

Lithostratigraphische Einheiten der untersten Helvetischen Kreide in der Zentral- und Ostschweiz

Autor(en): **Burger, Hans / Strasser, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **74 (1981)**

Heft 2

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-165118>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Lithostratigraphische Einheiten der untersten Helvetischen Kreide in der Zentral- und Ostschweiz

Von HANS BURGER¹⁾ und ANDRÉ STRASSER²⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Im Helvetikum der Zentral- und Ostschweiz wurden die Formationen der untersten Kreide (Berriasian und Valanginian) detailliert bearbeitet und dabei neu gegliedert und definiert. Der Ablagerungsraum dieser Formationen ist ein Schelf, der von Norden nach Süden in drei Faziesräume unterteilt wird.

Die *Öhrli-Formation* (an deren Gliederung in Untere Öhrli-Mergel – Unteren Öhrli-Kalk – Obere Öhrli-Mergel – Oberen Öhrli-Kalk sich nichts geändert hat) sowie die *Palfris-Formation* (bisher Palfris-Schiefer) umfassen etwa die Zeit des Berriasian und lösen einander im Übergang vom mittleren zum südlichen Faziesraum ab.

Die Formation der *Vitznau-Mergel* (bisher Valanginian-Mergel) gehört ins untere Valanginian und besteht aus Kalk-Mergel-Wechselagerungen. Diese bilden die Unterlage der Formation des *Betlis-Kalkes* (Valanginian) im mittleren und der Formation des *Diphyoides-Kalkes* (Valanginian) im südlichen Faziesraum. Im nördlichen Faziesstreifen liegt der Betlis-Kalk mit einem Hiatus meistens direkt auf der Öhrli-Formation. Spitzern-Schichten und Pygurus-Schichten sind Formationsglieder des Betlis-Kalkes.

ABSTRACT

A detailed investigation of the lithostratigraphic units of the Early Cretaceous of the Helvetic Nappes has been carried out in central and eastern Switzerland.

The *Öhrli Formation* of Berriasian age comprises Lower Öhrli Marls, Lower Öhrli Limestone, Upper Öhrli Marls and Upper Öhrli Limestone. These sediments have been deposited on the shallow continental shelf at the northern margin of the Tethys Ocean. Towards the south, they are replaced by the *Palfris Formation* (until now Palfris Shales).

The Formation of the *Vitznau Marls* (Early Valanginian) includes alternating beds of limestone and marl in the central and southern shelf areas. The shallow-water formation of the *Betlis Limestone* (Valanginian) overlies the Vitznau Formation in the central part of the shelf, whereas in the northern part it rests directly (with a hiatus) on the Öhrli Formation. In the southern facies belt the deeper water formation of the *Diphyoides Limestone* (Valanginian) replaces the Betlis Limestone. Pygurus Beds (shallow water limestones containing coarse detrital quartz) and Spitzern Beds (limestone-marl alternations) are members of the Betlis Formation.

RÉSUMÉ

Les unités lithostratigraphiques du Crétacé Basal ont été étudiées en détail dans l'Helvétique de la Suisse centrale et orientale.

La *Formation de l'Öhrli* du Berriasien comprend les membres: marnes inférieurs de l'Öhrli, calcaire inférieur de l'Öhrli, marnes supérieurs de l'Öhrli et calcaire supérieur de l'Öhrli. Ces sédiments ont été déposés sur la plate-forme continentale au bord nord de la Tethys. Vers le sud, ils sont remplacés par la *Formation de Palfris* (jusqu'à maintenant Palfris-Schiefer).

¹⁾ Geologisches Institut, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

²⁾ Laboratoire de Géologie, Maraîchers 13, CH-1211 Genève.

La formation des *Marnes de Vitznau* (Valanginien Inférieur) est constituée d'alternances calcaire-marnes dans la partie centrale et méridionale de la plate-forme. Dans la section centrale, la formation du *Calcaire de Betlis* (Valanginien) est située au-dessus des Marnes de Vitznau; tandis qu'au nord (zone interne de la plate-forme) elle repose, avec un hiatus, directement sur la Formation de l'Öhrli. Dans la zone externe de la plate-forme carbonatée, le Calcaire de Betlis est remplacé par la formation du *Calcaire à Diphyoides* (Valanginien) d'un milieu plus profond. Les Couches à *Pygurus* (riches en gros grains de quartz détritique) et les Couches de Spitzern (alternances de bancs de calcaire et de marnes) sont des membres du Calcaire de Betlis.

1. Einleitung

In zwei Arbeiten (STRASSER 1979 und BURGER, in Vorb.) wurde die unterste Helvetische Kreide zwischen Vierwaldstättersee und Rheintal stratigraphisch, mikro-faziell und sedimentologisch untersucht.

Dadurch konnte die alte lithostratigraphische Gliederung verfeinert und genauer definiert werden, wobei einige Einheiten neu eingeführt oder umbenannt wurden. In Figur 1 wird schematisch die neue lithostratigraphische Stellung dieser Einheiten

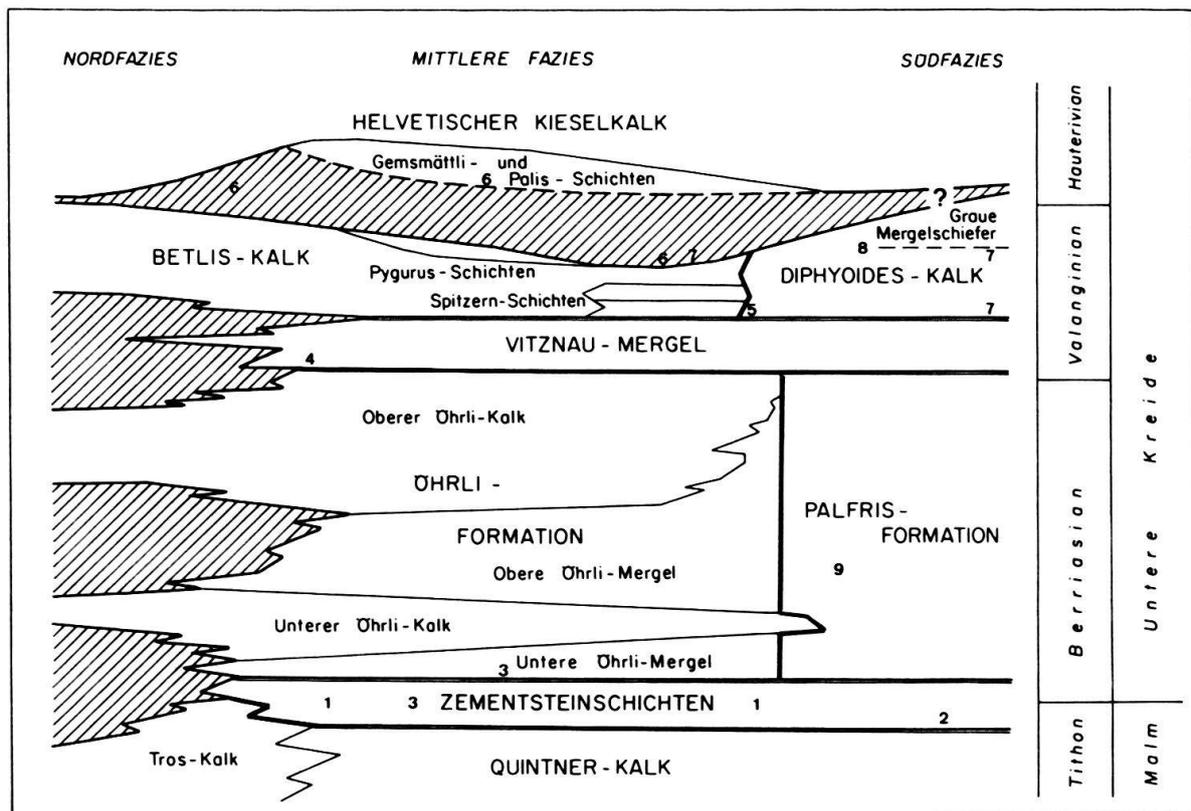


Fig. 1. Stellung der lithostratigraphischen Einheiten in der untersten Helvetischen Kreide. Die Darstellung ist schematisch; grössere Abweichungen westlich und östlich des Untersuchungsgebietes sind möglich. Formationsnamen sind gross, Namen von Formationsgliedern klein geschrieben. Hiatus und/oder Erosionsphasen sind schraffiert dargestellt. In der Vertikalen ist die Zeit maßstäblich aufgetragen, deshalb macht die Skizze keine Aussagen über Schichtmächtigkeiten bzw. Sedimentationsraten. Datierungspunkte: 1: DIEGEL (1973), 2: ARN. HEIM (1907), 3: SCHINDLER (1959), 4: PANTIĆ & BURGER (in Vorb.), 5: ARN. HEIM (1916), 6: HALDIMANN (1977), 7: ISCHI (1978), 8: STRASSER (1979), 9: TOBLER (1899b).

zueinander gezeigt. Im folgenden werden die einzelnen Formationen und deren Abgrenzung beschrieben; ausgewählte Profile illustrieren Lithologie, Mikrofazies und Variationsbreite der besprochenen Formationen. In einem abschliessenden Kapitel wird kurz auf die fazielle Entwicklung eingegangen.

Die untersuchten Sedimente wurden am Nordrand der unterkretazischen Tethys abgelagert (Schelfplattform und Schelfabhang). Die küstennähere, eher niedrig-energetische Zone des Schelfes wird als nördlicher, die hochenergetische Plattform und der Schelfrand werden als mittlerer Faziesgürtel bezeichnet. Die südliche Fazieszone umfasst die Sedimente des Schelfabhanges und des Beckenrandes.

Heute wird der nördliche Teil des Faziesraumes durch die tektonischen Elemente des Autochthon und Parautochthon, der Griesstock-, Wageten-, Clariden-, Glarner- und Mütschen-Einheiten sowie durch den Säntis-Nordrand repräsentiert. Die mittlere Fazies ist in der Axen-, Bächistock-, Silber- und der nördlichen Säntis-Drusberg-Decke (exklusive Säntis-Nordrand) sowie in der Randkette vertreten, die südliche Fazies in den Elementen der südlichen Drusberg-Churfürsten-Decke (vgl. Fig. 2 und 3).

Den Formationsbeschreibungen liegen neben den auf den Tafeln 3–6 dargestellten Profilen noch etwa 80 weitere Profile zugrunde.

Die in den Profilen eingetragenen Probennummern bezeichnen die Proben, von denen Dünnschliffe angefertigt wurden. Bei der Darstellung der lithologischen Kolonnen und der Fossilverteilung wurden auch Daten von weiteren Proben, Anschliffen, Schlammproben, Makrofossilfunden, Karbonat- und Tonmineralanalysen sowie Feldbeobachtungen verwendet. Die Prozentanteile der Komponenten im

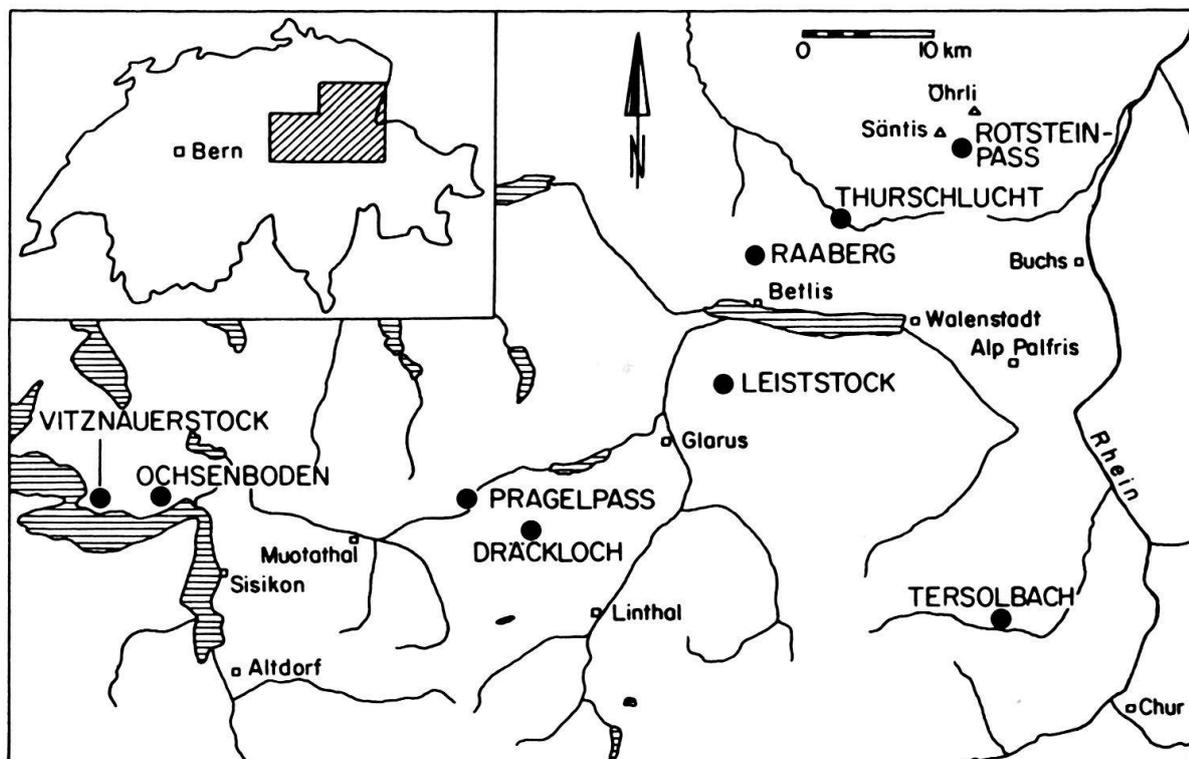


Fig. 2. Geographische Lage der Detailprofile.

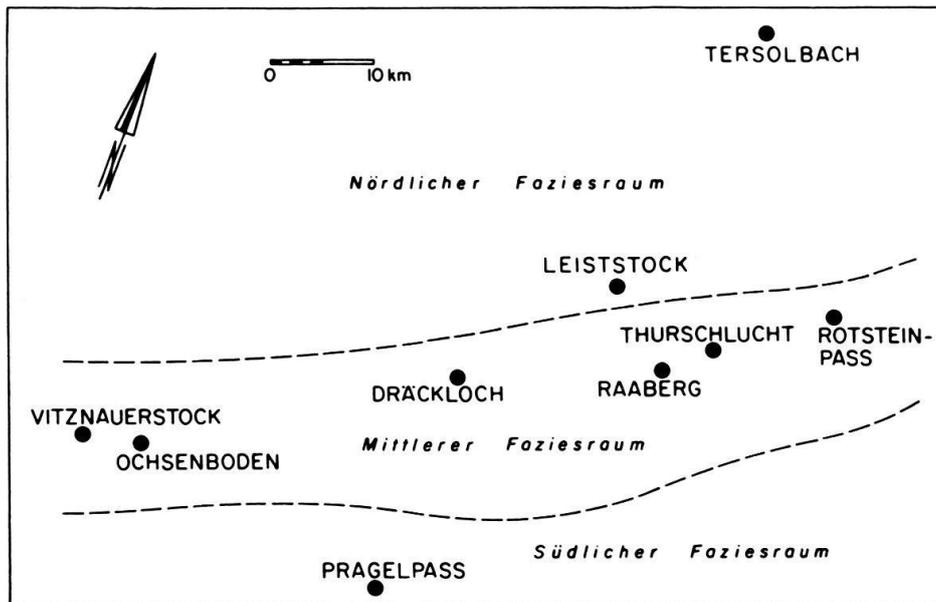


Fig. 3. Faziesräume und paläogeographische Lage der Detailprofile (schematisch; Abwicklung modifiziert nach TRÜMPY 1969 und FERRAZZINI & SCHULER 1976).

