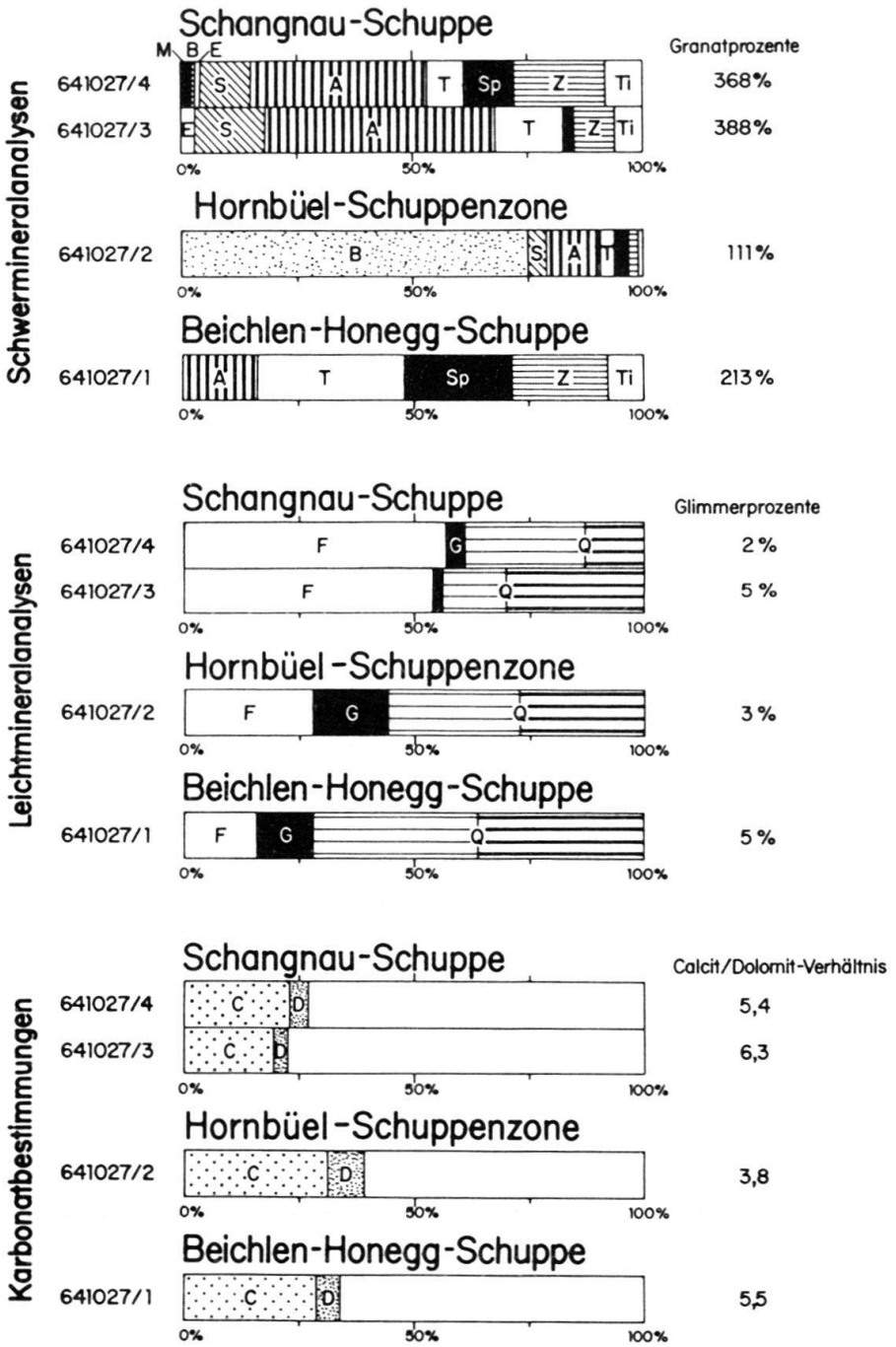


Fig. 9. Resultate von Schwer- und Leichtmineralanalysen sowie von Karbonatbestimmungen einiger Proben aus dem Steiglenbach (südöstlich Marbach).

