

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 67 (1974)
Heft: 2

Artikel: Geologie der Subalpinen Molasse zwischen Biberbrugg SZ, Hütten ZH und Ägerisee ZG, Schweiz
Autor: Schlanke, Sigurd
Kapitel: 3: Sedimentpetrographische Untersuchungen
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-164291>

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: 04.02.2026

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

H. P. MÜLLER (1971, S. 8–24) eine ausführliche lithofazielle Beschreibung, der nur wenig hinzuzufügen ist:

1. Sämtliche Formationen – ausser dem Bächer Sandstein, dem Horwer Sandstein⁴⁾ und den Grisiger Mergeln – werden als *informelle lithostratigraphische Einheiten* behandelt und tragen deshalb die Bezeichnung «Serien».
2. Da die Lithofazies der Grindelegg-Schuppe weder zur stratigraphisch hangenden Granitischen Molasse noch zur liegenden Karbonatreichen Molasse gezählt werden kann, wird sie als selbständige lithostratigraphische Einheit (Serie) angeführt.

Lithofazies der Grindelegg-Serie

Die Grindelegg-Abfolge wurde bereits von KLEIBER (1936), RENZ (1937), STAUB (in RENZ) und HABICHT (1945) als «Oberstampische» Einheit von den «Aquitanen Höhronen-Schichten» (= Serie der Granitischen Molasse) getrennt. Die chronostratigraphische Einstufung basierte auf lithofaziellen Vergleichen mit «oberstampischen» Abfolgen der Ostschweizer Molasse (Appenzeller Sandstein, Teufelsmauern, Ebnater Sandstein, RENZ 1937, S. 124). Altersweisende Fossilien wurden in der Grindelegg-Serie noch nicht gefunden. Aus den sedimentpetrographischen Untersuchungen geht hervor, dass die Grindelegg-Abfolge sicher älter ist als die Granitische Molasse, jedoch jünger als die Karbonatreiche Molasse.

Lithologie

Es wechsellagern graugrünliche bis gelbbraunliche Silte und Mergel (etwa 50% der gesamten Mächtigkeit) mit mausgrauen Kalk- und gelblichen Dolomit-Areniten, granitischen und pseudogranitischen Sandsteinen. Nagelfluhbänke sind – verglichen mit der Höhronen- und Morgarten/Rigi-Schuppe – selten zu beobachten.

Im Gegensatz zu den granitischen Sandsteinen enthalten die pseudogranitischen erheblich mehr rote, braune und grüne Radiolarite. Die rötlichen Feldspäte treten zugunsten der Hornsteine sowie der Kieselkalke und Dolomitkomponenten zurück. Die pseudogranitischen Sandsteine zeigen ausserdem häufig Kreuzschichtung (vgl. auch MÜLLER 1971, S. 127). Die Unterschiede in den Sandsteinen spiegeln sich auch in der Zusammensetzung der Höhronen- und Grindelegg-Nagelfluh wider. Während im Höhronen-Schuttfächer Kristallingehalte bis zu 70% üblich sind, erreicht die Grindelegg-Schüttung Sedimentanteile bis zu 80%. Mocausa-Konglomerate und Radiolarite könnten für eine Verwandtschaft von Grindelegg- und Rigi-Nagelfluh sprechen.

3. SEDIMENTPETROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Schwermineralanalyse

3.11 Allgemeines

Die in neuerer Zeit in der Subalpinen Molasse durchgeführten Arbeiten, u. a. GASSER (1966, 1968), MATTER (1964), FÜCHTBAUER (1954–1967), HOFMANN (1957), GRIMM (1965), H. P. MÜLLER (1971), haben gezeigt, dass lithologisch monotone und

⁴⁾ Die Formationen der UMM treten in unserem Untersuchungsgebiet nicht zutage. Verglichen mit den Verhältnissen im Rigi-Gebiet wäre die UMM an der Basis der Morgarten-Schuppe zu erwarten.

fossilarne Serien mit Hilfe der Schwerminerale lithostratigraphisch definiert, gegliedert und einzelnen Schuttfächern oder Schüttungsphasen zugeordnet werden können. Durch Klärung der lokalen Verhältnisse im zentralen Schuttfächerbereich (Subalpine Molasse) ist es möglich, die Schuttfächersysteme auf Grund ihres Mineralspektrums über weite Distanzen zu verfolgen und grossräumige paläogeographische Zusammenhänge zu erkennen.

Andererseits tragen sedimentpetrographische Untersuchungen in der tektonisch ungestörten Molasse (schweizerisches Mittelland, ungefaltete Molasse von Süddeutschland und Österreich) dazu bei, die relative, zeitliche Abfolge der Schüttungsphasen in der Subalpinen Molasse zu erkennen und dadurch deren Tektonik weitgehend abzuklären.

Vergleicht man zum Beispiel die Schwermineralassoziation der Granitischen Molasse in der Bohrung Küsnacht mit derjenigen des Höhrone-Gebietes, so zeigt sich, dass die stratigraphisch tiefsten Molasseschichten in der Bohrung den Höhronen-Schichten (S-fallende Höhronen-Schuppe) entsprechen, das Schindellegi-Profil hingegen dem obersten Teil der Granitischen Molasse in der Bohrung gleichzusetzen ist. Daraus folgt, dass die Sequenz des Schindellegi-Profiles jünger ist als die Höhronen-Schichten.

Bisherige Untersuchungen

Aus der Morgarten- und Grindelegg-Schuppe fehlen sedimentpetrographische Angaben. Die Höhronen- und Schindellegi-Abfolge wurde erstmals durch KLEIBER (1936) schwermineralogisch bearbeitet. Obwohl er zwischen den beiden Serien klare Unterschiede beobachtete, gelang es ihm nicht, diese zu deuten. KLEIBER kommt zum Schluss, dass die Schwermineralkombinationen Zufallserscheinungen seien und sich nicht stratigraphisch verwenden liessen. Dieses negative Urteil kann auf folgende Umstände zurückgeführt werden:

1. Seine Prozentzahlen geben ein verzerrtes Schwermineralbild wieder, da gemäss der damals allgemein üblichen Aufbereitungsmethode die Proben mit heisser Salzsäure behandelt wurden, worauf sich u.a. der diagnostisch wichtige Apatit auflöste.
2. Zu geringe Probenzahl, vor allem in der Schindellegi-Abfolge (2 Analysen).
3. Dem Autor fehlten Vergleichsmöglichkeiten mit benachbarten Gebieten.

Mit neuzeitlichen sedimentpetrographischen Methoden untersuchten HOFMANN (1957) und FÜCHTBAUER (1964) die Zentral- und Ostschweizer Molasse. In ihren bahnbrechenden Arbeiten, die vor allem dem regionalen Überblick galten, wurde auch das Gebiet der Höhrone kursorisch untersucht. Die Analysen dienten als vorzügliche Diskussionsgrundlage und Orientierungshilfe. Die Untersuchungen an den Erdölbohrungen der Mittelländischen Molasse (BÜCHI et al. 1961, 1965; HOFMANN, 1968) waren für die Interpretation des Untersuchungsgebietes von grosser Bedeutung. Dasselbe gilt für die Arbeit meines Terrainnachbarn H. P. MÜLLER (1971).

Aufbereitung der Schwerminerale

Die Proben wurden im Mörser vorsichtig zertrümmert, die Korngrössen 0,4 mm bis 0,06 mm ausgesiebt und anschliessend mit 10prozentiger Ameisensäure entkarbona-

tisiert. Die Schweretrennung erfolgte mit Bromoform ($d = 2,88$), als Einbettungsmittel diente Aroclor ($n = 1,66$).

Auszählen der Schwerminerale

Mit Hilfe des Kreuztisches werden mindestens 100 Schwerminerale (ohne Granat) ausgezählt und = 100% gesetzt. Da Granat oft in grossen Mengen auftritt, wird er gesondert gezählt. Die Granatprozentage wurden wie folgt errechnet (vgl. FÜCHTBAUER 1964, HOFMANN 1957a–1969, H. P. MÜLLER 1971): Die Anzahl der bestimmten Schwerminerale (inkl. Granat) werden = 100% gesetzt und der Granat wiederum in Prozent aller Schwerminerale ausgedrückt. Seltene Mineralien sind in der Tabelle mit ihrer Stückzahl aufgeführt.

Sedimentpetrographische Formel

Zur übersichtlichen Charakterisierung der verschiedenen Schwermineralassoziationen werden in Übereinstimmung mit FÜCHTBAUER (1964) und H. P. MÜLLER (1971) «sedimentpetrographische Formeln» verwendet. Granat wird immer vorangestellt. Tritt er als häufigstes Schwermineral auf, so wird er gross geschrieben (G), sonst klein (g). Die übrigen Schwerminerale folgen in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit. Hauptgemengteile ($> 10\%$) werden gross geschrieben, Nebengemengteile (2–10%) klein. Die Abkürzungen bedeuten: A = Apatit, A' = Anatas, B = Brookit, B' = Baryt, D = Disthen, E = Epidot, H = Hornblende, M = Monazit, R = Rutil, S = Staurolith, S' = Spinell, T = Turmalin, T' = Titanit, Z = Zirkon.

3.12 Korrelation von Schwermineralgrenzen

Im süddeutschen Molassebecken haben ANDRÉE (1937), RITTER (1953), FÜCHTBAUER (1954–1964) und GRIMM (1957, 1965) an mehreren Erdölbohrungen charakteristische Schwermineralabfolgen erkannt und bewiesen, dass die zum Teil scharfen Mineralgrenzen korrelierbare Zeitgrenzen darstellen. Nach GRIMM (1965, S. 59) erwiesen sich die Veränderungen in der Schwermineralverteilung bei Vergleichen auf relativ engem Raum als isochron und faziesunabhängig. Inwieweit diese Feststellung auch auf andere Regionen, insbesondere auf die Subalpine Molasse, übertragen werden kann, ist mit der Frage nach der Ursache für eine Änderung der Schwermineralassoziation eng verknüpft. Dabei bieten sich drei Möglichkeiten an:

1. Wird durch Verlagerung des rückwärtigen Erosionsbereiches neues, qualitativ verändertes Gesteinsmaterial abgetragen, so ändert sich auch das Schwermineralbild im Vorland. Innerhalb einer Schüttung vollzieht sich die Ablösung zweier Assoziationen selten schlagartig; vielmehr sind kürzere oder längere Übergangsphasen vorhanden, die sich in den Schwermineralprofilen durch Trends zu erkennen geben. Die Basis einer Übergangsphase ist in jenen Lokationen eines Schuttfächers isochron, welche sich in annähernd gleicher Entfernung vom Erosionszentrum befinden. Diese schuttfächerinterne Veränderung des Schwermineralspektrums ist häufig in den älteren, radial angeordneten Schuttfächern der USM anzutreffen (z. B. Rigi).
2. In den jüngeren Serien der USM sowie in der OMM und OSM kann der Wechsel von Schwermineralassoziationen nicht mehr allein durch schüttungsinterne Ein-

flüsse begründet werden. Im fluvioterrestrischen Milieu wurde der Schutt durch Flüsse ins Vorland geschwemmt und durch Sammelentwässerungssysteme in bekkenaxialer Richtung abtransportiert. Ein Grossteil der jüngeren Subalpinen und Mittelländischen Molasse-Sedimente wurde im Bereich dieses axialen Transportsystems abgelagert. Hier ist die Abfolge von Schwermineralspektren vor allem auf die Überlagerung qualitativ verschiedener Schüttungen zurückzuführen. Nach GRIMM (1965) ermöglicht der Wechsel von radialen und axialen Schüttungen die stratigraphische Gliederung einzelner Bohrprofile und die Korrelation benachbarter Profile. Diese Feststellung kann ohne weiteres auch auf das schweizerische Mittelland übertragen werden (FÜCHTBAUER 1961, 1964; HOFMANN 1965, 1968).

3. Gegen eine stratigraphische Verwendung der Schwerminerale wird das Argument der «Interstratal Solution» ins Feld geführt (PETTJOHN 1957, WIESENER 1953, WIESENER & MAURER 1958). Die Entstehung der Schwermineralgesellschaften wird nicht mehr auf den Sedimentationsprozess zurückgeführt, sondern auf post-depositionale Veränderungen. Das Schwermineralbild soll durch Überlagerungsdruck und Porenwasser eine tiefgreifende Umwandlung erfahren haben.

Im Wiener Becken konnte WIESENER nachweisen, dass im gleichen Schuttfächer, bei gleichbleibender Materialzufuhr, Oberflächen-Handstücke und entsprechende Proben aus Tiefbohrungen im Schwermineralgehalt stark voneinander abweichen. Im westlichen Teil des Molassebeckens konnte die «Interstratal Solution» nicht nachgewiesen werden (HOFMANN 1957, FÜCHTBAUER 1964, MATTER 1964, BÜCHI et al. 1965, GRIMM 1965, GASSER 1966, MÜLLER 1971). Dass diese Tatsache auch für das eigene Untersuchungsgebiet gilt, soll durch folgende Überlegung bewiesen werden: Die Sandsteine der oberen Granitischen Molasse wurden in der Erdölbohrung Küsnacht 1 zwischen 1100 und 2100 Metern durchteuft. Im aufgerichteten Südrand der Mittelländischen Molasse tritt dieselbe Abfolge im Schindellegi-Profil zutage. Bezeichnend für das Fehlen der «Interstratal Solution» ist die Tatsache, dass das Schwermineralbild in den Tagesaufschlüssen wie in der Tiefbohrung durch Epidot dominiert wird. Gerade dieses Mineral wird aber von WIESENER & MAURER (1958, S. 1169) als Beispiel maximaler Instabilität gegenüber diagenetischen Veränderungen angeführt. Eine allfällige Resistenz dieses Minerals könnte durch einen erhöhten Karbonat- oder Tongehalt begründet werden. Auch diese Erklärung trifft aber für unser Beispiel nicht zu, denn die zur Frage stehende Abfolge zeichnet sich in der Küsnachter Bohrung wie im Schindellegi-Profil durch den niedrigsten Karbonatgehalt in der Molasse aus. Tonhaltige Proben treten häufiger auf, unterscheiden sich aber in der Schwermineralführung nicht von tonarmen Proben. Derselbe Befund wurde zwischen grob- und feinkörnigen Proben festgestellt (GASSER 1966, S. 753).

Zusammenfassend kann für das Untersuchungsgebiet festgehalten werden:

- a) In radialen Schüttungen (Morgarten–Friherrenberg) sind Veränderungen der Schwermineralassoziation hauptsächlich auf Umgestaltung der distributiven Provinz zurückzuführen.
- b) In Gebieten mit axial gerichteten Schüttungen (Höhronen, Schindellegi-Profil, Mittelländische Molasse) wird der Wechsel von Schwermineralspektren vor allem durch Überlagerung qualitativ verschiedener Schüttungen hervorgerufen.

- c) Korrelationshindernde Einflüsse durch «Interstratal Solution» und Korngrösseneffekt wurden nicht beobachtet.