Dünnschliff wurden unter dem Mikroskop nach den Vergleichsbildern von BACCILLE & BOSELLINI (1965) abgeschätzt. Die Durchmesserkurven beziehen sich auf den unter dem Mikroskop geschätzten mittleren Durchmesser der Komponenten. Pelloide und Lithoklasten wurden im Sinne von FLÜGEL (1978) klassifiziert. Aggregatkörner sind zu den Lithoklasten, Rindenkörner je nach Ursprung zu den Bioklasten oder Lithoklasten gerechnet worden. In der Fossiliste sind nur die wichtigsten und häufigsten Gruppen aufgeführt.

Bei der Schreibweise der lithologischen Einheiten wurden die Richtlinien der Schweizerischen Geologischen Kommission (1973) berücksichtigt.

2. Öhrli-Formation

2.1 Historisches

Die vier lithologischen Einheiten Untere Öhrli-Mergel, Unterer Öhrli-Kalk, Obere Öhrli-Mergel und Oberer Öhrli-Kalk wurden bisher mit dem Begriff «Öhrli-schichten» zusammengefasst. Eingeführt wurde dieser Name von ARN. HEIM (1907) mit Bezug auf ein gut aufgeschlossenes Profil am Öhrli (Säntis-Nordrand). In ARN. HEIM (1916) ist die Öhrli-Formation stratigraphisch und paläontologisch eingehend bearbeitet. In den Arbeiten über die Typuslokalität und deren nähere Umgebung (SCHLATTER 1941 sowie GRASMÜCK-PFLUGER 1962) wurden die Stratigraphie und die Mikropaläontologie der Formation untersucht.

Die Untergrenze der Formation zu den Zementsteinschichten war für den Bereich Mürtschen- und Axen-Decke lange Zeit kontrovers (vgl. ARN. HEIM 1916, FREULER 1925, OBERHOLZER 1933, SCHINDLER 1959, HANTKE 1961 und DIEGEL 1973). Der von A. ESCHER eingeführte Name «Troskalk» wurde in seinem oberen

Teil (Obertroskalk) von ARN. HEIM ursprünglich mit dem Unteren Öhrli-Kalk korreliert. 1916 revidierte HEIM diese Einteilung und stellte den Obertroskalk als unter den Unteren Öhrli-Mergeln liegendes Gestein in die Zementsteinschichten. FREULER (1925) parallelisierte in der Mürtschen-Decke den Obertroskalk erneut mit dem Unteren Öhrli-Kalk, erhielt aber dadurch drei Öhrli-Kalke. In seiner Arbeit wurde der unterste dieser drei Kalke bald der Öhrli-Formation und bald den Zementsteinschichten zugeordnet. OBERHOLZER (1933) übernahm diese inkonsequente Einteilung FREULERS, revidierte sie jedoch später teilweise. SCHINDLER (1959) und DIEGEL (1973) wandten sich wieder der von HEIM (1916) geschaffenen Einteilung zu, die eine Vierteilung der Öhrli-Formation in je zwei Kalk- und Mergel-Serien beinhaltet und den Obertroskalk in die Zementsteinschichten stellt. Aufgrund der Feldbeobachtungen wird in dieser Arbeit weiterhin an dieser Einteilung festgehalten. Zwischen SCHINDLER (1959) und DIEGEL (1973) besteht eine unterschiedliche Beurteilung der Unteren Öhrli-Mergel in der Axen-Decke: Während SCHINDLER neben den tonigen Mergeln im Liegenden des Unteren Öhrli-Kalkes auch die darunterliegende kalkige sowie die basale mergelige Serie zu den Unteren Öhrli-Mergeln zählt (vgl. Tf. 5, Schichten 18–20), stellt DIEGEL die kalkigere sowie die basale mergelige Serie bereits zu den obersten Zementsteinschichten. Aufgrund der Feldbeobachtungen und der Faziesanalyse wird hier die Einteilung SCHINDLERS bevorzugt (vgl. Kap. 2.2, 2.5 und Tf. 5).

Aus nomenklatorischen Gründen wird hier eine Ablösung des Begriffs «Öhrli-schichten» durch die Bezeichnung «Öhrli-Formation» vorgeschlagen. Die Einteilung der Formation in die obengenannten vier Formationsglieder (Members) erfährt keine Änderung.

2.2 Überblick und Abgrenzung

Figur 1 zeigt die stratigraphische Stellung der Öhrli-Formation gegenüber den angrenzenden Formationen. Zudem wurde versucht, die nach Norden zunehmend grösser werdenden *Hiatus* innerhalb der Formation darzustellen. Diese *Hiatus* beruhen einerseits auf der partiellen Emersion von grösseren Gebieten im nördlichen Ablagerungsraum der Formation und andererseits auf Umlagerung und Resedimentation von Gesteinsmaterial der Öhrli-Formation gegen Süden. Dies wird angezeigt durch die in der nördlichen Fazieszone häufig auftretenden Omissionsflächen sowie die in der nördlichen, mittleren und stellenweise südlichen Fazieszone auftretenden lithoklastischen, feinkonglomeratischen und brecciösen Lagen von Öhrli-Kalk innerhalb der Öhrli-Formation sowie der Vitznau-Mergel.

Die Öhrli-Mergel werden nach Norden zunehmend kalkiger, teilweise auch durch Kalk ersetzt, während die Öhrli-Kalke gegen Süden zunehmend mergelige Zwischenlagen aufweisen oder teilweise durch Öhrli-Mergel ersetzt werden.

Im Übergang vom mittleren in den südlichen Faziesraum geht die Öhrli-Formation in die tonreiche Palfris-Formation über. Leider sind keine guten Profile im Bereich dieses Überganges aufgeschlossen.

Die Abgrenzung der Palfris-Formation gegenüber den Öhrli- und den Vitznau-Mergeln wird im Kapitel 3.4 behandelt. Für die Abgrenzung der Öhrli-Formation gegenüber den Zementsteinschichten wird, wie schon von DIEGEL (1973) und SCHINDLER (1959) angewendet, das Kriterium des Einsetzens von typischen Unteren

Öhrli-Mergeln (bzw. Unterem Öhrli-Kalk im Norden) vorgeschlagen. Die Zementsteinschichten als meist kalkdominante Wechsellagerung von mikritischen, sehr feinkörnigen Kalklagen (ähnlich dem Quintner-Kalk) und dunklen Mergelzwischenlagen heben sich deutlich ab von den zurückwitternden und sandreichen Unteren Öhrli-Mergeln. In der Axen- und Mürtschen-Decke sind die obersten Zementsteinschichten besonders kalkig ausgebildet und lassen sich so gut von den Unteren Öhrli-Mergeln trennen (DIEGEL 1973).

Im nördlichen Faziesbereich setzen die Unteren Öhrli-Mergel aus; ganz im Norden fehlen vielfach auch die Zementsteinschichten, so dass der Untere Öhrli-Kalk mit einer Omission direkt über dem Tros-Kalk liegt.

2.3 Lithostratigraphie und Mikrofazies

Die Öhrli-Formation besteht aus fossilreichen (vor allem benthonische Foraminiferen und Echinodermen) Kalken und Mergeln. Die folgende Beschreibung der vier Formationsglieder zeigt die Variabilität der Lithologie sowohl im West-Ost-Verlauf als auch innerhalb der Faziesräume.

2.31 Untere Öhrli-Mergel

Diese sind im mittleren Faziesbereich sowie im südlichsten Teil des nördlichen Faziesraumes ausgebildet und liegen zwischen den Zementsteinschichten und dem Unteren Öhrli-Kalk. Die Mächtigkeit beträgt im Norden wenige Meter und nimmt gegen Süden bis auf etwa 50 m zu. Ein vollständiges Profil ist sehr selten anzutreffen, da die Unteren Öhrli-Mergel meistens einen *tektonischen Abscherungshorizont* bilden. Im Liegenden gehen die Unteren Öhrli-Mergel mit einer geringmächtigen Übergangszone aus den Zementsteinschichten hervor.

Die Unteren Öhrli-Mergel sind mit dünnen Kalk- und Mergelkalklagen durchsetzte *siltig-sandige Mergel*. Sie enthalten eine reiche Mikrofauna, die jedoch stark pyritisiert ist. Tonmineral- und Gesteinsanalysen ergaben durchschnittliche Gehalte von etwa 45–70% Karbonat, 15–25% Tonmineralien und 5–30% Sand, Silt und authigenem Quarz. Unter den Tonmineralien dominieren Illit und Mixed-layer-Mineralien.

2.32 Unterer Öhrli-Kalk

Im nördlichen Faziesbereich liegt er meistens über den Zementsteinschichten, teilweise auch direkt auf Tros-Kalk (von diesem durch eine Omissionsfläche getrennt). Im mittleren Faziesbereich ist der Untere Öhrli-Kalk das jeweils geringmächtigste der vier Formationsglieder. Die Mächtigkeit beträgt normalerweise bis 35 m. Innerhalb der Mürtschen-Decke kann der Untere Öhrli-Kalk auch eine grössere Mächtigkeit aufweisen (bis etwa 100 m); die Mächtigkeit schwankt in dieser Decke lateral innerhalb von wenigen Kilometern extrem stark. Trotz seiner geringen Mächtigkeit hat der Untere Öhrli-Kalk die grösste Verbreitung aller vier Formationsglieder, denn er kommt an mehreren Stellen auch im Nordteil des südlichen Faziesraumes vor (als geringmächtige kalkige Einschaltung in der Palfris-Formation). Sowohl die eher geringe Mächtigkeit als auch die grosse Verbreitung

sind darauf zurückzuführen, dass dieser Kalk zumindest im mittleren Faziesraum grösstenteils ein *Resediment* mit hohem Anteil an Lithoklasten und Peloiden darstellt (kalkarenitische, z. T. calciturbiditische Sedimentation). Bioklasten sind häufig, während echte Ooide und Onkoide selten sind (vgl. Tf. 1, Fig. 6). Teilweise lassen sich solche Ooide als resistente Kerne von gerundeten Lithoklasten identifizieren. Viele Komponenten weisen Mikritränder oder dünne Algenkrusten auf. (In den Profiltafeln wurden nur solche Komponenten als Onkoide aufgeführt, die deutliche Algenkrusten haben.)

Im Profil Dräckloch (Tf. 5) zeigt sich eine mikrofazielle Ähnlichkeit zwischen dem Unteren Öhrli-Kalk und dem Gassen-Kalk (kalkarenitische Schicht innerhalb der Zementsteinschichten).

Im nördlichen Faziesbereich liegt der Untere Öhrli-Kalk meistens als foraminiferenreicher Pelmikrit oder Pelsparit vor, häufig mit Bio- und Lithoklasten.

Die Basis des Unteren Öhrli-Kalkes ist im nördlichen Faziesgebiet teilweise als omissions- bis kondensationsartige Zone ausgebildet, mit pyritreichen Kalkareniten und bioturbirten, fossilreichen dolomitischen Mergelkalken (Lokalität Silberplatten beim Säntis; vgl. auch TRÜMPY 1944 und SCHINDLER 1959).

2.33 Obere Öhrli-Mergel

Die bis 50 m mächtigen Oberen Öhrli-Mergel sind im Glarnerland reich an Foraminiferen und Echinodermen, während sie im Säntisgebiet eher fossilarm sind. Ähnlich wie in den Unteren sind auch in den Oberen Öhrli-Mergeln dünne Kalkplatten eingeschaltet. Die Oberen Öhrli-Mergel sind jedoch deutlich reicher an Karbonat und ärmer an Ton als die Unteren Öhrli-Mergel. Der Sandgehalt ist in den Oberen Öhrli-Mergeln sehr gering (max. 1-2%), während Lithoklasten, Bioklasten und Peloiden häufig sind (Tf. 1, Fig. 8). In diesem Sinn sind die Oberen Öhrli-Mergel, abgesehen vom Tongehalt, sedimentologisch und faziell eher mit dem Unteren Öhrli-Kalk vergleichbar als mit den Unteren Öhrli-Mergeln. Dies wurde auch bestätigt durch die detaillierte Auswertung eines Bohrkernprofils von unverwitterten Oberen Öhrli-Mergeln aus der Mürtschen-Decke bei Filzbach GL: In den Mergeln finden sich häufig Schichtpakete mit karbonatischen Lithoklasten (Durchmesser im Zentimeterbereich, vereinzelt bis über 10 cm).

In der Mürtschen-Decke können die Oberen Öhrli-Mergel stratigraphisch und tektonisch stark reduziert sein.

2.34 Oberer Öhrli-Kalk

Er kann eine Mächtigkeit von über 90 m erreichen und ist vor allem im mittleren und oberen Teil massig oder grobbankig. Der weisslichgraue Kalk ist mit seinen fossilreichen Lagen mit Echinodermen, benthonischen Foraminiferen, Muscheln, Bryozoen, Korallen und Algen von ähnlichem Aussehen wie der Schrattenkalk.

Ooidreiche Lagen finden sich vor allem im mittleren und oberen Bereich, während die *Lithoklasten, Bioklasten und Peloiden* vorwiegend im unteren und obersten Teil des Kalkes konzentriert sind (vgl. Tf. 1, Fig. 7).

Im nördlichen Faziesraum liegt der Obere Öhrli-Kalk meistens direkt unter dem Betlis-Kalk und wird von diesem oft durch eine dünne, dolomitreiche Omissionslage

getrennt. Die Omission zieht stellenweise bis in den mittleren Faziesraum nach Süden (unter die Vitznau-Mergel) und bewirkte dort eine dolomit- und pyritreiche oberste Schicht im Öhrli-Kalk, mit groben Lithoklasten und Bioklasten.

Im nördlichen Faziesraum ist der Obere Öhrli-Kalk meist ein fossilreicher Pelsparit oder Oosparit mit stellenweise grösserem Dolomit-Anteil. Kleine, dolomitisch-ankeritische Omissions-Horizonte sind häufig.

2.4 Verbreitung

Die Verbreitung der Öhrli-Formation ist auf den mittleren und nördlichen Faziesraum beschränkt. Sie zieht im Westen über das Berner Oberland (ISCHI 1978) bis in die Morcles-Decke (ARN. HEIM 1917; DECROUEZ & LOMBARD 1980).

Im Osten (Vorarlberg) ist ein Übergang in den «Oolithkalk» festzustellen (WYSSLING, in Vorb.).