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 auslöschend, stark = dunkel auslöschend). 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 (= Plattensandsteine 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 fluvioterrestrischen 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 «Aquitan» (= äussere Zone) ist nach unseren Untersuchungen nicht mehr möglich. Es verläuft nämlich diese Grenze Stampien-Aquitanien innerhalb der Granitischen Molasse (= «Aquitanien» 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												LM ohne Glimmer					Karbonat			
																Quarz								
				Epidot	Apatit	Turmalin	Spinell	Zirkon	TiO_2-Gruppe	Titanit	Staurolith	Sonstige	Granat	SM-Gew. %		dunkel	undulös	Feldspat	Gesteinsbruchstücke (inel. Chert)	Glimmer	Calcit	Dolomit	Gesamtkarbonat	Calcit/Dolomit-Verhältnis
Granitische Molasse des Rümlig-Hinterer Fischenbach-Profils																								
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	3C, 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	1H, 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, 1C	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	13,6	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*	*1*	*0*	*3*	*0*	*1*	*0*	*0,5 C*	*22*	*0,4*	*16*	*23*	*58*	*3*	*1*	*7,5*	*8,7*	*16,2*	*0,9*
62913/21	*653470/204580*	*740*	*gm*	*88,5*		*3,5*	*3,5*	*0*	*2,5*	*1*	*1*	*0*		*18*	*3,3*	*10*	*37*	*50*	*3*	*1*	*7,9*	*9,7*	*17,6*	*0,8*
62913/22	*653510/204535*	*750*	*gk*	*85*		*4,5*	*2*	*0*	*6,5*	*0*	*2*	*0*		*10,5*	*1,6*	*14*	*28*	*52*	*6*	*3*	*22,7*	*3,9*	*26,6*	*5,8*
62913/23	*653510/204535*	*750*	*f*	*73,5*	*16,5*	*4,5*	*0*	*4,5*	*0*	*1*	*0*			*5,5*	*1,1*	*19*	*36*	*43*	*2*	*31*	*4,7*	*9,7*	*14,4*	*0,5*
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*	*20,3*	*1,9*
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	19,8	4,4
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	1C, 4B		130	0,4	7	27	64	2	0	9,3	5,2	14,5	1,8
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	15,5	1,9
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	24,7	7,8
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	22,1	2,5
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	13,9	5,3
63903/2	653525/204065	805	gm	0	35	3	0	15	2	0	2	1H, 42B		110	1,4	17	26	53	4	2	12,2	3,5	15,7	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	25,0	4,2
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	21,6	4,8
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	26,6	2,2
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	13,3	5,7
63903/7	653595/203835	870	M	79,5	7	3	0	3	0,5	0	0	2H, 5B		3	0,3	–	–	–	–	–	19,5	10,1	29,6	1,9
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	13,2	17,0
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	15,4	7,5
Horwerplatten und fluvioterrestrisches Stampien des Rümlig-Hinterer Fischenbach-Profils (Hornbüel-Schuppenzone)																								
63903/10	653655/203755	875	mi	2	14	17	18	26	8	0	11	2C, 2M		410	1,5	64	24	7	5	1	33,8	16,7	50,5	2,0
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	51,7	8,4
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	7,7	23,5	1,5
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	14,0	28,0	1,0
Grisigermergel des Rümlig-Hinterer Fischenbach-Profils (Heuboden-Aeschitannen-Zone)																								
63903/14	653750/203650	895	M	24	60	9	0	2	5	0	0			9	0,1	–	–	–	–	–	22,1	9,0	31,1	2,5
Granitische Molasse des Entlen-Profils																								
62823/17	647765/203200	725	f	73	18	1	1	2	0	3	0	2B		3	0,2	10	28	60	2	14	20,8	6,2	27,0	3,4
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	31,6	3,3
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	16,2	2,7
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	18,6	0,4
62823/21	647860/202980	735	gm	87	8	0	0	3	1	0	0	1B		1	0,3	11	31	54	4	3	1,6	4,9	6,5	0,3
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	25,8	2,4
62823/23	647810/202790	730	g	97	2	0	0	0	0	1	0			1	4,9	10	27	63	0	1	0,0	2,9	2,9	0,0
62823/24	647830/202675	740	mi	75	15	1	0	3	3	3	0			0	0,4	14	29	56	1	27	16,8	5,8	22,6	2,9
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	23,8	2,9
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	20,5	2,9
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	5,3	5,8	0,1
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	3,3	12,1	2,7
62823/29	648060/202555	745	mi	59	24	5	0	5	0	7	0			10	0,4	14	36	48	2	8	5,2	4,4	9,6	1,2
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	5,9	24,0	3,1
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	17,3	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	16,9	4,3
62828/1	648360/202430	755	g	85	9	1	0	4	0	1	0			55	0,3	9	19	68	3	1	12,5	3,1	15,6	4,0

