Deutsche Stratigraphische Kommission
Subkommission für Jurastratigraphie

A.v. Hillebrandt & K. Kment

Die Trias/Jura-Grenze und der Jura in der Karwendelmulde und dem Bayerischen Synklinorium.

Exkursionsführer

Jahrestagung in Fall vom 10.-13.06.2009

Prof. Dr. Axel von Hillebrandt
Institut für Angewandte Geowissenschaften, Sekr. EB 10
Technische Universität Berlin
Ernst Reuter-Platz 1
D-10587 Berlin
Tel. 030-314-23651

Kurt Kment
Juifenstrasse 22
D-83646 Bad Tölz
Tel: 08041-70170
kurt.kment@freenet.de

Satz:
Christian Schulbert
Geozentrum Nordbayern - Paläontologie
Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
christian.schulbert@gzn.uni-erlangen.de

Druck: Druckladen, Erlangen - www.druckladen.de

Vervielfältigung, auch in Teilen, nur mit schriftlicher Genehmigung der Autoren. © 2009

Inhalt

Vorwort 5
Einführung 6
Lithologie und Biostratigraphie der obersten Trias und des Jura im Exkursionsgebiet 8
Kössen-Formation 8
Kendlbach-Formation 9
Adnet- und Scheibelberg-Formation 15
Mittlerer Jura 17
Unterer Oberjura 18
Oberjura bis Kreide 18
Exkursionen 19
Exkursionstag 11. 06. 09 19
Exkursion zum Kuhjoch 19
Exkursion Pletzboden-Eiskönigbach 34
Exkursionstag 12. 06. 09 35
Exkursionspunkte in der Vordersbachau 35
Exkursionstag 13. 06. 09 zur Ankerstube 42
Steinbruch Ankerstube 42
Literatur 44

Vorwort

A. v. Hillebrandt

Unter der Führung der Herren K. Doben und R. Fischer wurde bereits 1982 im Rahmen einer Jahrestagung der Deutschen Subkommission für Jurastratigraphie eine Exkursion in den Jura der westlichen Karwendelmulde durchgeführt. Neue Ergebnisse über die Stratigraphie und Paläontologie des Jura in der westlichen Karwendelmulde ließen es sinnvoll erscheinen, nochmals Exkursionen in diesem Gebiet zu veranstalten. Ein Schwerpunkt der diesjährigen Exkursionen wird die Trias/Jura-Grenze sein, da ein in diesem Gebiet liegendes Profil als GSSP (Global Stratotype Section and Point) für diesen Zeitabschnitt vorgeschlagen wurde (Hillebrandt, Krystyn & Kürschner, 2008). Seit vielen Jahren bemühte sich eine Arbeitsgruppe der Internationalen Jurasubkommission (Vorsitz: G. Warrington, Sekretär: G. Bloos) ein für diesen Zeitabschnitt besonders geeignetes Profil zu finden. Seit 1997 lagen mehrere Vorschläge vor: St. Audrie's Bay (England); New York Canyon (Nevada, U.S.A.); Kunga Island (Queen Charlotte Islands, Kanada) und Chilingote (Utcubamba-Tal, Nordperu). Von 2001 bis 2006 bestand unter Leitung von St. P. Hesselbo (England), Ch. A. McRoberts (USA) und J. Pálfy (Ungarn) das IGCP-Projekt 458 (Triassic-Jurassic Boundary Events). Der 5. und letzte Field Workshop zu IGCP 458 fand im September 2005 in Tata (Ungarn) und Puch bei Hallein (Österreich) statt. L. Krystyn (Wien) und Mitarbeiter organisierten Exkursionen im T/J-Grenzbereich der Nördlichen Kalkalpen (Kendelbach- und Tiefengraben südwestl. Wolfgangsee; Adnet bei Salzburg; Steinplatte – Kammerköhr bei Waidring, Tirol). Im Exkursionsführer (Krystyn et al., 2005: A9) und auch mündlich machte Herr Krystyn bekannt, dass er in den so genannten „Grenzmergeln" der westlichen Karwendelmulde zwischen den Kössener Schichten des oberen Rhaetium und den „Liasbasiskalken" des Hettangium frühe Psiloceraten fand, die er mit dem südamerikanischen *Psiloceras tilmanni* verglich, das dort an der Basis des Hettangium auftritt. Dieser Bericht interessierte mich besonders, weil von Berlin aus durch Studenten der Technischen Universität unter der Leitung von W. Zeil in den 60er und 70er Jahren die Thiersee- und Karwendelmulde im Maßstab 1 : 10 000 im Rahmen zahlreicher Diplomarbeiten kartiert wurde. Hinzu kam, dass ich in der Karwendelmulde in den 80er Jahren Profile der „Liasbasiskalke" untersuchte, um Vergleichsmaterial für die Bearbeitung meiner südamerikanischen Ammoniten des Hettangium zu erhalten. Im Anschluss an den Field Workshop suchte ich die von L. Krystyn entdeckte Fundstelle auf und konnte trotz eines inzwischen erfolgten Hangrutsches die Ammonitenschicht wieder finden, und diese auch in zwei weiteren Profilen nachweisen. Als bestes Typusprofil für den Vorschlag eines GSSP erwies sich eine Lokalität, die ich bereits aus den 80er Jahren kannte und an einem Pass südlich eines als Kuhjoch bezeichneten Berges liegt. Die flachgedrückten und zum Teil auch körperlich mit Aragonitschale erhaltenen Ammoniten erwiesen sich als nahe verwandt mit dem ältesten aus Nevada beschriebenen Psiloceraten, *Psiloceras spelae* (Guex et al., 1998). Erste Gesteinsproben aus den Grenzmergeln erbrachten zum Teil reiche Mikrofaunen und –floren. Zusammen mit L. Krystyn und W. Kürschner sowie deren Mitarbeitern und Studenten wurden im Juni 2006 das Kuhjoch-Profil sowie weitere Profile im Bereich der westlichen Karwendelmulde möglichst vollständig aufgeschürft und detailliert beprobt.

Im September 2006 berichtete ich (Hillebrandt, Krystyn & Kürschner) in Krakau (Polen) auf dem 7. Internationalen Kongress über das Jura-System über unsere ersten Ergebnisse und schlug das Kuhjoch-Profil als weiteren GSSP-Kandidaten für die T/J-Grenze vor. Wir wurden gebeten bis Anfang 2007 ein „Proposal" zu dem vorgeschlagenen GSSP-Kandidaten zu erarbeiten. Das von mir 1997 als GSSP-Kandidat vorgeschlagene Profil in Nordperu zog ich zurück, da zu diesem Zeitpunkt in diesem Gebiet das älteste *Psiloceras* noch nicht gefunden worden war (Schaltegger et al., 2008). Zusammen mit weiteren GSSP-Kandidaten für die T/J-Grenze erschien 2007 das Kuhjoch-Proposal im ISJS Newsletter **34**/1.

2008 stimmten die Mitglieder der Arbeitsgruppe T/J-Grenze zunächst über den zur Definition der T/J-Grenze heranzuziehenden „Marker" ab und entschieden sich mit über 60%iger Mehrheit für *Psiloceras spelae*. Da nur bei zwei Kandidaten dieser Ammonit auftritt, kam es zu einer Abstimmung zwischen dem Profil in Nevada und dem in den Alpen. Über 60% der Mitglieder entschieden sich für das Kuhjoch-Profil. Diese Entscheidung bestätigten im August 2008 die „Voting Members" der ISJS (International Subcommission on Jurassic Stratigraphy). Im August 2008 erfolgte eine Neubesetzung der Internationalen Stratigraphischen Kommission (ICS), weshalb bisher noch keine Entscheidung dieses Gremiums erfolgte.

2007 lernte ich Herrn K. Kment (Bad Tölz) kennen, der an der Universität München Geologie und Paläontologie studierte und 1996 eine Diplomkartierung im Jura westlich Hinterriß durchführte. Im Zuge dieser Arbeit sammelte er umfangreiche Ammonitenfaunen in den „Liasbasiskalken" des Hettangium der Karwendelmulde und in einem ammonitenreichen Kondensationshorizont des Toarcium der westlichen Karwendelmulde. Die Faunen wurden von Herrn Kment (1998, 2000) veröffentlicht. Inzwischen liegen von ihm besonders aus den „Liasbasiskalken" gewonnene, umfangreiche Aufsammlungen von Ammoniten-Faunen vor. Wir konnten gemeinsame, uns gegenseitig ergänzende Geländebegehungen durchführen. Durch die Hilfe von Herrn Kment war es möglich weitere Profile zu erschließen. Ohne die tatkräftige Unterstützung von Herrn Kment wäre es mir nicht möglich gewesen die Vorbereitungen für den Exkursionsführer und die Durchführung der Exkursionen zu bewältigen, wobei der 3. Exkursionstag ausschließlich von Herrn Kment vorbereitet wurde. Einen wichtigen Beitrag lieferte Herr Prof. Dr.

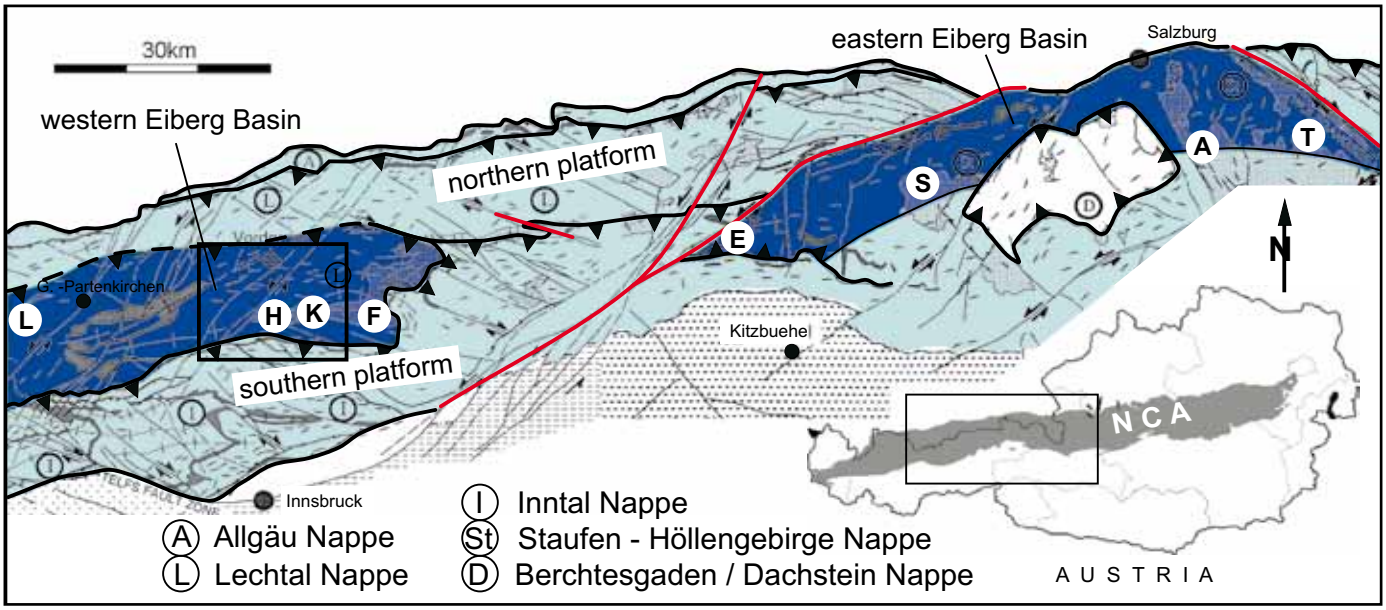


Abb. 1. Gegenwärtige Paläogeographie des Eiberg-Beckens in den westlichen Nördlichen Kalkalpen nach einer tektonischen Karte von Linzer et al., 1995 (Hillebrandt & Krystyn, im Druck) (T: Tiefengraben und Kendlbach, S: Steinplatte, E: Eiberg, F: Fonsjoch, K: Kuhjoch, H: Hochalplgraben, L: Lahnenwiesgraben) (Box gibt Lage der Abb. 7, 11 an).

M. Urlichs (Stuttgart) mit den Ostrakoden-Bestimmungen. Die meisten Muscheln wurden von Herrn Prof. Dr. Ch. McRoberts (State University of New York at Cortland) und die Brachiopoden durch Herrn Dr. A. Tomasovych (Bratislava) bestimmt. Frau B. Dunker, Frau H. Glowa, Herrn B. Kleeberg und Herrn J. Nissen (TU-Berlin) danke ich für die Hilfe bei der Aufnahme und Auswertung von Fossilaufnahmen und der Anfertigung von Zeichnungen.

Einführung

Weltweit erfolgte am Ende der Trias eine relativ schnelle Regression, der eine langsame Transgression im unteren Jura folgte. Während dieser Zeit trat außerdem eine biotische Krise auf, die einen der größten Faunenschnitte der Erdgeschichte verursachte. Als zumindest einer der Gründe für diese Ereignisse wird der Beginn des CAMP (Central Atlantic Magmatic Province)-Vulkanismus betrachtet, der u.a. einen Anstieg des CO_2-Gehaltes in der Luft und eine Übersäuerung der Meere verursacht haben soll. Außerdem wird für viele Meeresbereiche mit einem Absinken des Sauerstoffgehaltes in den tieferen Wasserschichten bis hin zu dysoxischen oder sogar anoxischen Verhältnissen gerechnet.

Die Absenkung des Meeresspiegels betrug in den Nördlichen Kalkalpen maximal 100 m. Vor allem im mittleren und östlichen Teil der Nördlichen Kalkalpen (NKA) lassen sich drei West-Ost verlaufende Becken verfolgen, die sich durch eine kontinuierliche Sedimentation von der Trias in den Jura auszeichnen. Diese Sedimentbecken werden durch Kalkplattformen getrennt, die am Ende der Trias trockengelegt wurden, und auf die im Hettangium eine allmähliche Transgression erfolgte. Von Norden nach Süden lassen sich folgende Becken unterscheiden: Allgäu-, Eiberg- und Hallstatt/Zlambach-Becken. Das Exkursionsgebiet liegt im Bereich des westlichen Eibergbeckens und auf der südlich anschließenden Karbonatplattform (Abb. 1).

a) Allgäubecken: Das Allgäubecken grenzte bis in den unteren Jura nach Norden an das Keuperland Süddeutschlands oder wurde von ihm durch das Vindelizische Hoch getrennt. Das Allgäubecken lässt sich von den Allgäuer Alpen bis auf die Höhe von Wien verfolgen. Nach Süden schließt sich eine Karbonatplattform an (z.T. mit Riffen in der obersten Trias), die im Süden an das Eibergbecken grenzt.

b) Eibergbecken: Das Eibergbecken ist vom Lahnenwiesgraben westlich Garmisch-Partenkirchen über 200 km bis zum Salzkammergut östlich Salzburg erhalten und lässt sich in ein westliches und östliches Becken unterteilen (Abb. 1). Südlich schließt eine weitere Kalkplattform an, die sog. Dachsteinkalklagune, die nach Norden und Süden von Riffen begrenzt wird.

c) Hallstatt/Zlambachbecken: Im Süden der Dachsteinkalklagune lag das Hallstatt/Zlambachbecken, das mit dem Tethys-Ozean im Süden in Verbindung stand. Sedimente des Hallstatt/Zlambachbeckens sind nur von Lofer (SW Salzburg) bis zum Alpenostrand erhalten.

Eine Verbindung und damit Faunenaustausch zwischen den verschiedenen Becken wird im Westen angenommen.

Kontinuierliche, gut aufgeschlossene Profile von der Trias in den Lias sind aus dem Allgäu- und dem Eibergbecken bekannt. Ammoniten des basalen Hettangium wurden allerdings bisher nur im westlichen Eibergbecken gefunden. Das Hallstatt/Zlambachbecken ist vor allem durch seine artenreichen Ammoniten-Faunen der oberen Trias bekannt. Die bisher aus dem Hettangium beschriebenen Ammoniten stammen wahrscheinlich aus Moränenblöcken. Die überwiegend tonig-mergeligen Sedimente der obersten Trias und des Hettangium sind stark gefaltet, schlecht aufgeschlossen, und kontinuierliche Profile sind selten. Tonmergel mit Foraminiferen und Ostrakoden sowie aragonitisch erhaltenen Gastropoden und Muscheln gehören wahrscheinlich in das jüngste Rhae-

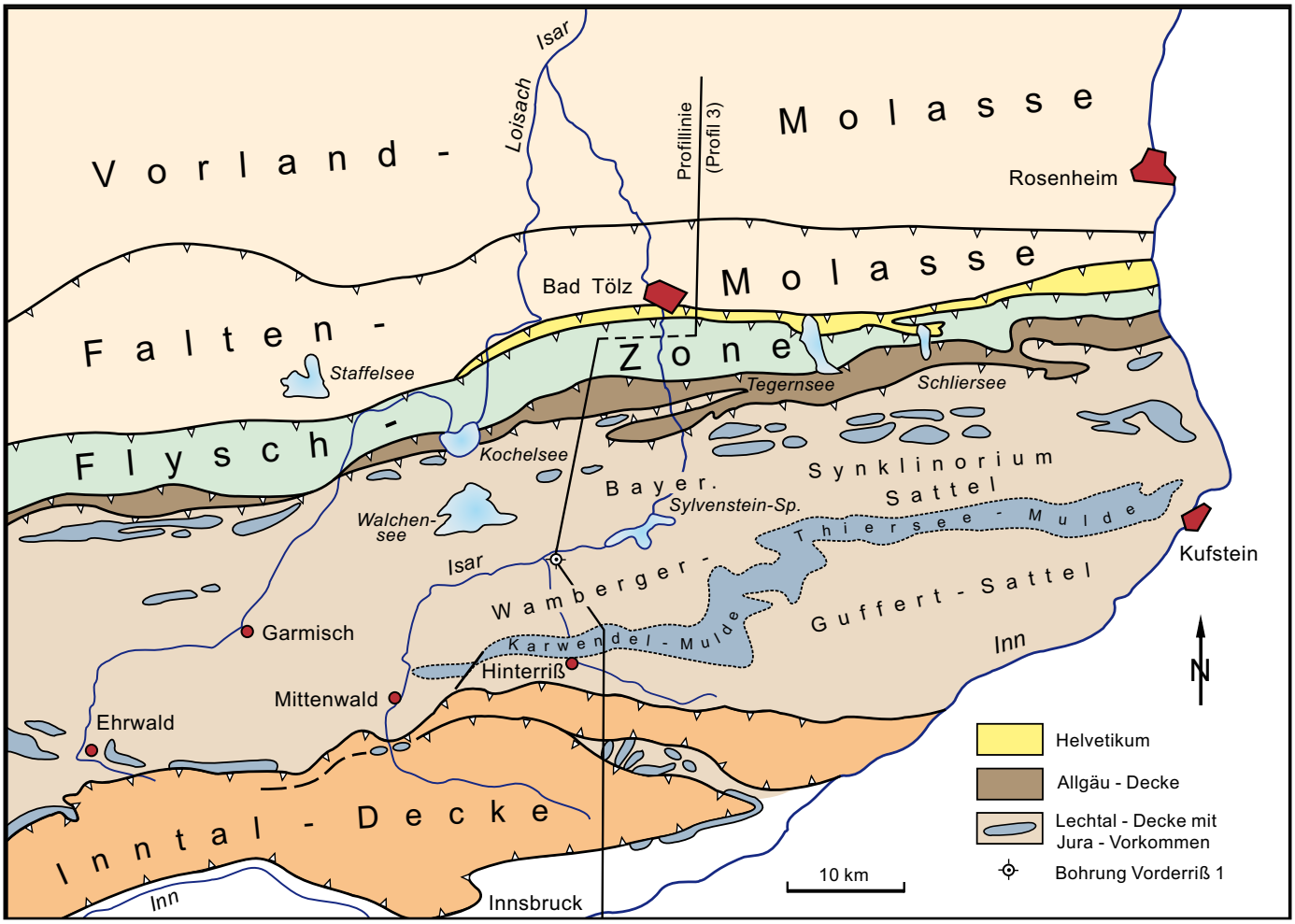


Abb. 2. Strukturkarte des Mittelabschnitts der bayerisch-tirolischen Alpen (umgezeichnet nach Doben & Fischer, 1982).

tium und früheste Hettangium, haben jedoch bisher keine bestimmbaren Ammoniten geliefert.

Im Allgäu- und Eibergbecken fand am Ende der Sedimentation der obersten Kössener Kalke (oberes Rhaetium) ein abrupter lithologischer Wechsel von gebankten, grauen Kalken zu tonig-mergeligen Sedimenten statt, wobei die Grenze zwischen beiden lithologischen Einheiten durch eine feinschich-

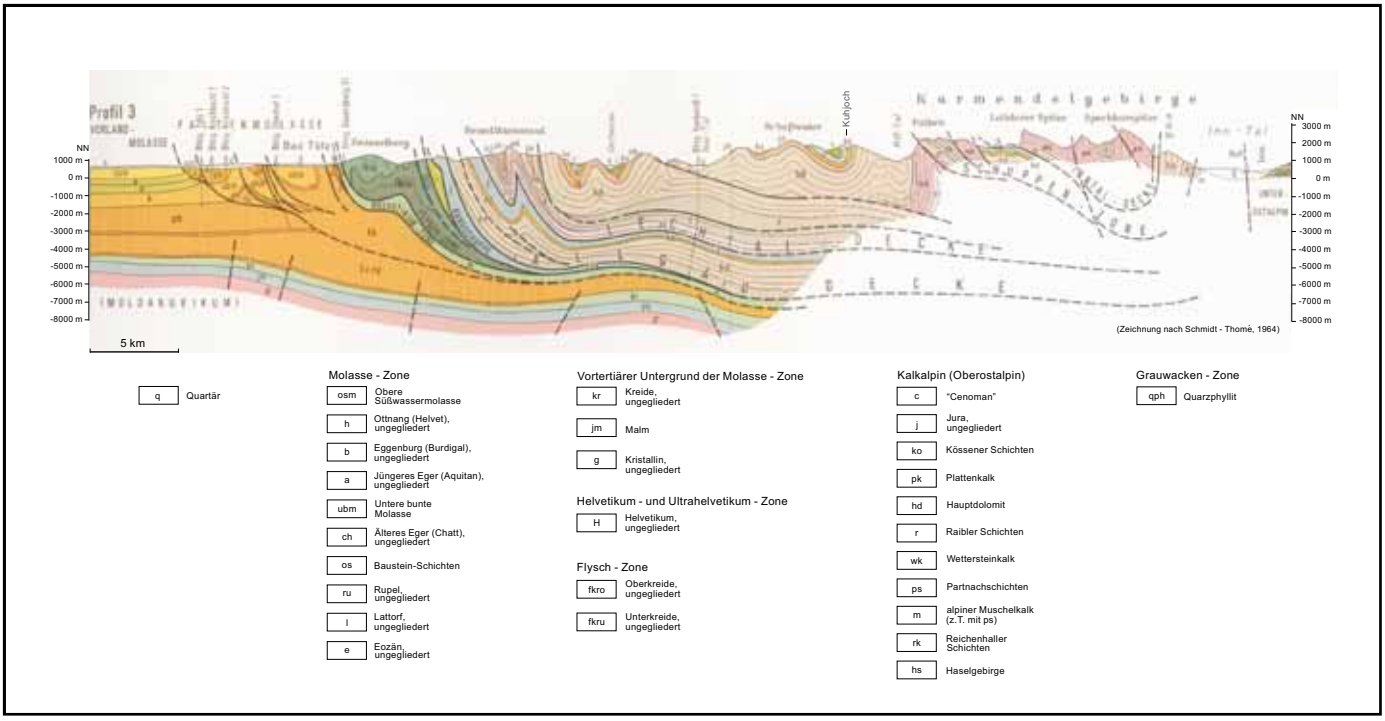


Abb. 3. Alpenprofil im Bereich des Exkursionsgebietes [umgezeichnet nach Tafel 6 zu den Erläuterungen der Geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000 (in Doben, 1981)].

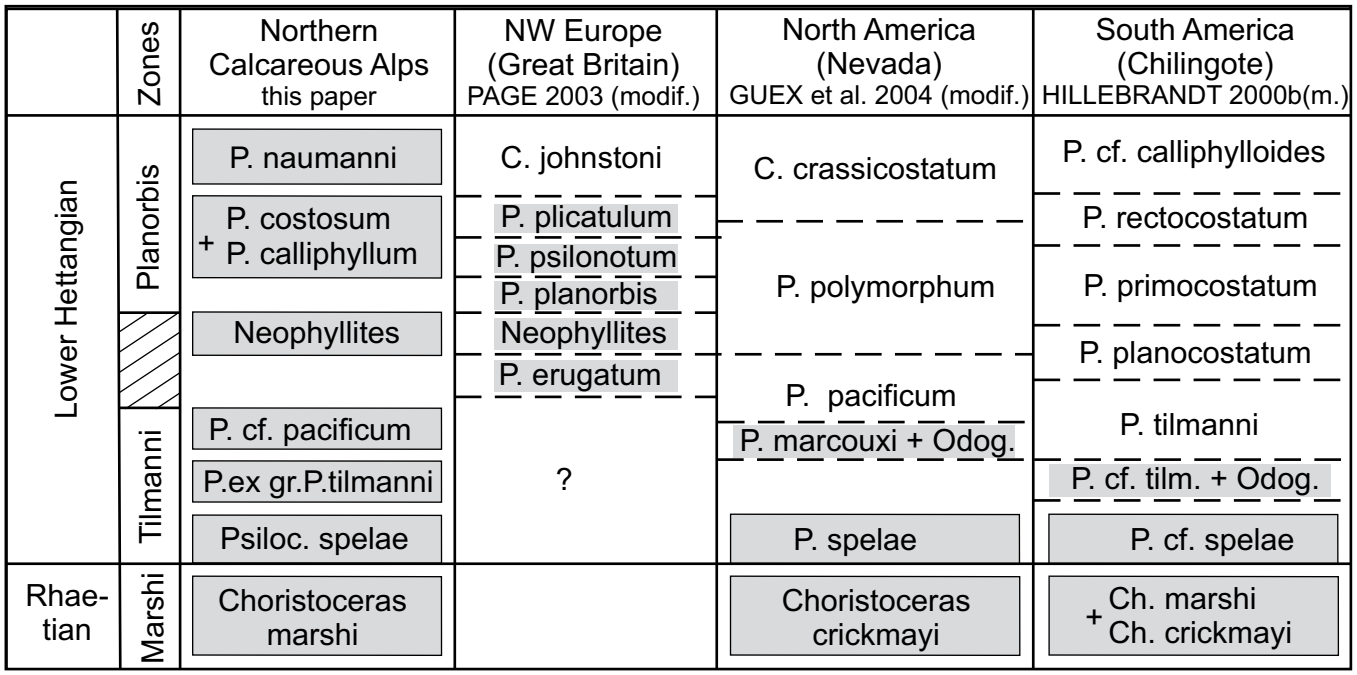


Abb. 4. Korrelation der Ammoniten-Zonen, -Subzonen und –Horizonte (grau) des Unteren Hettangium, gestrichelte Linien ungefähre Korrelation (Hillebrandt & Krystyn, im Druck).

tige, plattige Kalkbank mit einer am Top schwarzen, bituminösen Lage charakterisiert wird.

Bedingt durch die alpine Deckentektonik ist heute das Gebiet dieser verschiedenen paläogeographischen Einheiten stark verkürzt und übereinander gestapelt (Abb. 3). Da die Sedimente des Hallstatt/Zlambachbeckens den obersten tektonischen Decken der Nördlichen Kalkalpen angehören, sind diese am unvollständigsten erhalten.

Der östliche Teil des westlichen Eibergbeckens liegt im Bereich der E/W-streichenden Karwendelsynklinale. Diese ist etwa 30 km lang und ein Teil der Lechtaldecke der NKA. Die Synklinale ist breiter und flacher im Osten und wird schmaler nach Westen, mit steiler Flanke im Norden und steiler, überkippter Flanke im Süden. Die Exkursionen am Donnerstag (11.06.09) und Freitag (12.06.09) finden im Bereich der westlichen Karwendelsynklinale statt und die am Sonnabend (13.06.09) im sogenannten Bayerischen Synklinorium im nördlichen Teil der Lechtaldecke (Abb. 2, 3).