3.13 Schwermineralführung der Profile

Das Ägerisee-Profil (Fig. 3)

Wegen der schlechten Aufschlussverhältnisse ist der untere Teil der Morgarten-Schuppe nur durch wenige Proben vertreten. Trotzdem ist es gelungen, das Schwermineralspektrum dieser Einheit zu erfassen, denn alle 10 Proben zeichnen sich durch eine fast identische Schwermineralführung aus. Trends lassen sich nicht erkennen. Mengenmässig beherrscht Zirkon das Feld, vermag aber als Durchläufermineral (Basis USM – oberer Teil USM) die Schüttung nicht zu prägen. Ähnlich verhält es sich mit Granat, der fast überall in der Subalpinen Molasse vorhanden ist, hier aber mit eher niedrigen Werten (Durchschnitt 39%) auftritt. Markanter wird die Morgarten-

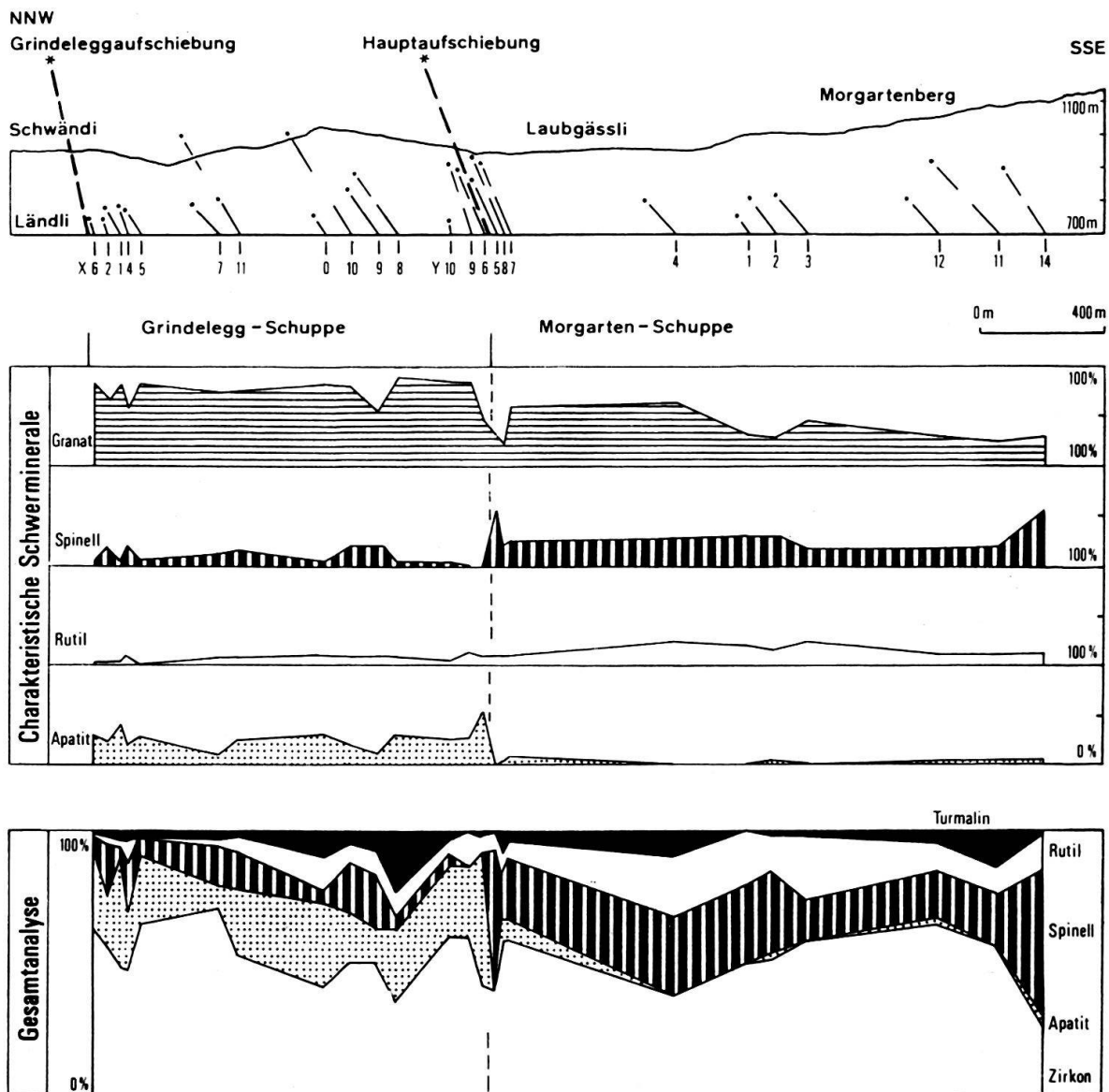


Fig. 3. Das Ägerisee-Profil: Schwermineralanalyse.

Schuppe durch den hohen Spinell- (29%) und Rutilgehalt (13%) charakterisiert. Auffallend ist der verschwindend geringe Apatitanteil (2%). An akzessorischen Mineralien treten – in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit – sporadisch auf: Monazit, Staurolith, Anatas und Brookit, Hornblende.

Der Wechsel zur Schwermineralassoziation des nördlichen Profilabschnitts vollzieht sich abrupt an der Haupt-Aufschiebung. Obwohl diese tektonische Zone im Feld nur in zwei Aufschlüssen zutage tritt, kann sie mit Hilfe der Schwerminerale durch Eingabelung genau verfolgt werden.

In der Grindelegg-Schuppe treten dieselben Schwerminerale auf wie in der Morgarten-Schuppe. Verschieden sind jedoch die prozentualen Anteile. Granat ist auf den doppelten Wert gestiegen (75%), Zirkon bleibt unverändert (52%). Die Spinell- und Rutilwerte sind merklich gesunken (9,5% und 7%). Spinell erreicht nur noch sporadisch höhere Anteile (max. 20%). Erstaunlich hoch ist die Differenz zwischen den beiden Apatit-Mittelwerten: Grindelegg 26%, Morgarten 2%. Akzessorien: Anatas, Brookit, Monazit, Hornblende. Neu hinzu kommen: Titanit und Disthen.

Das Rossboden-Profil (Fig. 4)

Dieses Profil liegt parallel zum soeben besprochenen und ist etwa 1,5 km von ihm entfernt. Die Zone der Haupt-Aufschiebung schneidet das Profil nach feldgeologischen Kriterien zwischen den Lokationen T7 und R6, was schwermineralogisch bestätigt werden kann.

Die Proben südlich der Aufschiebung (R6, R1, R3, R2) gehören zur Serie der Molasse Rouge. Zirkon herrscht vor (44%), gefolgt von Granat (34%), Spinell (27%), Rutil (20%) und Turmalin als Nebengemengteil (4%). Charakteristisch ist der sehr niedrige Apatit-Anteil (2,7%).

Der Kontakt zur nördlich gelegenen Grindelegg-Schuppe ist wiederum durch einen markanten Wechsel im Schwermineralbild gekennzeichnet: starker Anstieg von Granat und Apatit, Reduktion von Spinell und Rutil. Die Grindelegg-Serie zeigt hier ähnliche Mittelwerte wie am Ägerisee, Spinell und Turmalin sind etwas reichlicher vorhanden. Trotz dieser generellen Übereinstimmung ist zu beachten, dass im Ägerisee-Profil die Schwermineralwerte der einzelnen Proben nur wenig um die Mittelwerte pendeln, im Rossboden-Profil hingegen sind diesbezüglich starke Schwankungen zu erkennen. Die Streuung betrifft vor allem die diagnostisch wichtigen Minerale Spinell, Apatit und Granat. Es fällt auf, dass die Apatit- und Granatwerte zueinander konform und zum Spinell konträr verlaufen. Daraus ergeben sich zwei Schwermineralkombinationen:

Gruppe A: Granat herrscht vor (64%), gefolgt von Zirkon (45%) und Apatit (35%). Spinell (8%) und Rutil (6%) treten als Nebengemengteil auf.

Gruppe B: Granat (38%) wird von Zirkon überflügelt, Apatit (9%) tritt seinen Platz unter den Hauptgemengteilen an Spinell (26%) und Rutil (11%) ab.

Sämtliche Proben des Profils konnten zu einer der beiden Schwermineralkombinationen gestellt werden. Bemerkenswert ist, dass bei der Zuordnung jeweils alle drei charakteristischen Variablen (S, G, A) übereinstimmend auf die eine oder andere Gruppe hinwiesen. Eine Wechselfolge von derart scharf umrissenen Schwermineral-

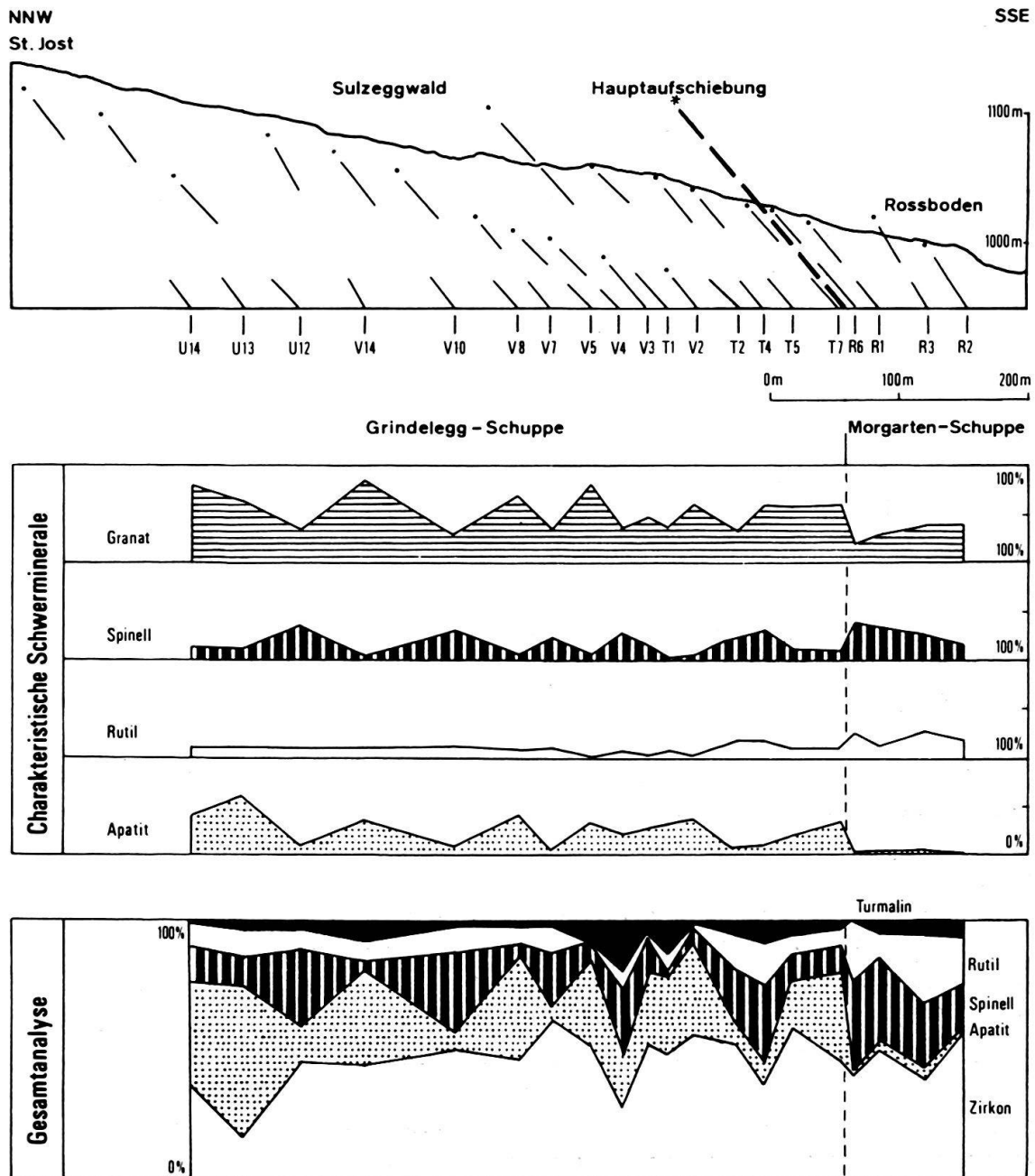


Fig. 4. Das Rossboden-Profil: Schwermineralanalyse.

kombinationen konnte in anderen Molasse-Einheiten noch nie nachgewiesen werden. Auf die Deutung wird auf den Seiten 279, 280 eingegangen.

Das Steinstoss-Profil (Fig. 5)

Dieses Profil liegt im östlichsten Teil der Grindelegg-Schuppe. Die Morgarten-Schuppe wird nicht mehr erfasst, die Haupt-Aufschiebung verläuft südlich Steinstoss. Analog zum Rossboden-Profil sind wiederum zwei Schwermineral-Gruppen zu erkennen:

Die erste ist völlig identisch mit der Gruppe A, das heisst Granat und Apatit dominieren über Spinell. Die zweite entspricht der B-Gruppe, führt allerdings mehr Granat.

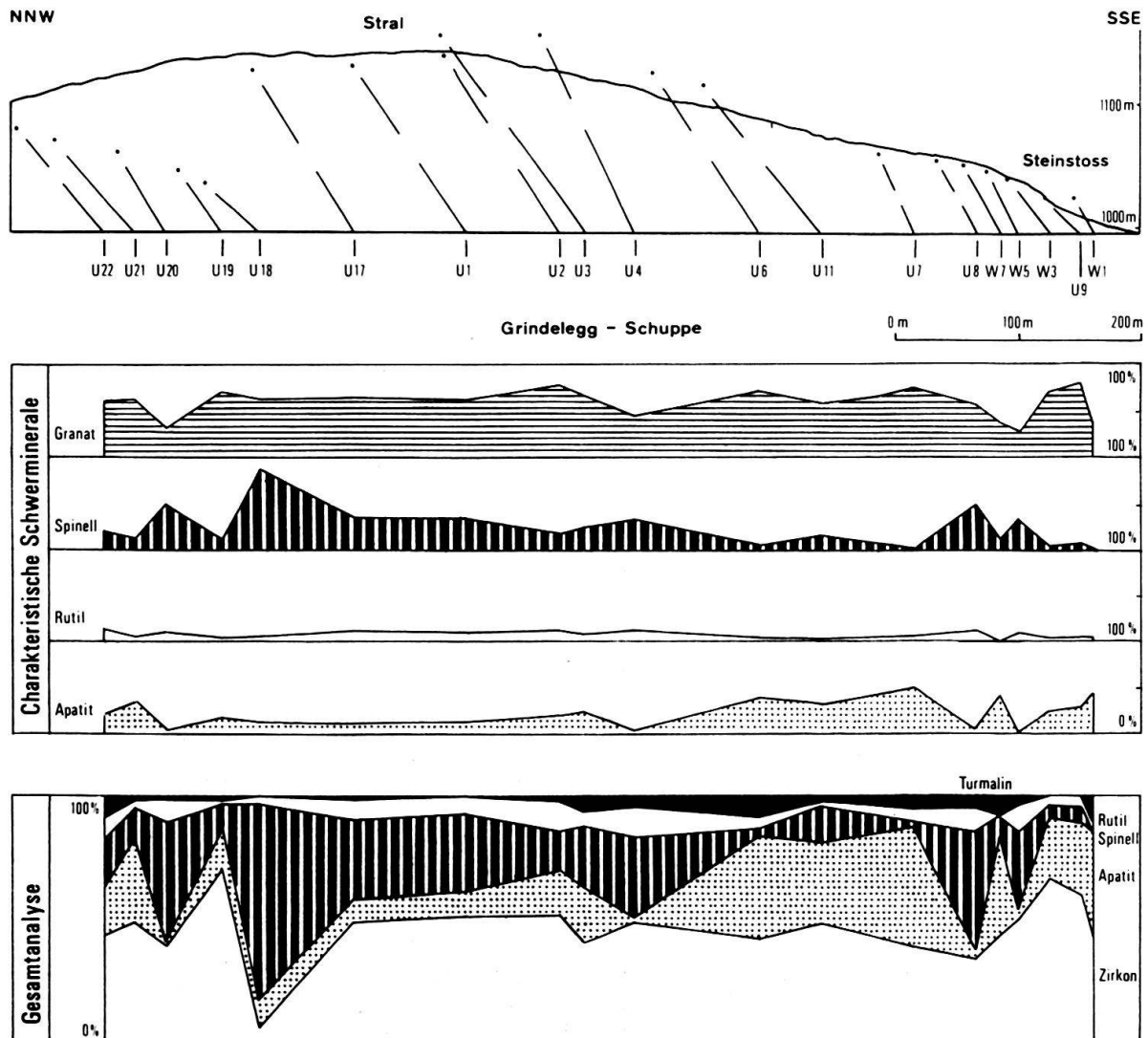


Fig. 5. Das Steinstoss-Profil: Schwermineralanalyse.

Ein aussergewöhnliches Spinellmaximum (80%) wird in U18 auf Kosten von Zirkon erreicht. Staurolith und Baryt finden sich als Akzessorien vorzugsweise in den tieferen Schichten des Profils.

Das Wisstannen-Profil (Fig. 6)

Dieses Profil zeigt den Bereich der Grindelegg-Aufschiebung im östlichen Teil der Schuppe. Der im Steinstoss-Profil beobachtete Trend zur Staurolithzunahme setzt sich im Wisstannen-Profil fort und erfährt vor der Aufschiebung ein Maximum (20%). Die Schwermineralführung ist homogen. Sie kann zur B-Gruppe des Rossboden- und Steinstoss-Profils gestellt werden, wenngleich hier die Spinellwerte etwas tiefer liegen.

Der Übergang zur Höhrönen-Schuppe ist analog zum Ägerisee recht markant: Ansteigen von Apatit, Fehlen von Spinell.