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

Proben Nr.	Koordinaten	Höhe über Meer	Makroskopische Bezeichnung	SM ohne Granat: Epidot	Apatit	Turmalin	Spinell	Zirkon	TiO_2-Gruppe	Titanit	Staurolith	Sonstige	Granat	SM-Gew. %	LM ohne Glimmer: Quarz dunkel	Quarz undulös	Feldspat	Gesteinsbruchstücke (incl. Chert)	Glimmer	Karbonat: Calcit	Dolomit	Gesamtkarbonat	Calcit/Dolomit-Verhältnis
Granitische Molasse des Entlen-Profils (Fortsetzung)																							
62828/2	648460/202320	760	g	97	0	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
62828/16	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
62828/10	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
62828/11	648765/201410	985	g	5,5	59	7,5	2	22	4	0	0		272	0,3	11	31	56	2	4	8,3	2,0	10,3	4,1
Horwerplatten und fluvioterrestrisches Stampien des Entlen-Profils (Hornbüel-Schuppenzone)																							
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
Grisigermergel des Entlen-Profils (Beichlen-Farneren-Zone)																							
62828/15	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
Granitische Molasse des Waldemme-Profils																							
65530/1	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	2	0	1	0	3	0		9	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	1	0	3	0		5	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,1C	+	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	3	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	0	2	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	1C	43	0,5	14	22	58	6	0	15,1	2,6	17,7	5,8
65530/13	642210/199540	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	8	0	2	0		35	0,5	19	21	52	8	2	12,2	3,5	15,7	3,5
65530/15	642290/199550	770	gm	57	30	3	0	6	1	3	0		27	1,0	30	18	49	3	4	14,0	3,6	17,6	3,9

