JAHRBUCH DER GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT

Jb. Geol. B.-A. | ISSN 0016–7800 | Band 159 | Heft 1–4 | S. 315–338 | Wien, Dezember 2019

Die Geologische Erforschungsgeschichte des Achensee-Gebietes: Experimentierfeld von stratigrafischen und tektonischen Kontroversen

Ein Beitrag zu den Erläuterungen von Kartenblatt 88 Achenkirch

ALFRED GRUBER* & MICHAEL LOTTER*

11 Abbildungen

Österreichische Karte 1:50.000
BMN / UTM
87 Walchensee / NL 32-03-17 Hinterriß
88 Achenkirch / NL 32-03-18 Kundl
89 Angath
118 Innsbruck / NL 32-03-23 Innsbruck
119 Schwaz / NL 32-03-24 Schwaz
120 Wörgl

Nördliche Kalkalpen
Geologische Kartenwerke
Jurassische Geodynamik
Bächentaler Becken
Achentaler Schubmasse
Karwendel-/Thiersee-Synklinale
Quartärgeologie

Inhalt

Zusammenfassung 315
Abstract 315
Einleitung 316
Erkundungen und Kartenwerke im 19. Jahrhundert 316
Frühe stratigrafische Studien. 318
Otto Ampferer – Pionier des Deckenbaus der Kalkalpen und moderner Geologischer Kartenwerke 318
Quartärgeologische Forschung 322
Regionale stratigrafische und tektonische Arbeiten. 324
Das Rofangebirge als Schlüsselregion jurassischer Tektonik 327
Erstellung der Geologischen Karte von Bayern 1:25.000 327
Faziesstudien zur Riff-Beckenentwicklung im Rhätium 328
Fazielle und strukturelle Neubearbeitung durch die Universität Innsbruck 328
Erkenntnisse aus ausgeglichenen Tiefenprofilkonstruktionen 329
Paläomagnetische Untersuchungen 331
Forschungen zu den „Bächentaler Bitumenmergeln“ 331
Literatur. 332

Zusammenfassung

Im Zuge der Erstellung der Erläuterungen zur geologischen Karte 1:50.000 Blatt 88 Achenkirch wurde die über 150-jährige geologische Erforschungsgeschichte der Achensee-Region detailliert aufgearbeitet. Rund um den Achensee, im östlichen Karwendel, im Rofan, am Unnutz und Guffert wurden grundlegende geologische Erkenntnisse der westlichen Nördlichen Kalkalpen erarbeitet. Dies betrifft vor allem den Decken-, Überschiebungs- und Faltenbau (Karwendel-Überschiebung, „Achentaler Schubmasse“, Tiefbohrung Vorderriss, TRANSALP-Tiefenseismik-Profil), die geodynamische und fazielle Entwicklung in Obertrias und Jura (GSSP Trias-Jura-Grenze, Jura-Extensions- und Gleittektonik, Resedimente), aber auch Aspekte der Quartärgeologie (Deltasysteme, Achensee-Damm, Begriff der „Bergzerreißung“).

The geological research history of the Achensee area: experimental field of stratigraphic and tectonic controversies

A contribution to the explanations of map sheet 88 Achenkirch

Abstract

In the course of writing the explanatory notes of the geological map 1:50,000 sheet 88 Achenkirch, the more than 150-year geological research history of the Achensee region was reviewed in detail. Around the Achensee, in the eastern Karwendel, in Rofan, at Unnutz and Guffert, fundamental geological knowledge of the western Northern Calcareous Alps was acquired. This concerns the structures of nappes, thrusts and folds (Karwendel thrust, “Achentaler Schubmasse”, deep drilling of Vorderriss, TRANSALP deep seismic profile), the geodynamic and facies development in Upper Triassic and Jurassic (GSSP Triassic-Jurassic boundary, Jurassic extensional and glide tectonics, resediments), but also aspects of Quaternary Geology (delta systems, Achensee dam, the concept of “Bergzerreißung”).

* ALFRED GRUBER, MICHAEL LOTTER: Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. alfred.gruber@geologie.ac.at, michael.lotter@geologie.ac.at

Einleitung

Die umfangreiche stratigrafische und strukturgeologische Literatur zur geologischen Erforschung der Achensee-Region wird in diesem Beitrag chronologisch und themenbezogen abgehandelt. Die im Text angeführten Legendennummern beziehen sich auf die Schichtfolge der im Jahr 2012 publizierten Geologischen Karte 1:50.000, Blatt 88 Achenkirch (GRUBER & BRANDNER, 2012), deren begleitende Lektüre zur Orientierung empfohlen wird. Weiterführende Informationen finden sich in den im kommenden Jahr erscheinenden zugehörigen Erläuterungen (GRUBER et al., in Druck).

Erkundungen und Kartenwerke im 19. Jahrhundert

Die Geologie des Kartenblattes 88 Achenkirch wird erstmals auf der „Geognostischen Karte Tirols“ im Maßstab 1:115.200 (GEOGNOSTISCHER VEREIN FÜR TIROL UND VORARLBERG, 1849) dargestellt und von WIDMANN (1853) erläutert (Abb. 1).

PICHLER (1856) veröffentlicht Ergebnisse seiner geologischen Streifzüge durch die Nördlichen Kalkalpen Tirols. Der geologische Aufbau des Gebietes zwischen Seefeld und Kufstein (Karwendel, Brandenberger Alpen) wird anhand von 17 Schichtgliedern detailliert beschrieben. Im Gebiet von Blatt Achenkirch sind „Cardita-Schichten“ (Nordalpine Raibler Schichten, **43**), „Gervillien-Schichten“ (Kössen-Formation, **39**), „Lithodendronkalk“ (Oberrhätkalk, **38**), „Adnether Schichten“ (auf dem aktuellen Kartenblatt subsumiert unter Rotkalk-Gruppe, **34**), „Roter Hornstein“ (Radiolarit, Ruhpolding-Formation, **31**), „Aptychenkalk“ (Ammergau-Formation, **28**) sowie „Neocomien“ (Schrambach-Formation, **27**), „Diluvium“ und „Neubildungen“ (pleistozäne und holozäne Ablagerungen) ausgeschieden. Die Verbreitung der Schichten ist in einer geologischen Manuskriptkarte im Maßstab 1:200.000 dargestellt. PICHLER (1856) entwirft Profilschnitte durch die überkippte Schichtfolge an der Unnutz-Westflanke, durch die Thiersee-Synklinale im Bereich Ampelsbach (Abb. 2) und durch den Knick der Karwendel-Synklinale an ihrem Ostende (Seebergspitze, 2.085 m, ÖK 119).

PICHLER (1869) beschreibt ein Profil in den „Cardita-Schichten“ des Unnutz-Massivs. In deren Kalken und Sandsteinen findet er typische Fossilien wie *Ostrea montis caprilis* und „Lettenkohlen“-Pflanzenreste wie *Equisetites arenaceus* sowie

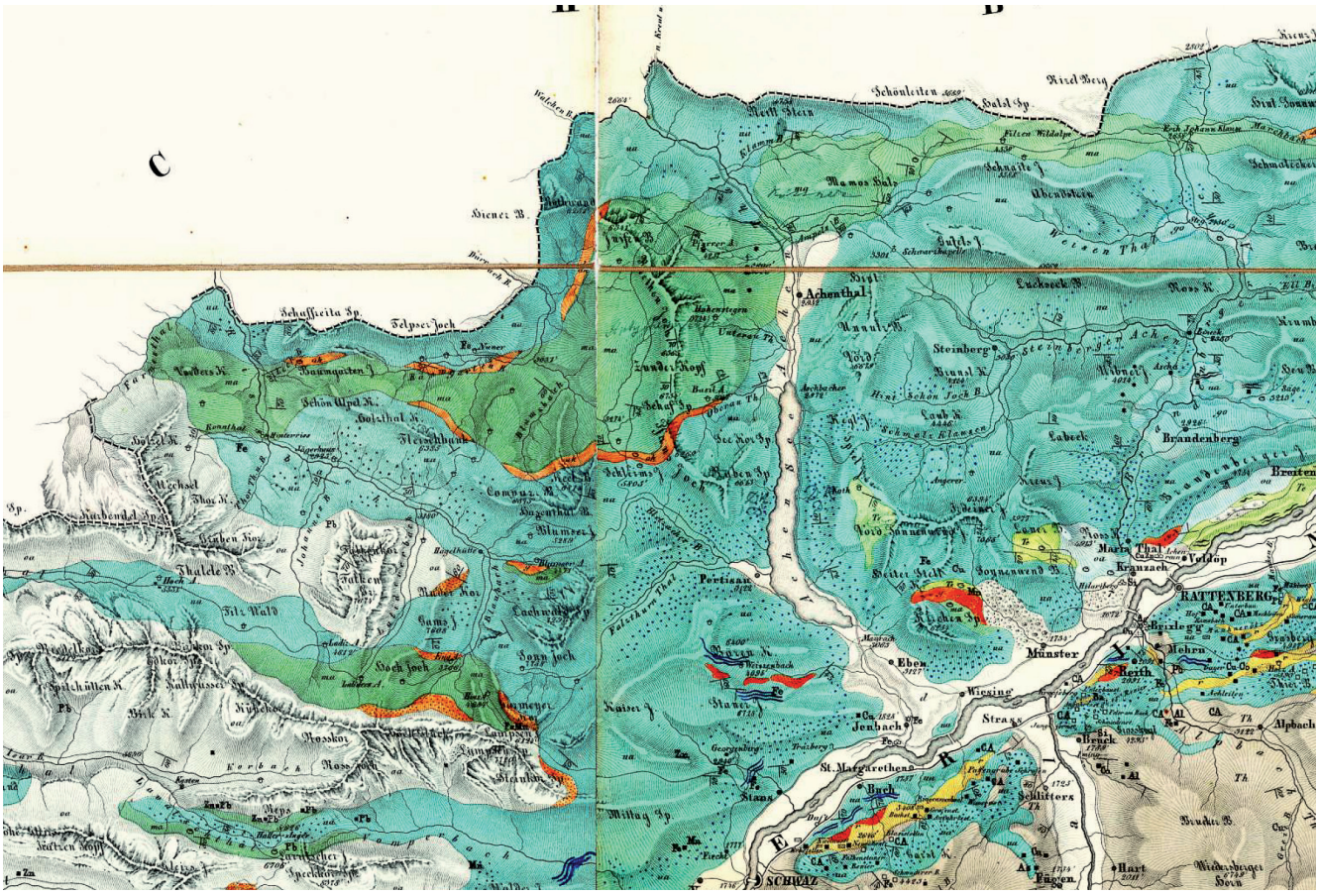


Abb. 1.
Erste geologische Karte mit Darstellung des Achensee-Gebietes: „Geognostische Karte Tirols, aufgenommen und herausgegeben auf Kosten des geognostisch montanistischen Vereins von Tirol und Vorarlberg 1849“. Der hier gezeigte Ausschnitt umfasst die damalige Schichtfolge „**Th** Thonglimerschiefer (Übergangsschiefer)“ (hellbraungrau), „**r** Rother und grauer Sandstein (Porphyrsandstein)“ (gelb), „**g** Gips. Alabaster.“ (rot), „Rauhwacke“ (rot gepunktet), „**ua** Unterer Alpenkalk“ (blau), „Dolomit des untern Alpenkalkes“ (blau mit Punkten), „Dunkle Kalk Mergelschiefer des untern Alpenkalkes“ (blau mit dunklen Streifen), „**ak** Ammonitenkalk“ (dunkles Rot), „**ma** Mittlerer Alpenkalk“ (grün), „**oa** Oberer Alpenkalk“ (hellblau), „**Te** Tertiaere Gebilde“ (hellgrün), „**d** Diluvium“ (weiß) und „Alluvium“ (weiß). Der Verlauf von Karwendel- und Thiersee-Synklinale ist bereits erkennbar.

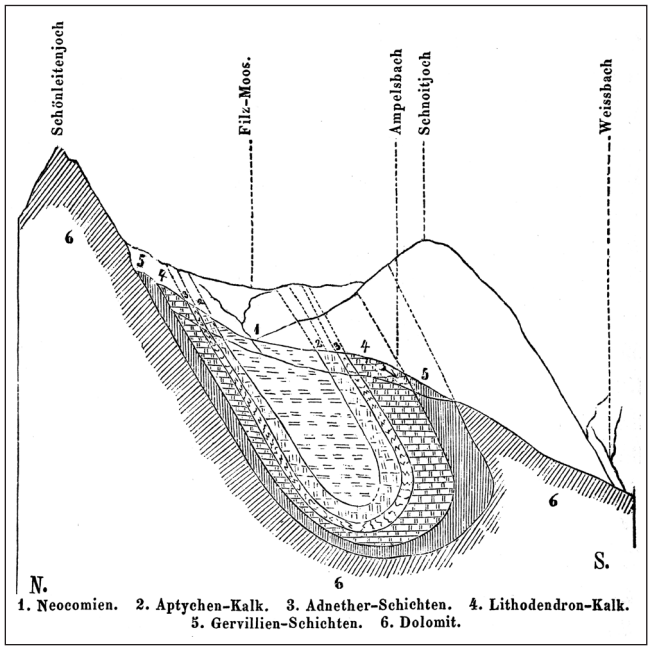


Abb. 2.
Erste Darstellung der überkippten Thiersee-Synklinale im Ampelsbach (PICHLER, 1856).

ein „bernsteinartiges Harz". In dieser Publikation erfolgt auch eine Beschreibung des Jura-Profils am Fonsjoch (das Profil liegt im Gratabschnitt Juchtenkopf–Hohe Gans, 1.950 m, ÖK 119) und eine Auflistung der reichen Fossilführung aus einem „gelblichen Kalk" („Enzesfelder Kalk" – Kendlbach-Formation, subsumiert unter **37** und **32**).

GÜMBEL (1861) veröffentlicht die „Geognostische Karte des Königreichs Bayern" im Maßstab 1:100.000. Auf Blatt IV Miesbach ist das gesamte Kartenblatt Achenkirch dargestellt. Das Kartenwerk wird in der „Geognostischen Beschreibung des Bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes" erläutert. GÜMBEL erwähnt darin einige grundlegende stratigrafische und tektonische Details des Kartenblattes. Er zeigt unter anderem Profilschnitte vom Zotenjoch zum Juifen (1.988 m) und von der Großzemmalm zur Hochplatte (1.813 m). In letzterem erkennt er die überkippte Lagerung der Schichten. GÜMBEL (1894) präsentiert ein Nord–Süd-Profil von Bad Tölz bis in das Inntal.

NEUMAYR (1870a–d, 1871) stellt für die Geologische Reichsanstalt die geologischen Verhältnisse des Karwendelgebirges auf handkolorierten Manuskriptkarten im Maßstab 1:28.800 zusammen. Diese Karten dienen als Vorlage für die Geologische Spezialkarte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie im Maßstab 1:144.000, die jedoch nie gedruckt wird.

MOJSISOVICS (1870, 1871) bearbeitet für die Blätter „Umgebungen von Kufstein und Schwaz" dieses Kartenwerkes im Maßstab 1:144.000 den Abschnitt vom Achental ostwärts bis zur Salzburger Grenze. 1870 veröffentlicht er einen Kurzbericht, der „das Kalkalpengebiet zwischen Schwaz und Wörgl im Norden des Inn" behandelt. Er schreibt: „*Im Jura-Kreide-Becken von Achenkirchen und Ampelsbach wurde als Unterlage der jurassischen Schichten die rhätische Stufe nachgewiesen und durch Petrefactenfunde (Lima gigantea, Avicula sinemuriensis, …) auch der untere Lias in einer an die Schichten […] des Salzkammergutes erinnernden lithologischen Entwicklungsform […] constatirt*." (MOJSISOVICS, 1870: 183).

1871 legt MOJSISOVICS einen ausführlichen Aufnahmsbericht seines Kartiergebietes vor. Wichtige Aussagen sind z.B.:

„*Die Gruppen des Unnutz und des Guffert. Mächtige allseits mit steil gestellten Flügeln abfallende Gewölbe von Wettersteinkalk bilden die Hauptmassen dieser Gruppen. Gegen Süden fallen die Schichten südlich ein; sie unterteufen, von einer schmalen Zone von Torer Schichten überdeckt, in regelmässiger Weise die Hauptdolomit-Massen der Rofan-Gruppe. Gegen Westen neigen sich die Schichten sehr steil gegen das Achenthal zu*" (MOJSISOVICS, 1871: 198).

„*Ob man im Westen, wo der Ampelsbach die südliche Wandung quer durchreisst, oder im Osten bei Hinter-Thiersee ein Profil zieht, es bleibt mit geringen Abweichungen das gleiche. Innerhalb dieser langen Strecke ist der südliche Schenkel der Mulde immerfort überkippt und fällt conform mit dem nördlichen Schenkel regelmässig ziemlich flach gegen Süden ein*" (MOJSISOVICS, 1871: 199).

„*Am Mamoshals selbst, wo die Abzweigung dieses Zuges eintritt, treten die neocomen Mergel in Contact mit rhätischem Korallenkalk, wohl nur eine Folge von intensiver Pressung und Ueberschiebung über die dazwischen lagernden Bildungen*" (MOJSISOVICS, 1871: 200).

Schon bald kristallisieren sich regionale Schwerpunkte der Forschung heraus: die „Jura-Kreide-Mulde" im nördlichen Karwendel (Karwendel-Synklinale, ÖK 87, 88, 118, 119) sowie das geologisch vielfältige Rofangebirge östlich des Achensees (ÖK 88, 89, 119).

ROTHPLETZ (1888) erstellt die erste „Geologische Karte des Karwendelgebirges" im Maßstab 1:50.000 auf Basis der Alpenvereinskarte. Diese Karte ist das Ergebnis systematischer Kartierungen im Rahmen von Dissertationen, die in den Gebieten westlich des Achentales bzw. des Achensees von CLARK (1887), im Umkreis des Juifen (1.988 m) von SAPPER (1888) sowie im westlichen Bächental und im Rißtal (ÖK 87 und 118) von SCHÄFER (1888) durchgeführt werden.

CLARK (1887) erwähnt Details wie bituminöse Einschaltungen im Hauptdolomit (**41**) und die rhätische Riffbildung der „Wilden Kirche" (Schoberberg, 1.711 m, auf ÖK 119). Er unterteilt den Oberjura in einen „Roten Hornstein" (Ruhpolding-Formation, **31**), einen „Grauen Hornstein" (Tauglboden-Formation, **30**) und in einen mächtigen „Aptychenkalk" (Ammergau-Formation, **28**). Im „Aptychenkalk" führt er die Rippen aus „Breccien mit Hornstein" (Rofan-Brekzie, Barmsteinkalk, **29**) an. Das darüber folgende mergelige „Neocom" (Schrambach-Formation, **27**) erkennt er im Bächental, zwischen Juifen (1.988 m) und Marbichlerspitze (1.898 m) und am Gröbner Hals. CLARK spricht von „der großen Mulde" (Karwendel-Synklinale) mit „Neocom" im Kern, die von einem E–W- auf ein N–S-Streichen umbiegt. Weiters notiert er zwei senkrecht aufeinander stehende Faltenrichtungen und hebt „die Überlagerung des Aptychenkalkes durch Hauptdolomit" im Unterau- und Blaserbachtal hervor.

SAPPER (1888) liefert ein erstes detailliertes Schichtenprofil vom Juifen-Nordgrat. Die Faziesunterschiede und Mächtigkeitsschwankungen der Schichtfolge des Unterjura wer-

den anhand von fünf Detailprofilen (Juifen, Dollmannsbach, Rotwandalm-Hochleger und Rotwandalm-Niederleger sowie Fonsjoch, ÖK 119) herausgearbeitet. Sapper erkennt Störungen und Faltenstrukturen am Schulterberg (1.686 m), Pitzkopf (1.670 m) und am Demeljoch (1.924 m).