Die NKA sind seit über 100 Jahren für ihre reichen Ammonitenfaunen der Trias und des Jura bekannt, die je nach Fundort und Zeit einen mehr oder minder starken Tethys-Charakter aufweisen oder (im Jura) einen bioprovinziellen Übergang zu NW-Europa darstellen. Besondere taxonomische und biostratigraphische Bedeutung für das Hettangium erlangte die am Ostrand des Südflügels der Karwendelsynklinale gelegene Fundstelle Fonsjoch (Neumayr, 1879, Wähner, 1882-1889, Lange, 1952, Blind, 1963).

Bis vor kurzem wurde die aus NW-Europa stammende *Psiloceras planorbis*-Gruppe als älteste Ammoniten-Gruppe des europäischen Jura betrachtet und deshalb herangezogen, um die T/J-Grenze festzulegen. Gleichaltrige Psiloceraten sind auch aus dem alpinen Jura bekannt. Neue Untersuchungen in Nord- und Südamerika ergaben jedoch, dass dort morphologisch unterschiedliche Arten der Gattung *Psiloceras* deutlich früher als *Psiloceras planorbis* in Europa vorkommen, die in NW-Europa durch ungünstige ökologische Bedingungen oder eine Schichtlücke an der T/J-Grenze fehlen. Die Neufunde von *Psiloceras* liegen ca. 6 m über den letzten *Choristoceras* des oberen Rhaetium und ca. 18 m unter der kondensierten *Calliphyllum*-Bank, die in etwa – je nach Lokalität – den Biohorizonten der Planorbis-Standardzone entspricht. Die Neufunde liegen in einem stratigraphischen Bereich, der dem der frühen Psiloceraten in Amerika entspricht.

Lithologie und Biostratigraphie der obersten Trias und des Jura im Exkursionsgebiet

1) Kössen-Formation (Golebiowski, 1990, Tomasovych & Siblik, 2007)

Die Kössen-Formation wird in der Beckenfazies in die Hochalm- und die Eiberg-Subformation unterteilt.

a) Hochalm-Subformation

Die Hochalm-Subformation beginnt mit flachmarinen, subtidalen bis peritidalen Karbonaten. Darüber liegen kleinmaßstäbliche Sequenzen aus siliziklastischen und karbonatischen Intervallen mit Sturmaufarbeitung unter hochenergetischen Sedimentationsbedingungen zwischen der Schönwetter-Wellenbasis und maximaler Sturmwellen-Basis. Es folgen Mergel der maximalen Vertiefung des Beckens, die auf die Karbonatplattform übergreifen. Typisch ist eine gleichmäßige Wechsellagerung biomikritischer Kalke und Mergel. Die oberste Einheit besteht aus weit verbreiteten Korallenkalken mit der initialen Bildung von großmaßstäblichen Fleckenriffen.

b) Eiberg-Subformation

Die Eiberg-Subformation wird durch eine zyklische Wechsellagerung von Mergeln, mergeligen Kalken und mikritischen

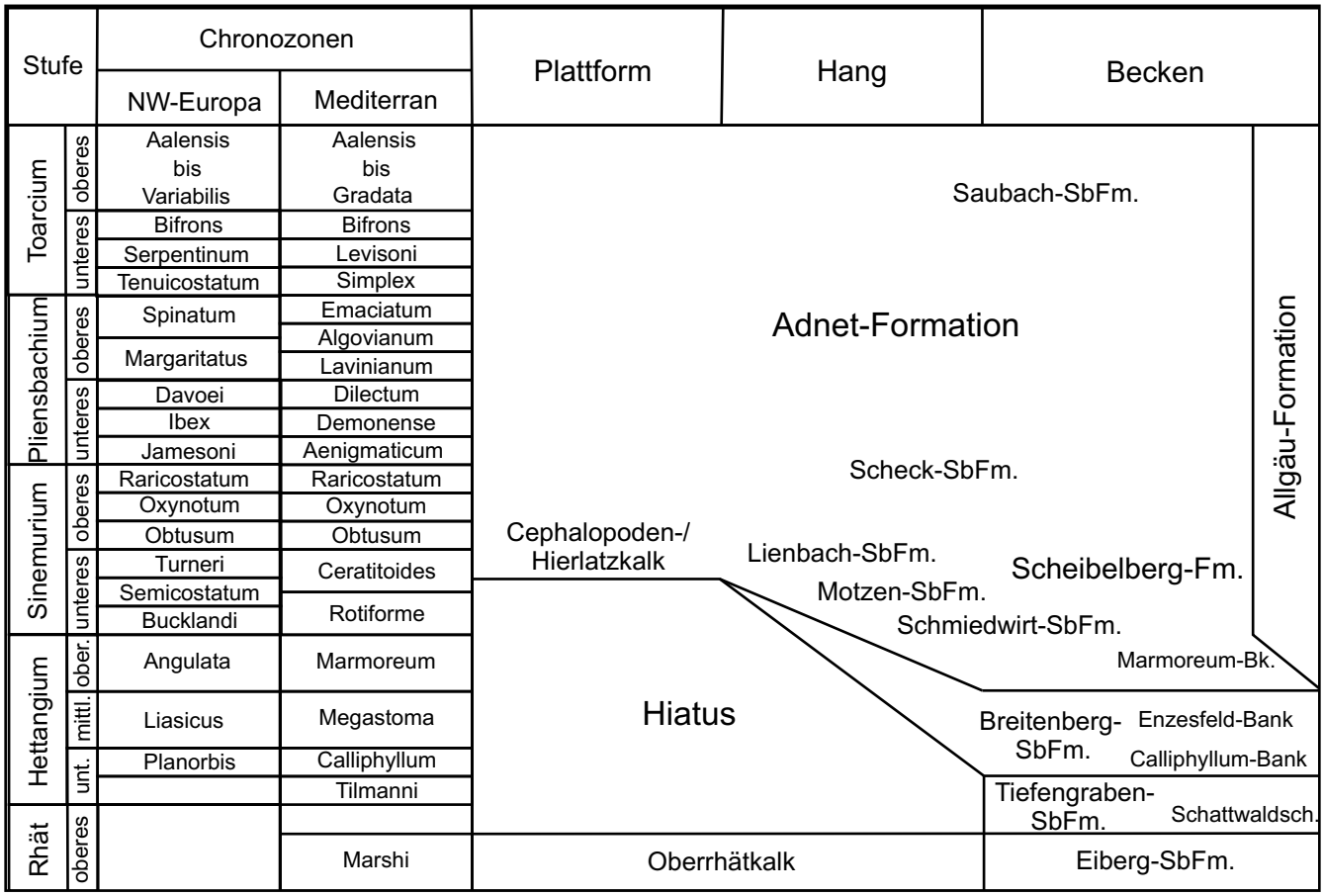


Abb. 5. Biostratigraphie und Lithostratigraphie des Unteren Jura im Exkursionsgebiet (AvH).

Kalken charakterisiert, die unterhalb der maximalen Sturmwellenbasis abgelagert wurden.

Die oberste Einheit der Eiberg-Subformation besteht in der Karwendelmulde aus dm-bis dickbankigen, mikritischen, 2 bis 3 m mächtigen Kalken, die auf mehrere Meter mächtigen, dunklen Mergeln liegen. In den Kalken kommen Querschnitte von *Choristoceras* und Brachiopoden (vor allem *Oxycolpella oxycolpos*) und in den Lösungsrückständen Conodonten des oberen Rhaetium vor. In den liegenden Mergeln wurden eine zumeist artenarme, kleinwüchsige Foraminiferen- und eine artenarme Ostrakodenfauna gefunden. In den Mergelfugen der darüber liegenden Kalkbänke sind rhätische Ostrakoden mit der Dominanz folgender Healdiiden vorhanden: *Ogmoconcha trigonia*, *Ogmoconchella bristolensis*, *O. martini*, *Signohealdia robusta* und *Torohealdia amphicrassa*. Die oberste Einheit der Eiberg-Subformation schließt mit einer 20 bis 25 cm mächtigen, an der Basis z.T. mergeligen, feinschichtigen Kalkbank (= T-Bank in Hillebrandt et al. 2007) ab, die an der Basis eine reiche Mikrofauna aus Foraminiferen (hps. Nodosariidae) und Ostrakoden lieferte. Die T-Bank endet mit einer 1 bis 2 cm mächtigen, feinschichtigen, schwarzen, bituminösen Lage mit Fischschuppen, Muscheln und den letzten ***Choristoceras*** des oberen Rhaetium

2) Kendlbach-Formation (Plöchinger, 1982)

Die Kendlbach-Formation liegt über der Eiberg-Subformation der Kössen-Formation und wird in die Tiefengraben- und die Breitenberg-Subformation unterteilt. Fabricius (1966) bezeichnete die Tiefengraben-Subformation in der Karwendelmulde als rhätische Grenzmergel (Typlokalität Marmorgraben NE Mittenwald, Abb. 6, 11) und Ulrich (1960) die Breitenberg-Subformation als Grauer Basiskalk.

a) Tiefengraben-Subformation (Golebiowski, 1990)

Die feinschichtige, schwarze, bituminöse Schicht am Top der T-Bank geht in graue, etwa 3 cm mächtige Mergel mit Muscheln über. Anschließend folgen etwa 35 bis 40 cm mächtige, hellbräunliche bis graue Mergel mit pyritgefüllten Bohrspuren im tieferen Teil. Die Mergel werden im oberen Teil feinschichtig und gehen in ebenfalls feinschichtige rote Tonmergel über, die als **Schattwalder Schichten** (Typuslokalität in der Allgäu-Einheit im Tannheimer Tal, Westtirol) bezeichnet werden. Die hellbräunlichen bis grauen Mergel (**Grenzmergel s. str.** i. S. von Hillebrandt et al. 2007) können im tieferen Teil Muscheln (*Pseudolimea*, *Cardinia*, *Agerchlamys*) (Abb. 23) und eine artenarme Foraminiferenfauna aus Nodosariiden und Ostrakoden enthalten, zum Teil dominieren flachgedrückte *Trochammina*. Im höheren Teil verarmt die Mikrofauna noch stärker und eine großwüchsige *Marginulinopsis* herrscht vor.

Die Mächtigkeit der Schattwalder Schichten beträgt in der Karwendelmulde 2 bis 3 m (in der Allgäueinheit bis zu 10 m). Sie sind allerdings häufig stark tektonisch beansprucht und in der Mächtigkeit reduziert, seltener erhöht. Vor allem im Nordflügel der Karwendelmulde können geringmächtige, graue, kalkige Mergelhorizonte eingelagert sein, in denen Muscheln (hps. Pectiniden) auftreten. Pectiniden-Fragmente treten auch in den Rückständen von Mergelproben auf, zu-

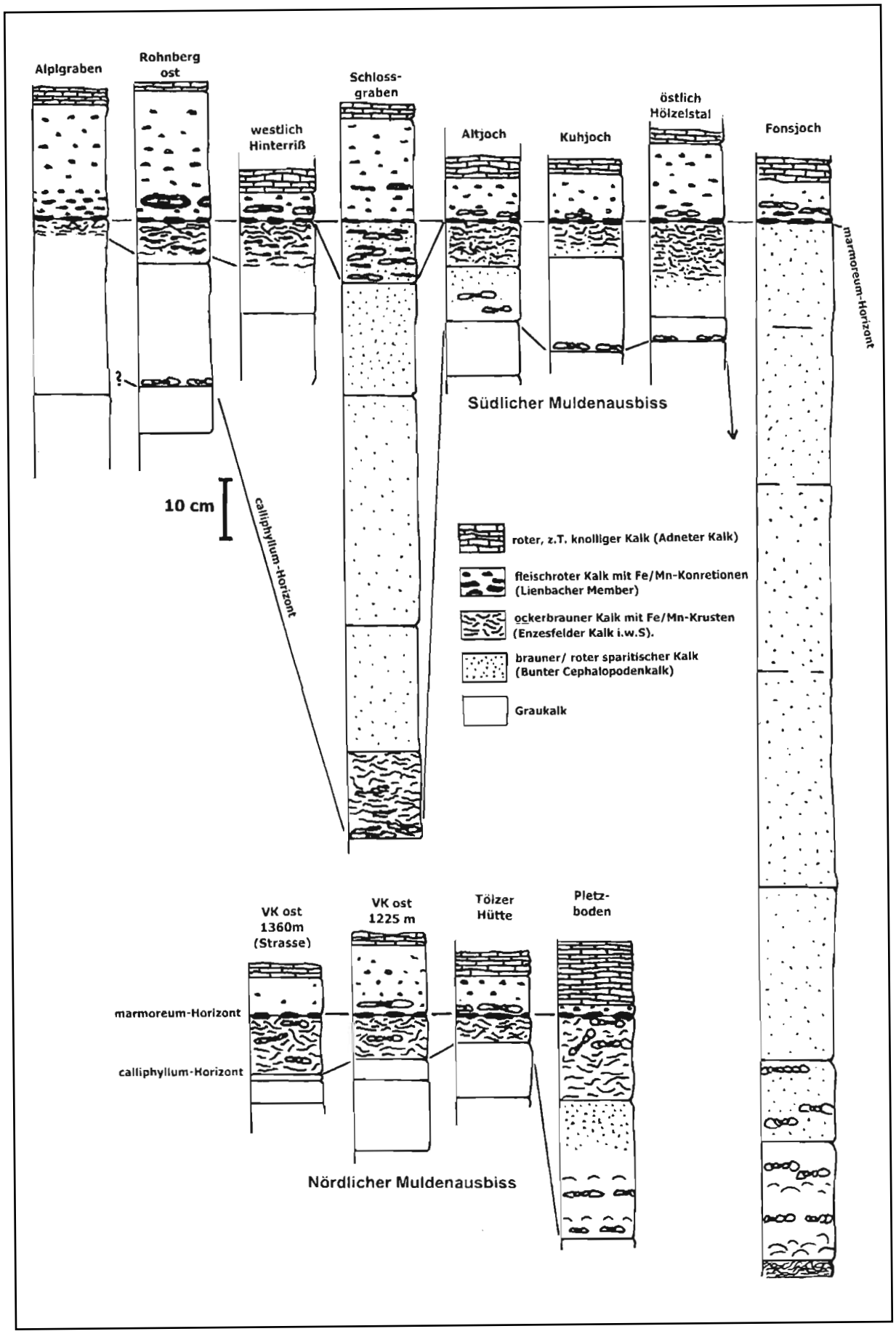


Abb. 6. Detailprofile vom Graukalk der Tiefengraben-SbFm. bis zu den roten Knollenkalken der Adnet-Fm. in der Karwendelmulde (KK).

Abb. 7. Lageskizze der Profile von Abb. 6.

sammen mit einer artenarmen Nodosarioidea-Fauna und *Hippocrepina*, einem einfach gebauten, silikatisch gebundenen Sandschaler, der auch noch unter ungünstigen ökologischen Bedingungen auftritt. Bei den Ostrakoden handelt es sich bis zum ersten Auftreten von *Psiloceras* um eine verarmte rhätische Fauna bestehend aus *Fabalicypris* cf. *triassica*, *Paracypris redcarensis*, *Eucytherura sagitta*, *Ogmoconchella bristolensis* und *Cytherelloidea buisensis*.

Die Schattwalder Schichten gehen in die **Tiefengraben-Subformation s. str.** über, die im unteren Teil aus mehr oder minder tonigen, grauen Mergeln besteht und in denen vereinzelt **Muscheln** (*Cardinia*, *Astarte*, Nuculiden) auftreten. 5 bis 6 m über dem Top der T-Bank kommen über eine Mächtigkeit von 0,4 m bis knapp 1 m kleinwüchsige (Durchmesser überwiegend nur 1 bis 2 cm), häufig noch mit Aragonitschalen erhaltene, vorwiegend flachgedrückte Ammoniten vor. Es handelt sich fast ausschließlich um eine neue Unterart von *Psiloceras spelae* (Abb. 4, 21) (Typlokalität Hochalplgraben, Abb. 30, Aufschluss 7). Es ist die älteste Art der für den unteren Jura typischen Gattung *Psiloceras*. Diese Art wurde zunächst in Nordamerika, dann auch in Südamerika und nun auch in Europa gefunden.

Die Mergel bis Tonmergel enthalten eine Mikrofauna aus **Foraminiferen** und **Ostrakoden**, **kalkige Nannofossilien** und gut erhaltene **Palynomorphen**.

Die Foraminiferenfauna wird durch einen großwüchsigen Sandschaler (*Ammobaculites*) charakterisiert. Daneben treten vorwiegend kleinwüchsige Polymorphiniden und Nodosarioidea und zum z.T. häufig, aragonitschalige Oberhauserellidae auf. Letztere bilden eine Entwicklungsreihe, die biostratigraphisch wichtig ist. Die Gattung *Praegubkinella* (Oberhauserellidae) erscheint kurz unterhalb der Schicht mit *Psiloceras spelae* n. ssp. Die aus den Schattwalder Schichten genannten rhätischen Ostrakoden reichen noch ins Hettangium. Sie zeigen an, dass im obersten Rhaetium weiterhin marine Ablagerungsbedingungen geherrscht haben. Daneben sind *Ogmoconchella* mit ca. 80% der Individuen und *Cytherelloidea* mit 5-10% vertreten. Letztere Gattung weist auf ungünstige, disaerobe Lebensbedingungen am Meeresboden hin. Knapp unter dem ersten Auftreten von *P. spelae* tauchen folgende jurassische Arten auf: *Fabalicypris praelonga*, *Pseudomacrocypris subtriangularis* und *Paradoxostoma*? *pusillum*. Im *spelae*-Horizont kommen weitere jurassische Arten hinzu: *Bairdiacypris*? *sartriensis*, *Eucytherura elegans*, *Ogmoconchella telata* und *Cytherella drexlerae* sowie knapp darüber *Eu. elongata* und *O. ellipsoidea*. Im *pacificum*-Horizont (s.u.) treten erstmals auf: *Lobobairida hettangica* (am Ochsentaljoch), *Eucytherura paracostata* und *Liasina* aff. *lanceolata*. Die meisten jurassischen Ostrakoden wanderten also an der Basis oder zur Zeit des *spelae*-Horizonts und einige später im *pacificum*-Horizont ein. Ebenfalls ab dem *spelae*-Horizont werden Crinoideen-Elemente häufig bis sehr häufig. Im Profil des Hochalplgrabens tritt eine 1 cm mächtige Crinoidenlage auf.

Im oberen Teil der mittleren Tiefengraben-Subformation nimmt in den Mergeln die Siltkomponente zu und es treten anschließend kalkarenitische Bänke auf. In den siltigen Mergeln wurde in 3 Profilen *Psiloceras* cf. *pacificum* (Abb. 22) gefunden, eine ebenfalls in Nord- und Südamerika gefundene

Art, die für den mittleren Teil des unteren Hettangium charakteristisch ist. Im Übergangsbereich von der unteren zur mittleren Tiefengraben-Subformation entwickelt sich aus *Praegubkinella* die für den Jura typische Gattung *Reinholdella* (Abb. 25), die in der mittleren Tiefengraben-Formation zusammen mit *Ammobaculites* die überwiegende Faunenkomponente darstellen kann (Hillebrandt, 2008).
Im tieferen Teil der oberen Tiefengraben-Subformation sind in die Mergel zwei mikritische Kalkbänke eingelagert, die untere mit Muscheln (hps. *Liostrea*), selten Brachiopoden (*Tetrarhynchia*) und sehr selten Ammoniten. Im oberen Teil der Tiefengraben-Subformation werden kalkarenitische Mergel und Kalkbänke häufiger und es vollzieht sich ein Übergang in die Breitenberg-Subformation mit nur noch geringmächtigen Mergelfugen zu Beginn.
Während in der Mittleren Tiefengraben-Subformation noch reiche Mikrofaunen mit Foraminiferen und Ostrakoden vorhanden sind, tritt im oberen Teil dieser Subformation zunehmend eine Verarmung der Mikrofaunen ein.

b) Breitenberg-Subformation (Golebiowski, 1990) (Abb. 5)

Lithologie und Biostratigraphie des Schichtbereichs von der *calliphyllum*-Bank bis zur *marmoreum*-Bank (Abb. 6, 7)

1. Lithologie

- Im Karwendelgebirge beginnt die Breitenberg-SbFm. mit wenigen, grauen Kalkbänken (bis max. 10) (**„Grauer Liasbasiskalk“** i. S. von Ulrich, 196), selten auch mit einer dünnen Bank, die violett bis grünlich ist (z.B. Profil Vorderskopf Ost, Abb. 6). Die Mächtigkeit dieser Graukalke kann bis zu 30 cm betragen. In den obersten Graukalkbänken werden Glaukonit und Muschelschill zunehmend häufiger. In einzelnen Profilen sind deutlich ein oder zwei Muschelpflaster mit *Plagiostoma giganteum* vorhanden. Ausführlich beschrieben sind die Muschelpflaster z. B. vom Fonsjoch, dort allerdings nicht mehr im Gaukalk. Die oberste Graukalkbank (selten mehr als eine Bank) kann reich an Ammoniten sein und enthält durch mehr oder minder starke Kondensation mehr als einen biostratigraphischen Ammonitenhorizont.
- Über den Graukalkbänken folgt ein ockerbrauner Kalk, der reich an Eisen-Mangan-Krusten und -Imprägnationen ist. Typisch sind in der Mikrofauna Kleingastropoden und involutinide Foraminiferen. Das Gestein ist ein wirres Durcheinander von Gesteinsklasten verschiedener Herkunft mit Subsolutionsspuren, Fossilien und Fe-Mn Krusten. Der Übergang vom Graukalk zu diesem als **„Enzesfelder Kalk** im weiteren Sinn“ (Abb. 5) anzusprechenden Gestein ist meistens fließend und findet innerhalb von ca. 10 Zentimetern statt. Selten folgt auf den Graukalken als Übergang ein brauner Kalk, der erst im obersten Bereich die typischen Krusten und Imprägnationen zeigt (z.B. Profil Pletzboden, Abb. 6). Die ockerbraune Verwitterungsfarbe ist für den Enzesfelder Kalk charakteristisch. Der Enzesfelder Kalk ist meistens mikritisch ausgebildet (v.a. im Westen). In den östlichen Profilen wird er zunehmend sparitisch.
- Als einzige Ausnahme ist das Profil am Fonsjoch zu nennen: die Kalkabfolge beginnt dort mit einer Varietät des Enzesfelder Kalks, einem gelbbraunen mikritischen Kalk, der sehr reich an Eisen und großen kieseligen Konkretionen ist. Graukalke sind (tektonisch bedingt ?) nicht vorhanden.
- Über dem Enzesfelder Kalk kann ein hellbrauner oder weinroter, sparitischer Kalk (Wackestone) folgen. Dieser Kalk ist besonders mächtig am Fonsjoch und kommt auch im Schlossgraben(Abb. 6) vor. Diese gut gebankten Kalkbänke sind nach Tollmann (1976) als **Bunter Lias-Cephalopodenkalk** anzusprechen, auch wenn gelegentlich die Cephalopoden fehlen. An den meisten Profilen fehlt er jedoch; der Enzesfelder Kalk endet dort mit der *marmoreum*-Kruste.
- Als Leithorizont folgt eine in allen Profilen zu beobachtende Eisen-Mangan-Kruste, die sog. **„*marmoreum*-Kruste**“ nach *Angulaticeras marmoreum* Oppel. Sie ist ein klassischer Kondensationshorizont. „Die Bildung dieser kondensierten Serie fällt mit einem globalen Meeresspiegeltiefstand zusammen (Haq et al. 1988) und lässt sich durch verstärkte Strömungsaktivität erklären (Böhm 1992).“ (Wagreich et. al. 1996). Die Eisenmangankruste liegt im Exkursionsgebiet, wie bereits erwähnt, entweder direkt auf dem Enzesfelder Kalk oder auf dem Lias-Cephalopodenkalk. Im Bereich der Plattformen kann sie als erste jurassische Schicht auf Rhätkalk liegen, z.B. an der Steinplatte oder in Adnet. Die *marmoreum*-Kruste kann punktuell bis zu 10 cm mächtig werden (= ***marmoreum*-Bank**) (Abb. 5). Dieser Bereich ist oft schlecht zu fassen, der Übergang zum liegenden (bzw. hangenden) Gestein fließend. Charakteristisch sind große Fe-Mn-Konkretionen in Verbindung mit einer dünnen durchgehenden Kruste.

2. Biostratigraphie

- Zu Beginn der Kalkabfolge über den Grenzmergeln (Tiefengraben-SbFm.) tritt immer in großer Zahl *Psiloceras calliphyllum* Neumayr innerhalb <u>einer</u> Kalkbank auf, von früheren Autoren als Leit-Ammonit für die Basis des Hettangium angesehen. Diese Art ist zusammen mit *Psiloceras costosum* Lange in fast allen Profilen nachzuweisen! Die Ausbildung als Ammonitenpflaster ist nicht selten.

Diese sog. ***calliphyllum*-Bank** (Abb. 5) ist entweder als Graukalk ausgebildet (z.B. Rohnberg, Pletzboden oder Kuhjoch), oder im Enzesfelder Kalk (dort stark kondensiert) enthalten. Am Fonsjoch ist sie ausnahmsweise am Übergang des Enzesfelder Kalks zu den Bunten Cephalopodenkalken zu finden. Ob das Ammonitenpflaster mit *Ps. calliphyllum* am Fonsjoch faziell noch zum Enzesfelder Kalk gezählt werden sollte oder nicht, bleibt zu definieren.

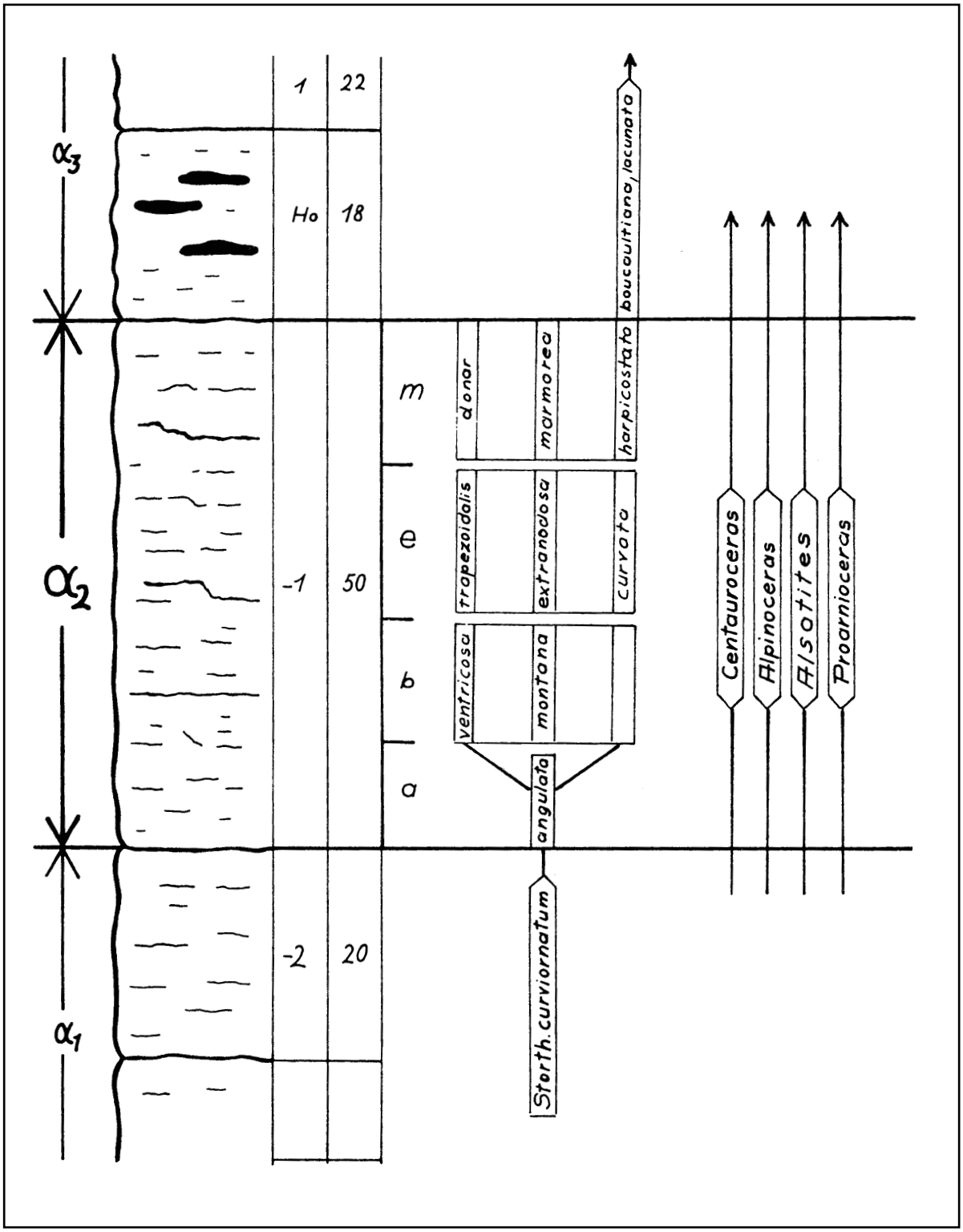


Abb. 8. Biostratigraphie vom Mittleren Hettangium bis Unteren Sinemurium am Breitenberg (Salzkammergut) nach Blind, 1963.