Das Finstersee-Alosen-Profil (Fig. 7)

Dieses Profil vermittelt den umfassendsten Einblick in die Schwermineralführung der Höhrönen-Schuppe. Granat (63%), Zirkon (48%) und Apatit (47%) herrschen

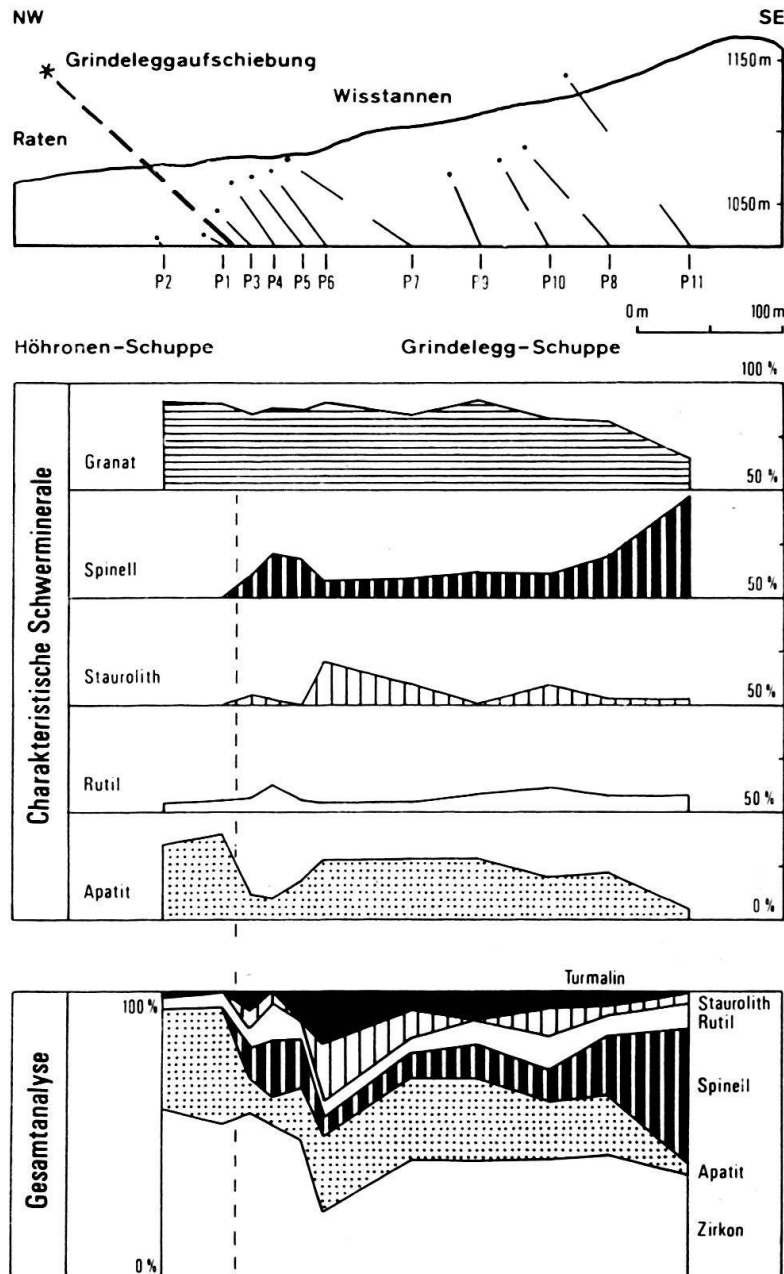


Fig. 6. Das Wisstannen-Profil: Schwermineralanalyse.

vor. Ihre konstante Präsenz verleiht der tektonischen Einheit ein ausgeglichenes und markantes Schwermineralbild. Einzig Probe Z27, aus dem höheren Teil der Abfolge, vermag die monotone Schwermineralführung etwas aufzulockern (Epidot), doch weisen die stratigraphisch nächsthöheren Proben (Z28, P2, P3) bereits wieder das übliche Spektrum auf. Rutil (3%) und Turmalin (2%), welche in den vorgängig beschriebenen Profilen zum Teil als Hauptgemengteile auftraten, sind hier durchwegs als Nebengemengteile oder Akzessorien einzustufen. Spinell, das Charaktermineral der Grindelegg- und Morgarten-Schuppe, wie auch Staurolith treten nur noch sporadisch als Akzessorien auf.

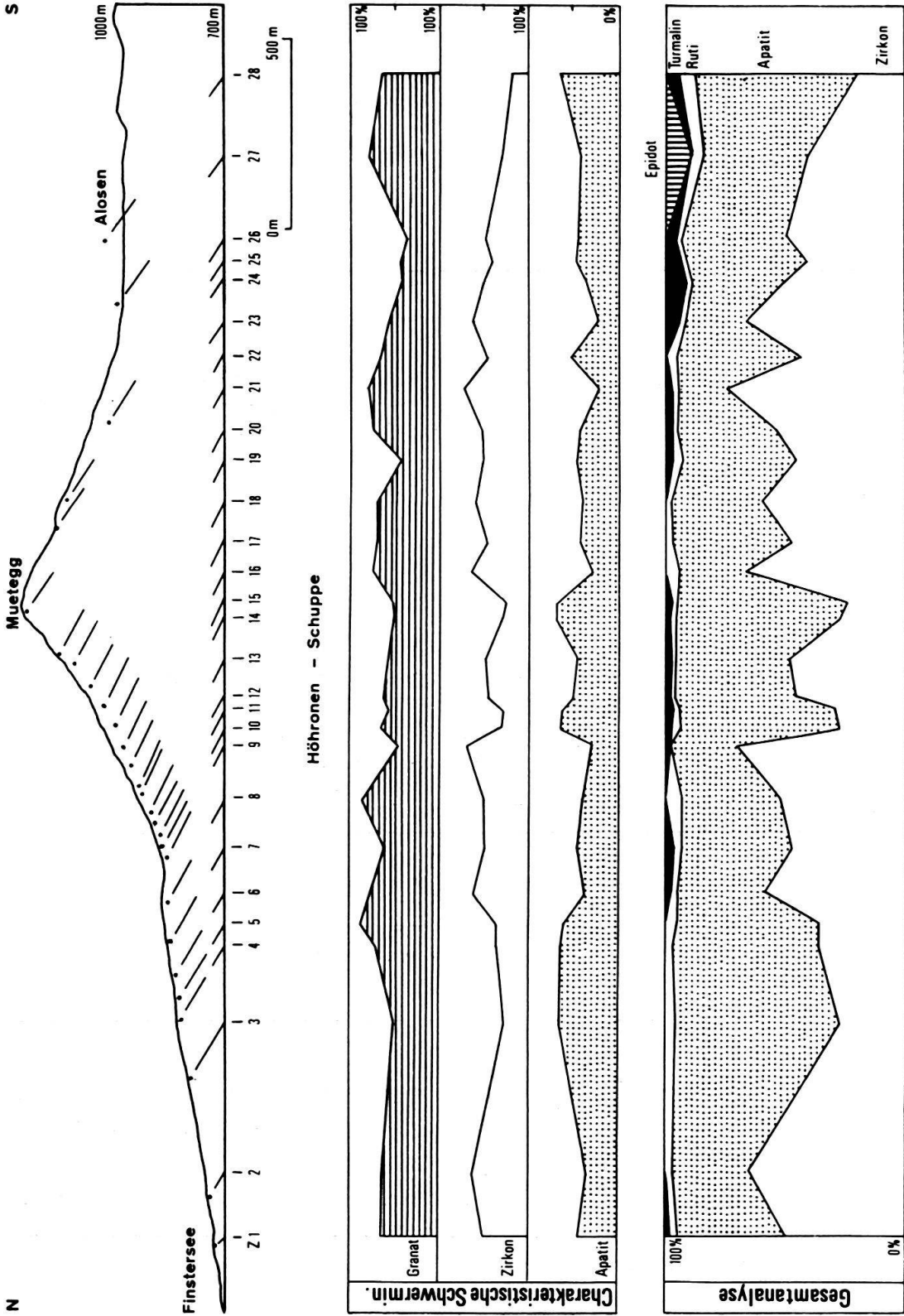


Fig. 7. Das Finstersee-Alosen-Profil : Schwermineralanalyse.

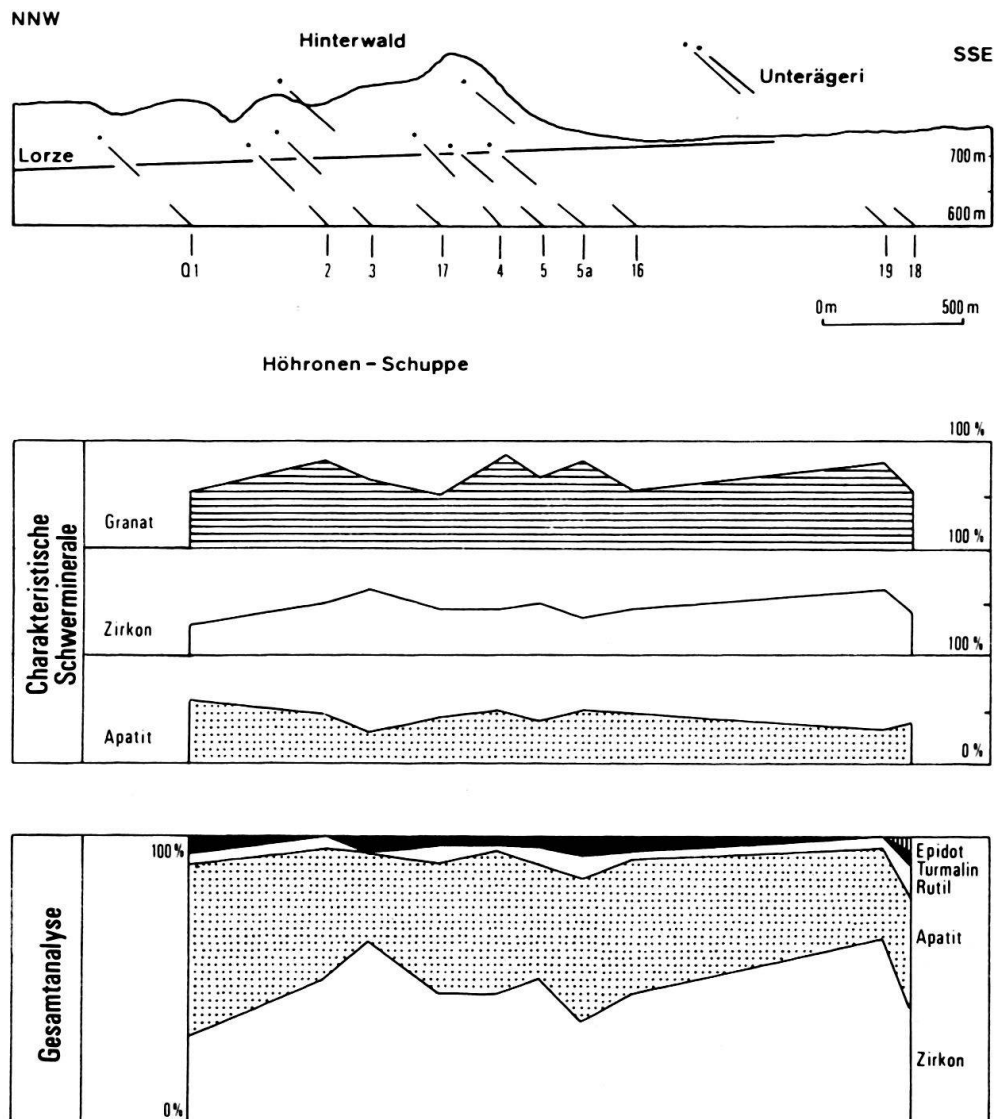


Fig. 8. Das Lorze-Profil: Schwermineralanalyse.

Das Lorze-Profil (Fig. 8)

Das Schwermineralbild im westlichen Teil der Höhronen-Schuppe wird durch eine Granat-Zirkon-Apatit-Vormacht charakterisiert. Rutil und Turmalin sind Nebengemengteile. Die Übereinstimmung mit dem Finstersee-Alosen-Profil ist nicht zu übersehen. Besondere Aufmerksamkeit verdient das Auftreten von Epidot (6%) in der obersten Schicht des Profils (Q18). Dieselbe Erscheinung wurde schon im Alosen-Finstersee-Profil beobachtet (Z27).

Das Tüfelstein-Profil (Fig. 9)

Das Profil durch den östlichen Teil der Höhronen-Schuppe zeigt wiederum das bereits bekannte Schwermineralspektrum. Granat ist häufigstes Schwermineral (58%), die übrigen Hauptgemengteile, Apatit (44%) und Zirkon (46%), sind gleich stark vertreten. Als Nebengemengteile treten wie üblich Rutil (5%) und Turmalin (5%)

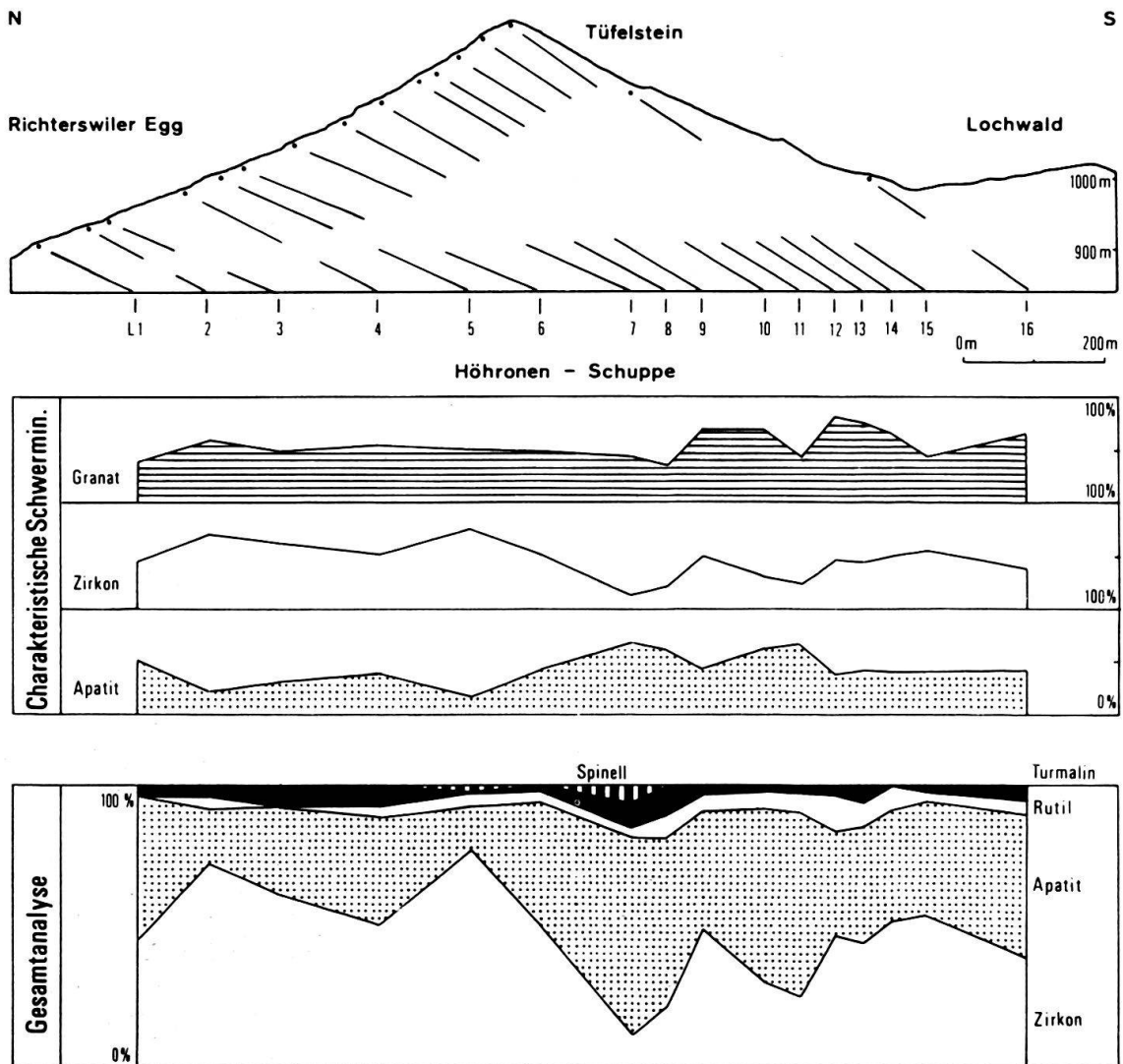


Fig. 9. Das Tüfelstein-Profil: Schwermineralanalyse.

hervor. Das monotone Schwermineralbild erfährt in Probe L7 durch das Auftauchen von Spinell eine Bereicherung.

Das Schindellegi-Profil (Fig. 10)

Dieses Profil zeigt das heterogene Schwermineralbild des von der Höhrnen-Schuppe überfahrenen, normal nach Norden einfallenden Südrandes der Mittelländischen Molasse. Es lassen sich 4 Einheiten unterscheiden. Für die Gliederung waren die stark variierenden Prozentwerte von Epidot, Granat, Zirkon und Apatit ausschlaggebend. Es zeigte sich, dass die Kurven der drei letzten Minerale einen ähnlichen Verlauf aufweisen; dagegen verhält sich Epidot stets komplementär.