Frühe stratigrafische Studien

Der Paläontologe Neumayr (1879) vergleicht die Fauna (Ammoniten, Brachiopoden) der Zone des *Aegoceras Planorbis* vom Profil Fonsjoch im Gratabschnitt Juchtenkopf–Hohe Gans (1.950 m, ÖK 119) mit Lokalitäten im Salzkammergut (Breitenberg und Zlambachgraben). Durch diese Arbeit wird das Fonsjoch als Fossilfundstelle und das Achensee-Gebiet in Geologenkreisen allgemein bekannt gemacht. Die reiche Unterjura-Fauna am Fonsjoch ist später mehrfach Gegenstand paläontologischer und fazieller Untersuchungen (Vortisch, 1926; Lange, 1952; Blind, 1963; Karle, 1984).

Wähner (1886a) baut seinen Beitrag zur litho- und biostratigrafischen Gliederung des tiefsten Unterjura der Nördlichen Kalkalpen unter anderem auf genauen Profilstudien am Fonsjoch und im Rofan auf. In Teil 1 seiner Arbeit vergleicht er gelblich-rote, fossilreiche Kalke mit der Fazies der „Enzesfelder Schichten“ in Niederösterreich. Er schlägt hierfür die Bezeichnung „Bunte Cephalopodenkalke“ vor. In Teil 2 seiner Abhandlung fordert Wähner (1886b) für die Fazies der Bunten Cephalopodenkalke, der Adneter Schichten und der Fleckenmergel (Allgäu-Formation, **32**) große Meerestiefen und Küstenferne. „Brauneisenkonkretionen und rote Tone“ im Horizont der *Schlotheimia marmorea* wären mit den rezenten Bildungen der Tiefsee vergleichbar. Laut Wähner (1886b) sind die alpinen Unterjura-Bildungen von den Hochzonen (Dachsteinkalk-Plateaus mit Ablagerung des Hierlatzkalks) bis in die Tiefsee alle durch fazielle Übergänge untereinander verbunden. Wähner (1886b) führt eine heftige Auseinandersetzung mit Geyer (1886) und Diener (1885a, b) über die stratigrafischen Beziehungen der unterstjurassischen Horizonte zum Dachsteinkalk. Unter anderem lehnt er deren gemeinsame Verzahnung bzw. eine dazwischenliegende subaerische Erosion strikt ab.

Wähner (1903) fasst mit seiner Monografie „Das Sonnwendgebirge im Unterinnthal – Ein Typus alpinen Gebirgsbaues“ (1. Teil) die Ergebnisse von 20 Jahren präziser geologischer Feldforschung im Rofan zusammen. Das gesamte Werk (der zweite Band wird 1935 von Erich Spengler mit Geologischer Karte im Maßstab 1:10.000 herausgegeben – Wähner & Spengler, 1935, siehe unten) stellt bis heute einen reichen Fundus stratigrafischer, paläontologischer und tektonischer Erkenntnisse über dieses Gebirge hinaus dar.

Hahn (1911) beschreibt das Obertrias-Jura-Profil am unteren Ampelsbach. Er unterstreicht den Fossilreichtum der Kössen-Formation (**39**) und erwähnt darin stellenweise Pyritvorkommen, die der Grund für die Bildung der dortigen Schwefelquelle und in Folge für die Entstehung des Schwefelbades verantwortlich seien. Die sandigen Kalke des untersten Jura setzt er mit den „Grestener Schichten“ (Gresten-Formation des Helvetikums) in Niederösterreich gleich.

Otto Ampferer – Pionier des Deckenbaus der Kalkalpen und moderner Geologischer Kartenwerke

Mit ihrer gemeinsamen Dissertation über das südliche Karwendelgebirge werden die Innsbrucker Geologen Otto Ampferer und Wilhelm Hammer in Geologenkreisen schlagartig bekannt (Ampferer & Hammer, 1898, 1899). Die k. k. Geologische Reichsanstalt beauftragt daraufhin Otto Ampferer mit der Neuaufnahme des gesamten Karwendelgebirges und der östlich anschließenden Brandenberger Alpen (Ampferer, 1902a, b, 1903a, b, 1905a, b, c, 1907, 1914a, b). In den Jahren 1912 bis 1925 erscheinen vier Geologische Spezialkarten im Maßstab 1:75.000 (Aufnahmemaßstab 1:25.000), die das gesamte Gebiet des Achensee-Raumes umfassen. Es handelt sich um die Blätter „Achenkirch und Benedictbeuern“ (Abb. 3), „Innsbruck und Achen-See“, „Kufstein“, sowie „Rattenberg“ (Ampferer, 1912a, 1925a; Ampferer & Ohnesorge, 1912, 1918). Das Gebiet des Blattes 88 Achenkirch wird hierbei vollständig von Blatt „Achenkirch und Benedictbeuern“ abgedeckt.

Ampferer (1902b) gibt einen ersten geologischen Überblick betreffend die Neuaufnahme des Karwendelgebirges und präsentiert ein tektonisches Süd–Nord-Profil vom Halltal bis zum Südrand der Karwendel-Synklinale im Bereich Kompar (2.011 m, Bächen-/Risstal, ÖK 118, 119) (Abb. 4). Auf dem Profil sind überkippte Faltenschenkel und Überschiebungen zu sehen. Erstmals ist von einer großen Karwendel-Überschiebung die Rede. Diese Erkenntnis ist Ausgangspunkt für Ampferers spätere Einteilung der westlichen Nördlichen Kalkalpen in Allgäu-, Lechtal-, Inntal- und Krabachjoch-Decke (Ampferer, 1912b, 1914c). Das genannte Süd–Nord-Profil durch das Karwendelgebirge wurde später mehrfach von namhaften Kalkalpengeologen zur Veranschaulichung des Deckenbaus herangezogen und erweitert (z.B. Schmidt-Thomé, 1950; Tollmann, 1969; Brandner, 1980; Bayerisches Geologisches Landesamt, 1996). Heissel (1977, 1978) gab dem kompliziert gebauten Grenzbereich zwischen Inntal-Decke und Lechtal-Decke im nördlichen Karwendel die Bezeichnung Karwendel-Schuppenzone. Die in den letzten Jahren erfolgte Neubearbeitung durch Kilian & Ortner (2019) und Brandner (2013, 2019) revidiert diese tektonische Situation und definiert den Deckenbau neu. Die Inntal-Decke reicht demnach wesentlich weiter nach Norden bis an den Kalkalpenrand, was im Übrigen schon Richter (1937) sehr früh erkannt hat. Eine ausführliche Abhandlung dieser Thematik findet sich in den Erläuterungen zum Kartenblatt (Gruber et al., in Druck).

In Ampferer (1902a, 1903a) werden Unterschiede der tektonischen Verformung zwischen Karwendel- und Rofangebirge herausgearbeitet. Ost–West streichende Falten- und Überschiebungsstrukturen beherrschen das tektonische Muster im Karwendelgebirge: Die ursprünglich von Mittenwald bis Kufstein durchgehend West–Ost-streichende Kreidemulde des Karwendel wurde laut Ampferer später von der „Sonnwendjochplatte“ (Rofan) zu einer „Muldenschlinge“ verformt. Im Achental beobachtet der Autor einen Störungskontakt (Unnutz-Überschiebung) zwischen dem Hauptdolomit und dem Wettersteinkalk des Unnutz und Guffert.

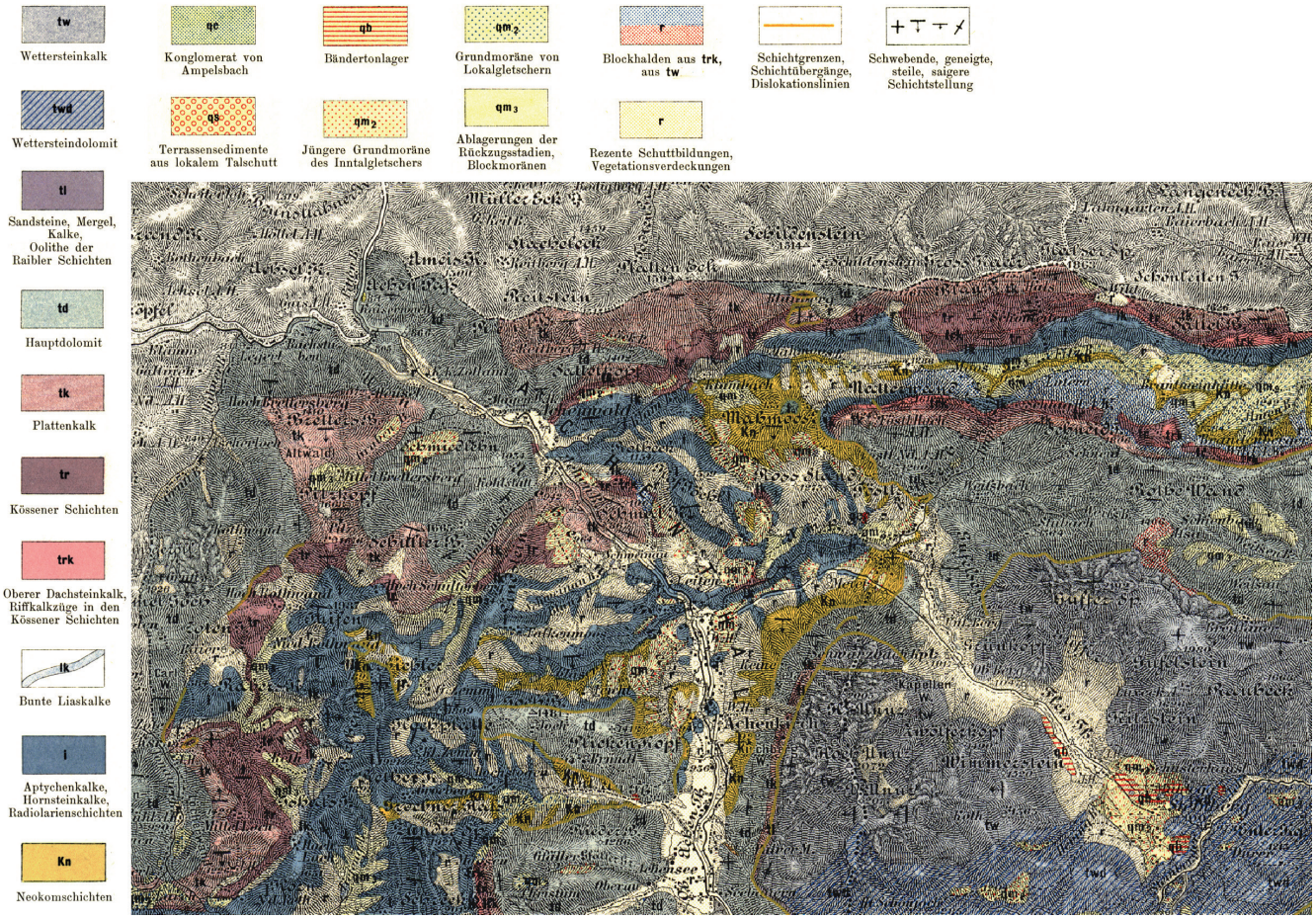


Abb. 3.
Ausschnitt von Blatt 4947 Achenkirch und Benedictbeuern im Maßstab 1:75.000 der Geologischen Spezialkarte Österreich-Ungarns (AMPFERER, 1912a). Diese Karte zeigt erstmalig die Unnutz-Überschiebung und differenziert Festgesteins- und Quartärablagerungen mit „moderner“, teils heute noch gültiger Nomenklatur.

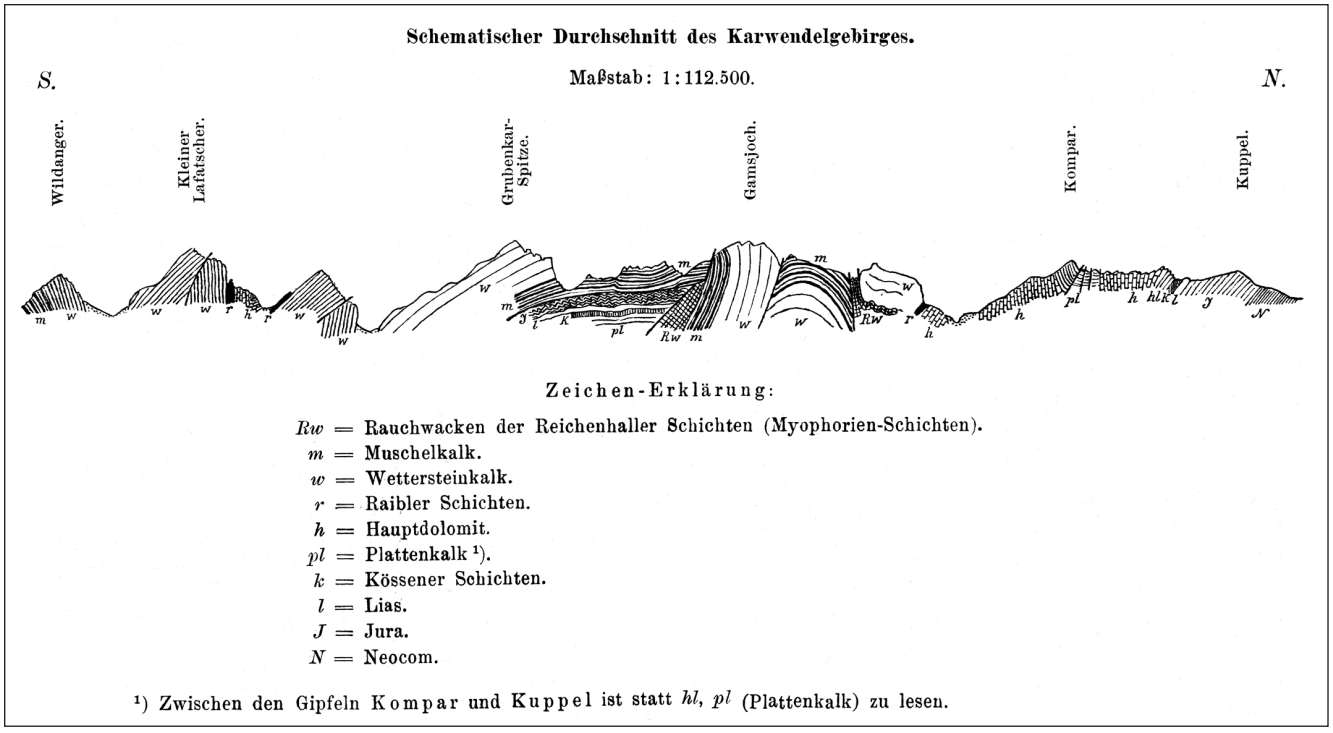


Abb. 4.
Erste Profildarstellung der Karwendel-Überschiebung, Prototyp für die spätere Deckengliederung Inntal-Decke/Lechtal-Decke (AMPFERER, 1903b). Zwischen Grubenkarspitze und Gamsjoch ist eine flache Überschiebungsbahn dargestellt, an der Muschelkalk und Wettersteinkalk (Inntal-Decke) Gesteine der Obertrias und des Jura (Lechtal-Decke) überlagern. Auch in allen späteren Bearbeitungen hat sich der Bereich des Gamsjochs als Schlüsselstelle der Deckengliederung erwiesen.

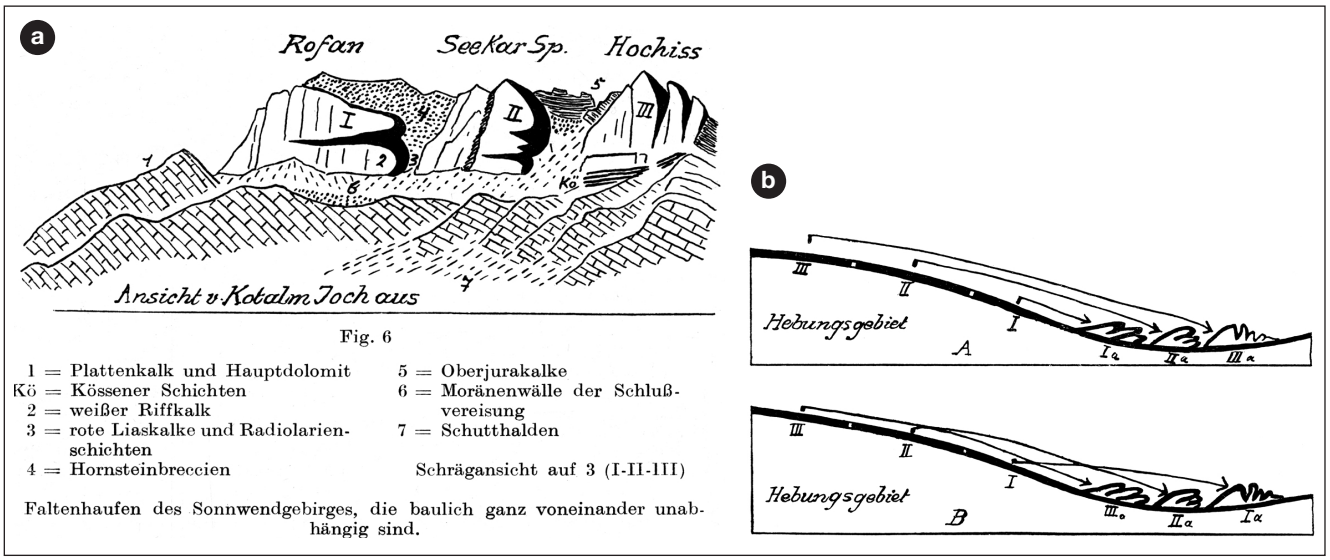


Abb. 5.
a) Ansicht der Nordwand des Rofangebirges (AMPFERER, 1941a). Die Faltenstrukturen im weißen Riffkalk (2; Oberrhätkalk) werden hier als Gleitfalten interpretiert, über welche die Hornsteinbreccien (4) transgredieren. b) Modelle der Gleitfalten- und Gleitschollenbildung (AMPFERER, 1941a).

AMPFERER (1903b) veranschaulicht den Gebirgsbau im Karwendelgebirge mit zahlreichen Profilschnitten. Die quartären Ablagerungen sind bezüglich Aufbau und Genese treffend dargestellt.

Das Erscheinen von Wähners Monografie über das Rofangebirge (WÄHNER, 1903) nimmt AMPFERER (1903a) zum Anlass, Wähners tektonische Deutung der „Hornsteinbreccie des Sonnwendgebirges“ (= Rofan-Brekzie) zu widerlegen und deren sedimentäre Entstehung zu unterstreichen, wobei er das Vorkommen von Störungsbrekzien prinzipiell nicht in Frage stellt. Er erläutert mit Profilschnitten die „Unnutz-Überschiebung“, die er „von Südosten nach Nordwesten vorschreitend“ betrachtet. AMPFERER (1903a) bezeichnet das Rofangebirge als „beispielhaft für die Gesetze der alpidischen Gebirgsbildung“ (zu diesem Zeitpunkt hat Ampferer seine Unterströmungstheorie noch nicht formuliert) und geht hierzu näher auf die Faltenstrukturen und die Mehrphasigkeit der Einengung ein.

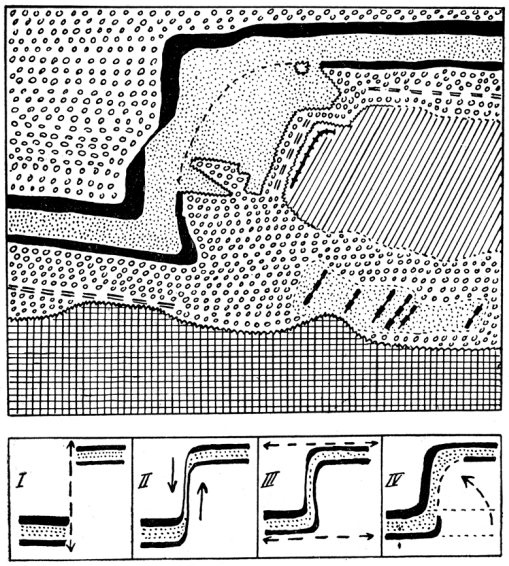
Bereits 1905 legt Ampferer acht fertige Aufnahmsblätter des riesigen Kartierungsgebietes zwischen dem Fernpass und dem Achensee vor und umreißt in einem Aufsatz die geologischen Grundzüge von Mieminger Gebirge, Wetterstein- und Karwendelgebirge (AMPFERER, 1905a, b).

