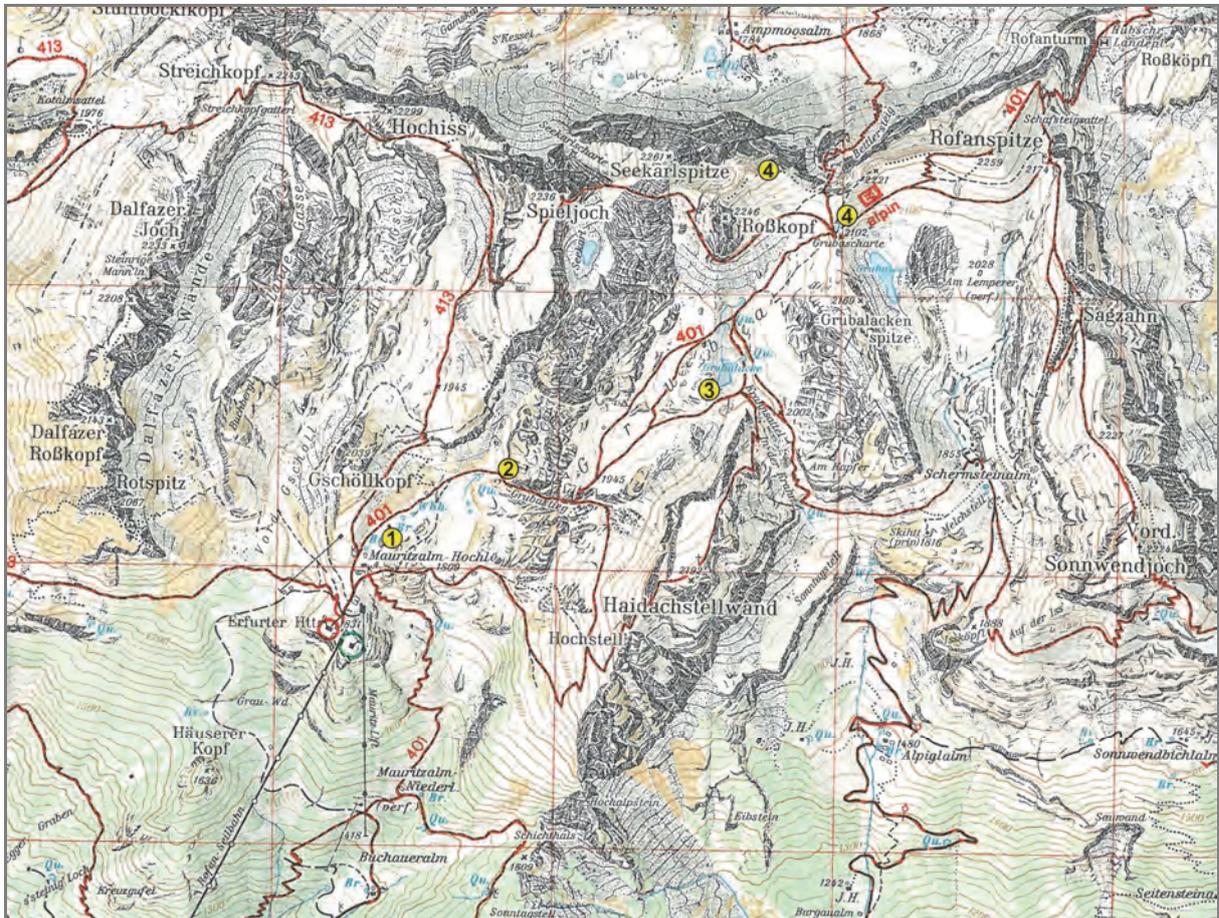


## Exkursion E2a – Rofengebirge Mittwoch, 21. 09. 2011

Führung: R. BRANDNER und A. GRUBER



Übersichtskarte mit Exkursionsstopps: Haltepunkte der Exkursion auf der Alpenvereinskarte 1:25.000 (1983), Blatt 6 Rofan.

### Überblick

Das Rofengebirge ist neben seiner landschaftlichen Schönheit ein ideales Exkursionsgebiet, um einen der geodynamisch interessantesten Zeitabschnitte in der Entwicklung der Ostalpen kennenzulernen: es handelt sich um den Abschnitt vom Ende der Trias bis zum oberen Jura und der unteren Kreide, also um jenen Abschnitt, in dem die mächtigen, für die Nördlichen Kalkalpen so prägenden Karbonatplattformen der Trias verschwinden und der Penninische Ozean, nordwestlich der Kalkalpen, entsteht. Dieser Übergang gestaltet sich jedoch komplexer, als bisher vielfach angenommen. Zahlreiche Publikationen der Arbeitsgruppe um Hans-Jürgen Gawlick (guter Überblick in der jüngsten Publikation von MISSONI & GAWLICK, 2011) berichten von jurassischer Gebirgsbildung in den mittleren Nördlichen Kalkalpen als Folge der Schließung des Westteiles des Neotethys-Ozeans. Sie soll der Extension im Unteren Jura folgen. Anderer Auffassung sind FRANK & SCHLAGER (2006), die das Modell einer jurassischen transpressiven Tektonik der Subduktionstektonik in den Ostalpen gegenüberstellen. Die eindrucksvollen Aufschlüsse im Rofengebirge regen diesbezüglich zur Diskussion an.

Die Vielfältigkeit der Landschaft ist hier durch die tektonischen Strukturen und die unterschiedlichen Gesteine vorgegeben: die weißen, verkarsteten Oberrhätkalke bilden die Kerne der ca. N-S-streichenden Antiklinalstrukturen, in den dazwischenliegenden Mulden sind geringmächtige Rotkalke und Ruhpoldinger Radiolarite verbreitet. Darüber lagern, alles übergreifend, die grobgebankte oberjurassische Rofanbrekzie und Schuttkalke mit Flachwasserdetritus, die die Gipfelregionen aufbauen. Sie weisen Großteils eine flache Lagerung auf und machen die engen Faltungen und Rampenüberschiebungen des Liegenden nicht mit. Das alles liegt engräumig nebeneinander und macht letztlich den Reiz der Landschaft aus. Diese hat offensichtlich auch schon den Menschen der Jungsteinzeit gefallen. Sie fanden hier zudem in den roten Radiolariengesteinen bestes Rohmaterial für ihre Werkzeuge. Mitarbeiter des Instituts für Archäologie der Universität Innsbruck fanden dafür in der Umgebung der Grubalacke (3. Stopp) zahlreiche Hinweise.

Das Rofangebirge ist ein Schlüsselgebiet zum Verständnis der geodynamischen Entwicklung im Jura der Nördlichen Kalkalpen. Hier haben schon in früheren Zeiten die ausnehmend genauen und ausführlichen Beschreibungen von WÄHNER (1903) Aufmerksamkeit erregt. Viele Detailbeobachtungen warfen immer mehr Fragen auf, die zur damaligen Zeit aber nicht befriedigend beantwortet werden konnten. SPENGLER hat 1935 das Werk Wähners mit der Herausgabe des 2. Bandes seiner Monographie vollendet und fertigte dazu auch eine geologische Karte 1:10.000 an, die auf Notizen und Fotografien Wähners aufbaut.

Schon damals war die Entstehung der „Hornsteinbrekzie“ (**Rofanbrekzie**) das wichtigste geologische Problem. Sie wurde von Wähler und Spengler als „Dislokationsbrekzie“, d. h. also als tektonische Brekzie gedeutet. Sie soll bei vorgosauischen, orogenetischen Bewegungen zwischen den Oberjurakalke und ihrer Unterlage entstanden sein. Im Niveau der brekziösen Einschaltungen hätten sich die Oberjurakalke von ihrer anders gefalteten Unterlage abgelöst und dabei eine „Reibungsbrekzie“ gebildet. Wenige Bänke wurden aber auch als Sedimentärbrekzie interpretiert. AMPFERER deutete diese dagegen bereits 1908 als sedimentäre Brekzie und führte dafür gewichtige Beobachtungen an, die dann später von SANDER (1941) durchaus bestätigt wurden. Heute ist es natürlich keine Frage mehr, dass es sich um eine mächtige Sedimentabfolge handelt, in der dicke Bänke von Brekzienschuttströmen mit eher plattigen, dm-geschichteten Calciturbiditbänken („Hornsteinplattenkalke“) wechsellagern. Ampferer nahm an, dass nach Ablagerung der Radiolarienschichten (**Ruhpolding-Fm.**) das Gebiet gehoben und verlandet worden wäre und die „eben erhobenen Massen“ in Form von Gleitfalten transportiert worden wären (Abb. 1). Als Argument für eine tektonische Hebung nach den Radiolariengesteinen sind auch die Funde von Korallenkalke in Brekzienkomponenten von WEYNSCHENK (1949) zu werten. Danach hätte Erosion zur Bildung der Hornsteinbrekzien geführt und erneutes Untertauchen erlaubte den „Fortgang der Sedimentation“. Erst dann folgte die Gebirgsbildung in der Kreidezeit. Wähler konzentrierte seine Arbeiten nach Erscheinen von Ampferers Publikation vor allem darauf, noch mehr Argumente für seine Reibungsbrekzie zu finden und scheiterte letztlich daran, sodass er schlussendlich auch keine Zeit mehr fand, seine Monographie selbst fertigzustellen. Aus heutiger Sicht darf festgestellt werden, dass es natürlich beide Brekzientypen gibt, die sedimentäre Brekzie ist allerdings naturgemäß wesentlich mächtiger entwickelt.