In der nächsten Bank folgen *Psiloceras naumanni* Neumayr und *Caloceras johnstoni* Sowerby. Eine Trennung dieser beiden Ammoniten-Horizonte ist nur an den mächtigeren Profilen (Fonsjoch, Pletzboden) (Abb. 6) nachzuweisen. Meist liegen sie untrennbar zusammen vor, z.B. am Kuhjoch.

Eine Bank des mittleren Hettangium mit *Storthoceras frigga* Wähner im tieferen Teil und *Megastomoceras megastoma* Gümbel sowie *Alsatites proaries* Neumayr und begleitenden Formen im höheren Teil ist selten nachzuweisen. Sie fehlt bei den meisten Profilen bzw. ist im stark kondensierten Enzesfelder Kalk enthalten.

Gelegentlich finden sich einzelne Exemplare aus diesem Faunenbereich im obersten Enzesfelder Kalk, häufig umgelagert und verkrustet innerhalb der *marmoreum*-Kruste. Die Ausnahme stellt wiederum das Fonsjoch dar, wo das mittlere Hettangium mächtig und fossilreich ansteht. Im Profil Pletzboden konnten an einem Aufschluß wenige cm unter der *marmoreum*-Kruste im Enzesfelder Kalk zahlreiche Leitformen des mittleren Hettangium gefunden werden.

In der *marmoreum*-Kruste sind in den geringmächtigen Aufschlüssen des Nordflügels vor allem umgelagerte Formen des unteren Hettangium (z.B. Tölzer Hütte) enthalten, wie z. B.

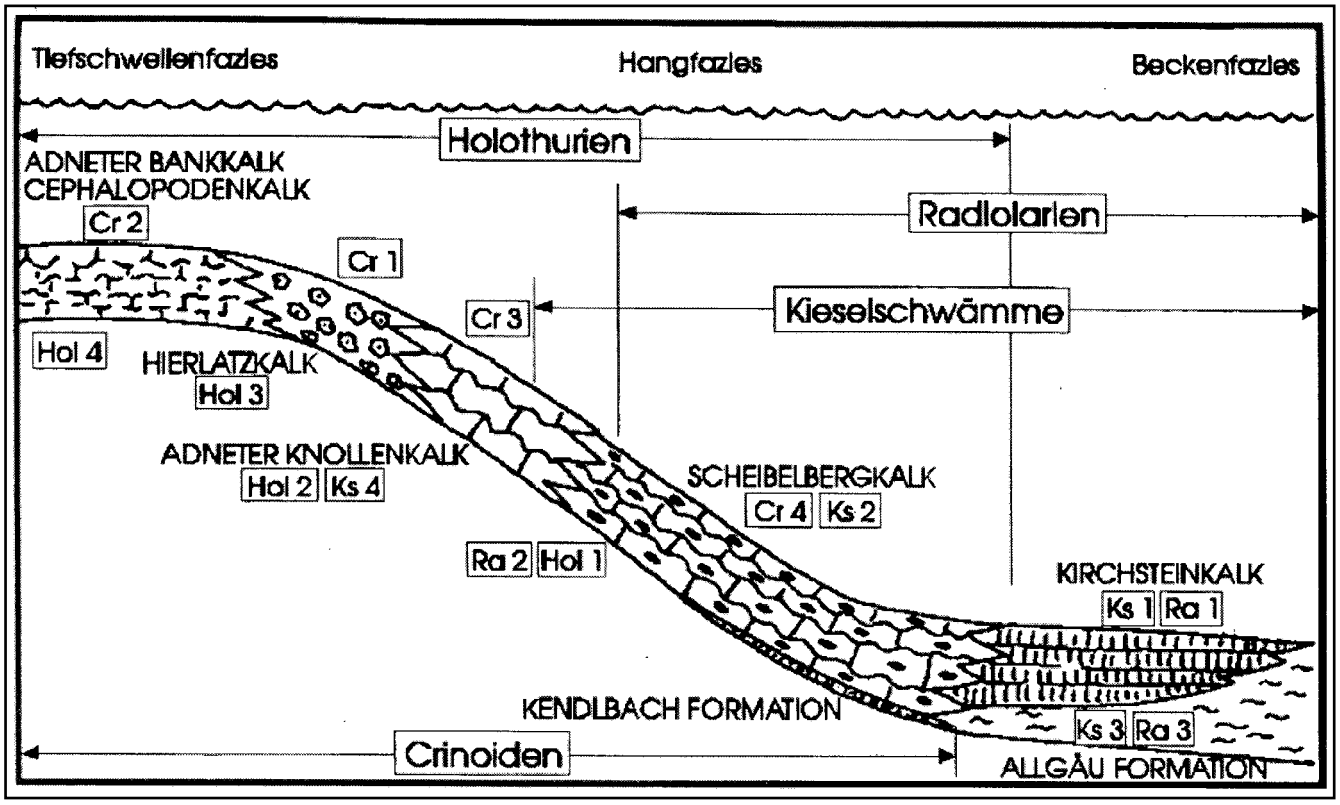


Abb. 9. Verbreitung der Crinoiden, Holothurien, Radiolarien und Kieselschwämme in der Tiefschwellen-, Hang- und Beckenfazies des Lias (nach Krainer & Mostler, 1997).

Psiloceras calliphyllum. Ausschließlich Ammoniten des mittleren und oberen Hettangium finden sich in den Aufschlüssen Pletzboden, westl. Hinterriß, Rohnberg Ost, Altjoch, Kuhjoch, und Hölzelstal. Ausschließlich Formen des oberen Hettangium sind in den mächtigsten Profilen (Schlossgraben und Fonsjoch) enthalten. Ein Trend ist in den genannten Profilen nicht festzustellen. Am Aufschluß Vorderskopf Ost fehlen Ammoniten in der *marmoreum*-Kruste fast völlig. Ganz

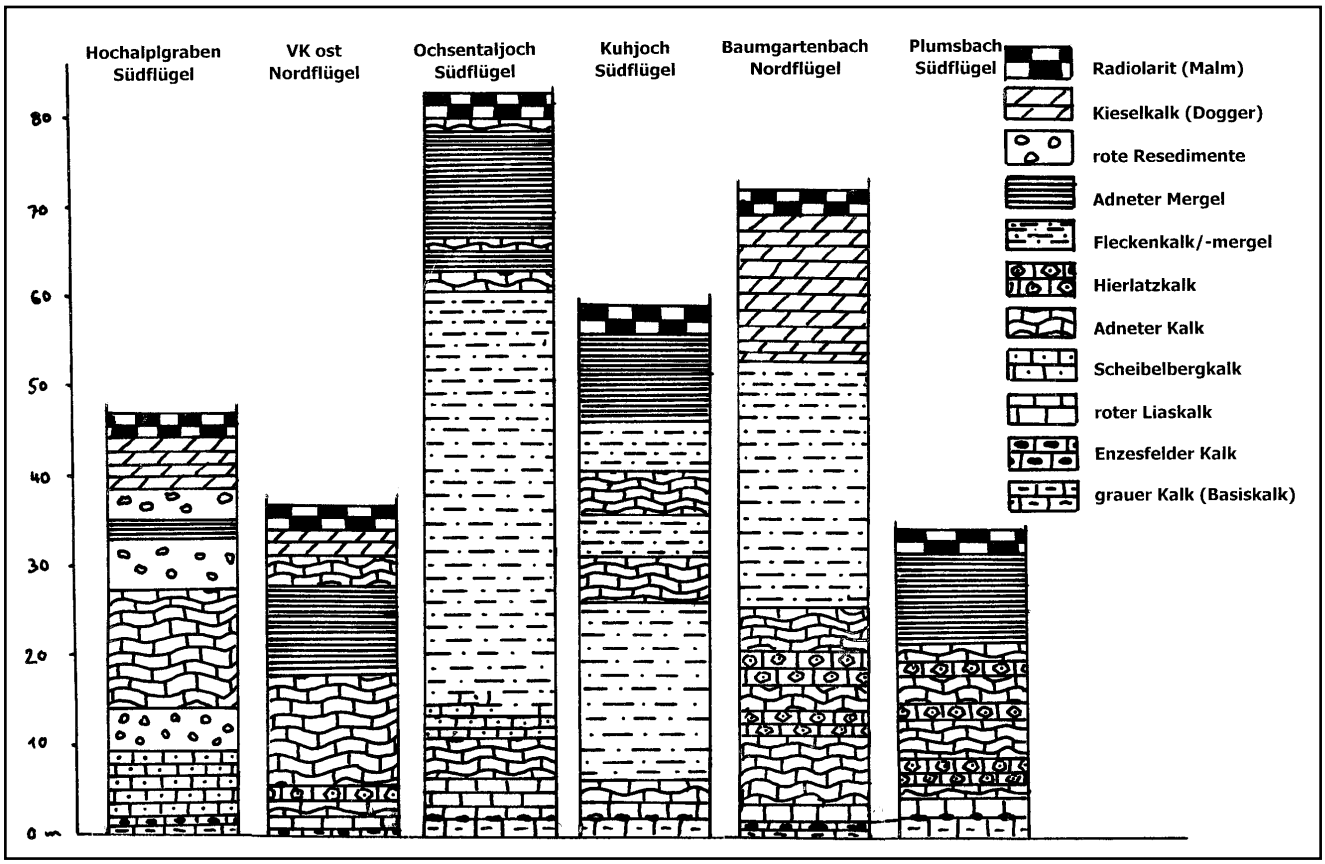


Abb. 10. Liasprofile in der Karwendelmulde (umgezeichnet und ergänzt nach S. Schütz, 1974).

Abb. 11. Lageskizze der Profile von Abb. 10.

vereinzelt finden sich unter den Ammoniten des mittleren Hettangium frühe Schlotheimiiden, die noch zu beschreiben sind.

- Die Fauna des oberen Hettangium mit *Schlotheimia montana* Wähner und *Angulaticeras marmoreum* Oppel beginnt in der *marmoreum*-Kruste. Je nach Karbonatsedimentation während dieser Krustenbildung kann ein Ammonitenpflaster ausgebildet sein, z.B. beobachtet in einem Block aus dem Schlossgraben. Häufig ist allerdings eine Anreicherung der Fauna wenige cm über der Kruste in der Lienbach-SbFm., immer mehr oder weniger umkrustet mit Limonit.

Der Artenreichtum der Fauna ist nicht überall gleich. Manchmal fehlen einzelne Ammonitengruppen aufgrund von Sedimentationslücken.

Zum Beispiel treten im Profil an der Tölzer Hütte seltene Formen wie u.a. *Schreinbachites*, *Epammonites* und engnablige *Discamphiceras* konzentriert zusammen mit typischen Vertretern wie *Schlotheimia montana* des unteren Oberhettangium auf. Sie sind die jüngsten Formen und leiten bereits über ins Sinemurium. Dagegen treten dort Formen wie *Schlotheimia donar*, *Alpinoceras haueri* und *A. marmoreum* nicht auf, die Blind (1963) als jüngste Formen aus der marmoreum-Zone beschreibt (Abb. 8). Hier wurden scheinbar über längere Zeit keine Ammoniten abgelagert. Ein einziges Exemplar von *Alpinoceras haueri* ist vom Profil Tölzer Hütte bekannt.

Die Grenze zwischen der Kendlbach- und der Adnet- oder Scheibelberg-Formation kann an der Basis oder dem Top der *marmoreum*-Kruste gezogen werden, da deren Bildung offensichtlich mit einem überregionalen Ereignis verbunden ist.

3) Adnet- und Scheibelberg-Formation (Abb. 5)

- Auf der *marmoreum*-Kruste liegt zumeist ein fleischroter, mikritischer Kalk, in dem vor allem im unteren Bereich größere Fe-Mn- Konkretionen auftreten. Meist ist die ganze Bank voll mit kleinen Konkretionen (<10mm). Der Gesteinswechsel über der *marmoreum*-Kruste zu einem mikritischen Rotkalk ist ein weiteres typisches Indiz, diesen Horizont im Gelände zu finden. Dieser Rotkalk kann eindeutig zur **Lienbach-SbFm.** (beschrieben nach der Typlokalität bei Adnet in Wagreich et al (1996) der **Adnet-Fm.** (Abb. 5) gestellt werden.
- Die Fortsetzung der Schichtfolge bilden weitere Gesteinstypen der **Adnet-** oder auch **Scheibelberg-Fm.** (Garrison, 1964) (Abb. 5) in typischer Ausbildung (siehe unten).

Durch die Zerlegung des Ablagerungsbereichs im Hettangium in einzelne Schollen ist die Lithologie der Liasgesteine sehr divers, je nach Stärke der Absenkung und Kippung der Schollen. Die Karwendelmulde weist eine schnelle – jedoch auch unterschiedliche - Absenkung auf. Schwellensedimente (Bunte Cephalopodenkalke und Crinoidenspatkalke) wechseln vertikal und lateral sehr schnell mit Hangsedimenten (Adneter Schichten s.l. = Adnet-Fm. und Lias-Kieselkalke =

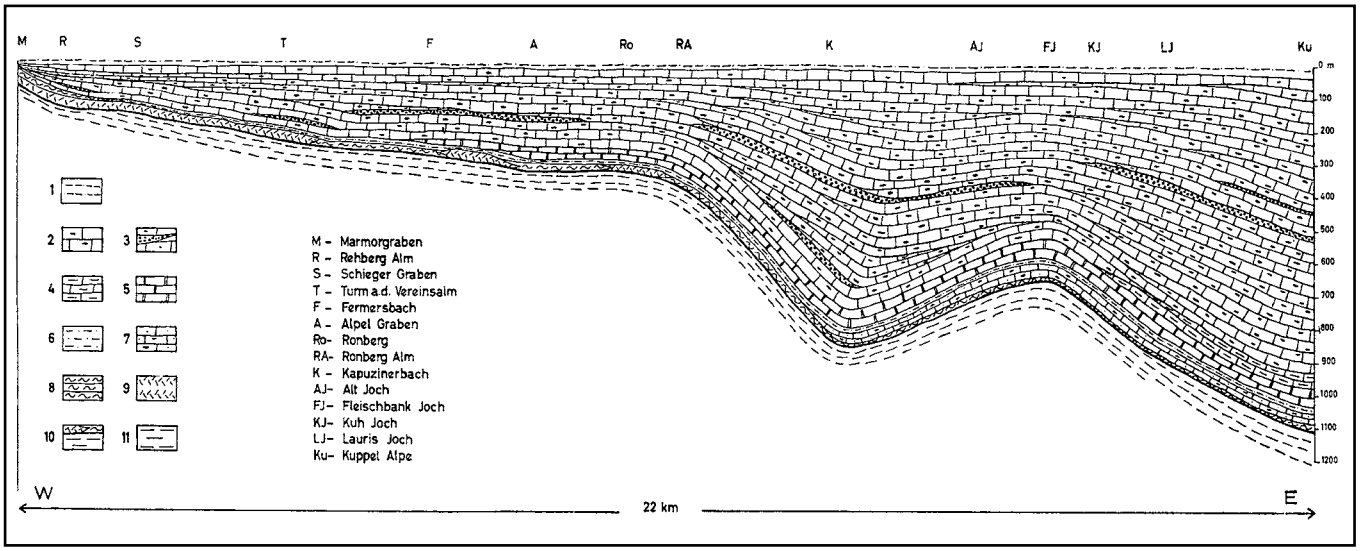


Abb. 12. Fazieslängsprofil für die Jura-Schichtenfolge im Bereich der Karwendel-Mulde. 5 fach überhöht gezeichnet. 1 = Neokommergel, 2 = Oberjura-Hornsteinkalk, 3 = Konglomeratlagen im Oberjurakalk, 4 = kalkig-mergelige Aptychenschichten, 5 = Kieselkalke, 6 = Bunte Mergel, z. T. kieselig, 7 = kieseliger Fleckenkalk, 8 = Knollenkalk, 9 = Crinoiden- und Spatkalk, 10 = Grauer Basiskalk, 11 = Kössener Schichten (Ulrich, 1960).

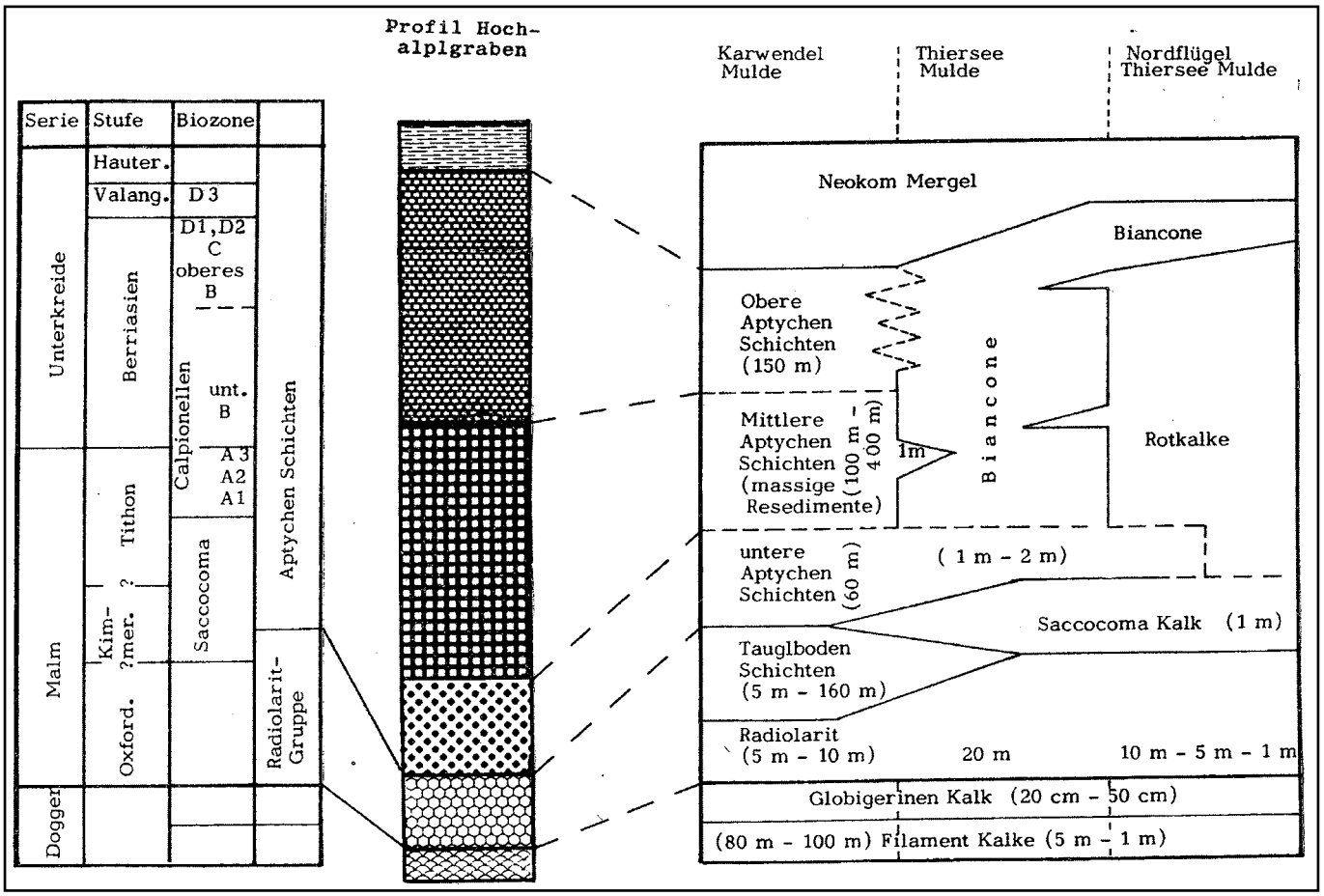


Abb. 13. Stratigraphie und lithologische Gliederung der Aptychen-Schichten der Karwendel- und Thiersee-Mulde (nach K.-I. Schütz, 1975).

Scheibelberg-Fm.) und Beckensedimenten (graue Mergel und Fleckenkalke = Allgäu-Fm.) ab (Abb. 5, 9, 10).

a) Im **Nordflügel** der Karwendelmulde liegt am Vorderskopf fast die gesamte Abfolge des Lias als **Adnet-Formation** vor: Crinoiden-Biomikrite (**Motzen-SbFm.**) des Unterlias, rotbraune Knollenkalke (**Schmiedwirt-SbFm.**) des Mittellias und rote Mergel (**Saubach-SbFm.**) des Oberlias. Nur im stratigraphisch tieferen Bereich ersetzt ein typischer Crinoidenspatkalk (Hierlatzkalk) Teile der Adnet-Fm., der nach Osten auskeilt. Die wenigen, gefundenen Ammoniten darin weisen auf Sinemurium. Im Sattelgraben wurde in Adneter Knollenkalken *Androgyroceras capricornus* (Schlotheim) des unte-

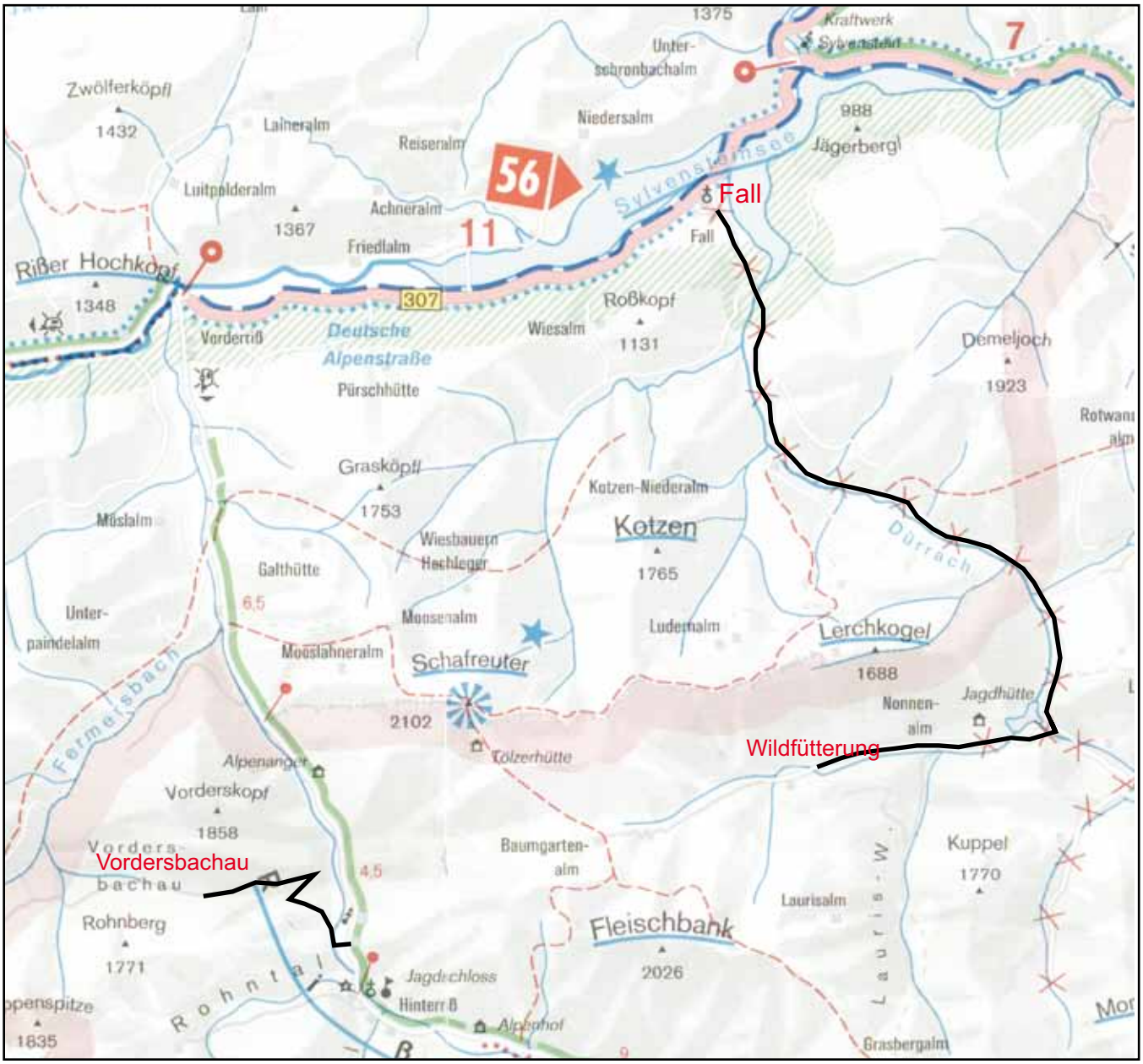


Abb. 14. Straßenkarte Fall – Hinterriß (schwarze Linien Anfahrt zur Kuhjoch-Exkursion und Exkursion zur Vordersbachau).

ren Pliensbachium (Davoei-Zone) gefunden (AvH). Die Gesteine des Toarcium beginnen mit einem Hiatus und einem ammonitenreichen Hartgrund, darüber ist eine mächtige Mergelsedimentation auffällig. Der Hartgrund lieferte viele mit Manganeisen vererzte Ammoniten (Kment, 1998). Er konnte in den Grenzbereich von der *Exaratum*- zur *Falciferum*-Subzone eingestuft werden. Fast die gesamte Exaratum-Subzone fehlt Weiter östlich kommen an der Tölzer Hütte im oberen Lias Graukalke und graue Mergel (**Allgäu-Fm.**) vor. Östlich von ihr sind die Aufschlüsse sehr schlecht.

b) Im **Südflügel** kommen am Rohnberg über wenig mächtigen Rotkalkbänken (der o.g. **Lienbach-SbFm.**) graubraune und rote Kalke und Kieselkalke (= **Scheibelberg-Fm.**) im unteren Bereich der Schichtfolge vor. Sie repräsentieren ein Hangsediment zwischen Schwelle und Becken und enthalten überwiegend eine Fauna des Sinemurium. Darüber liegen mächtige Knollenkalke (**Schmiedwirt-SbFm.**) und Mergel (**Saubach-SbFm.**) mit z.T. reichen Faunen vom Pliensbachium bis zum oberen Toarcium (Fischer in Doben & Fischer, 1982, S. 11). Im Westen kommen im Hochalplgraben sogar Resedimentlagen (**Scheck-SbFm.**) vor. Östlich Hinterriß sind nach S. Schütz (1974) über Rotkalken der Adnet-Fm. graue Sedimente (Allgäu-Fm.) ausgebildet, die auch im Wesentlichen das Sinemurium repräsentieren. Der obere Lias ist dann wieder durch Rotsedimente vertreten. Lias-Kieselkalke kommen nicht vor.