AMPFERER (1908) setzt sich eingehend mit dem Thema der „Hornsteinbreccie“ im Rofan (ÖK 119) auseinander und sammelt Argumente für deren sedimentäre Natur. Er betont, dass die Brekzien genauso Tiefseeablagerungen seien wie die mit ihnen wechsellagernden „Radiolarienschichten“. Er zeigt am Profil Vorderes Sonnwendjoch (2.224 m) – Rofanspitze (2.259 m), dass die jurassischen „Hornsteinbreccien“ (Rofan-Brekzie) und der darüber folgende „Hornsteinkalk“ (Barmsteinkalk, **29**) N–S streichende Faltenstrukturen diskordant sedimentär überlagern und plombieren. Die Faltenentstehung erklärt er sich durch „Abgleitungen von einer Hochzone im Osten“ (Gleitfalten) (Abb. 5a, b). In der Folge wird die Bildung der Brekzien ausführlich beschrieben. Am Ende seiner langen produktiven Schaffensphase geht Ampferer nochmals ausführlich auf die vielfältigen Faltenstrukturen und die Genese der „Hornsteinbreccien“ im Rofan ein (AMPFERER, 1941a).

Die Erläuterungen zu Blatt „Achenkirchen“ erscheinen 1914, jene zu Blatt „Innsbruck und Achen-See“ im Jahr 1924 (AMPFERER, 1914b; AMPFERER & OHNESORGE, 1924).

Im Beitrag über „NW-Beanspruchungen in den Nordalpen“ rückt AMPFERER (1921) von seiner bis dahin geäußerten Ansicht (AMPFERER, 1902a, b, 1903a, 1908) einer zweiphasigen Einengung (zuerst in E–W-, dann in N–S-Richtung) im Bereich der „Achentaler Querstruktur“ ab. Aus seiner Beobachtung vieler NW-schauender Faltenstirnen, wie z.B. der Unnutz-Falte, entwirft er die These von der „Drehscheibe von Achenkirchen“ (Abb. 6): Demnach hätte die „Unnutzmasse“ im Zuge der nordgerichteten Überschiebung eine Drehbewegung um 45° nach Nordwesten vollzogen, mit einem Angelpunkt an der Seebergspitze (2.085 m, ÖK 119). Auch die NE–SW streichenden Faltenstrukturen im Rofan erklärt AMPFERER (1921) analog dazu mit einem Verdrehen ursprünglich E–W streichender Strukturen.

Angeregt durch die geologische Gutachtertätigkeit beim Bau des Druckstollens für das Achenseekraftwerk (siehe unten) prägt AMPFERER (1924a, b) am Stanser Joch, südlich über dem Achensee (ÖK 119), den Begriff der Reliefüberschiebung (Abb. 7). Er versteht darunter den Vorschub einer Schubmasse nicht mehr über ein flaches „Schichtenland“, sondern über ein vorher gefaltetes und tief erodiertes Untergrundrelief, das überwältigt und unter der Schubmasse begraben wird. Hierbei werden die Talfurchen im Relief mit den durch die Reibung zurückgebliebenen Resten der überfahrenden Schubmasse verstopft und chaotisch verpresst. Mit der Schubmasse ist im konkreten Fall die Inntal-Decke gemeint. Ausgehend vom Stanser Joch wendet Ampferer das Prinzip der Reliefüberschiebung auf zahlreiche ähnlich gebaute Gebiete im Karwendel, in den Nördlichen Kalkalpen und sogar in den Dolomiten an (AMPFERER, 1924a, b, 1928, 1929a, 1946; AMPFERER & PINTER, 1927). In einer Neuuntersuchung der Typlokalität bestätigt KRAUTER (1967) Ampferers Reliefüberschiebungstheorie und baut diese sogar noch aus, indem er versucht, „*das Bewegungsbild der Überschiebungsvorgänge und das mechanische Verhalten der Basisgesteine zu rekonstruieren*“ (KRAUTER, 1967: 23).



Erklärung zu Fig. 4.

Schema der Drehscheibe von Achenkirchen.

Schräge Schraffen	= Wettersteinkalk und Dolomit + Raibler Schichten.
Ringe	= Hauptdolomit + Plattenkalk.
Schwarze Streifen	= Rät + Lias der Muldenzone.
Punkte	= Jura + Kreide der Muldenzone, Rät + Jura + Kreide im Sonnwendgebirge.
Gitter	= Inntaldecke.
Doppelte Striche	= Muldenzone des Gütenbergs.
Feine Punktreihen	= Schichtgrenzen.
Gezackte Linie	= Ausstrich von Ueberschiebungen.
Dickere Strichreihe	= ehemaliger Ueberschiebungsrand.
Zaunlinie	= Stirne des Unnutzkammes
Kolbenlinie	= Schrägstruktur des Sonnwendgebirges.

I = Nordsüdverschiebung
II = Nordsüdzerrung.
III = Knickung durch ungleiche Ostwestschübe.
IV = Drehscheibe.

Abb. 6.
Das Modell der „Drehscheibe von Achenkirchen" als Erklärung für die „Knickungen" im Übergangsbereich Karwendel-/Thiersee-Synklinale (AMPFERER, 1921).

Der Österreichische Alpenverein gibt Ende der 1930er Jahre den Auftrag, das Gebiet der damals neu erstellten Alpenvereinskartenblätter (Maßstab 1:25.000) „Karwendelgebirge West, Mitte und Ost" geologisch neu zu kartieren. Otto Ampferer bearbeitet das Blatt „Karwendelgebirge Ost". Im Rahmen seiner Kartierung geht er auf die Bedeutung von „Gleitungen" (gravitative Massenbewegungen) ein, die er z.B. an beiden Flanken des Achensees (ÖK 119) und mit Profilschnitten beschreibt (AMPFERER, 1939, 1940a, b, 1941b).

Die abgeschlossene Neuaufnahme des östlichen Karwendelgebirges und das Erscheinen der östlich anschließenden „Geologischen Karte 1:10.000 des Sonnwendgebirges" (WÄHNER & SPENGLER, 1935) nützt AMPFERER (1941a), um großräumige tektonische Zusammenhänge zwischen diesen beiden Gebirgsstöcken aufzuzeigen. Das Karwendelgebirge ist demnach an der Karwendel-Überschiebung auf das Sonnwendgebirge, die Kreide-Mulde (Karwendel-Synklinale) und die Schubmasse des Unnutz-Guffert-Massivs aufgeschoben. Durch die *„mächtige Abbiegung dieser tiefgreifenden Mulde"* aus der Ost–West- in die Nord–Süd-Richtung *„erscheint das Sonnwendgebirge um etwa 10 bis 11 km weiter gegen Norden vorgedrängt"* (AMPFERER, 1941a: 182). Dem „Südgelenk" der Kreide-Mulde steht weiter nördlich ein durch Überschiebungen verformtes „Nordgelenk" gegenüber. Dieser Deformationsstil wird auf das „Ost-West-Vorpreschen" der Wettersteinkalk-Masse des Unnutz- und Guffert-Massivs zurückgeführt.

FUCHS (1944), QUENSTEDT (1951a) und SPENGLER (1953) widersprechen Ampferer in diesem Punkt und gehen von der Annahme zweier getrennter Synklinalen aus. Laut FUCHS (1944) machten der Kern und der Nordflügel der Karwendel-Synklinale diesen Knick nicht mit (keine „Schlingenbildung"), womit der Knick älter als die Bildung der Synklinale sein muss. Die Wettersteinkalk-Masse (**47**–**50**) bildet laut AMPFERER (1941a) ein großes Gewölbe, das im Westen eine gegen das Achental *„schauende Überschiebungsstirne"* zeigt, die *„samt einem überkippten Streifen von Raibler Schichten und Hauptdolomit unvermittelt auf flach lagernde Neokommergel vorgetrieben erscheint"* (AMPFERER, 1941a: 184). Im geologischen Profil über die Hochplatte (1.813 m) westlich des Achentals ist die Schubmasse an glatter Störungsfläche völlig vom Untergrund abgeschert. Im Profil über den Christlumkopf (1.758 m) zeigt sich noch eine zusammenhängende Schichtfolge. AMPFERER (1941a) folgert aus den Überschiebungsstrukturen am Westabfall des Unnutz-Massivs (Verschiebung nach Westen), am Gröbner Hals und an der Marbichlerspitze (1.898 m) („Süd-Nord-Bewegung") eine zweiphasige Bewegung der Schubmasse. In diesem Artikel beschäftigt sich Ampferer auch mit der strukturell bedingten Entstehung des Achensees. Er postuliert das Vorkommen von, durch den See verdeckten, Nordalpinen Raibler Schichten (**43**) und erklärt sich dadurch *„die Ausschürfung des Sees"*, wie auch *„die Bildung von Großgleitungen"* (AMPFERER, 1941a: Fig. 5, E–W-Profil).

Drei Jahre nach Ampferers Tod – er stirbt 1947 – bringt Werner Heissel das geologische Blatt „Karwendelgebirge

1 = Alttrias
2 = Muschelkalk—Wettersteinkalk
3 = Raibler Sch.
4 = Hauptdolomit—Kössener Sch.
5 = Jura-Sch.
I = Erste Reliefüberschiebung der Inntaldecke
II = zweite Reliefüberschiebung von Lechtal- und Inntaldecke
III = engerer Zusammenschub und Hebung des Altreliefs

Zwischen I und II sowie zwischen II und III sind starke Abtragungen eingeschaltet.

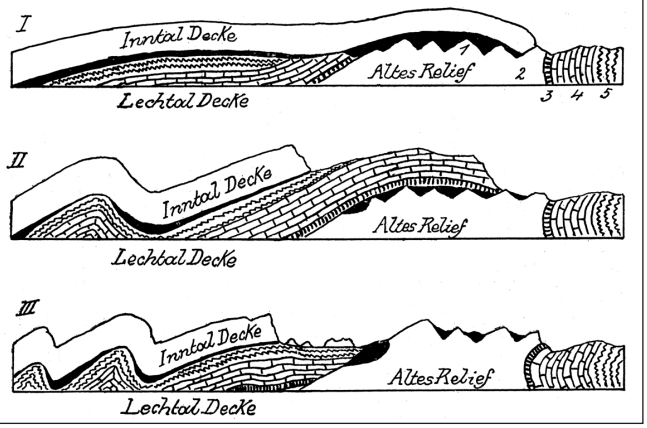


Abb. 7.
Modell der Reliefüberschiebung von AMPFERER (1946). Erstmals beschreibt er diese am Stanser Joch südlich des Achensees (AMPFERER & OHNESORGE, 1924).

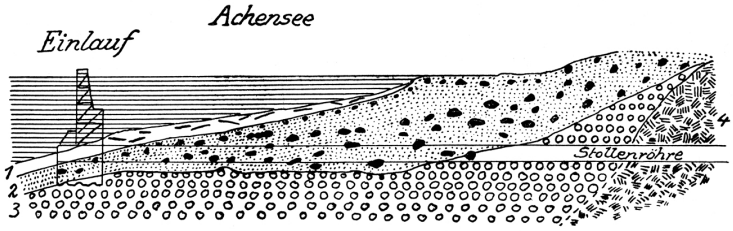


Abb. 8.
Geologisches Profil im Bereich des Einlaufbauwerks für das Achensee-Kraftwerk (AMPFERER, 1946). Fluviatile Kiese und Sande des Inn werden diskordant von Würm-hochglazialer Grundmoräne des Inngletschers überlagert. Zusammen bilden sie den natürlichen „Achensee-Damm".

Ost" im Maßstab 1:25.000 mit Erläuterungen heraus (AMPFERER & HEISSEL, 1950a, b). Ein Kapitel befasst sich mit der Entstehung des Achensees und mit den quartärgeologischen Ergebnissen der Bohrungen, die der Botaniker RUDOLF VON SARNTHEIN (1940) in der Bucht von Maurach (ÖK 119) in den Seeschlamm abgeteuft hat. Die eigentlichen Erläuterungen verfasst Ampferer jedoch bereits 1942 in der „Geologischen Formenwelt und Baugeschichte des östlichen Karwendelgebirges" (AMPFERER, 1946). Er legt anhand zahlreicher Profilschnitte und Kurzbeschreibungen anschaulich den tektonischen Bau dar. Es finden sich Ost–West-Profilschnitte über die Schreckenspitze (2.022 m) zur Christlumalpe (1.231 m) und über die Hochplatte (1.813 m). Quartäre Themen wie die Verbreitung von Lokal- und Fernmoräne (**21**, **22**), von kristallinen Erratikern (**19**) und glazialen Erosionsformen sowie die Auswirkungen der „Schlußvereisung/Schlußeiszeit" (Bezeichnung Ampferers für die Vorstoßphase der Würm-spätglazialen Gletscher nach dem vollständigen Abschmelzen der Würm-hochglazialen Gletscher; AMPFERER, 1925b, 1929b, 1936) werden breit ausgeführt.

Auch als Baugeologe hat Ampferer sich verdient gemacht. In den 1920er und 1930er Jahren wirkt er bei zwei großen Bauprojekten als geologischer Gutachter mit: bei der Errichtung des Achensee-Kraftwerkes (mit Druckstollen nach Jenbach, ÖK 119) und seinen Zuleitungen aus dem Einzugsgebiet der Seeache und beim Bau der neuen Achenseestraße B 181 von Wiesing im Inntal (566 m) nach Achenkirch (916 m). Die neuen künstlichen Aufschlüsse lieferten wertvolle Einblicke in den Aufbau des quartären Untergrundes des Achensees und des „Achensee-Dammes" (Abb. 8). Die Ergebnisse sind in mehreren Veröffentlichungen dokumentiert (AMPFERER, 1919, 1940c; AMPFERER & PINTER, 1927; AMPFERER & BERGER, 1929). Neuere Arbeiten zu diesem Thema stammen von POSCHER (1994) und BURGER et al. (2011).

Quartärgeologische Forschung

Die Suche nach erratischen Geschieben, Moränen und glazialen Schliffformen beginnt bereits mit PICHLER (1856, 1859, 1872, 1876), MOJSISOVICS (1870, 1871) und SAPPER (1888), die von ersten Erratika-Funden im Achental berichten. Dieses Tal zählt zu den drei Hauptübertrittstellen von Eis des Inngletscher-Systems in die Nördlichen Kalkalpen und in das bayerische Alpenvorland während des Würm-Hochglazials. STARK (1873) erkennt erstmals diesen Zusammenhang und veröffentlicht eine Karte des Würm-hocheiszeitlichen Eisstromnetzes von Südostbayern im Maßstab 1:250.000 (Abb. 9).

Das durch die glazialgeologischen Arbeiten von PENCK (1882) und BLAAS (1889a, b, 1891) geweckte Interesse an der alpinen Quartärgeologie führt zur intensiven Erforschung des Inntales (Höttinger Brekzie, Inntal-Terrassen; Überblick in PENCK & BRÜCKNER, 1901–1909). Die „Achensee-Schwelle" bei Maurach (ÖK 119) wird als Teil der Inntal-Terrassen als eine Schlüsselstelle erkannt. Ampferer geht in den ersten Veröffentlichungen über seine geologischen Aufnahmen des Großraumes Karwendelgebirge–Achensee-Gebiet vor allem auf die glazialen Ablagerungen in den Karwendeltälern näher ein (AMPFERER, 1902b, 1903b; siehe oben). Eine ausführliche Zusammenfassung über die quartären Ablagerungen des Achensee-Gebietes und des Steinberger Beckens (Bänderschluffe, **23**, **25**) findet sich im Aufsatz „Aus der geologischen Geschichte des Achensees" (AMPFERER, 1905c).

KLEBELSBERG (1913) geht davon aus, dass der Inngletscher von den „zentralalpinen Massenerhebungen" (Ötztaler, Stubaier, Zillertaler Alpen) seine Haupteiszufuhr erhielt. Dieser Gletscher gab über die Fernpass-Talung, das Seefelder Plateau und das Achental wieder Eis in die Nördlichen Kalkalpen ab. Zusammen mit den kalkalpinen Gletschern bildeten sich daraus neue große Gletscherströme (z.B. Loisach- und Isargletscher), die weit in das Alpenvorland vorstießen. Die östlich des Rofangebirges, des Unnutz- und Guffert-Massivs rasch abnehmenden Gebirgshöhen ermöglichten es dem Inngletscher, in großer Breite nordwärts vorzustoßen und Eisströme von Brandenberg in das Achental zu entsenden.

KLEBELSBERG (1914) erläutert in Teil IV der „Glazialgeologischen Notizen vom bayerischen Alpenrande" die einstigen Wege der Ferneisströme, Eistransfluenzen, Eishöhen etc. im Abschnitt zwischen Loisach und Isar. Eine genaue Karte im Maßstab 1:150.000 stellt die anhand von Findlingen und glazialen Schliffspuren ermittelten Eishöhen am Höhepunkt der Würmvereisung dar. Für die Mündungsbereiche von Bächen- und Achental werden Eishöhen von etwa 1.400 bis 1.500 m angenommen.

WOLF (1922) betreibt eine systematische glazialgeologische Durchforstung des Achensee-Gebietes und des Steinberger Beckens. Er gibt einen umfassenden Überblick über die Verbreitung der glazialen Ablagerungen, die Verteilung der zentralalpinen (kristallinen) Erratika (**19**) und die glazialmorphologischen Phänomene, die von der letzten eiszeitlichen Vergletscherung (Würm-Hochglazial und Würm-Spätglazial) stammen. Der Reichtum der kristallinen Erratika (**19**) im Becken von Steinberg fällt ihm besonders auf, ebenso deren Fehlen nördlich des Guffert-Massivs so-

Abb. 9.
Eiszeitkarte von STARK (1873), die das Würm-hochglaziale Eisstromnetz im Einflussbereich des Inngletschers in bemerkenswerter Genauigkeit erfasst. ▶


MÜNCHEN
Pfaffenhofen
Haching
Leutstetten
Hanfeld
Starnberg
Neufahrn
Hohenschäftlarn
Isar
Ebersberg
Kirchseon
Forstinning
Haus
Egmating
Endmoräne des Inn
Endhausen
Gr. Helfendorf
Tuchen
Holzkirchen
Kl. Hartpenning
Isarach
Tölz
Miesbach
Rosenheim
Neubeuern
Interdorf
Kufstein
Jsar
Jnn
Rattenberg
Schwaz
Hall
INNSBRUCK

wie im mittleren und hinteren Bächental. Er beobachtet die dichte Streu an den unteren Talhängen sowie die rasche Ausdünnung der Funde mit der Höhe und entlang der ehemaligen Hauptgletscherströme alpenauswärts. Seine systematischen Geländebeobachtungen verarbeitet er in einer paläogeografischen Karte 1:100.000 für den Eishochstand des Würm-Glazials im Achensee-Gebiet. Seine präzisen Beobachtungen haben größtenteils heute noch Gültigkeit. Wolf (1922) stellt eine Gliederung der Moränen für Gebiete auf, in denen „zentralalpine Ferngletscher" in die Kalkalpen eindrangen. Er scheidet hochglaziale „Fernmoränen mit kristallinen Geschieben" und hochglaziale und stadiale „Ortsmoränen" (**22**, **21**) aus. Die Funde von Grundmoräne (**22**, „Ortsmoräne") hoch oben an den Westhängen des Achentales erachtet er als wichtigen Hinweis für das nordwärtige Abdrängen der lokalen Seitentalgletscher durch den aus dem Inntal vorstoßenden Ferneisstrom (Achental-Gletscher). Wolf (1922) vermutet Eisübertritte aus den östlichen Karwendeltälern (Risstal, Gern- und Falzthurntal) in das Bächental und weiter in das Achental. Er misst dem kristallinen Erratikum (**19**) eine gesonderte Bedeutung bei, da dieses eine Mindesterstreckung des zentralalpinen Eises in den Nördlichen Kalkalpen anzeige. Er beschäftigt sich auch eingehend mit den Seeablagerungen (**23**, **25**) des Ampelsbach-, Unterau- und Hühnersbachtales. Die Bänderschluffe (**25**) im Unterautal und an der Steinberger Ache stuft er – wie damals üblich – in das Riß-Würm-Interglazial ein.