65530/16	*642330/199510*	*760*	*g*	*75*	*16*	*0*	*0*	*9*	*0*	*0*	*0*		*36*	*0,6*	*23*	*18*	*56*	*3*	*1*	*17,7*	*4,8*	*22,5*	*3,7*
65530/17	*642330/199490*	*760*	*g*	*72*	*16*	*1*	*0*	*9*	*1*	*0*	*0*	*1C*	*16*	*1,3*	*23*	*15*	*54*	*8*	*5*	*19,5*	*3,5*	*23,0*	*5,6*
65530/18	*642340/199470*	*760*	*gm*	*59*	*15*	*2*	*0*	*12*	*4*	*8*	*0*		*32*	*1,0*	*23*	*16*	*52*	*9*	*3*	*20,3*	*3,1*	*23,4*	*6,6*
65530/19	*642270/199410*	*780*	*gm*	*54*	*31*	*0*	*0*	*10*	*0*	*4*	*0*	*1B*	*34*	*0,8*	*17*	*19*	*62*	*2*	*5*	*6,6*	*2,2*	*8,8*	*3,0*
65530/20	*642310/199340*	*760*	*g*	*54*	*24*	*1*	*0*	*14*	*2*	*1*	*0*	*4C*	*57*	*0,4*	*18*	*12*	*61*	*9*	*8*	*16,7*	*4,1*	*20,8*	*4,1*
65530/21	*642370/199360*	*760*	*mi*	*11*	*43*	*5*	*0*	*18*	*5*	*0*	*0*	*18C*	*102*	*0,7*	*19*	*33*	*41*	*7*	*3*	*8,6*	*4,5*	*13,1*	*1,9*
65530/22	*642390/199350*	*760*	*k*	*33*	*17*	*1*	*0*	*44*	*2*	*2*	*0*	*1B*	*28*	*0,8*	*20*	*18*	*57*	*5*	*8*	*0,7*	*3,5*	*4,2*	*0,2*
65530/23	642490/199350	750	g	84	7	0	1	6	0	2	0		12	0,7	11	14	72	3	1	–	–	7,3	–
65530/24	642600/199270	740	f	23	63	9	+	2	2	1	0		16	0,6	35	29	34	2	3	20,0	4,0	24,0	5,0
65530/26	641980/198800	775	k	80	9	1	0	8	1	1	0		26	1,1	21	11	59	9	6	13,8	2,2	16,0	6,3
65530/25	642510/199110	740	gm	87	4	0	0	6	0	3	0		20	1,1	19	21	56	4	1	6,7	3,3	10,0	2,0
63829/1	643230/199120	730	g	83	10	0	0	5	1	1	0		32	0,5	27	16	55	2	1	17,9	1,1	19,0	16,2
63829/2	643230/199105	730	g-k	82	7	0	0	5	1	4	0	1H	18	0,3	27	25	48	0	1	16,9	1,7	18,6	10,9
63829/3	643230/199075	730	g-k	74	7	1	0	11	0	5	0	2B	71	0,8	12	27	59	2	0	27,2	1,1	28,3	24,7
63829/4	643240/199050	730	g	78	4	3	0	10	0	5	0		67	0,6	21	27	50	2	1	30,0	2,0	32,0	15,0
63829/5	643240/199030	730	gm	76	11	1	0	5	2	5	0		14	0,4	10	36	54	0	1	20,6	2,2	22,8	9,4
63829/7	643310/199060	730	g-k	75	8	0	0	11	0	6	0		22	0,4	17	28	52	3	1	11,4	0,9	12,3	12,7
63829/6	643240/199010	730	mi	46	30	3	0	14	4	2	0	1B	53	0,1	17	39	43	1	2	19,8	1,8	21,6	11,0
63829/8	643240/198995	730	g	58	3	0	1	27	1	10	0		23	0,7	15	19	64	2	0	23,4	1,1	24,5	21,2
63829/9	643240/198955	730	fm	13	33	1	0	41	8	4	0		70	0,1	31	21	45	3	6	26,2	4,4	30,6	6,0
63829/10	643240/198940	730	gm	52	25	1	0	18	2	1	0	1B	71	0,8	7	28	62	3	4	11,3	2,4	13,7	4,7
63829/11	643240/198910	730	g	73	11	1	0	13	0	2	0		10	0,4	22	24	53	1	0	22,3	2,2	24,5	10,1
63829/12	643240/198895	730	g	63	7	3	0	23	2	2	0		20	0,5	6	31	61	2	2	14,4	1,7	16,1	8,5
63829/13	643240/198880	730	g-k	88	4	0	0	4	0	4	0		22	1,7	28	21	50	1	1	13,8	1,1	14,9	12,5
63829/14	643240/198850	730	g	88	2	0	0	8	0	2	0		14	0,6	9	22	67	2	0	8,3	1,1	9,4	7,5
63829/15	643240/198840	730	g	64	6	0	0	26	2	2	0		47	1,3	19	22	57	2	3	23,7	1,1	24,8	21,5
63829/16	643240/198800	730	g	81	6	0	0	4	0	9	0		25	1,4	25	13	57	5	2	20,6	3,0	23,6	6,9
63829/17	643320/198560	735	g-k	1	32	3	1	54	8	0	1		515	0,7	15	23	62	0	2	5,5	1,5	7,0	3,7
63829/18	643390/198500	735	mi	0	57	3	3	24	12	0	0	1M	202	0,2	31	31	37	1	4	25,7	2,2	27,9	11,7
63829/19	643440/198450	740	gm	4	46	5	0	37	1	0	4	1M,1H,1B	352	0,9	8	24	63	5	1	24,9	1,1	26,0	22,6
63829/20	643460/198390	735	g-k	0	39	0	0	61	0	0	0		144	0,4	15	14	71	0	0	5,0	2,0	7,0	2,5
63829/21	643490/198300	740	gm	2	37	2	0	49	3	0	2	5B	244	0,3	17	21	59	3	1	3,4	1,1	4,5	3,1
63829/22	643520/198200	740	gm	0	66	7	0	24	3	0	0		779	0,7	27	16	56	1	3	5,2	1,1	6,3	4,7
63829/23	643500/198080	740	gm	0	53	0	0	47	0	0	0		363	0,3	33	18	48	1	3	5,2	0,7	5,9	7,4
63829/24	643500/197920	745	mi	0	85	6	0	6	3	0	0		99	0,6	19	28	50	3	1	7,6	2,6	10,2	2,9
63829/25	643510/197840	745	M	9	46	27	0	9	9	0	0		82	8,0	29	34	35	2	9	–	–	–	–
63829/26	643500/197800	750	gm	0	25	5	0	60	10	0	0		291	0,8	21	16	62	1	1	8,2	1,8	10,0	4,6
63829/27	643490/197740	750	g	13	63	8	0	13	3	0	0		423	0,7	22	12	62	4	2	7,3	2,9	10,2	2,5
63829/28	643480/197690	750	g-k	8	67	0	0	17	8	0	0		358	0,5	11	32	55	2	0	22,3	4,4	26,7	5,1
Granitische Molasse des Steiglenbachs																							
641027/4	635600/188650	1000	gm	1	38	8	11	20	8	0	11	1B, 2M	368	0,2	13	26	57	4	2	22,8	4,2	27,0	5,4
641027/3	635790/188620	1030	g	3	50	15	2	9	6	0	15		388	0,3	30	14	54	2	5	19,6	3,1	22,7	6,3
Horwerplatten und fluvioterrestrisches Stampien des Steiglenbachs (Hornbüel-Schuppenzone und Beichlen-Honegg-Schuppe)																							
641027/2	635860/188610	1040	g	0	12	3	3	2	1	0	4	75B	111	0,7	27	29	28	16	3	30,1	7,9	38,0	3,8
641027/1	636180/188310	1080	gm	0	16	32	23	21	8	0	0		213	0,4	36	36	16	12	5	28,8	5,3	34,1	5,5

VERZEICHNIS DER ZITIERTEN LITERATUR[16])

VAN ANDEL, TJ. (1959): *Reflections on the interpretation of heavy mineral analyses.* J. Sed. Petrol. *29*/2, 153–163.