Die Adneter Schichten des Nordflügels sind fossilreich. Allgemein kann in der Karwendelmulde auf eine Beckenvertiefung von West nach Ost geschlossen werden. (Abb. 12, Ulrich, 1960)

4) Mittlerer Jura

Der Mittlere Jura im Nordflügel wird repräsentiert von geringmächtigen Knollenkalken, Filamentkalken oder rotbraunen Kieselgesteinen (Kieselkalk). Bajocium wurde durch

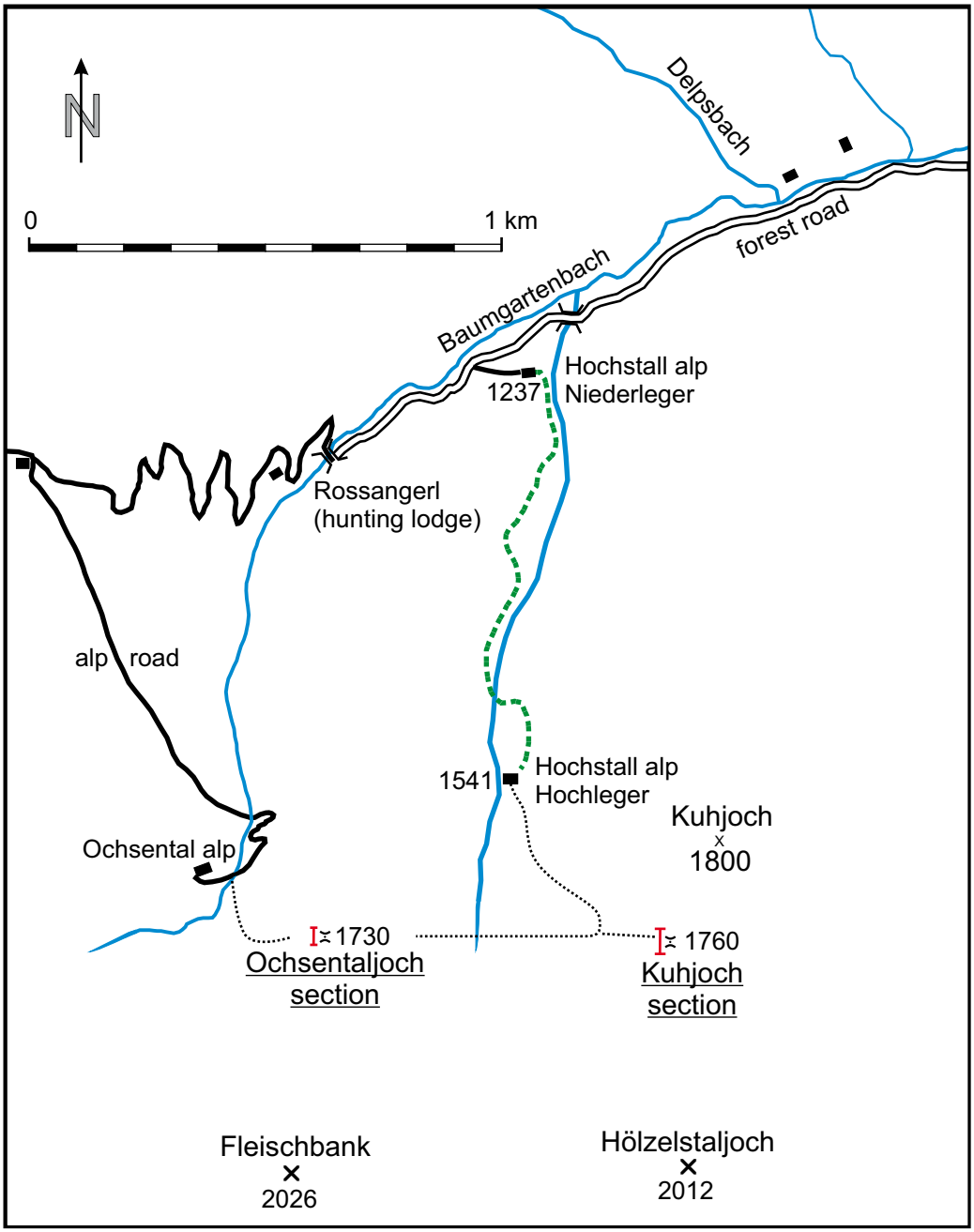


Abb. 15. Karte mit der Lage des Kuhjoch- und des Ochsentaljoch-Profils (nach Hillebrandt & Krystyn, im Druck).

?*Dorsetensia* sp. nachgewiesen. Es fand eine deutliche Absenkung des Ablagerungsraums gegenüber dem Lias statt. Im Südflügel konnte Mittlerer Jura in rotbraunen Mergeln im Liegenden des Radiolarits anhand von Protoglobigerinen und Ammoniten (Bajocium und Bathonium) nachgewiesen werden (S.Schütz, 1974) (Abb. 10).
Die Mächtigkeit der Gesteinsabfolge von den ersten Liaskalken bis zur Basis des Radiolarit beträgt zwischen 35 und 80 m (S. Schütz, 1974).

5) Unterer Oberjura (Abb. 13)

Die Gesteine des Mittleren Jura gehen über in grünen, violetten bis roten Radiolarit (**Ruhpolding-Fm.**), der meist sehr spröde ist und stark verwittert. Er wird in den untersten Oberen Jura (Oxfordium) gestellt.

6) Oberjura bis Kreide (Abb. 13)

Über dem Radiolarit folgt die mächtige **Ammergau-Fm.** („Aptychenschichten"), die bis zu 1000 m mächtig werden kann.
K.-I. Schütz (1975) unterteilt sie in:

- **Tauglboden-SbFm.** (Abb. 13) an der Basis: Radiolariengesteine mit deutlichem Kalkanteil; ca. 5-150 m.
- **Untere**, dünnbankige, dunkelgraue **Aptychenschichten**, ca. 60 m: graue mikritische Kalke, braungraue, feinkörnige Arenite mit Hornsteinen, grünlichgraue, dichte Kalke.
- **Mittlere**, unregelmäßig gebankte **Aptychenschichten** (mit Resedimenten), ca. 100-400 m: zuerst vereinzelte Resedimente, immer mächtiger und häufiger werdend. Alle Abstufungen von groben Brekzien bis zu Resedimenten mit geringen Korngrößen sind zu beobachten. Kilometerlange Turbidite sind wahrscheinlich. Zu Beginn der Mittleren Aptychenschichten (ca. ab Kimmeridge/ Tithon) erfolgten durch große Absenkungsgeschwindigkeiten unruhige Sedimentationsverhältnisse. Ein Ost-West-verlaufendes,

Abb. 16. Luftbild mit der Lage des Kuhjoch-Profils.

ständig absinkendes Gebiet wurde von Schuttströmen aus den Hochgebieten im Norden und Süden aufgefüllt.

- **Obere**, „biancone"-ähnliche, dünngebankte **Aptychenschichten**: überwiegend hellgelblichgraue, dichte Kalke, die wieder flacheres Ablagerungsmilieu anzeigen (Berrias): 150 m

Der Übergang vom Jura in die Kreide liegt innerhalb der mittleren bis oberen Aptychenschichten, ist fließend und mit Calpionellen biostratigraphisch nachgewiesen.
Über den Aptychenschichten liegen mächtige Mergel (**Schrambach-Fm.**), die bis zum Alb reichen können.

Exkursionen

Exkursionstag 11. 06. 09

Exkursion zum Kuhjoch (Trias/Jura-Grenze) (AvH) (Abb. 15-29)

Lage und Aufstieg: Der natürliche, künstlich erweiterte und inzwischen stark veränderte Aufschluss des Kuhjoch liegt im Bereich der Baumgrenze an einem kleinen, weglosen Pass (ca. 1760 m) südlich eines als Kuhjoch bezeichneten, rundlichen Höhenrückens und nördlich des felsigen Gipfels des Hölzelstaljoch (2012 m); zwischen dem Hochstalltal im Westen und dem Hölzelstal im Osten (Abb. 15).
Das Kuhjoch-Profil kann durch das Hochstalltal oder das Hölzelstal erreicht werden.
Wegen der besseren Parkmöglichkeiten ist der Aufstieg durch das Hölzelstal geplant. Die Fahrzeuge werden bei der Wildfütterung unmittelbar vor der Brücke über den Baumgartenbach geparkt (Abb. 16). Der Aufstieg findet vom Hölzelstalalm Niederleger über den Hölzelstalalm Mitterleger zum Hölzelstalalm Hochleger und die Geländemulde (Grenzmergel) zum Kuhjoch statt. Der Aufstieg ist mit einem 2½ bis 3-stündigen Fußmarsch (ca. 650 Höhenmeter) verbunden.
Der Aufstieg beginnt in Lokalmoräne und Aufschlüssen mit Kalken der Ammergau-Formation des Kimmeridge, Tithon und Berrias der Nordflanke der Karwendelmulde. Oberhalb des Hölzelstalalm Niederlegers quert eine kleine Brücke den Hölzelstalbach in den oberen Aptychenschichten der tieferen Unterkreide (Abb. 17, 18).
Anschließend wird der Muldenkern der Karwendelmulde durchquert, der durch das sumpfige Gelände der plattigen, kalkigen Mergel der Schrambach-Formation der Unterkreide gebildet wird. Der folgende Anstieg geht über Wiesen zum Hölzelstalalm Mitterleger (Alm) und von dort über Hangschutt der Ammergau-Fm. zurück zum Hölzelstalbach mit Kalken der Ammergau-Fm. und über Wiesen zum Hölzelstalalm Hochleger. Am oberen Teil des steilen Hangs, vor allem östlich des Tals, sind Rotsedimente des Lias und bis zum roten Radiolarit des Oxfordium in durch Hangrutsche freigelegten Flecken aufgeschlossen.
Westlich des Hochlegers (Viehstall) stehen an einem kleinen Geländerücken Graukalke der Breitenberg-Subformation, Enzesfelder Kalk und Rotkalke an. In den Graukalken tritt *Psiloceras calliphyllum* auf.
Der weitere Aufstieg verläuft Richtung Westen in der breiten Rinne zwischen dem Hölzelstaljoch und dem Kuhjoch und wird im oberen Teil auf der Nordseite von einer baumbestandenen Gesteinsrippe aus vorwiegend roten Liaskalken begleitet. In deren Hangschutt liegen Kalkblöcke in Enzesfelder

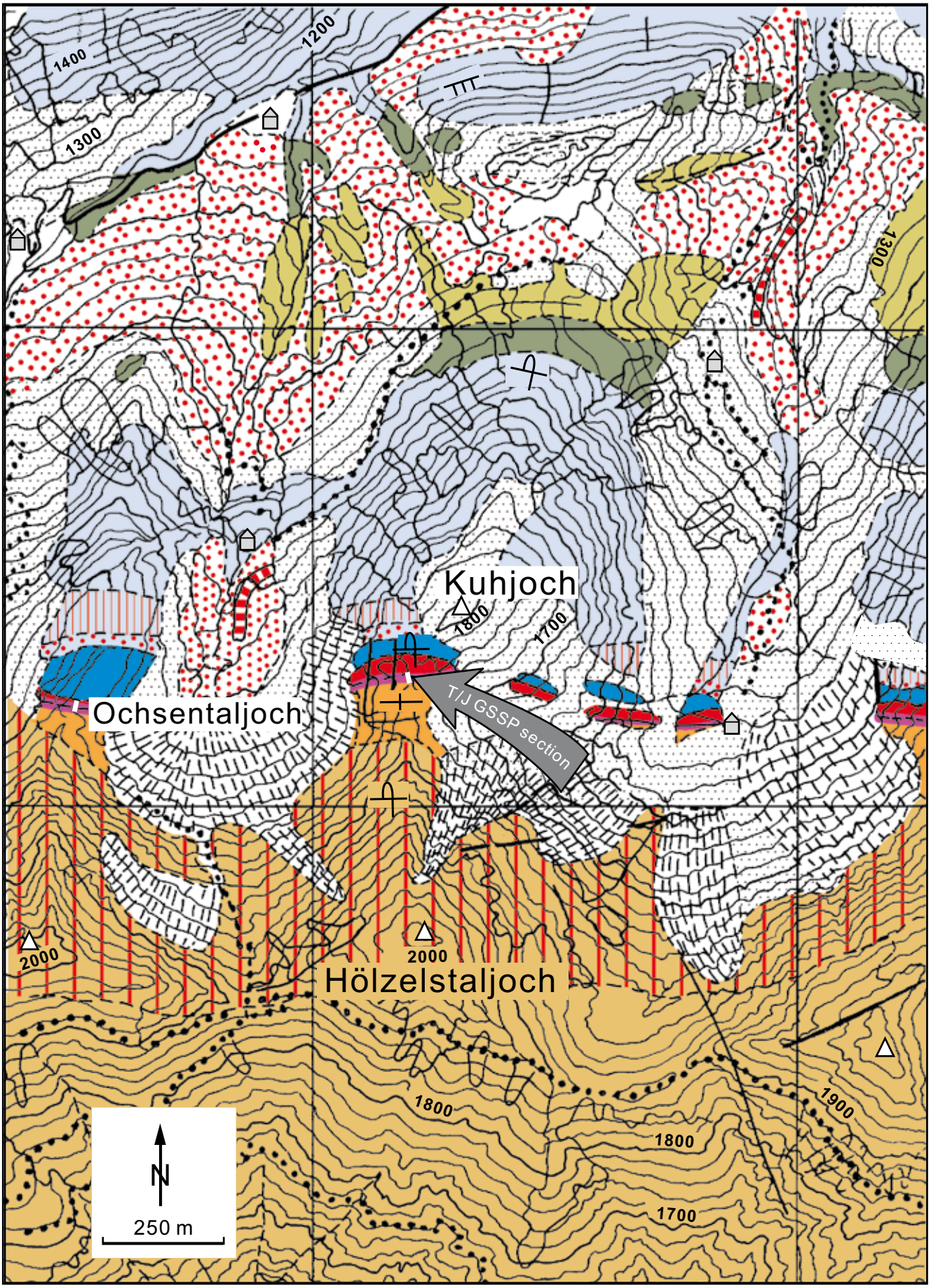


Abb. 17. Geologische Karte der südlichen Karwendelmulde im Bereich des Kuhjoch (Ausschnitt aus der geologischen Karte 1 : 10 000 S. Schütz, 1974).

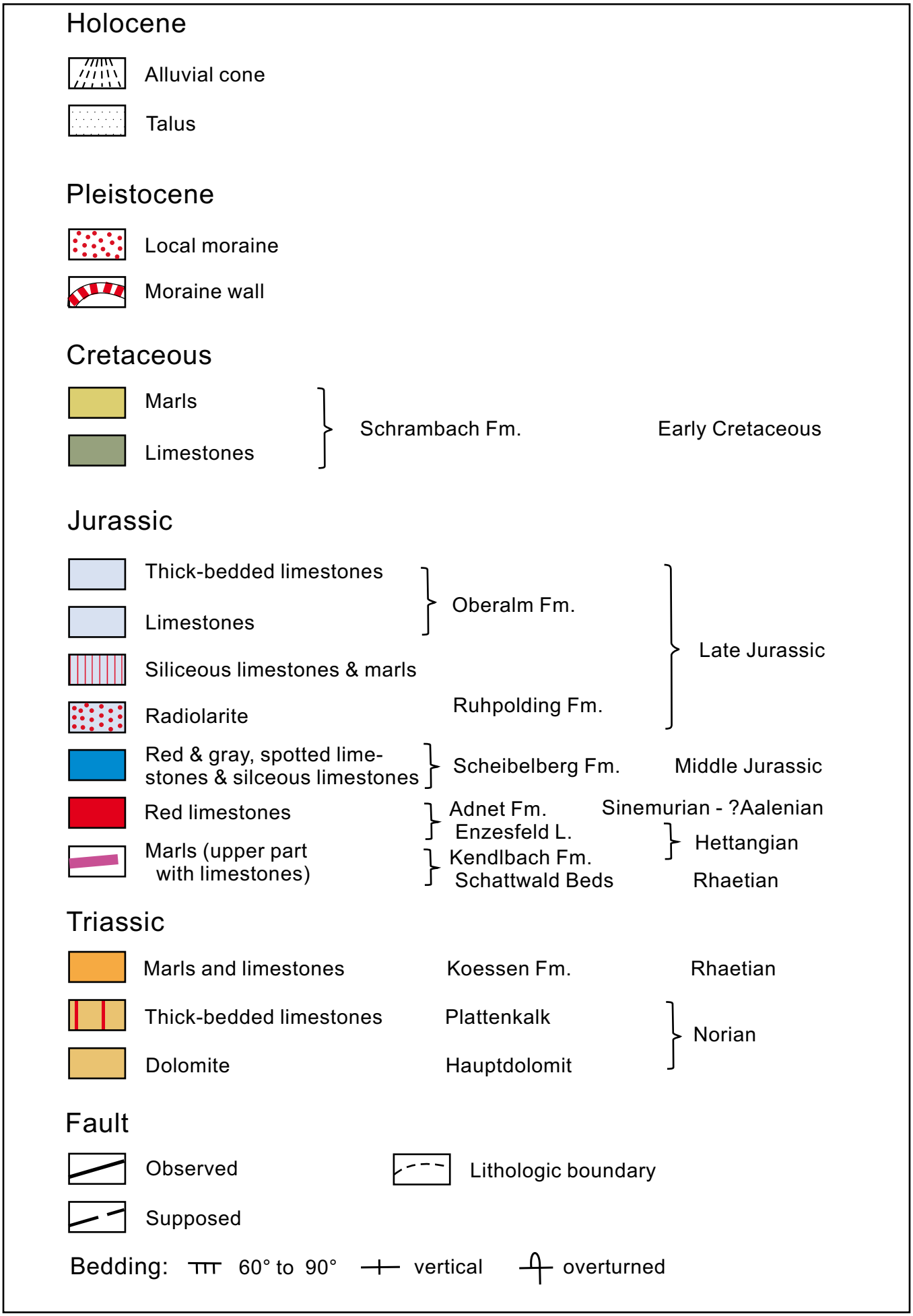


Abb. 18. Legende zur geologischen Karte.

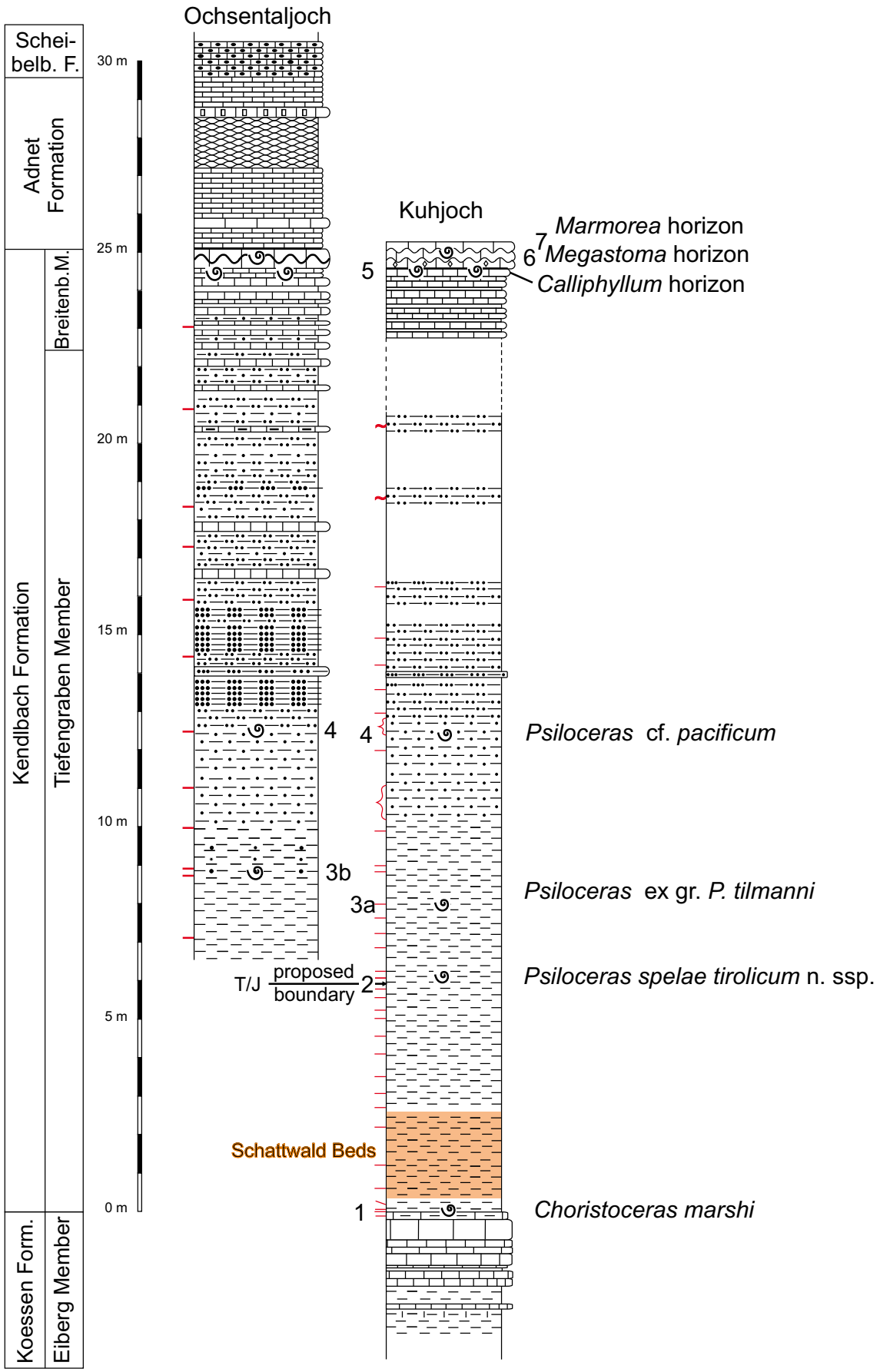


Abb. 19. Profile Kuhjoch- und Ochsentaljoch mit den Ammoniten-Horizonten (Hillebrandt & Krystyn, im Druck).

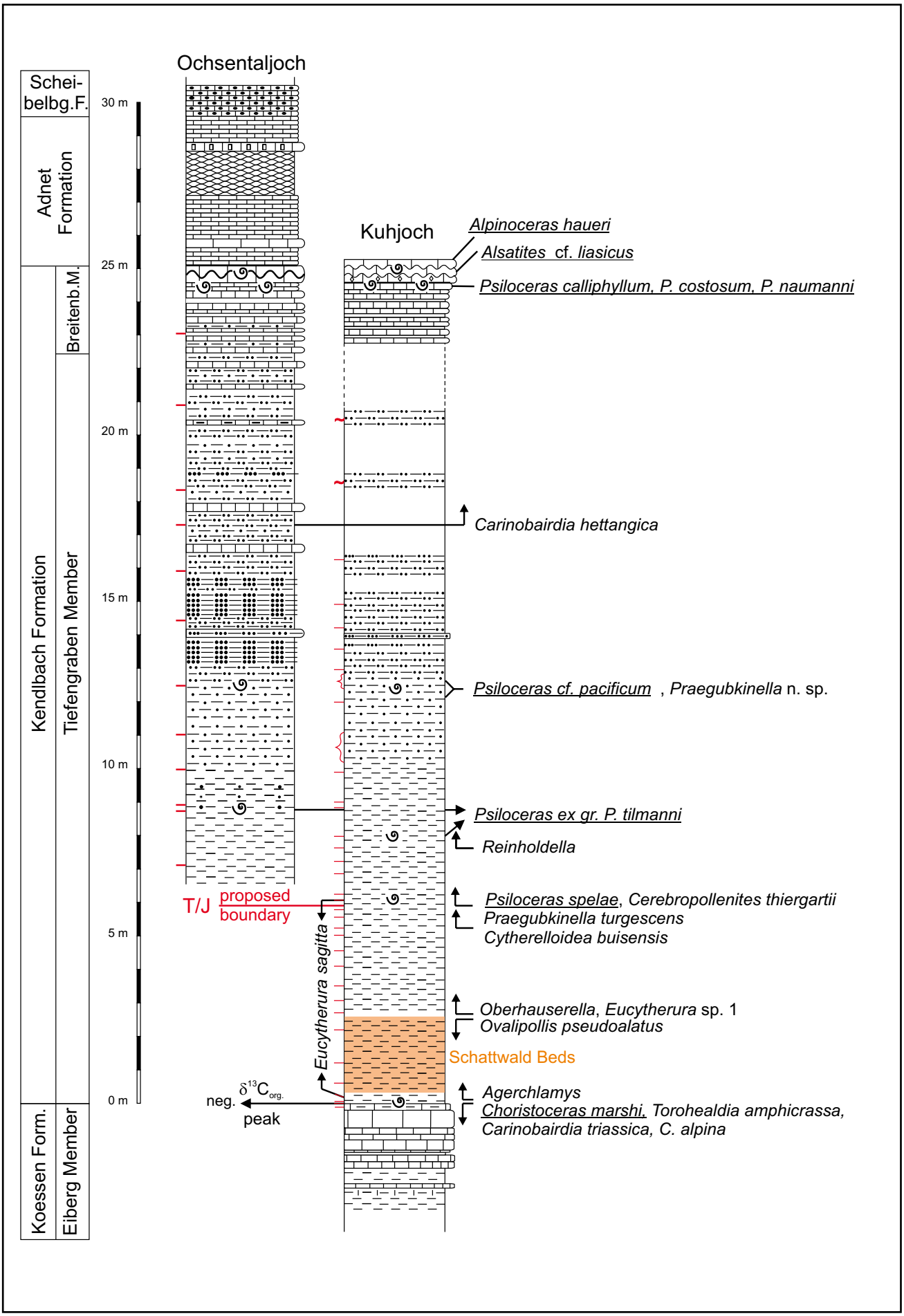


Abb. 20. Profile Kuhjoch- und Ochsentaljoch mit dem ersten und letzten Auftreten biostratigraphisch wichtiger Fossilien (nach Hillebrandt et al., 2007).

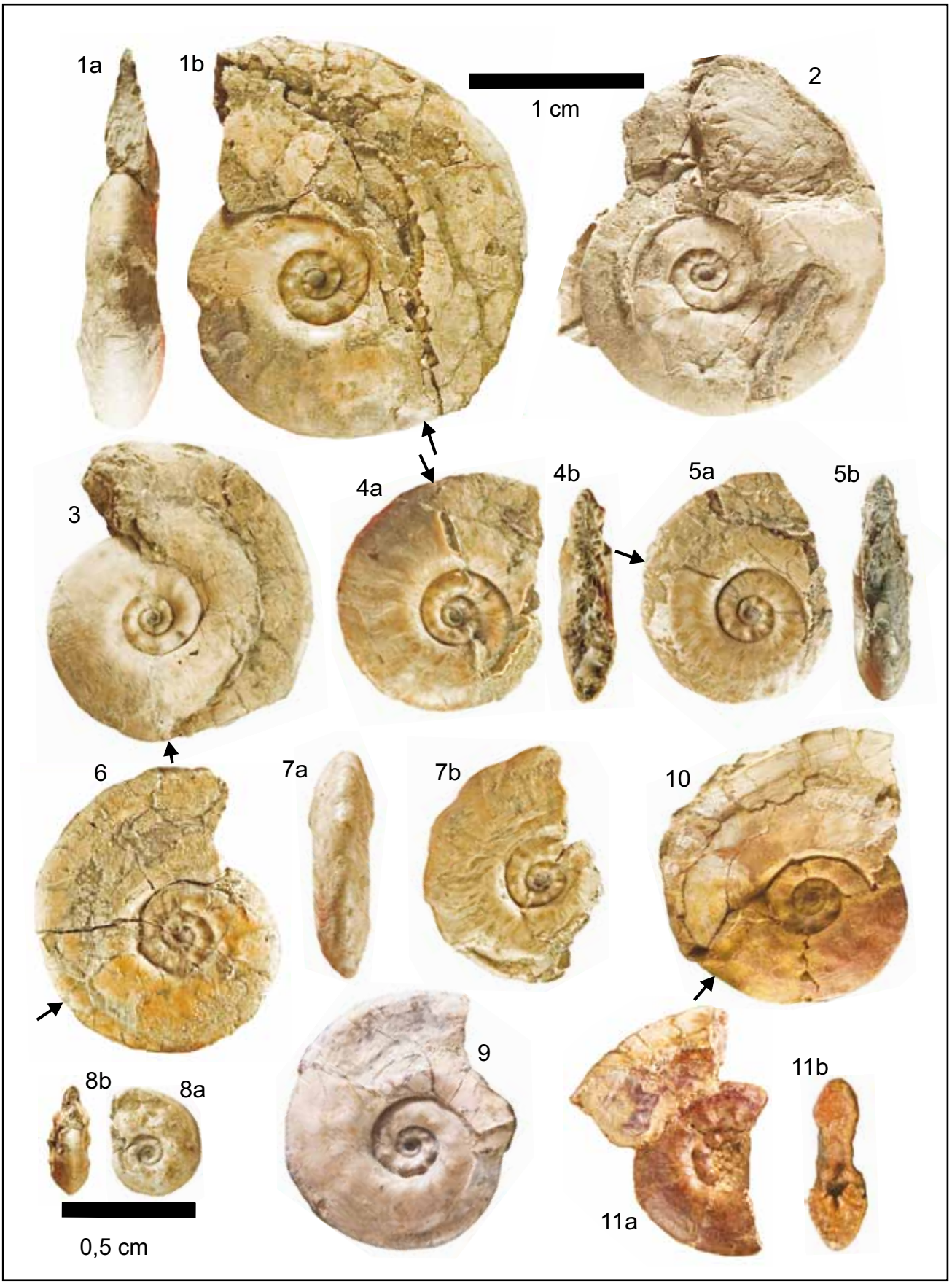


Abb. 21. *Psiloceras spelae* n. ssp. Fig. 1 bis 9 Hochalplgraben, Fig. 10, 11 Kuhjoch (AvH).