Wolf (1924) dehnt seine glazialgeologischen Studien mit der gleichen Gründlichkeit auf das Gebiet zwischen dem Riss- und dem Bächental („Risser Gebirge"; ÖK 87, 118, 119) aus und entwirft auch für diese Bergregion eine Karte 1:100.000 des Würm-glazialen Eishochstandes.

Für Osswald (1924) ist die Höhenlage und Herkunft der erratischen kristallinen und kalkalpinen Geschiebestreu (**19**) aus „südlicheren Bezirken" eine Schlüsselfrage. Er beobachtet in den vom Inneisstrom durchflossenen Tälern eine starke Abnahme der kristallinen Geschiebe nördlich der Staatsgrenze Österreich/Deutschland. Die mächtige Abfolge von Bändertonen, Sanden und Kiesen im Weißachtal (Staukörper am Eisrand, **16**) ist nach Osswald (1924) im Zuge des Eiszerfalls des Würm-hochglazialen Eisstromnetzes zwischen Isar und Inn entstanden.

Schreiber (1949) befasst sich in seiner morphologischen Studie über das Gebiet zwischen Brandenberg und Steinberg mit der Entstehungszeit der zahlreichen Klammen und Schluchten sowie mit der „Mechanik der Talverschüttung und Talzerschneidung". Im Zusammenhang mit den nach seiner Meinung „Riß-Würm-interglazialen Sedimentfüllungen" der Klammen werden auch Fragen der Genese, der wiederholten Entstehung, des Alters und der zeitlichen Reichweite von Eisstauseen diskutiert.

In den letzten Jahrzehnten wird der Quartärgeologie des betrachteten Raumes wieder neue Beachtung geschenkt: Mit der Verbreitung der Bänderschluffe (**25**) von Steinberg und ihrer Eignung als Zement-, Ziegel- und Keramikrohstoff befassen sich Horvacki (1982) und Czurda & Bertha (1984).

Die Quartärgeologen Diethard Sanders und Lukas Wischounig widmen sich ab der Jahrtausendwende den prä- bis hochglazialen, fluviatilen und lakustrinen Sedimenten (**23**, **25**), die in den Schluchten von Steinberg am Rofan in großer Mächtigkeit aufgeschlossen sind (Ampferer, 1905c; Wolf, 1922; Horvacki, 1982; siehe oben). Neben einer Detailkartierung im Maßstab 1:5.000, Profilaufnahmen, sedimentpetrografischen und sedimentologischen Untersuchungen wird erstmals mittels U-Th-Datierung von Zementen in Konglomeraten (**23**) ein zeitlicher Fixpunkt in der Quartärabfolge gesetzt. Details hierzu finden sich in den Arbeiten von Wischounig (2006), Gruber et al. (2011) und Sanders et al. (2014). In Sanders et al. (2014) und Sanders & Gruber (2016) werden das Nebeneinander von verlassenen, Sediment gefüllten und ausgeräumten Klammabschnitten im Einzugsgebiet der Steinberger Ache, deren Anlage und Alter und die darin ablaufenden Sedimentations- und Erosionsvorgänge im Zuge der Vorstoßphase zum Würm-Hochglazial bis in das Holozän ausführlich diskutiert. Seit mehreren Jahren untersucht die Arbeitsgruppe von Christoph Spötl an der Universität Innsbruck mit modernen sedimentologischen, geophysikalischen und Datiermethoden das vielfältige Würm-Hoch- und Würm-Spätglazial sowie das holozäne Sedimentinventar im Risstal und in den Pertisauer Karwendeltälern. Forschungsergebnisse sind in Spötl (2019), Spötl et al. (2014) und Mair et al. (2016) veröffentlicht.

Regionale stratigrafische und tektonische Arbeiten

Am Beginn des 20. Jahrhunderts werden von Geologen der Münchner Universitäten (Ludwig-Maximilians-Universität und Technische Universität) großangelegte stratigrafische und tektonische Arbeiten im an das Achental angrenzenden bayerischen Alpenraum durchgeführt. Damit sind stets genaue geologische Kartierungen im Maßstab 1:25.000 verbunden. Zu erwähnen sind die Arbeiten von Daqué (1912, auf ÖK 89), Boden (1915, auf ÖK 88 und 89) sowie Osswald (1924, 1928, auf ÖK 88, 89 und 90).

Die Arbeit von Osswald (1924) liefert grundlegende Erkenntnisse zur kalkalpinen Stratigrafie der Obertrias und des Jura, zur Tektonik und zur Quartärgeologie am Blaubergkamm beidseits der Staatsgrenze. Wichtige Informationen stellen die Angaben zum Hauptdolomit (**41**) und Plattenkalk (**40**) an der Halserspitze (1.863 m), die Dreiteilung der Kössen-Formation (**39**), die Untergliederung des Oberrhätkalkes (**38**) in einen Unteren und einen Oberen Thecosmilienkalk (Oberrhätkalk i.e.S.) und die Angaben über oolithische, kieselige und dolomitische Abschnitte in diesem Riffkalk dar. Osswald (1924) scheidet eine Reihe von unter- und mitteljurassischen Schichtgliedern aus, die er vier Faziestypen zuordnet. In der für das Kartenblatt relevanten „Bayrachenfazies" ist der gesamte Unter- und Mitteljura der Thiersee-Synklinale in Schwellenfazies entwickelt. Er notiert an den drei „Hauptbruchrichtungen" (NW–SE, N–S und ENE–WSW) horizontale Versätze.

Leuchs (1921) gelingt am Nordrand des „Guffert-Pendling-Zuges" (ÖK 88, 89, 90) der Nachweis von bis dato unbekannten Vorkommen von Nordalpinen Raibler Schichten (**43**) und beschreibt erstmals Kalke innerhalb des basalen Hauptdolomits (**41**). Er vermerkt die Mehrfachscharniere der Antiklinalstrukturen innerhalb des obersten Wettersteinkalkes (**47**) am Nordabhang des Guffert-Massivs. Er erwägt aufgrund der Auflagerung der Gosau-Grup-

pe auf gefaltetem Untergrund im Gebiet des Thierseer Tals (ÖK 89, 90) eine prägosauische Anlage der Thiersee-Synklinale.

VORTISCH (1926) liefert als erster eine ausführliche lithostratigrafische Beschreibung des berühmten Obertrias-Unterjura-Profils in Beckenfazies am Fonsjoch (das Profil liegt im unteren Drittel des Gratabschnittes Juchtenkopf–Hohe Gans, 1.950 m, ÖK 119). Er beschreibt die lateralen Faziesübergänge vom rhätischen Becken (Kössen-Formation, **39**) in das rhätische Riff (Oberrhätkalk, **38**) der Wilden Kirche (Schoberberg, 1.711 m, ÖK 119) und die dem Riff auflagernden, kondensierten Karbonate des Unterjura (vor allem Rotkalke, **34**). Er konstatiert den strukturellen Zusammenhang mit dem Oberrhät-Riff im Rofangebirge (ÖK 119).

Von TRUSHEIM (1930) stammt eine sehr detaillierte geologische Bearbeitung des Westteiles der Karwendel-Synklinale im Bereich Mittenwald-Risstal (ÖK 87, 118), die überregionale Neuerkenntnisse zur obertriassisch-jurassischen Faziesentwicklung liefert. Ein Fokus liegt auf den bituminösen Einschaltungen im Hauptdolomit (**41**), ein anderer auf den Konglomerat- und Brekzien-Bildungen im „Aptychenkalk“ (Ammergau-Formation, **28**) des Oberjura. TRUSHEIM (1930) widmet sich ausführlich der Sedimentpetrografie und Herkunft der Klasten, den sedimentären Gefügen und der Entstehung der Brekzien. Die Konglomerate und Brekzien des Oberjura unterteilt er in ein tiefer gelegenes, intraformationelles „BODEN‘sches Konglomerat“ und in eine höher gelegene „Hornsteinbreccie“. Darin entdeckt er sowohl Aufarbeitungsprodukte älterer Schichtglieder, als auch synsedimentär gebildeten Flachwasserdetritus. Er zieht Vergleiche zur „Hornsteinbreccie“ der östlichen Karwendel-Synklinale (ÖK 88, 119) und des Rofangebirges (ÖK 119) und stellt für beide deren sedimentäre Bildung außer Frage.

Der Münchner Paläontologe und Pionier der Aptychenforschung, Werner Quenstedt, befasst sich intensiv mit der Juraschichtfolge und mit dem geologischen Bau des Achentales. QUENSTEDT (1951a, b) versucht in zahlreichen stratigrafischen Profilen, hauptsächlich mittels der Biostratigrafie (Aptychen und Rhynchoteuthen), den Mittel- und Oberjura, das heißt die „Hornsteinkalke“ (Allgäu-, Ruhpolding- und Tauglboden-Formation, **32**, **31**, **30**) und die „Aptychenschichten“ (Ammergau-Formation, **28**) zu gliedern. Hierfür verwendet er eine Reihe von lokalen Schichtnamen, die sich jedoch nicht durchsetzen (vgl. SCHÜTZ, 1975, 1979; JAKSCH, 2003). HARDETERT (1985) ordnet die umfangreiche Fossilsammlung Quenstedts (hauptsächlich Material aus dem Achental) an der Universität Tübingen, präpariert und bearbeitet die Rhyncholithen neu (vgl. HARDETERT & RIEGRAF, 1990).

JAKSCH (1996), ein Schüler Quenstedts, steuert durch Neuauswertung des bisherigen Belegmaterials und durch neue Aufsammlungen in den Profilen Ampelsbach und Schwendt (ÖK 91) zusätzliche Daten zur Entwicklung der Lamellaptychen, insbesondere zu deren Faunenwandel an der Grenze Unter-/Obertithonium innerhalb der Ammergau-Formation (**28**) bei.

Im Mittelpunkt von Quenstedts tektonischen Studien im Achental stehen die „Achentaler Schubmasse“ und deren Überschiebungsfläche. Bereits in der Arbeit zur „Überschiebungszone von Achenkirch“ kommt QUENSTEDT (1933) zum bemerkenswerten Schluss, dass entlang der Überschiebung unter dem Hauptdolomit (**41**) „Schubfetzen“ von überkipptem Plattenkalk (**40**), Kössen-Formation (**39**), Rotkalken (**34**) und Ammergau-Formation (**28**) vom Unnutz bis zur Hochplatte und zur Moosenalm verfolgbar seien und daher „*die Schubfläche hervorgeht aus einer großen liegenden Falte*“. „*Ihr Mittelschenkel zerriß unter der Last der überfahrenden Hauptdolomitmassen und wurde zerschoben*“ (QUENSTEDT, 1933: 460).

In der „Geologischen Exkursion in das Achental-Gebiet“ fasst QUENSTEDT (1951a) sein stratigrafisches und tektonisches Wissen zusammen. Darin präzisiert er, dass die „Achentaler Schubmasse“ aus dem E–W streichenden Faltenbau des Vorkarwendel (= Karwendel-Synklinale) durch Umbiegen der Falten im Bereich der Pasillalm (ÖK 119) in N–S-Richtung hervorgeht und dass der Stirnrand der „Schubmasse“ zwischen der Hochplatte (1.813 m) und dem Rotmöserkopf (1.522 m) abgetragen ist. QUENSTEDT (1951a) erkennt, dass das Liegende der „Achentaler Schubmasse“ aus einem kompliziert gebauten, plus/minus W–E streichenden und weitgehend von der „Schubmasse“ beeinflussten Faltenbau besteht, dessen Achsenstreichen und -fallen letztlich erst durch die stratigrafisch-paläontologische Gliederung der Aptychenkalke verständlich werde. Eine logische Folgerung daraus ist, dass die Karwendel-Synklinale sich nicht über einen „Knick“ im Achental („Achentaler Querstruktur“, „Schlingenbildung“ sensu AMPFERER) in der nordöstlich gelegenen Thiersee-Synklinale fortsetzt, sondern dass es sich um jeweils verschiedene Synklinalen handelt. Erstere ist die südlichste, letztere die nördlichste einer Reihe von E–W-Falten.

Ende der 1940er Jahre werden von der Technischen Universität München unter der Leitung von Paul Schmidt-Thomé im Zusammenhang mit der Errichtung des Sylvensteinspeichers (Energiewirtschaft, Isar-Hochwasserschutz, ÖK 87) flächenhafte stratigrafische, tektonische und quartärgeologische Kartierungen beidseits des Isartales durchgeführt. In die Erkundungen werden auch das Tal der Walchen (Seeache unterhalb Achenwald), das Demeljoch-Massiv (ÖK 88, 87) und das Einzugsgebiet der Dürrach (Scharfreiter-Massiv, Bächental, ÖK 87, 88, 118) mit einbezogen. Näher behandelt werden die Großfaltenstrukturen (Wamberger Antiklinorium, Bayerisches Synklinorium, Scharfreiter-Antiklinale) und die „Diagonalstörungen“ (Seitenverschiebungen) sowie ein Nord–Süd-Profil durch die gesamten Kalkalpen von Bad Tölz über das Demeljoch (1.924 m) bis Hall in Tirol vorgestellt. Die geophysikalischen und bohrtechnischen Erkundungen des Isar-Talbodens im Gebiet des geplanten Speichersees erbringen Informationen zur Talübertiefung und zum quartären Sedimentaufbau (mächtige Bändertone und Sande in Verzahnung mit Deltasedimenten, siehe auch KNAUER, 1952). Die Daten sind in der umfassenden Arbeit von SCHMIDT-THOMÉ (1950) zusammengefasst.

ULRICH (1960) studiert im Detail die obertriassische bis unterkretazische, fazielle und paläogeografische Entwicklung in der Karwendel-Synklinale westlich des Kartenblattes. Seine Erkenntnisse gelten größtenteils auch für den auf Blatt Achenkirch gelegenen Ostteil der Synklinale. Er führt für die geringmächtigen siltigen Mergel und kondensierten, fossilreichen Kalke die Bezeichnung „Grauer Lias Basiskalk“ (Kendlbach-Formation, integriert in **32**, **37**) ein. Wie schon TRUSHEIM (1930) zuvor, beschäftigen

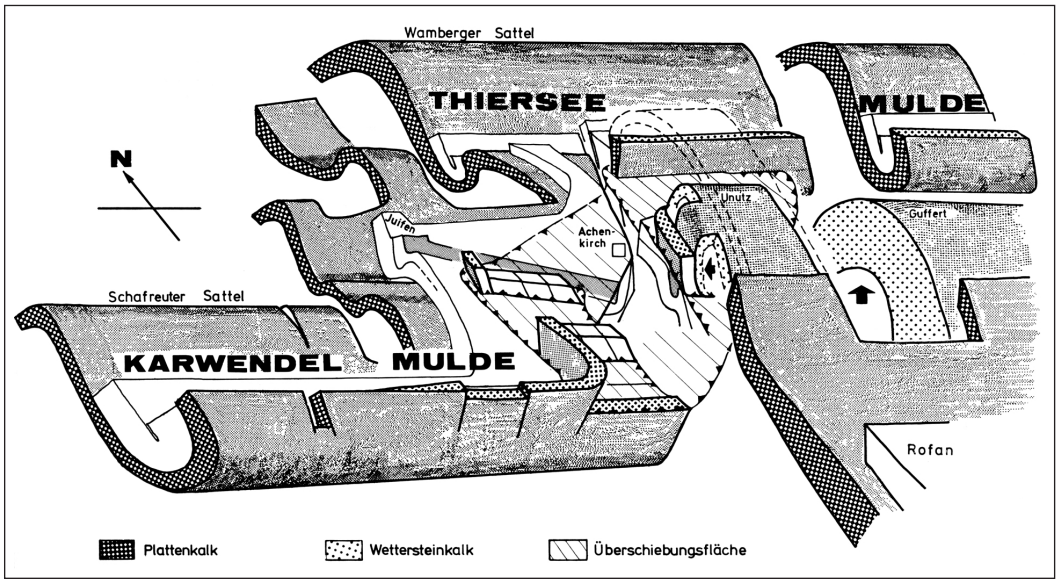


Abb. 10.
Blockmodell der Querstruktur von Achenkirch (NAGEL, 1975). Damit wird der Versuch unternommen, die komplexe tektonische Situation des Achensee-Gebietes aufzulösen. Dabei wird erkannt, dass Karwendel- und Thiersee-Synklinale zwei getrennte Faltenstrukturen darstellen und nicht durch „Knickungen" im Sinne von AMPFERER (1921) verbunden sind.

ihn die „Malm-Konglomerate". Es gibt eine untere, monomikt zusammengesetzte „Aptychenbreccie" und eine obere, polymikte „Hornsteinbreccie" (Rofan-Brekzie, Barmsteinkalk, **29**), die normal sedimentär in beiden Schenkeln der Karwendel-Synklinale eingelagert sind. Die Brekzienbildung führt er auf tektonische Hebungen und nachfolgende Erosion zurück. ULRICH (1960) stellt anhand von Faziesvergleichen in der Karwendel-Synklinale ab dem Sinemurium eine generelle Faziesdifferenzierung in Ost–West- und in Nord–Süd-Richtung fest: Der Westteil wird von einer Schwellen-, der Ostteil von einer Beckenfazies dominiert. Ab dem mittleren Jura zeichnet sich eine Vertiefung des Ablagerungsraumes von Nordwesten nach Südosten ab. Dies drückt sich in der Gesamtmächtigkeit der Jura-Schichtfolge aus, die von 100 m im Westen (Mittenwald) auf 1.100 m im Osten (Bächental) ansteigt.

Die Arbeitsgruppe von Werner Zeil (Technische Universität Berlin) kartierte in den 1960er und 1970er Jahren die Thiersee- und die Karwendel-Synklinale systematisch nach stratigrafischen, biostratigrafischen, faziellen und strukturgeologischen Gesichtspunkten aus.

Grundlegend für das vorliegende Kartenblatt ist die sedimentologische und fazielle Neuuntersuchung der „Aptychen-Schichten" (Ammergau-Formation, **28**) durch SCHÜTZ (1975, 1979) im Westteil der Thiersee- und im Ostteil der Karwendel-Synklinale. Zwei Faziesbereiche unterscheiden sich in der Lithologie und in den Mächtigkeiten: bis 200 m mächtige pelagische „Bianconekalke" in der östlichen Thiersee-Synklinale und bis 800 m mächtige pelagische Kalke und Resedimente (allodapische Kalke; Barmsteinkalk, **29**) in der westlichen Thiersee- und in der Karwendel-Synklinale. Beide Fazieszonen sind durch einen Nord–Süd verlaufenden Übergangsbereich im Achental getrennt. Paläogeografisch bestand demnach im Tithonium und Berriasium eine sich rasch vertiefende, Ost–West ausgerichtete Senke, die von Hochzonen im Norden und Süden (Rofan) episodisch mit Resedimenten beliefert wurde. Der Sedimentationstrog wurde östlich von Achenkirch vermutlich durch eine Störungszone begrenzt. SCHÜTZ (1975, 1979) gelangt mithilfe von Calpionellen-Stratigrafie zu einer lithostratigrafischen Dreiteilung der „Aptychen-Schichten" in „Untere, dünnbankige dunkelgraue Aptychen-Schichten", „Mittlere, unregelmäßig gebankte Aptychen-Schichten mit Resedimenten" und „Obere bianconeähnliche, dünngebankte Aptychen-Schichten".