Bei einer Gesamtbetrachtung der tektonischen Nachbarschaft von Karwendel- und Sonwendgebirge ging AMPFERER (1941) nochmals auf die Problematik der Hornsteinbrekzie ein und bekräftigte neuerlich seine Auffassung, dass die Falten das Ergebnis der „Abgleitung von noch meerfeuchten Sedimenten“ seien. Dafür müsse allerdings eine tektonische Aufwölbung im Osten angenommen werden, die bei diesem Vorgang entblößt worden wäre. Aufgrund der tiefgreifenden prägosauischen Erosion ist im in Frage kommenden Raum (Brandenburg) dergleichen allerdings nicht mehr nachweisbar.

Vor Kurzem versuchten GAWLICK et al. (2009 und dieser Band) mittels Radiolarien-Stratigraphie eine exaktere Datierung der Rofanbrekzie zu erlangen. Dabei gelang die genaue Einstufung der kondensierten Radiolaritabfolge, die nun vom höheren Callovium bis ins mittlere Oxfordium reicht. Die darüber folgende Rofanbrekzie wäre damit nun deutlich jünger als ähnliche Brekzienschüttungen im Tauglboden-Becken der mittleren Nördlichen Kalkalpen. Dies wird von Gawlick et al. als wichtiger Hinweis für die zeitliche und räumliche Wanderung möglicher orogenetischer Vorlandbeckenbildungen („Tauglbodenbecken“, „Rofanbecken“) gewertet.

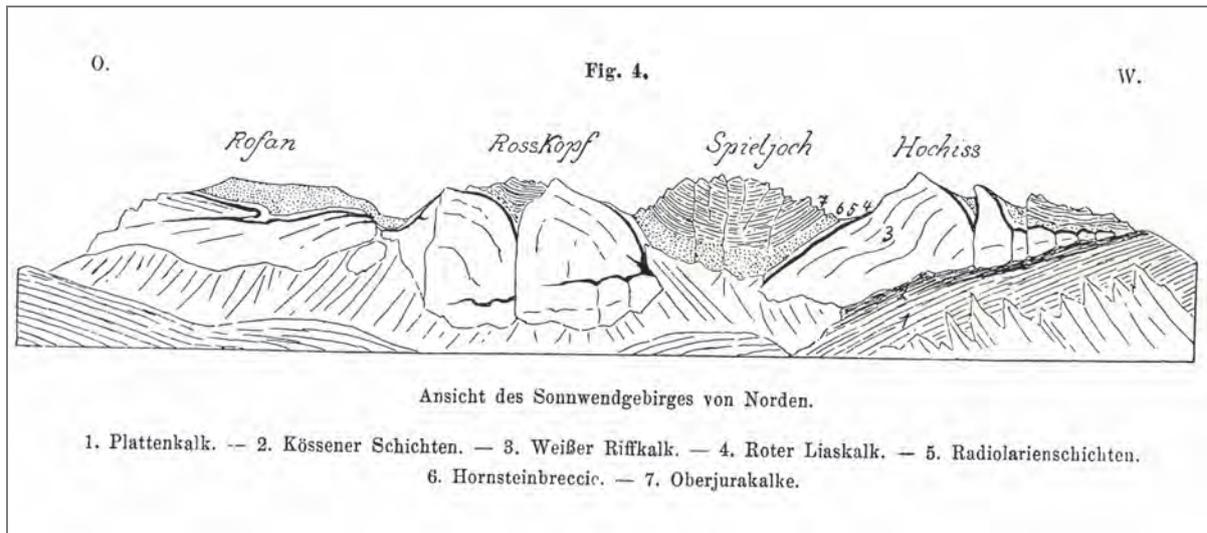


Abb. 1: Ansicht der Nordwand des Rofangebirges, aus AMPFERER (1908). Die Faltenstrukturen im weißen Riffkalk (Oberrhätkalk) werden hier als Gleitfalten interpretiert, die Hornsteinbrekzie soll daher nach Ansicht Ampferers auf dem Gleitfaltenteppich transgredieren.

Turbiditische Flachwasserdetritusschüttungen folgen über der Rofanbrekzie bzw. verzahnen mit dieser. Auf Grund ihrer plattigen Schichtflächen und diagenetisch gebildeten Hornsteinkauern spricht man hier auch vom „**Hornsteinplattenkalk**“. Die Detrituskalkschüttungen bestehen aus Flachwasserkarbonatkörnern einer zeitgleich produzierenden Karbonatplattform (**Plassen-Fm.**) die in östlicher bis südöstlicher Richtung angenommen werden muss. Textur und Zusammensetzung gleichen den **Barmsteinkalkschüttungen** und werden diesen daher hier gleichgesetzt. Sie häufen sich in der Depression des Bächentaler Beckens und verzahnen in Richtung W bis NW mit der **Ammergau-Fm.** (siehe Beitrag Gruber & Brandner, dieser Band). Im Bereich des Dalfazer Roßkopfs erreicht die Abfolge eine Mächtigkeit von ca. 300 m und wird dort von der Ammergau-Fm. überlagert. Aptychenfunde (SPENGLER, 1935: 84) weisen hier auf ein Kimmeridge-Tithon-Alter hin. Mittels Calpionellen-Stratigraphie konnte SCHÜTZ (1979) den Nachweis erbringen, dass die Obergrenze der Barmsteinkalkschüttungen im Bächentaler Becken in das Berriasium hineinreicht. Die Bezeichnung „**Seekarlspitzkalk**“ (GAWLICK et al., 2009) ist irreführend, da im Bereich der Seekarlspitze im Rofan weitum nur Oberrhätkalk und kein Oberjurakalk ansteht. Wir haben daher hier diesen Begriff nicht verwendet.

Die Gesamtfolge von der Ruhpolding-Fm. bis zur Ammergau-Fm. ist mit der mehrere 100 m mächtigen Zwischenschaltung von Resedimentgesteinen (Rofanbrekzie und Barmstein-Fm.) klar in eine progradierende, CU- (coarsening upward) und retrogradierende FU-Abfolge (fining upward) zu gliedern. Die Progradation der klastischen Schüttungen beginnt oberhalb des Rupoldinger Radiolarits mit dünn-schichtigen Turbiditlagen aus klastischem Material, die zunehmend gröber körnig werden und Brekzienbänke bilden. Auch einzelne Megablocke von Oberrhätkalken sind eingeschlossen. Hintergrundsediment sind u. a. rote dünn-schichtige Kalke (Packstones mit Radiolarien, Spiculae und Filamenten). Diese Abfolge wird der **Tauglboden-Fm.** zugeschrieben. Die **Rofanbrekzie** folgt mit scharfer Grenze unter Ausbleiben der roten Radiolarienkalke. Der Komponentenbestand wird vor allem aus Oberrhätkalken, bunten Jurakalken, Kössener Kalken und untergeordnet Radiolarit aufgebaut. Vereinzelt sind eindeutig stromatolithische Plattenkalke/-dolomite festzustellen. WÄCHTER (1987) nennt zudem noch Hauptdolomit-Klasten. Sekundäre Verkieselung ist verbreitet. Die Komponenten sind maximal angerundet und schlecht sortiert, Kornstützung mit wenig Matrix ist verbreitet. Die Brekzienabfolge besteht aus offensichtlich rasch erfolgten gravitativen Schuttströmen, die als Rinnenfüllungen vorliegen und damit auf eine proximale Position am Paläohang hinweisen. Im mittleren und höheren Abschnitt der Abfolge schalten sich mit Nachlassen der Schüttungen zunehmend gut geschichtete Calciturbiditlagen ein, die den **Barmsteinkalken** zugerechnet werden. Mit der generel-

len Subsidenz setzen dann im unteren Berriasium die Flachwasserdetritusschüttungen zunehmend aus und die mikritischen Tiefseekalke der Ammergau-Fm. gelangen zur Ablagerung. Offensichtlich wurden nun die Karbonatplattformen im Einzugsgebiet der Calciturbidite geflutet. Die Calciturbidite haben im Becken naturgemäß die größte Reichweite, wohingegen die Brekzienschuttströme im proximalen Bereich des Hanges liegen bleiben. Mehrere Aufschlüsse zeigen, dass grober Blockschutt sich unmittelbar vor dem jeweiligen Stirnbereich der Rampenüberschiebungen ansammelt. Diese Phänomene sind bestens in der Nordwand des Rofangebirges zu studieren.

Sie zeigen klar, dass die **Rampenüberschiebungen** des Unterbaues mit der sedimentären Brekzienbildung einhergehen (siehe Abb. 4). AMPFERER hat das bereits 1908 richtig erkannt.

Es stellt sich nun die Frage, ob die Rampenüberschiebungen im Sinne Ampferers lediglich Teil gravitativer Massenbewegungen (Rutschfaltung) an der Oberfläche sind oder Teil tiefgründiger Einengungstektonik, wie dies unlängst MISSONI & GAWLICK (2011) postulierten.