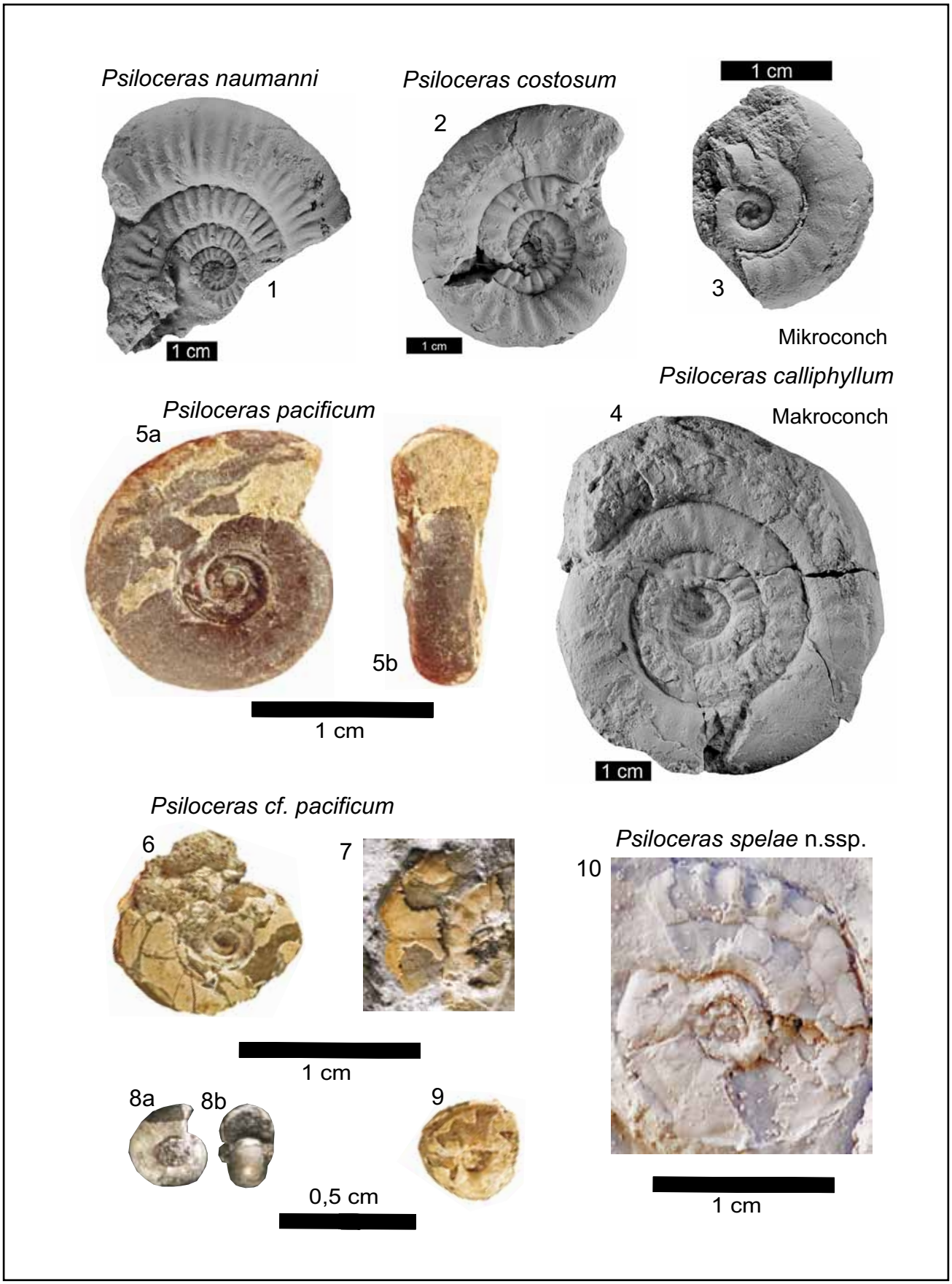


Abb. 22. Fig. 1 bis 4 Kuhjoch, *calliphyllum*-Bank; Fig. 5. New York Canyon (Nevada), *Pacificum*-Zone; Fig. 6 bis 9 Hochalplgraben, Horizont mit *P*. cf. *pacificum*; Fig. 10 Hochalplgraben, Horizont mit *Psiloceras spelae* (AvH).

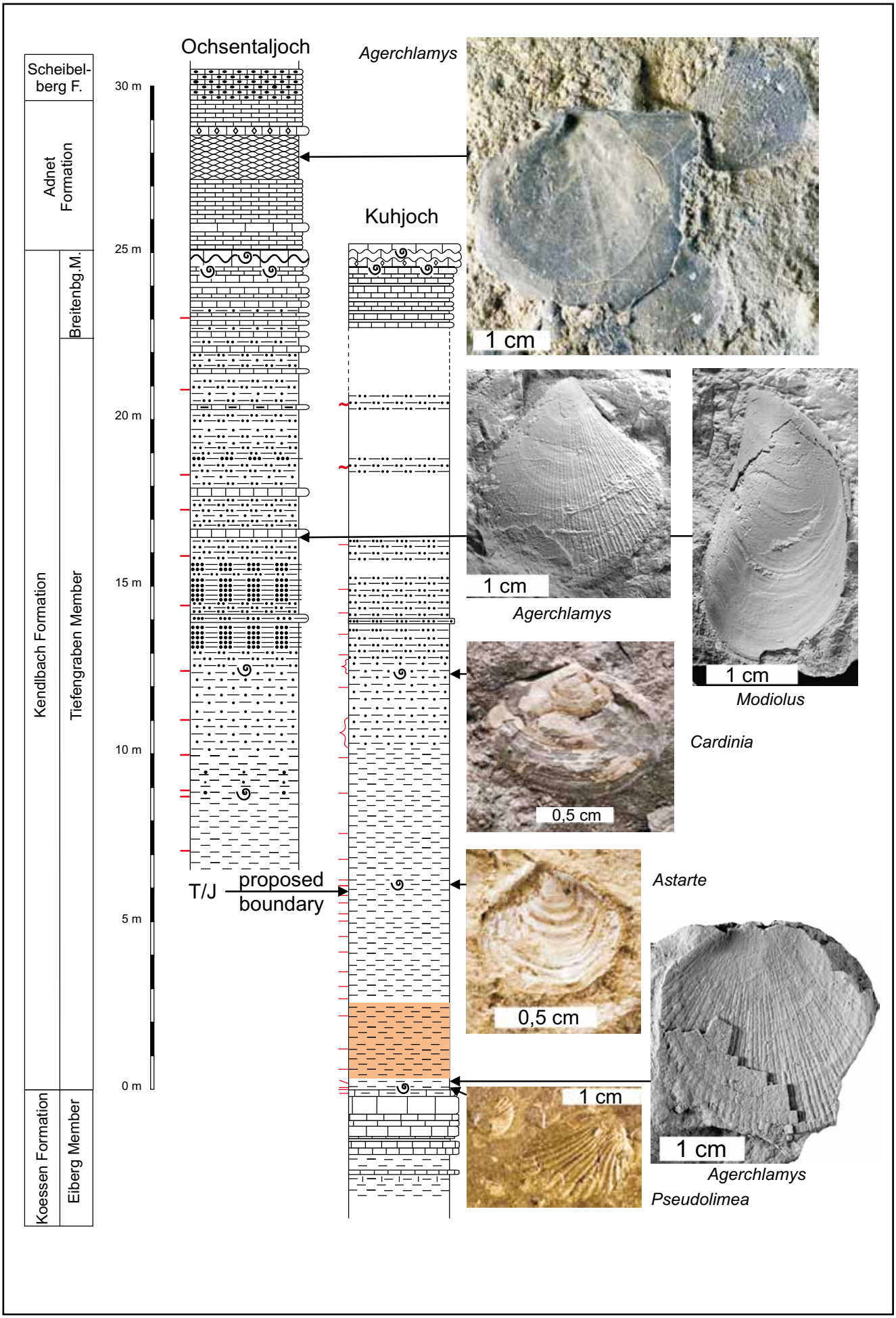


Abb. 23. Profile Kuhjoch- und Ochsentaljoch mit Muscheln (nach Hillebrandt et al., 2007).

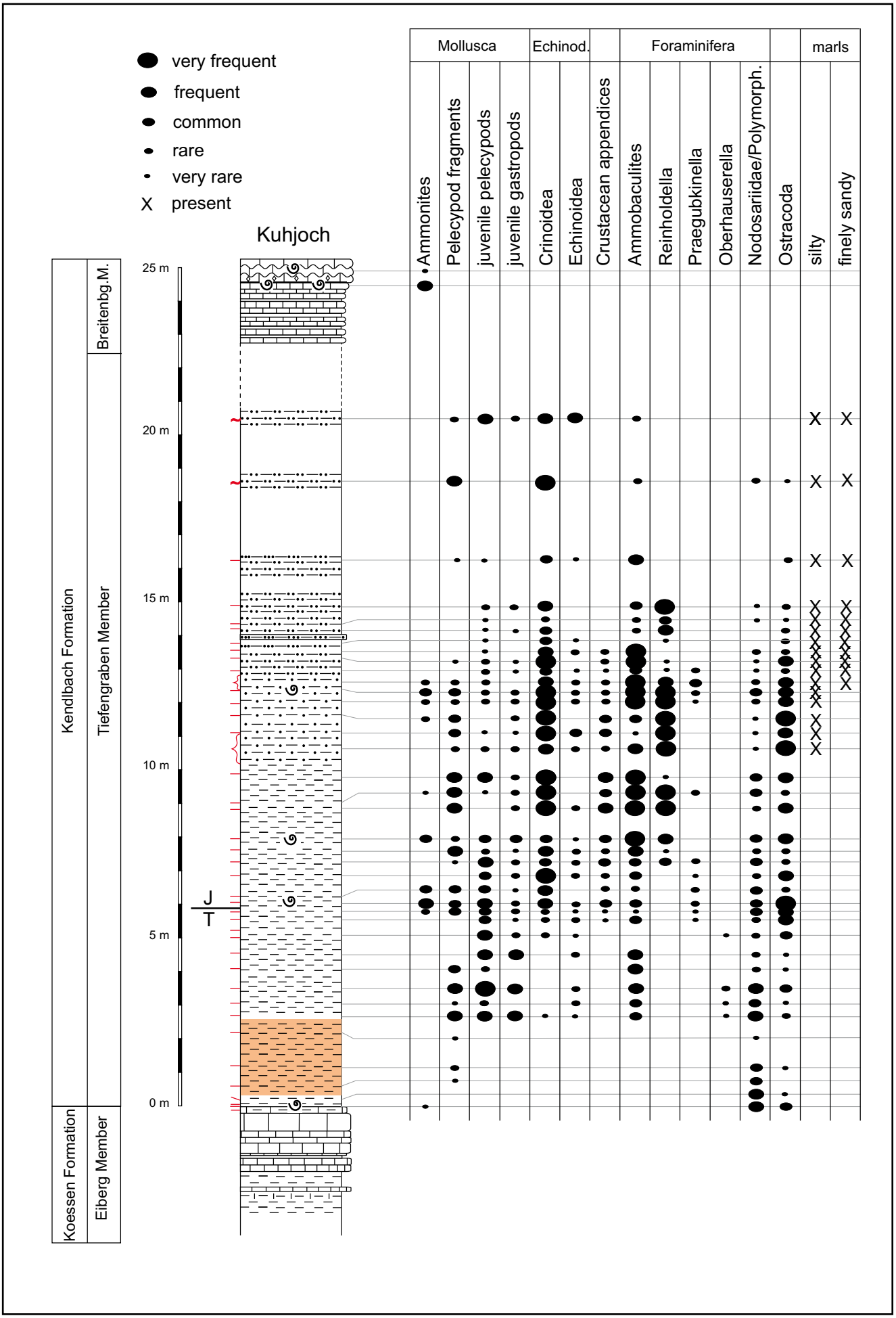


Abb. 24. Profil Kuhjoch mit Tabelle Mikrofossilien (nach Hillebrandt & Urlichs, 2008).

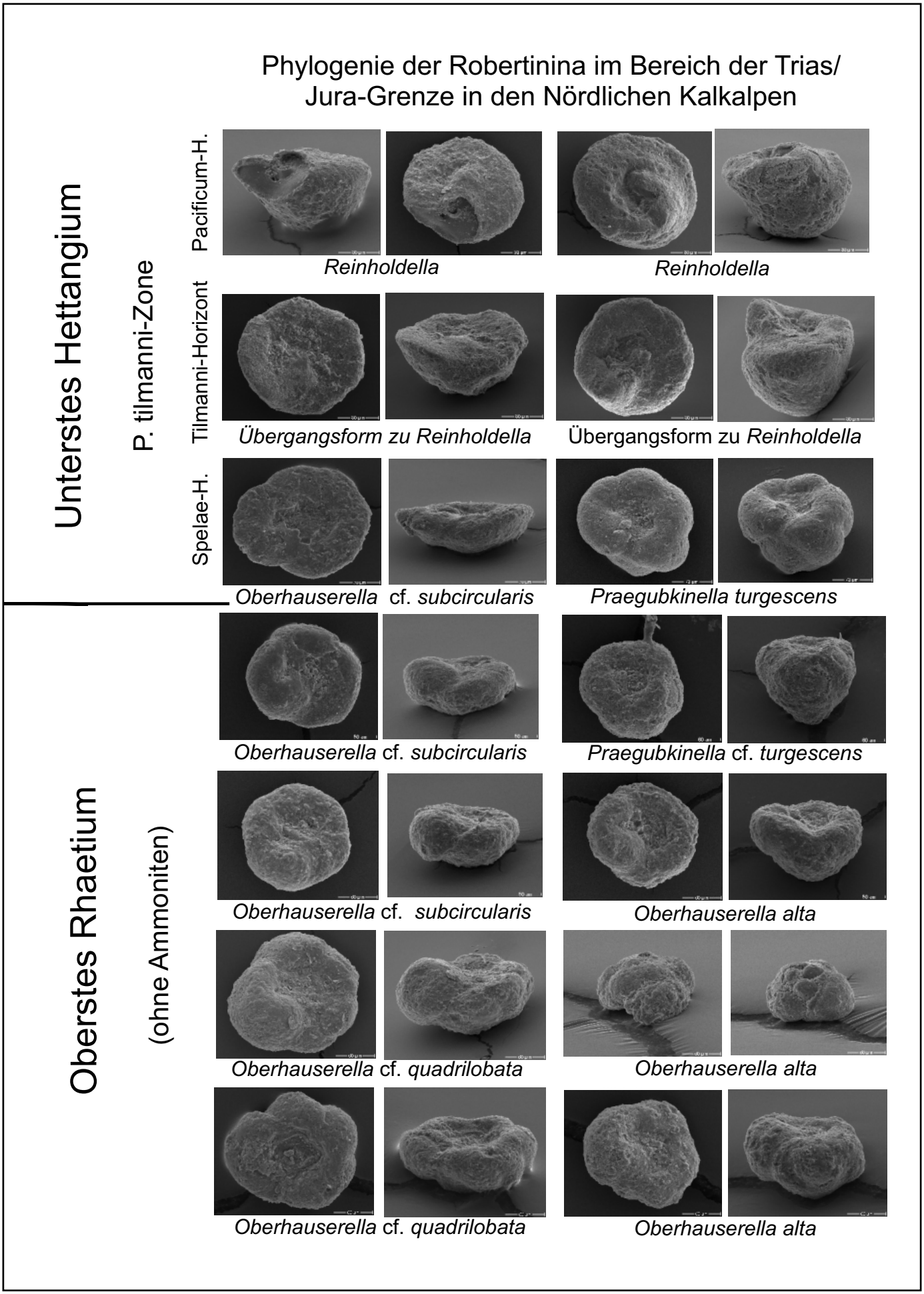


Abb. 25. Evolution der Robertinina (Foraminifera) im obersten Rhaetium und untersten Hettangium des westlichen Karwendelbeckens (AvH).

ss: sehr selten = 1-5, s: selten = 6-20, h: häufig = 21-100 sh = sehr häufig = mehr als 100 Exemplare sp = *Psiloceras spelae* t = *P.* ex gr. *P. tilmanni* p = *Psiloceras* cf. *pacificum* c = *Chorist. marshi*	*Bairdia* sp.	*Bairdiacypris? sartriensis* Donze	*Bythocypris* sp	*Fabalicypris? praelonga* Donze,	*Fabalicypris* cf. *triassica* Bolz	*Paracypris? redcarensis* (Blake)	*Liasina* aff. *lanceolata* (Apostolescu).	*Pseudomacrocypris subtriangularis* Michelsen	*Eucytherura elegans* (Drexler)	*Eucytherura elongata* (Michelsen)	*Eucytherura paracostata* (Michelsen)	*Eucytherura sagitta* Swift	*Judahella andrusovi* Kozur & Bolz	*Paradoxostoma? fusiforme* Drexler	*Ogmoconcha trigonia* (Kristan-Tollmann)	*Ogmoconchella bristolensis* (Anderson)	*Ogmoconchella telata* (Drexler)	*Ogmoconchella ellipsoidea* (Jones)	*Ogmoconchella martini* (Anderson)	*Signhealdia robusta* Kristan-Tollmann	*Torohealdia amphicrassa* Kristan-Tollm.	*Cardobairdia* sp.	*Cytherella drexlerae* Field	*Cytherelloidea buisensis* Donze	*Polycope cincinnata* Apostolescu	*Polycope* sp.	Ammonitenreste
050926/9																											
050926/1																											
060614/10																	s	s									
060614/9																	s	h						ss			
061025/3																	ss	ss									
060614/8																	ss	s									
061025/2							ss										ss	ss									
050926/2																	h							s			
060614/7							ss										ss	ss									
061021/6				ss			h										h	h									
060614/6-7		ss		ss				ss									h	h						ss			
061021/5				ss		ss	s	ss	ss	ss							h	h									
060614/6							ss										ss	s									
060712/1		ss		ss		ss	ss	ss		ss				ss		ss	s	s						ss			
051030/3	ss						ss										sh	h				ss		h			p
061021/4							h		ss		ss					h	sh	sh						h			p
061021/3		ss														s	h	h						h			p
051030/5		ss					ss				ss					s	s	h						s			p
061021/2	ss	ss				ss		h	ss	ss	ss	ss		ss		h	h	h				ss	ss	sh			p
061021/1		ss		ss	h	s		h	ss		ss	ss		ss		sh	sh	sh				ss		h			
050926/3				ss	ss	ss		ss	ss	ss	ss					h	h	h				ss		h			
070701/6		ss			h	s		ss						ss		sh	sh	h						h			
051030/4		ss							ss	ss	ss			ss			ss	ss				ss		h	ss		
070701/5		ss						s								h	sh	sh				ss		ss			x
070701/4		ss			s	ss											ss	ss					ss	h	h	ss	
061021/9			ss																					h	ss		
051030/1		ss			s	ss		ss	ss					ss										sh	h	ss	
070701/3		ss			h			ss						s								ss			s	sh	
070701/2		s		ss	h	ss		ss	ss					ss		sh	h	sh				ss		s			
061021/8	ss	ss	s		h	ss		ss		ss				ss		sh	h	sh				ss		s			t
070701/1				ss	h	ss		s						ss		s		s				ss		s	s	ss	
050925/6		ss			h	ss		ss						ss								ss		h			
070903/2								ss								s								s			
061021/7		ss			h	ss		ss		ss				ss										ss			
060614/5	ss				ss	ss		s				ss				sh	s							h			
060614/4			ss		h									ss		ss								h	ss		sp
061021/10					h	ss		ss						h		sh							ss	ss			sp
051030/2		ss		ss	h			ss				ss		ss		sh								h			sp
070903/1					s	ss		s						s		sh	s					ss					sp
051025/5				ss	s	ss			ss					ss		h								h			sp
060613/5				ss	s	ss								h		sh								h			sp
060613/4	ss			ss	ss	ss		ss						h		sh								h			
051025/4					h							ss				h								ss			
060614/3														ss		sh											
060614/2					ss											ss						ss					
050925/3					s							ss															
060614/1					ss																						
060613/3					h							ss															
050926/4	ss				s	ss						ss				ss								ss			
060613/2																											
050926/5																											
060613/1					ss																						
051025/2												ss															
050926/6												ss				h											
051025/1																h											
060712/2																			s		h						c
070701/1															ss				s	s	h						
070701/2													ss		h	s			h	h	s						
070701/3															h				ss	s							

Abb. 26. Tabelle mit den Ostrakoden der obersten Trias und des untersten Hettangium im Kuhjoch-Profil (M. Urlichs).

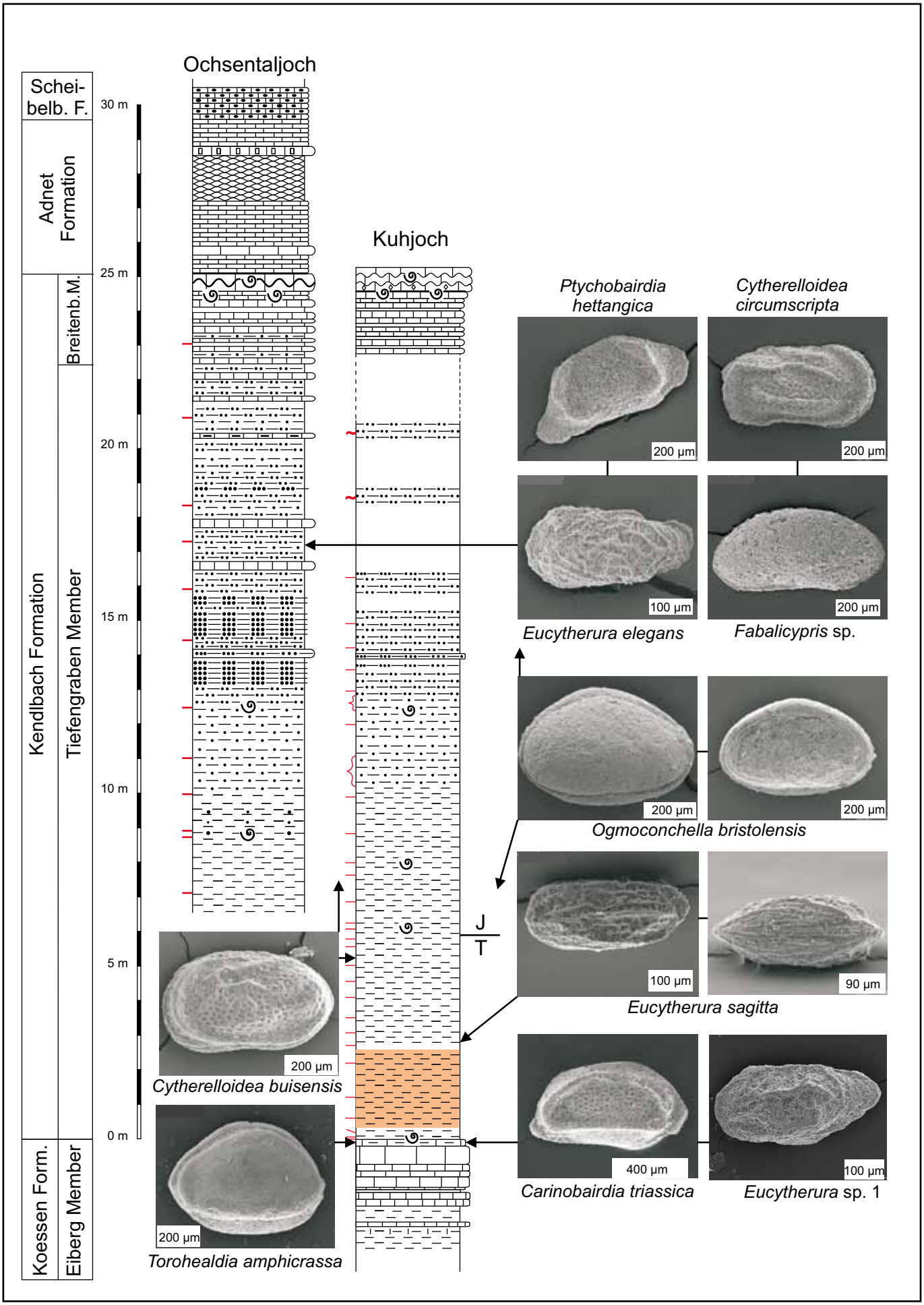


Abb. 27. Profile Kuhjoch- und Ochsentaljoch mit biostratigraphisch wichtigen Ostrakoden (Hillebrandt et al., 2007).

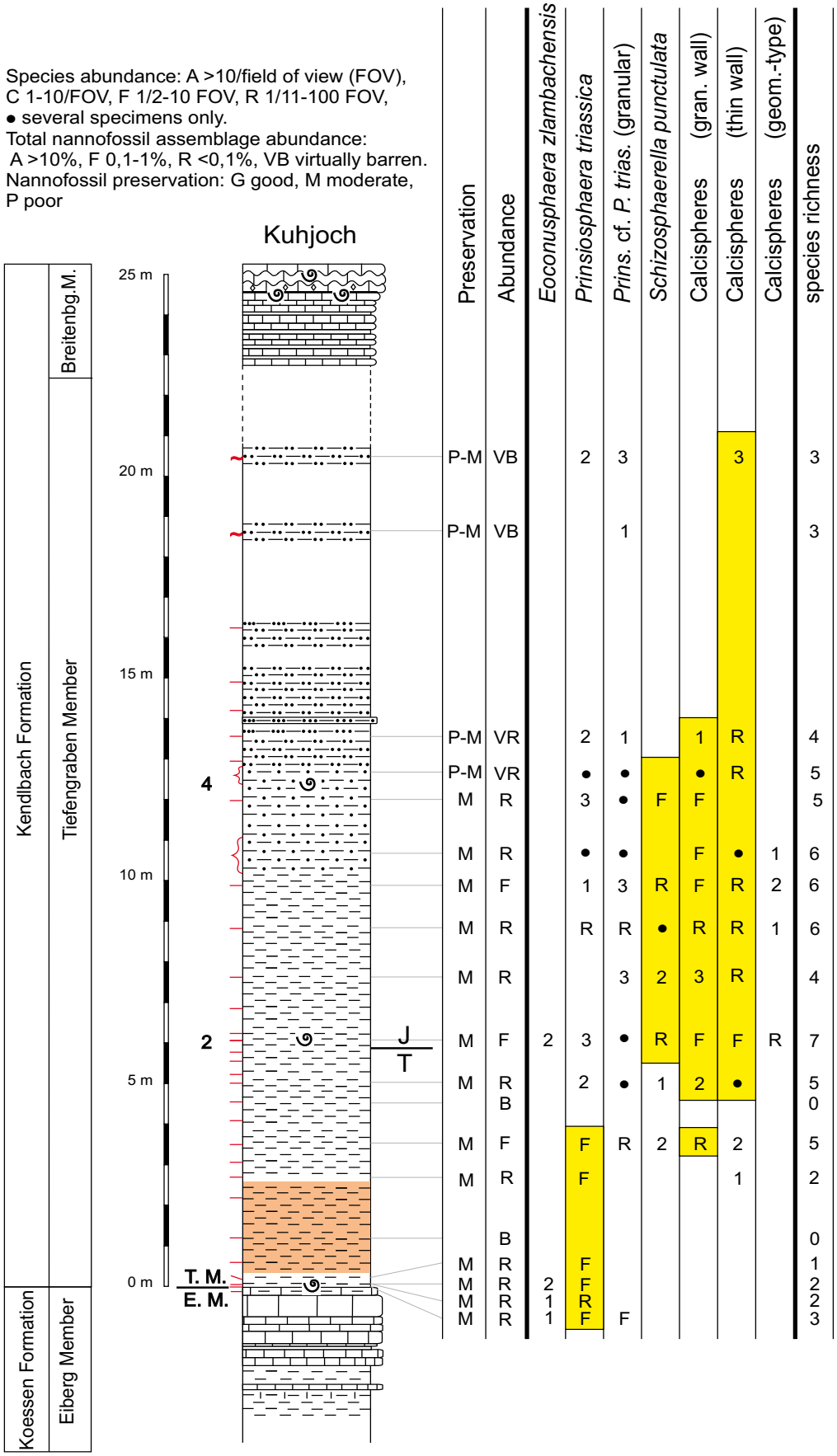


Abb. 28. Kuhjoch mit Tabelle kalkiges Nannoplankton (Hillebrandt et al., 2007).