Jüngst haben ORTNER & KILIAN (2016) Slumping-Strukturen in der überkippten pelagischen Ammergau-Formation (**28**) entlang des oberen Ampelsbaches mit strukturgeologischen Methoden untersucht.

Die strukturgeologische Arbeit von NAGEL (1975) ist darauf ausgelegt, das „alte tektonische Problem" im Raum Achenkirch, die Frage nach dem Umbiegen der Thiersee- in die Karwendel-Synklinale, zu klären. Im Gebiet zwischen Bächental und Brandenberger Ache werden alle größeren Faltenstrukturen und Störungen mithilfe zahlreicher Diplomarbeiten (DIETTRICH, 1970; EHLERS, 1969; FIEDLER-VOLMER, 1968; LÜTKEMEIER, 1972; SCHÜRMANN, 1969; SCHÜTZ, 1971; SCHÜTZ, 1974; WEISTROFFER, 1974; ZÖLLER, 1972) systematisch kartiert und beschrieben sowie die Gefügedaten mittels statistischer Methoden ausgewertet. Die Karwendel-Synklinale endet demnach im Osten an der „Achentaler Schubmasse" und taucht unter diese ein. Die Thiersee-Synklinale hebt bei Achenwald nach Westen in die Luft aus. Beide Synklinalen sind durch den aus mehreren Falten gebildeten „Schafreitersattel" getrennt, der ebenso nach Osten unter die „Achentaler Schubmasse" abtaucht. Diese strukturelle Anordnung der Falten ist somit nach NAGEL (1975) der beste Beweis, dass sich die Karwendel- nicht mit der Thiersee-Synklinale verbinden lässt und damit keine „Muldenschlinge" im Sinne von AMPFERER (1921) vorliegt (Abb. 10). Eine solche manifestiert sich nur in der „Achentaler Schubmasse", die einen zweifachen Knick vollzieht, einen nördlichen an der Sonntagsspitze (1.926 m) und einen südlichen an der Seebergspitze (2.085 m, ÖK 119). NAGEL (1975) betont, dass alle Deformationen im Achensee-Gebiet mit einer kontinuierlichen und konstanten N–S-Einengung einhergehen, wobei die vorgosauische Bildung der E–W-Falten die wichtigste ist und alle anderen Faltenrichtungen aufgrund lithologischer Unterschiede sowie „tektonischer Unebenheiten des Untergrundes" erzwungen worden sind. Die „Achentaler Schubmasse" selbst hat sich aus der Abscherung des Südflügels der Karwendel-Synklinale herausentwickelt und wurde an einer „flachen Überschiebungsbahn" nach

Norden bis Nordwesten geschoben. Die N–S-Achsenrichtung in der „Achentaler Schubmasse“ an der Schreckenspitze (2.022 m) sowie am Unnutz-Massiv ist auf spätere Rotation zurückzuführen. Fuchs (1944), der eine gründliche Aufnahme und statistische Analyse der tektonischen Strukturen beidseits des Achentales durchführt, sieht dies genau umgekehrt: Zuerst erfolgte die Bildung der „Achentaler Schubmasse“ durch E–W-Einengung, nachher jene der Karwendel- und Thiersee-Synklinale durch N–S-Einengung. Nagel (1975) lässt, auch im Gegensatz zu Quenstedt (1933, 1951b) und Spengler (1953), die „Achentaler Schubmasse“ am Nordrand des Unnutz-Massivs enden.

Nagel et al. (1976) betonen, dass während der alpidischen Einengungstektonik im Gebiet um Achenkirch die obertriassischen bis unterkretazischen Beckensedimente der Karwendel- und Thiersee-Synklinale aufgrund ihrer vermuteten Unterlagerung durch Partnach-Schichten (nicht am Kartenblatt) stärker deformiert wurden, als die angrenzenden rigiden Trias-Karbonatplattformen des Guffert- und Unnutz-Massivs sowie die sie überlagernden Jura-Schwellensedimente. Beide Fazieszonen waren im Jura durch eine synsedimentäre Flexur in N–S-Richtung getrennt. Die geringere Mächtigkeit der Jurasedimente in der Thiersee-Synklinale führte zu deren stärkerer Verformung im Vergleich zur Karwendel-Synklinale. Hierzu trug auch der stärkere Nordschub des Wettersteinkalkes östlich von Achenkirch bei. Dieser bewirkte eine seitliche Mitschleppung und Westbewegung des Ostendes der Karwendel-Synklinale.

Das Rofangebirge als Schlüsselregion jurassischer Tektonik

Seit dem späten 19. Jahrhundert inspiriert die vielfältige Geologie des Rofangebirges, unmittelbar im Süden (ÖK 119) an Blatt Achenkirch angrenzend, zahlreiche Wissenschaftler zu umfangreichen geologischen Forschungen (z.B.: Wähner und Ampferer, siehe oben), die für das Verständnis der Geologie auf Blatt 88 Achenkirch sehr wichtig sind. Dies betrifft die blattübergreifenden Faziesverzahnungen zwischen Plattform (Rofan) und Becken (Bächen-/Achental) in der Obertrias und im Oberjura. Heftige wissenschaftliche Dispute finden über die zeitliche Reichweite des oberrhätischen Riffkalkes (**38**), seine Überlagerung durch unterjurassische Rotsedimente (**34**, konkordant vs. diskordant), sowie über die Entstehung der oberjurassischen Hornsteinbrekzie (Rofan-Brekzie) und des darüber liegenden Hornsteinkalkes (Ammergau-Formation, **28** und Barmsteinkalk, **29**) auf stark verfaltetem älterem Untergrund und über die Entstehung dieser Falten durch tektonische Einengung (Rampenfalten) oder durch gravitative Gleitprozesse (Gleitfalten) statt.

Die Genese der Hornsteinbrekzie rückt in den Mittelpunkt der Diskussion: Wähner (1903), als bester Kenner dieses Gebirges, hebt deren tektonische Entstehung („Dislokationsbrekzie“) hervor. Dieser Meinung schließen sich Vortisch (1926, siehe oben), Steinmann (1925), Kühn (1935) und Spengler (1935) an. Demgegenüber betont Ampferer (1903a, 1905b, 1908, 1946, etc., siehe oben) die sedimentäre Natur der Brekzie, unterstützt durch Trusheim (1930, siehe oben), Sander (1941) und Weynschenk (1949). Vor allem Sander (1941) kann sedimentäre Strukturen bis in den Mikrobereich nachweisen. Eine moderne sedimentologische Bearbeitung der Hornsteinbrekzie stammt von Wächter (1987). Weitere Informationen zur Hornsteinbrekzie des Rofan („Rofan-Brekzie“) und deren unterschiedliche Aussagekraft für die oberjurassische Tektonik finden sich in Brandner & Gruber (2011) sowie Gawlick et al. (2011). Beide sehen diese Brekzie als synorogenes Sediment im Zusammenhang mit den kompressiven bzw. transpressiven Bewegungen im Vorlandbereich des sich schließenden Meliata-Hallstatt-Ozeans.

Von überregionaler Bedeutung ist auch die Arbeit von Wendt (1969) über die Sedimentpetrografie, Mikrofazies, Paläogeografie und Bathymetrie der Jura-Rotkalke (**34**) im Rofangebirge. Darin werden jurassische Spaltentypen und die Mikrofazies der Eisen-Mangan-Krusten analysiert sowie eine biostratigrafische Einordnung der verschiedenen Rotkalke mithilfe von Ammoniten versucht. An der Trias-Jura-Grenze kommt es demnach zu einer Sedimentationsunterbrechung, wobei Omissionshorizonte durch Eisen-Mangan-Krusten präsent sind und die ältesten Jurasedimente frühestens für das Sinemurium nachgewiesen werden können.

Erstellung der Geologischen Karte von Bayern 1:25.000

Das damalige Bayerische Geologische Landesamt setzt ab Mitte der 1960er Jahre einen Forschungs- und Kartierungsschwerpunkt im Isar- und Tegernseer Tal (Randbereich des Kartenblattes). Dazu zählen geophysikalische Messungen und Bohrungen, die zwischen Vorderriß (ÖK 87) und Lenggries Talübertiefungen von mindestens 350 m ermitteln, die durch die Erosion mehrerer Eiszeiten geschaffen wurden. Deren Becken wurden beim Eiszerfall (Toteisseen) mit mächtigen Delta- und Seesedimenten verfüllt (Frank, 1979; Bader, 1979). Die Forschungsbohrung Vorderriß 1 (ÖK 87) liefert weitere wichtige Daten zur quartären Abfolge und Übertiefung. Die überregionale Bedeutung dieser Bohrung beruht auf dem endgültigen Nachweis der Deckennatur und des Deckenbaus der Nördlichen Kalkalpen für diesen Abschnitt (Bachmann & Müller, 1981, 2011; Brandner, 1980, 2013, 2019; Müller-Wolfskeil, 1981; siehe auch Kilian & Ortner, 2019).

In der Folge werden vom Bayerischen Geologischen Landesamt mehrere Blätter im Maßstab 1:25.000 dieses bayerischen Alpenanteiles neu herausgebracht: Die im Nordwesten und Norden an Blatt Achenkirch angrenzenden geologischen Kartenblätter 1:25.000 8434 Vorderriß, 8335 Lenggries und 8336/8436 Rottach-Egern (Doben, 1991, 1993, 1995). Die entfernteren Blätter 8533/8633 Mittenwald (Jerz & Ulrich, 1966; ÖK 117) und 8338 Bayrischzell (Wolff, 1985a, b; ÖK 89, 90) sind wichtige Informationsquellen zur Stratigrafie, Paläontologie und Tektonik der Schichtfolge der Karwendel- und Thiersee-Synklinale.

Faziesstudien zur Riff-Beckenentwicklung im Rhätium

FABRICIUS (1959, 1962, 1966) führt sedimentpetrografische, fazielle und paläogeografische Studien zur Rhätium-Unterjura-Grenze in den Bayerischen und Nordtiroler Kalkalpen zwischen Mittenwald und Kufstein durch. Diese Arbeiten präzisieren für den Achensee-Raum die räumliche Verteilung und die Mächtigkeiten der obertriassischen Beckenfazies der Kössen-Formation (**39**) und der sich mit ihr verzahnenden Plattform(Riff)-Fazies des Oberrhätkalkes (**38**). In der von FABRICIUS (1959) verfassten Arbeit zur Fazies und Nomenklatur der rhätischen Riffkalke wird die Umbenennung des „Oberrätkalkes" in „Rätolias-Riffkalk" vorgeschlagen. Dies begründet er damit, dass sich die Rifffazies mit echten Oolithen verzahnt, welche von KOCKEL et al. (1931; „Geiselsteinfazies") und SÄRCHINGER (1939; „Mauerlias") zeitlich in den Unterjura gestellt werden. FABRICIUS (1962) beschreibt die Vorkommen rhätischer Riffbildungen, die er in der Thiersee-Synklinale östlich der Gufferthütte (1.465 m), am Ostende der Karwendel-Synklinale (ÖK 119) und im Rofan (ÖK 119) antrifft. Die Diversifizierung des Unterjura in „Rotfazies" („Roter Bank- und Knollenkalk", **34**) und „Graufazies" („Fleckenmergel und -kalke", **32**) entsteht laut FABRICIUS (1962) durch unterschiedlich starke Absenkungs- und Sedimentationsraten, unabhängig von der zugrundeliegenden Paläogeografie. Diese Thematik wird nochmals in einer Monografie (FABRICIUS, 1966) mit vielfältigem Bezug zur Achensee-Gegend sehr ausführlich behandelt.

KUSS (1983) untersucht die Kössen-Formation (**39**) zwischen Salzburg und Innsbruck unter mikrofaziellen, paläontologischen, sedimentologischen, palökologischen und geochemischen Gesichtspunkten. Er spricht von Intraplattform-Beckensedimenten und ordnet sie drei mehrfach alternierenden Fazieseinheiten zu. In den Untersuchungen wird auf die Profile Fonsjoch, Wilde Kirche (beide auf ÖK 119), Christlumkopf-Kleekopf und oberer Ampelsbach näher eingegangen.

RIEDEL (1988) befasst sich mit der Faziesentwicklung des Wilde Kirche Riff-Komplexes (Oberrhätkalk, **38**; Schoberberg, 1.711 m, ÖK 119), den er in vier übergeordnete Fazieseinheiten gliedert, zwischen denen graduelle Übergänge bestehen. Das Korallenkalk-Niveau (Lithodendronkalk) der Kössen-Formation (**39**) bildete ein sanftes Relief, auf dem die Riffknospen entstanden, die sich zu einem typischen oberrhätischen Riff (mit vier Einzelriffen, **38**) entwickelten. Die Riffentwicklung fand an der Trias-Jura-Grenze ein abruptes Ende.

SATTERLEY et al. (1994) setzen sich am Beispiel des Wilde Kirche Riffes mit dem Thema der subaerischen Exposition an der Trias-Jura-Grenze auseinander. In dem etwa 75 m mächtigen Riff implizieren bis 50 m tiefe Hohlräume mit verschiedenen marinen Zementen und bunten Internsedimenten für die Frühdiagenese eine sehr kurze Auftauchphase mit Verkarstung, auch wenn direkte Belege hierfür fehlen.

Die sedimentologischen, makro- und mikropaläontologischen sowie isotopengeologischen Forschungen zum Rhaetium (Kössen-Formation, **39**; Oberrhätkalk, **38**) und zur Trias-Jura-Grenze im nördlichen Karwendel fruchten in der internationalen Festlegung des Profils am Kuhjoch, einer etwa 1.760 m hohen Scharte 500 m nördlich des Hölzelstaljochs (2.012 m, ÖK 118) als GSSP für die Trias-Jura-Grenze (VON HILLEBRANDT & KMENT, 2009; VON HILLEBRANDT & KMENT, 2011; VON HILLEBRANDT et al., 2013; RICHOZ & KRYSTYN, 2015).

Fazielle und strukturelle Neubearbeitung durch die Universität Innsbruck

In seiner Dissertation befasst sich BUNZA (1971) mit der sedimentologischen und mikropaläontologischen Untersuchung der Nordalpinen Raibler Schichten (**43–46**) des Guffert- und Unnutz-Massivs. Hierzu nimmt er feinstratigrafische Profile entlang des Fahrweges zur Köglalm (1.428 m, ÖK 88/119) auf und arbeitet Mikrofaziestypen von verschiedenen Kalktypen heraus. Außerdem kann er den Wettersteinkalk makro- und mikrofaziell mittels Grünalgen- und Schwammbestimmungen in eine Riff-, Riffschutt- und Lagunenfazies gliedern.

In den 1980er Jahren lenkt Rainer Brandner sein Forschungsinteresse auf die vielfältige Jura-Schichtfolge im Achensee-Gebiet, angeregt durch Vorstudien für das TRANSALP-Tiefenseismik-Projekt. Axel Spieler (Dissertant) führt hierzu eine sehr detaillierte Kartierung im Maßstab 1:10.000 des Bächentales, des westlichen Achentales und des Gebietes nordwestlich Pertisau (ÖK 119) durch. Im Mittelpunkt steht die Detailuntersuchung der kleinräumigen faziellen Diversifizierung im Unterjura, die aus zahlreichen Profilaufnahmen erarbeitet wird.

Eine erste Zusammenfassung dieser Untersuchungen findet sich in SPIELER & BRANDNER (1989): Impulsartige tektonische Ereignisse steuerten demnach die paläoozeanografischen Verhältnisse und damit ruckartige fazielle und sedimentäre Entwicklungen in der Obertrias und im Jura. Ausgangspunkt war das Zerbrechen der obertriassischen Karbonatplattformen im Rhaetium im Bereich des Achentales, das zur Ausbildung einer N–S streichenden Absenkungszone mit Beckensedimenten (Kössen-Formation, **39**) im Westen und oberrhätischen Riffkalken (**38**) im Osten führte. Diese Faziesanordnung pauste sich noch in den Unterjura durch. Die unterjurassische Beckenkonfiguration ist durch Tiefschwellen-, Beckenrand- und Beckenfazies geprägt. Der Beckenbereich mit der stärksten Subsidenz (Bächental) ist durch die Ablagerung bitumenreicher Mergel („Bächentaler Bitumenmergel", **33**) gekennzeichnet. Diese werden als Bildungen eingeschränkter Zirkulation in Folge eines drastischen übergeordneten Temperaturanstieges im Toarcium (globales „anoxic event") betrachtet. Das „Bächentaler Becken" bildete sich durch tektonische Verkippungen innerhalb eines NE–SW verlaufenden pull-apart-Beckens, das sich an E–W streichenden, überspringenden sinistralen Blattverschiebungen entwickelte. Die für das Kartenblatt charakteristischen, mächtigen oberjurassischen Resedimente und Flachwasserschüttungen (Barmsteinkalk, **29**; Rofan-Brekzie) in das pelagische Ammergauer Becken (Ammergau-Formation, **28**) bringen die Autoren ursächlich mit transpressiver Tektonik in Verbindung. In der oberen Unterkreide erfolgte die westvergente Überschiebung der „Achentaler Schubmasse", damit zusammenhängend die Abscherung und Einengung des Bächentaler Beckens an den vorgegebenen Störungs-

systemen. Die Herausformung der E–W streichenden Karwendel- und Thiersee-Synklinale erfolgte postgosauisch, zumal die „Achentaler Schubmasse“ ebenso von einem E–W-Faltenbau überprägt ist, der auch die Gosau-Sedimente auf ÖK 89 erfasste.

In den Arbeiten von CHANNELL et al. (1990, 1992) wird die jurassische Beckengeometrie und Subsidenzgeschichte in Abhängigkeit von Dehnungstektonik sowie die alpidische Deformation im Bächen- und Achental ausführlich erörtert. Anlass für die detaillierten Paläomagnetik-Untersuchungen war unter anderem die Frage, inwiefern eine mögliche Rotation zur „Achentaler Querstruktur“ geführt hätte.

SAUSGRUBER (1994a) untersucht im Rahmen seiner Diplomarbeit (Betreuer: Rainer Brandner) den komplexen Übergangsbereich zwischen Karwendel- und Thiersee-Synklinale – die „Achentaler Schubmasse“ und Achental-Überschiebung – nach stratigrafisch-faziellen und strukturgeologischen Gesichtspunkten neu. Er verwendet moderne Methoden der Strukturgeologie mit Auswertung der gemessenen Strukturdaten im Schmidt’schen Netz inklusive einer Paläospannungsanalyse. Damit gelingt ihm die Entflechtung der verschiedenen Faltensysteme und der erstmalige Nachweis, dass der vermeintlich überkippte Südschenkel der Thiersee-Synklinale im Bereich der Natterwand – wie früher schon von QUENSTEDT (1933) und SPENGLER (1953) vermutet – der überkippte Vorderschenkel der großen Unnutz- und Guffert-Antiklinale und damit Bestandteil der „Achentaler Schubmasse“ ist (allerdings ist die „Achentaler Schubmasse“ bis zu dem Zeitpunkt nur unklar definiert bzw. abgegrenzt worden). Diese ist also an der Achental-/Thiersee-Überschiebung auf die Thiersee-Synklinale überschoben. Die strukturgeologischen Erkenntnisse sind in einer tektonischen Detailkarte und in mehreren geologischen Profilschnitten anschaulich dargestellt. An stratigrafischen Details kann SAUSGRUBER (1994a) für den Bereich östlich des Achentales im Unter- und Mitteljura eine durchgehende kieselige Hangfazies (Scheibelberg-Formation, **37**; Chiemgauer Schichten, integriert in Allgäu-Formation, **32**) nachweisen. Für den Oberjura kann er das Einsetzen und das nordwärtige Auskeilen der Barmsteinkalk-Schüttungen (**29**) in der pelagischen Ammergau-Formation (**28**) auskartieren, siehe auch SAUSGRUBER (1994b).