Abschnitt E

Der stratigraphisch tiefste Abschnitt des Schindellegi-Profiles ist durch das Vorherrschen von Granat (60%), Zirkon (42%) und Apatit (41%) gekennzeichnet und erinnert an das Schwermineralspektrum der Höhrnen-Schuppe. Durch Epidot (14%),

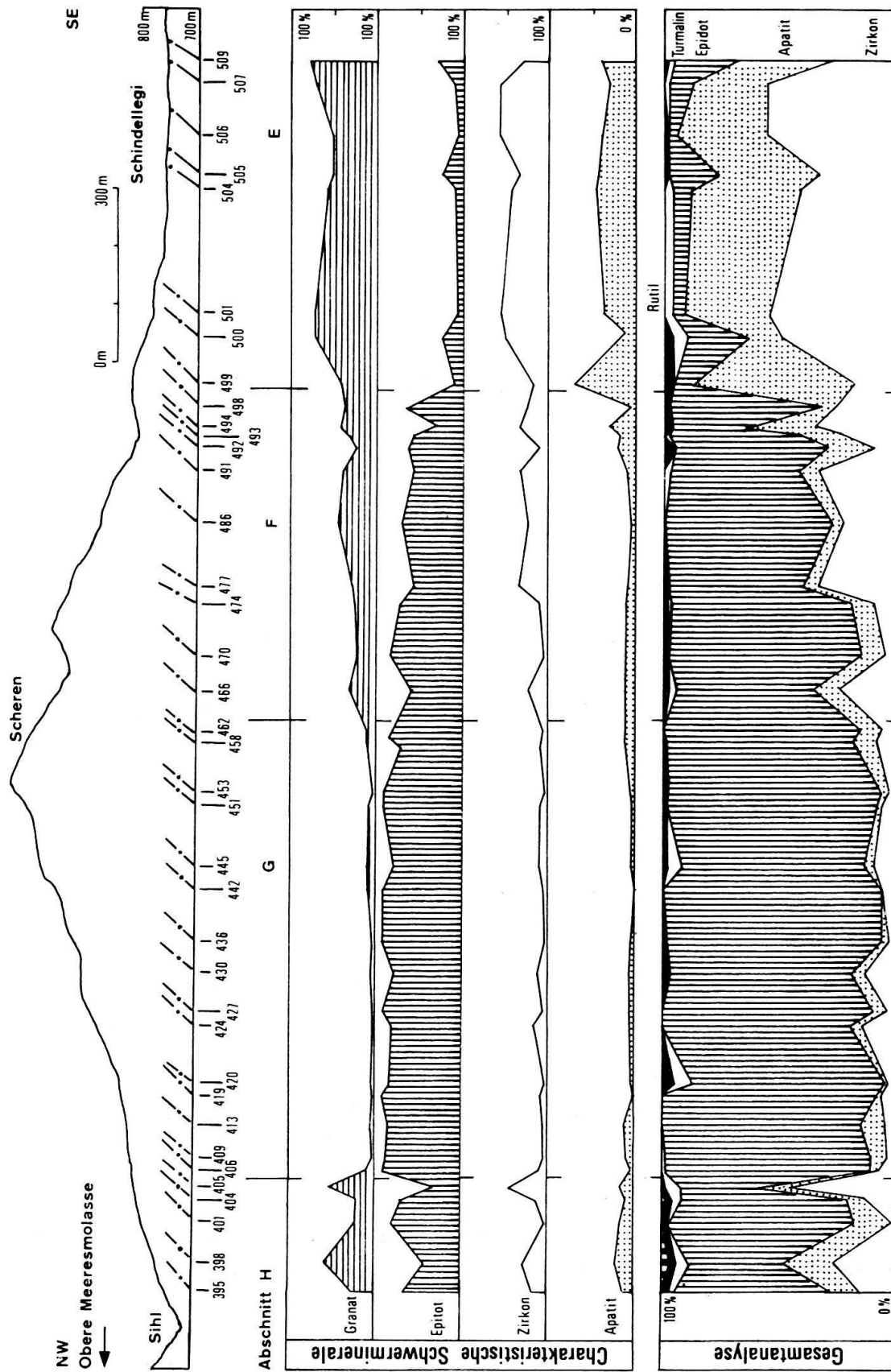


Fig. 10. Das Schindellegi-Profil: Schwermineralanalyse.

der bereits als Hauptgemengteil auftritt, wird ein neuer Akzent gesetzt. Das Charakter-Schwermineral der Schindellegi-Abfolge weist hier – verglichen mit den profilhöheren Abschnitten – noch relativ niedrige Werte auf. Rutil und Turmalin sind wie gewohnt Nebengemengteile.

Bemerkenswert ist das akzessorische Auftreten von Titanit und Chloritoid. Diese Tatsache deckt sich mit den Beobachtungen von FÜCHTBAUER (1964, S. 189, 261), GASSER (1966, S. 743) und H.P. MÜLLER (1971, S. 28), wonach Epidot häufig von Titanit begleitet wird. An übrigen Akzessorien sind vorhanden: Baryt, Spinell und Staurolith.

Abschnitt F

Der Übergang zum vorliegenden Abschnitt ist sehr markant. Das sprunghafte Ansteigen der Epidot-Häufigkeit (60%) ist von einer massiven Reduktion der Apatit- (12%) und Zirkonwerte (23%) begleitet. Eine ebenfalls absteigende Tendenz zeigt Granat (30%).

Abschnitt G

Dieser Abschnitt unterscheidet sich deutlich von den übrigen Teilen der Schindellegi-Abfolge. Der seit Beginn des Profils ansteigende Epidot beherrscht nun als alleiniges Hauptgemengteil (87%) das Schwermineralbild. Die Regel – komplementäre Häufigkeit von Epidot gegenüber Granat, Zirkon und Apatit – wird in diesem Abschnitt deutlich dokumentiert. Die Schwerminerale, welche die Höhronen-Abfolge charakterisierten, sind hier nur noch als Nebengemengteile anzutreffen: Granat (5%), Zirkon (7%), Apatit (4%). An Akzessorien wurden beobachtet: Turmalin, Rutil, Chloritoid, Titanit, Staurolith, Disthen und Spinell. Zoisit, der gelegentlich als Hauptgemengteil auftritt, wurde zum Epidot gezählt (vgl. H.P. MÜLLER 1971, S. 26).

Abschnitt H

Nach dem eher fremd anmutenden Schwermineralspektrum des Abschnitts G zeigt der oberste Teil des Schindellegi-Profils wieder eine vertrautere Assoziation. Zirkon (21%), Apatit (14%) und Granat (34%) weilen erneut unter den Hauptgemengteilen. Epidot sinkt von 87% auf 58%, bleibt aber noch klar dominierendes Schwermineral.

Das Sihl-Profil (Fig. 11)

Das stratigraphisch höchste Profil des gesamten Untersuchungsgebietes zeigt eine ähnliche Schwermineralzusammensetzung wie der nächst tiefer liegende Abschnitt H. Epidot (62%) herrscht vor, gefolgt von Granat (38%), Apatit (16%) und Zirkon (13,8%). Zu beachten ist das konstante Auftreten von Spinell und Staurolith als Akzessorien. An seltenen Schwermineralen wurden ferner beobachtet: Titanit, Brookit, Anatas, Chloritoid und Hornblende.

Von der sonst sehr einheitlichen Mineralführung weicht Probe B10 deutlich ab. Der niedrige Epidotgehalt (6%) und die hohen Granat- (53%), Zirkon- (45%) und Apatitwerte (32%) weisen Parallelen zu Abschnitt E des Schindellegi-Profils auf.

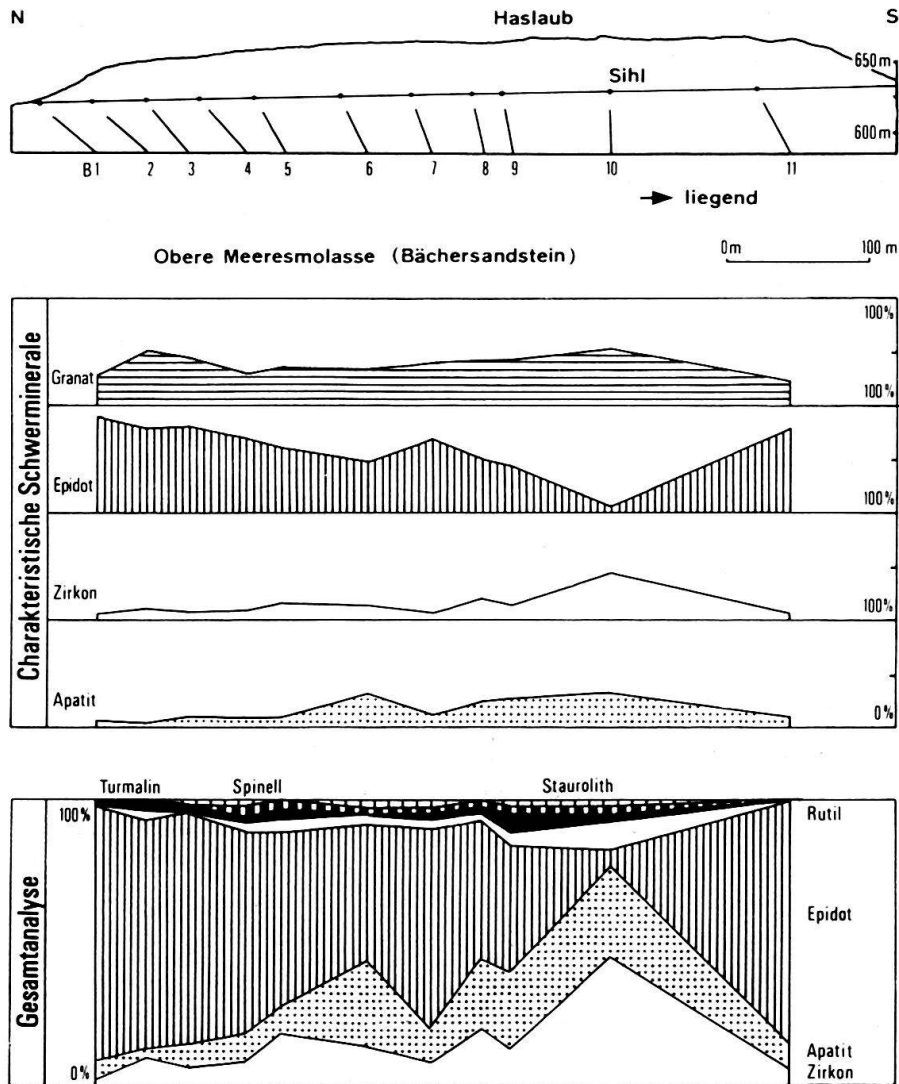


Fig. 11. Das Sihl-Profil (etwa 1 km NW Finstersee): Schwermineralanalyse.

3.2 Karbonatanalyse

3.21 Allgemeines

Neben der Schwermineralanalyse und der Stratonomie erwies sich die Calcimetrie als zuverlässige Methode zur Gliederung der Subalpinen Molasse. Diese wird auf Grund ihrer Karbonatführung in zwei Grosseinheiten unterteilt (HOFMANN 1968, S. 35; H. P. MÜLLER 1971, S. 10): eine ältere, karbonatreiche Molasse und eine jüngere, karbonatarme, Granitische Molasse. Eine verfeinerte Gliederung des Untersuchungsgebietes ergab sich durch die Aufteilung des Gesamtkarbonatgehalts (C^*) in einen Calcit- (C) und einen Dolomitanteil (D). Das Verhältnis Calcit/Dolomit (C/D) lieferte ebenfalls ein brauchbares Unterscheidungsmerkmal.

Methodik

Für die Analyse standen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die komplexometrische Titration (G. MÜLLER 1956a, 1956b, MATTER 1964, GASSER 1966) sowie die

CO₂-Gasmessung im Passonapparat (HOFMANN 1957, S. 291; H.P. MÜLLER 1971, S. 36). Letztere Methode wird von MATTER als ungenau taxiert. Dem stehen die Aussagen von HOFMANN und H.P. MÜLLER gegenüber, die durch vergleichende Analysen mit den beiden Methoden nur geringe Abweichungen registrierten. Die Zuverlässigkeit der Karbonatwerte hängt jedoch entscheidend von der Probenentnahme ab. Es sollten möglichst nur unverwitterte Sandsteine untersucht werden. Allenfalls vorhandene Messdifferenzen zwischen den beiden Methoden sind bedeutend kleiner als die Streuung der Messwerte, die durch kleinere Schwankungen im Verwitterungsgrad der oberflächennahen Proben verursacht wird. Die gewählte Methode nach Passon wurde von HOFMANN (1957) eingehend beschrieben und am Geologischen Institut Zürich eingeführt.

3.22 Karbonatführung der Profile

Das Ägerisee-Profil (Fig. 12)

Die beiden tektonischen Einheiten – Morgarten- und Grindelegg-Schuppe – lassen sich calcimetrisch einwandfrei trennen. Die Morgarten-Einheit weist mit durchschnittlich 26% den höchsten Dolomitgehalt des gesamten Untersuchungsgebietes auf. Auch das niedrige C/D-Verhältnis (1,2) wird in den übrigen Profilen kaum mehr unterboten (Ausnahme: Schindellegi-Profil, Abschnitt H). Hinsichtlich des Calcitanteils zeigen beide Schuppen ähnliche Werte (Grindelegg 32%, Morgarten 35%).

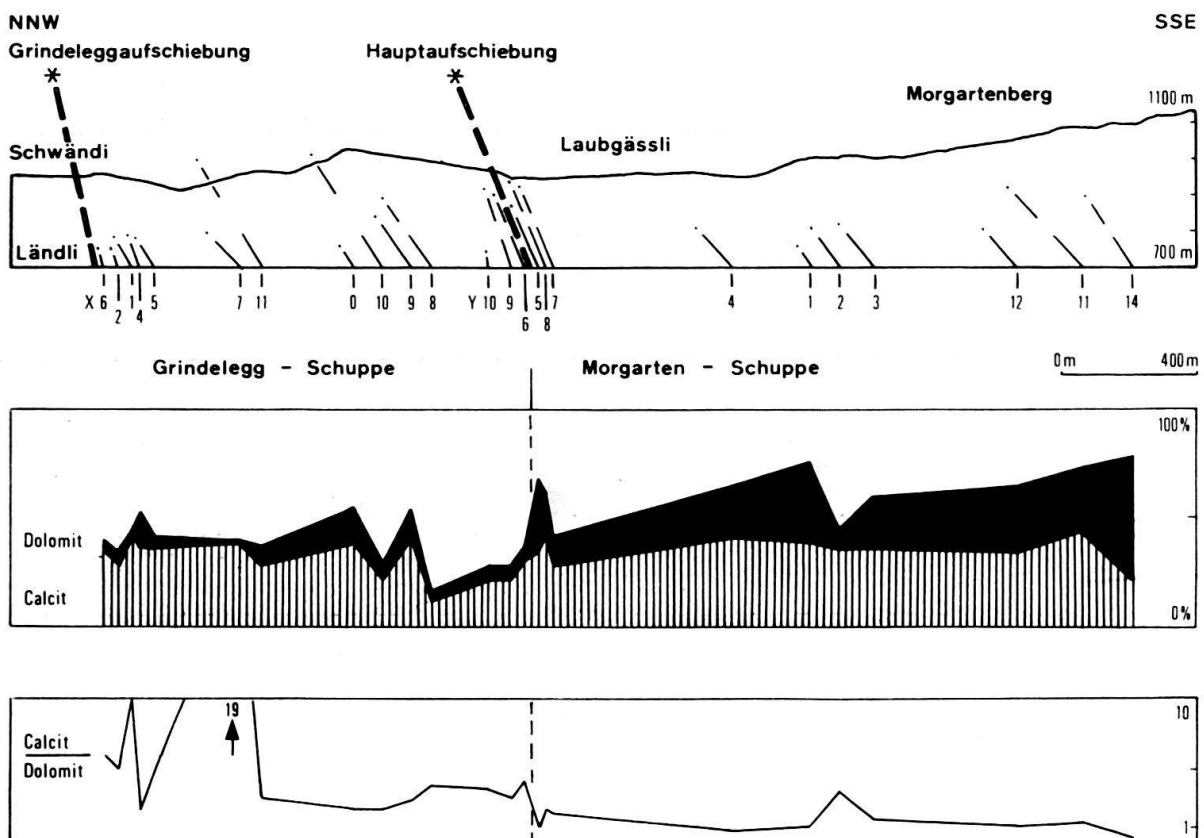


Fig. 12. Das Ägerisee-Profil: Karbonatanalyse.

In Übereinstimmung mit der Schwermineralanalyse konnte die Zone der Haupt-Aufschubung auch durch die Karbonatanalyse sehr präzise lokalisiert werden: plötzlicher Anstieg des Dolomitgehalts zwischen Y6 und Y5, und Abfallen des C/D-Quotienten.

Das Rossboden-Profil (Fig. 13)

Die Proben R6–R2 zeichnen sich durch eine hohe Dolomit-Führung und ein niedriges C/D-Verhältnis aus. Dieser südlichste Profilabschnitt kann auf Grund calcimetrischer Daten der Morgarten-Schuppe zugeordnet werden. Der Übergang zur Grindelegg-Schuppe erfolgt – analog zum Ägerisee-Profil – unter massiver Abnahme des Dolomitgehaltes sowie unter Erhöhung des C/D-Verhältnisses.