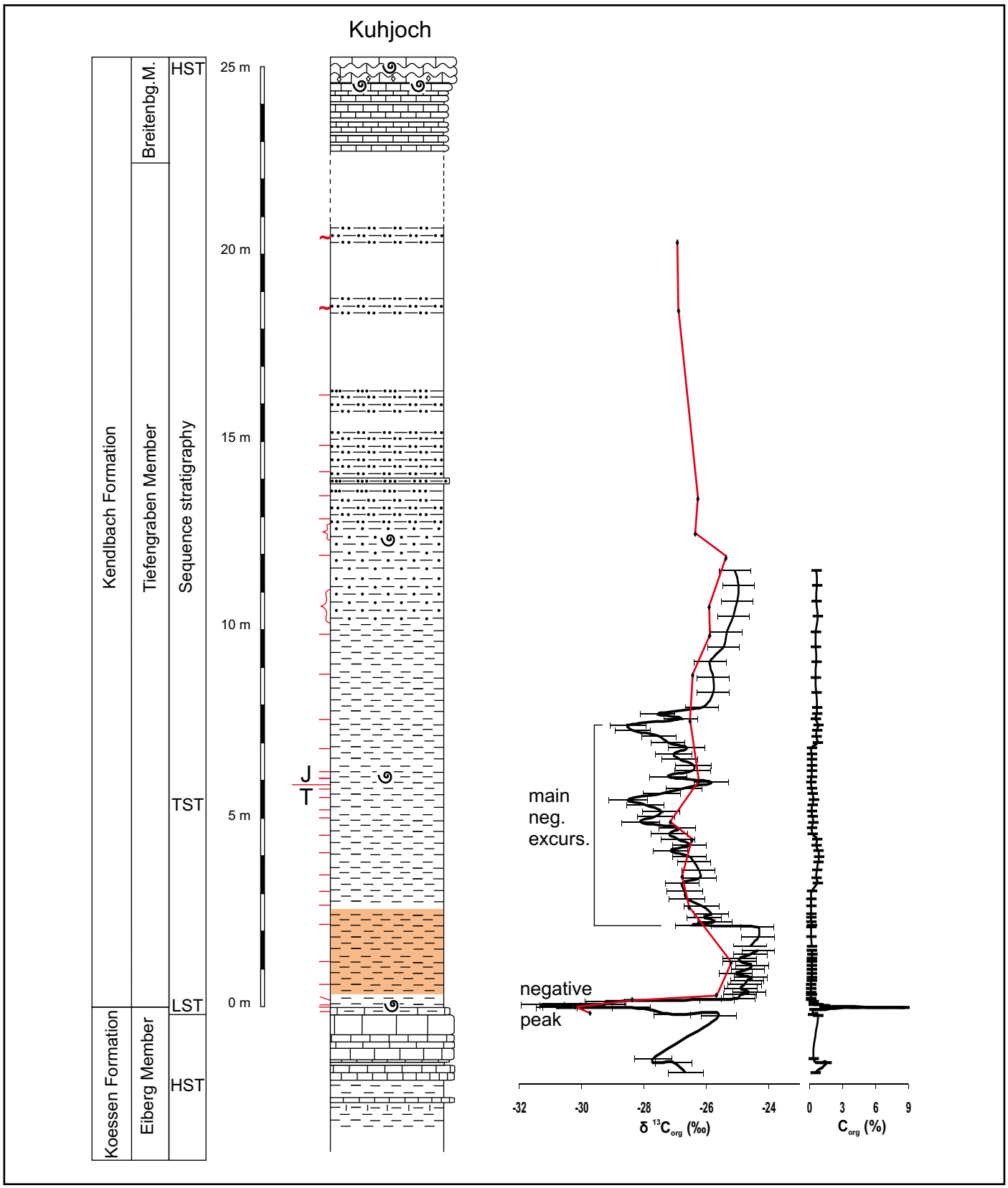


Abb. 29. Kuhjoch-Profil mit δ13Corg. und C_{org}.-Kurven (Ruhl et al. in Hillebrandt et al, 2007).

Fazies und Adneter Knollenkalk-Fazies, die Ammoniten des Hettangium und Pliensbachium enthalten können.

Südlich des Kuhjoch-Passes stehen die Kalke und Mergel der rhätischen Kössen-Fm. an, die zum Liegenden in die norischen Plattenkalke übergehen und den Grat zum Hölzelsjoch-Gipfel bilden. Auf der Südseite des Passes ist auf beiden Seiten der Übergang von der Eiberg-SbFm. in die Tiefengraben-SbFm. mit den roten Schattwalder Schichten und den Grenzmergeln (= Kendlbach-Fm.) im Pass selbst aufgeschlossen. Der obere Teil der Tiefengraben-SbFm. mit dem Übergang zur Breitenberg-SbFm. ist durch Grasvegetation und Gesteinsschutt verdeckt. Die Nordseite des Passes bilden die obersten Graukalke, der Enzesfelder Kalk und über der *marmoreum*-Kruste roter Knollenkalk. Die Fortsetzung des Profils bis zum Radiolarit im Bereich des Kuhjoch-Gipfels ist nur in den steilen Rinnen in Richtung Hochstalltal gut aufgeschlossen.

Profilbeschreibung des T/J-Grenzprofils (oberster Teil der Eiberg-SbFm. bis Adnet-Fm.) (Hillebrandt et al., 2007)

Die Schichten (Liaskalke) stehen steil an an der Nordseite des Passes und nehmen allmählich eine überkippte Lagerung (Kössener Kalke) an der Südseite des Passes an.

Das auf der W-Seite des Passes detailliert aufgenommene Profil beginnt im obersten Teil der **Eiberg-SbFm.** mit 5 m mächtigen, grauen bis schwarzen Mergeln mit Pyritknollen und 5 bis 10 cm mächtigen, kalkigen Tonsteinen. Darüber liegen 2 m mächtige, gut gebankte, graue, bioturbate, bioklastische Kalke (bis 50 cm dick). Die oberste, 20 cm mächtige Bank (**T-Bank**) ist dunkler und besonders im oberen Teil feinschichtig und endet mit einer etwa 1 cm dicken, ebenfalls feinschichtigen, schwarzen, bituminösen Lage. In ihr sind Muscheln und Fischschuppen häufig. ***Choristoceras*** (Abb. 19) ist selten. Diese Schicht lässt auf ein dys- bis anoxisches Ereignis schließen und deutet das Maximum der Regression an (**Top Kössen Event**). Über der schwarzen Lage liegt die **Kendlbach-Fm.**

Graue bis bräunliche, bis 13 cm mächtige Mergel mit Pyritkonkretionen und wurmförmigen Spuren bilden die Basis der **Tiefengraben-SbFm.** und werden von gelblich verwitternden, im oberen Teil feinschichtigen, 30 cm mächtigen Mergeln überlagert (**Grenzmergel s. str.**), die ihrerseits in rote, z. T. ebenfalls feinschichtige **Schattwalder Schichten** übergehen. Graue Einlagerungen charakterisieren den Übergang zu der tonig-mergeligen **Tiefengraben-SbFm. s. str**. Die etwa 40 cm mächtigen Mergel mit ***Psiloceras spelae* n. ssp.** (Abb. 19, 21) liegen 3,5 m über den Schattwalder Schichten. Eine Schlämmprobe, die ***Psiloceras* ex gr. *P. tilmanni*** enthielt, wurde ca. 2 m höher genommen. Die Ammonitenschicht mit ***P.* cf. *pacificum*** (Abb. 22) liegt weitere 4 m höher im Profil. Etwa 8 m über den Schattwald Schichten werden die Mergel siltig und ab 10 m feinsandig. 11 m über den Schattwald Schichten liegt eine 15 bis 20 cm mächtige kalkarenitische Bank. Der am Kuhjoch über dieser Bank nur schlecht aufgeschlossene Teil der Tiefengraben-SbFm. und der Übergang zur **Breitenberg-SbFm.** konnte am 750 m weiter westlich gelegenen **Ochsentaljoch** (Abb. 19, 20, 23, 26) in einem nur wenig erweiterten, natürlichen Aufschluß detailliert aufgenommen werden.

Der oberste Teil der Breitenberg-SbFm. und die Schichtfolge bis zu den Adneter Knollenkalken ist am Kuhjoch sehr gut aufgeschlossen (Abb. 6):

Über einem 10 cm mächtigen Graukalk liegt ein ca. 10 bis 15 cm mächtiger Graukalk, der ab dem mittleren Teil Ammoniten enthält und mit einem Ammonitenpflaster endet. In dieser Bank treten Ammoniten des *calliphyllum*- und des *naumanni*-Horizonts auf.

Darüber liegt:

8 cm spätiger, grauer Kalk

10 cm mikritischer brauner Kalk

8 cm ockerbrauner, mikritischer Kalk mit grauen Klasten, kondensiert (= Enzesfelder Kalk) mit *Alsatites* cf. *liasicus*

15 cm brauner, spätiger Kalk mit Eisenkrusten am Top mit *Alpinoceras haueri*

Kruste mit Eisenkonkretionen (*marmoreum*-Horizont): *Megastomoceras megastoma* (umgelagert), *Alsatites proaries* (umgelagert) (gefunden am Westhang des Kuhjochs)

9 cm Knollenkalk.

Bei allen anderen bisher untersuchten Profilen im Bereich der Karwendelmulde wechselt das Gestein über der *marmoreum*-Kruste zu fein mikritisch und zumeist fleischrot und nicht zu knollig wie am Kuhjoch.

Bereits beim Abstieg vom Kuhjoch in das Hochstalltal wird der Kalk über der *marmoreum*-Kruste mächtiger und ist nicht sofort knollig ausgebildet.

Fauna und Flora

1) Ammoniten (Abb. 4) (A. v. Hillebrandt, K. Kment, L. Krystyn)

Eiberg-SbFm. (oberes Rhaetium): *Choristoceras* sp., *Choristoceras* marshi

Tiefengraben SbFm. (unteres Unt. Hettangium): 3 Ammoniten-Horizonte

a) *Psiloceras spelae* n. ssp. (Abb. 21)

b) *Psiloceras* ex gr. *P. tilmanni*

c) *Psiloceras* cf. *pacificum* (Abb. 22)

Breitenberg SbFm. (oberes Unt. Hettangium): Bank mit *Psiloceras calliphyllum*, *P. costosum* und *P. naumanni*

Enzesfelder Kalk. (Mittl. Hettangium): *Alsatites* cf. *liasicus*

Spätiger Kalk (Ob. Hettangium): *Alpinoceras haueri*

Marmoreum-Kruste (ob. Hettangium): Bisher nur umgelagerte Ammoniten des Mittl. Hettangium.

2) Muscheln (hps. det. Ch. McRoberts) (Abb. 23)

T-Bank: *Cassianella* sp., Top: *Chlamys valoniensis*

Grenzmergel s. str.: *Cardinia* sp., *Agerchlamys* sp., *Pseudolimea* cf. *hettangiensis*

Tiefengraben SbFm. s. str.: *Cardinia* cf. *listeri*, *C.* cf. *ingens*, cf. *Astarte*, kleine Nuculiden

Muschelbrut in Schlämmproben

3) Gastropoden, Scaphopoden

juvenile Gastropoden und Scaphopoden in Schlämmproben

4) Brachiopoden (A. Tomasovych)

Eiberg SbFm.: *Oxycolpella*

Schattwalder Schichten: multicostate Rhynchonelliden

Tiefengraben-SbFm. (1. Kalkbank Ochsentaljoch): *Tetrarhynchia inopinata*

5) Echinodermata: z. T. häufig in Schlämmproben, besonders Crinoiden-Elemente; ob. Tiefengraben SbFm. Seeigelstachel häufig

6) Foraminiferen (A. v. Hillebrandt)

Kössener Mergel: kleinwüchsige *Trochammina*, *Ammodiscus*, Polymorphiniden

T-Bank: rhätische Nodosariiden-Fauna

Grenzmergel s. str.: flachgedrückte *Trochammina*, artenarme Nodosariiden-Fauna, zuoberst großwüchsige *Marginulinopsis*

Schattwald Schichten: dominant *Hippocrepina*; untergeordnet flachgedrückte *Trochammina*, großwüchsige *Marginulinopsis*

unt. u. mittl.Tiefengraben-SbFm. s. str.: Großwüchsige *Ammobaculites* (in manchen Proben sehr häufig), kleinwüchsige *Trochammina*, *Ammodiscus* und *Glomospira* selten; sessile *Ammodiscidae* z. T. nicht selten; kleinwüchsige Nodosariidae und Polymorphinidae, zuerst Polymorphinidae vorherrschend. Aragonitschalige *Robertinina* (Abb. 25) (Hillebrandt, 2008) selten bis sehr häufig; oberstes Rhaetium mit kleinwüchsigen *Oberhauserella* (Durchmesser 0,06 bis 0,12 mm); Bereich *spelae*-Horizont erste *Praegubkinella* (Durchmesser ~ 0,15 bis 0,2 mm) und ab 1,5 m über Basis *spelae*-Horizont *Reinholdella* (Durchmesser ~ 0,2 bis 0,3 mm.

7) Ostrakoden (M. Urlichs) (Abb. 26, 27)

Oberste Kössen-Fm. einschließlich T-Bank: rhätische Ostracodenfauna

Tiefengraben-SbFm. vor allem glattschalige Ostracoden (*Ogmoconchella*), selten *Cytherelloidea* dominierend; kleinwüchsige *Eucytherura* (selten) biostratigraphisch besonders wichtig. Deutliche Wende Trias – Jura-Ostrakoden (siehe oben).

8) Conodonten (L. Krystyn)

Letzte autochthone Kalkbank der Eiberg-SbFm.: *Misikella posthernsteini, M. ultima*, *Zieglericonus rhaeticus*, *Neohindeodella* sp.

9) Kalkiges Nannoplankton (P. Bown) (Abb. 28)

Nannofossil-Vergesellschaftung niedrig divers. Unterste Proben dominiert durch *Prinsiosphaera triassica*. Ab Bereich *spelae*-Horizont Dominanz zu Calcisphären und *Schizosphaerella punctulata*.

10) Palynomorphe (W.M. Kürschner, N. R. Bonis)

Eiberg-SbFm.: Dominanz von *Classopollis meyeriana* und *C. torus*, begleitet von *Ovalipollis pseudoalatus*, *Rhaetipollis germanicus*, *Ricciisporites tuberculatus*. Dinoflagellaten (*Rhaetogonyaulax rhaetica*, *Dapcodinium priscum*) und einige Acritarchen (z.B. *Micrhystridium*) vorhanden.

Schwarze bituminöse Lage am Top der T-Bank mit Prasinophyten-Maximum (*Cymatiosphaera polypartita*) und monotone sporomorphe Vergesellschaftung dominiert durch *C. meyeriana* und *Porcellispora longdonensis*.

Schattwalder Schichten: Zunahme von *Convolutispora microrogulatus*, *Deltoidospora* spp. und *Calamospora tener*. *O. pseudoalatus meyeriana* wird weniger häufig. *Rhaetipollis germanicus* verschwindet in den unteren Schattwald Schichten. *Cerebropollenites thiergartii* erscheint im *Spelae*-Horizont.

Exkursion Pletzboden-Eiskönigbach (KK)

Als Alternativprogramm zum Kuhjoch schlagen wir eine Exkursion in das Eiskönigbach-Tal vor:

Start ist am Forsthaus Pletzboden.

Es steht auf quartären Bachschottern. Im Süden fällt eine Felswand auf, an der direkt der Baumgartenbach entlang fließt. Im Bachbereich müssten unter dem Bachschotter die Grenzmergel anstehen. Die ersten aufgeschlossenen Bänke (ca. 3 m Kalkarenit/Mergel-Folge) gehören der oberen Tiefengraben-Subformation an; sie fallen steil nach Süden ein. Der Übergang zu den Graukalken der Breitenberg-Subformation ist an einigen Stellen gut aufgeschlossen. Sie sind insgesamt ca. 1 m mächtig.

Besonders mächtig ist die Abfolge von *Ps. calliphyllum* bis *A. marmoreum* hier mit einer 35 cm dicken Bank ausgebildet (siehe Profile Abb. 6): Nahe der Basis dieser Bank tritt ein Muschelpflaster auf mit *Plagiostoma giganteum*. Solche Muschelpflaster sind immer wieder zu beobachten, zum Beispiel am Hölzelstaljoch oder am Fonsjoch.

Unmittelbar darüber liegen dicht gepackt Ammoniten der *calliphyllum*-Gemeinschaft. Über einem zweiten Muschelpflaster folgt eine Bank mit *Psiloceras naumanni* und *Caloceras johnstoni*, die bereits Subsolutionserscheinungen aufweisen. Dünne Eisen-Mn-Häutchen überziehen die Ammoniten zum Teil. Die beiden genannten Ammoniten-Horizonte sind im Graukalk erhalten.

Darüber folgt ein braungrauer Kalk, der in einen Enzesfelder Kalk mit Fe-Mn-Krusten und –Knollen übergeht. Die Ammoniten der *megastoma/proaries*-Gemeinschaft sind meist einseitig angelöst und verkrustet, was auf mehrmalige Umlagerung schließen lässt.

Der Enzesfelder Kalk endet abrupt mit einer Fe-Mn-Kruste, der *marmoreum*-Kruste. Darin sind Ammoniten der *megastoma*- und der *marmoreum*-Zone vermischt enthalten.

Über der Kruste folgt ein roter, dichter Kalk, der nur wenige cm mächtig ist und die klassische *marmoreum*-Fauna enthält. Darüber folgen über einer weicheren Kalk/Mergelbank weitere Rote Kalke der Adnet Formation.

Dieser besonders anschauliche Aufschluß ist leider nur zu erreichen, wenn man den Baumgartenbach durchwatet, was im Frühjahr ein nicht ungefährliches Unterfangen ist. Wenige Meter weiter westlich durchschneidet der Eiskönigbach die Schichtfolge, leider genau entlang einer Störung, so dass ein gutes Querprofil mit derselben Abfolge nicht zu finden ist.

Hier am Eingang ins Eiskönigbachtal sind die jüngeren Gesteine (oberer Lias bis unterer Malm) von Moränenmaterial überdeckt. Eine schöne Weidefläche ist zu sehen. Weiter bachaufwärts rücken die Hänge wieder näher heran und Ammergauer Schichten sind aufgeschlossen. Der Übergang zu den wesentlich weicheren Gesteinen des obersten Malm (Schrambachschichten) ist deutlich an der Morphologie zu erkennen: der Talgrund wird wieder weiter und eine saftige Almweide ist vorhanden.

Der Muldenkern der Karwendelmulde ist erreicht. Weiter bachaufwärts kehrt sich die Abfolge um: zuerst rücken Ammergauer Schichten an den Bach heran, das Tal wird enger.

Weiter nach Süden sind die kieseligen Kalke der Tauglboden-Subfm. aufgeschlossen. Je nach Zustand des Bachbetts kann der Übergang über Radiolarit bis zu den obersten Lias-Schichten (rote Mergel und graue Fleckenkalke) aufgeschlossen sein. Deutlich tritt dann wieder die leicht überkippt lagernde Rippe der Lias-Rotkalke (Adnet-Fm.) morphologisch in Erscheinung. An deren Basis ist hangaufwärts in Richtung

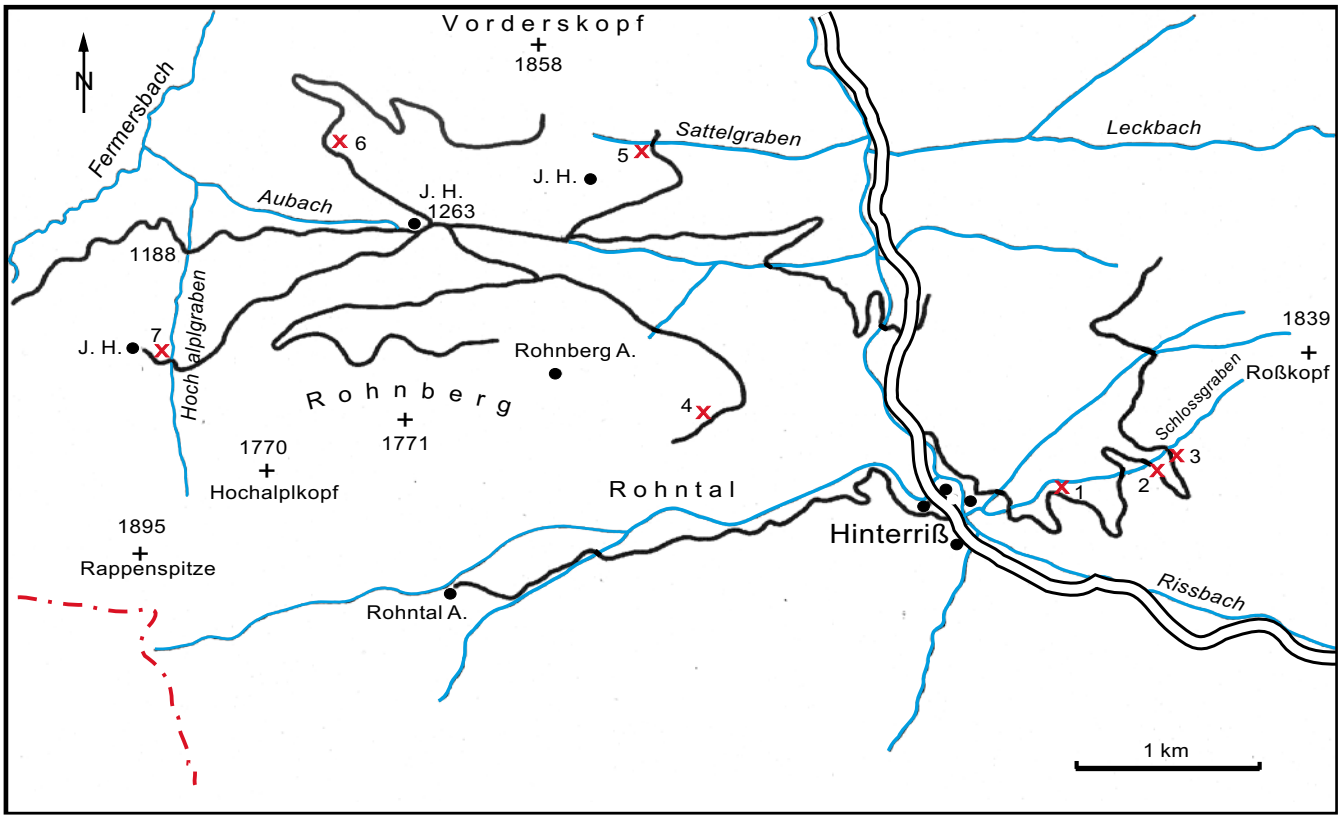


Abb. 30. Kartenskizze mit Lage der Exkursionspunkte in der Vordersbachau und im Schlossgraben. 1 bis 3: Schlossgraben, 4: Rohnberg Ost, 5: Vorderskopf Ost – Sattelgraben, 6: Vorderskopf West.

Westen der Übergang Kendlbach/ Adnet-Fm. aufgeschlossen. Eine detaillierte Begehung konnte im Vorfeld der Exkursion nicht mehr durchgeführt werden.

Exkursionstag 12. 06. 09

Exkursionspunkte in der Vordersbachau (Trias und Jura) (AvH, KK) (Abb. 14, 30)

Vorderskopf Ost – Sattelgraben (AvH, KK)

Der Aufschluss befindet sich auf dem Nordflügel der Karwendelmulde und liegt an einer Forststraße, die von der Vordersbachau nach Norden ein Stück weit um den Vorderskopf herum führt.

Am Sattelgraben, dem nördlichsten Ende dieser Stichstrasse ist Plattenkalk in 1340 m ü.d.M. aufgeschlossen. Im und nahe des Grabens konnten stark ausgequetschte Kössener Schichten nachgewiesen werden. Hier ist eine Störung zum Plattenkalk zu vermuten. Die Kalk-/ Mergelabfolge der Eiberg-SbFm. steht an der Straße an (Abb. 31) (Die Hochalm-SbFm. fehlt teilweise tektonisch)..

Die am Top bituminöse T-Bank und die Schattwalder Schichten sind nicht aufgeschlossen. Die Mergel der Tiefengraben-SbFm. sind in zwei kleinen Bachrissen zu sehen. Durch Störungen erfolgten Schichtverdoppelungen der Tiefengraben-SbFm., was auch anhand des Enzesfelder Kalks nachgewiesen werden kann, der vom Hang bis fast zum Forstweg ausstreicht.

Im Bereich des südlichen Teils des Aufschlusses (Abb. 31) wurde vom obersten Teil der Tiefengraben-SbFm. über die Breitenberg SbFm. bis in die Knollenkalke der Adnet-Fm. ein Profil aufgenommen (vom Hangenden zum Liegenden):

Knollenkalke der Adnet-Formation (Mächtigkeit nicht gemessen)

ca. 2 m gut gebankte Kalke der Adnet-F., zumindest mit einer Spatkalkbank

25 cm rote, mikritische Kalkbank, z. T. mit dunkelroten Flecken

30 cm bräunliche bis rötliche, z. T. knollige Bank, ? *marmoreum* Bank

—ca. Grenze Tiefengraben-SbFm./Adnet-Fm.

25 cm unten spätige, in sich knollige Bank, Limonitlagen, Enzesfelder Kalk

25 cm graue, oben etwas hellere Bänke (3) mit unregelmäßigen, grünlichen Trennfugen

12 cm grauer, z. T. knolliger Kalk

10 cm grauer, z. T. knolliger Kalk

10 cm kalkarenitischer Mergel

15 cm Kalkbank

Mergelfuge

15 cm Kalkbank

—ca. Grenze Breitenberg-/Tiefengraben-SbFm.

45 cm kalkarenitische Mergel mit wenig Quarz, häufig Glaukonit und viel Echinodermen-Schutt, große Seeigelsta-

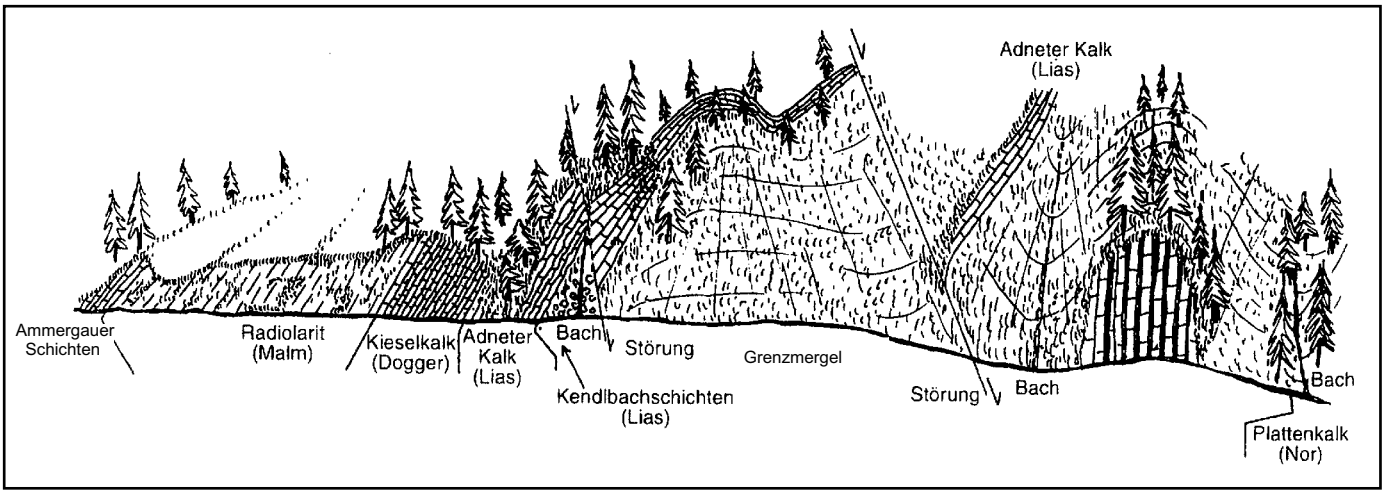


Abb. 31. Aufschluss auf der Ostseite des Vorderskopfs (nach Kment, 2004).

chel, glattschalige Ostrakoden, selten *Cytherelloidea*; *Lenticulina*, *Lingulina tenera*

10 cm Kalkbank

80 cm mehr oder minder kalkarenitische Mergel mit wenig Glaukonit und wenig Quarz, oben mit limonitisiertem Rogenpyrit, Bruchstücke von Pectiniden, Muschelbrut (Limonitsteinkerne), unten große Seeigelstachel, glatte Ostracoden, selten *Lenticulina*.