2.5 Paratypusprofil Dräckloch (Tf. 5)

Das Typusprofil am Öhrlikopf (Säntis) wurde eingehend von GRASMÜCK-PFLUGER (1962) bearbeitet. Leider ist an der Typlokalität (sowie im übrigen Säntisgebiet) die Basis der Öhrli-Formation nicht sichtbar, zudem sind die Unteren Öhrli-Mergel im oberen Teil schlecht aufgeschlossen. Aus diesen Gründen wird dem Typusprofil ein Paratypusprofil beigelegt (Gassenstöcke/Dräckloch, nördlich des Bös Fulen, GL), in dem die Formation vollständig und tektonisch ungestört aufgeschlossen ist. Die Profilaufnahme erfolgte auf dem Grat, der vom Bös Fulen nach Norden zu den Gassenstöcken führt. Wo eine Profilaufnahme auf dem Grat nicht möglich war, wurde auf dessen Westseite aufgenommen. Die Öhrli-Formation geht oben in die Vitznau-Mergel über, die an dieser Stelle als Referenzprofil beschrieben werden (Kap. 4.6).

Die von SCHINDLER (1959) in der Axen-Decke des Glärnischgebietes festgestellten kalkigen Serien im mittleren bis unteren Bereich der Unteren Öhrli-Mergel treten auch im Dräckloch-Profil auf (Schicht 19). Das Dräckloch-Profil der Öhrli-Formation wurde von OBERHOLZER (1933) makroskopisch detailliert beschrieben, wobei seine Mächtigkeitsangaben etwas zu hoch ausfallen. Eine weitere Profilbeschreibung findet sich in HANTKE (1961).

Die Mächtigkeit des Oberen Öhrli-Kalkes wurde in den bisherigen Profilbeschreibungen deutlich zu hoch angegeben. Im Bereich des Mittleren Gassenstocks sind die Schichten an mehreren Stellen leicht gefaltet sowie schräggestellt, was eine genaue Mächtigkeitsmessung erschwert.

2.6 Referenzprofil Thurschlucht (Tf. 3)

Zur Veranschaulichung der Variationsbreite innerhalb der Öhrli-Formation im mittleren Faziesbereich wird das Profil im Thur-Durchbruch südöstlich von Stein im oberen Toggenburg (SG) beigelegt. Frühere Beschreibungen finden sich in ARN. HEIM (1905) sowie in KEMPF (1966). Das Profil wurde am rechten Thur-Ufer aufgenommen und für die Schichten 15 bis 18 durch Handstücke vom linken Ufer ergänzt. Der obere Teil der Schicht 15 sowie die Schicht 13 sind schlecht aufge-

schlossen. Die Öhrli-Formation geht oben in die Vitznau-Mergel über, die hier als Referenzprofil beschrieben werden (Kap. 4.6).

3. Palfris-Formation

3.1 *Historisches*

Die monotonen, dunklen Mergelschiefer, die stratigraphisch über den Zementsteinschichten der Säntis-Drusberg-Decke folgen und überall stark tektonisiert sind, wurden von A. ESCHER VON DER LINTH (Tagebücher 1865) erstmals erwähnt und von ARN. HEIM (1907) an der Lokalität *Alp Palfris* (damals *Alp Balfries*) beschrieben. An dieser Lokalität, zwischen Gonzen und Alvier gelegen, ist das Gestein zwar in grosser Mächtigkeit anstehend, aber durch tektonische Anhäufung, Verfaltung und interne Verscherung derart gestört, dass eine detailstratigraphische Bearbeitung nicht möglich ist.

ARN. HEIM (1913) fand am *Pragelpass* weitere Aufschlüsse der mit «Balfries-Schiefer» und «Balfries-Schichten» bezeichneten Gesteine. Im Westen wurden sie als «*Couches de Merligen*» («Merligschiefer») von TSCHAN (in KAUFMANN 1886) beschrieben.

FICHTER (1934) legte die Schiefer mit den «Valangien-Mergeln» zusammen und nannte sie «*Berrias-Valanginien-Mergel*». ISCHI (1978) übernahm diese Bezeichnung, unterschied aber verschiedene Lithologien. Er bestätigte (mündl. Mitteilung), dass die in der östlichen Schweiz mögliche Aufteilung in Palfris-Schiefer (monotone Schiefermergel, Berriasian) und in darüberliegende «Valanginien-Mergel» (neu: Vitznau-Mergel) auch westlich des Vierwaldstättersees im Feld sichtbar ist.

Für die Palfris-Schiefer wird hier der Name *Palfris-Formation* vorgeschlagen, da aus nomenklatorischen Gründen kein Texturbegriff in einem unmetamorphen Gestein als Name verwendet werden soll. Am Pragelpass ist das im Untersuchungsgebiet einzige durchgehend aufgeschlossene und detailstratigraphisch erfassbare Profil dieser Formation zu finden.

3.2 *Tektonik, Diagenese und Metamorphose*

In der Palfris-Formation liegen *Überschiebungshorizonte* der Helvetischen Decken. Die inkompetenten Mergel wurden dadurch sehr stark tektonisiert. Im Profil am Nordrand des Pragelpasses konnte durch eine Analyse der Tektonik, die anschliessend lithostratigraphisch-faziell verifiziert wurde, eine normalstratigraphische Abfolge rekonstruiert werden (Säulenprofil in Tafel 6, tektonische Skizze in Kapitel 3.6). Dabei ergibt sich für die Palfris-Formation und die Vitznau-Mergel zusammen eine Mächtigkeit von etwa 200 m, wovon etwa 46 m auf die Vitznau-Mergel entfallen. Die ursprüngliche Mächtigkeit dieser beiden Formationen zusammen genommen dürfte auch in den übrigen Gebieten der zentralen und östlichen Schweiz in der gleichen Grössenordnung liegen. Dabei finden sich an gewissen Lokalitäten (z. B. Palfris, Pragelpass) *tektonische Anhäufungen* von 350 bis 450 m, während an anderen Stellen (z. B. in den Churfirten) eine *Ausdünnung* stattfand.

Innerhalb der Palfris-Formation sind *Verfaltungen* im 10-m- bis 20-m-Bereich häufig anzutreffen (so die Schicht 5 im Profil Pragelpass), daneben fällt eine intensive innere Verscherung im Meterbereich auf (vgl. lithologische Profilsäule auf Tafel 6). Kalklagen sind öfters zerbrochen und boudiniert; die mächtigen Kalklagen (z. B. Dach der Schicht 8) zeigen normalerweise eine stark wechselnde Mächtigkeit, wobei die Schicht am Ort der grössten Mächtigkeit die geringste mechanische Resistenz und die höchste Konzentration an Tonmineralien aufweist. Diese Schwankungen im Mächtigkeitsbereich sind mindestens teilweise auf diagenetische Kalkentmischungsprozesse zurückzuführen. Schieferung und Kluftbildung sind von Lokalität zu Lokalität stark verschieden; im Untersuchungsgebiet nimmt beides um so mehr zu, je weiter der Aufschluss faziesmässig im Süden liegt.

Eine leichte Metamorphose hat nur im faziell südlichsten Teil stattgefunden (Fläscherberg: gut kristallisierter Illit und viel Chlorit), während an den übrigen Lokalitäten das Tonmineralspektrum keine Metamorphose impliziert (vgl. Kap. 3.3).

3.3 Lithostratigraphie, Mikrofazies und Lithologie

Einen detaillierten Überblick gibt Tafel 6. Die Palfris-Formation wird dominiert von teilweise geschieferten Mergeln, die mit Kalken und mergeligen Kalken von 5 bis 15 cm Mächtigkeit durchsetzt sind. Die Mergellagen sind – je nach Schicht – vier- bis fünfzehnmal so mächtig wie die Kalkbänke. Die dünnen Kalkbänke (sehr selten wird eine Mächtigkeit bis zu 1 m erreicht) sind mit unscharfem Kontakt zu den Mergeln abgegrenzt.

Die Tonmineralanalyse ergab höchste Prozentwerte für Mixed-layer-Mineralien (hier unregelmässige Wechsellagerungen von Chlorit, Illit und Montmorillonit), daneben Kaolinit, Chlorit und Illit.

Sowohl die Mergel als auch die Kalklagen sind monotone Mikrite mit wenig Fossilien und anderen Komponenten. Der *hohe Pyritgehalt* und die meist völlig fehlende Bodenfauna weisen auf ein ruhiges, teilweise anoxisches Ablagerungsmilieu unterhalb der Wellenbasis hin. Die Schichten mit häufigen Kalklagen enthalten stellenweise eine reichhaltigere Fauna (Brachiopoden, Seelilien, Muscheln, Ostracoden, Foraminiferen, Schwammnadeln und Calpionellen) und sind bioturbiert.

Für die Abgrenzung der Palfris-Formation von den Zementsteinschichten können ähnliche Kriterien benutzt werden wie die im Kapitel 2.2 erwähnten Unterscheidungsmerkmale der Zementsteinschichten gegenüber den Unteren Öhrli-Mergeln: Die Grenze liegt bei der Ablösung der eher kalkdominanten Wechsellagerung von dichten, dem Quintner-Kalk ähnlichen Kalken mit geringmächtigen Mergelzwischenlagen durch eine mergeldominante, tonreiche Serie mit wenigen, leicht mergeligen Kalklagen.

3.4 Abgrenzung gegenüber den Öhrli-Mergeln und den Vitznau-Mergeln

3.4.1 Abgrenzung der Palfris-Formation gegenüber den Öhrli-Mergeln

Die altersgleichen Sedimente der beiden Formationen gehen am Südrand des mittleren Faziesstreifens ineinander über, also dort, wo die hochenergetische und

seichte Schelfplattform mit der Öhrli-Fazies in das etwas tiefere, ruhige und eher lebensfeindliche Ablagerungsmilieu der Palfris-Formation überleitet. Dabei ist bemerkenswert, dass zwischen der südlichen Öhrli-Formation und der nördlichsten Palfris-Formation keine grösseren Mächtigkeitsunterschiede festgestellt werden können (je etwa 150–170 m). Damit wird aber nicht ausgeschlossen, dass der südliche Faziesraum als ganzer Block eine stärkere Subsidenz erfahren hat und dass innerhalb des südlichen Faziesraumes ein relativ schnelles Tieferwerden gegen Süden stattfand.

Der direkte Übergang der Öhrli- in die Palfris-Formation ist im Untersuchungsgebiet nicht aufgeschlossen. Der Südrand der am weitesten nach Norden vorgedrungenen Deckenpakete (Fläscherberg–Palfris–Südrand der Churfürsten–Neuenalp–Rädertenstock–Schweinalp–Pragelpass–Riemenstaldental) ist stets in der Fazies der Palfris-Formation ausgebildet, während die Aufschlüsse nördlicherer Fazies bereits der Öhrli-Formation angehören. Lithologisch sind die Öhrli-Mergel von der Palfris-Formation relativ gut unterscheidbar: Die Öhrli-Mergel, vor allem die Oberen, haben viel mehr und mächtigere *Kalkeinschaltungen* als die Palfris-Gesteine. Der Karbonatgehalt ist vor allem in den Oberen Öhrli-Mergeln sichtlich höher als in den Mergeln der Palfris-Formation. Auch der Gehalt an Fossilien, Peloiden, Litho- und Bioklasten ist in den Öhrli-Mergeln vielfach höher, zudem führen die Unteren Öhrli-Mergel meist viel mehr Sand als die Palfris-Formation. Auch die *Mächtigkeit* kann als Kriterium dienen: Weder die Unteren noch die Oberen Öhrli-Mergel werden mächtiger als 50 m. Ein ebenfalls für das gesamte Untersuchungsgebiet gültiges Unterscheidungskriterium ist das Gestein unmittelbar im Liegenden der Vitznau-Mergel: Ist es ein Kalk, so liegt die Öhrli-Formation vor, sind es Mergel, so handelt es sich um die Palfris-Formation.

3.42 *Abgrenzung der Palfris-Formation gegenüber den Vitznau-Mergeln der Südfazies*

Diese beiden Formationen sind im Feld schon von weitem gut trennbar; die Grenze liegt dort, wo die *Kalkzwischenlagen* schlagartig einen grösseren Anteil der Gesamtmächtigkeit einnehmen (in der Palfris-Formation etwa 10–15%, in den Vitznau-Mergeln etwa 30–40%). Der Karbonatgehalt der Mergellagen ist in den Vitznau-Mergeln höher als in der Palfris-Formation. Die Vitznau-Mergel haben in der Südfazies eine maximale Mächtigkeit von 50 m.

3.5 *Verbreitung*

Wie schon in Kapitel 3.41 erwähnt, ist das Vorkommen der Palfris-Formation auf das faziell südliche Helvetikum beschränkt. Gegen Osten zieht es weiter in die vorarlbergische Säntis-Decke (SCHAAD 1926; HEIM & BAUMBERGER 1933; WYSSLING, in Vorb.). Im Westen ist die Palfris-Formation weiterhin in der Drusberg–Wildhorn-Decke zu beobachten sowie an einer Stelle im südlichsten Teil der Randkette (ISCHI 1978; unteres Justistal: «Couches de Merligen», vgl. Kap. 3.1).

3.6 Typusprofil Pragelpass (Tf. 6)

Die mächtige Mergelgruppe am Pragelpass wurde erstmals von MOESCH (1881) als Berrias-Schichten erkannt. ARN. HEIM (1913) identifizierte diese Schichten in einer Profilaufnahme als die von ihm 1907 beschriebenen «Balfriesschichten». HEIM beschrieb im Profil jedoch nur summarisch die obersten 40 m der Palfris-Formation. Die im Kapitel 3.2 erwähnte tektonische Analyse erlaubte die Konstruktion eines stratigraphischen Sammelprofils (Tf. 6). In Figur 4 sind die tektonischen Verhältnisse dargestellt.

Das Profil beginnt im Chlön-Bach nördlich des Passes und geht bis zur Schicht 5 dem Hauptbach entlang nach oben, von dort an dem nördlich des Baches liegenden Grat entlang weiter bis zu den Vitznau-Mergeln und dem Diphyoides-Kalk. Die Schicht 9 kann als stark vermergeltes Äquivalent des Unteren Öhrli-Kalkes angesehen werden, mit hohem Gehalt an Lithoklasten. Der Übergang in die Zementsteinschichten ist gut aufgeschlossen, wobei die obersten 4–5 m der Zementsteinschichten lithologisch den Charakter der Unteren Öhrli-Mergel haben, mit erhöhtem Sandgehalt und vermehrten Mergelzwischenlagen.