Die schwermineralogischen Untersuchungen haben gezeigt, dass sich zwei Assoziationen unterscheiden lassen (vgl. S. 256, 257, 279):

- eine A-Gruppe mit wenig Spinell aber viel Apatit,
- eine B-Gruppe mit viel Spinell und wenig Apatit.

Diese Heterogenität schlägt sich in der Karbonatführung nur undeutlich nieder. Die B-Gruppe zeigt wohl etwas erhöhte Dolomit- und Calcitwerte, die Unterschiede sind jedoch zu gering, um auf Gesetzmässigkeiten schliessen zu können.

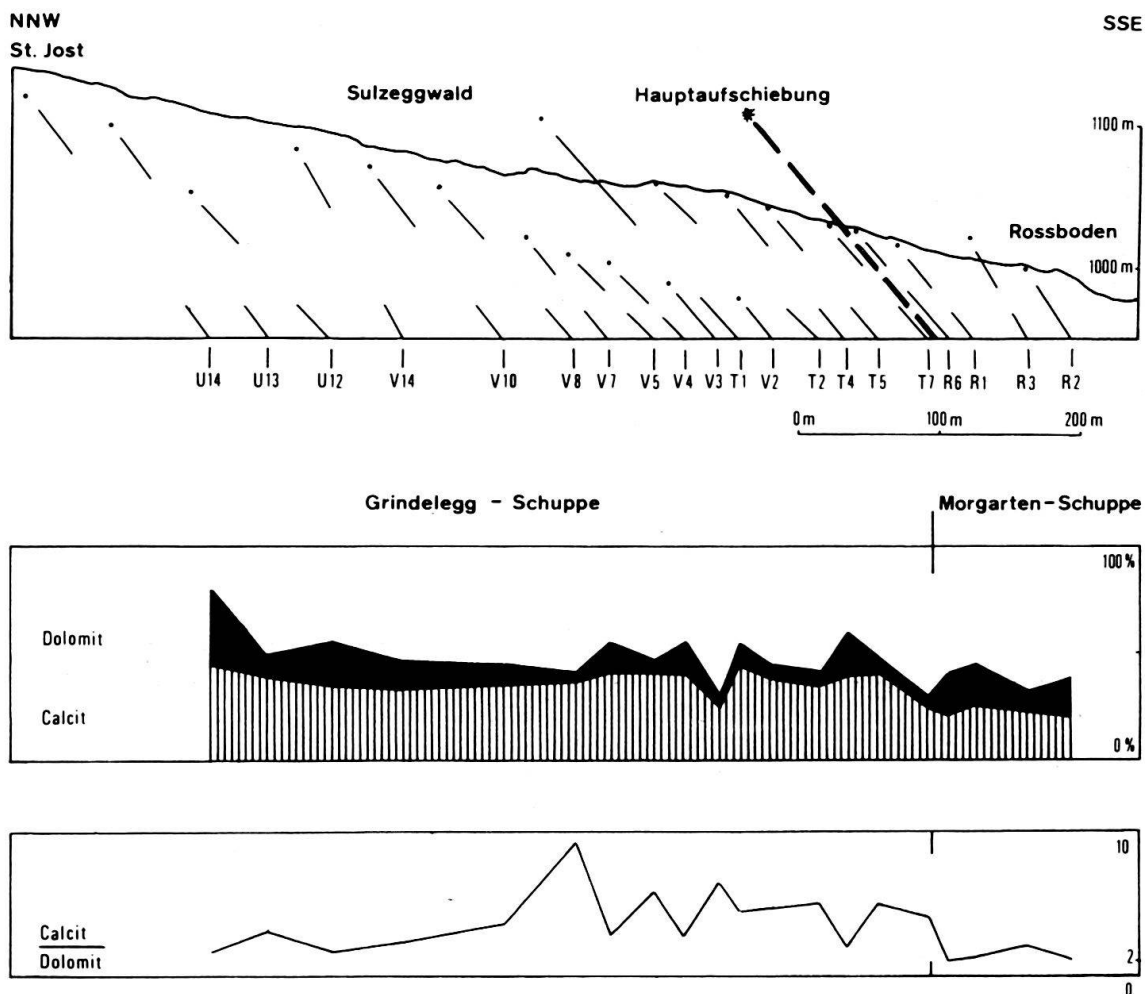


Fig. 13. Das Rossboden-Profil: Karbonatanalyse.

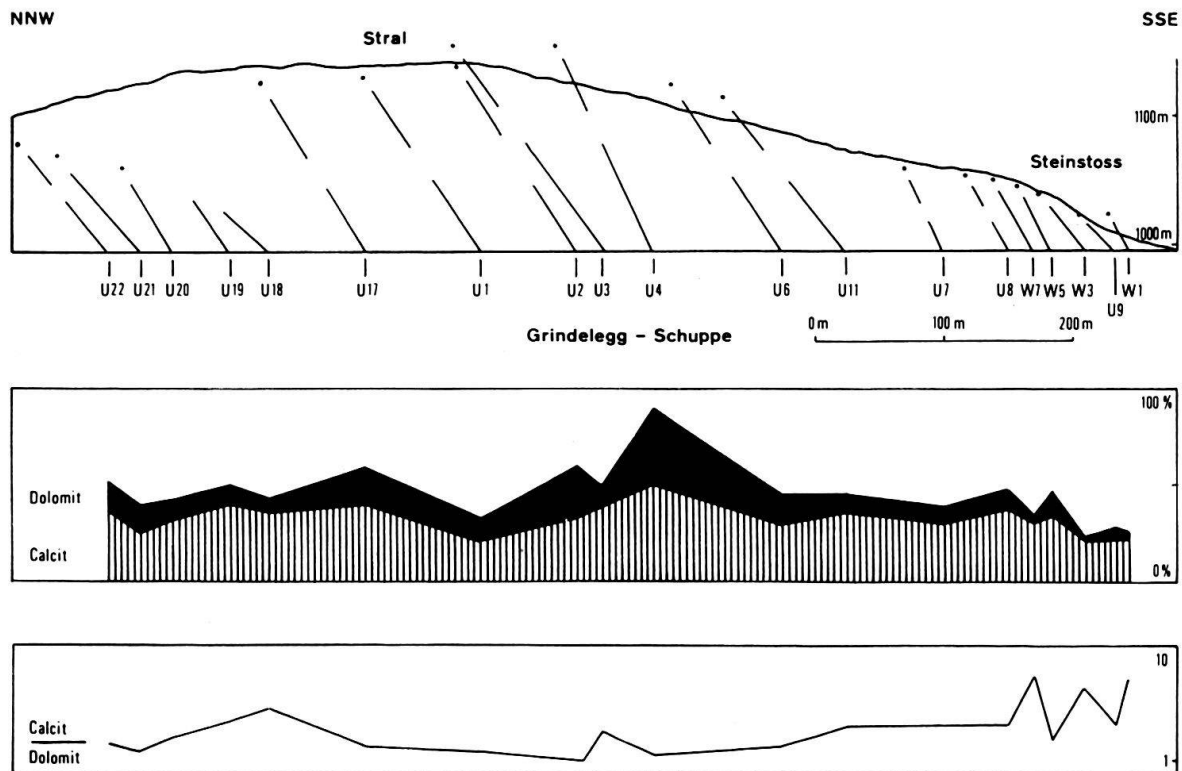


Fig. 14. Das Steinstoss-Profil: Karbonatanalyse.

Das Steinstoss-Profil (Fig. 14)

Die alternierende Abfolge der beiden Schwermineralkombinationen spiegelt sich hier – im Gegensatz zum Rossboden-Profil – deutlich in den Karbonatwerten wider. Während spinellreiche Proben (B-Gruppe) mit relativ hohen Dolomitanteilen aufwarten (durchschnittlich 17%), begnügt sich die A-Gruppe mit 8% Dolomit. Etwas weniger markant fallen die Unterschiede im Calcitgehalt und im C/D-Verhältnis aus.

A-Gruppe: C = 27% D = 8% C/D = 4,7

B-Gruppe: C = 35% D = 17% C/D = 2,0

Das Wisstannen-Profil (Fig. 15)

Mit Ausnahme von Probe P11 zeigt diese Abfolge eine ähnliche Karbonatführung wie das Ägerisee-Profil. Bemerkenswert ist der niedrige Dolomitanteil sowie das erhöhte C/D-Verhältnis (3,3). Der Übergang zur Höhrnen-Schuppe ist durch das plötzliche Ansteigen des C/D-Verhältnisses und die Reduktion des Dolomitgehalts gekennzeichnet. In Übereinstimmung mit den feldgeologischen und schwermineralogischen Befunden fällt die Grindelegg-Aufschiebung zwischen die Profilstellen P1 und P3.

Der nördlich der Aufschiebung im Ägerisee-Profil beobachtete Abfall des Gesamtkarbonatgehaltes bleibt in der entsprechenden Zone des Wisstannen-Profiles aus. Obwohl die Proben P1 und P2 schwermineralogisch eindeutig zur Höhrnen-Abfolge gehören, weisen sie einen ungewöhnlich hohen Calcitgehalt auf.

Höhrnen-Abfolge: C = 10–12%

P1, P2: C = 42%

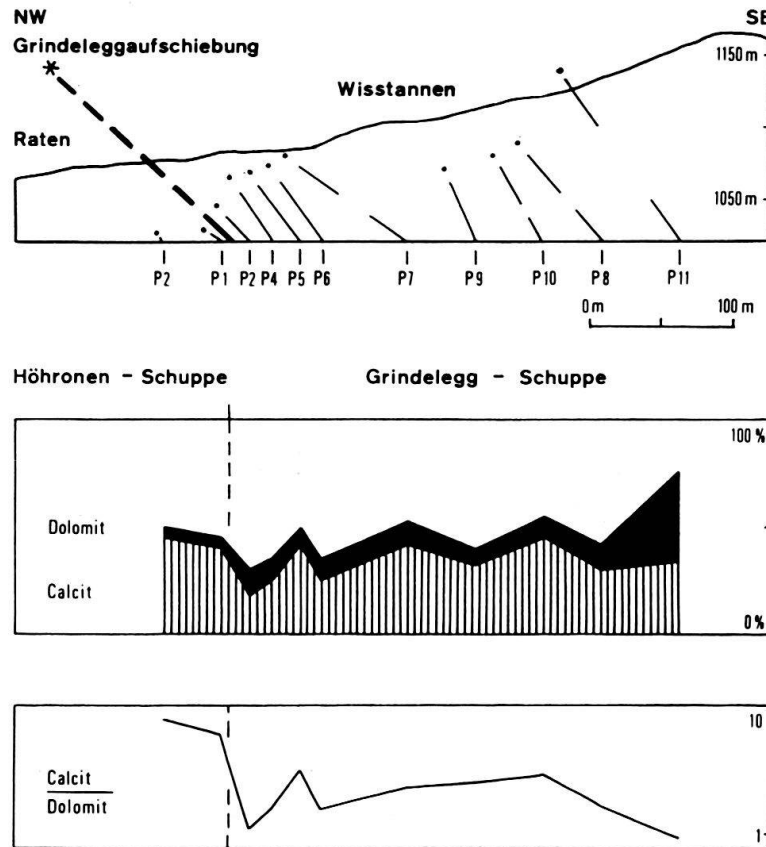


Fig. 15. Das Wisstannen-Profil: Karbonatanalyse.

Dieser resultiert aber nicht aus der primären Karbonatverteilung in den Sandsteinen, sondern aus einer sekundären Calcitanreicherung in Form von grösseren und kleineren Rutschharnischen, wie sie öfters in Aufschubungs-Bereichen zu beobachten sind.

Das Finstersee-Alosen-Profil (Fig. 16)

Die in der Schwermineralanalyse festgestellte Monotonie der Höhronen-Schuppe spiegelt sich auch in der Calcimetrie wider. Im Gegensatz zu den stratigraphisch älteren Abfolgen weist die Höhronen-Schuppe einen viel niedrigeren Calcit- (11%) und Dolomitgehalt (4%) auf. Das mittlere C/D-Verhältnis liegt bei 2,7. Da die Karbonatwerte der einzelnen Proben nur wenig um den Durchschnittswert pendeln, verunmöglichen sie eine Gliederung des Profils.

Das Lorze-Profil (Fig. 17)

Die Karbonatwerte der westlichsten Höhronen-Abfolge decken sich weitgehend mit denen des Finstersee-Alosen-Profils. Besonders gute Übereinstimmung erzielen die Dolomitwerte und das C/D-Verhältnis:

Finstersee-Alosen-Profil:	D = 4%	C/D = 2,7
Lorze-Profil:	D = 3%	C/D = 2,6

Im Gegensatz zum Alosen-Querschnitt zeigt das Lorze Profil eine stetige Karbonat-abnahme gegen Süden.

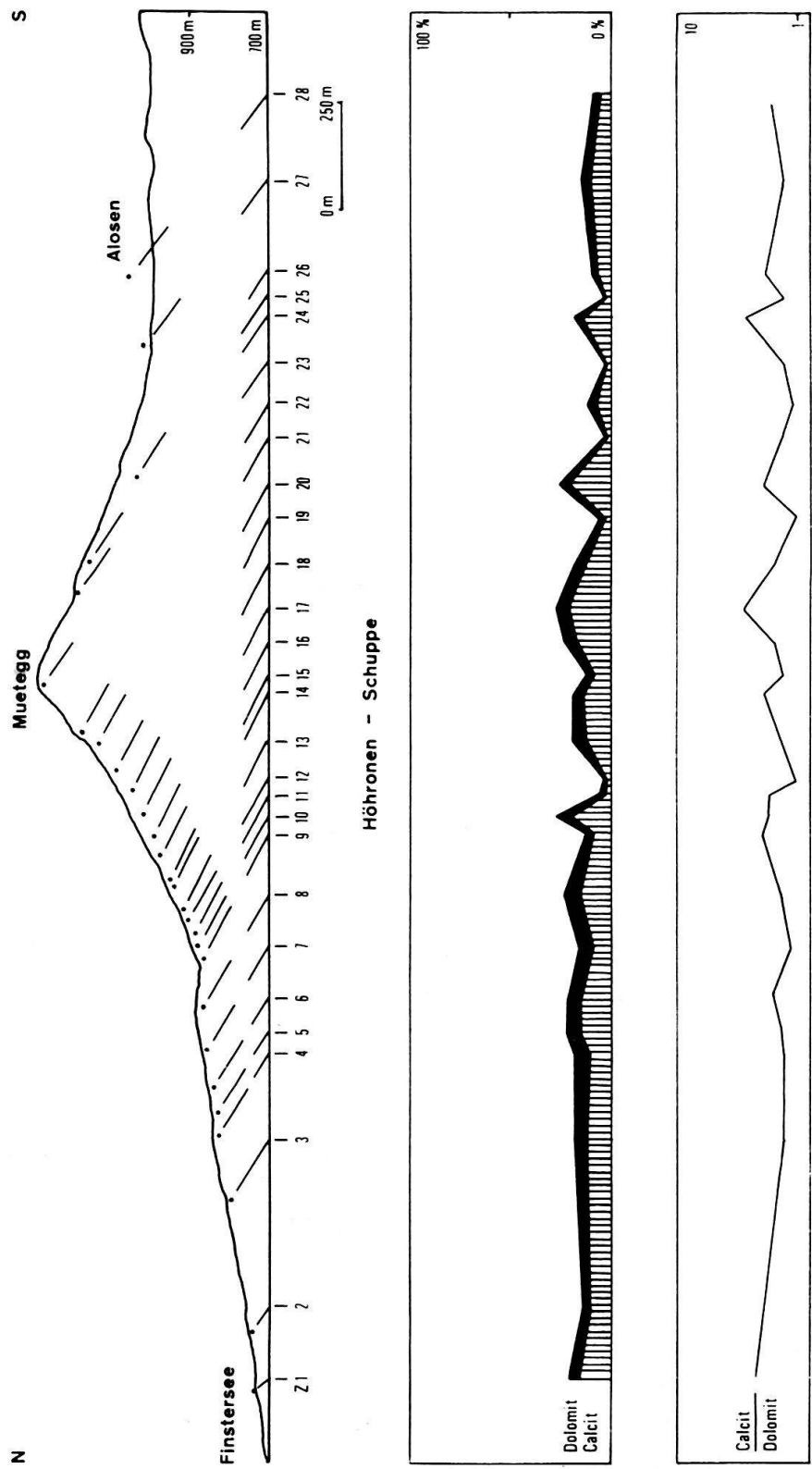


Fig. 16. Das Finstersee-Alosen-Profil: Karbonatanalyse.