10 cm Kalkbank

25 cm kalkarenitische Mergel mit wenig Glaukonit, selten Quarz; sehr häufig Crinoiden-Elemente, Seeigelstachel, glatte Ostracoden, selten *Lenticulina*

70 cm Mergel mit Rogenpyrit, Pyritsteinkerne von Muschelbrut, selten glattschalige Ostracoden, selten *Ammobaculites*, wenig Echinodermen-Elemente.

10 cm kalksandige Mergel mit wenig Glaukonit und Rogenpyrit, viele Crinoiden-Elemente, glatte Ostrakoden (selten *Cytherelloidea*), Pyritsteinkerne von Muschelbrut

Aufschlußende

Eine Probe aus den glimmerreichen Tonmergeln der unteren Tiefengraben-SbFm im nördlich anschließenden Bachriss oberhalb der Straße enthält: Crinoiden-Elemente, selten Holothuriensklerite, häufig *Ammobaculites*, kleinwüchsige Nodosariiden, glatte Ostrakoden, selten *Cytherelloidea* und *Eucytherura*, Muschelbrut (Pyritsteinkerne), Rogenpyrit.

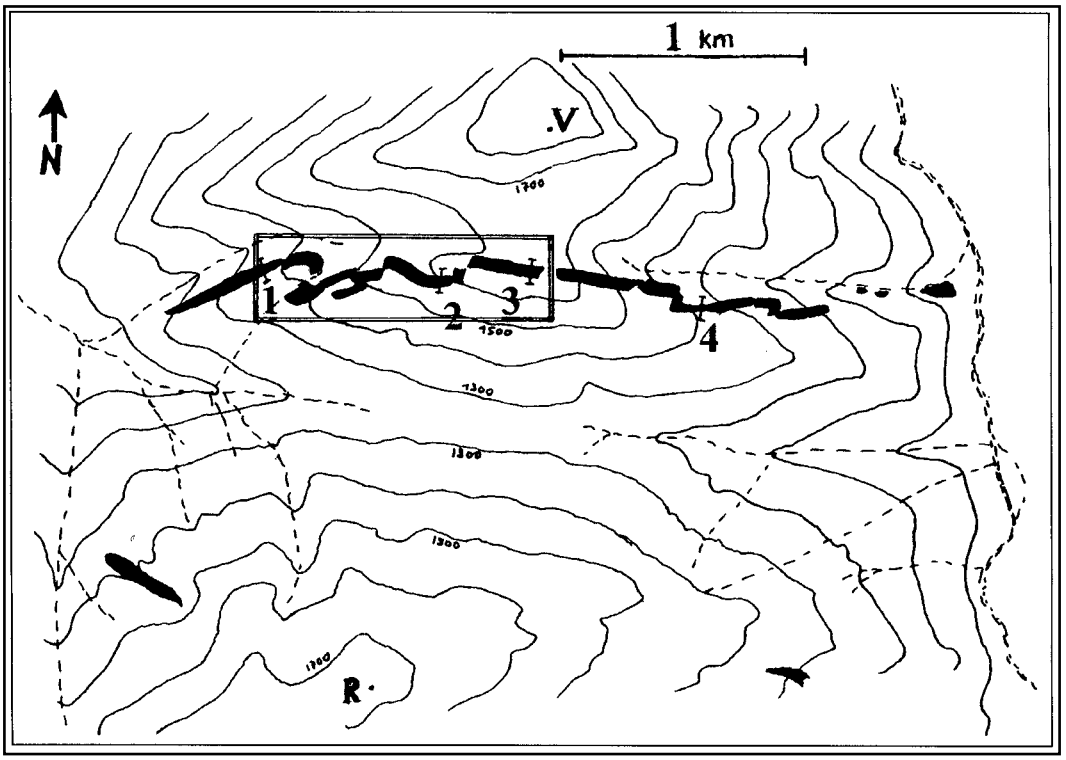


Abb. 32. Übersicht der Liasausbisse (dunkel) im Gebiet zwischen Vorderskopf (V) und Rohnberg (R). Eingerahmt ist das Gebiet in dem Fe/Mn-Krusten im unteren Toarcium nachzuweisen sind. 1–4 = Lage der Säulenprofile (Abb. 33); gestrichelt = Bachläufe (nach Kment, 1998).

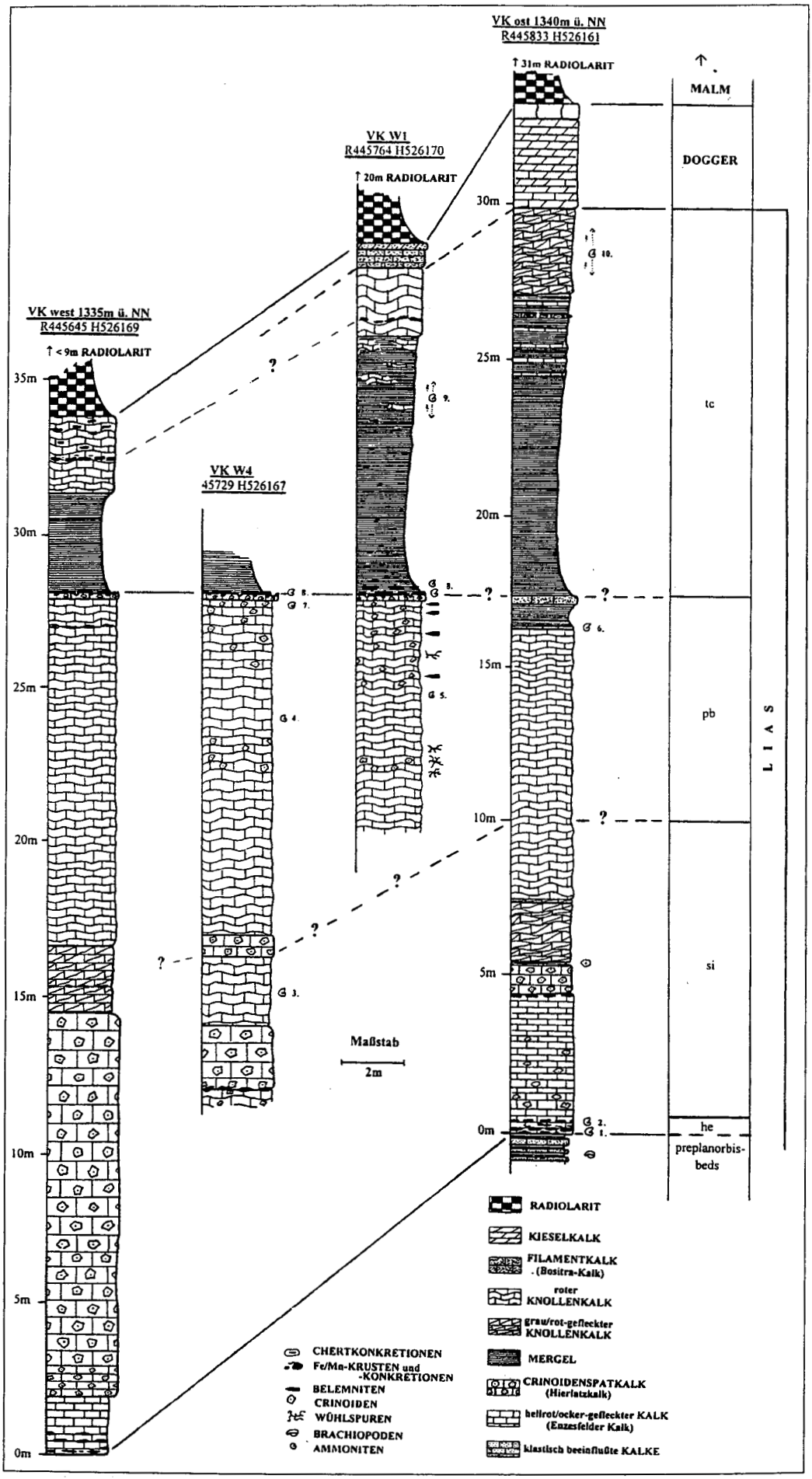


Abb. 33. Säulenprofile des unteren und mittleren Jura im nördlichen Arbeitsgebiet. Übersicht in Abb. 32 (nach Kment, 1998).

Der an der Straße anstehende, ockerbraune Enzesfelder Kalk ist reich an Eisenkrusten und Ammoniten. Die starke Kondensation und häufige Umlagerung des Gesteins bewirkt eine oft zu beobachtende, unregelmäßige Lagerung der Gehäuse. Im Enzesfelder Kalk ist die gesamte Fauna der *calliphyllum*- bis zur *megastoma*-Zone enthalten. Der Enzesfelder Kalk endet an der *marmoreum*-Kruste, in der hier und auch noch weiter nach Westen Ammoniten selten auftreten. Sehr selten kommen umgelagerte und umkrustete *Psiloceras* vor. Elemente der *marmoreum*-Fauna fehlen fast völlig.
Etwa 130 Höhenmeter unterhalb der Straße enthält der Enzesfelder Kalk so gut wie keine Ammoniten, dafür ist die *marmoreum*-Kruste reich an stark erodierten Gehäusen. Der Fossilreichtum wechselt also sehr stark.
Über der *marmoreum*-Kruste folgen Adneter Knollenkalke, die bis ins obere Pliensbachium reichen. Selten sind kleine Einschaltungen von Hierlatzkalk, der nach Westen hin stark an Mächtigkeit zunimmt (siehe Profilserie, Abb. 10).
Die Adnet-Fm. bildet am Vorderskopf einen weit zu verfolgenden Höhenrücken, da die Gesteine im Liegenden (Tiefengraben-SbFm.) und im Hangenden (Rote Mergel und Radiolarit) leicht zu erodieren waren.
Über dem Adneter Kalk (zuoberst mit Ammoniten wie z. B. *Arieticeras algovianum*) folgen mächtige Mergel. Eine Filamentkalkbank markiert wahrscheinlich die Grenze Pliensbachium//Toarcium.
Die Mergel repräsentieren das untere Toarcium. Erst im Hangenden folgen wieder rote, knollige Kalke, die grau gefleckt sind. Mit *Grammoceras* konnte oberes Toarcium nachgewiesen werden.
Es folgen Kieselkalke, die in den mittleren Jura gestellt werden können (Chiemgauer Schichten). Sie enden mit einer dicken Kalkbank (Klauskalk).
Als nächstes ist Radiolarit am Wegrand zu beobachten: grüne, rote und violette Kieselgesteine.
Darüber lagern braune Ammergauer Schichten. Sie sind tektonisch stark deformiert und enthalten kaum Aptychen. Sie bilden um Hinterriß wie schon die Adnet Fm. eine markante Erhebung im Gelände.
Auf diesem Höhenrücken, am höchsten Punkt, biegt die Forststraße nach Südwesten um und führt weiter zur Vordersbachau.

Ammoniten-Fauna:
Unteres Hettangium (u. a. *Ps. calliphyllum*, *Ps. naumanni*, *Cal. johnstoni*). Mittleres Hettangium mit z.B. *Megastomoceras megastoma* oder *Storthoceras extracostatum*. Die Erhaltung ist ausserordentlich gut, meist sind die Gehäuse kalzitisch ausgefüllt.
In der *marmoreum*-Kruste beweist ein Exemplar von *Paracaloceras coregonensis* oberes Hettangium.

Rohnberg Ost (AvH, KK)

Der Aufschluss liegt westlich Hinterriß an der Forststrasse, die von der Vordersbachau nach Südost um den Rohnberg herumführt.
Er liegt auf dem Südflügel der Karwendelmulde.
Im Liegenden sind Kössener Schichten aufgeschlossen; vor allem die jüngsten, dickbankigen Kalke der Eiberg-SbFm. mit *Choristoceras*, die morphologisch eine Erhebung bilden. Sie stehen leicht überkippt an, die T-Bank und die darauf folgenden Schattwalder Schichten konnten erschürft werden. Die Tiefengraben-SbFm. ist fast komplett von dichter Vegetation, sowie Block- und Bachschutt verdeckt. Erst die jüngsten Bänke der Breitenberg-SbFm. sind gut aufgeschlossen.
Vom Liegenden zum Hangenden wurde im Grenzbereich von der Eiberg-SbFm. zur Tiefengraben-SbFm. folgendes Profil aufgenommen:

48 cm Kalkbank (Kössener)

12 cm Kalkbank (Kössener)

25 cm T-Bank (Kössener), Basis (2 bis 3 cm) mergelig und reiche Foraminiferen- und Ostrakoden-Fauna

bis 2 cm scherbig zerfallende, schwarze, bituminöse Schicht (ca. 8 % org. Substanz; det. Dr. R. Bussert, TU-Berlin)

Grenze Eiberg- gegen Tiefengraben-Subformation

3 cm feinschichtiger, grauer Mergel mit *Pseudolimea*. Mikrofauna: dominierend flachgedrückte *Trochammina*, seltener glattschalige Ostrakoden, artenarme Nodosarioidea-Fauna.

5 cm bräunlich/graue Mergel mit Bohrgängen. Mikrofauna: flachgedrückte *Trochammina*, selten glatte Ostrakoden und Nodosarioidea

11 cm feinsandige, graue, cm-geschichtete Mergel mit großwüchsigen *Marginulinopsis*

15 cm wenig feinsandige, grau/gelbliche, feinschichtige (bis mm-Bereich) Mergel mit selten *Marginulinopsis*

Die obersten grauen Mergel und die anschließenden roten Schattwalder Schichten (35 bis 50 cm mächtig) sind stark gestört und die Grenze zu den anschließenden, grauen Mergeln der Tiefengraben-Subformation ist sehr unregelmäßig. Die grauen Grenzmergel sind mit einer Mächtigkeit von ca. 1,3 m aufgeschlossen. Die Mikrofauna ist vorwiegend kleinwüchsig und besteht aus kleinwüchsigen Polymorphiniden, in der obersten Probe etwas größeren Nodosarioidea, *Ammobaculites*; Gastropoden-Steinkerne (z.T. Pyrit) sind häufig. *Oberhauserella* ist selten. Es treten kleinwüchsige Arten des obersten Rhaetium auf.
Die Fortsetzung des Profils ist sehr schlecht aufgeschlossen (große Kalkblöcke und tief verwitterte Mergel). In diesem Bereich muss die T/J-Grenze liegen.

7 m (ca. Mächtigkeit) über der T-Bank Schurf in Tonmergeln.

Mikrofauna: Echinodermen-Reste (vor allem Crinoiden); Foraminiferen: *Ammobaculites*, Nodosarioidea, *Reinholdella*; Ostrakoden: *Cytherelloidea*, *Polycope*. Die Mikrofauna kann in das untere Hettangium eingestuft werden.

12 m (ca. Mächtigkeit) über der T-Bank Schurf in feinsandigen Mergeln. Mikrofauna: *Ammobaculites*.

16 m (ca. Mächtigkeit) über der T-Bank 15 cm mächtige Kalkbank in Mergeln. Mikrofauna: Seeigelstachel, Crinoiden; Foraminiferen: selten *Ammobaculites*, *Lenticulina*, *Lingulina tenera*, *Reinholdella*; Ostrakoden: überwiegend glattschalig, selten *Cytherelloidea*, sehr selten *Eucytherura*.

18, 4 m horizontal gemessen von der T-Bank bis zur senkrechten Kalkwand der Breitenberg-SbFm.

Die *calliphyllum*-Bank liegt als Graukalk vor; der darauf folgende Enzesfelder Kalk mit *Storthoceras frigga* Wähner ist in das mittlere Hettangium zu stellen. Über der *marmoreum*-Kruste ist die Lienbach-SbFm. als lachsroter Mikrit ausgebildet und enthält große Brauneisenkonkretionen. Die Ammoniten des oberen Hettangium sind außerordentlich dick umkrustet und gut zu gewinnen.
Darauf folgen Adneter Kalke (Knollenkalke) und Scheibelbergkalke. In diesen konnte mit *Eoderoceras* und *Echioceras* oberstes Sinemurium bis unterstes Pliensbachium nachgewiesen werden.
Die widerstandsfähigeren Gesteine wie die Lias-Kalke sind tektonisch in einzelne Schollen zerlegt, die im Vergleich zu den Kössener Schichten deutlich verstellt sind. Störungen/Verschiebungen im Meterbereich sind die Regel. Deswegen streichen die Gesteine in anderer Richtung als erwartet aus. Die weichen Gesteine (Tiefengraben-SbFm.) sind dabei verkürzt und ausgequetscht, ein ungestörtes, durchgehendes Profil ist nicht zu erwarten.
Unterhalb der Straße ist auf mehreren m² die *calliphyllum*-Bank aufgeschlossen. Der Bach Richtung Hinterriß folgt dem Einschnitt zwischen der Eiberg-SbFm. und der Breitenberg-SbFm., also den leicht erodierbaren Grenzmergeln.
Ammonitenfauna: Unteres Hettangium (*Ps. calliphyllum*) in Graufazies, mittleres Hettangium im Enzesfelder Kalk mit z.B. *Storthoceras haploptychum* und *Storthoceras hadroptychum.*
Im vererzten Horizont reiche Fauna aus dem oberen Hettangium (*marmoreum*- Zone). Es überwiegen *Alpinoceras haueri* und *Angulaticeras marmoreum*. *Discamphiceraten* fehlen fast völlig.

Vorderskopf West, Forststrasse (KK)

Der Aufschluss befindet sich an der Forststraße, die von der Vordersbachau im Westen auf den Vorderskopf hinaufführt.
Der Aufschluß liegt auf dem Nordflügel der Karwendelmulde.
Die Forststraße quert die Liassedimente in 1335 m Höhe (Abb. 32).
Die Gesteine des Rhät (Eiberg-SbFm., Schattwalder Schichten) sowie Tiefengraben- und Breitenberg-SbFm. sind nicht aufgeschlossen. Eine Erosionsrinne mit dichtem Bewuchs überdeckt die Schichtfolge. Sogar der sonst gut aufgeschlossene Enzesfelder Kalk fehlt an der Straße.
Als erstes stehen Adneter Kalke und sehr mächtiger Hierlatzkalk an (Abb. 33). Dieser wird dort seit 1999 abgebaut und als Flussbaustein verwendet. Im Hangenden folgen Adneter Knollenkalke, mit *Liparoceras* wurde Pliensbachium nachgewiesen. Diese Kalke enden mit einer grünlichen Kalkbank, die reich an Echinodermen ist. Sie ist am Top vererzt und stellt einen Hartgrund dar. Die Analyse dieses Hartgrunds ergab, dass der Hiatus die gesamte *Exaratum*-Subzone umfasst. Die vererzten Ammoniten sind einseitig sehr gut erhalten. Häufig sind *Harpoceras serpentinum*, *Calliphylloceras* sp. und *Hildoceras murleyi*. Die besten Aufschlüsse liegen weiter oben am Hang.
Darüber sind rote Mergel und wieder Knollenkalke des Toarcium (und des Mittleren Jura?) aufgeschlossen. Kieselkalke fehlen völlig.
Über dem Ruhpoldinger Radiolarit geht die Serie über in Ammergauer Schichten.

Fauna:

Im vererzten Horizont des Toarciums (Aufschluss an der Forststraße) konnte ein *Calliphylloceras* geborgen werden. Vererzung und Lithologie lassen eine Parallelisierung zu fossilreicheren Aufschlüssen zu (Abb. 32). Wegen des Baumbestandes ist in dieser Bank zur Zeit eine Fossilsuche schwierig.

Exkursionspunkte im Schloßgraben (AvH, KK)

Die natürlichen Aufschlüsse des Schlossgrabens wurden durch den Forststraßenbau mehrfach angeschnitten (Abb. 30).
Sie liegen auf dem Südflügel der Karwendelmulde. Der Schlossgraben verläuft weitgehend entlang der Tiefengraben-SbFm., erst relativ weit unten zweigen die Schichten nach Nordwest ab und sind nur noch selten aufgeschlossen.
3 Aufschlüsse ergänzen sich gegenseitig (Abb.30, Aufschlusspunkte1 bis 3).

Aufschluss 1:

Aufschluss 1 ist von der ersten Straßenkurve zu erreichen. Ein schmaler Fußweg führt in den Schlossgraben. Bachaufwärts gelangt man über grobes Blockwerk zu im Bach und am linken Bachhang anstehenden Mergeln der mittleren Tiefengraben-SbFm. mit *Reinholdella* und in der obersten Probe mit Schalenbruchstücken von Ammoniten (? *P.* cf. *pacificum*-Horizont). Ungefähr 20 m bachaufwärts ist im Bach und auf der rechten Bachseite der Übergang von der Tiefengraben-SbFm. zur Breitenberg-SbFm. aufgeschlossen. Im Bach stehen Mergel an mit Crinoiden-Elementen und kleinwüchsigen Pyritsteinkernen von z.T. sessilen Ammodiscidae sowie Pyritsteinkernen von juvenilen Gastropoden und Muschelbrut. In der letzten, ca. 15 cm mächtigen Mergellage sind Seeigelstachel und Crinoiden-Sklerite sehr haufig, Foraminiferen (*Lenticulina* und *Lingula tenera*) selten. Auf den Schichtenflächen der Graukalkbänke kommt *Oxytoma* und *Agerchlamys* vor. In einer Bank wurde nestförmig angereichert *Lobothyris delta* gefunden. Über den Graukalken folgt der Enzesfelder Kalk (Abb. 6, 7), der auch bachabwärts mehrfach aufgeschlossen ist.
Bemerkenswert ist die *calliphyllum*-Bank, die im widerstandsfähigen Enzesfelder Kalk mit *Psil. calliphyllum* enthalten ist und eine mehrere Meter hohe Wand bildet. Mittleres Hettangium konnte am Top dieser Kalkbank mit *Alsatites* sp. nachgewiesen werden.

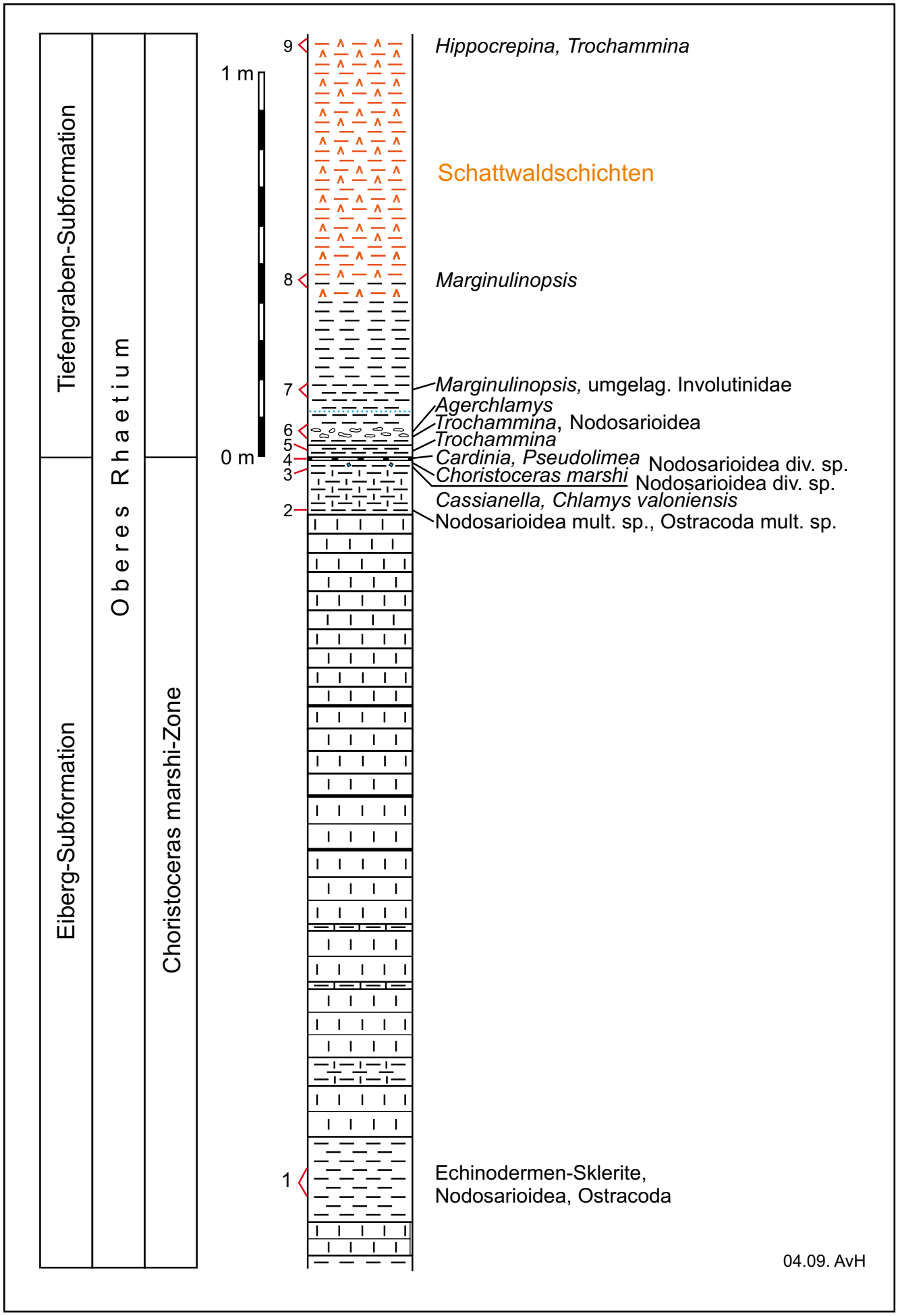


Abb. 34. Schlossgraben Aufschluss 2; Profilsäule von der obersten Eiberg-SbFm. bis zu den Schattwalder Schichten der Tiefengraben-SbFm. mit Angabe der Probennummern 1 bis 9 und den wichtigsten Fossilien (AvH).

Über dem Enzesfelder Kalk liegt der über 1 m mächtige, braunrote „Bunte Cephalopodenkalk", der sparitisch ausgebildet ist. Nirgendwo im Westteil der Karwendelmulde ist dieser Bereich, der zweifellos das mittlere bis obere Hettangium repräsentiert, so mächtig.
Im vererzten Horizont der *marmoreum*-Kruste kommt gelegentlich eine reiche Fauna aus dem oberen Hettangium (*marmoreum-* Zone) vor. *Schlotheimia donar* ist häufig. Zum Teil enthält die Kruste auch keine Ammoniten. In einem Fallblock konnte eine über 10cm mächtige *mamoreum*-Kruste mit reicher Ammonitenfauna geborgen werden.
Über der *marmoreum*-Kruste wechselt das Gestein, wird rot und mikritisch.
Über einer dünnen Bank, die der Lienbach-SbFm. zuzuordnen ist,. folgen Adneter Knollenkalke.
Der Übergang zur nächsten lithologischen Einheit ist wieder verdeckt.