Abb. 2: Blick auf den NW-Hang der Rofanspitze mit der schön aufgeschlossenen CU-Abfolge der Taugboden-Fm. (TB) und Rofanbrekzie (RB, mehrere undeutlich grobgebankte Brekzienlagen unter dem Kamm) – siehe auch 4. **Stopp.** Die Taugboden-Fm. weist in ihrem hangenden Abschnitt Lagen von weißen Oberrhätkalkblöcken auf, die nochmals von roten Radiolarienkalken überlagert werden. An der Basis der Abfolge ist der messerscharfe Paläokarstkontakt am Top des Oberrhätkalks (ORK) zu roten Adneter Kalken/Hierlatzkalken (RR) zu erkennen, die zweiten Steilstufe des Profils besteht aus Radiolarit (RR).



Abb. 3: Verzahnungsbereich Rofanbrekzie – Barmsteinkalke. Aufschluss auf der Südflanke der Roßköpfe, unterhalb vom Steig (am Rückweg vom 4. Stopp). Überlagerung eines Brekzienschuttstroms (komponentengestützte Brekzie) mit dm-geschichteten, plattigen Calciturbiditen („Hornsteinplattenkalk“) der Barmstein-Fm. Die Sedimentationsunterbrechung wird unterstrichen durch die Auffüllung des Reliefs am Top der Brekzienbank. Bis zum Gipfel der Roßköpfe folgen mehrere, ähnlich aufgebaute Sequenzen, die meist mit ausgeprägten, rinnenartigen Diskordanzen an ihrer Basis einsetzen.

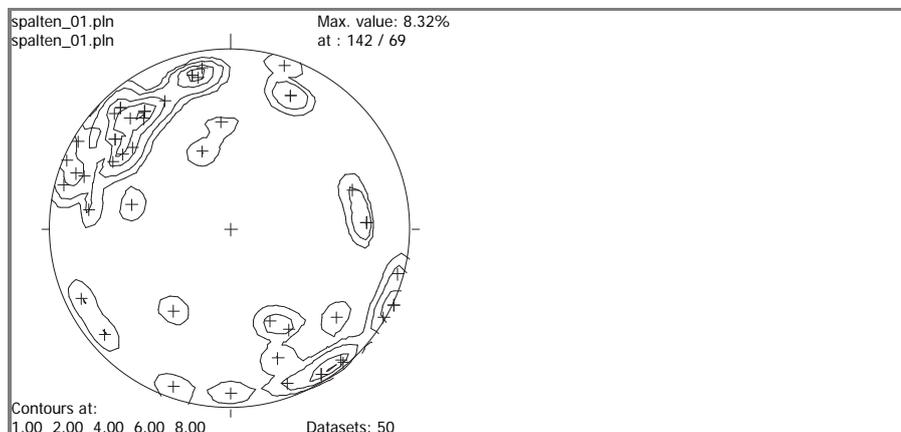


Abb. 4: Statistische Auswertung (Polpunktdarstellung) von jurassischen Spaltenbildungen im Rofan-gebirge (aus BRANDNER & SAUSGRUBER, 2001). Der Haupttrend der Spalten in Richtung NNE–SSW ist klar erkennbar. In dieser Richtung verlaufen auch die späteren Rampenfaltungen.

Der etwa 100 m mächtige Oberrhätalk schert samt seiner geringmächtigen Rotkalk- und Radiolaritauflage an der rheologisch vorgegebenen Basis am Top der Kössener Mergel ab und bildet meist auf der oberen Flachbahn (= Rotkalk + Radiolarit) Rampenfaltungen, die selten enge Faltung zeigen. Vielmehr lösen sich die Faltenscharniere in Blockwerk auf, das in die Relief-plombierende Rofanbrekzie eingeht (Abb. 5). Ebenso können größere Schichtpakete weggleiten und in gravitativen Schuttströmen

einsedimentiert werden. Das spröde Verhalten des Oberrhätkalkes ist auf die frühe Lithifizierung des Riffkalkes zurückzuführen. Rotkalk und Radiolarite könnten sich bei der Deformation eventuell noch plastisch verhalten haben, wie AMPFERER (1908) meint. Das N-S- bis NNE-SSW-Streichen der Rampenfaltungen hält sich auffallenderweise an ähnliche Streichrichtungen der vorangegangenen **Dehnungsspalten** (neptunian dikes) an der Basis der Rotkalken (siehe Stopps 1–3 und Abb. 4).

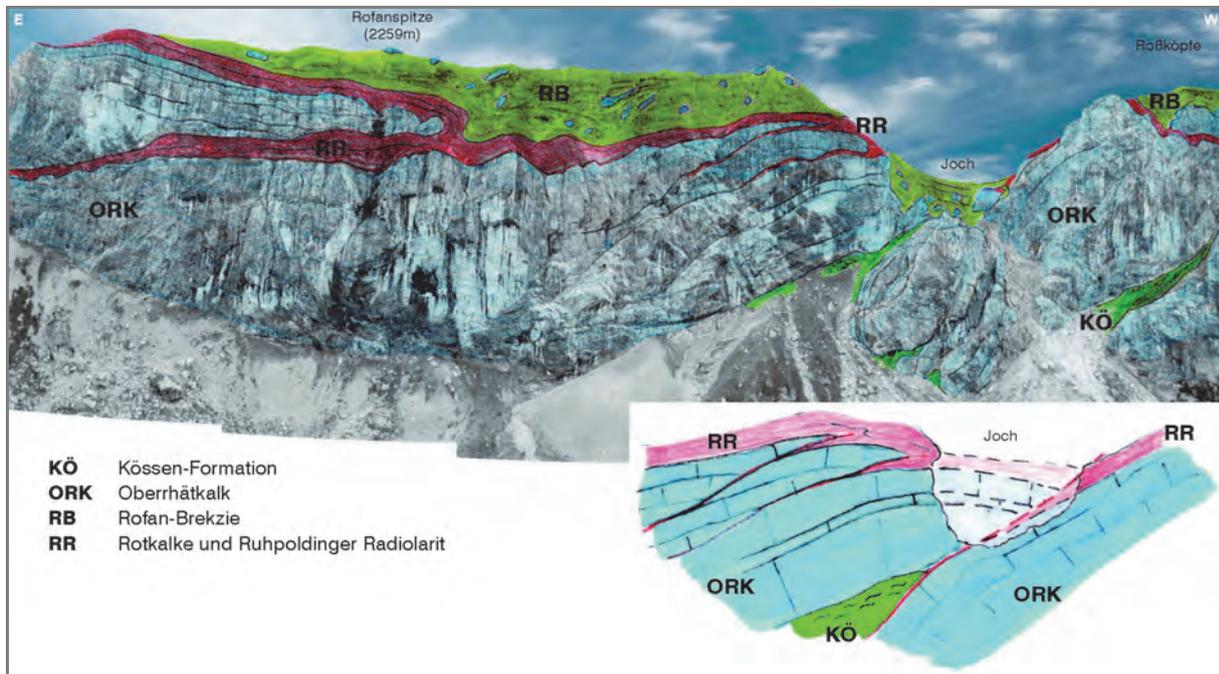


Abb. 5: Panorama Rofanspitze-Nordwand (Aufnahme vom Seilegg). Siehe auch Abb. 13.

„Lehrbuchbeispiel“ für Rampenüberschiebungen mit Rampenfaltung in der Hangendscholle. Grobgebankte Oberrhätkalke (ORK) scheren an ihrer Basisfläche zu den Kössener Mergeln (KÖ) ab und überschieben jeweils in Richtung West über Rampen auf das Niveau Rotkalk-Gruppe – Ruhpoldinger Radiolarit (RR) und z. T. Tauglboden-Fm. (hier in Rofanbrekzie inkludiert: RB). Im Stirnbereich der Überschiebungen werden Rotkalk, Radiolarit und Tauglbodenschichten noch mitverfaltet. Dieser enge Schuppen- und Faltenbau wird von einer mächtigen Abfolge von Brekzien und Detrituskalken (RB) überlagert (Megablocke von Oberrhätkalken sind gut zu erkennen), die lediglich einen weitspannigen Faltenbau aufweist. Bei lokalen internen Schräg- und Querstellungen von Schichtstapeln handelt es sich eindeutig um Rutschfaltenfragmente, die in die Brekzie einsedimentiert wurden. Im Bereich des Jochs zwischen Rofanspitze und Roßköpfe reichen Schuppen von von der Basis mitgeschleppten Kössener Kalken und Mergeln knapp an die überlagernde Rofanbrekzie heran. Hier fehlen die ursprünglich darüber gelagerten, mächtigen Oberrhätkalke (in der kleinen Modell-Skizze strichliert dargestellt). Die Erosion erfolgte durch Herausbrechen von Oberrhätkalkblöcken aus dem beim Überschiebungsvorgang zerbrochenen Stirnbereich der überschobenen Hangendscholle. Die Blöcke gingen in die Rofanbrekzie ein, die in den vorgelagerten Depressionen abgelagert wurde.

Die Situation gilt als Beispiel einer oberflächennahen Einengungstektonik am oberjurassischen, tiefen Meeresboden.