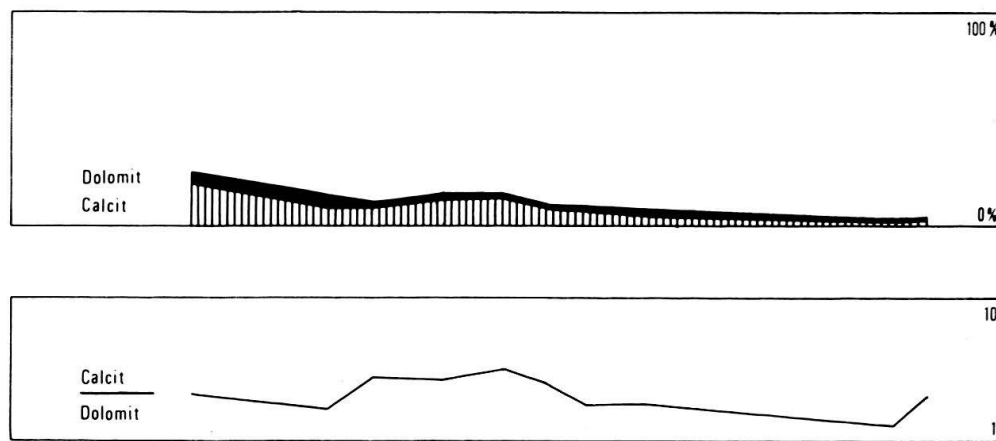
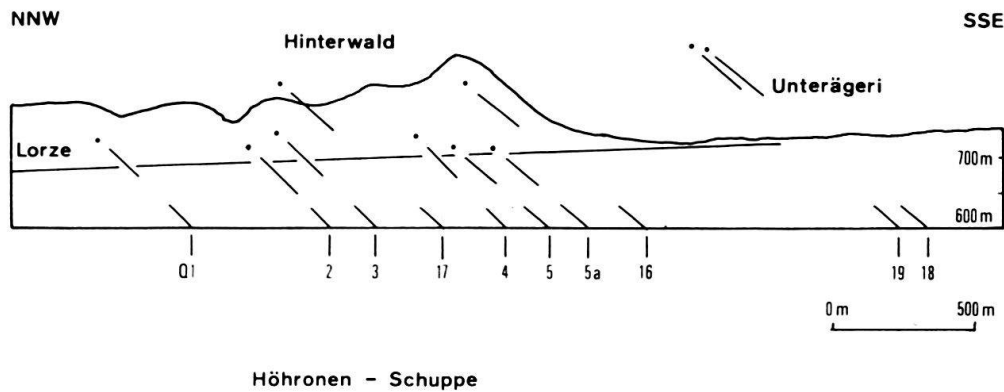


Fig. 17. Das Lorze-Profil: Karbonatanalyse.

Das Tüfelstein-Profil (Fig. 18)

Die bis anhin beobachtete gleichmässige Karbonatführung der Höhrnen-Abfolge erfährt im östlichsten Profil eine weitere Bestätigung.

$$C = 10\% \quad D = 4\% \quad C/D = 2,5$$

Das Schindellegi-Profil (Fig. 19)

Die schwermineralogisch definierten Abschnitte des Schindellegi-Profils konnten auch calcimetrisch nachgewiesen werden. Ihre Existenz wird durch die Tatsache gestärkt, dass die Übergänge von einer Einheit zur andern, im Schwermineral- und Karbonatprofil, zusammenfallen.

Abschnitt E

Die calcimetrischen Daten dieser Einheit stimmen nahezu mit denjenigen der Höhrnen-Schuppe überein. Die Verwandtschaft wird durch die Schwermineralanalyse und die Ergebnisse der Stratonomie unterstrichen. Der Übergang zu Abschnitt F ist durch einen plötzlichen Anstieg des C/D-Verhältnisses und eine Dolomitreduktion gekennzeichnet.

Abschnitt F

Die zunehmende schwermineralogische Verschiedenheit von der Höhrnen-Fazies ist auch im Karbonatbild erkennbar. Die vorliegende Einheit weist extrem

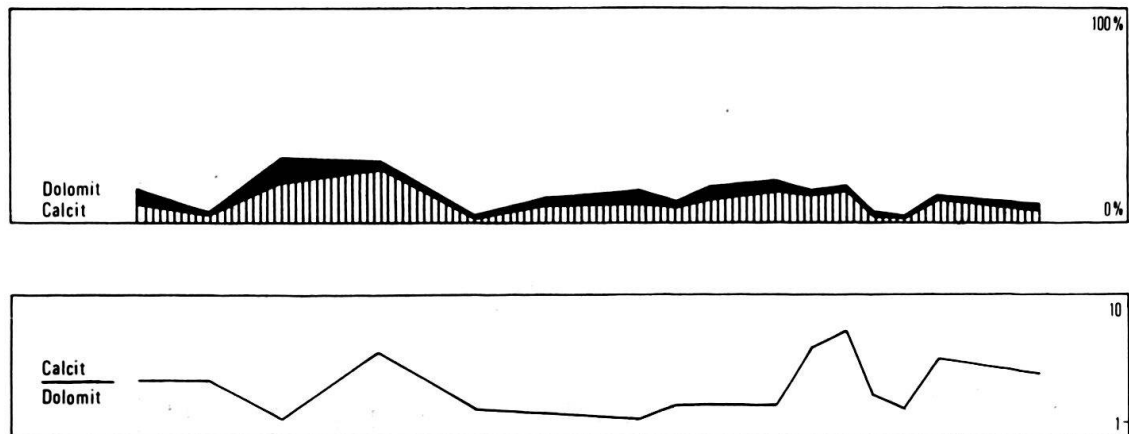
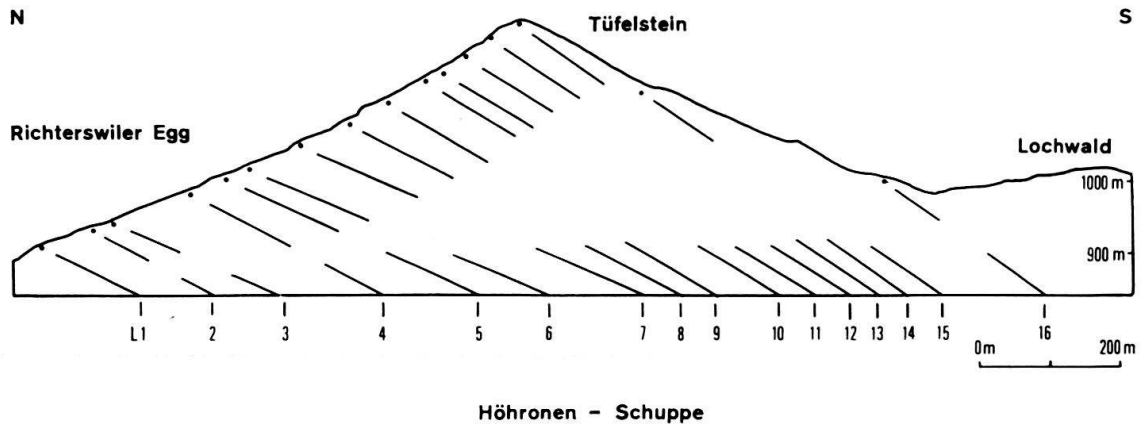


Fig. 18. Das Tüfelstein-Profil: Karbonatanalyse.

niedrige Calcit- (10%) und Dolomitwerte (1,5%) auf. Charakteristisch ist das hohe C/D-Verhältnis (5,6).

Abschnitt G

Diese Abfolge zeigt ähnlich tiefe Karbonatwerte wie die liegende Einheit. Als Unterschied kann der etwas höhere, im Vergleich mit den übrigen Abfolgen des Untersuchungsgebietes jedoch noch immer sehr niedrige Dolomitanteil (2,5%) und das C/D-Verhältnis (3,8) angeführt werden.

Abschnitt H

Calcimetrisch setzt sich dieser Abschnitt klar von den übrigen Einheiten des Schindellegi-Profiles ab. Kennzeichnend ist dabei der hohe Dolomitgehalt (19%) innerhalb der durchwegs hohe Prozentwerte aufweisenden Gesamtkarbonatkurve. Der aussergewöhnlich hohe Dolomitgehalt ist das wichtigste Kriterium für die Beheimatung des vorliegenden Schuttmaterials.

Der Übergang von Abschnitt G zu H findet, in Übereinstimmung mit den schwermineralogischen Resultaten, innerhalb weniger Schichtmeter statt.

Das Sihl-Profil (Fig. 20)

Die in der Schwermineralanalyse beobachtete Ähnlichkeit des Sihl-Profiles mit Abschnitt H findet auch in der Calcimetrie ihre Bestätigung. Geringe Unterschiede

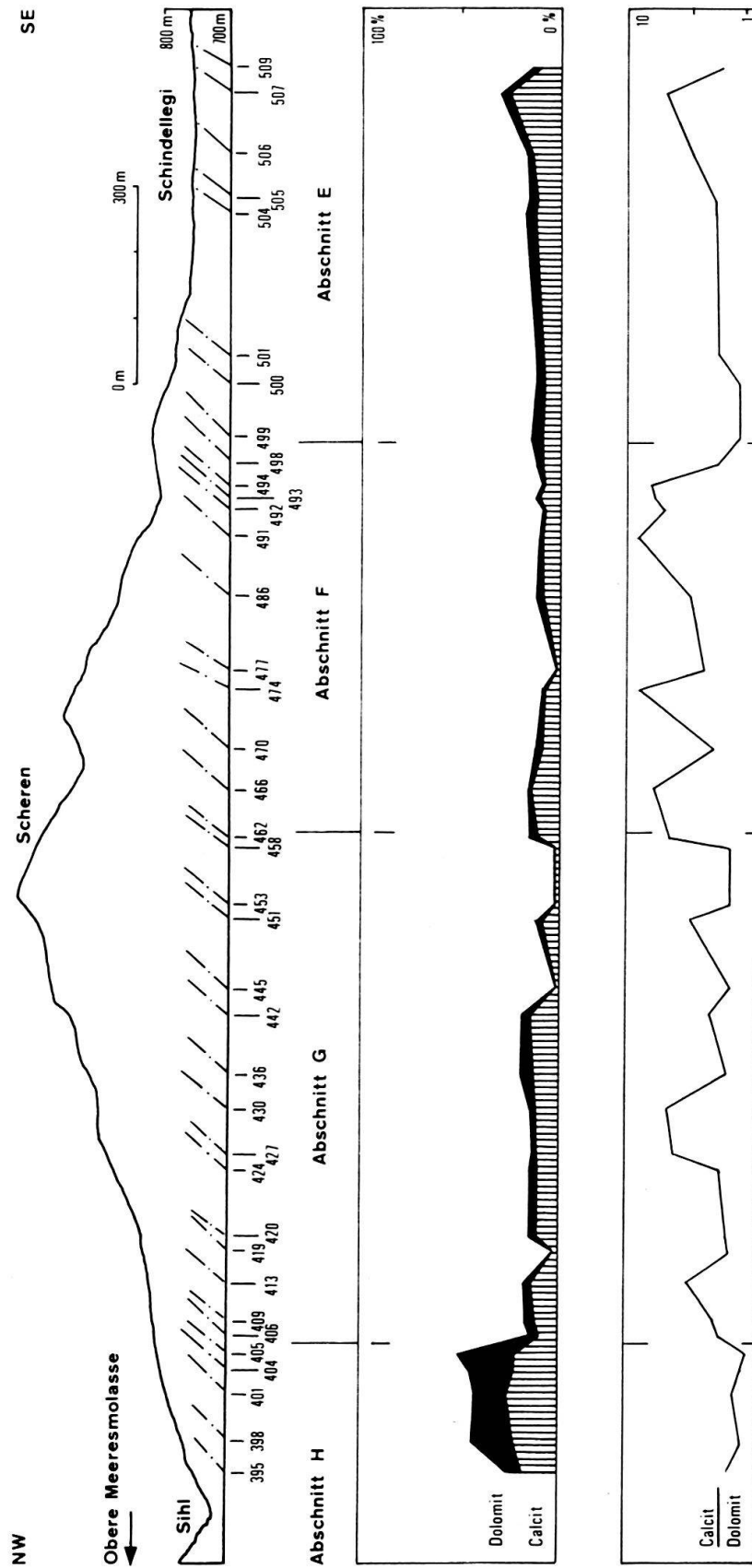


Fig. 19. Das Schindellegi-Profil: Karbonatanalyse

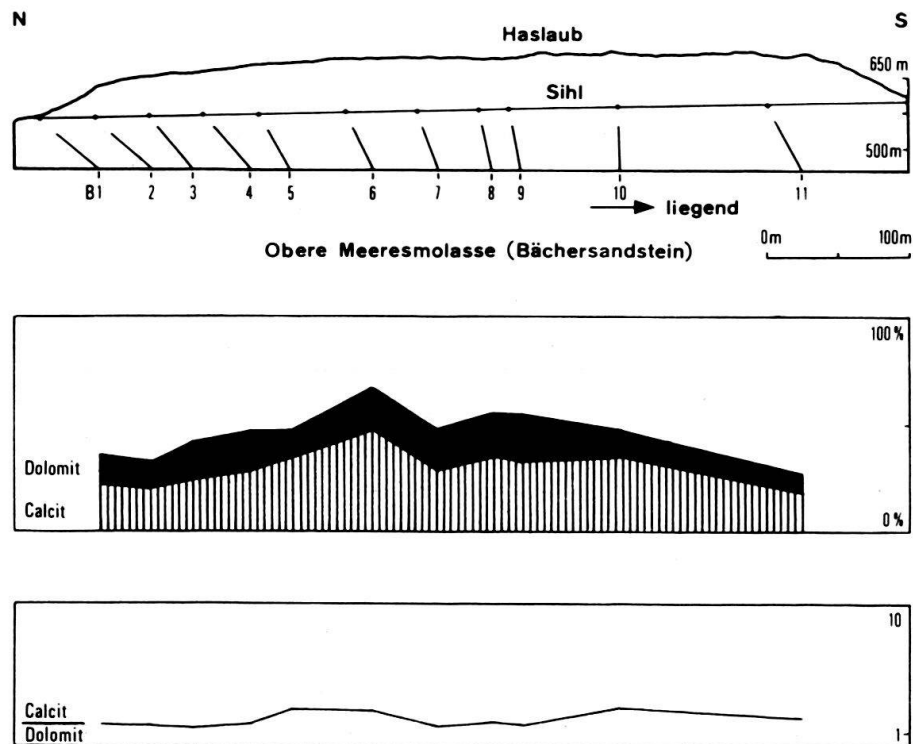


Fig. 20. Das Sihl-Profil (etwa 1 km NW Finstersee): Karbonatanalyse.

ergeben sich lediglich aus der etwas höheren Calcitführung (30%) des Bächer Sandsteins. Bei annähernd gleichem Dolomitgehalt (16%) steigt demzufolge das immer noch sehr niedrige C/D-Verhältnis auf 1,9 (Abschnitt H: 1,2).

3.3 Sedimentpetrographische Charakterisierung der beteiligten Schüttungen

3.31 Die Rigi-Schüttung s.l.

Zur Rigi-Schüttung s.l. werden jene Sedimente gezählt, welche zur Zeit des unteren Teils der USM zwischen den Schuttfächern Speer-Hirzli im Osten und Heuboden-Äschitannen im Westen abgelagert wurden.

Die Rigi-Schüttung s.str.

Eine vertikale Gliederung des Rigi-Schuttfächers s.str. führte STÜRM (1969) an der Rigi mit Hilfe der Calcimetrie durch. Dabei liessen sich – analog zu früheren Gerölluntersuchungen – folgende Einheiten unterscheiden:

- Obere (Scheidegg-)Nagelfluh: C* um 60%, D sehr gering, C/D um 40
- Mittlere, polygene Nagelfluh: C* um 55%, D gering, C/D um 6
- Weggiser Kalknagelfluh: C* um 70%, D hoch, C/D um 2

Schwermineralogisch lässt sich die Rigi-Schüttung s.str. nach FÜCHTBAUER (1964, S. 192, 276) wie folgt charakterisieren:

SM-Formel: G, AZTss'

Neueste Untersuchungen von STÜRM weisen beträchtliche schwermineralogische Differenzen zu FÜCHTBAUERS Ergebnissen auf. Während dieser in der Weggiser

Kalknagelfluh eine Turmalin–Zirkon–Apatit-Vormacht feststellte, wies STÜRM in der gleichen Abfolge eine konstante – durch zahlreiche Proben belegte – Zirkon–Spinell–Rutil-Kombination nach. Der Granatgehalt wird übereinstimmend als gering bezeichnet.

Die Serien östlich des Friherrenberges wurden von MÜLLER (1971, S. 43) eingehend untersucht und der Rigi-Schüttung s.str. zugewiesen.

SM-Formel: G,ZRats's
Calcimetrie: C* 50–75%, D hoch, C/D um 2

Nach B. Stürm (mündl. Mitt.) ist diese Zuordnung mit Vorsicht aufzunehmen, denn zwischen der Rigi-Abfolge s.str. und den Sedimenten östlich des Friherrenberges bestehen deutliche sedimentpetrographische Unterschiede.