Erkenntnisse aus ausgeglichenen Tiefenprofilkonstruktionen

Die oben genannten Arbeiten der Universität Innsbruck laufen in enger Kooperation mit überregionalen strukturgeologischen Untersuchungen der Arbeitsgruppe von Gerhard H. Eisbacher (Karlsruher Institut für Technologie) in den westlichen Nördlichen Kalkalpen mit dem Ergebnis einer tektonischen Übersichtskarte im Maßstab 1:200.000 (EISBACHER & BRANDNER, 1995, 1996). Die Arbeitsgruppe von Eisbacher beginnt in den späten 1980er Jahren mit der Rekonstruktion ausgeglichener Tiefenprofile durch die Nördlichen Kalkalpen: An ausgesuchten N–S-Profilen werden Strukturdaten von der Oberfläche bis an die Basisüberschiebung der Kalkalpen projiziert und mit Daten von Tiefbohrungen und tiefenseismischen Messungen abgeglichen. Die Hauptstrukturen der Kalkalpen (Falten, Decken- und Schuppengrenzen, Basisüberschiebung) werden nach dem Prinzip der ausgeglichenen Längen (ausgeglichene Profile) in der Tiefe rekonstruiert. Ziel ist es, mittels palinspastischer Rückabwicklung der Decken das Maß der Verkürzung der Kalkalpen während der alpidischen Einengung zu quantifizieren. Die bilanzierten Tiefenprofile dieser Arbeitsgruppe sind in EISBACHER et al. (1990), LINZER et al. (1995), AUER (2001) und AUER & EISBACHER (2003a; Abb. 11) veröffentlicht.

In der Arbeit über die heteroaxiale Deformationsgeschichte der Inntal-Decke gehen EISBACHER & BRANDNER (1990, 1995, 1996) auch auf den besonderen strukturellen Baustil des Achensee-Gebietes näher ein. Die Autoren betonen die Dominanz der nordwestvergenten und nach Südwesten abtauchenden, überkippten Unnutz-Antiklinale, die durch steile NW–SE streichende Transferstörungen (Issalm-, Pertisau-Störung, ÖK 89, 119) segmentiert ist. Die Achental-Überschiebung mit der Unnutz-Antiklinale im Hangenden („Achentaler Schubmasse“) scherte vermutlich im Verzahnungsbereich Wettersteinkalk-Plattform/Partnach-Becken oder an einer NE–SW streichenden synsedimentären jurassischen Abschiebung entlang des Achentales ab und war damit faziell vorgegeben.

AUER & EISBACHER (2003a, b) errechnen entlang der TRANSALP-Trasse durch Auswertung von Oberflächendaten und Interpretation seismischer Profile der OMV im Abschnitt Schliersee–Inntal aus der Rückabwicklung der Deformation mittels Schichtlängenausgleich am Kontakt Nordalpine Raibler Schichten (**43**) zu Hauptdolomit (**41**) eine Verkürzung der Kalkalpen von etwa 80 km (73 %). Die Verkürzung manifestiert sich von Norden nach Süden in vier strukturellen Stapeln (Cenomanium-Randschuppe, Allgäu-Decke, basale Schuppen der Lechtal-Decke und eigentliche Lechtal-Decke), die im Zuge der zweiphasigen Einengung (prägosauische WNW- bis NNW- und paläo- bis neogene N- bis NNE-Einengung) geformt wurden. Die konstruierten geologischen Profile basieren unter anderem auf den seismischen Profilen der OMV. Die im Tiefenprofil stärksten seismischen Reflektoren (Evaporite und Dolomite der Reichenhall-Formation und der Nordalpinen Raibler Schichten, **43**) sind die prädestinierten Abscherhorizonte. Einer der Hauptreflektoren der für das gegenständliche Kartenblatt relevanten Lechtal-Decke (im Sinne von AUER & EISBACHER, 2003a, b) streicht im Kern der Thiersee-Synklinale aus und wird mit dem Verlauf der großen internen Achental-Überschiebung korreliert. Im extrapolierten geologischen Tiefenprofil wird die Reichweite dieser Überschiebung weit nach Süden bis fast zur Inntal-Störung vermutet. Der Versatz an der Überschiebung wird auf mindestens 5 km errechnet. Das angenommene kristalline Basement der Lechtal-Decke wird bis unter die Guffert-Antiklinale hineingezeichnet. Laut Seismik könnte in dieser Antiklinale eine pop-up-Struktur stecken (Abb. 11).

BEER (2003; Arbeitsgruppe von Hubert Miller, Ludwig-Maximilians-Universität München) stellt in seiner Dissertation tektonische Vergleiche zwischen der „Achentaler Schubmasse“ und der „Salzachstörung“ an. Er scheidet in zeitlicher Reihenfolge fünf Deformationsphasen aus: 1. N–S-Faltung, 2. NW-gerichtete Überschiebung der „Achentaler Schubmasse“, 3. N–S-Faltung der „Achentaler Schubmasse“, 4. SW–NE-Faltung, 5. Querwellung der E–W streichenden Falten. BEER (2003) geht – wie schon NAGEL

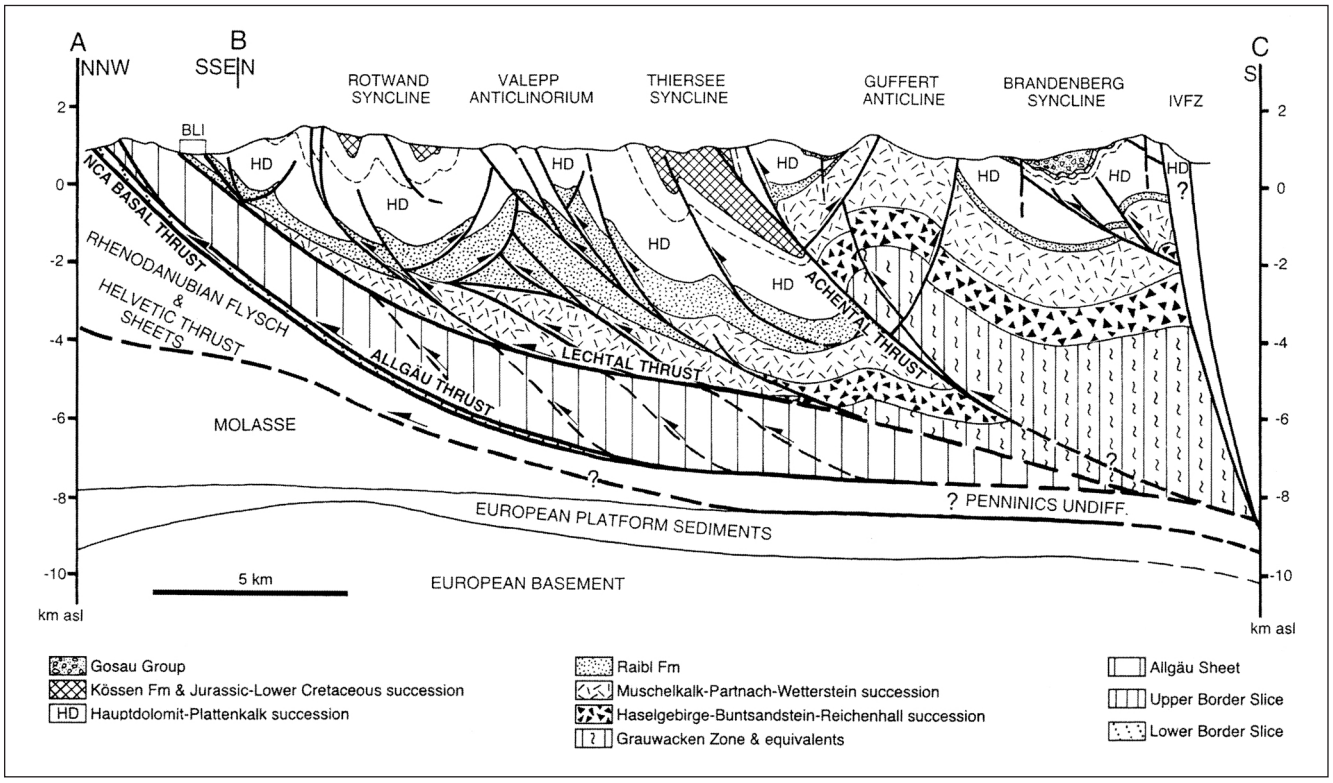


Abb. 11.
Ausgeglichenes Tiefenprofil von AUER & EISBACHER (2003a) entlang der Trans-Alp-Trasse, das durch eine tiefwurzelnde, steile Achental-Überschiebung geprägt ist. Zum einen streicht diese nach Norden in der Thiersee-Synklinale aus, zum anderen ist im Hangendblock die markante, pop-up-artig hochgepresste Guffert-Antiklinale entwickelt.

(1975) – von einer langandauernden, bis in das Oligozän reichenden Kompression in N–S-Richtung aus. Laut BEER (2003) zeigen die Reflektoren unpublizierter Seismikprofile der OMV im Raum Achenkirch–Steinberg keine Tiefenfortsetzung der „Achentaler Schubmasse". Daher stellt die Achental-Überschiebung für ihn nur eine oberflächennahe, flach südfallende Überschiebung dar. Die Entstehung der „Achentaler Schubmasse" wird derart erklärt, dass ab der Oberkreide die ursprünglich E–W streichende, überkippte Antiklinale des Unnutz-Massivs im Zwickel zwischen der sinistralen Achensee-Störung und der dextralen Rotmöserkopf-Störung gegen den Uhrzeigersinn nach Nordwesten gedreht und verschoben wurde (vgl. NAGEL, 1975). Die Nordwestüberschiebung der „Achentaler Schubmasse" erfolgte demnach auf einen bereits älteren E–W streichenden Faltenbau. Im Paläogen und Neogen wurden Liegendes und Hangendes der Achental-Überschiebung zusammen in N–S- und NNE–SSW-Richtung kompressiv überprägt.

ORTNER (2003) versucht eine Synthese des tektonischen Baus und der Deformationsabfolge im Gebiet zwischen den Ostenden der Karwendel- und der Thiersee-Synklinale. Er stellt, ausgehend von der Thiersee-Synklinale, anhand der Thiersee- und Achental-Überschiebung ein Entwicklungsmodell der „Achentaler Schubmasse" vor. Im Thierseer Tal (ÖK 89, 90) kommen im Liegenden und im Hangenden der E–W streichenden Thiersee-Überschiebung synorogene Gosau-Sedimente vor. Daraus schließt ORTNER (2003) auf ein postgosauisches Alter dieser Überschiebung. Das Hangende der Thiersee-Überschiebung wird im Gebiet des Kartenblattes (Guffert-Schneidjoch) aus der großen liegenden Guffert-Antiklinale gebildet. Da diese ebenso E–W streicht, wird ihre Entstehung zeitgleich mit der Thiersee-Überschiebung angenommen. Die Achental-Überschiebung ist laut dem Autor die direkte Westfortsetzung der Thiersee-Überschiebung ab deren Umbiegen nach Süden am Mahmooskopf. Deren Hangendes („Achentaler Schubmasse") stellt die NNE–SSW streichende, liegende Unnutz-Antiklinale dar. ORTNER (2003) erklärt sich die Entstehung der „Achentaler Querstruktur" wie folgt: Zuerst bildete sich eine Antiklinale mit Wettersteinkalk (**47–50**) im Kern und einem basalen Abscherhorizont unterhalb davon („fault propagation fold") während westgerichteter Überschiebung (= Achental-Überschiebung). Die Faltung wurde von westgerichteter, schichtparalleler Scherung begleitet, die in den Nordalpinen Raibler Schichten (**43**) ablief und zur Bildung der liegenden Isoklinalfalte westlich des Unnutz-Massivs führte. In der nachfolgenden postgosauischen Deformation wurde die Thiersee-Überschiebung aktiviert und die Guffert-Antiklinale angelegt. Gleichzeitig damit wurde die Achental-Überschiebung reaktiviert, indem die liegende Unnutz-Antiklinale schräg abgeschnitten und nach NNW transportiert wurde. Die Achental-Überschiebung und die Unnutz-Antiklinale wurden dadurch selbst wieder verfaltet. Die jüngsten Sedimente im Liegenden der Achental-Überschiebung haben ein Barremium-Alter (Unterkreide) und geben damit das Maximalalter dieser Überschiebung an.

TÖCHTERLE (2005) bearbeitet im Rahmen des TRANSALP-Tiefenseismik-Projektes stratigrafisch und strukturgeologisch einen Nord–Süd-Streifen in der Thiersee-Synklinale des Brandenberger Tales (ÖK 89). Er liefert eine genaue Beschreibung der dort vorkommenden obertriassischen bis oberkretazischen Schichtglieder mit Fokus auf die synorogenen Sedimente der Gosau-Gruppe.

Anhand von N–S verlaufenden bilanzierten Profilen, die verschiedene Entwicklungsstadien zu verschiedenen Zeiten (obere Unterkreide, Oberkreide, heute) zeigen, wird die Deformationsgeschichte entlang der TRANSALP-Trasse rekonstruiert. Dank der Gosau-Sedimente kann er präund postgosauische Deformationsstrukturen klar trennen. TÖCHTERLE (2005) geht näher auf die Jura-Beckenentwicklung ein, die er – dem Konzept von SPIELER & BRANDNER (1989) folgend – mit N–S streichenden Halbgrabenbildungen in einem Pull-apart-Becken, das sich zwischen sinistralen E–W streichenden Seitenverschiebungen entwickelt, erklärt. Die nördliche dieser Störungen befindet sich im Bereich der späteren Thiersee-Synklinale. Die jurassische Extensionstektonik ist durch Brekzienbildungen dokumentiert. Im Zuge der eoalpidischen Gebirgsbildung (NW-Einengung) entsteht die südliche Thiersee-Überschiebung, welche die Sedimentation beendet und in deren Hangendblock sich bereits in wesentlichen Zügen große Antiklinal- und Synklinalstrukturen wie die Guffert-Pendling-Antiklinale herausformen. In der Folge treten innerhalb des ostalpinen Akkretionskeiles Abschiebungen und starke Erosion auf, die zusammen mit den eoalpidischen Strukturen nachfolgend mit den Sedimenten der Gosau-Gruppe plombiert werden. Im Paläogen werden die Gosau-Sedimente und ihr bereits deformierter Untergrund neuerlich deformiert. Im Bereich der Thiersee-Synklinale bildet sich die bedeutende nordvergente, nördliche Thiersee-Überschiebung heraus, der Nordschenkel der Thiersee-Synklinale wird steil gestellt.

Die von TÖCHTERLE (2005) und anderen aus dem Projekt gewonnenen strukturgeologischen Neuergebnisse (Thiersee-Überschiebung, Guffert-Pendling-Antiklinale, Brixlegg-Überschiebung, Subtauern-Rampe, Inntal-Störung) für den Tiroler Raum (Nördliche Kalkalpen-Südrand bis Tauernfenster-Nordrand) sind in der Arbeit von ORTNER et al. (2006) und im Exkursionsführer von LAMMERER et al. (2011) zusammenfassend dargestellt. Der letzte Stand zur Mechanik und Kinematik und zu den Faltenstrukturen der „Achentaler Schubmasse“ ist in ORTNER & GRUBER (2011), VAN KOOTEN (2018) und ORTNER & THÖNY (2019) wiedergegeben.

Paläomagnetische Untersuchungen

CHANNELL et al. (1990, 1992) führen paläomagnetische Untersuchungen an Jura-Rotsedimenten der Nördlichen Kalkalpen (auch im Achensee-Gebiet) zwecks Ermittlung von Rotationen im Zuge der alpidischen Gebirgsbildungen durch. Die zentrale Aussage aus den paläomagnetischen Daten ist, dass diese in der Karwendel-Synklinale, in der „Querstruktur von Achenkirch“ und in der Thiersee-Synklinale überall eine konstante Ausrichtung der Magnetisierung anzeigen. Die Autoren sehen darin einen Beweis, dass die vermeintliche S-Form des Übergangs von der Karwendel- in die Thiersee-Synklinale nicht durch Rotation während der alpidischen kompressiven Deformation entstanden ist.

Im Rahmen ihrer paläomagnetischen Untersuchungen zu vermuteten Blockrotationen in den Ostalpen beproben THÖNY & ORTNER (2001) sowie THÖNY et al. (2002, 2006) auch das Schichtenprofil (Obertrias bis Unterkreide) im überkippten Liegendschenkel der „Achentaler Schubmasse“ am oberen Ampelsbach und setzen sich mit der kretazischen bis „tertiären“ Deformationsgeschichte der Thiersee-Überschiebung (siehe auch ORTNER, 2003) und der Guffert-Pendling-Antiklinale auseinander, die von der TRANSALP-Trasse durchörtert werden. Am Ampelsbach kann keine primäre Magnetisierung festgestellt werden. Das gesamte Profil zeigt eine überprägende Magnetisierung, die zeitgleich mit der post-unteroligozänen, vermutlich miozänen Faltung erfolgte. Diese Magnetisierung wurde später um etwa 20° im Uhrzeigersinn rotiert (ORTNER et al., 2015). Die Rotation fand in den Nördlichen Kalkalpen an großen NE- bis ENE streichenden sinistralen Störungen (z.B. Inntal-Störung) im Dominostil statt (ORTNER et al., 2015).

Forschungen zu den „Bächentaler Bitumenmergeln“

Die Bedeutung der „Bächentaler Ölschiefer“ als Rohstoff für Brenn- und Heilzwecke wird schon früh von MÜLLER (1782, zitiert in MUTSCHLECHNER, 1980) hervorgehoben, gerät jedoch rasch wieder in Vergessenheit. Mit der Wiederentdeckung und Wiederaufnahme des Abbaus im Jahr 1911 durch die Gebrüder Albrecht aus Pertisau präsentiert SANDER (1921, 1922) erstmals eine genaue petrografische und mineralogische Beschreibung der Bitumenmergel, die auch Angaben zu deren stratigrafischen und tektonischen Lagerungsverhältnissen beinhaltet. Funde von *Harpoceras* sp. erlauben ihm die zeitliche Einstufung in den oberen Unterjura. HRADIL & FALSER (1930) vermuten eine größere Verbreitung der Bitumenmergel bis zum Juifen hin (BODEN, 1935, fand die Bitumenmergel auch noch im weiter nördlich gelegenen Roßstein- und Buchsteingebiet) und berichten über physikalische und chemische Eigenschaften, Gewinnungsmethoden (Schweltechniken) und Verwendungszwecke der Ölschiefer im Allgemeinen. BITTERLI (1962) steuert Ergebnisse chemischer Analysen bei. SPIELER & BRANDNER (1989) und SPIELER (1994, 1995) führen mittels Profilaufnahmen und Mikrofaziesanalysen detaillierte stratigrafische Untersuchungen sowie eine genaue Kartierung der Verbreitung der Bitumenmergel durch und postulieren für den Ablagerungsraum ein lokal begrenztes, aber sedimentologisch dynamisches „Bächentaler Becken“, dessen Entstehung mit pull-apart-Tektonik verbunden wird. LOBITZER et al. (1988, 1994), KODINA et al. (1988), SOLTI et al. (1987), SOLTI & LOBITZER (1989), EBLI (1991, 1997) und EBLI et al. (1998) liefern Beiträge zur Stratigrafie, Fazies, Paläontologie und organischen Geochemie.