ARBENZ, P., GERBER, E., HAUS, H., & RUTSCH, R. (1936): *Exkursion der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft durch die Molasse des Emmentales bis in die Alpenrandkette.* Eclogae geol. Helv. *29*/2, 515–543.

BAUMBERGER, E. (1925): *Die subalpine Molasse von Luzern.* Eclogae geol. Helv. *19*/1, 165–177.

– (1929): *Die Deutung des Rigi- und Rossbergprofils auf Grund neuer Fossilfunde.* Verh. natf. Ges. *40*/2, 295–312.

– (1931): *Zur Tektonik und Altersbestimmung der Molasse am schweizerischen Alpennordrand.* Eclogae geol. Helv. *24*/2, 205–222.

BERSIER, A. & VERNET, J. P. (1964): *Etudes sédimentologiques dans la Chandelar.* Bull. Labs Géol. Géogr. phys. Minér. Univ. Lausanne, No. *150.*

BÜCHI, U. P. et al. (1961): *Geologische Ergebnisse der Bohrung Küsnacht I.* Bull. Verein schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *28*/74, 7–16.

BÜCHI, U. P., WIENER, G. & HOFMANN, F. (1965): *Neue Erkenntnisse im Molassebecken auf Grund von Erdöltiefbohrungen in der Zentral- und Ostschweiz.* Eclogae geol. Helv. *58*/1, 87–108.

BUXTORF, A., KOPP, J. & BENDEL, L. (1941): *Stratigraphie und Tektonik der aufgeschobenen subalpinen Molasse zwischen Horw und Eigenthal bei Luzern.* Eclogae geol. Helv. *34*/1, 135–154.

CORNELIUS, H. P. (1935): *Geologie der Err-Julier-Gruppe, I. Teil.* Beitr. Geol. Karte Schweiz N.F. *70*/1.

DUMONT, A. (1849): *Rapport sur la Carte géologique du Royaume.* Bull. Acad. r. Belg. (1), t. *16*, 2e partie.

EMMENEGGER, CH. (1962): *Géologie de la région sud de Fribourg Molasse du Plateau et Molasse subalpine.* Thèse Fribourg.

FRÖHLICHER, H. (1933): *Geologische Beschreibung der Gegend von Eschholzmatt im Entlebuch (Kanton Luzern).* Beitr. Geol. Karte Schweiz N.F. *67.*

FÜCHTBAUER, H. (1954): *Transport und Sedimentation der westlichen Alpenvorlandsmolasse,* Heidelb. Beitr. Miner. Petrogr. *4*/1, 26–53.

– (1958): *Die Schüttungen im Chatt und Aquitan der deutschen Alpenvorlandsmolasse.* Eclogae geol. Helv. *51*/3, 928–941.

– (1959): *Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine.* Erdöl und Kohle, *12.* Jg., 605–613.

– (1964): *Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen.* Eclogae geol. Helv. *57*/1, 157–298.

HABICHT, K. (1945a): *Geologische Untersuchungen im südlichen sanktgallisch-appenzellischen Molassegebiet.* Beitr. Geol. Karte Schweiz N.F. *83.*

– (1945b): *Neuere Beobachtungen in der subalpinen Molasse zwischen Zugersee und dem st. gallischen Rheintal.* Eclogae geol. Helv. *38*/1, 121–149.

HALDEMANN, E. G. (1948): *Geologie des Schallenberg-Honegg-Gebietes.* Diss. Bern.

HAUS, H. (1937): *Geologie der Gegend von Schangnau im oberen Emmental.* Beitr. Geol. Karte Schweiz N.F. *75.*

HOFMANN, F. (1957): *Untersuchungen in der subalpinen und mittelländischen Molasse der Ostschweiz.* Eclogae geol. Helv. *50*/2, 289–322.

HOLLIGER, A. (1953): *Geologische Untersuchungen der subalpinen Molasse und des Alpenrandes in der Gegend von Flühli (Entlebuch, Kt. Luzern).* Diss. Basel, Manuskript.

– (1955): *Geologische Untersuchungen der subalpinen Molasse und des Alpenrandes in der Gegend von Flühli (Entlebuch, Kt. Luzern). Verkürzte Fassung der Inauguraldissertation.* Eclogae geol. Helv. *48*/1, 79–97.