Auch im tieferen Stockwerk, vom Hauptdolomit bis hinunter zur großen Basisabscherung im Niveau Haselgebirge – Reichenhaller Schichten sind Einengungsstrukturen („Querstrukturen“) ähnlicher Ausrichtung weit verbreitet. Die prominenteste ist die Achentaler Überschiebungsstruktur („Achentaler Schubmasse“) des nun neu vorgestellten Kartenblattes „Achenkirch“ (siehe auch Beitrag Ortner &

Gruber, dieser Band). Auch diese Querstruktur wird eine jurassische Anlage haben, wurde aber dann in der Folge in die frühalpiner Top-nach-NW- und mesoalpine Top-nach-NNW-Überschiebungstektonik einbezogen. Am Fonsjoch, am Ostende der Karwendel-Synklinale finden sich ähnliche Strukturen: hier befinden wir uns am Westrand der Oberrhätkalkplattform, die Kössen-Fm. wird direkt von der Kendlbach-Fm. überlagert. Rotkalke und Radiolarit sind in mehreren gravitativen Gleitschollen übereinander gestapelt, im Untergrund weist der Plattenkalk samt oberem Hauptdolomit westvergente Verfaltungen auf. Damit kann das Argument, der Hauptdolomit der Liegendabfolge liege ruhig da und daher könne es sich nur um oberflächliche Eingleit-Deformationsstrukturen handeln, stark abgeschwächt werden. Trotzdem ist anzumerken, dass auch an heutigen passiven Kontinentalrändern (Beispiel Nordatlantik) mächtige Schichtstapel abgleiten können, die in ihrer Dimension durchaus jenen des Rofangebirges entsprechen können.

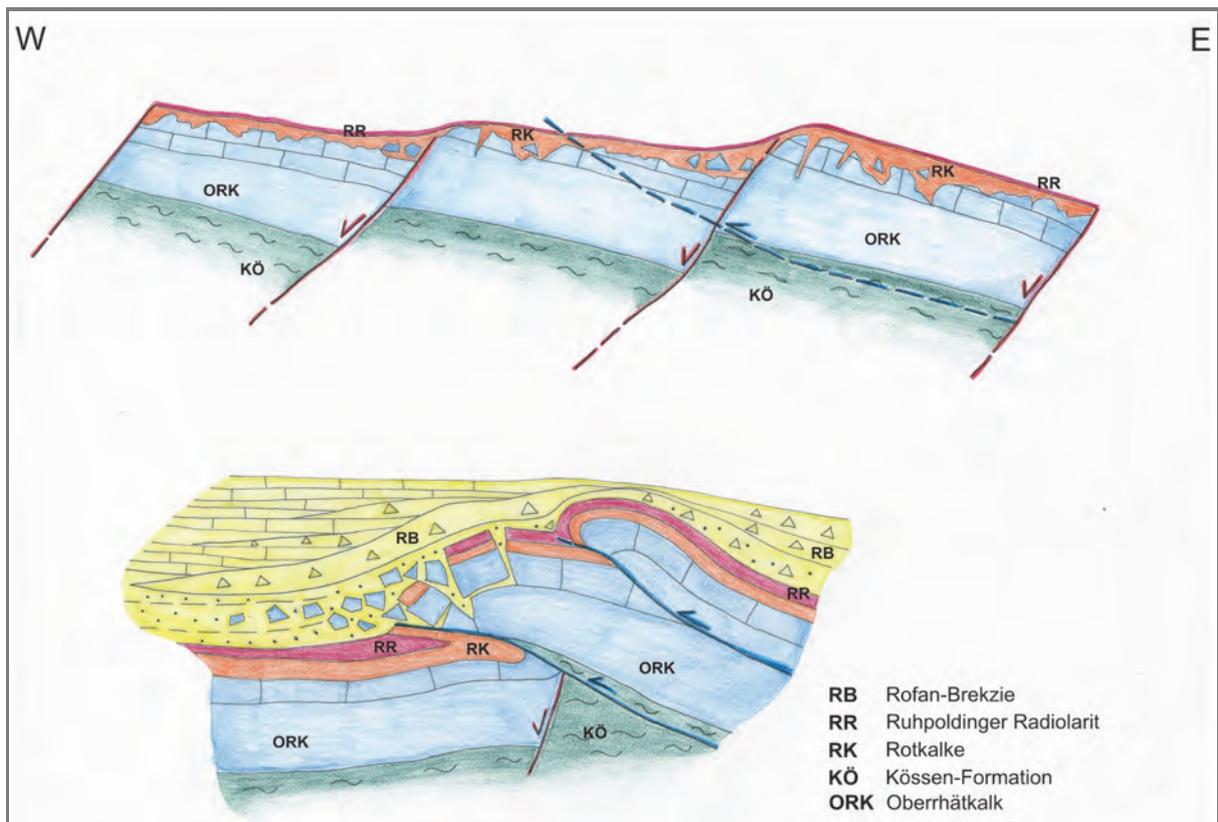


Abb. 6: Modell der geodynamischen Juraentwicklung im Sonnentoggebirge (ohne Maßstab).

Bild oben: Dehnungstektonik mit Kippschollenbildung im Unteren – Mittleren Jura, die Hauptphase der Bildung des Bächtentaler Beckens (siehe Abb.20 im Exkursionsbeitrag E3) fällt in das Toarcium; in der Folge herrscht starke Subsidenz im gesamten Kontinentalrandbereich des Penninischen Ozeans.

Bild unten: Nach Ablagerung des Ruhpoldinger Radiolarits setzt im oberen Oxfordium mit der Tauglboden-Fm. und Rofanbrekzie Einengungstektonik mit Rampenüberschiebung (blaue Störungslinien) und Faltung ein (im Bild unten). Überschiebungen setzen in Bereichen der oberliassischen Abschiebungen an.

## Sinistrale Transtension – dextrale Transpression oder Schollenkipplung mit Eingleiten von Schichtstapeln?

Das Bächtentaler Becken ist gekennzeichnet durch seine Halbgraben-Geometrie, mit Absenkung von S nach N, aber auch von W nach E. Es reicht in seiner Längserstreckung von Mittenwald (ULRICH, 1960) nach E in den Bereich Achenkirch (CHANNELL et al., 1992), wobei hier der querliegende Beckenrand durch die Überschiebung der Achenentaler Schubmasse maskiert ist. Aus kinematischen Gründen sind neben den nachgewiesenen NNE- bis NE-streichenden Abschiebungen (= „Querstrukturen“) auch etwa E-W-streichende Längsstörungen anzunehmen, die bei der mesoalpinen Top-nach-N-Einengung in E-W-streichenden Faltenbau und Überschiebungen übergegangen sind (EISBACHER & BRANDNER, 1996; ORTNER, 2003 und dieser Band). Demnach sollte im Bereich Achenkirch der Übertrittsbereich der Längsstörungen anzunehmen sein, womit von der Geometrie her gesehen die Beckenbildung in einem sinistralen Scherungssystem vorgegeben ist. Die Anlage des Jurabeckens ist prinzipiell schon in der Obertrias mit der Verteilung des Oberrhätkalkes und der Kössener Schichten gegeben, erhält dann aber eine Akzentuierung im Toarcium. In der Folge ist starke Subsidenz am gesamten südlichen Kontinentalrand des Penninischen Ozeans wirksam.

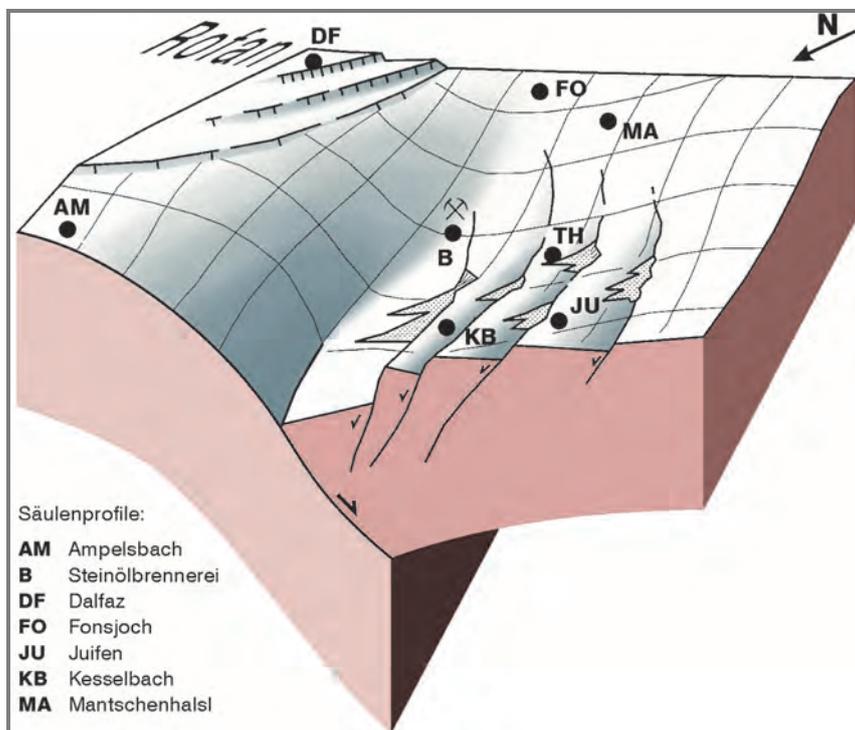


Abb. 7: Rekonstruktionsversuch des Bächtentaler Beckens zur Zeit des oberen Lias (verändert nach SPIELER & BRANDNER, 1989). Das gesamte Becken beginnt im W bei Mittenwald und erreicht im Bächtental den bathymetrisch tiefsten aufgeschlossenen Bereich. Es handelt sich um eine Halbgrabenstruktur, die sowohl in W-E Richtung als auch in NW-SE Richtung entwickelt ist.