3.7 Variationsbreite

Eine grosse lithologische Variationsbreite liegt nicht vor. Die trümmerreichen, geringmächtigen Lagen von Unterem Öhrli-Kalk in den nördlichsten Palfris-

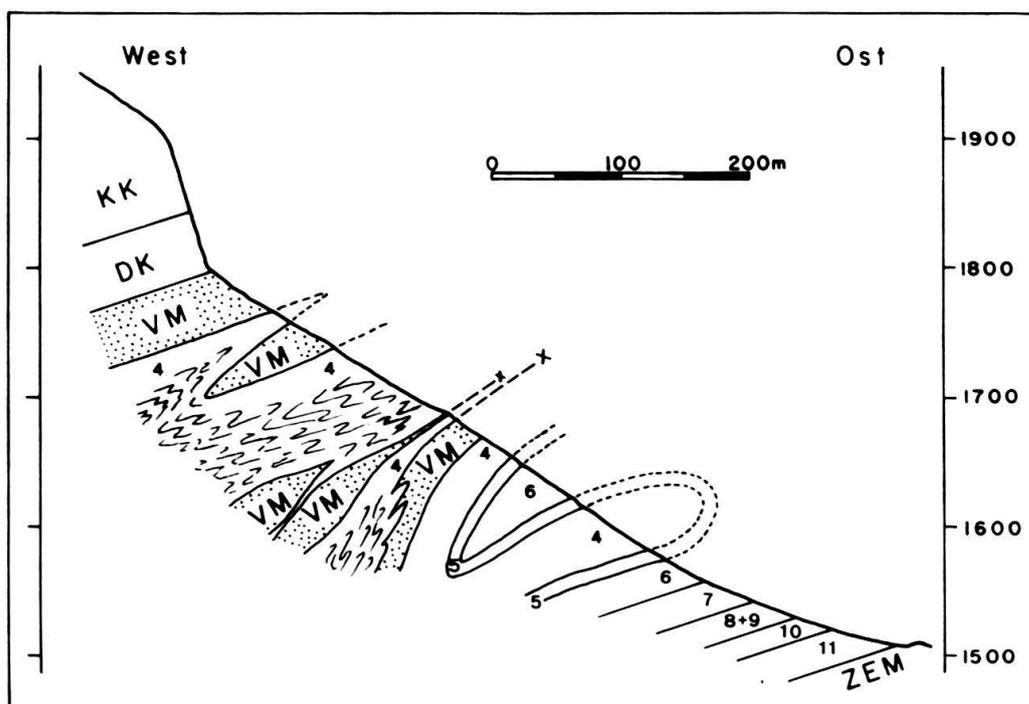


Fig. 4. Tektonische Verhältnisse Pragelpass.

Das Profil ist ein genauer Ost-West-Schnitt, angelegt auf der Abszisse, die durch die Spitze des Mieserenstocks geht. Die Lokalität befindet sich 1 km nördlich des Passes. Die Schichtnummern (Palfris-Formation) entsprechen denjenigen im Profil auf Tafel 6. Für die Formationen wurden dieselben Abkürzungen gebraucht wie in den Profiltafeln (DK = Diphyoides-Kalk).

Schichten wurden in Kapitel 2.32 erwähnt. Gegen Süden nimmt der Tonmineralanteil auf Kosten des Karbonatanteils merklich zu.

4. Vitznau-Mergel

4.1 *Historisches*

Im letzten Jahrhundert wurden die Mergel des unteren Valanginian vielfach mit den Drusberg-Schichten («Couloni-Schichten») verwechselt; dazu kam, dass man ihnen um die Jahrhundertwende eine ganze Anzahl verschiedener Namen gab: «Untere Coulonischichten» (TOBLER & BUXTORF 1905), «Rectangularis-Mergel» oder «Mytilus Couloni-Schicht» (TOBLER 1899b), «Obere Valangienmergel» (ARN. HEIM 1905).

ARN. HEIM (1907) führte darauf die einheitliche Bezeichnung «*Valangienmergel*» ein. FICHTER (1934) legte die «Valangienmergel» mit den «Palfrisschichten» zusammen und führte den Namen «Berrias-Valangienmergel» ein, der vor allem im Berner Oberland angewendet wurde und auch von ISCHI (1978) noch gebraucht wurde. In der östlichen Schweiz hielt man sich bis jetzt vorwiegend an die alten Namen von HEIM («Valangienmergel» und «Palfrisschiefer»). In der Westschweiz ist auch der Name «Valangien schisteux» gebräuchlich (für die Palfris-Formation und die Vitznau-Mergel zusammengenommen).

Alle diese Formationsnamen enthalten einen Stufennamen, was aus nomenklatorischen Gründen unzulässig ist. Als neue Bezeichnung wird hier *Vitznau-Mergel* vorgeschlagen, benannt nach einem vollständig und tektonisch ungestört aufgeschlossenen Profil oberhalb von Vitznau am Vierwaldstättersee.

Das von ARN. HEIM (1905) beschriebene Profil in der Thurschlucht hat den Nachteil, dass es tektonisch leicht gestört sowie teilweise nicht aufgeschlossen ist. Zudem ist es im mittleren Bereich der Vitznau-Mergel unzugänglich, so dass diese Stelle auf der andern Seite der Thur aufgenommen werden muss.

4.2 *Stratigraphische Einordnung*

Die Vitznau-Mergel stellen eine vorwiegend mergelige Sedimentationsphase dar, die von einer rein kalkigen (Betlis-Kalk und Diphyoides-Kalk) überlagert und von einer gemischten Sedimentationsphase (Öhrli-Formation und Palfris-Formation) unterlagert wird.

Die genaue biostratigraphische Einordnung der Vitznau-Mergel ist schwierig, da die Makrofauna nur ungenaue Alter liefert, während die Mikrofauna vorwiegend fazielle Resultate bringt. Versuche einer genauen Datierung (mittels Palynomorphen, Foraminiferen, Ostracoden und Calpionellen) sind noch im Gange. Schwierigkeiten bereitet vor allem die starke Pyritisierung der Mikrofossilien. Eine nur mässig pyritisierete Mergelprobe aus den alleruntersten Vitznau-Mergeln des Profils Rotsteinpass (Tf. 3) konnte mit Sporen und Pollen als unteres Valanginian datiert werden (PANTIĆ & BURGER, in Vorb.).

4.3 Lithostratigraphie und Mikrofazies

4.31 Überblick

Die Vitznau-Mergel lassen sich in *zwei lithologisch verschiedene Teile* gliedern: Der untere Teil besteht aus sandarmen, tonreichen Kalk-Mergel-Wechsellagerungen und ist sehr fossilreich: besonders häufig sind Exogyren und Serpuliden (vgl. Tf. 1, Fig. 1). Der obere Teil beginnt mit einer sandreichen Schüttungsabfolge, mit der die Austern verschwinden. Im obersten Teil folgt eine zweite Schüttung. Der obere Teil ist auffallend tonärmer und sandreicher als der untere Teil, auch die Fauna ändert stark. Die meisten Profile im nördlichen Teil des mittleren Faziesbereiches haben im Dach des Öhrli-Kalkes eine Omission, über der eine fossilreiche, mikritische Schicht folgt. Diese wird, obwohl sie kalkig ausgebildet ist, aus sedimentologischen Gründen schon zu den Vitznau-Mergeln gestellt. Die Vitznau-Mergel sind im unteren und oberen Teil reich an benthonischen Foraminiferen.

Der Übergang der Vitznau-Mergel in den Betlis-Kalk bzw. in den Diphyoides-Kalk ist in den Kapiteln 5.2 und 6.2 beschrieben.

4.32 Basale fossilreiche Schicht

Das zweite Profil der Tafel 3 zeigt ein Detailprofil des obenerwähnten kondensierten Überganges vom Öhrli-Kalk in die Vitznau-Mergel.

Die obersten Dezimeter des Öhrli-Kalkes sind leicht dolomitisch und häufig angebohrt, die Packung ist sehr dicht (vgl. Tf. 1, Fig. 7). Über grobem, sparitischem Öhrli-Kalk mit vielen Litho- und Bioklasten sowie Makrofossilien folgt ein feinkörniger, pyritreicher Horizont.

Darüber folgt die mehrere Dezimeter mächtige, dolomitisch-ankeritische Schicht, in der viele grobe (0,5–5 mm), gerundete Lithoklasten und oft auch Bioklasten in einer rotgelben bis graubraunen mikritischen Matrix liegen. Häufige Makrofossilien sind tellerförmige Korallen, Muscheln, Serpuliden, Bryozoen, Brachiopoden, Algen und Kalkschwämme. Grössere, auf dem Substrat festgewachsene Fossilien sind meistens angebohrt (vgl. Tf. 1, Fig. 3–5).

In den meisten Profilen folgt nun eine dünnbankige Kalk-Mergel-Wechsellagerung (Mergel sandig, Kalke dolomitreich), die wiederum grössere Litho- und Bioklasten führt. Darauf liegen die austernreichen Kalk-Mergel-Wechsellagerungen.

Der hier beschriebene Übergang von der Öhrli-Formation in die Vitznau-Mergel ist neben dem Profil an der Typuslokalität auch im Profil Dräckloch und in einem Profil 600 m südwestlich der Spitze des Wasserbergs (SZ) in sehr ausgeprägter Form zu beobachten.

4.33 Sandreiche Schüttungen im oberen Teil der Vitznau-Mergel

Im oberen Teil der Vitznau-Mergel beginnt in allen Profilen des mittleren Faziesbereiches eine Serie von *Feinsandschüttungen*. Mit dem Beginn dieser Schüttungen wird das Gestein viel kalkiger, und die in den unteren Vitznau-Mergeln häufigen Austern (*Exogyra couloni* D'ORB.) verschwinden schlagartig. Auch die übrige Fauna wird durch das Einsetzen der ersten Sandschüttung sehr stark reduziert. In den untersten 2–3 der dicht aufeinanderfolgenden Einzelschüttungen (Mächtigkeit 1–2 dm) liegt im Dach jeweils feiner Austernschill.

Die einzelnen Sandschüttungen setzen über mergeligem Gestein ein und prägen oft «flute casts» und «drag marks» von einigen Zentimetern Breite und Dicke sowie

bis zu mehreren Dezimetern Länge in den Untergrund (vgl. Tf. 1, Fig. 9 und 10). Neben feinem Quarzsand (bis 40%) wurden auch feine Karbonatkörner geschüttet. Die Sandschüttungen gruben ein Mikrorelief in das Liegende und zeigen oft *Schräg- und Kreuzschichtung*. Die Schüttungen sind sehr *reich an Pyrit*; dieser ist in auffallender Weise an der Basis der Schüttungen konzentriert (vgl. Tf. 1, Fig. 2). Verschiedene Indizien deuten darauf hin, dass ein Teil des Pyrits detritisch ist (Umlagerung im Wasser über kürzere Distanz). Die Abklärungen zu dieser wichtigen Frage sind noch im Gange. Eine Einzelschüttung zeigt jeweils eine kontinuierliche Abnahme des Sandgehaltes und geht oben in eine Mergelzwischenlage über. Darüber folgt die nächste Schüttung, wobei auch einige schüttungsfreie Kalk-Mergel-Lagen dazwischengeschaltet sein können. Auch die schüttungsfreien Lagen der oberen Vitznau-Mergel haben einen hohen Feinsandgehalt. Im obersten Teil der Vitznau-Mergel folgt eine zweite, weniger mächtige Schüttungsabfolge. Im Dräcklochprofil liegt an dieser Stelle eine gradierte Breccie aus Öhrli-Kalk-Komponenten (vgl. Tf. 5).

4.4 Verbreitung

Die Vitznau-Mergel sind im gesamten mittleren und südlichen Faziesraum verbreitet; auch im südlichen Aufschluss des Fläscherbergs lassen sie sich deutlich von der Palfris-Formation abtrennen. Im nördlichen Teil des mittleren Faziesbereiches geht die Mächtigkeit der Formation nach Norden immer stärker zurück, und im nördlichen Faziesraum kommen die Mergel nur noch lokal vor (häufig in einer völlig atypischen Ausbildung, z. B. als schwarze schiefrige Mergel). Eine gute Beschreibung für das Auskeilen der Vitznau-Mergel nach Norden gibt SPÖRLI (1966). Vereinzelt ist die Formation nur noch durch die Sandschüttungen repräsentiert (z. B. im nördlichen Säntis). Die *Reduktion der Formation* gegen Norden setzt stratigraphisch von oben nach unten ein und umfasst gegen Norden immer tiefere Bereiche. Dies ist am Profil Rotsteinpass (Tf. 3) gut sichtbar, wo die obere Schüttungsabfolge fehlt und zwischen dem Betlis-Kalk und den Vitznau-Mergeln eine mehrere Dezimeter mächtige Kondensations- und Omissionszone liegt.

4.5 Typusprofil Vitznauerstock (Tf. 3)

Das Typusprofil liegt an der Nordwestseite des Vitznauerstockes in der Zentralschweiz, am nördlichen oberen Ende eines Bergsturz-Trümmerfeldes. In der Schicht 3 kann eine stratigraphische *Diskordanz* beobachtet werden: Mit einer Winkeldiskordanz von etwa 15 bis 20° nimmt die Mächtigkeit der Mergel gegen Süden hin um etwa 3,2 m zu. ISCHI (1978) beschreibt an dieser Lokalität ein Profil vom Öhrli-Kalk bis zum Kieselkalk.

4.6 Referenzprofile

4.61 Profil Thurschlucht (Tf. 3)

A. ESCHER VON DER LINTH war der erste, der sich intensiv mit dem Valanginian-Profil in der Thurschlucht südöstlich von Stein SG befasste. Es gelang jedoch erst

ARN. HEIM (1905), das Profil richtig zu deuten. Eine neuere Profilaufnahme stammt von KEMPF (1966).

Die Profilaufnahme erfolgte am rechten Ufer der Thur, die Schicht 3 musste auch auf der linken Seite aufgenommen werden. Schicht 1 wurde in einer nach oben führenden Mergelrunse aufgenommen. In der Schicht 3 sind auf der linken Seite der Thur grosse Marken an der Basis der unteren Sandschüttung sichtbar.

4.62 *Profil Rotsteinpass* (Tf. 3)

Das Profil liegt westlich des Rotsteinpasses am Weg zum Lisengrat, im Nordwestschenkel des «Haupt-Gewölbekerns» nach ARN. HEIM (1916) bzw. der «Rotstein-Antiklinale» nach KEMPF (1966). Sehr eindrücklich ist eine Dreiteilung der Vitznau-Mergel in untere, bioturbirte und muschelhaltige Wechsellagerungen, in die markant herauswitternde untere Sandschüttung im Mittelbereich des Profils und in die oberen Vitznau-Mergel, in denen die obere Sandschüttung fehlt. An deren Stelle liegt zwischen den Mergeln und dem Betlis-Kalk eine kondensationsartige, fossilreiche Zone mit sehr vielen Lithoklasten.

4.63 *Profil Dräckloch* (Tf. 5)

Die Profilaufnahme erfolgte auf dem Grat zwischen Mittler und Vorder Gassenstock. Die in den Kapiteln 4.32 und 4.33 beschriebenen Phänomene (kondensationsartige Basalzone und Sandschüttungen) sind in diesem Profil besonders schön zu sehen.

4.64 *Profil Pragelpass* (Tf. 6)

Hier liegen die Vitznau-Mergel in Form von monotonen Kalk-Mergel-Wechsellagerungen vor (vgl. ARN. HEIM 1913). Das Gestein ist trotz Fossilarmut stark bioturbirt.

4.7 *Variationsbreite*

Die Variationsbreite der Vitznau-Mergel ist vor allem im Nord-Süd-Profil sehr ausgeprägt und wurde in den Kapiteln 4.3 und 4.4 beschrieben. In Ost-West-Richtung ist bemerkenswert, dass der mittlere Faziesraum östlich des Glarnerlandes offenbar verschmälert wird. Im östlichen Vierwaldstättersee-Gebiet (Sisikon-Riemenstaldental) ist die Südfazies etwa gleich ausgebildet wie am Pragelpass (ARBENZ 1905): Monotone, detritusarme und fossilarme Vitznau-Mergel von etwa 40 bis 50 m Mächtigkeit.