KAUFMANN, F. J. (1860): *Untersuchungen über die mittel- und ostschweizerische subalpine Molasse.* Neue Denkschr. d. allg. schw. Ges. für die ges. Naturwissenschaften *17.*

– (1872): *Rigi und Molassegebiet der Mittelschweiz.* Beitr. geol. Karte Schweiz. *11.*

– (1886): *Emmen- und Schlierengegenden nebst Umgebungen bis zur Brünigstrasse und Linie Lungern-Grafenort.* Beitr. Geol. Karte Schweiz *24.*

[16]) Ein in bezug auf die Methodik erschöpfendes Literaturverzeichnis findet sich bei MATTER (1964).

KLEIBER, K. (1937): *Geologische Untersuchungen im Gebiet der Hohen Rone.* Eclogae geol. Helv. *30*/2, 419–430.

KOPP, J. (1962): *Erläuterungen zum geol. Atlasblatt 28 (1:25000) Luzern.* Schweiz. Geol. Komm.

LIECHTI, W. (1928): *Geologische Untersuchungen der Molassenagelfluhregion zwischen Emme und Ilfis.* Diss. Bern.

LOMBARD, A. (1940): *Géologie des Voirons.* Mém. Soc. helv. sci. nat. *74*/1.

– (1963): *Stratonomie des séries du Flysch.* Eclogae geol. Helv. *56*/2, 481–511.

MATTER, A. (1964): *Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet.* Eclogae geol. Helv. *57*/2, 315–428.

MOLLET, H. (1921): *Geologie der Schafmatt-Schimberg-Kette und ihrer Umgebung.* Beitr. geol. Karte Schweiz N.F. *47*/3.

VON MOOS, A. (1935): *Sedimentpetrographische Untersuchungen an Molassesandsteinen.* SMPM *15*/2, 169–265.

MORNOD, L. (1949): *Géologie de la région de Bulle. Molasse et bord alpin.* Beitr. geol. Karte Schweiz N.F. *91.*

MUHEIM, F. (1934): *Die subalpine Molassezone im östlichen Vorarlberg.* Eclogae geol. Helv. *27*/1, 181–296.

MÜLLER, G. (1956a): *Die Schnellbestimmung des $CaCO_3/MgCO_3$-Anteils in karbonatischen tonarmen Gesteinen mit dem Dinatriumsalz der Äthylendiamintetraessigsäure (ÄDTE) – ein wichtiges Hilfsmittel für die Geologie.* Neues Jb. Geol. Paläont. Mh., 330–344.

– (1956b): *Die Schnellbestimmung des $CaCO_3/MgCO_3$-Anteils in karbonatischen tonreichen Gesteinen mit dem Dinatriumsalz der Äthylendiamintetraessigsäure (ÄDTE).* Neues Jb. Geol. Paläont. Mh., 385–393.

NIGGLI, E. (1960): *Mineral-Zonen der alpinen Metamorphose in den Schweizer Alpen.* Intern. Geol. Congress, rep. 21st session Norden, part *13.*

NIGGLI, E. & NIGGLI, C. R. (1965): *Karten der Verbreitung einiger Mineralien der alpidischen Metamorphose in den Schweizer Alpen (Stilpnomelan, Alkali-Amphibol, Chloritoid, Staurolith, Disthen, Sillimanit).* Eclogae geol. Helv. *58*/1, 335–368.

PETTIJOHN, F. J. (1957): *Sedimentary rocks* (2nd ed.). Harper, New York.

PIA, J. (1933): *Die rezenten Kalksteine.* Akadem. Verlagsges. M.B.H. Leipzig.

RENZ, H. (1937a): *Die subalpine Molasse zwischen Aare und Rhein.* Eclogae geol. Helv. *30*/1, 87–214.

– (1937b): *Zur Geologie der östlichen st. gallisch-appenzellischen Molasse.* Jb. St. Gall. natw. Ges. *69.*

RICHTER, M. (1940): *Die Gliederung der subalpinen Molasse.* N. Jb. Mineralogie, Beilageband, Abt. B, *83*/1, 1–45.

RUTSCH, R. (1933): *Beiträge zur Geologie der Umgebung von Bern.* Beitr. Geol. Karte Schweiz, N.F. *66.*

– (1947): *Molasse und Quartär im Gebiet des Siegfriedblattes Rüeggisberg.* Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F. *87.*

– (1961): *Zur Palaeogeographie der subalpinen Unteren Meeresmolasse (Rupélien) der Schweiz,* I. Teil. Bull. Verein schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *28*/74, 27–32.

– (1962): *Zur Palaeogeographie der subalpinen Unteren Meeresmolasse (Rupélien) der Schweiz,* II. Teil. Bull. Verein schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *28*/75, 13–24.