Die Subsidenz wird im Oberjura am Südrand der Kalkalpen (= Tirolikum und Juvavikum) nach der Auffassung von MISSONI & GAWLICK (2011, mit Zitaten früherer Arbeiten) vom Einfluss kompressiver Tektonik unterbrochen, die von der Schließung des Hallstatt-Meliata-Ozeans ausgehen soll. Am Beispiel des Sonnwendgebirges, wo oberjurassische Falten- und Überschiebungsstrukturen in einmaliger Art und Weise aufgeschlossen sind, ist deren kleinräumige Verteilung und geringe laterale Erstreckung auffallend. Dementsprechend sind die daraus hervorgehenden oberjurassischen Brekzienbildungen samt Detrituskalken lokale Bildungen, ohne größere Lateralerstreckung. Im Falle kompressi-

ver Tektonik müsste das als Hinweis und starkes Argument für transpressive Lateraltektonik gewertet werden. Bei der nachgewiesenen Ererbung und Inversion der sinistralen Störungsgeometrien des Unterjura (s. o.) müsste dann allerdings auch ein Wechsel zu einem (vielleicht nur kurz andauernden) dextralen Bewegungssinn angenommen werden. Dies wäre dann als ein Vorläufer für die von EISBACHER & BRANDNER (1996, Abb. 4c) postulierte frühalpiner, NW-gerichtete Einengung entlang von zahlreichen dextralen „cross faults“ zu interpretieren.

Im Falle des Andauerns extensionaler Tektonik im Oberjura, was ja mit der Öffnung des Penninischen Ozeans natürlich im Einklang wäre, müssten sehr große Schollenkippen angenommen werden, um die angetroffenen Phänomene erklären zu können. Einerseits sind im Herkunftsgebiet der Flachwasserdetrituskalke Hebungen im Ausmaß von mehreren 100 m notwendig, damit sich die produzierenden Riffareale (Plassenkalk) im Hangenden der Radiolaritgesteine des Oxfordium bilden können (GAWLICK et al., 2007). Andererseits würde dadurch aber ein Relief geschaffen werden, das ein Eingleiten der etwa 100 m mächtigen Schichtstapel des Rofan durchaus erlauben würde.

Eine Entscheidung in dieser Frage könnten weitere strukturgeologische Arbeiten im Unterbau des Sonnwendgebirges bringen, die den westvergente Strukturen mehr Augenmerk schenken sollten.

### **Exkursionsroute (siehe Abb. 1)**

Von Maurach mit der Rofan-Seilbahn zur Bergstation bei der Erfurter Hütte (Höhe 1.831 m). Von hier kurzer Fußmarsch zum Stopp 1: Mauritzenalm Hochleger, dann weiter auf dem Wanderweg Nr. 01 („Nordalpenweg“) zur „Grubastieg“ (die Lokalitäten sind auf der Alpenvereinskarte, Blatt „Rofan“, zu finden), Haltepunkt 2, weiter zur „Grubalacke“, Haltepunkt 3, bis zur „Grubascharte“ (2.102 m), Haltepunkt 4, mit einem kurzen Abstecher zum Joch, Pkt. 2.128 m. Von hier am gleichen Weg zurück zur Bergstation der Rofan-Seilbahn. Die Wanderung verläuft mühelos, ungefähr in der gleichen Höhenlage mit kleinen Auf- und Abstiegen.

Gegen Westen sehen wir ins Östliche Karwendel hinein mit der geologisch berühmten Lokalität „Stanser Joch“ („Reliefüberschiebung“ Ampferers) im S. Dabei handelt es sich um den überkippten Nordschenkel der Stallental-Antiform. Der Kern der Antiform wird aus Hauptdolomit und „Jungschichten“ der Lechtal-Decke gebildet, die Top-nach-NW-überschobene Inntaldecke lagert mit Reichenhaller Rauwacken an ihrer Basis darüber. Am Stanser Joch sehen wir den überkippten Teil der Inntal-Decke mit der flach gelagerten, inversen Schichtfolge des Wettersteinkalks. Gegen N folgt ein nach S rücküberschobener, aufrechter Teil der Inntal-Decke mit einer äußerst komplex gebauten Schuppenzone, deren primäre Anlage auf Diapirtektonik des unterlagernden Haselgebirges zurück geht. Nach N folgt südlich Pertisau die junge Überschiebung auf die mächtige Hautdolomitfolge, die in der E-W-streichenden Gütenberg-Synklinale und Karwendel-Synklinale Jura- und Kreidesedimente erhalten hat. Diese Überschiebung verschwindet gegen W im Risstal und kann daher nicht als Nordrand der Inntal-Decke gedeutet werden.

Dieselbe Überschiebung findet aber gegen E über Maurach und den Schichthals eine Fortsetzung. Hier überschiebt in nördlicher Richtung die Ebner-Joch-Scholle mit Reichenhaller Schichten an ihrer Basis Gosausedimente, die ihrerseits transgressiv den etwa N-S-streichenden Faltenstapel des Rofangebirges (hier der Haidachstellwand) überlagern. Die damit eindeutig prägosauischen Rofanfalten tauchen hier nach S hin ab, deshalb erreichen die Juraformationen des Rofan knapp nördlich Maurach den Talboden (schön aufgeschlossen z. B. im aufgelassenen Steinbruch NW' Maurach).

# I. Stopp: Mauritzenalm Hochleger

## Tektonischer Überblick Östliches Karwendel und Sonnwend-Gebirge

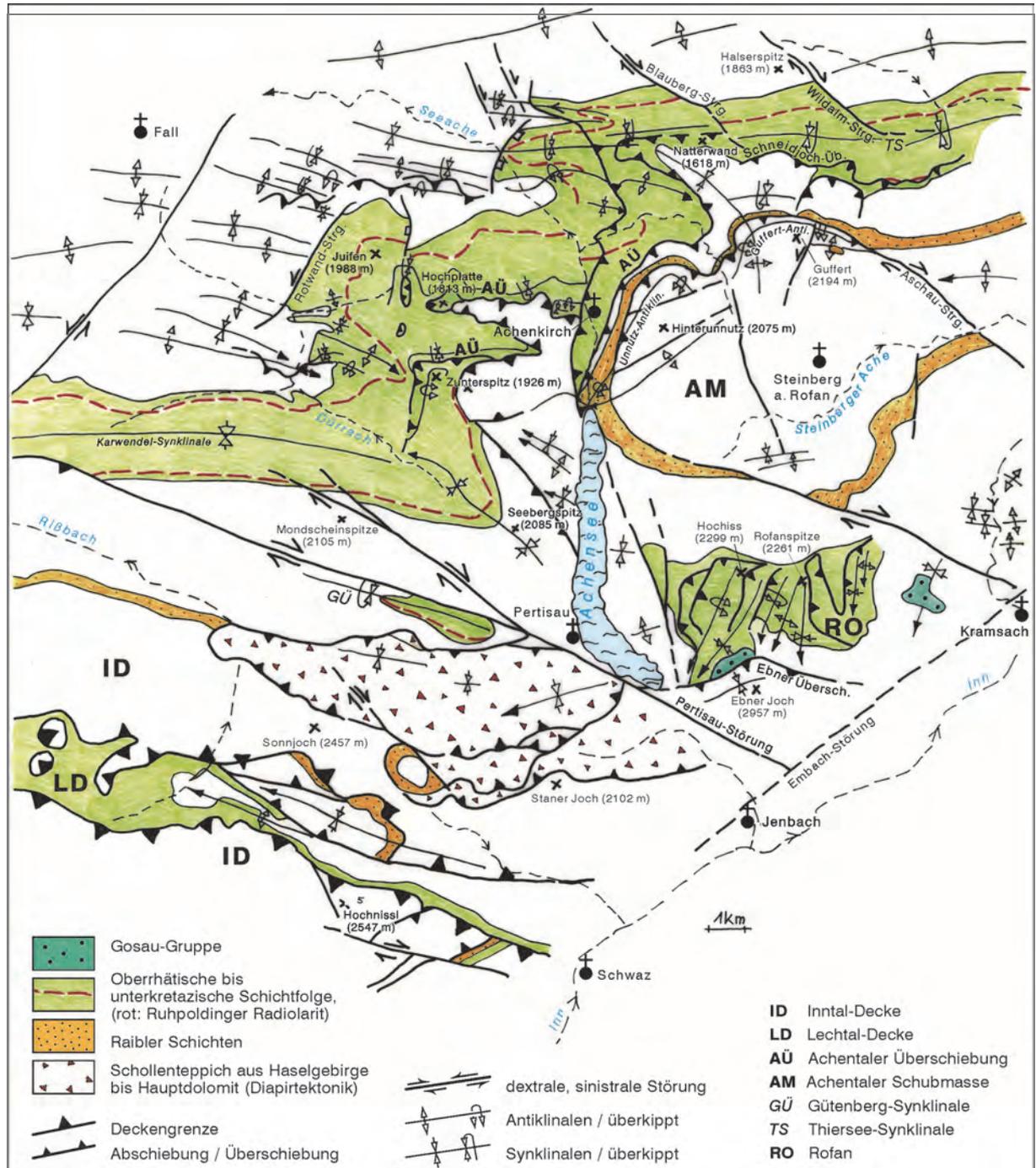


Abb. 8: Tektonische Übersichtskarte, stark verändert nach EISBACHER & BRANDNER (1996).