5. **Betlis-Kalk**

5.1 *Historisches*

ARN. HEIM (1905) beobachtete im «Valangien s.l.» des Säntis-Gebirges zwei Kalkkomplexe. Den unteren nannte er 1907 Öhrli-Kalk; für den oberen wählte er den Namen «Valangien-Kalk» und ordnete ihn dem «Valangien s.str.» zu. Früher

war dieser Kalk oft mit dem Helvetischen Kieselkalk oder mit dem Schratzenkalk verwechselt bzw. verglichen worden. So sprachen KAUFMANN (1886) im Justistal und TOBLER (1899a) in der Axenkette von «Unterm Kieselkalk». ALB. HEIM (1905) hatte «Valangien-Kalk» und «Kieselkalk» im Säntisgebirge zum «Neocomien» zusammengefasst.

Um für den «urgonartigen Kalk des Valangien s.str.» einen unzweideutigen Namen einzuführen und um ihn vom Öhrli-Kalk, dem «urgonartigen Kalk des Berriasien», zu unterscheiden, schlug ARN. HEIM (in HEIM & BAUMBERGER 1933) die Bezeichnung «Betliskalk» vor, nach dem Dorfe Betlis am Walensee. Dieser Ausdruck setzte sich vorerst nicht durch; spätere Autoren haben wieder den Begriff «Valangienkalk» bzw. «Valangiankalk» vorgezogen.

Da ein Formationsname kein Alter implizieren soll, wird hier der Ausdruck *Betlis-Kalk* übernommen.

5.2 Lithostratigraphie und Mikrofazies

Im nördlichen Faziesraum ist der Betlis-Kalk durch eine dünne Schichtfuge (z.T. mit Hardground-Bildungen) vom liegenden Öhrli-Kalk getrennt, oder er entwickelt sich aus diesem mit einem raschen Übergang auf 5–20 cm (auf Figur 1 nicht dargestellt; impliziert eine sehr niedrige Sedimentationsrate). Stellenweise schalten sich dünnplattige Äquivalente der Vitznau-Mergel zwischen den Öhrli-Kalk und den Betlis-Kalk ein (vgl. Kap. 4.4).

Im mittleren Ablagerungsraum findet ein gradueller Übergang von den Vitznau-Mergeln zum Betlis-Kalk statt. Die Mergellagen werden immer dünner und verschwinden gegen oben ganz, wobei sich dieser Wechsel über wenige Dezimeter bis einige Meter hinweg vollziehen kann.

Hell- bis dunkelgelbbraun in der Anwitterung, hebt sich der Betlis-Kalk meist deutlich vom hellgrauen Öhrli-Kalk oder vom schmutziggelbschwarzen Kieselkalk ab. Wo die Vitznau-Mergel die Unterlage bilden, baut der Betlis-Kalk nicht selten eine markante Geländestufe auf. Der Betlis-Kalk ist mittel- bis grobgebankt. Oft lässt sich eine Zweiteilung der Formation durch eine leicht zurückwitternde, dünnplattige Zone erkennen. Im mittleren Faziesgürtel ist der untere Teil z.T. kräftig braungelb gefärbt.

Die Formation des Betlis-Kalkes wird durch einen meist deutlich ausgebildeten Hardground abgeschlossen. Darüber folgen die kondensierte und phosphatisierte Gemsmättli-Fossilschicht, die Gemsmättli-Glaukonitbank und (im Churfirstengebiet) die Palis-Schichten (HALDIMANN 1977), welche zum Helvetischen Kieselkalk überleiten. HALDIMANN (1977) hat die Gemsmättli- und Palis-Schichten (basale Formationsglieder der Kieselkalk-Formation) bearbeitet und festgestellt, dass die Kondensation vom untersten Hauterivian im nördlichen Faziesraum bis ins untere Ober-Valangian im mittleren Faziesraum hinuntergreift (Fig. 1). Der Helvetische Kieselkalk wurde von FUNK (1971) beschrieben.

Die Mächtigkeit des Betlis-Kalkes beträgt zwischen 5 und 30 m im nördlichen, zwischen 30 und 105 m im mittleren Faziesraum.

Der Betlis-Kalk wurde auf einem seichten, komplex gebauten Schelf abgelagert (vgl. STRASSER 1979, S. 138 ff.). Im nördlichen Faziesraum überwiegen Biopelmikrite

eines niedrigerenergetischen Milieus. Die Mikrofauna besteht hauptsächlich aus Muscheln, Echinodermen, Bryozoen, Rotalgen und benthonischen Foraminiferen (Tf. 2, Fig. 1). In den oberen Teil des nördlichen Betlis-Kalkes wurde stellenweise feiner detritischer Quarz eingeschwemmt (Tf. 2, Fig. 2). Im mittleren Faziesraum ist der Betlis-Kalk meist als Biopelsparit ausgebildet. Die Fossiltrümmer sind gerollt und randlich mikritisiert. Häufig sind dickschalige Muscheln und Echinodermen, seltener Bryozoen, Rotalgen, benthonische Foraminiferen, Brachiopoden, Gastropoden, Serpuliden, Kalkschwämme und Ostracoden. Peloide, Intraklasten und Fossiltrümmer können klein und gut sortiert (Tf. 2, Fig. 3) oder als grosse, schlecht sortierte Komponenten zusammengeschwemmt sein (Tf. 2, Fig. 4). Ooide sind selten und auf den östlichen Teil des Untersuchungsgebietes beschränkt. Vor allem im zentralen Faziesgürtel treten im mittleren und oberen Teil des Betlis-Kalkes oft Silexknollen und -lagen auf. Verkieselte Muscheltrümmer, die gelblichweiss aus dem Gestein hervorstehen, sind für den ganzen Betlis-Kalk typisch.

Die sehr variable Mikrolithologie des Betlis-Kalkes ist aus den Detailprofilen (Tf. 4 und 5) ersichtlich. Beispiele für die wichtigsten Mikrofaziestypen zeigt die Phototafel 2.

5.3 Verbreitung

Die (paläogeographisch) nördlichsten Aufschlüsse des Betlis-Kalkes finden sich im Autochthon und Parautochthon. In der Doldenhorn-Decke (STAUFFER 1920) und in der Gellihorn-Decke (STRASSER 1979) des Berner Oberlandes sowie in den nördlichsten Ketten des Vorarlbergs (WYSSLING, in Vorb.) liegt eine sehr küstennahe Fazies vor. Nach Süden hin, ungefähr entlang der Linie Mittlere Churfürstenscheye-Brunnen (d. h. an der Grenze zwischen nördlichem und mittlerem Faziesraum), geht der Betlis-Kalk in den hemipelagischen Diphyoides-Kalk über. Der Betlis-Kalk lässt sich nach Westen über die Wildhorndecke (ISCHI 1978) bis in die Morcles-Decke (ARN. HEIM 1917) verfolgen. Im Vorarlberg ist der Betlis-Kalk als Teil des «Oolithkalkes» vertreten (WYSSLING, in Vorb.).

5.4 Spitzern-Schichten

Im Gebiet des Vierwaldstättersees (Randkette und Axen-Decke) ist der untere Teil des Betlis-Kalkes als Kalk-Mergel-Wechselagerung ausgebildet. Über den Vitznau-Mergeln folgt eine etwa 20 m mächtige Serie, in der die Kalkbänke dominieren. BUXTORF (1910) hatte sie nach der Lokalität Spitzern (südöstlich der Rigi-Hochfluh) Spitzern-Kalk genannt.

Zwischen den eigentlichen Betlis-Kalk und den Spitzern-Kalk schaltet sich eine 3–17 m mächtige Zone ein, bei welcher die Mergellagen stärker ausgebildet sind und die oft als Hohlkehle zurückwittert (Spitzern-Mergel nach BUXTORF 1910). Spitzern-Kalk und Spitzern-Mergel, zusammengefasst als *Spitzern-Schichten*, werden als *Formationsglieder* (Members) des *Betlis-Kalkes* definiert.

Es handelt sich vorwiegend um Biopelmikrite mit viel feinem Quarzsand, die in etwas tieferem Wasser abgelagert wurden (Fig. 6, Tf. 2). Dünnschalige Muscheln, Echinodermen, agglutinierende Foraminiferen und Kieselschwammnadeln machen

die Mikrofauna aus. Die Verteilung der Gesteinskomponenten ist im Profil Ochsenboden (Tf. 4) dargestellt.

Nach Westen und nach Osten hin verliert sich die deutliche Dreiteilung der Formation rasch. Der bräunliche untere Teil des Betlis-Kalkes im mittleren Faziesraum, der z.T. auch durch Feinsand ausgezeichnet ist, kann höchstens noch als Äquivalent der Spitzern-Schichten angesehen werden (vgl. HANTKE 1961, HERB 1962, KEMPF 1966).

5.5 *Pygurus*-Schichten

Von ARN. HEIM (1905) nach *Pygurus rostratus* AG. benannt, bilden sie ein weiteres Formationsglied des Betlis-Kalkes (FUNK 1971, HALDIMANN 1977).

Im mittleren Faziesraum kann der oberste Betlis-Kalk groben Quarzsand aufnehmen. Nach HALDIMANN (1977) spricht man dann von *Pygurus*-Schichten, wenn der Anteil an detritischem Quarz bei einer maximalen Korngrösse von über 0,5 mm (oder bei einem mittleren Korndurchmesser von über 0,25 mm) 5% übersteigt. Die Mächtigkeit der *Pygurus*-Schichten beträgt bis zu 30 m, oft sind sie aber auch nur noch reliktmäßig erhalten. Es muss angenommen werden, dass im mittleren Faziesraum die *Pygurus*-Schichten relativ mächtig abgelagert und z.T. später wieder wegerodiert wurden (vgl. STRASSER 1979, S. 183 ff.).

Die *Pygurus*-Schichten ziehen gegen Westen über das Berner Oberland in die Morcles-Decke hinein (ARN. HEIM 1917). Östlich des St. Galler Rheintales sind noch grobsandige Äquivalente vorhanden (WYSSLING, in Vorb.).

Der oberste Teil des Profils Raaberg (Tf. 4) zeigt die Mikrolithologie der *Pygurus*-Schichten (Fig. 5 auf Tf. 2). Relikte sind im Profil Ochsenboden in Bohrgängen erhalten (Tf. 4).

5.6 *Paratypusprofil des Betlis-Kalkes* (Tf. 4)

1916 hatte ARN. HEIM das Profil an der Strasse von Weesen nach Betlis aufgenommen und es 1933 als Typusprofil für den Betlis-Kalk vorgeschlagen. Der Betlis-Kalk ist dort aber tektonisch gestört, so dass sich die Mächtigkeit nur grob abschätzen lässt. Ebenfalls ist die Basis nicht aufgeschlossen. *Pygurus*-Schichten fehlen.

Es wird deshalb das Profil Raaberg als *Paratypusprofil* beschrieben. Dieses Profil wurde entlang der Felswand östlich von Pt. 1732.0, am östlichen Ausläufer des Mattstocks (SG), aufgenommen. Der Fusspunkt liegt am südlichen Ende der Felswand, beim Übergang zur Hohlkehle der Vitznau-Mergel.

Der Betlis-Kalk ist hier typisch für den mittleren Faziesraum: Der untere Teil des Profils wittert gelbbraunlich an und zeigt eine wechselvolle Lithologie. Markant sind die beiden stark dolomitischen Lagen (Proben Nr. 15 und 22) sowie die dolomitischen Schlieren und die rundlichen, zentimeter- bis dezimetergrossen Kalkknollen an der Basis. Der grobe Biodetritus ist z.T. schrägschichtet und oft verkieselt. Die Bänke sind 5–30 cm mächtig und leicht gewellt.

Eine zurückwitternde Zone leitet über zum homogeneren, heller anwitternden oberen Betlis-Kalk. Die Bankung ist unregelmässig (20–80 cm). Vereinzelt finden sich Belemniten.

Die obersten 2,6 m der 57 m mächtigen Abfolge werden durch die *Pygurus*-Schichten gebildet, wobei die obersten 1,5 m besonders viel Grobsand enthalten. Die Bänke messen hier 20–40 cm.

Der Hardground, der das Dach der Formation bildet, greift mit Taschen bis zu 30 cm tief in den Betlis-Kalk hinein. Über etwa 5 cm Gemsmättli-Schicht (reich an phosphatisierten Ammonitensteinkernen und Seeigeln) folgt der Kieselkalk.

5.7 Referenzprofile

Um den Betlis-Kalk in seiner ganzen Variationsbreite zu erfassen, werden noch vier Referenzprofile aufgeführt:

5.71 Profil Tersolbach (Tf. 4)

Dieses Profil soll den nördlichen Teil des Ablagerungsraumes repräsentieren. Es wurde entlang dem Weg von Gigerwald (Calfeisental, SG) nach der Alp Tersol aufgenommen.

Über einem zurückwitternden Band von Öhrli-Kalk folgen 19–20 m grob gebankter, gelblichgrau anwitternder Betlis-Kalk. Er bildet eine deutliche Geländestufe. Vereinzelt treten kleine verkieselte Muschelschalen auf. Auffallend ist das leicht zurückwitternde, dünnplattige Band in der Mitte des Profils.

Dünne Phosphoritschlieren und kleine Phosphoritknöllchen sowie eine Anreicherung an feinem Quarzsand stellen das Äquivalent eines Hardground dar und markieren die Formationsgrenze. Die untersten 3 m des Kieselkalkes mit der 4 cm mächtigen Feinsandschüttung sind hier dem Betlis-Kalk sehr ähnlich, haben aber einen höheren Anteil an authigenem Quarz.

5.72 Profil Leiststock (Tf. 4)

Das Profil Leiststock aus dem südlichen Teil des nördlichen Faziesraumes wurde in der Runse südlich des Leiststockes (zwischen Nüenchamm und Fronalpstock, GL) aufgenommen.

Eine etwa 30 cm mächtige Übergangszone aus rötlich anwitterndem, dunklem Kalk leitet von der Öhrli- in die Betlis-Formation über.

Der Betlis-Kalk wittert hellgelbgrau an und ist grob gebankt (0,3–1 m). Auf einigen Schichtflächen sind Fraßspuren zu erkennen. Der untere Teil des Profils führt viele verkieselte Trümmer von Austernschalen, vor allem in der charakteristischen Bank bei Probe 9. Der mittlere Teil des Profils wird von Silexbildungen durchzogen. Auch in diesem Profil tritt ein zurückwitterndes Band auf (Probe 10). Der obere Teil der Abfolge zeigt eine starke Zunahme an feinem detritischem Quarz.

Der hier 31 m mächtige Betlis-Kalk wird durch einen deutlichen Hardground und eine 7–8 cm dicke Gemsmättli-Schicht mit Phosphoritknollen und phosphatisierten Ammonitensteinkernen abgeschlossen.

5.73 Profil Ochsenboden (Tf. 4)

In diesem Profil werden die Spitzern-Schichten beschrieben, die hier besser zugänglich sind als an der nahe gelegenen Typlokalität Spitzeren.