In jüngster Zeit versuchen NEUMEISTER et al. (2011, 2015) mit einem multidisziplinären Ansatz (Mineralogie, Geochemie, Kohlenstoffisotopie, Kohlenwasserstoffpetrologie etc.) die Redoxbedingungen und die daraus sich ergebenden Anreicherungen von organischem Kohlenstoff im Bächentaler Becken zu klären. Sie führen diese Sonderausbildung auf das Zusammenwirken von globalen (eustatische Meeresspiegelschwankungen, Vulkanismus) und lokalen Einflussfaktoren (Redox- und Salinitätsverhältnisse, Beckenmorphologie) zurück. Aufgrund biostratigrafischer Vergleiche mit den verwandten Bildungen der

Posidonienschiefer in Südwestdeutschland gelangen die Autoren zu einem Beginn der Schwarzschieferbildung im Bächental bereits im oberen Pliensbachium. In NEUMEISTER et al. (2016) wird die Verteilung von Spurenelementen untersucht, die typisch für reduzierende Milieus sind (Molybdän, Uran, Vanadium, Kupfer, Nickel), um Variationen der Redoxbedingungen während der Ablagerung der „Bächentaler Bitumenmergel" zu ermitteln. Die Anreicherung der Spurenelemente wird dabei direkt durch siliziklastischen Eintrag und die Anreicherung organischen Materials befeuert.

SUAN et al. (2016) setzen sich kritisch mit den bisherigen biostratigrafischen Daten zum „Bächentaler Bitumenmergel" auseinander, insbesondere mit der Arbeit von NEUMEISTER et al. (2015). Sie nehmen eine Revision der bereits publizierten Ammonitenbestimmungen vor. Zusammen mit neuen Ammonitenfunden und Nannofossilbestimmungen wird der Beginn der Bitumenanreicherung in den Mergeln („anoxic event") gegenüber NEUMEISTER et al. (2015) auf Unteres Toarcium korrigiert.

ANGERMAIER (2015) stellt in seiner Masterarbeit mit verschiedenen Methoden (Dünnschliff- und Rasterelektronenmikroskopie, Pulverdiffraktometrie, Kohlenstoffisotopie) fazielle Vergleiche zwischen den Beckensedimenten der Bitumenmergel im Steinbruch Bächental und den gleich alten Hang- und Schwellensedimenten am Fohnsjoch an. Er weist darauf hin, dass beide Profile durch komplexe synsedimentäre bis syndiagenetische gravitative Prozesse (Rutschfaltung, Gleitung, submarine Schuttstromablagerung, Turbidite) und spätere tektonische Überprägungen gekennzeichnet sind und dadurch deren chrono- und isotopenstratigrafische Aussagekraft mit Vorsicht zu betrachten seien. Die mineralogische Zusammensetzung, Kohlenstoff- und Karbonatisotopie der Bitumenmergel sowie Kontrollfaktoren der Schwarzschiefergenese und die palinspastische Hangneigungsrekonstruktion zwischen Schwelle und Becken werden im Detail herausgearbeitet. Zuletzt wird ein Sedimentationsmodell des Bächentaler Beckens für den Zeitraum Rhaetium bis Unterkreide entworfen.

Literatur

AMPFERER, O. (1902a): Über den geologischen Zusammenhang des Karwendel- und Sonnwendgebirges. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1902**, 104–113, Wien.

AMPFERER, O. (1902b): Bericht über die Neuaufnahme des Karwendelgebirges. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1902**, 274–276, Wien.

AMPFERER, O. (1903a): Die neueste Erforschung des Sonnwendgebirges im Unterinnthal. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1903**, 41–51, Wien.

AMPFERER, O. (1903b): Geologische Beschreibung des nördlichen Theiles des Karwendelgebirges. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **53**, 169–252, Wien.

AMPFERER, O. (1905a): Geologische Beschreibung des Seefelder-Mieminger und südlichen Wettersteingebirges. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **55**, 451–562, Wien.

AMPFERER, O. (1905b): Einige allgemeine Ergebnisse der Hochgebirgsaufnahme zwischen Achensee und Fernpaß. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1905**, 118–125, Wien.

AMPFERER, O. (1905c): Aus der geologischen Geschichte des Achensees. – Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, **XXXVI** (1905), 1–15, Innsbruck.

AMPFERER, O. (1907): Über Gehängebrekzien der Nördlichen Kalkalpen. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **57**, 727–752, Wien.

AMPFERER, O. (1908): Studien über die Tektonik des Sonnwendgebirges. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **58**, 281–304, Wien.

AMPFERER, O. (1912a): Geologische Spezialkarte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie 1:75.000, Blatt 4947 Achenkirch und Benedictbeuern. – 1 Blatt, k. k. Geologische Reichsanstalt, Wien.

AMPFERER, O. (1912b): Gedanken zur Tektonik des Wettersteingebirges. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1912**, 197–212, Wien.

AMPFERER, 0. (1914a): Besprechung mit O. Schlagintweit, K. Ch. v. Loesch und H. Mylius über das Wettersteingebirge. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1914**, 338–352, Wien.

AMPFERER, O. (1914b): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte 1:75.000 Österreich-Ungarns, Blatt Achenkirchen. – 30 S., k. k. Geologische Reichsanstalt, Wien.

AMPFERER, O. (1914c): Über den Bau der westlichen Lechtaler Alpen. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **64**, 307–326, Wien.

AMPFERER, O. (1919): Landschaft und Geologie des Achensees. – Die Wasserwirschaft, Sonderheft 2019: Der Achensee und die Ausnützung seiner Wasserkräfte, 1–3, Wien.

AMPFERER, O. (1921): Über NW-Beanspruchungen in den Nordalpen. – Jahrbuch der Geologischen Staatsanstalt, **71**, 198–202, Wien.

AMPFERER, O. (1924a): Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen, 1. Fortsetzung. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **74**, 35–73, Wien.

AMPFERER, O. (1924b): Über die Tektonik der Alpen. – Die Naturwissenschaften, **12**, 1–24, Berlin.

AMPFERER, O. (1925a): Geologische Spezialkarte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie 1:75.000, Blatt 4948 Kufstein. – 1 Blatt, Geologische Bundesanstalt, Wien.

AMPFERER, O. (1925b): Über Wachstumsunterschiede zwischen Fern- und Nahgletschern. – Die Eiszeit: Zeitschrift für allgemeine Eiszeitforschung, **2**, 41–49, Wien.

AMPFERER, O. (1928): Die Reliefüberschiebung des Karwendelgebirges. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **78**, 241–256, Wien.

AMPFERER, O. (1929a): Einige Beispiele von Kerbwirkung und Reliefüberschiebung aus den Südtiroler Dolomiten. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **79**, 241–256, Wien.

AMPFERER, O. (1929b): Über die Ablagerungen der Schlußeiszeit in der Umgebung des Arlbergpasses. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **79**, 307–332, Wien.

AMPFERER, O. (1936): Waren die Alpen zwischen Würmeiszeit und Schlußvereisung unvergletschert? – Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften Wien, Abteilung I, **145**, 201–208, Wien.

AMPFERER, O. (1939): Über einige Formen der Bergzerreißung. – Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften Wien, Abteilung I, **148**, 1–14, Wien.

AMPFERER, O. (1940a): Zum weiteren Ausbau der Lehre von den Bergzerreißungen. – Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften in Wien, Abteilung I, **149**, 51–70, Wien.

AMPFERER, O. (1940b): Die Neuaufnahme des Karwendelgebirges. – Mitteilungen des Alpenländischen geologischen Vereines, **32**, 119–123, Wien.

AMPFERER, O. (1940c): Über die geologischen Aufschlüsse beim Bau der neuen Achenseestraße auf der Strecke zwischen Wiesing und Scholastika. – Geologie und Bauwesen, **11**, 12 S., Wien.

AMPFERER, O. (1941a): Tektonische Nachbarschaft Karwendel-Sonnwendgebirge. – Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften in Wien, Abteilung I, **150** (1940), 181–199, Wien.

AMPFERER, O. (1941b): Bergzerreißungen im Inntalraume. – Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften in Wien, Abteilung I, **150** (1940), 97–114, Wien.

AMPFERER, O. (1946): Geologische Formenwelt und Baugeschichte des östlichen Karwendelgebirges. – Denkschriften der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften in Wien, **106**, 1–95, Wien.

AMPFERER, O. & BERGER, J. (1929): Vom geologischen Aufbau der Achenseeufer, seine Auswirkung bei der Spiegelabsenkung. – Schweizerische Bauzeitung, **93–94**/14, 170–174, Zürich.

AMPFERER, O. & HAMMER, W. (1898): Geologische Beschreibung des südlichen Theiles des Karwendelgebirges. – 1 geologische Karte 1:50.000. – k. k. Geologische Reichsanstalt/Militärgeographisches Institut, Wien.

AMPFERER, O. & HAMMER, W. (1899): Geologische Beschreibung des südlichen Theiles des Karwendelgebirges. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **48**, 289–374, Wien.

AMPFERER, O. & HEISSEL, W. (1950a): Geologische Karte des östlichen Karwendel und des Achensee-Gebietes 1:25.000. – 1 Blatt, Innsbruck (Universitätsverlag Wagner).

AMPFERER, O. & HEISSEL, W. (1950b): Das östliche Karwendel. Erläuterungen zur geologischen Karte des östlichen Karwendel und des Achensee-Gebietes. – 55 S., 1 Profil, 1 tektonische Übersichtskarte, Innsbruck (Universitätsverlag Wagner).

AMPFERER, O. & OHNESORGE, T. (1912): Geologische Spezialkarte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie 1:75.000, Blatt 5047 Innsbruck und Achensee. – 1 Blatt, k. k. Geologische Reichsanstalt, Wien.

AMPFERER, O. & OHNESORGE, T. (1918): Geologische Spezialkarte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie 1:75.000, Blatt 5048 Rattenberg. – 1 Blatt, k. k. Geologische Reichsanstalt, Wien.

AMPFERER, O. & OHNESORGE, T. (1924): Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Republik Österreich, Blatt Innsbruck-Achensee (5047). – 108 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.

AMPFERER, O. & PINTER, K. (1927): Über geologische und technische Erfahrungen beim Bau des Achenseewerkes in Tirol. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **77**, 279–332, Wien.

ANGERMAIER, J. (2015): Der Jura zwischen Fonsjoch und Ölschieferabbau im Bächental. – Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Innsbruck, 109 S., Innsbruck.

AUER, M. (2001): Struktur und Kinematik der nördlichen Kalkalpen im TRANSALP-Profil (Südbayern, Nordtirol). – Unveröffentlichte Dissertation, Universität Karlsruhe, 132 S., Karlsruhe.

AUER, M. & EISBACHER, G.H. (2003a): Deep structure and kinematics of the Northern Calcareous Alps (TRANSALP profile). – International Journal of Earth Sciences, **92**, 210–227, Stuttgart.

AUER, M. & EISBACHER, G.H. (2003b): Structure and Kinematics of the Northern Calcareous Alps along the Transalp-Profile. – Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, **25**, 19–20, Innsbruck.

BACHMANN, G.H. & MÜLLER, M. (1981): Geologie der Tiefbohrung Vorderriß (Kalkalpen, Bayern). – Geologica Bavarica, **81**, 17–53, München.

BACHMANN, G.H. & MÜLLER, M. (2011): Exkursion E4c – Tiefbohrung Vorderriß I. – In: GRUBER, A. (Red.): Arbeitstagung 2011 der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 88 Achenkirch, 255–260, Wien.

BADER, K. (1979): Exarationstiefen würmeiszeitlicher und älterer Gletscher in Südbayern (Trennung eisvorbelasteter und nicht eisvorbelasteter Sedimente aufgrund der seismischen Geschwindigkeiten). – Eiszeitalter & Gegenwart, **29**, 49–62, Hannover.

BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996): Geologische Karte von Bayern 1:500.000. – 1 Blatt, GLA, München.

BEER, E. (2003): Vergleichende tektonische Untersuchungen an zwei längsalpinen Störungen: der Achentaler Schubmasse und der Salzachstörung. – Unveröffentlichte Dissertation, Universität München, 135 S., München.

BITTERLI, P. (1962): Studien an bituminösen Gesteinen aus Österreich und benachbarten Gebieten. – Erdoel-Zeitschrift, **78**/7, 405–416, Wien–Hamburg (Urban-Verlag).

BLAAS, J. (1889a): Ein Profil durch den Achensee-Dammschotter. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1889**, 232–234, Wien.

BLAAS, J. (1889b): Über sogenannte interglaziale Profile. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **39**, 477–482, Wien.

BLAAS, J. (1891): Notizen über diluvioglaziale Ablagerungen im Inntalgebiete. – Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins Innsbruck, **19**, 92–136, Innsbruck.

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

BODEN, K. (1915): Geologische Aufnahme der Tegernseer Berge im Westen der Weißach. – Geognostische Jahreshefte, **27**, 173–214, Profilschnitte, 1 geologische Karte 1:25.000, München.

BODEN, K. (1935): Die geologische Aufnahme des Roßstein- und Buchstein-Gebietes zwischen der Isar und dem Schwarzenbach. – Abhandlungen der Geologischen Landesuntersuchung am Bayerischen Oberbergamt, **17**, 7–45; **18**, 3–57, München.

BRANDNER, R. (1980): Geologische Übersichtskarte von Tirol 1:300.000. – Tirol Atlas, Institut für Geographie, Abteilung Landeskunde, Innsbruck.

BRANDNER, R. (2013): Alpen-Profil. Geologischer Schnitt von Bad Tölz bis zum Schlern. – https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20466.81603

BRANDNER, R. (2019): Spuren von Stein und Eis. Die geologische Entstehung der Landschaft. Außergewöhnliche Landschaft – außergewöhnliche Geologie. – In: SONNTAG, H., STRAUBINGER, F., BRANDNER, R., SPÖTL, C. & VON NICOLAI, C. (Hrsg.): Großer Ahornboden. Eine Landschaft erzählt ihre Geschichte, 2. Auflage, 35–48, Wattens (Berenkamp).

BRANDNER, R. & GRUBER, A. (2011): Exkursion E2a – Rofangebirge. – In: GRUBER, A. (Red.): Arbeitstagung 2011 der Geologischen Bundesanstalt Blatt 88 Achenkirch, 149–167, Wien.

BUNZA, G. (1971): Geologische Kartierung zwischen Achental, Ampelsbach und Grund-Ache (bei Achenthal und Steinberg am Rofan, Sonnwendgebirge, Nordtirol) unter besonderer Berücksichtigung der Trias des Unutz-Guffert-Gewölbes. Ein Beitrag zur Stratigraphie und Fazieskunde der Nördlichen Kalkalpen. – Unveröffentlichte Inaugural-Dissertation, Universität Innsbruck, XI + 130 S., Innsbruck.

BURGER, U., EDER, S. & POSCHER, G. (2011): Exkursion E1 – Faziesmodell der Zentralalpinen Kiese und deren Deckschichten als Grundlage für den Ausbau der wasserwirtschaftlichen Nutzung des Achenseedamms. – In: GRUBER, A. (Red.): Arbeitstagung 2011 der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 88 Achenkirch, 141–148, Wien.

Channell, J.E.T., Brandner, R., Spieler, A. & Smathers, N.P. (1990): Mesozoic paleogeogra-phy of the Northern Calcareous Alps – evidence from paleomagnetism and facies analysis. – Geology, **18**, 828–831, Boulder.

Channell, J.E.T., Brandner, R., Spieler, A. & Stoner, J.S. (1992): Paleomagnetism and paleo-geography of the Northern Calcareous Alps (Austria). – Tectonics, **11**/4, 792–810, Washington, D.C.

Clark, W.B. (1887): Über die geologischen Verhältnisse der Gegend nordwestlich vom Achensee mit besonderer Berücksichtigung der Bivalven und Gastropoden des unteren Lias. – Unveröffentlichte Dissertation, Universität München, 45 S., München.

Czurda, K.A. & Bertha, B. (1984): Verbreitung und rohstoffmäßige Eignung von Tonen und Tongesteinen in Nordtirol. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **5**, 15–28 Wien.

Dacqué, E. (1912): Geologische Aufnahme des Gebietes um den Schliersee und Spitzingsee in den oberbayerischen Alpen. – Landeskundliche Forschungen, herausgegeben von der Geographischen Gesellschaft in München, **15**, 1–68, München.

Diener, C. (1885a): Über das Vorkommen von Hierlatz-Schichten in der Rofangruppe. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1885**, 82, Wien.

Diener, C. (1885b): Über den Lias der Rofan-Gruppe. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **35**, 27–36, Wien.

Diettrich, T. (1970): Die Geologie der Thiersee-Mulde zwischen Dollmannsbach und Unterautal. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 78 S., Berlin.

Doben, K. (1991): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8335 Lenggries. Mit Erläuterungen. – 120 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

Doben, K. (1993): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8434 Vorderriß. Mit Erläuterungen. – 73 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

Doben, K. (1995): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8336 u. 8436 Rottach-Egern. – Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

Ebli, O. (1991): Fazies, Paläontologie und organische Chemie der Sachranger Schiefer (Untertoarcium) im Mittelabschnitt der nördlichen Kalkalpen zwischen Isar und Saalach. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **134**, 5–14, Wien.

Ebli, O. (1997): Sedimentation und Biofazies an passiven Kontinentalrändern: Lias und Dogger des Mittelabschnitts der Nördlichen Kalkalpen und des frühen Atlantik (DSDP site 547B, offshore Marokko). – Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe A – Geologie und Paläontologie, **32** (1997), 255 S., München (Friedrich Pfeil).

Ebli, O., Vetö, I., Lobitzer, H., Sajgó, C., Demény, A. & Hetényi, M. (1998): Primary productivity and early diagenesis in the Toarcian Tethys on the example of the Mn-rich black shales of the Sachrang-Formation, Northern Calcareous Alps. – Organic Geochemistry, **29**/5–7, 1635–1647, London.

Ehlers, H. (1969): Die Geologie der Thierseemulde zwischen Natterwand und Hofjoch. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 77 S., Berlin.

Eisbacher, G. & Brandner, R. (1990): Platznahme und Deformation der Inntaldecke, Nördliche Kalkalpen. – TSK III. 3. Symposium für Tektonik, Strukturgeologie, Kristallingeologie im deutschsprachigen Raum Graz, 19.–21.April 1990, Kurzfassungen der Vorträge und Poster (1990), 50–51, Graz.

Eisbacher, G. & Brandner, R. (1995): Role of high-angle faults during heteroaxial contraction, Inntal thrust sheet, Northern Calcareous Alps, western Austria. – Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, **20**, 389–406, Innsbruck.

Eisbacher, G.H. & Brandner, R. (1996): Superposed fold thrust structures and high angle faults, northwestern Calcareous Alps, Austria. – Eclogae Geologicae Helvetiae, **89**, 553–571, Basel.

Eisbacher, G., Linzer, H.-G., Meier, L. & Polinski, R. (1990): A depht-extrapolated structural transect across the Northern Calcareous Alps of western Tirol. – Eclogae Geologicae Helvetiae, **83**/3, 711–722, Basel.

Fabricius, F. (1959): Vorschlag zur Umbenennung von „Oberrhätkalk“ in „Rätolias-Riffkalk“ (Nördliche Kalkalpen). – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Mitteilungshefte, **1959**/12, 546–549, Stuttgart.

Fabricius, F. (1962): Faziesentwicklung an der Trias-Jura-Wende in den mittleren Nördlichen Kalkalpen. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, **113**, 311–319, Hannover.

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

Fiedler-Volmer, R. (1968): Zur Geologie der Thiersee-Mulde zwischen Guffert-Hütte und Natterwand. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 82 S., Berlin.

Frank, H. (1979): Glazial übertiefte Täler im Bereich des Isar-Loisach-Gletschers: Neue Erkenntnisse über Aufbau und Mächtigkeit des Quartärs in den alpinen Tälern, im Gebiet des „Murnauer Schotters“ und im „Tölzer Lobus“ (erste Mitteilung). – Eiszeitalter & Gegenwart, **29**, 77–100, Hannover.