Abb. 9: Schrägluftbildaufnahme auf den Schichthals. Links im Bild der Nordrand der Ebner-Joch-Scholle, die die Gosau des Schichthals (bunte Farben der Gesteine) überschiebt. Die Gosau selbst transgrediert auf den nach S abtauchenden westvergenten Faltenstapel des Rofan (rechts im Bild).

### ***Spaltenbildungen und Paläokarst am Top des Oberrhätkalks mit Überlagerung der Rotkalke. Trias-Jura-Event***

Gleich östlich der Mauritzenalm sind schöne Aufschlüsse der primären Überlagerung der Rotkalke auf Oberrhätkalk zu sehen. Einerseits liegt eine deutlich angelöste, unregelmäßige Auflagerungsfläche vor, andererseits sind aber auch mit Rotkalk gefüllte Spalten im Oberrhätkalk oder auch im Rotkalk selbst häufig. Die primär fleckenhafte Verteilung der Rotkalke auf dem weißen Oberrhätkalk ist bereits von GEYER (1886) richtig erkannt worden, WENDT (1969) hat diese dann im Detail beschrieben. Er stellte querschlägige Spalten (Q-Spalten) und schichtparallele Spalten (S-Spalten) fest und wies nach, dass es sich um sedimentgefüllte Spalten am unterliassischen Meeresboden handelt, die bei bruchtektonischer Deformation entstanden sind. Mit zahlreichen Ammonitenfunden konnte er feststellen, dass die Rotkalksedimentation erst mit dem Sinemurium einsetze. Ob es sich um eine Spaltenfüllung oder Sedimentation am Meeresboden handelt, ist mit Hilfe textueller Kennzeichen leicht feststellbar: Feinschichtung ist typisch für die Spaltenfüllungen, Bioturbation ist typisch für Sedimentation am Meeresboden.

Wendt zweifelt in seiner Arbeit so manche Rotkalklage in den Ansichtsprofilen Wähners in der Rofan-Nordwand an und meinte, dass so manche tektonische Komplikation einfacher durch S-Spalten zu lösen wäre. Eine neuerliche Prüfung der in Frage kommenden Stellen gibt allerdings Wähler Recht. Die S-Spalten sind kaum verbreitet und ja auch genetisch schwer zu erklären.



Abb. 10: Aufschluss Mauritzalm. Flach liegender Oberrhätkalk (rechts) wird an steil stehender Abschiebungsfläche (130/80) primär von Rotkalk überlagert.

Ein bisher kaum untersuchtes Phänomen sind die gerade im Rofan so ausgeprägten Paläokarsterscheinungen an der Trias-Jura-Grenze.

Handelt es sich dabei um subaerische Karstlösung infolge eines drastischen Meeresspiegelabfalls? Dies ist derzeit die gängige Meinung. Allgemein wird am Ende der Trias eine kurzfristige eustatische Meeresspiegelabsenkung angenommen, die mit ausgedehnten vulkanischen Ereignissen der zentralatlantischen Magmenprovinz einhergehen soll und ebenso eine der Ursachen für das Aussterbeereignis sein soll (SCHOENE et al., 2010). Gegen einen eustatischen Meeresspiegelabfall spricht allerdings, dass z. B. in den Südalpen in der zeitlich in Frage kommenden Formation der Calcari grigi bisher keinerlei Hinweise für Paläokarst nachgewiesen werden konnten. KRYSTYN et al. (2005:14) nehmen daher in den Nördlichen Kalkalpen lokale tektonische Hebungen als Ursache für die Verkarstung an. Die subaerische Verkarstung konnte allerdings bisher noch nirgendwo nachgewiesen werden. Trotz mehrfacher karbonatsedimentologischer Analysen fehlen entsprechende eindeutige vadose Zemente, wie gravitative Zementkrusten („drip stone“) nach wie vor. Lokale tektonische Hebungen wären mit Kippung von Schollen im Rahmen der Riftingtektonik am passiven Kontinentalrand möglich. Listrische Abschiebungsflächen ermöglichen die Rotation von Schollen, allerdings müsste im Ausmaß der Hebung auch eine dementsprechende Absenkung der gleichen Scholle stattfinden.

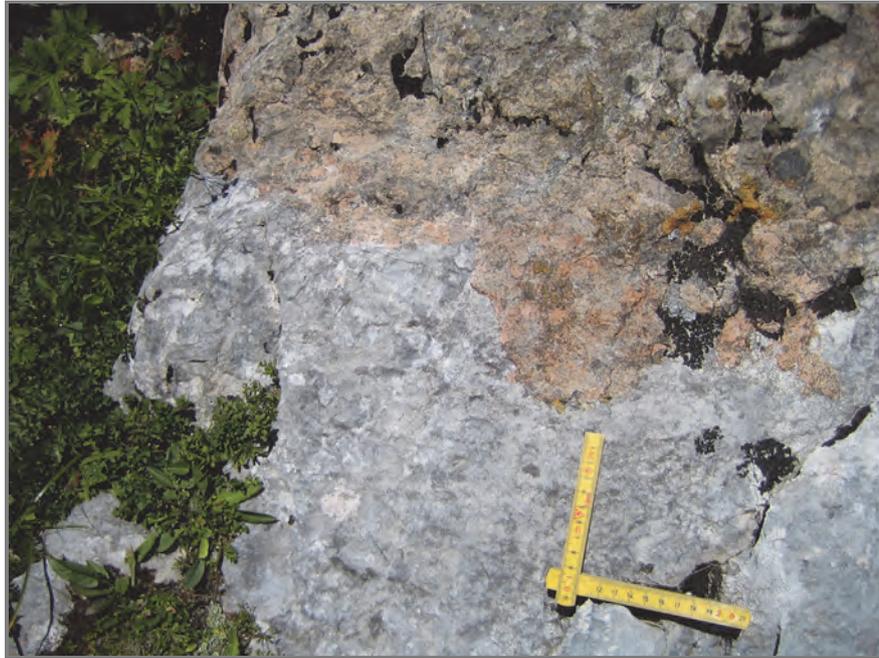


Abb. 11: Paläokarst-Kontakt Oberrhätkalk – Rotkalk (Hierlatzkalk).

## 2. Stopp: Grubastieg

### ***Inverse Profilabfolge mit Rotkalk, Radiolarit und Rofanbrekzie***

Das Profil liegt am inversen Schenkel im Stirnbereich der Seekarlsplatz-Rampenfalte. In der kleinen Scharte in NE' Richtung ist schön der onlap-Kontakt der flach und aufrecht gelagerten Rofanbrekzienfolge des Spieljochs an die steil bis überkippt gelagerte Faltenstruktur zu sehen.

Der Rotkalk-Radiolarit-Abschnitt des Profils (= Sinemurium bis Oxfordium) liegt hier in nur wenigen Metern Mächtigkeit vor. Eine tektonische Verkürzung, vor allem am Basiskontakt zum Oberrhätkalk kann nicht ausgeschlossen werden. Etwa 70 m seitlich vom Haltepunkt ist in der gleichen Abfolge eine Rotkalkbrekzie aufgeschlossen. Es handelt sich um eine Stylobrekzie mit früh zementierten Rotkalkknollen. Hier lässt sich trefflich über die Genese der Brekzie diskutieren: gravitative Gleitmasse oder Tektonik? Ein Herausgleiten von Schichtstapeln würde neben dem deutlich sichtbaren Relief auf dem Oberrhätkalk die geringe lokale Mächtigkeit erklären.

Lithologie: wellig geschichtete rote mikritische Kalke mit charakteristischer frühdiagenetischer Knollenbildung. Wackestones, selten Packstones mit z. T. umkrusteten Echinodermenfragmenten, umkrusteten Lithoklasten, Filamenten, Foraminiferen (*Involutina liassica*), Ammoniten, etc., Typus Adnet-Fm.

Im jüngeren Abschnitt der Rotkalke treten über einer meist vorhandenen Fe-Mn-Kruste vermehrt Manganknollen auf. WENDT (1969) betrachtet den Horizont als wichtigen stratigraphischen Leithorizont mit weiter Verbreitung in der Rotkalkfazies und weist ihm an Hand von Ammonitenfunden ein Untertoarcium-Alter zu. Die Fe-Mn-Krusten überlagern ein unregelmäßiges, z. T. scharfes Lösungsrelief der Rotkalke weshalb Wendt auch hier, so wie am Top des Oberrhätkalks, einen Emersionshorizont mit subaerischer Exposition annimmt. Aus heutiger Sicht ist diese Interpretation nicht mehr haltbar. Wir würden lediglich eine Sedimentationsunterbrechung in einer Tiefschwellenfazies („sea mount“) annehmen, die zur Kalklösung und Krustenbildung am Meeresboden geführt hat. Der Zeitabschnitt fällt genau in den Zeitraum der Bildung des Bächentaler Beckens, d. h. die extensionale Tektonik könnte auch hier, im Tiefschwellenbereich, zur Umstellung im Sedimentationsablauf geführt haben.