Das Profil wurde am Fusse des Felsrückens östlich Pt. 1417 (Ochsenboden, südöstlich der Rigi-Hochfluh, SZ) aufgenommen. Die tektonisch gestörten Vitznau-Mergel bilden eine tiefe, E–W laufende Hohlkehle.

Die 19 m Spitzern-Kalk (steil südfallende Schichten) gehen rasch aus den Vitznau-Mergeln hervor und bilden eine Wechsellagerung von wulstigen Kalkbänken (2–25 cm mächtig) und mergeligen Zwischenlagen (5–15 cm). An den Schichtflächen lassen sich z. T. Marken und Fraßspuren erkennen.

Die hier 8 m mächtigen Spitzern-Mergel bilden eine zweite deutliche Hohlkehle. 6–12 cm dicke Kalkbänke und -linsen wechseln mit 5–10 cm mächtigen Mergellagen. Vor allem die Mergellagen der Spitzern-Schichten haben einen grossen Anteil an Tonmineralien und feinem detritischem Quarz.

Der eigentliche Betlis-Kalk im oberen Teil des Profils ist etwa 27 m mächtig. Mit einem Übergang entwickelt er sich aus den Spitzern-Mergeln. Die Bankung liegt zwischen 30 und 80 cm. Silexknollen und -linsen (z. T. auch eckige Formen) durchziehen den mittleren Teil der Abfolge. In den obersten 3,2 m treten undeutliche Kalkknollen, grobsandige, glaukonitische Nester und einzelne Belemniten auf.

Über einem knolligen, phosphorisierten und z.T. verkieselten Hardground folgen etwa 20 cm Gemsmättli-Schichten und dann der Helvetische Kieselkalk.

5.74 Profil Dräckloch (Tf. 5)

Das Profil Dräckloch in der Axen-Decke ist ein weiteres Beispiel für den Betlis-Kalk des mittleren Faziesraumes. Die 63 m mächtige Abfolge bildet mit steil stehenden Schichten eine Felsrippe, die WSW-ENE über den Läng Boden (GL) zieht. Das Profil bildet die Fortsetzung des in den Kapiteln 2.5 und 4.63 beschriebenen Profils.

Der untere Teil des Betlis-Kalkes zeichnet sich durch Schlieren und 2-4 cm dicke Horizonte reich an feinem detritischem Quarz aus. Feinsand und Biodetritus sind z.T. schräggeschichtet. Silexknollen und -linsen, die auch quer zur Schichtung liegen können, durchziehen vor allem den mittleren Teil des Profils. Überall treten grosse (2-10 cm) verkieselte Muschelschalen auf, die oft in einzelnen Bänken (0,2-1,8 m mächtig) angehäuft sind.

Die Pygurus-Schichten machen die obersten 14 m des Profils aus. Der grobe Quarzsand ist in Schlieren konzentriert und umfließt oft rundliche Kalkkomponenten (5-15 cm Durchmesser). Grosse Seeigel und Muscheln fallen auf. Auf einer unregelmässigen, verkarsteten Oberfläche kleben 1-5 cm Gemsmättli-Fossilschicht mit phosphoritischen Ammonitensteinkernen. Der Übergang zum Kieselkalk ist nicht abgeschlossen.

6. Diphyoides-Kalk

6.1 Historisches

ARN. HEIM (1907) erkannte in den plattigen, gelblichen Kalken der Axenstrasse und der südlichen Churfürsten das bathyale Zeitäquivalent des neritischen Betlis-Kalkes und schuf dafür den Namen «Diphyoideskalk», nach *Pygope diphyoides* D'ORB.

MOESCH und STUDER hatten 1872 eine *Pygope diphyoides* als *Terebratula diphya* v. BUCH bestimmt, diese Kalke «Diphyenkalk» genannt und sie dem Tithon zugeordnet. MOESCH (1894) und TOBLER (1895) erkannten den Fehler, stellten die Kalke dann aber ins Berriasian.

Da der Diphyoides-Kalk sich grundlegend vom Betlis-Kalk unterscheidet, wird er hier als eigene Formation beschrieben.

6.2 Lithostratigraphie und Mikrofazies

Der Diphyoides-Kalk ist für den südlichen Ablagerungsraum charakteristisch. Er wurde in tieferem Wasser am Schelfabhang oder im Becken abgelagert und ist als blassgelbgrau anwitternder, dünnplattig brechender Biomikrit ausgebildet (Fig. 8 auf Tf. 2). Der oberste Teil des Profils Pragelpass (Tf. 6) zeigt die detaillierte Mikrolithologie. Typische Fossilien sind Kieselschwammnadeln und Calcisphären; vereinzelt treten Aptychen auf. Die Kalke sind oft bioturbirt.

Der Diphyoides-Kalk geht mit einem Übergang von wenigen Dezimetern aus den Vitznau-Mergeln hervor. Die Grenze zu den sehr ähnlich aussehenden, hangenden Kieselkalk-Schiefern (FICHTER 1934) ist nur durch eine mehr oder weniger scharfe Schichtfuge markiert. Stellenweise ist der Diphyoides-Kalk durch eine 15-40 cm mächtige, Biodetritus, Glaukonit und Quarzsand führende Bank zweigeteilt,

die wahrscheinlich der Gemsmättli- oder Palis-Schicht des mittleren Faziesraumes entspricht (FICHTER 1934, HALDIMANN 1977, STRASSER 1979).

FICHTER nannte den unteren Teil des Diphyoides-Kalkes «Diphyoideskalk s.str.», den oberen «Graue Mergelschiefer» nach BUXTORF (1910) oder «schiefrigen Diphyoideskalk».

Mit ISCHI (1978) schlagen wir vor, die *Grauen Mergelschiefer* als *Formationsglied* in die Formation des *Diphyoides-Kalkes* zu stellen. Wo die oben beschriebene Bank fehlt, gehen die Mergelschiefer ohne scharfe Grenze aus dem eigentlichen Diphyoides-Kalk hervor.

Die Mächtigkeit der Diphyoides-Formation schwankt zwischen 25 und 90 m.

An den Churfürsten kann man den Übergang von Betlis-Kalk zu Diphyoides-Kalk beobachten. Die Gesteine zeigen hier eine Echinodermen-Spikulit-Mischfazies (Fig. 7 auf Tf. 2) und lassen sich mit dem Sichel-Kalk vergleichen, den ISCHI (1978) im Berner Oberland definiert hat.

6.3 Verbreitung

Der Diphyoides-Kalk ist vor allem in der südlichen Drusberg-Decke und in der Wildhorn-Decke (ISCHI 1978) vertreten.

Der Diphyoides-Kalk im Vorarlberg entspricht nach WYSSLING (in Vorb.) mikrofazial dem Diphyoides-Kalk s.str., zeitlich aber den Grauen Mergelschiefern.

6.4 Paratypusprofil des Diphyoides-Kalkes (Tf. 6)

Das von HANTKE (1961, S. 140) an der Axenstrasse bei Sisikon beschriebene Profil, das er 1966 als Typusprofil für den Diphyoides-Kalk erwähnte, erscheint ungünstig, weil die Basis nicht aufgeschlossen und ein grosser Teil des Aufschlusses wegen Tunnelbauten nicht zugänglich ist.

Ein Paratypusprofil wurde deshalb am Pragelpass aufgenommen (oberster Teil des Profils auf Tafel 6), von wo schon ARN. HEIM (1913) eine Beschreibung gegeben hatte. Von weitem erkennt man deutlich das gelbliche (Diphyoides-Kalk s.str.) und das hellgraue (Graue Mergelschiefer) Band an der Basis der steilen Kieselkalkwand, die den Mieserenstock aufbaut.

Am Fusse der Felswand verlieren die Vitznau-Mergel in einer Übergangszone von etwa 1 m ihre Mergelbänke. Der sehr homogene Diphyoides-Kalk s.str. bildet eine 26 m hohe Felsstufe. Er wittert gelblichgrau an und ist dünn gebankt (1–10 cm). Die Schichtflächen sind leicht wellig, z. T. schalten sich dünne (1–5 mm) Mergellagen ein.

Über einer 60 cm mächtigen mergeligen Zone liegt mit einem scharfen, welligen Kontakt eine 16 cm dicke Kalkbank mit etwas Quarzsand, Glaukonit, Phosphorit, feinem Biodetritus und einzelnen Belemniten (Probe 9 auf Tf. 6; vgl. Kap. 6.2).

Darüber folgen 22 m Graue Mergelschiefer. Die Abfolge ist sehr homogen, wittert hellgrau an und bricht schiefrig-plattig. 1–10 cm dicke, oft leicht wellige Bänke sind durch 0,2–1,5 cm dicke Mergellagen getrennt. Vereinzelt finden sich kleine Belemniten.

Die Grenze zu den schwarzen Kieselkalk-Schiefern wird durch eine scharfe, konstant durchziehende Schichtfuge gebildet. Die Mikrolithologie der Diphyoides-Formation ist auf Tafel 6 im Detail dargestellt.

7. Fazielle Entwicklung und Milieu-Interpretation

Mit Rücksicht auf den Schwerpunkt dieser Arbeit (Lithostratigraphie) wird hier nur ein kurzer Überblick über die fazielle Entwicklung des helvetischen Schelfes zur Zeit des Berriasian und des Valanginian gegeben (vgl. Fig. 1). Für eine ausführliche faziesanalytische und paläogeographische Beschreibung siehe STRASSER (1979) und BURGER (in Vorb.).

7.1 Berriasian

Während dieser Stufe zeigte der helvetische Schelf im Nord-Süd-Verlauf extreme *Gegensätze* in der Faziesausbildung. Nach einer Periode des Vorrückens der Küste nach Süden (mit Omission an der Basis der nördlichen Öhrli-Formation) verlief die Küste im unteren bis mittleren Berriasian wieder meist nördlich des heute autochthon-parautochthonen Bereiches. Sie war jedoch bis ins oberste Berriasian starken Nord-Süd-Schwankungen ausgesetzt (Omission mit teilweiser Emersion und Erosion innerhalb der Öhrli-Formation).

Während die Zementsteinschichten ähnlich dem Quintner-Kalk in einem eher ruhigen Ablagerungsmilieu entstanden (abgesehen von den lokalen Einschaltungen des Gassen-Kalkes) sind die Unteren Öhrli-Mergel bereits deutlich mit detritischen Komponenten und Feinsand angereichert. Der Untere Öhrli-Kalk trägt vor allem im mittleren Faziesbereich den Charakter eines Resediments mit eingeschwemmten Litho- und Bioklasten. Dieser Charakter wird auch in den Oberen Öhrli-Mergeln partiell beibehalten, dort allerdings mit erhöhtem Tonanteil. Die Tonzufuhr erscheint auch während der Ablagerung des Unteren Öhrlikalkes erheblich gewesen zu sein, wobei der Ton mehrheitlich erst in der Palfris-Formation zur endgültigen Sedimentation gelangte. Im Oberen Öhrli-Kalk herrschte eine küstennahe, seichte Biogen- und Karbonatsedimentation im hochenergetischen Bereich vor (teilweise mit Korallenriffen). Die oolithisch-onkolithische Ausbildung ist fast ausschliesslich auf die obere Hälfte des Formationsgliedbes beschränkt. Die Öhrli-Formation endet mit einer bis in den mittleren Faziesraum reichenden Omissions-Kondensations-Zone.

Die Palfris-Formation ist faziell vergleichsweise einheitlich, wobei in der Nord-Süd-Richtung eine Abnahme des Karbonatgehaltes eintritt. Detritische Einschaltungen und Feinsandlagen sind selten. Das Ablagerungsmilieu war ruhig und tiefer als in der Öhrli-Formation. Es lag sicher grösstenteils unterhalb der Wellenbasis. Der Fossilinhalt sowie das gelegentliche Vorkommen von grossen Wohnröhren sprechen allerdings gegen ein sehr tiefes Sedimentationsmilieu. An einer Stelle (Tf. 6, Probe Nr. 52) wurden in einer Kalkbank Fenestralgefüge mit vadoser Siltfüllung gefunden. Damit kann zumindest lokal und für kürzere Zeitabschnitte ein untiefes Ablagerungsmilieu angenommen werden. Für die Fossilarmut in der Palfris-Formation dürfte grösstenteils das sauerstoff- und strömungsarme lebensfeindliche Milieu verantwortlich sein. Die Zusammensetzung der Tonminerale sowie der hohe Gehalt an detritischen, kohlehaltigen Substanzen und Öl sprechen für eine kontinuierliche Zufuhr von feindetritischem Material aus einer näheren Küstenregion.

7.2 *Unteres Valanginian*

Die im obersten Berriasian nach Süden vorrückende Küste blieb während des unteren Valanginian in einer sehr südlichen, jedoch stark variierenden Position. Die Vitznau-Mergel treten auch im Süden in der für sie typischen Wechsellagerung von Kalk und Mergeln auf. Im Fossil- und Detritusgehalt zeigen sich jedoch starke Unterschiede: Während im mittleren Faziesbereich fossil- und detritusreiche Seichtwasser-Kalke und -Mergel vorherrschen, enthalten die Wechsellagerungen der südlichen Fazieszone sehr wenig Detritus und Fossilien und weisen auf ein tieferes und ruhigeres Ablagerungsmilieu hin.

Die fossilreichen unteren Vitznau-Mergel des mittleren Faziesbereiches wurden durch eine Serie von pyritreichen Sandschüttungen jäh abgeschnitten. Die Marken an der Basis dieser Schüttungen sowie die Intensitätsabnahme der Schüttungen gegen Süden sprechen für schnelle, starke Schüttungen aus dem Norden. Nach einem erneuten Vorrücken nach Süden während der Ablagerungszeit der obersten Vitznau-Mergel wich die Küste mit dem Einsetzen des Betlis-Kalkes weit nach Norden zurück; zugleich reduzierte sich auch die Sedimentation von Tonmineralien.

7.3 *Mittleres und oberes Valanginian*

Der vorwiegend biogene Betlis-Kalk wurde auf einem flachen, vermutlich durch Ost-West laufende Brüche gegliederten Schelf abgelagert.

Der mittlere Faziesraum (Schelfplattform und Schelfrand) zeichnete sich durch relativ starke Wasserbewegung und durch hohe Sedimentationsraten aus, während im Norden ein geschütztes, flaches Becken vorlag, in dem die Sedimentationsgeschwindigkeit geringer war. Dolomitlagen, Konglomerate und Aufarbeitungshorizonte weisen darauf hin, dass sich stellenweise flache Inseln bildeten, die dann wieder überschwemmt und z. T. abgetragen wurden.

Die Tonmineralien und der feine Quarzsand der Spitzern-Schichten wurden von Westen her in einen flachen, West-Ost verlaufenden Trog geschüttet. Der feine Quarzsand wurde dabei noch weiter nach Osten in den unteren Betlis-Kalk verfrachtet. Die Verteilung der groben Quarzkörner der Pygurus-Schichten im oberen Betlis-Kalk hingegen impliziert eine Schüttung von Osten in den mittleren Faziesraum, wobei eine feine Quarzsand-Population auch weit in den nördlichen Faziesraum getragen wurde.