VON SALIS, K. (1966): *Geologische und sedimentologische Untersuchungen in Molasse und Quartär südöstlich Wolhusen (Entlebuch, Kt. Luzern).* Verh. natf. Ges. Luzern.

SCHUPPLI, H. M. (1952): *Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz,* IV. Teil. Mit einem Beitrag von F. HOFMANN. Beitr. Geol. Karte Schweiz, Geotechn. Serie *26*/4.

STUDER, B. (1825): *Beiträge zu einer Monographie der Molasse.* Bern (Jenni).

TCHIMICHKIAN, G., REULET, J. & VATAN, A. (1958): *Etude pétrographique des matériaux molassique de quelques sondages profonds de Bresse.* Eclogae geol. Helv. *51*/3, 1093–1114.

TERCIER, J. (1928): *Géologie de la Berra.* Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F. *60.*

VATAN, A., ROUGE, P. E. & BOYER, F. (1957): *Etudes sédimentologiques et pétrographiques dans le tertiaire subalpin et jurassien de Savoie et des régions limitrophes.* Rev. Inst. Franç. Pétrole *12*/4, 468–480.

VERNET, J. P. (1958a): *Les mineraux lourds d'une série chattienne de la molasse du Plateau suisse.* Bull. Labs Géol. Géogr. phys. Minér. Univ. Lausanne, No. *125*.

– (1958b): *Etudes sédimentologiques et pétrographiques des formations tertiaires et quaternaires de la partie occidentale du Plateau suisse.* Eclogae geol. Helv. *51*/3, 1115–1152.

– (1964): *Pétrographie sédimentaire dans la molasse de la région d'Yverdon.* Bull. Labs Géol. Géogr. phys. Minér. Univ. Lausanne, No. *149*.

WIESENEDER, H. & MAURER, I. (1958): *Ursachen der räumlichen und zeitlichen Änderung des Mineralbestandes der Sedimente des Wiener Beckens.* Eclogae geol. Helv. *51*/3, 1155–1172.

ZÖBELEIN, H. K. (1963): *Zur Biostratigraphie der gefalteten Molasse (Chattien/Aquitanien) im Süden des Oberen Zürichsees.* Bull. Verein schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing. *29*/77, 11–28.

GEOLOGISCHE KARTEN

BUXTORF, A., et al. (1916): *Geologische Vierwaldstättersee-Karte 1:50000 (Spezialkarte Nr. 66a).* Schweiz. Geol. Komm.

CHRIST, P. (1942): *Geologische Generalkarte der Schweiz 1:200000, Blatt 2; Basel-Bern.* Schweiz. Geol. Komm.