Die Rotkalke werden mit scharfer Grenze von roten, z. T. plattigen Mergelkalken mit Hornsteinknollen und -lagen überlagert. Mikrofaziell sind es Radiolarien-Wackestones bis -Packstones. Sie entsprechen zeitlich dem Ruhpoldingener Radiolarit, bestehen vornehmlich aber aus mikritischen Kalken. Im nahegelegenen Bächentaler Becken sind hingegen „echte“ Radiolarite vorhanden. Dies wirft unweigerlich die alte Frage nach der Bathymetrie (Tiefenlage der CCD) der oberjurassischen Radiolarite auf. Die Wassertiefendifferenz zwischen Schwellenzone Rofan und Beckenzone Bächental liegt allerdings sicher nicht im km-Bereich!

An die nur geringmächtigen Radiolariengesteine anschließend ist die Rofanbrekzie mit großen Oberrhätalkblöcken aufgeschlossen (beim Aufstieg zum Haltepunkt haben wir diese schon gequert). Der direkte Kontakt ist überdeckt.

Am Weg zum Haltepunkt 3 finden sich Spaltenbildungen mit Hierlatzkalkfüllung und Ausrichtungen von I40/85 bis I20/75.

### **3. Stopp: Grubalacke (kleiner See in Karstschwinde).**

#### ***Kliff am unterjurassischen Meeresboden, Tauglboden-Fm.***

Der Lagerplatz mit idealem Rundblick (Mittagspause) befindet sich auf einer bestens erhaltenen, kleinen unterjurassischen Kliffbildung. Die Stufe ist im Gelände gut erkennbar und fällt 335/85. Die geringfügige Abschiebung ist durch flach gelagerte Rotkalke plombiert. Sie ist Teil einer ca. in dieser Richtung streichenden Grabenbruchzone mit einer Breite von etwa 700 m, an deren Südostrand wir uns hier befinden. Gegen N wird die Zone zunehmend eingengt und ist in der Rofan-Nordwand schließlich als tief eingesenkte, zerbrochene Muldenstruktur zwischen Roßköpfen und Seekarlspitze zu sehen.

Am Nordwestabfall der gleich südlich gelegenen Haidachstellwand ist eine Abfolge der Tauglboden-Fm. bestens aufgeschlossen und vom Rastplatz gut einsehbar oder auf Steigspuren leicht erreichbar.

Radiolarienmikrite gehen nach oben in feinschichtige rote Mergelkalke mit dünnen Lithoklastturbiditlagen über. Die klastischen Schüttungen werden zunehmend mächtiger und bilden schlussendlich grobbankige Brekzienlagen mit zwischengelagerten Radiolarienmikriten. Von der Ferne sind die großen Oberrhätalk-Schollen gut erkennbar. Sie sind mehr oder weniger in einem Horizont angeordnet und werden dann wieder von invers gelagerten Rotkalken und mächtigen Oberrhätalken mit Kössener Schuppen überschoben. Im Bereich der aufrecht gelagerten Tauglboden-Fm. ist klar das coarseening upward durch das Näherkommen des schuttliefernden Hinterlandes aufgezeichnet.

### **4. Stopp: Grubascharte (2.102 m) und unbenanntes Joch, über das der Bettlersteig führt (2.128 m).**

#### ***Panoramablick auf den Kamm Sagzahn – Vorderes Sonnwendjoch und schräger Einblick in die Rofan-Nordwand mit Rampenüberschiebung***

Am Steig östlich der Grubascharte finden sich gefaltete Brekzien, feingeschichtete rote und grüne Mergel und Radiolarienmikrite, die offensichtlich in den W-gerichteten Faltenbau miteinbezogen wurden. Sie sind ein Hinweis für den mehrphasigen, sukzessiven Überschiebungs- und Faltungsvorgang.

Der Ausblick gegen S in Richtung Vorderes Sonnwendjoch gibt eine Vorstellung vom komplexen Bau der liegenden Oberrhätalkfalten und des weniger bis kaum gefalteten Oberbaus der Rofanbrekzienabfolge.

Ein Schrägluftbild (Abb. 12) aus südöstlicher Richtung auf das Vordere Sonnwendjoch vermittelt klar die gegebene Situation.



Abb. 12: Schrägluftbildaufnahme von SE auf den Südabfall des Vorderen Sonnwendjoch (2.224 m). Der liegende Faltenstapel von weißen Oberrhätkalken, Rotkalken, Radiolariengesteinen mit Brekzieneinschaltungen wird durch die W-fallende, nicht gefaltete, grob gebankte Rofanbrekzienabfolge mit Hornsteinplattenkalken primär sedimentär überlagert.

Ein kurzer Abstecher in Richtung Joch, Pkt. 2.128 m und der Anstieg auf einen westlich gelegenen Vorsprung ermöglicht einen eindrucksvollen Einblick in die Schichtabfolge Oberrhätkalk bis Rofanbrekzie (siehe Abb. 2) und in die Nordwand der Rofanspitze mit einer „Bilderbuch“-Rampenüberschiebung.



Abb. 13: Ausblick von der Schulter westlich Joch Pkt. 2.128 m nach E schräg in die Nordwand der Rofanspitze (2.261 m) mit Rampenüberschiebung des Oberrhätkalks auf Rotkalk und Radiolarit. Darüber mächtige Rofanbrekzienabfolge mit großen Oberrhätkalkschollen (der Gipfel selbst besteht aus einer Oberrhätkalkscholle). Links unten Verebnung auf Kössener Schichten, die auf leicht südfallendem, hier kaum verfaltetem Hauptdolomit und Plattenkalk auflagern. Marchspitze (2004 m) links im Hintergrund.

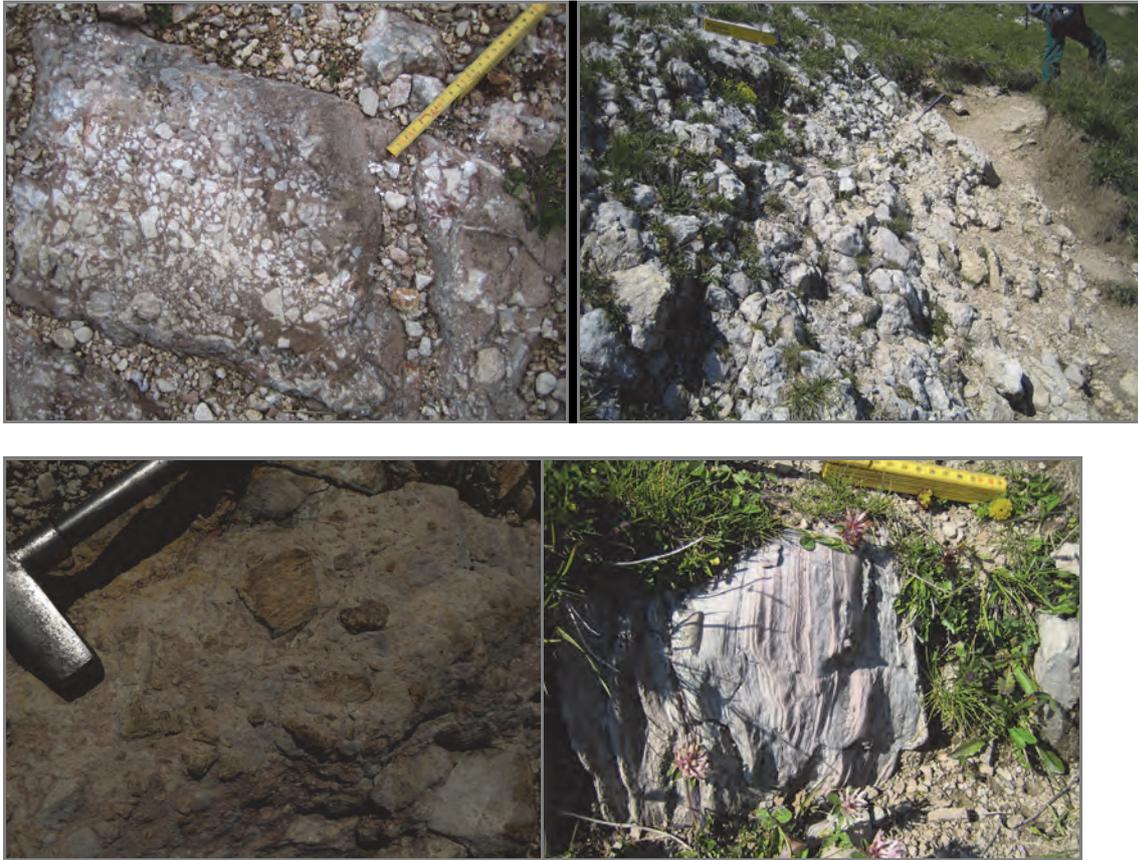


Abb. 14: Verschiedene Typen der Rofanbrekzie.

Oben links: eckige Gesteinsbruchstücke aus Oberrhätalk sind in roter, litharenitischer Matrix eingebettet.

Oben rechts: komponentengestützte Brekzie aus vorwiegend Oberrhätalkklasten mit schwacher Kantenrundung (Typ „Stylobrekzie“).

Unten links: matrixgestützte Brekzie mit bunter Zusammensetzung (Chertklasten, rote Jurakalke, gerundete Plattenkalkgerölle, etc.).

Unten rechts: feingeschichteter Wechsel von gradierten Lithoklastlagen (Turbiditen) und zwischengelagerten roten Mergelkalken mit Radiolarien (Tauglboden-Fm.).