Im südlichen Faziesgebiet wurden die hemipelagischen Sedimente des Diphyoides-Kalkes unterhalb der Wellenbasis abgelagert (Schelfabhang und Beckenrand).

Wie weit sich die Sedimentation auf der Schelfplattform ins obere Valanginian fortsetzte, ist nicht bekannt. Sicher jedoch wurden Teile des obersten Betlis-Kalkes und der Pygurus-Schichten wegerodiert. Bioklasten und grober Quarzsand wurden stellenweise nach Süden ins tiefere Wasser geschüttet. Während auf der Schelfplattform Omission und/oder Erosion vorherrschte, setzte sich im Süden die Sedimentation mit den Grauen Mergelschiefen fort.

Differenzielles, von Süden nach Norden fortschreitendes Absinken des Schelfes und die einsetzende ausgedehnte Transgression im obersten Valanginian hatten die Ausbildung des Hardground im Dach des Betlis-Kalkes und die heterochrone

Kondensation der Gemsmättli-Fossilschicht zur Folge. Mit der Gemsmättli-Glaukonitbank setzte die Sedimentation in tieferem Wasser langsam wieder ein und leitete über zu den spikulitischen Kieselkalken des Hauterivian.

Verdankungen

Wir danken Prof. Dr. R. Trümpy und Dr. H. P. Funk (Zürich) sowie Prof. Dr. R. Herb (Bern) für ihre hilfreichen Ratschläge und für die kritische Durchsicht des Manuskriptes. Herr G. Lister verbesserte die englische, Frl. M. Toumarkine die französische Zusammenfassung, Herrn U. Gerber sei für die prompte Herstellung der Photographien gedankt. Der Schweizerische Nationalfonds ermöglichte im Rahmen des Projektes Nr. 2.009-0.73 «Zyklische Sedimentation in der Helvetischen Unterkreide» die dieser Arbeit zugrunde liegenden Dissertationen und übernahm zudem einen Druckkostenanteil.

LITERATURVERZEICHNIS

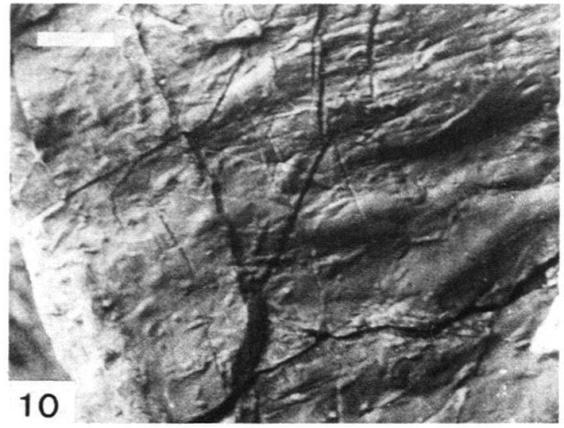
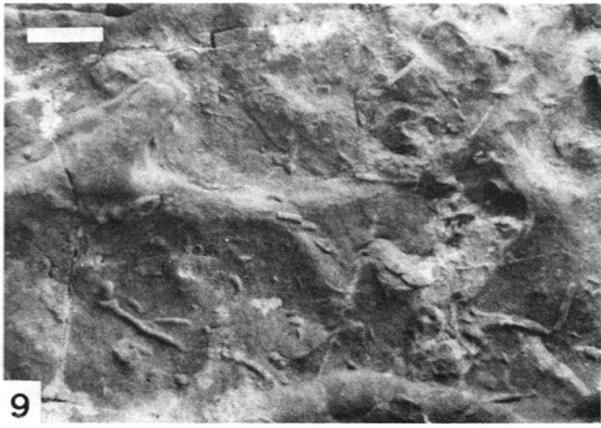
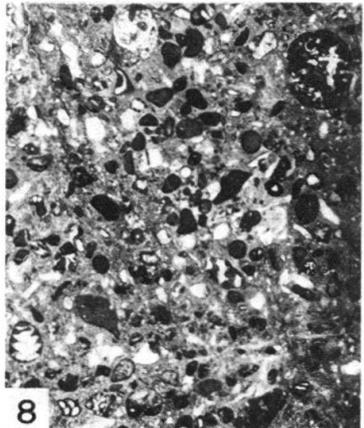
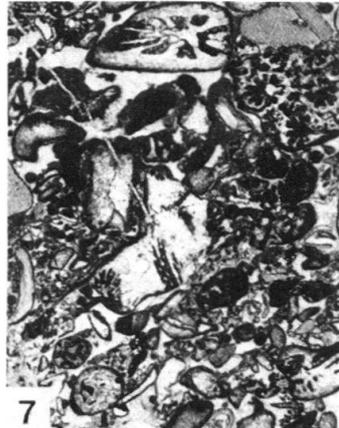
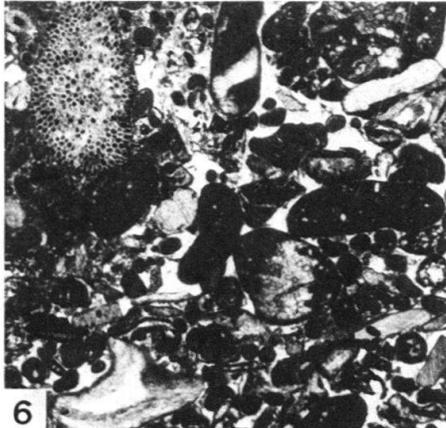
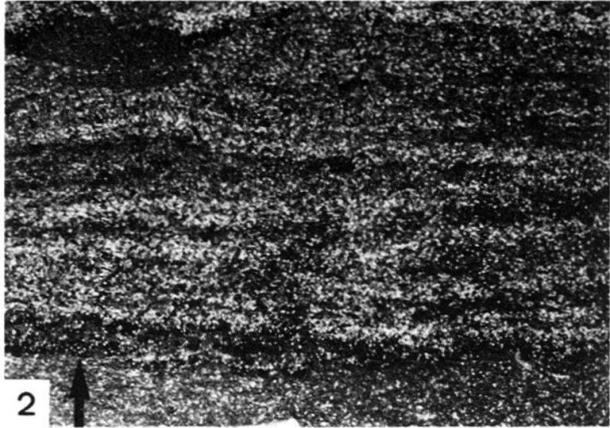
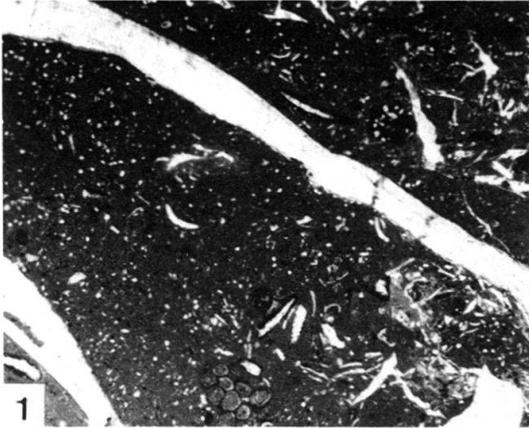
- ARBENZ, P. (1905): *Geologische Untersuchungen des Frohnalpstockgebietes (Kt. Schwyz)*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 18.
- BACCELLE, L., & BOSELLINI, A. (1965): *Diagrammi per la stima visiva della composizione percentuale nelle rocce sedimentarie*. – Ann. Univ. Ferrara [N.S.], Sez. 9, Sci. geol. paleont. 1/3.
- BURGER, H. (in Vorb.): *Die Kalk- und Mergel-Gesteine der untersten Kreide des Helvetikums zwischen Vierwaldstättersee und Rheintal: Stratigraphie, Sedimentologie und Paläogeographie*. – Diss. Univ. Zürich.
- BUXTORF, A. (1910): *Erläuterungen zur geologischen Karte des Bürgenstocks*. – Erläut. geol. Karte Schweiz 9.
- DECROUEZ, D., & LOMBARD, A. (1980): *Stratigraphie des couches de Saint-Maurice (Valais)*. – Eclogae geol. Helv. 73/1, 109–124.
- DIEGEL, F. (1973): *Zur Korrelation der helvetischen Zementsteinschichten zwischen Glärnisch und Alvier*. – Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich [N.F.] 166.
- DUNHAM, R.J. (1962): *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. In: HAM, W.E. (Ed.): *Classification of carbonate rocks*. – Mem. amer. Assoc. Petroleum Geol. 1, 108–121.
- EMBRY, A.F., & KLOVAN, E.J. (1972): *Absolute water depths limits of Late Devonian paleoecological zones*. – Geol. Rdsch. 61/2, 672–686.
- FERRAZZINI, B., & SCHULER, P. (1976): *Versuch einer Abwicklung des Helvetikums zwischen Rhone und Reuss*. – Unpubl. Arbeit Univ. Bern.
- FICHTER, H.J. (1934): *Geologie der Bauen-Brisen-Kette am Vierwaldstättersee und die zyklische Gliederung der Kreide und des Malms der helvetischen Decken*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 69.
- FLÜGEL, E. (1978): *Mikrofazielle Untersuchungen von Kalken*. – Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
- FREULER, G. (1925): *Geologische Untersuchungen in der Mürtischengruppe*. – Diss. Univ. Zürich.
- FUNK, H.P. (1971): *Zur Stratigraphie und Lithologie des Helvetischen Kieselkalkes und der Altmannschichten in der Säntis-Churfürsten-Gruppe (Nordostschweiz)*. – Eclogae geol. Helv. 64/2, 345–433.
- GRASMÜCK-PFLUGER, M. (1962): *Mikrofazielle Beobachtungen an den Öhrlischichten (Berriasian) der Typuslokalität*. – Eclogae geol. Helv. 55/2, 417–442.
- HALDIMANN, P. (1977): *Sedimentologische Entwicklung der Schichten an einer Zyklengrenze der helvetischen Unterkreide: Pygurussschichten und Gemsmättli-Schicht (Valanginian/Hauterivian) zwischen Thunersee und St. Galler Rheintal*. – Mitt. Geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich [N.F.] 219.
- HANTKE, R. (1961): *Tektonik der helvetischen Kalkalpen zwischen Obwalden und dem St. Galler Rheintal*. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 106/1.
- (1966): *Diphyoideskalk*. – Lex. strat. int. 1/7c, 293–295.
- HEIM, ARN. (1905): *Der westliche Teil des Säntisgebirges*. In: HEIM, ALB.: *Das Säntisgebirge*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 16.
- (1907): *Gliederung und Facies der Berrias-Valangien-Sedimente in den helvetischen Alpen*. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 52, 484–499.
- (1913): *Das Valangienprofil der Drusbergdecke am Pragelpass*. In: HAUSWIRTH, W.: *Geologie der Gebirge südlich von Muotathal*. – Eclogae geol. Helv. 12/4, 614–617.

- (1916): *Monographie der Churfürsten-Mattstock-Gruppe*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 20/3.
- (1917): *Das Valangien von St. Maurice und Umgebungen verglichen mit demjenigen der Ostschweiz*. – Vjschr. natf. Ges. Zürich 62.
- HEIM, ARN., & BAUMBERGER, E. (1933): *Jura und Unterkreide in den helvetischen Alpen beiderseits des Rheins*. – Denkschr. schweiz. natf. Ges. 68/2.
- HERB, R. (1962): *Geologie von Amden*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 114.
- ISCHI, H. (1978): *Das Berriasien-Valanginien in der Wildhorn-Drusberg-Decke zwischen Thuner- und Vierwaldstättersee*. – Diss. Univ. Bern.
- KAUFMANN, F.J. (1886): *Emmen- und Schlierengegenden nebst Umgebungen bis zur Brünigstrasse und Linie Lungern-Grafenort*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 24/1.
- MOESCH, C. (1872): *Der Jura in den Alpen der Ost-Schweiz*. – Zürcher & Furrer, Zürich.
- (1881): *Geologische Beschreibung der Kalkstein- und Schiefergebirge der Kantone Appenzell, St. Gallen, Glarus und Schwyz*. – Beitr. geol. Karte Schweiz 14/3.
- (1894): *Geologische Beschreibung der Kalk- und Schiefergebirge zwischen Reuss- und Kiental*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [Ser. 1] 24/3.
- OBERHOLZER, J. (1933): *Geologie der Glarneralpen*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 28.
- PANTIĆ, N., & BURGER, H. (in Vorb.): *Palynomorphe aus der untersten Helvetischen Kreide*.
- SCHAAD, H.W. (1926): *Beiträge zur Valangien- und Hauterivienstratigraphie in Vorarlberg*. – Geol. Rdsch. 17/2, 81–108.
- SCHINDLER, C.M. (1959): *Zur Geologie des Glärnisch*. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 107.
- SCHLATTER, L.E. (1941): *Neue geologische Untersuchungen im mittleren Säntisgebirge*. – Ber. st. gall. natw. Ges. 70.
- Schweizerische Geologische Kommission, Arbeitsgruppe für Stratigraphische Terminologie (1973): *Empfehlungen zur Handhabung der stratigraphischen, insbesondere der lithostratigraphischen Nomenklatur in der Schweiz*. – Eclogae geol. Helv. 66/2, 479–492.
- SPÖRLI, B. (1966): *Geologie der östlichen und südlichen Urirotstock-Gruppe*. – Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich [N.F.] 62.
- STAUFFER, H. (1920): *Geologische Untersuchungen der Schilthorngruppe im Berner Oberland*. – Mitt. natf. Ges. Bern 1.
- STRASSER, A. (1979): *Betlis-Kalk und Diphyoideskalk (Valanginian) in der Zentral- und Ostschweiz: Stratigraphie, Mikrofazies und sedimentologische Entwicklung*. – Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich [N.F.] 225.
- STUDER, B. (1872): *Index der Petrographie und Stratigraphie der Schweiz und ihrer Umgebungen*. – Dalp, Bern.
- TOBLER, A. (1895): *Die Berriasschichten an der Axenstrasse*. – Eclogae geol. Helv. 4/4, 251–265.
- (1899a): *Vorläufige Mitteilung über die Geologie der Klippen am Vierwaldstättersee*. – Eclogae geol. Helv. 6/1, 7–14.
- (1899b): *Über Faciesunterschiede der untern Kreide in den nördlichen Schweizeralpen*. – N. Jb. Mineral. Geol. Paläont. 1899/2.
- TOBLER, A., & BUXTORF, A. (1905): *Exkursion der Schweizerischen geologischen Gesellschaft an den Vierwaldstättersee*. – Eclogae geol. Helv. 9, 19–55.
- TRÜMPY, R. (1944): *Geologisch-photogrammetrische Untersuchungen in der südlichen Hausstockgruppe*. – Unpubl. Diplomarbeit ETH Zürich.
- (1969): *Die helvetischen Decken der Ostschweiz: Versuch einer palinspastischen Korrelation und Ansätze zu einer kinematischen Analyse*. – Eclogae geol. Helv. 62/1, 105–142.

Tafel 1

Dünnschliffbilder (unpolarisiertes Licht) aus der Öhrli-Formation (Fig. 6–8) und den Vitznau-Mergeln (Fig. 1–5) sowie Aufschlussphotos von den Vitznau-Mergeln (Fig. 9 und 10). Alle Aufnahmen stammen aus dem mittleren Faziesraum.