Die Friherrenberg-Schüttung

SM-Formel: g,ZS'Rats
Calcimetrie: C* 53%, C/D um 3,0

Nach MÜLLER (1971, S. 31, 44, 138) unterscheidet sich die Friherrenberg-Schüttung von der Rigi-Schüttung s.str. vor allem durch ihren höheren Spinellgehalt (durchschnittlich 21%). Charakteristisch sind ferner der hohe Gesamtkarbonatgehalt und das konstante Auftreten von Staurolith als Nebengemengteil.

Die Friherrenberg-Schüttung wird von MÜLLER (1971, S. 44) als selbständige Einheit innerhalb der Rigi-Schüttung definiert. Vergleicht man die sedimentpetrographische Formel des Friherrenberges mit derjenigen der östlich davon liegenden Abfolge, so ist eine Individualisierung der Friherrenberg-Schüttung durchaus gerechtfertigt. Die Abgrenzung gegen Westen, zum Zentrum des Rigi-Schuttfächers hin, dürfte aber mehr Schwierigkeiten bereiten, denn ein Grossteil der Rigi-Abfolge s.str. zeichnet sich nach B. Stürm (mündl. Mitt.) ebenfalls durch eine Friherrenberg-ähnliche Schwermineralführung aus.

Die Resultate eigener Untersuchungen westlich des Friherrenberges könnten als Indiz für eine beträchtliche Westausdehnung der Friherrenberg-Schüttung⁵⁾ gedeutet werden. Hierfür spricht vor allem der hohe Spinellgehalt (29%) im unteren Teil der Morgarten-Schuppe. Gegen eine Zuordnung der Morgarten-Abfolge zur Friherrenberg-Schüttung sprechen die Resultate der Karbonatanalyse. Die hohen Dolomitwerte (28%), das sehr niedrige C/D-Verhältnis (1,2) wie auch die meisten Schwerminerale deuten auf eine Herkunft aus dem Rigi-Schuttfächer s.str.

Eine definitive Zuordnung der Morgarten-Schuppe zur einen oder anderen Schüttung sollte erst unter Berücksichtigung der kommenden Rossberg-Daten sowie der Ergebnisse aus dem oberen Teil der Morgarten-Schuppe (Ägerisee–Samstageren–Chatzenstrick) erfolgen. Bis dahin werden die Sedimente des unteren Teils der Morgarten-Abfolge der Rigi-Schüttung s.l. zugesprochen.

SM-Formel: g,ZS'Rta
Calcimetrie: C* 61%, D sehr hoch (28%), C/D um 1,6

⁵⁾ Die Friherrenberg-Schüttung wird in dieser Arbeit provisorisch im Sinne MÜLLERS verwendet. Die Beziehungen zwischen Friherrenberg- und Rigi-Schüttung s.str. werden in der Dissertation von STÜRM (1974) eingehend diskutiert.

3.32 Die Grindelegg-Schüttung

SM-Formel: G,ZAS'rt

Calcimetrie: C* 39%, D relativ gering (7%), C/D um 4,5

Die sedimentpetrographischen Daten lassen darauf schliessen, dass die Grindelegg-Schüttung stratigraphisch zwischen die Rigi-Schüttung s.l. (unten) und die Höhrnen-Schüttung (oben) einzustufen ist. Dabei liegen die Mittelwerte des Karbonatgehalts und einiger diagnostisch wichtiger Schwerminerale zwischen den Durchschnittswerten der liegenden und hangenden Einheit (Fig. 21). Auffällig ist allerdings das hohe C/D-Verhältnis (4,5), welches weit über den Höhrnen- und Morgarten-Werten liegt.

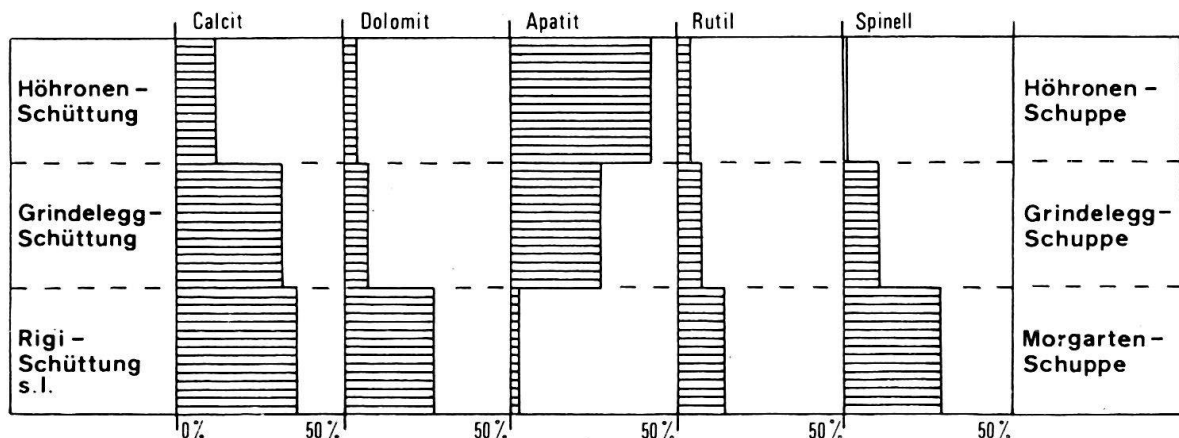


Fig. 21. Sedimentpetrographische Stellung der Grindelegg-Schüttung.

Die meisten Grindelegg-Werte passen sich dem Trend an, der sich – als Folge der extremen sedimentpetrographischen Verschiedenheit von Höhrnen- und Rigi-Schüttung s.l. – zwischen diesen beiden Einheiten einstellt. Die Grindelegg-Schüttung weist trotz bedeutenden Neuerungen – erhöhter Apatit- und Granatgehalt sowie stark reduzierter Dolomit-Anteil – noch Anklänge an die erlöschende Rigi-Schüttung s.l. auf (hohe Calcitführung und deutlicher Spinellgehalt, 10%). Dolomit- und Kalksandsteine, rote «Rigigranite», Radiolarit-, Aptychenkalk- und Mocausa-Gerölle können ebenfalls als Zeugen der zum Teil frappanten Ähnlichkeit von Grindelegg- und Rigi-Fazies (s.l.) angeführt werden.

Offen bleibt die Frage, inwieweit das Material direkt aus der distributiven Rigi-Provinz hierher verfrachtet wurde, oder ob es sich um aufgearbeiteten Rigi-Schutt handelt. Hinweise für letztere Möglichkeit erbrachte B. Stürm (mündl. Mitt.), der in der Scheidegg-Nagelfluh, nahe am Molasse/Flysch-Kontakt, grosse Erosionsnischen fand.

3.33 Die Höhrnen-Schüttung

SM-Formel: G,ZAr't

Calcimetrie: C* 14%, D 4%, C/D = 2,7

Auffallend ist die geringe Abweichung der einzelnen Schwermineral- und Calcimetriewerte von den errechneten Mittelwerten. Die Schüttung kann deshalb sediment-

petrographisch als die homogenste des gesamten Untersuchungsgebietes angesprochen werden.

Im Gegensatz zu den bisherigen, mehrheitlich radialen Schüttungen vermochte die Höhrnen-Schüttung die bis anhin unüberwindbare nördliche Trogswelle zu überwinden⁶⁾ und ihre Sedimente im Raume München der Paratethys zuzuführen (FÜCHTBAUER 1958, 1964). Die Tatsache, dass selbst in mehreren 100 km Distanz vom Schuttfächerzentrum die sedimentpetrographische Zusammensetzung der Höhrnen-Schüttung von den vielen radialen Entwässerungssystemen der bayerischen Molasse kaum beeinflusst wurde, spricht für das gewaltige Ausmass dieses Schuttfächers.

Während die Grindelegg-Schüttung – in ihrer Eigenschaft als Bindeglied zwischen Rigi-Schüttung s.l. und Höhrnen-Einheit – Charakteristika beider Systeme in sich vereinigt, kommt der Höhrnen-Schüttung, auf Grund der neuartigen sedimentpetrographischen Zusammensetzung, weitgehende Autonomie zu. Die stratigraphisch tiefsten Höhrnen-Schichten zeigen keinerlei Einmischung älterer Schüttungen. Erst beim Erlöschen des Höhrnen-Systems sind kurzfristige Interferenzen der nachfolgenden Napf-Schüttung (Epidot) zu beobachten (vgl. Fig. 7, 8).

3.34 Die Napf-Schüttung

SM-Formel: g,Eza

Calcimetrie: C* 12%, D um 2%, C/D um 4,0

Lithostratigraphisch wird die Napf-Schüttung zum oberen Abschnitt der Granitischen Molasse und somit zum höheren Teil der USM gezählt. Die Sedimente des Schuttfächerzentrums treten nicht – wie auf Grund der Nomenklatur angenommen werden könnte – im Napfgebiet⁷⁾, sondern südlich davon, im Entlebuch, zutage. Hier wurde diese Einheit von FÜCHTBAUER (1958, 1964), MATTER (1964) und GASSER (1966) eingehend beschrieben. Dabei wurden in der Granitischen Molasse zwei Schwermineralkombinationen unterschieden:

- ein unterer, apatitreicher Abschnitt und
- ein oberer, vorwiegend epidotführender Teil.

Diese Gliederung kann im gesamten Verbreitungsgebiet der Granitischen Serie nachgewiesen werden, sowohl in der Mittelländischen (FÜCHTBAUER 1964, BÜCHI et al. 1965, HOFMANN 1968) als auch in der Subalpinen Molasse (HOFMANN 1957, FÜCHTBAUER 1964, MATTER 1964, GASSER 1966, MÜLLER 1971).

Die unteren, apatitreichen Sedimente wurden \pm synchron vom Höhrnen- und Uraare-Schuttfächer ins Vorland verfrachtet. Nach FÜCHTBAUER erreichten die Uraaresande bei ihrem Osttransport den Mittelländischen Sedimentationsraum der Höhrnen-Schüttung, wurden dann aber vom mächtigeren Höhrnen-System überspielt und derart stark verdünnt, dass bei München nur noch Höhrnen-Sande nachzuweisen sind.

Der obere, epidotreiche Abschnitt der Granitischen Molasse entstammt ausschliesslich dem Napf-Schuttfächer (FÜCHTBAUER 1964, S. 190), der sich aus dem

⁶⁾ In den mittelländischen Erdölbohrungen Küsnacht, Hünenberg, Lindau, Kreuzlingen usw. wurden keine spinellführenden älteren Sedimente gefunden (BÜCHI et al. 1965, HOFMANN 1968).

⁷⁾ Die Sedimente des Napfs gehören zur jüngeren Napf-Schüttung (OMM, OSM),

apatitreichen Uraaresystem entwickelte. Da zu jenem Zeitpunkt die apatitführende Höhrnen-Schüttung allmählich erlahmte, gelang es der Napf-Einheit – im Gegensatz zur vorgängigen Uraareschüttung –, ihren Detritus weit nach E zu verfrachten.

Dass die Ablösung Höhrnen–Napf-Schüttung in unserem Untersuchungsgebiet nicht schlagartig vor sich ging, beweisen die gesamthaft etwa 500 m mächtigen Interferenz-Abfolgen im Schindellegi-Profil (Abschnitte E und F).

Das Schwermineralbild der Napf-Schüttung ist von demjenigen der bisher behandelten Schuttfächer grundsätzlich verschieden. Geprägt vom sehr hohen Epidotgehalt sowie den niedrigen Apatit-, Granat- und Zirkonwerten lässt sich diese Einheit von E nach W in ihr Schuttfächerzentrum im Entlebuch verfolgen.

3.35 Die Hörnli-Schüttung

SM-Formel: g,EZArt

Calcimetrie: C* 41%, D um 19%, C/D um 1,2

Im oberen Teil der USM beherrschen zwei Schuttfächer den zentral- und ostschweizerischen Molasseraum. Im W belieferte das zuvor beschriebene Napf-System die Vorlandsenke weiterhin mit stark epidothaltigem Material; im E entwickelte sich aus der Kronberg-Schüttung der Hörnli-Schuttfächer, welcher bis zum Ende der Molasse-Sedimentation aktiv blieb. Seine westlichsten Ausläufer vermochten im obersten Abschnitt der USM die Napf-Schüttung aus unserem Untersuchungsgebiet zu verdrängen und die feindetritische Fracht in der Fazies der «Oberaquitanen Mergelzone» abzusetzen (BÜCHI et al. 1965; FÜCHTBAUER 1964; HOFMANN 1960, 1968).

Schwermineralogisch lässt sich die Hörnli-Einheit (USM) gut von den Napf-Sedimenten (USM) unterscheiden, obwohl hinsichtlich des Epidotgehalts eine bemerkenswerte Konvergenz festgestellt wurde. Kaum Anlass zu Verwechslungen dürften die calcimetrischen Daten geben, zeigt doch die Hörnli-Abfolge einen der höchsten Karbonatanteile, die Napf-Abfolge die niedrigsten Werte des untersuchten Gebietes.

3.4 Zuordnung der Profile zu den Schüttungen

Das Ägerisee-Profil

Der Südteil des Profils liegt innerhalb der Rigi-Schüttung s.l. (vgl. S. 274, 275). Die Serien nördlich der Haupt-Aufschiebung werden zur Grindelegg-Schüttung gezählt.

Das Rossboden-Profil

Die Proben R6, R1, R3 und R2 liegen in der Morgarten-Schuppe. Die Schwermineral- und Karbonatwerte weisen diese Abfolge der Rigi-Schüttung s.l. zu (Tab. 1).

Tabelle 1. Sedimentpetrographischer Vergleich.

Rigi-Schüttung s.l.

Ägerisee-Profil

SM-Formel: g,ZS'Rta

Calcimetrie: C* 63%

D 28%

C/D 1,2

Rossboden-Profil (R6–R1)

g,ZS'Rta

C* 44%

D 20%

C/D 1,2

Obwohl der nördliche Teil des Profils tektonisch in der Grindelegg-Schuppe liegt, können die Sedimente nicht nur aus der Grindelegg-Schüttung hergeleitet werden.

Von den beiden Schwermineralkombinationen (vgl. S. 256) ist die A-Gruppe (apatitreich) eindeutig zur Grindelegg-, die B-Gruppe (spinellreich) zur Rigi-Schüttung s.l. zu stellen (Tab. 2).

Tabelle 2. Sedimentpetrographischer Vergleich.

Rigi-Schüttung s.l.

Ägerisee-Profil

SM-Formel: g,ZS'Rta

Calcimetrie: C* 63%

D 28%

C/D 1,2

Rossboden-Profil (B-Gruppe)

g,ZS'Rta

C* 52%

D 14%

C/D 2,7

Grindelegg-Schüttung:

Ägerisee-Profil

SM-Formel: G,ZAS'rt

Calcimetrie: C* 39%

D 7%

C/D 4,5

Rossboden-Profil (A-Gruppe)

G,ZAS'rt

C* 47%

D 11%

C/D 3,2

Das eindeutigste Kriterium zur Schüttungszuordnung der A- und B-Gruppe ist durch den Quotienten Apatit/Spinell gegeben (Tab. 3).

Tabelle 3. Apatit/Spinell-Quotient.

Rigi-Schüttung s.l.:	<i>Ägerisee-Profil</i>	0,07
	<i>Rossboden-Profil (R6-R1)</i>	0,1
	<i>Rossboden-Profil (B-Gruppe)</i>	0,3
Grindelegg-Schüttung	<i>Ägerisee-Profil</i>	2,7
	<i>Rossboden-Profil (A-Gruppe)</i>	4,3

Die Quotienten der Rigi-Schüttung s.l. sind stets kleiner als 1,0, diejenigen der Grindelegg-Schüttung grösser als 2,0.

Das Steinstoss-Profil

Die Tabellen 4 und 5 zeigen, dass die Schwermineralgruppen A und B wiederum der Grindelegg- oder Rigi-Schüttung s.l. (eventuell auch Friherrenberg-Schüttung) zuzuweisen sind. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass letztere – im Gegensatz zum vorherigen Profil – leicht dominiert.

Tabelle 4. Sedimentpetrographischer Vergleich.

Rigi-Schüttung s.l.

Ägerisee-Profil

SM-Formel: g,ZAS'Rta

Calcimetrie: C* 63%

D 28%

C/D 1,2

Steinstoss-Profil (B-Gruppe)

G,ZS'Rat

C* 53%

D 17%

C/D 2,0

Grindelegg-Schüttung

Ägerisee-Profil

SM-Formel: G,ZAs't

Calcimetrie: C* 39%

D 7%

C/D 4,5

Steinstoss-Profil (A-Gruppe)

G,ZAs't

C* 35%

D 8%

C/D 3,4

Tabelle 5. Apatit/Spinell-Quotient.