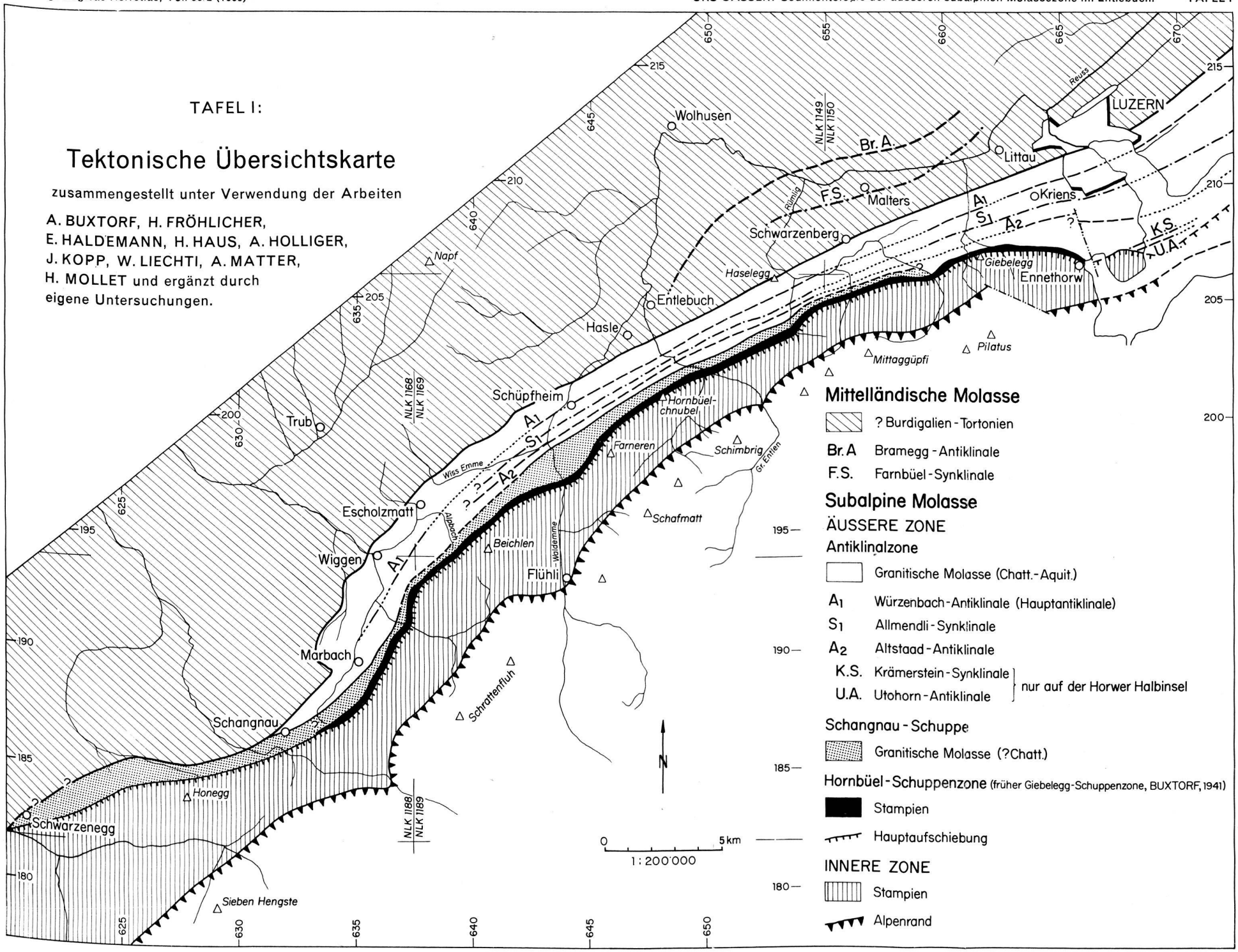
FRÖHLICHER, H.: *Geologische Karte des Siegfriedblattes Schüpfheim 1:25000 (unveröffentliches Original).* Schweiz. Geol. Komm.

KAUFMANN, F. J., BALTZER, A. & MOESCH, C. (1887): *Geologische Karte der Schweiz, 1:100000, Blatt XIII: Interlaken-Sarnen-Stans.* Schweiz. Geol. Komm.

KOPP, J., BENDEL, L. & BUXTORF, A. (1955): *Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25000, Blatt 28: Luzern.* Schweiz. Geol. Komm.

MOLLET, H. (1921): *Geologische Karte des Schafmatt-Schimberggebietes (Kt. Luzern), Spezialkarte Nr. 91.* Schweiz. Geol. Komm.

Manuskript eingegangen am 11. Januar 1966.


TAFEL I:
Tektonische Übersichtskarte
zusammengestellt unter Verwendung der Arbeiten
A. BUXTORF, H. FRÖHLICHER, E. HALDEMANN, H. HAUS, A. HOLLIGER, J. KOPP, W. LIECHTI, A. MATTER, H. MOLLET und ergänzt durch eigene Untersuchungen.
Mittelländische Molasse
? Burdigalien - Tortonien
Br. A Bramegg - Antiklinale
F.S. Farnbüel - Synklinale
Subalpine Molasse
ÄUSSERE ZONE
Antiklinalzone
Granitische Molasse (Chatt.-Aquit.)
A1 Würzenbach-Antiklinale (Hauptantiklinale)
S1 Allmendli - Synklinale
A2 Altstaad - Antiklinale
K.S. Krämerstein - Synklinale
U.A. Utohorn - Antiklinale
nur auf der Horwer Halbinsel
Schangnau - Schuppe
Granitische Molasse (?Chatt.)
Hornbüel - Schuppenzone (früher Giebelegg-Schuppenzone, BUXTORF, 1941)
Stampien
Hauptaufschiebung
INNERE ZONE
Stampien
Alpenrand
1 : 200'000
0 5 km
N
LUZERN
Reuss
Wolhusen
Littau
Malters
Kriens
Schwarzenberg
Haselegg
Entlebuch
Hasle
Schüpfheim
Trub
Escholzmatt
Wiggen
Marbach
Schangnau
Schwarzenegg
Ennethorw
Giebelegg
Pilatus
Mittaggüpfi
Hornbüelchnubel
Farneren
Schimbrig
Schafmatt
Beichlen
Flühli
Schrattenfluh
Honegg
Sieben Hengste
Napf
Wiss Emme
Alpbach
Waldemme
Gr. Emme
Rümle
NLK 1149
NLK 1150
NLK 1168
NLK 1169
NLK 1188
NLK 1189