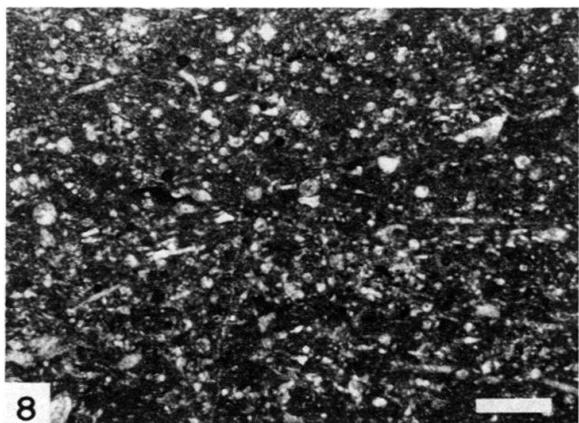
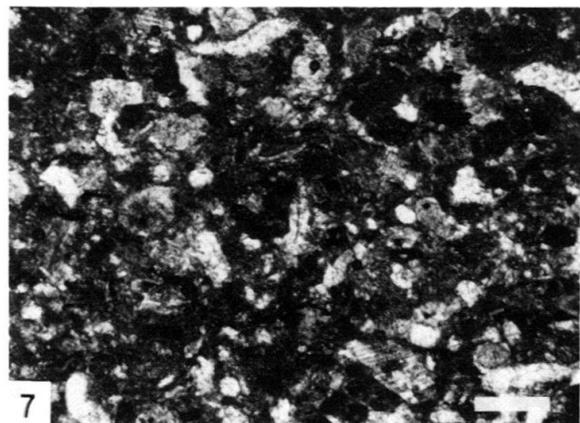
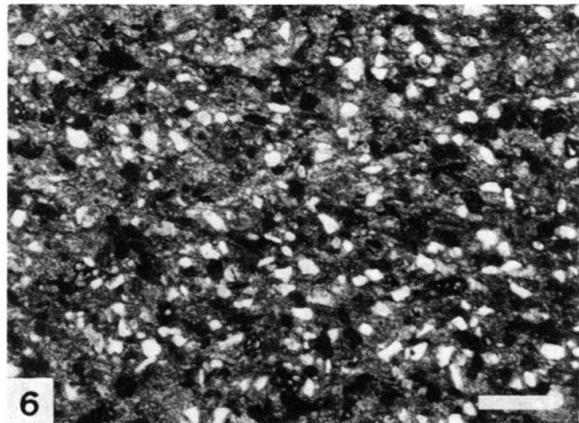
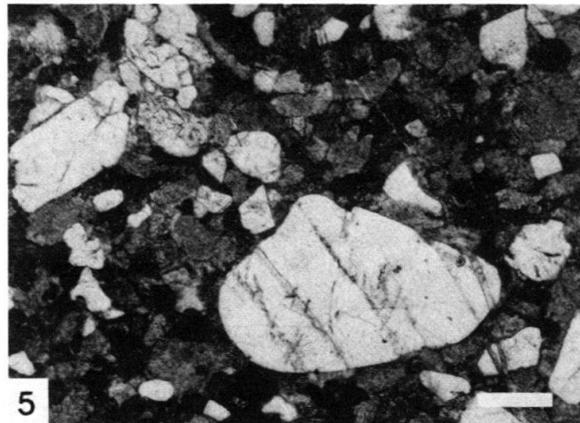
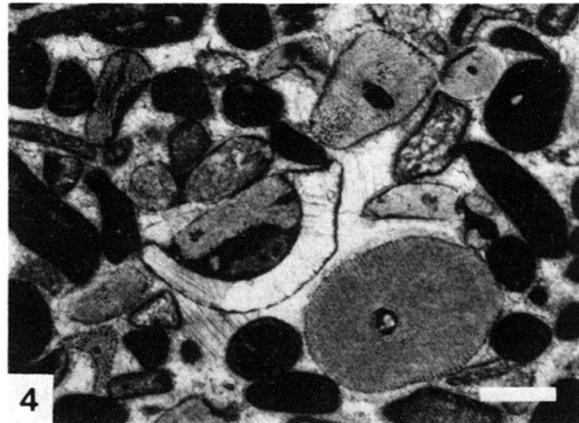
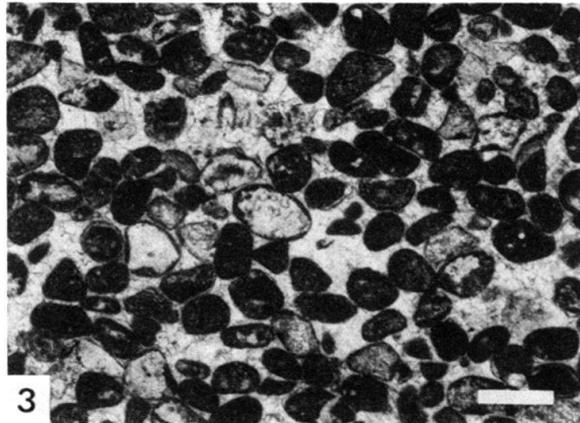
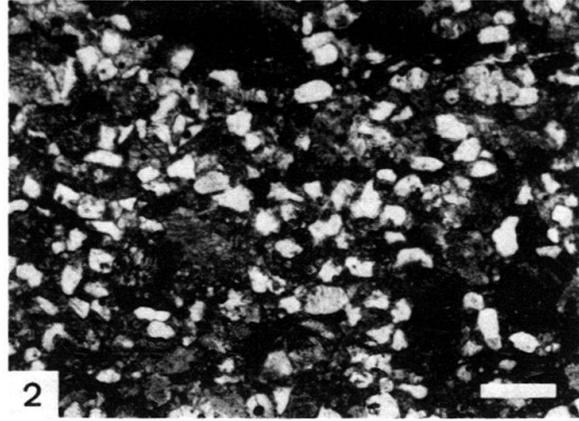
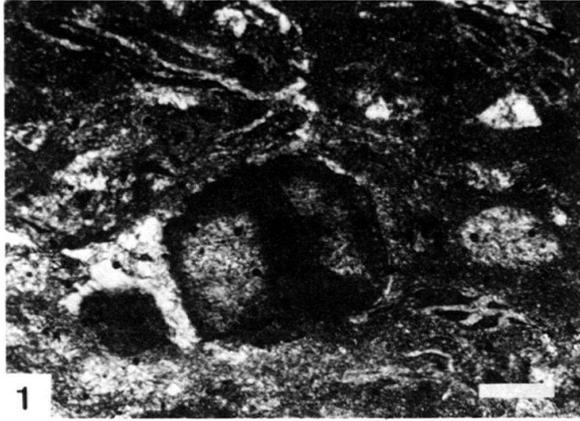
- Fig. 1 Vitznau-Mergel, unterer Teil: Leicht sandiger Biomikrit mit Muschelschalen, Serpuliden (unten Mitte) und pyritisierten Litho- und Bioklasten. (Profil Thurschlucht, Probe Nr. 20.) Vergr. $\times 6$.
- Fig. 2 Vitznau-Mergel, untere Sandschüttung: Sandiger Kalkarenit über leicht sandigem Kalk (ganz unten). Die Schüttung hat ein Mikrorelief in den unteren, feinflaminierten Kalk geformt (Kontakt durch Pfeil markiert). Die Basis der Schüttung ist extrem pyritreich (schwarz). Starke Pyritkonzentrationen sind auch in den seitlichen Eindrücken beidseitig des sandarmen Lithoklasten (oben links) zu sehen. Im Handstück ist eine deutliche Kreuz- und Schrägschichtung erkennbar (hier teilweise sichtbar im Auskeilen einer dunklen Schicht von links nach rechts, mittlere Bildhälfte). (Profil Vitznauerstock, Probe Nr. 7.) Vergr. $\times 4$.
- Fig. 3 Vitznau-Mergel (unterste Schicht): Fossilreicher Floatstone in feiner, dolomitischer und ankeritreicher Matrix. Die Bio- und Lithoklasten sind unsortiert eingebettet. Seichtwasserfauna. (Profil Dräckloch, Probe Nr. 51.) Vergr. $\times 2,6$.
- Fig. 4 Vitznau-Mergel, unterste Schicht: Dolomitisch-ankeritische Matrix mit Resediment-Komponenten. Diese sind häufig während des Transports zerfallen in die mit etwas Matrix umrandeten Komponenten des alten Gesteins. (Profil Vitznauerstock, Probe Nr. 25.) Vergr. $\times 4$.
- Fig. 5 Vitznau-Mergel, unterste Schicht: Biomikrit mit zahlreichen gerundeten Lithoklasten in ankeritisch-dolomitischer Matrix. Oben links Teil einer angebohrten, autochthonen Koralle von über 10 cm Grösse. (Profil Dräckloch, Probe Nr. 52.) Vergr. $\times 6$.
- Fig. 6 Unterer Öhrli-Kalk: Litho-Biosparit. Gerundete, unsortierte und teilweise pyritisierte Komponenten. Reich an Foraminiferen, Echinodermen und Bryozoen. (Profil Dräckloch, Probe Nr. 79.) Vergr. $\times 4,4$.
- Fig. 7 Oberer Öhrli-Kalk (oberste Schicht): Biosparit, viele Riffschutt-Komponenten. Die meisten Komponenten weisen Mikritränder auf. (Profil Thurschlucht, Probe Nr. 29.) Vergr. $\times 3,3$.
- Fig. 8 Obere Öhrli-Mergel: Foraminiferenreicher Bio-Lithomikrit. Gerundete und teilweise pyritisierte Bio- und Lithoklasten. (Profil Dräckloch, Probe Nr. 72.) Vergr. $\times 5$.
- Fig. 9 Vitznau-Mergel, untere Sandschüttung: Kleine und grosse Fraßspuren an der Unterfläche einer Schüttungsbank. In derselben Schicht finden sich auch Strömungs- und Rippelmarken. (Profil Dräckloch, Schicht Nr. 8.) Balkenlänge = 2,5 cm.
- Fig. 10 Vitznau-Mergel, untere Sandschüttung: Strömungsmarken an der Unterfläche einer Schüttungsbank. (Profil Thurschlucht, Schicht Nr. 3.) Balkenlänge = 10 cm.



Tafel 2

Mikrofazies des Betlis- und Diphyoides-Kalkes. (Alle Bilder wurden im unpolarisierten Licht aufgenommen. Der Maßstab ist überall gleich: Balkenlänge = 0,4 mm.)

- Fig. 1 Betlis-Kalk aus dem nördlichen Faziesraum: Biomikrit (Wackestone), lokal rekristallisiert, mit grossen Bioklasten und einzelnen Peloiden. (Profil Tersolbach, Probe Nr. 8.)
- Fig. 2 Betlis-Kalk aus dem nördlichen Faziesraum: Biomikrit (Packstone) mit feinem detritischem Quarz und Tonlagen. Kleine Fossiltrümmer und Pelloide. (Profil Leiststock, Probe Nr. 3.)
- Fig. 3 Betlis-Kalk aus dem mittleren Faziesraum: Biopelsparit (Grainstone) mit grösseren Peloiden und abgerollten, randlich mikritisierten Bioklasten. Primär- und Sekundärzement. (Profil Raaberg, Probe Nr. 7.)
- Fig. 4 Betlis-Kalk aus dem mittleren Faziesraum: Grober Biopelsparit (Grainstone) mit rundlichen Lithoklasten, grossen Fossiltrümmern, Peloiden und einzelnen Ooiden. Deutlicher Primärzement. (Profil Raaberg, Probe Nr. 17.)
- Fig. 5 Pygurus-Schichten (mittlerer Faziesraum), charakterisiert durch die grossen, gut gerundeten Quarzkörner. (Profil Raaberg, Probe Nr. 1.)
- Fig. 6 Spitzern-Schichten (westlicher Teil des mittleren Faziesraumes): Pelmikrit (Wackestone, zu Mikrosparit rekristallisiert) mit feinem detritischem Quarz, Tonhäuten, Peloiden und Foraminiferen. (Profil Ochsenboden, Probe Nr. 29.)
- Fig. 7 Sichel-Kalk: Biopelmikrit (Packstone) mit Peloiden, Echinodermen und calcitisierten Kieselschwammnadeln. Diese Mischfazies bildet den Übergang von Betlis-Kalk zu Diphyoides-Kalk. (Nägeliberg, Churfürsten.)
- Fig. 8 Diphyoides-Kalk aus dem südlichen Faziesraum: Biomikrit (Wackestone) mit calcitisierten Kieselschwammnadeln, Calcisphären, einzelnen Radiolarien und Bruchstücken von pelagischen Echinodermen. (Profil Pragelpass, Probe Nr. 12.)



LITHOLOGIE

	Kalk		Sandschüttungen, viel detritischer Quarz
	Spätiger und grobspätiger Kalk		Kalkbreccien
	Stark dolomitischer Kalk		Kalkknollen, gehäuftes Auftreten von Resediment-Komponenten (vorwiegend Lithoklasten)
	Mergeliger Kalk		Hardground-Bildungen, Phosphoritkrusten
	Mergel		Umgelagerte Hardground-Komponenten und Bioklasten in meist dolomitisch-ankeritischer Matrix
	Mergelschiefer		Silexbildungen
	Omission		

SEDIMENTSTRUKTUREN

 Marken  Schräg- und Kreuzschichtung  Ausgeprägte Bioturbation und Lebensspuren

ABKÜRZUNGEN FÜR LITHOLOGISCHE EINHEITEN

KK : Helvetischer Kieselkalk	Gems : Gemsmättli-Schichten
BK : Betlis-Kalk	Pyg : Pygurus-Schichten
VM : Vitznau-Mergel	OK : Ohrli-Kalk
UOM : Untere Ohrli-Mergel	UOK : Unterer Ohrli-Kalk
ZEM : Zementsteinschichten	

SKALIERUNG DER VERTEILUNGSKURVEN

20/0.25 bedeutet : 20 % für Häufigkeitskurve (%) und 0.25 mm für Durchmesserkurve (Ø).
Die Werte gelten jeweils für die Marke in der Mitte der Kolonne.

KLASSIFIKATION NACH DUNHAM (1962)

G = Grainstone P = Packstone W = Wackestone M = Mudstone
R = Rudstone F = Floatstone (ergänzt nach EMBRY & KLOVAN 1972)

ÄNDERUNG DES TONMINERALSPKTRUMS

Prozentanteile im Gesamtgestein :

K = über 0.3 % Kaolinit (gemessen mit IR-Spektroskopie in Tonfraktion)
C = über 0.6 % Chlorit (gemessen mit Diffraktometer in Tonfraktion)
M = über 8 % Mixed-layer Mineralien (gemessen mit Diffraktometer in Tonfraktion)

ÜBRIGE MINERALIEN

1 Symbol : 1/2 - 4 % 2 Symbole : 5 und mehr %
D = Dolomit A = Authigener Quarz P = Phosphorit
Py = Pyrit G = Glaukonit S = Transparente Schwerminerale (ohne %)

FOSSILIEN

• 1/2 - 3 % ○ 4 - 8 % ● 9 - 15 % ○ 16 und mehr %