Aufschluss 2:

Aufschluss 2 liegt zwei Straßenkurven oberhalb Aufschluss 1 (Abb. 30). Auf der linken, südlichen Bachseite ist eine kleine Antiklinale mit einer Schichtenfolge von der oberen Eiberg-SbFm. bis zu den Schattwalder Schichten aufgeschlossen. Durch die horizontale Lagerung der Schichten am First des Sattels konnte der Übergang von der Eiberg-SbFm. zur Tiefengraben-SbFm. besonders gut beobachtet und detailliert aufgenommen werden (Abb. 34).
An der Grenze von der Eiberg- zur Tiefengraben-SbFm. wurden Schlämmproben in dichtem Abstand genommen. Die Proben sind mit den Zahlen 1 bis 9 am linken Rand des Säulenprofils angegeben (Abb. 34).
An der Basis und dem Top der T-Bank wurden die Proben 2 und 3 genommen. Besonders Probe 2 enthält eine artenreiche Mikrofauna aus vorwiegend Nodosarioidea und Ostrakoden. Die Mikrofauna weist zahlreiche Gattungen und Arten auf, die vor allem in den oberrhätischen Zlambachmergeln des Hallstätter Beckens auftreten.
Die gelblich verwitternden, 3 bis 5 cm mächtigen, feinschichtigen Mergel mit Pyritkonkretionen im oberen Teil der T-Bank (Probe 3) enthalten eine diverse Fauna aus Nodosarioidea und glattschaligen Ostrakoden (*Ogmoconchella* und *Torohealdia amphicrassa*).
Probe 4 wurde in der 1 cm mächtigen, bergfeucht schwarzen, bituminösen, in sich feinschichtigen Lage am Top der T-Bank genommen. Im tieferen Teil dieser Schicht treten ***Choristoceras marshi***, *Cardinia* und gehäuft Fischreste auf. Im oberen Teil kommen *Pseudolimea* cf. *hettangiensis*, *Agerchlamys* und *Cardinia* vor. Die Mikrofauna entspricht der von Probe 3.
In den 3 cm mächtigen, grauen Mergeln der Probe 5 besteht die Mikrofauna nur aus flachgedrückten, agglutinierten *Trochammina*. Außerdem kommen *P*. cf. *hettangiensis* und *Agerchlamys* vor.
Die nächste Schicht ist ein hellbräunlich anwitternder, grauer Mergel mit zwei Lagen von 4 bis 5 mm dicken Grabgängen, die mit Pyrit ausgefüllt sind. Probe 6 wurde in dieser Schicht genommen und enthält flachgedrückte *Trochammina* und eine artenarme Fauna von Nodosarioidea. Außerdem kommen die bereits oben genannten Muscheln vor.
Zwischen den Proben 6 und 7 liegt eine dünne Lage mit Pyrit. Probe 7 stammt aus feinschichtigen Mergeln, die eine großwüchsige *Marginulinopsis* (Nodosarioidea) und umgelagerte Involutinidae (Flachwasserbereich der exponierten Karbonatplattform) enthält.
Probe 9 wurde im Übergangsbereich von den grauen Mergeln zu den roten Schattwalder Schichten genommen. und enthält ebenfalls großwüchsige *Marginulinopsis*.
In Probe 9 (rote Schattwalder Schichten) treten *Hippocrepina* (silikatisch gebundener, ökolgisch wenig anspruchsvoller Sandschaler) und flachgedrückte *Trochammina* auf.
Schlussfolgerung: Am Ende der Ablagerung der Eiberg-SbFm. findet eine Regression statt, die Karbonatsedimentation geht sehr stark zurück und es bildet sich eine feinschichtige, geringmächtige, stark bituminöse Lage, in der Fischreste häufig sind. Es kommt jedoch auch noch eine relative reiche, kalkwandige Mikrofauna aus Foraminiferen und Ostrakoden vor und am Meeresgrund können keine anoxischen Verhältnisse sondern höchstens eingeschränkte Sauerstoffbedingungen geherrscht haben. Über dieser bituminösen Lage treten zunächst nur noch ökologisch wenig anspruchsvolle sandschalige Foraminiferen auf und eine Schicht mit Grabspuren weist auf Bodenleben hin. Außerdem kommen von der obersten Eiberg-SbFm. bis zur basalen Tiefengraben-SbFm. benthonische Muscheln vor was ebenfalls auf eine Besiedelung des Meeresbodens hinweist. Das Vorherrschen von großwüchsigen *Marginulinopsis* in den Schichten über den Bohrspuren und bis zu den Schattwalder Schichten gibt den Hinweis, dass vor allem diese Gattung an die eingeschränkten, marinen, ökologischen Verhältnisse angepasst war. In den Schattwalder Schichten ist wie auch bei anderen Profilen des Eibergbeckens zumeist *Hippocrepina* die einzige Foraminifere und gibt ebenfalls einen Hinweis auf ökologisch stark eingeschränkte Bedingungen, möglicherweise zumindest zeitweise nicht vollmarine Verhältnisse (hyper- oder hyposalin).
Auf der rechten, nördlichen Seite des Schlossgrabens steht bei Aufschluss 2 die Schichtfolge von der obersten Tiefengraben-SbFm. zur Breitenber-SbFm. und der Adnet-Fm. an.

Aufschluss 3:

Aufschluss 3 liegt eine Straßenkurve oberhalb Aufschluss 2. Vor der Überquerung des Schlossgrabens sind oberhalb der Straße die Schichten von der Eiberg-SbFm. bis zum unteren Teil der Tiefengraben-SbFm. aufgeschlossen.
Über den letzten Kössener Kalken sind zunächst die Schattwalder Schichten und die darüber folgenden, basalen grauen Mergel stark schichtparallel geschiefert. Diese gestörte Schichtfolge endet mit einer liegenden Falte aus roten Schattwalder Schichten. An diese Falte schließt sich eine weitgehend ungestörte Schichtfolge aus grauen Mergeln der unteren Tiefengraben-SbFm. an. Der Aufschluß endet kurz vor dem Schlossgraben. In den dort anstehenden Mergeln treten nicht selten, zumeist flachgedrückte *Psiloceras spelae* n. ssp. auf. Ein körperlich erhaltener Limonitsteinkern mit gedrängten Lo-

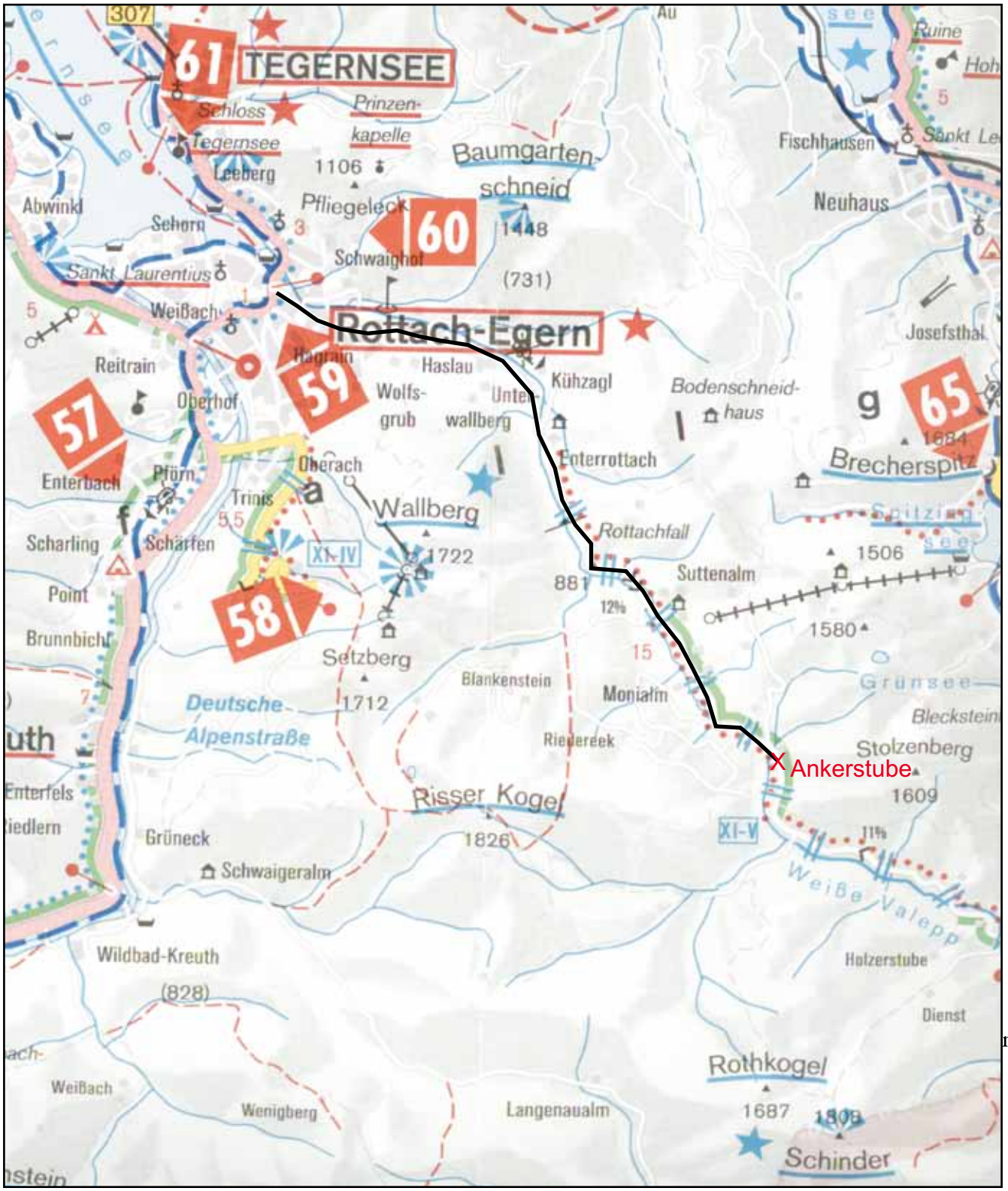


Abb. 35. Straßenkarte für die Anfahrt zur Ankerstube. Schwarze Linie von Rottach-Egern zur Ankerstube.

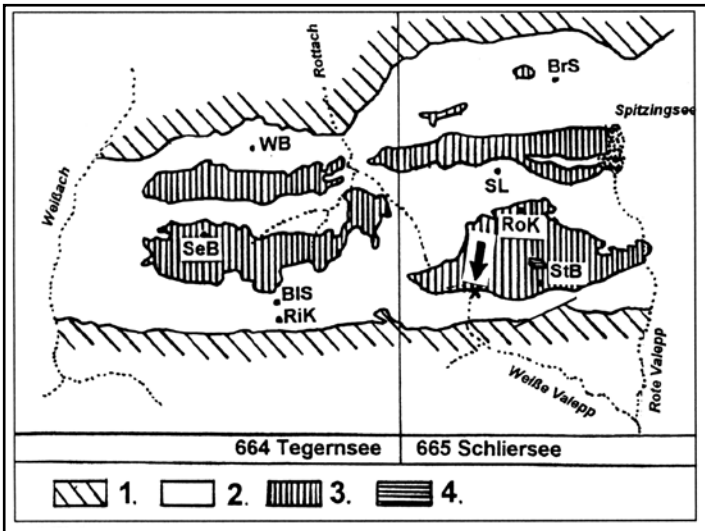
benlinien am Ende des Phragmokons und dem Anfang der Wohnkammer wurde gefunden (siehe **Titelseite des Exkursionsführers**).

Die grauen Mergel der unteren Tiefengraben-SbFm. enthalten eine Mikrofauna, die der des Kuhjoch-Profils entspricht. In der Ammoniten-Schicht kommt *Praegubkinella turgescens* vor.

Exkursionstag 13. 06. 09 zur Ankerstube (Trias und Jura

Steinbruch Ankerstube (KK)

Der beschriebene Aufschluss liegt an der Mautstraße von Enterrottach nach Valepp im Landkreis Miesbach/Bayern an der so genannten Ankerstube (Abb. 36).



Geologische Übersicht der Lokalität Ankerstube (vereinfacht nach der Geologischen Karte von Bayern 1 : 100.000, Blätter 664 und 665).
1 = Hauptdolomit; 2 = Plattenkalk und Rhät; 3 = Jura; 4 = Kreide (am Stolzenberg); Pfeil = Aufschluss AS; BIS = Blankenstein; BrS = Brecherspitz; RiK = Risserkogel; RoK = Roßkopf; SeB = Setzberg; SL = Stümpfling; StB = Stolzenberg; WB = Wallberg.

Profil Ankerstube.

1) Hellgrauer massiger mikritischer Kalk. Darin Reste von Korallen und dickschaligen Bivalven. Oberer Bereich gelegentlich brekziiert und limonitisch imprägniert, z.T. als Spalten- und Hohlraumfüllung. Mehrere, cm-große Aggreg ate von *Sphaerocodium*. Oberfläche eben mit Spuren von Bohrorganismen (= Hartgrund).
Dieser Kalk kann als „Oberrhätkalk" (Tollmann 1976) angesprochen werden.
2) Rosafarbener, sparitischer Kalk.
3) Rosa- bis hellbrauner, selten grüner, sparitischer Kalk mit schlecht gewinnbaren Ammonitenresten aus dem Mittelhettang (*Caloceras, Megastomoceras, Schlotheimia*). Die meisten Funde sind Wohnkammerreste aus der Bankfuge, wo sich grüne Mergelfetzen verstärkt beobachten lassen.
4) Rotbrauner, sparitischer Kalk mit einer Limonitanreicherung am Top.
5) Graubrauner, sparitischer Kalk mit dunkelgrauen Flecken.
6) Rotbrauner sparitischer Kalk, reich an Limonit-Krusten und -Konkretionen, v.a. im oberen Bereich. Darin stark angereichert Ammoniten aus dem Ober-Hettang (*Angulaticeras, Discamphiceras*). Am Top HG mit Limonit-Konkretionen und großwüchsiger Fauna der selben Zone. In dieser Bank treten genau wie am Profil RB2 immer wieder S-Spalten auf, die allerdings nur wenige mm mächtig sind.
7) Rotbrauner mikritischer Kalk mit einzelnen Ammoniten des Oberhettang/Untersinemur (v.a. *Schreinbachites* und *Discamphiceras*) an der Basis.
8) Rotbraune knollige Kalke (Adneter Kalke).

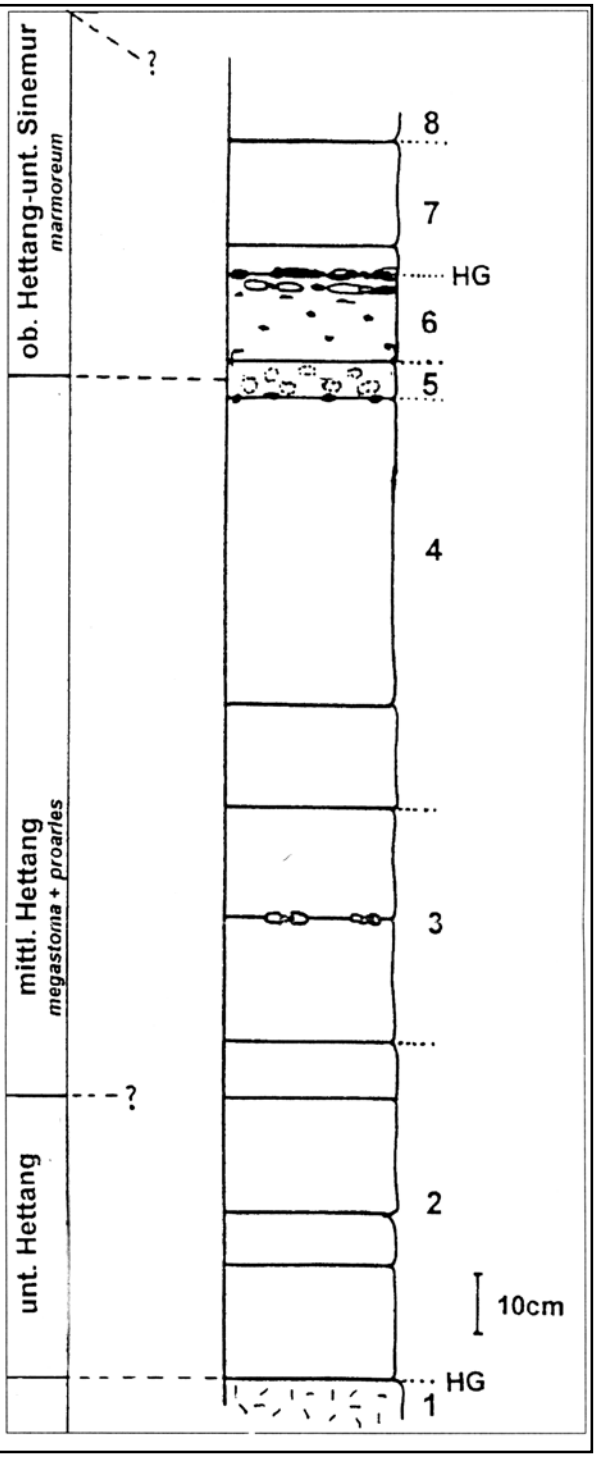


Abb. 36. Geologische Übersichtskarte der Lokalität Ankerstube und Profil Ankerstube (nach Kment, 2000).

Der Aufschluss gehört tektonisch dem „Bayerischen Synklinorium" an, das in dem Gebiet zwischen Lenggries und Bayrischzell als große Doppelmulde angelegt ist. Die Basis stellt der Hauptdolomit dar, darauf liegen Gesteine des Nor (Plattenkalk) bis Kreide. Die Aptychenschichten sind eingefaltet. Der Steinbruch liegt am südlichen, aufsteigenden Flügel des Synklinoriums. Die Bänke fallen steil nach Norden ein. Die oben beschriebene tektonische Einheit ist reich an rhätischen Riffen und überlagernden Allgäuschichten (= Graufazies) des Lias (Ehses & Leinfelder, 1988). Adneter Kalke (Rotfazies) treten nur untergeordnet auf.
Vor allem im südöstlichen Bereich des Synklinoriums finden sich vermehrt Schwellen-Sedimente wie Rotkalke des Lias.

Der Trias/Lias-Übergang erfolgt im Gegensatz zur Karwendelmulde diskontinuierlich. Der massige, graue Oberrhätkalk wurde erodiert. Man findet Vererzung, Algenbewuchs und Brekzien, also typische Spuren einer Aufarbeitung.
Darüber wurden rötliche Kalke des Lias abgelagert.

Profil Ankerstube (Abb. 36):

1) mehrere Meter hellgrauer massiger mikritischer Kalk. Darin Reste von Korallen und dickschaligen Bivalven. Oberer Bereich gelegentlich brekziiert und limonitisch imprägniert, z.T. als Spalten- und Hohlraumfüllung. Mehrere, cm-große Aggregate von *Sphaerocodium*. Ober-

fläche eben mit Spuren von Bohrorganismen (= Hartgrund).

Dieser Kalk kann als „Oberrhätkalk" (Tollmann, 1976) angesprochen werden.

2) 50 cm rosafarbener, sparitischer Kalk.

3) 35 cm rosa- bis hellbrauner, selten grüner, sparitischer Kalk mit schlecht gewinnbaren Ammonitenresten aus dem Mittel-Hettangium (*Alsatites*, *Megastomoceras*). Die meisten Funde sind Wohnkammerreste aus der Bankfuge, wo sich grüne Mergelfetzen verstärkt beobachten lassen.

4) 65 cm rotbrauner, sparitischer Kalk mit einer Limonitanreicherung am Top.

5) 7 cm graubrauner, sparitischer Kalk mit dunkelgrauen Flecken.

6) 13 cm rotbrauner sparitischer Kalk, reich an Limonit-Krusten und -Konkretionen, v.a. im oberen Bereich. Darin stark angereichert Ammoniten aus dem Ober-Hettangium (*Angulaticeras*, *Discamphiceras*). Am Top Hartgrund (*marmoreum*-Kruste) mit Limonit-Konkretionen und großwüchsiger Fauna derselben Zone. In dieser Bank treten immer wieder S-Spalten auf, die allerdings nur wenige mm mächtig sind.

Die Einheiten 2-6 sind als Bunte Lias Cephalopodenkalke anzusprechen (Tollmann, 1976)

7) 20 cm rotbrauner mikritischer Kalk mit einzelnen Ammoniten des Ober-Hettangium/ Unter-Sinemurium (v.a. *Schreinbachites* und *Discamphiceras*) an der Basis. (=Lienbach-SbFm. der Adnet-Fm.)

8) Rotbraune knollige Kalke (Adnet-Fm.).

Die Enzesfelder Fazies tritt nicht auf. Die Bank, beschrieben unter 6), knapp unter dem Hartgrund, zeigt keine grauen oder ockerbraunen Komponenten, was für den Enzesfelder Kalk typisch wäre. Vielmehr ist die *marmoreum*-Kruste etwas mächtiger ausgebildet.

Das Gestein unter der *marmoreum*-Kruste ist als Bunter Cephalopodenkalk anzusprechen.

Stylolithische Bankgrenzen dominieren wegen der weitgehenden Abwesenheit von Mergeln

und des großen Sparitanteils innerhalb der Bänke.

Fauna: Unter-Hettangium nicht belegt, aber Reste von *Caloceras* sp. in Lesefunden. Mittel-Hettangium belegt mit z.B. *Megastomoceras* und *Storthoceras* sp.

Ober-Hettangium in Lesefunden mit schlecht erhaltenen Schlotheimia im rotbraunen sparitischen Kalk. Im vererzten Horizont reiche Fauna aus dem Ober-Hettangium/Unter-Sinemurium (*Marmoreum*- Zone). Die Ammoniten im Hartgrund sind zum Teil sehr großwüchsig (bis 500 mm), Schlotheimiidae dominieren die Fauna. Phylloceratiden und Lytoceratiden fehlen fast völlig.

Hangende Allgäuschichten sind nur mit Lesefunden belegt.

Literatur

Blind, W. (1963): Die Ammoniten des Lias alpha aus Schwaben, vom Fonsjoch und Breitenberg (Alpen) und ihre Entwicklung. – Palaeontographica, (A), **121**: 37-131.

Fabricius, F. H. (1966): Beckensedimentation und Riffbildung an der Wende Trias/Jura in den Bayerisch-Tiroler Kalkalpen. – International Sedimentary Petrographical Series, **9**: 143 S.

Doben, K. (1981): 8. Alpenraum. - Bayer. geol. Landesamt (Hrsg.): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000. – 3. Aufl.: 101-103, Tab. 10-14; München.

Doben, K. & Fischer, R. (1982): Der Jura der Bayerisch-Tiroler Kalkalpen. Exkursionsführer (unveröff.). – DUGW – Stratigraphische Kommission, Subkommission für Jura-Stratigraphie. Jahrestagung in München und Hinterriß vom 15.-18.9.1982: 41 S.; München.

Ehses, H. H. & Leinfelder, R. R. (1988): Laterale und vertikale Faziesentwicklung der Rhät/Unterlias-Sedimentation im Walberg-Blankenstein-Gebiet (Tegernsee, Nördliche Kalkalpen). – Mainzer Geowiss. Mitteilungen., **17**: 53-94; Mainz

Garrison, R. E.(1964): Jurassic and early Cretaceous sedimentation in the Unken valley area Austria. – Unveröff. Diss. Geol. Dept. Univ. Princeton: 193 S.; Princeton.

Golebiowski, R. (1990): Facial and faunistic changes from Triassic to Jurassic in the Northern Calcareous Alps (Austria). – Les Cahiers de l'Université Catholique de Lyon, Série Sciences, **3**: 175-184.

Guex, J., Rakus, M., Taylor, D. & Bucher, H. (1998): Deux nouveaux genres et quatre nouvelles espèces d'ammonites (Cephalopoda) du Lias inférieur. – Bulletin de Géologie Lausanne, **339**: 73-85.

Hillebrandt, A. v. (2008): Aragonitische Foraminiferen (Robertinina) aus dem Trias/Jura-Grenzbereich der Nördlichen Kalkalpen und ihre biostratigraphische Bedeutung. – Erlanger geologische Abhandlungen, Sonderband **6**: 34; Erlangen.

Hillebrandt, A. v., Krystyn, L. & Kuerschner, W. M. (2007): A candidate GSSP for the base of the Jurassic in the Northern Calcareous Alps (Kuhjoch section, Karwendel Mountains, Tyrol, Austria). – ISJS Newsletter, **34** (1): 2-20.

Hillebrandt, A. v. & Krystyn, L. (im Druck): On the oldest Jurassic ammonites from Europe (Northern Calcareous Alps, Austria) and their global significance. – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen; Stuttgart.

Hillebrandt, A. v. & Urlichs, M. (2008): Foraminifera and Ostracoda from the Northern Calcareous Alps and the end-Triassic biotic crisis. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **76**: 30-38.

Kment, K. (1998): Beschreibung und Stratigraphie der Ammoniten eines fossilreichen Hartgrunds im unteren Toarc am Vorderskopf (westliches Karwendelgebirge, Nördliche Kalkalpen).-. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **141**: 179-208.

Kment, K. (2000): Frühe liassische Ammoniten aus der Gegend um Hinterriß im Karwendelgebirge (Tirol) und aus dem Mangfallgebirge bei Rottach-Egern (Bayern). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **142**: 181-218.

Kment, K. (2004): Von Bad Tölz zur Isarquelle.- Wanderungen in die Erdgeschichte (16): 152 S.; Verlag F. Pfeil, München.

Krainer, K. & Mostler, H. (1997): Die Lias-Beckenentwicklung der Unkener Synklinale (Nördliche Kalkalpen, Salzburg) unter besonderer Berücksichtigung der Scheibelberg Formation. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **22**: 1-41.

Krystyn, L., Böhm, F., Kuerschner, W. M. & Delecat, S. (2005): The Triassic-Jurassic boundary in the Northern Calcareous Alps. – In: Pálfy, J. & Ozsvárt, P. (Eds.): Program, Abstracts and Field Guide. 5th Field Workshop of IGCP 458 Project (Tata and Hallein, September 2005): A1-A37.

Lange, W. (1952): Der untere Lias am Fonsjoch (östliches Karwendelgebirge) und seine Ammonitenfauna. – Palaeontographica, (A), **102**: 49-162.

Linzer, H.-G., Ratschbacher, L. & Frisch, W. (1995): Transpressional collision structures in the upper crust: the foldthrust belt of the Northern Calcareous Alps. – Tectonophysics, **242**: 41-61.

Neumayr, M. (1879): Zur Kenntnis der Fauna des untersten Lias in den Nordalpen. – Abhandlungen der kaiserlich-königlichen Geologischen Reichsanstalt, 7 (5): 1-46.

Schaltegger, U., Guex, J., Bartolini, A., Schoene, B. & Ovtcharova, M. (2008): Precise U-Pb age constraints for end-Triassic mass extinction, its correlation to volcanism and Hettangian post-extinction recovery. – Earth and Planetary Science Letters, **267**: 266-275.

Schütz, K. I. (1975): Die Aptychenschichten der Thiersee- und der Karwendel-Mulde (Nordtirol). – Diss. FB 16, TU Berlin: 183 S.; Berlin.

Schütz, S. (1974): Die Geologie der Karwendel-Mulde zwischen Dürrach und Baumgartenjoch (Nordtirol). – Unveröff. Diplomarbeit, Institut für Geologie und Paläontologie der Technischen Universität Berlin: 160 S.; Berlin.

Tollmann, A. (1976): Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums (Stratigraphie, Fauna und Fazies) der Nördlichen Kalkalpen. – 2: XVI-580; Deuticke Verlag, Wien.

Tomašových, A. & Siblík, M. (2007): Evaluating compositional turnover of brachiopod communities during the end-Triassic mass extinction (Northern Calcareous Alps): Removal of dominant groups, recovery and community reassembly. - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **244**: 170-200.

Ulrich, R. (1960): Die Entwicklung der ostalpinen Juraformation im Vorkarwendel zwischen Mittenwald und Achensee. – Geologica Bavarica, **41**: 99-151.

Wagreich, M., Böhm, F. & Lobitzer, H. (1996). Sedimentologie des kalkalpinen Mesozoikums in Salzburg und Oberösterreich (Jura, Kreide).- Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Exkursionsführer, 11. Sedimentologentreffen, Exkursion B1: 8-56, Wien

Wähner F. (1882-1898): Beiträge zur Kenntnis der tieferen Zonen des unteren Lias der nordöstlichen Alpen. – Beiträge zur Paläontologie Oesterreich-Ungarns und des Orients, **2-11**: 291 S.