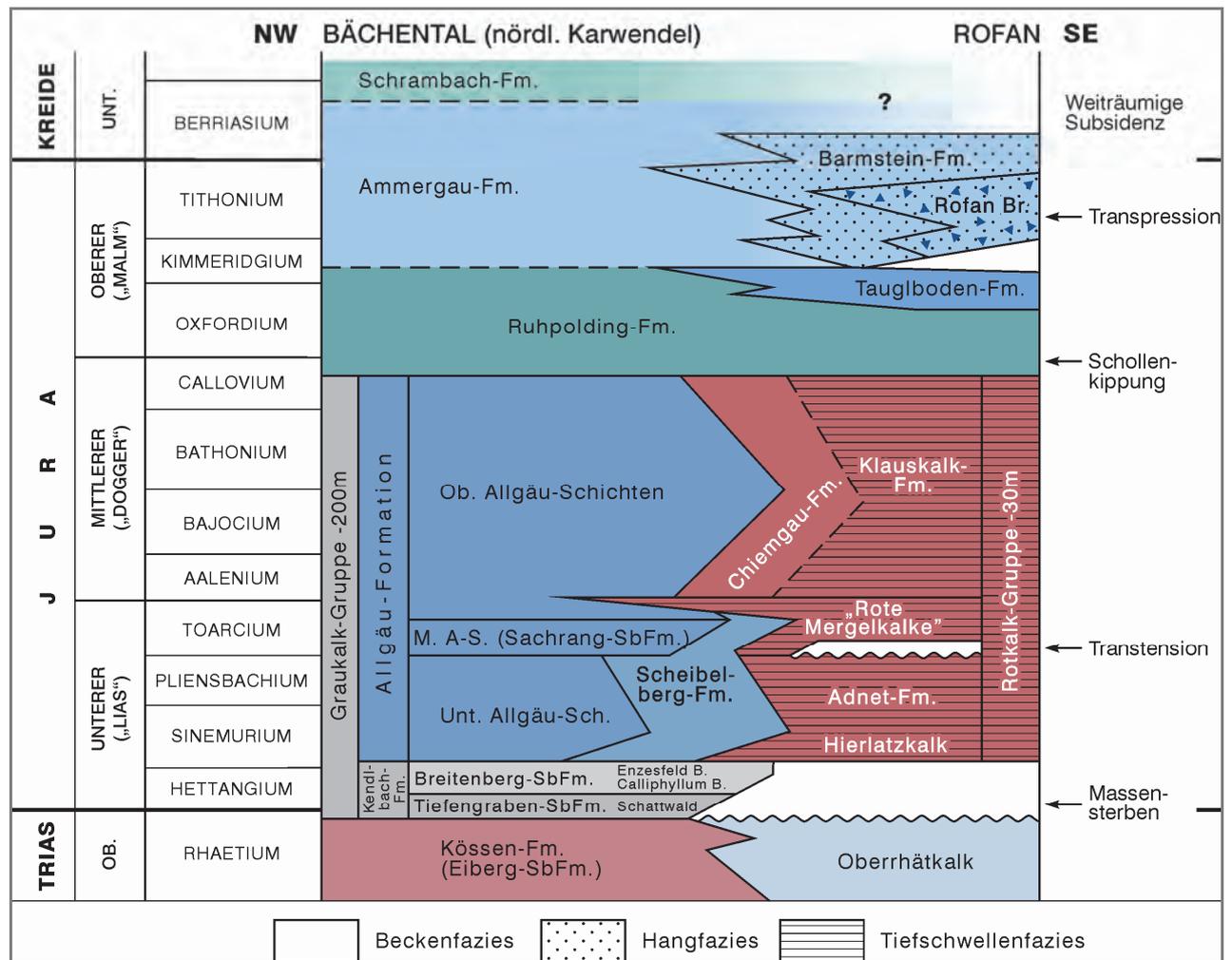


Abb. 15: Stratigraphisches Schema der Kalkalpinen Jura-Schichtfolge im Achenseegebiet (Rofan, Achental, Bächental), zusammengestellt nach BRANDNER & SAUSGRUBER (2001), CHANNELL et al. (1992), Gawlick et al. (dieser Band), GOLEBIEWSKI (1991), SCHÜTZ (1979), v. HILLEBRANDT & KMENT (2009) und WENDT (1969).

## Literatur

- AMPFERER, O. (1908): Studien über die Tektonik des Sonwendgebirges. – Jb. Geol. Reichsanstalt, 58, 281–304, Wien.
- AMPFERER, O. (1941): Tektonische Nachbarschaft Karwendel-Sonwend-Gebirge. – Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., I, 150, 181–199, Wien.
- BRANDNER, R. & SAUSGRUBER, J.T. (2001): Field Trip E 2: The southern margin of the Northern Calcareous Alps along the TRANSALP-traverse (Rofan Mountains). – In: ORTNER, H. (Hrsg.): Field trip guide book, 5th Workshop of Alpine Geological Studies, 21–38, Innsbruck.
- CHANNELL, J.E.T., BRANDNER, R., SPIELER, A. & STONER, J.S. (1992): Paleomagnetism and paleogeography of the Northern Calcareous Alps (Austria). – Tectonics, 4, 792–810.
- EISBACHER, G.H. & BRANDNER, R. (1996): Superposed fold-thrust structures and high-angle faults, northeastern Calcareous Alps, Austria. – Ecl. geol. Helv., 89, 553–551.

- GAWLICK, H.-J., SCHLAGINTWEIT, F. & MISSONI, I. (2007): Das Ober-Jura Seichtwasser-Karbonat Vorkommen der Drei Brüder am Wolfgangsee (Österreich): das westlichste Vorkommen der Wolfgangsee-Karbonatplattform südlich der Brunnwinkl-Schwelle am Nordrand des Tauglboden-Beckens. – *Journal of Alpine Geology*, 48, 83–100, Wien.
- GAWLICK, H.-J., MISSONI, I., SCHLAGINTWEIT, F., SUZUKI, H., FRISCH, W., KRYSZYN, L., BLAU, J. & LEIN, R. (2009): Jurassic Tectonostratigraphy of the Austroalpine Domain. – *Journal of Alpine Geology*, 50, 1–152, Wien.
- HILLEBRANDT, A.V. & KRYSZYN, L. (2009): On the oldest Jurassic ammonites from Europe (Northern Calcareous Alps, Austria) and their global significance. – *N. Jb. Geol. Paläont.*, 253/2-3: 163–195, Stuttgart.
- KRYSZYN, L., BÖHM, F., KÜRSCHNER, W. & DELECAT, S. (2005): The Triassic-Jurassic boundary in the Northern Calcareous Alps. – *Field guide (A1-A39), 5<sup>th</sup> Field Workshop IGCP 458 project, 5–10 Sept. 2005, Tata-Puch.*
- MISSONI, S. & GAWLICK, H.-J. (2011): Jurassic mountainbuilding and Mesozoic-Cenozoic geodynamic evolution of the Northern Calcareous Alps as proven in the Berchtesgaden Alps (Germany). – *Facies*, 57, 137–186 (Springer).
- ORTNER, H. (2003): Cretaceous thrusting in the western part of the Northern Calcareous Alps (Austria) – evidences for synorogenic sedimentation and structural data. – *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, 94, 63–77, Wien.
- SANDER, B. (1941): Zum Gesteinscharakter der Hornsteinbreccien des Sonnwendgebirges. – *Ber. d. Reichsstelle f. Bodenforschung*, Jg. 1941, 81–89, Wien.
- SAUSGRUBER, J.T. (1994): Jurabeckenentwicklung nördlich vom Achensee und deren Folgen bei der alpidischen Kompressionstektonik. – Unpubl. Diplomarbeit, 133 p., Univ. Innsbruck.
- SCHOENE, B., GUEX, J., BARTOLINI, A., SCHALTEGGER, U. & BLACKBURN, T. (2010): Correlating the end-Triassic mass extinction and flood basalt volcanism at the 100 ka level. – *Geology*, 38, 5, 387–390.
- SCHÜTZ, K.-I. (1979): Die Aptychenschichten der Thiersee- und der Karwendelmulde. – *Geotekton. Forsch.*, 57, 1–84, Stuttgart.
- ULRICH, M. (1960): Die Entwicklung der ostalpinen Juraformation im Vorkarwendel zwischen Mit-tenwald und Achensee. – *Geol. Bavarica*, 41, 99–151, München.
- WÄCHTER, J. (1987): Jurassische Massflow- und Internbreccien und ihr sedimentär-tektonisches Umfeld im mittleren Abschnitt der Nördlichen Kalkalpen. – *Boch. Geol. u. Geotechn. Arb.*, 27, 239 p., Bochum.
- WÄHNER, F. (1903): Das Sonnwendgebirge im Unterinntal, 1. Teil. Ein Typus Alpen Gebirgsbaues. – 356 S., Leipzig – Wien (Deuticke).
- WÄHNER, F. & SPENGLER, E. (1935): Das Sonnwendgebirge im Unterinntal, 2. Teil. – 200 S., Leipzig – Wien (Deuticke).
- WENDT, J. (1969): Stratigraphie und Paläogeographie des Roten Jurakalks im Sonnwendgebirge (Tirol, Österreich). – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 132, 2, 219–238, Stuttgart.
- WEYNSCHENK, R. (1949): Beiträge zur Geologie und Petrographie des Sonnwendgebirges (Tirol), besonders der Hornsteinbreccien. – *Schlern-Schriften*, 59, 1–66, Innsbruck.