Rigi-Schüttung s.l.:	<i>Ägerisee-Profil</i>	0,07
	<i>Steinstoss-Profil (B-Gruppe)</i>	0,24
Grindelegg-Schüttung:	<i>Ägerisee-Profil</i>	2,7
	<i>Steinstoss-Profil (A-Gruppe)</i>	5,3

Das Wisstannen-Profil

Die nördlichsten Proben des Profils (P1, P2) dokumentieren ihre Zugehörigkeit zur Höhrnen-Schüttung durch erhöhten Apatit-, Granat- sowie fehlenden Spinellgehalt.

Südlich der Aufschiebung wurde die Grindelegg-Abfolge mehrheitlich von Sedimenten der Friherrenberg-Schüttung aufgebaut. Diese Tatsache wird durch den Vergleich der Datenmittelwerte (Tab. 6) des Wisstannen-Profils (P3–P11) mit den Profilen des Friherrenberges, K und Fy (MÜLLER 1971, S. 136), deutlich dokumentiert. Bemerkenswert ist dabei das Auftreten von Staurolith, Baryt und Spinell in beiden Einheiten.

Tabelle 6. Sedimentpetrographischer Vergleich: Friherrenberg–östl. Grindelegg.

	C*	D	C/D	G	Z	A	R	T	S'	S	B	A/S
<i>Friherrenberg</i>	51%	15%	2,4	40%	50%	10%	14%	4%	19%	2%	++	0,5
<i>Wisstannen-Profil</i>	46%	13%	2,5	68%	43%	17%	8%	7%	19%	6%	++	0,8

Offenbar lag der Sedimentationsraum der östlichen Grindelegg-Schuppe grösstenteils im Schüttungsbereich des Friherrenberg-Schuttfächers.

Unter der Annahme, dass die Sedimente der Grindelegg-Schuppe jünger seien als diejenigen der Friherrenberg-Schuppe (tektonisches Äquivalent der Rigi-Rossberg- und Morgarten-Schuppe), könnte gefolgert werden, dass die Friherrenberg-Schüttung länger aktiv war, als bisher angenommen wurde. Die tektonischen Konsequenzen dieser Interpretation werden auf den Seiten 286, 287 näher erläutert.

Das Finstersee–Alosen-Profil

Die charakteristischen und konstanten Schwermineral- und Karbonatwerte weisen auf die Alleinherrschaft der Höhrnen-Schüttung hin. Im Bereich der Subalpinen Molasse kommt diesem Profil die Bedeutung eines «sedimentpetrographischen Typusprofils» zu, denn hier ist eine tektonisch ungestörte und gut zugängliche Abfolge aus dem mittleren und höheren Abschnitt der Höhrnen-Schüttung gegeben. Dass dieses im höheren Teil der Schüttung liegt, geht aus Probe Z27 (S. 260) hervor. Bemerkenswert ist dabei die übereinstimmende Schwermineralführung von Z27 und Abschnitt E des Schindellegi-Profils. Beide Mineralspektren weisen Epidot auf. Epidot, ein wichtiges

Leitmineral der Napf-Schüttung, dokumentiert in Z27 vermutlich den ersten, allerdings noch schwachen Ostvorstoss dieser Schüttung. Die stratigraphisch nächsthöhere Probe zeigt wieder eindeutig Höhrnen-Charakter. Stärkere Napf-Interferenzen, welche schliesslich zur Ablösung der Höhrnen-Schüttung führten, sind im untersuchten Gebiet erst in der stratigraphisch höheren Schindellegi-Abfolge zu erkennen.

Das Lorze-Profil

Das gesamte Profil liegt innerhalb der Höhrnen-Schüttung. Analog zum Finstersee-Alosen-Profil ist im oberen Teil ebenfalls eine kleine Napf-Interferenz festzustellen.

Das Tüfelstein-Profil

Die dominierenden Schwerminerale Granat, Zirkon und Apatit weisen das östlichste Profil der Höhrnen-Schuppe wiederum dem Höhrnen-Schuttfächer zu. Bemerkenswert ist, dass die drei beschriebenen Profile praktisch identische Karbonatmittelwerte zeigen:

	Calcit	Dolomit	C/D
Finstersee-Profil	11%	4%	2,7
Lorze-Profil	8%	3%	2,6
Tüfelstein-Profil	10%	4%	2,5

Das Schindellegi-Profil

Von unten nach oben lassen sich folgende Schüttungsphasen erkennen:

a) Abschnitt E

Die Höhrnen-Schüttung nimmt noch den grössten Anteil am Aufbau dieser Abfolge ein (Granat), wird aber bereits stark von der Napf-Schüttung bedrängt (Epidot).

b) Abschnitt F

Die Napf-Sedimente herrschen vor; die Höhrnen-Schüttung ist am Erlöschen.

c) Abschnitt G

Die extrem hohen Epidotwerte dokumentieren die Alleinherrschaft der Napf-Schüttung.

d) Abschnitt H

Auf Grund des hohen Epidotanteils könnte die höchste USM zur Napf-Schüttung gestellt werden. Die erhöhten Karbonat-, Granat-, Zirkon- und Apatitwerte weisen aber die Abfolge eindeutig in den Hörnli-Schuttfächer.

Das Sihl-Profil

Die leicht glaukonitischen Sandsteine der Waldhalde gehören zur Gruppe der Oberen Meeresmolasse. Zur Zeit der OMM beteiligten sich die Napf- und die Hörnli-Schüttung am Aufbau der Mittelländischen Molasse (HOFMANN 1960, MATTER 1964, FÜCHTBAUER 1964, VON SALIS 1967). Die Napf-Schüttung erfolgte in der Trogachse von W nach E, die Hörnli-Schüttung zeigte starke Ausläufer gegen W. Die mittelländischen Erdölbohrungen (BÜCHI et al. 1965, HOFMANN 1968) haben gezeigt, dass die nach E gerichtete Napf-Schüttung nördlich der Westschüttung (Hörnli) verlief.

Im Gebiet zwischen Napf- und Hörnli-Delta (Luzern–Zürichsee) gelangten häufig Sedimente beider Schüttungen zur Ablagerung.

Nach MATTER und VON SALIS zeigt die OMM des Napf im Schuttfächerzentrum (Luzerner Sandstein) folgendes Schwermineralbild: g, Eaz.

Reine Hörnli-Sedimente (HOFMANN 1957) weisen gegenüber solchen des Napf etwas weniger Epidot (50–60%), dafür aber leicht erhöhte Granat- und Zirkonwerte auf. Während die schwermineralogischen Differenzen zwischen den beiden Schüttungen nicht sehr markant sind, ergibt der Gesamtkarbonatgehalt weit deutlichere Unterschiede:

Napf-Schuttfächer: um 14%
Hörnli-Schuttfächer: um 35%

Vergleichen wir die sedimentpetrographische Zusammensetzung des Sihl-Profils mit derjenigen der Napf- und Hörnli-Schüttung, so muss die Abfolge eindeutig zum Hörnli-Schuttfächer gestellt werden. Die lithostratigraphische Bezeichnung wäre demnach Bäcker Sandstein.

SM-Formel: g,EAZrTs'
Calcimetrie: C* 46%, D 16%, C/D = 2

3.5 Zusammenfassung der sedimentpetrographischen Ergebnisse

Die Ergebnisse der sedimentpetrographischen Analysen liessen eine stratigraphische Abfolge von Schwermineral- und Karbonatassoziationen erkennen. Die Molasse-Sedimente des Untersuchungsgebietes werden – je nach ihrer stratigraphischen Stellung – von vier Hauptvergesellschaftungen geprägt, welche eng mit autonomen Schüttungen verbunden sind.

Die älteste Einheit ist durch hohe Karbonat- und Spinellwerte sowie niedrigen Apatitgehalt gekennzeichnet (Friherrenberg–Morgarten-Schüttung).

In der folgenden Hauptvergesellschaftung (Höhronen-Schüttung) wird Spinell – das Leitmineral der ältesten USM-Schüttung – durch Apatit ersetzt. Zu den Charakteristika dieser Fazies gehören ausserdem hohe Granat- und niedrige Karbonatwerte. Das Schwermineralbild der Höhronen-Schüttung hat sich allmählich aus demjenigen der Rigi-Schüttung s.l. entwickelt.

Ein Zwischenstadium liegt in den Sedimenten der Grindelegg-Schuppe vor, die Merkmale beider Schwermineralspektren in sich vereinigt.

Der Übergang von der Höhronen- zur Napf-Schüttung vollzieht sich ebenfalls in Etappen und könnte – je nach Dominanz der einen oder anderen Komponente – als Höhronen–Napf- oder Napf–Höhronen-Interferenzschüttung bezeichnet werden.

Unter allmählicher Reduktion von Granat, Apatit und Zirkon weicht die Höhronen-Fazies der 3. Hauptvergesellschaftung (Napf-Schüttung), die durch extrem hohe Epidot- und niedrige Karbonatwerte gekennzeichnet ist. Die Abfolgen der Höhronen- und Napf-Schüttung lassen sich trotz ihrer sedimentpetrographischen und stratigraphischen Verschiedenheit nicht in zwei lithostratigraphische Einheiten gliedern. Beide Schüttungen gehören zur Serie der Granitischen Molasse, die apatitreiche Fazies zum unteren, die epidotreiche zum oberen Teil.

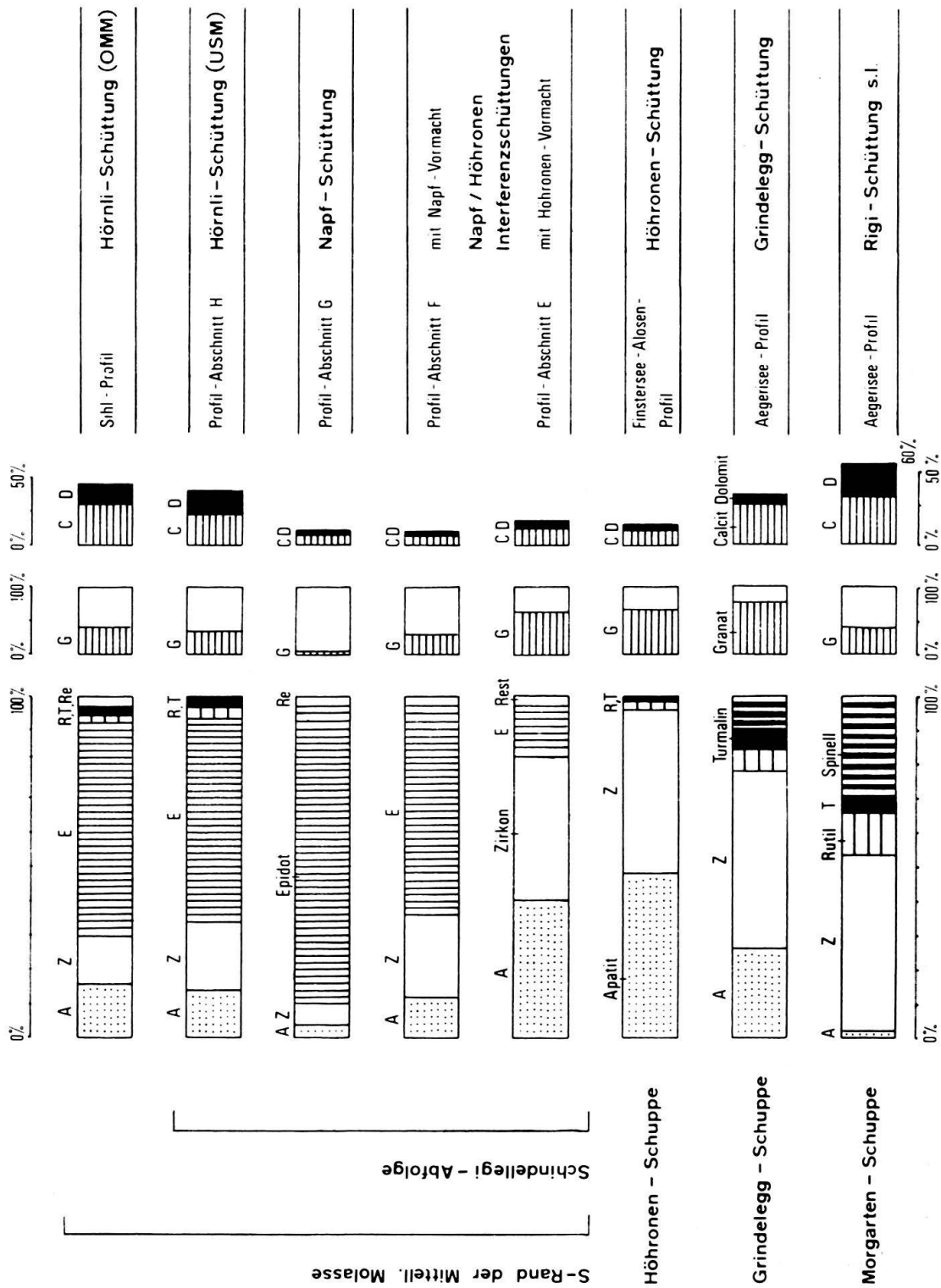


Fig. 22. Sedimentpetrographische Mittelwerte.

Im höchsten Abschnitt des Untersuchungsgebietes liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt: hier zeigen zwei lithostratigraphische Abfolgen – Serie der «oberaquitane Mergelzone» und Formation des Bächer Sandsteins – ein nahezu identisches Schwermineral- und Karbonatspektrum. Diese 4. Hauptvergesellschaftung (Hörnli-Schüttung) ist durch hohe Calcit- und Dolomitwerte sowie reiche Epidotführung gekennzeichnet.

Tabelle 7. Sedimentpetrographische Mittelwerte (Angaben in Prozenten).

	C*	D	C/D	G	Z	A	E	R	T	S'	S	
<i>Sihl-Profil</i>	46	16	1,9	38	14	16	62	3	2	2	1	Hörnli-Schüttung
<i>Schindellegi-Profil</i> (Abschnitt H)	41	19	1,2	34	21	14	58	3	3	1	–	Hörnli-Schüttung
<i>Schindellegi-Profil</i> (Abschnitt G)	12	2,5	3,8	5	7	4	87	1	1	–	–	Napf-Schüttung
<i>Schindellegi-Profil</i> (Abschnitt F)	10	1,5	5,6	30	23	12	62	1	1	–	–	Napf-Höhronen- Interferenz-Schüttung
<i>Schindellegi-Profil</i> (Abschnitt E)	17	4	3,2	60	42	41	14	2	1	–	–	Höhronen-Napf- Interferenz-Schüttung
<i>Lorze-Profil</i>	11	3	2,6	68	47	44	1	5	4	–	–	Höhronen-Schüttung
<i>Tüfelstein-Profil</i>	14	4	2,5	58	46	44	–	5	5	–	–	Höhronen-Schüttung
<i>Finstersee-Alosen-Profil</i>	15	4	2,7	63	48	47	1	3	2	–	–	Höhronen-Schüttung
<i>Ägerisee-Profil</i>	39	7	4,5	76	51	26	–	7	5	10	–	Grindelegg-Schüttung
<i>Rossboden-Profil</i>	49	12	3,0	54	42	26	–	8	7	15	2	Grindelegg-Schüttung mit Rigi-Interferenzen
<i>Steinstoss-Profil</i>	45	12	3,5	61	44	21	–	7	3	22	3	Grindelegg-Schüttung mit Rigi- und Friherrenberg- Interferenzen
<i>Wisstannen-Profil</i>	46	13	2,5	69	43	17	–	8	7	19	6	Grindelegg-Schüttung mit Friherrenberg-Inter- ferenzen
<i>Ägerisee-Profil</i>	63	28	1,2	39	51	2	–	14	4	29	2	Rigi-Schüttung s.l.

4. GEOLOGISCHER VERGLEICH MIT DEN NACHBARGEBIETEN

Östliches Nachbargebiet

Bereits KAUFMANN (1860), HERBORDT (1907), FREI (1914), BAUMBERGER (1925), RENZ (1937), HABICHT (1945b), ECKARDT (1955) und PAVONI (1961) stellten Vergleiche zwischen unserem Arbeitsgebiet und der Etzel-Region an. Die Korrelationen basierten auf feldgeologischen Kriterien, was angesichts der schlechten Aufschlussverhältnisse zu gegensätzlichen Interpretationen führte. Ausserdem fehlte – vor allem in der Granitischen Molasse – eine zuverlässige Stratigraphie, ohne die eine tektonische Gliederung kaum stichhaltig begründet werden kann. Dennoch dienten die «Modelle» dieser Autoren als wertvolle Arbeitshypothesen, und manche Vorschläge lassen sich auch heute nicht ohne weiteres widerlegen.

Mit Hilfe der Sedimentpetrographie – von GASSER (1966, 1968), MATTER (1964) und VON SALIS (1967) im Entlebuch erfolgreich angewandt – erarbeitete MÜLLER (1971)