Fuchs, A. (1944): Untersuchungen am tektonischen Gefüge der Tiroler Alpen. II. Kalkalpen Achensee – Karwendelgebirge. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, Abteilung B, **88**, 337–373, Stuttgart.

Gawlick, H.-J., Suzuki, H. & Missoni, S. (2011): Neue Radiolarienfaunen aus der Ruhpolding-Formation im Liegenden der Rofan-Brekzie des Rofan-/Sonnwendgebirges: Implikationen zur Deckenneugliederung der westlichen Nördlichen Kalkalpen. – In: Gruber, A. (Red.): Arbeitstagung 2011 der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 88 Achenkirch, 39–50, Wien.

Geognostischer Verein für Tirol und Vorarlberg (Hrsg.) (1849): Geognostische Karte Tirols im Maßstab 1:115.200, Bozen.

Geyer, G. (1886): Ueber die Lagerungsverhältnisse der Hierlatz-Schichten in der südlichen Zone der Nordalpen vom Pass Pyhrn bis zum Achensee. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **36**, 215–294, Wien.

Gruber, A. & Brandner, R. (2012): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 88 Achenkirch. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.

Gruber, A., Wischounig, L. & Sanders, D. (2011): Exkursion E4a – Ablagerungs- und Flussgeschichte während des späten Quartärs im Bereich nördlich des Rofan. – In: Gruber, A. (Red.): Arbeitstagung 2011 der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 88 Achenkirch, 226–246, Wien.

Gruber, A., Lotter, M. & Brandner, R. (in Druck): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50.000 – Blatt 88 Achenkirch. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

Gümbel, C.W. v. (1861): Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes. – 950 S., 42 Prof.-Taf., 1 Karte, 5 geologische Kartenblätter 1:100.000, u.a. III Werdenfels, IV Miesbach, Gotha, Faksimile-Ausgabe zum 100. Todestag 1998, München (Dr. Friedrich Pfeil).

Gümbel, C.W. v. (1894): Geologie von Bayern, II. Band. Geologische Beschreibung von Bayern. – 1184 S., Kassel (T. Fischer).

Hahn, F.F. (1911): Neue Funde in nordalpinem Lias der Achenseegegend und bei Ehrwald. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilagen-Band, **32**, 535–577, Stuttgart.

HARDETERT, P. (1985): Cephalopodenkiefer aus dem Mesozoikum des Achentals (Nordtirol/Österreich). – Unveröffentlichte Dissertation, Universität Münster, 195 S., Münster.

HARDETERT, P. & RIEGRAF, W. (1990): The Tübingen fossil collections of WERNER QUENSTEDT (1893–1960): Mesozoic cephalopod jaws (Rhyncholithes, Aptychi) from the Achensee area (Tyrol, Austrian Alps). – Paläontologische Zeitschrift, **64**/1–2, 63–73, Stuttgart.

HEISSEL, G. (1977): Die geologische Neuaufnahme des Karwendelgebirges und seine tektonische Ausdeutung. – Unveröffentlichte Dissertation, Universität Innsbruck, 372 S., 1 geologische Karte 1:20.000, 1 tektonische Karte 1:100.000, 17 Profile 1:25.000, Innsbruck.

HEISSEL, G. (1978): Karwendel – geologischer Bau und Versuch einer tektonischen Rückformung. – Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, **8**, Festschrift W. Heissel, 227–288, Innsbruck.

HILLEBRANDT, A. v. & KMENT, K. (2009): Die Trias/Jura-Grenze und der Jura in der Karwendelmulde und dem Bayerischen Synklinorium. – Exkursionsführer, Deutsche Stratigraphische Kommission, Jahrestagung der Subkommission für Jurastratigraphie in Fall vom 10.–13.06.2009, 45 S., Erlangen.

HILLEBRANDT, A. v. & KMENT, K. (2011): Lithologie und Biostratigraphie des Hettangium im Karwendelgebirge. – In: GRUBER, A. (Red.): Arbeitstagung 2011 der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 88 Achenkirch, 17–38, Wien.

HILLEBRANDT, A. v., KRYSTYN, L., KÜRSCHNER, W.M., BONIS, N.R., RUHL, M., RICHOZ, S., SCHOBBEN, M.A.N., URLICHS, M., BOWN, P.R., KMENT, K., MCROBERTS, C.A., SIMMS, M. & TOMASOVYCH, A. (2013): The Global Stratotype Sections and Point (GSSP) for the base of the Jurassic System at Kuhjoch (Karwendel Mountains, Northern Calcareous Alps, Tyrol, Austria). – Episodes, **36**/3, 162–198, Ottawa.

HORVACKI, J. (1982): Ablagerungsmodell der Tiroler Bändertone aufgrund sedimentpetrographischer Analysen mit rohstoffkundlicher Bewertung. – Unveröffentlichte Dissertation, Universität Innsbruck, 124 S., Innsbruck.

HRADIL, G.H. & FALSER, V.H. (1930): Die Ölschiefer Tirols. – 122 S., Leipzig (Johann Ambrosius Barth).

JAKSCH, K. (1996): Aptychen aus den Tithonprofilen von Achenkirch und Schwendt (Tirol) mit Einbeziehung von Vergleichsexemplaren von den Ionischen Inseln. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **139**/4, 453–466, Wien.

JAKSCH, K. (2003): Werner Quenstedt und sein Achentaler Ampelsbachprofil (Tirol) mit einem Beitrag zur frühen Lamellaptychenentwicklung. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **143**/1, 45–55, Wien.

JERZ, H. & ULRICH, R. (1966): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8533-8633 Mittenwald. Mit Erläuterungen. – 152 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

KARLE, U. (1984): Palynostratigraphische Untersuchung eines Rhät-Lias-Profils am Fonsjoch, Achensee (Nördliche Kalkalpen, Österreich). – Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, **77**, 331–353, Wien.

KILIAN, S. & ORTNER, H. (2019): Structural evidence of in-sequence and out-of-sequence thrusting in the Karwendel mountains and the tectonic subdivision of the western Northern Calcareous Alps. – Austrian Journal of Earth Sciences, **112**/1, 62–83, Wien.

KLEBELSBERG, R. v. (1913): Die eiszeitliche Vergletscherung der Alpen unter besonderer Berücksichtigung der Ostalpen. – Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, **44** (1913), 26–39, Wien.

KLEBELSBERG, R. v. (1914): Glazialgeologische Notizen vom bayrischen Alpenrande, Teil IV. – Zeitschrift für Gletscherkunde, **8**, 226–262, 331–343, Berlin.

KNAUER, J. (1952): Diluviale Talverschüttung und Epigenese im südlichen Bayern. – Geologica Bavarica, **11**, 1–32, München.

KOCKEL, C.W., RICHTER, M. & STEINMANN, H.G. (1931): Geologie der Bayerischen Berge zwischen Lech und Loisach. – Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, **10**, 231 S., Innsbruck.

KODINA, L. A., BOGATCHEVA, M.P. & LOBITZER, H. (1988): An Organic Geochemical Study of Austrian Bituminous Rocks. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **131**/2, 291–300, Wien.

KRAUTER, E. (1967): Zur Frage der Reliefüberschiebung am Staner-Joch (Östliches Karwendel, Tirol). – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **60**, 23–64, Wien.

KÜHN, O. (1935): Die Hornsteinbreccie des Sonnwendgebirges und ihre Korallenfauna. – Paläontologische Zeitschrift, **17**, 178–204, Stuttgart.

KUSS, J. (1983): Faziesentwicklung in proximalen Intraplattformbecken: Sedimentation, Palökologie und Geochemie der Kössener Schichten (Obertrias, Nördliche Kalkalpen). – Facies, **9**, 61–172, Erlangen.

LAMMERER, B., ORTNER, H. & HEYNG, A. (2011): Field trip to the Northern Alps between Munich and the Inn Valley. – In: CARENA, S., FRIEDRICH, A.M. & LAMMERER, B. (Eds.): Geological Field Trips in Central Western Europe: Fragile Earth International Conference, Munich, September 2011. – Geological Society of America Field Guide, **22**, 75–100. https://dx.doi.org/10.1130/2011.0022(06)

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

LEUCHS, K. (1921): Tektonische Untersuchungen im Guffert-Pendling-Gebiete (Nordtirol). – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, **1921**/1, 35–50, Stuttgart.

LINZER, H.-G., RATSCHBACHER, L. & FRISCH, W. (1995): Transpressional collision structures in the upper crust: the fold-thrust belt of the Northern Calcareous Alps. – Tectonophysics, **242**, 41–61, Amsterdam.

LOBITZER, H., KODINA, L.A., SOLTI, G., SCHWAIGHOFER, B. & SURENIAN, R. (1988): Fazies, Geochemie und Stratigraphie ausgewählter Vorkommen österreichischer organisch reicher Gesteine – ein Zwischenbericht. – Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, **15**, 85–107, Innsbruck.

LOBITZER, H., SOLTI, G. & RAVASZ, C. (1994): Fazies und Geochemie ausgewählter Vorkommen bituminöser und kerogenreicher Gesteine Österreichs. – Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich-Ungarn, Teil 2, 465–483, Geologische Bundesanstalt, Wien.

LÜTKEMEIER, S. (1972): Die Geologie zwischen Hochunütz und Ampelsbach (NE vom Achensee/Tirol). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 130 S., Berlin.

MAIR, D., CHWATAL, W., REIMER, P.J. & SPÖTL, C. (2016): Quaternary evolution of the inner Riss Valley, Tyrol (Austria) – an integrated sedimentological and geophysical case study. – Austrian Journal of Earth Sciences, **109**/2, 277–288, Wien.

MOJSISOVICS, E. v. (1870): Das Kalkalpengebiet zwischen Schwaz und Wörgl im Norden des Inn. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1870**, 183–185, Wien.

MOJSISOVICS, E. v. (1871): Beiträge zur topischen Geologie der Alpen. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **21**, 189–210, Wien.

MÜLLER-WOLFSKEIL, P. (1981): Tektonische Analyse des Wamberger Sattels im Bereich Vorderriß. – Geologica Bavarica, **8**, 235–250, München.

MUTSCHLECHNER, G. (1980): Aus der Geologie des Achentales. – In: STAUDIGL-JAUD, K. (Hrsg.): Achentaler Heimatbuch, 2. Auflage, Schlern-Schriften, **241**, 75–122, Innsbruck (Universitätsverlag Wagner).

NAGEL, K.H. (1975): Der Bau der Thiersee- und Karwendel-Mulde (Tirol). – Geotektonische Forschungen, **48**, 136 S., Stuttgart.

NAGEL, K.H., SCHÜTZ, K.-I., SCHÜTZ, S., WILMERS, W. & ZEIL, W. (1976): Die geodynamische Entwicklung der Thiersee- und Karwendelmulde (Nördliche Kalkalpen). – Geologische Rundschau, **65**, 536–557, Stuttgart.

NEUMAYR, M. (1870a): Gefürstete Grafschaft Tyrol, Unter Inn Thaler Kreis Wattens – Volders. – Handkolorierte geologische Manuskriptkarten 1:28.800, Archiv der Geologischen Bundesanstalt, Wien [A 01824-m28/3a/33-3].

NEUMAYR, M. (1870b): Tirol, Hinterauthal. – Handkolorierte geologische Manuskriptkarten 1:28.800, Archiv der Geologischen Bundesanstalt, Wien [A 01796-m28/3a/21-2].

NEUMAYR, M. (1870c): Gefürstete Grafschaft Tyrol, Kreis Unter inn Thal Schwaz – Stans. – Handkolorierte geologische Manuskriptkarten 1:28.800, Archiv der Geologischen Bundesanstalt, Wien [A 01797-m28/3a/22-2].

NEUMAYR, M. (1870d): Tirol, Kohlstatt. – Handkolorierte geologische Manuskriptkarten 1:28.800, Archiv der Geologischen Bundesanstalt, Wien [A 01776-m28/3a/3-2].

NEUMAYR, M. (1871): Das Karwendelgebirge. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1871**, 235–236, Wien.

NEUMAYR, M. (1879): Zur Kenntnis der Fauna des untersten Lias in den Nordalpen. – Abhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **7**/5, 1–46, Wien.

NEUMEISTER, S., GAWLICK, H.-J., GRATZER, R. & BECHTEL, R. (2011): Muttergesteinspotential und organisch-geochemische Charakteristika der Sachrang-Subformation (Unter-Toarcium, Nördliche Kalkalpen, Unkener Mulde). – In: GRUBER, A. (Red.): Arbeitstagung 2011 der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 88 Achenkirch, 128–132, Wien.

NEUMEISTER, S., GRATZER, R., ALGEO, T.J., BECHTEL, A., GAWLICK, H.-J., NEWTONC, R.J. & SACHSENHOFER, R.F. (2015): Oceanic response to Pliensbachian and Toarcian magmatic events: Implications from an organic-rich basinal succession in the NW Tethys. – Global and Planetary Change, **126**, 62–83, Amsterdam.

NEUMEISTER, S., ALGEO, T.J., BECHTEL, A., GAWLICK, H.-J., GRATZER, R. & SACHSENHOFER, R.F. (2016): Redox conditions and depositional environment of the Lower Jurassic Bächental bituminous marls (Tyrol, Austria). – Austrian Journal of Earth Sciences, **109**/2, 142–159, Wien.

ORTNER, H. (2003): Cretaceous thrusting in the western part of the Northern Calcareous Alps (Austria) – evidences from synorogenic sedimentation and structural data. – Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, **94**, 63–77, Wien.

ORTNER, H. & GRUBER, A. (2011): 3D-Geometrien der Strukturen zwischen Karwendel-Synklinale und Thiersee-Synklinale. – In: GRUBER, A. (Red.): Arbeitstagung 2011 der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 88 Achenkirch, 51–67, Wien.

ORTNER, H. & KILIAN, S. (2016): Sediment creep on slopes in pelagic limestones: Upper Jurassic of Northern Calcareous Alps, Austria. – Sedimentary Geology, **344**, 350–363, Amsterdam.

ORTNER, H. & THÖNY, W. (2019): Field trip to the western Northern Calcareous Alps (NCA). – Unpublished Field trip Guide, Universität Innsbruck / OMV, 58 S., Appendix, Innsbruck.

ORTNER, H., REITER, F. & BRANDNER, R. (2006): Kinematics of the Inntal shear zone–sub-Tauern ramp fault system and the interpretation of the TRANSALP seismic section, Eastern Alps, Austria. – Tectonophysics, **414**, 241–258, Amsterdam.

ORTNER, H., AICHHOLZER, S., ZERLAUTH, M., PILSER, R. & FÜGENSCHUH, B. (2015): Geometry, amount and sequence of thrusting in the Subalpine Molasse of Western Austria and Southern Germany, European Alps. – Tectonics, **34**/1, 1–30, Washington, D.C.

OSSWALD, K. (1924): Das Risserkogelgebiet. – Geognostische Jahreshefte, **37**, 111–166, mit 1 geologische Karte 1:25.000, München.

OSSWALD, K. (1928): Die Wendelsteingruppe. Abriß der stratigraphischen, tektonischen und morphologischen Geschichte. – Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München, **21**, 183–304, 1 geologische Karte 1:25.000, München.

PENCK, A. (1882): Die Vergletscherung der deutschen Alpen, ihre Ursache, periodische Wiederkehr und ihr Einfluss auf die Bodengestaltung. – 483 S., Leipzig (J.A. Barth).

PENCK, A. & BRÜCKNER, E. (1901–1909): Die Alpen im Eiszeitalter. – Band I–III, 1199 S., Leipzig (Tauchnitz).

PICHLER, A. v. (1856): Zur Geognosie der nordöstlichen Kalkalpen Tirols. – Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **7**/4, 737, Wien.

PICHLER, A. v. (1859): Beiträge zur Geognosie Tirols. – Zeitschrift des Ferdinandeums für Tirol und Vorarlberg, **3**/8, 1. Folge, 169, Innsbruck.

PICHLER, A. v. (1869): Beiträge zur Geognosie und Mineralogie Tirols. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1869**/6, 101–102, Wien.

PICHLER, A. v. (1872): Erratische Blöcke am Achensee, Fossilfunde in Brandenberg und Pertisau. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, **1872**, 407, Stuttgart.

PICHLER, A. v. (1876): Beiträge zur Geognosie und Mineralogie Tirols. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, **1876**, 920, Stuttgart.

POSCHER, G. (1994): Fazies und Genese der pleistozänen Terrassensedimente im Tiroler Inntal und seinen Seitentälern – Teil 1: Der Achenseedamm. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **137**/1, 171–186, Wien.

QUENSTEDT, W. (1933): Studien in der Überschiebungszone von Achenkirch. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, **85**, 459–461, Hannover.

QUENSTEDT, W. (1951a): Geologische Exkursion in das Achentalgebiet (Tirol) am 9. und 10. September 1950. – Geologica Bavarica, **6**, 55–64, München.

QUENSTEDT, W. (1951b): Geologisch-paläontologische Monographie des Achentales (Tirol). Teil 1: Tabula stratigraphica (geohistorica) Mesozoici Achentalensis (Tirolis). – Biotropia, **1**, 12 S., Innsbruck (Felizian Rauch).

RICHOZ, S. & KRYSTYN, L. (2015): The Upper Triassic events recorded in platform and basin of the Austrian Alpsw. The Triassic/Jurassic GSSP and Norian/Rhaetian GSSP candidate. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **111**, 75–136, Wien.

RICHTER, M. (1937): Die deutschen Alpen und ihre Entstehung. – 179 S., Berlin (Gebrüder Borntraeger).

RIEDEL, F. (1988): Facies and development of the “Wilde Kirche” reef complex (Rhaetian, Upper Triassic, Karwendelgebirge, Austria). – Facies, **18**, 205–218, Erlangen.

ROTHPLETZ, A. (1888): Das Karwendelgebirge. – Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, **1888**, 1–74, topographische und geologische Karte 1:50.000, München.

SANDER, B. (1921): Über bituminöse Mergel. – Jahrbuch der Geologischen Staatsanstalt, **71**, 135–148, Wien.

SANDER, B. (1922): Über bituminöse und kohlige Gesteine. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **15**, 1–50, Wien.

SANDER, B. (1941): Zum Gesteinscharakter der Hornsteinbreccien des Sonnwendjochgebirges. – Berichte der Reichsstelle für Bodenforschung, Zweigstelle Wien, **1941**, 81–89, Wien.

SANDERS, D. & GRUBER, A. (2016): Inner gorge-slot canyon system produced by repeated major base-level changes (Northern Calcareous Alps). – Field trip 13, GeoTirol 2016 – Annual Meeting DGGV, Geo.Alp, **13**, 277–292, Innsbruck.

SANDERS, D., WISCHOUNIG, L., GRUBER, A. & OSTERMANN, M. (2014): Inner gorge–slot canyon systemproduced by repeated streamincision (eastern Alps): Significance for development of bedrock canyons. – Geomorphology, **214**, 465–484, Amsterdam.

SAPPER, C. (1888): Über die geologischen Verhältnisse des Juifen und seiner Umgebung mit besonderer berücksichtigung der Liasablagerungen. – Inaugural-Dissertation, Universität München, 34 S., geologische Karte, München.

SÄRCHINGER, H. (1939): Geologie des Benediktenwandgebirges zwischen Glaswandscharte und Isar. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilagenband, **81**, 347–376, Stuttgart.

SARNTHEIN, R. v. (1940): Moor- und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer waldgeschichtlichen Bedeutung: II. Teil: Seen der Nordtiroler Kalkalpen. – Beihefte zum Botanischen Centralblatt, **60B**, 437–492, Dresden.

SATTERLEY, A.K., MARSHALL, J.D. & FAIRCHILD, I.J. (1994): Diagenesis of an Upper Triassic reef complex, Wilde Kirche, Northern Calcareous Alps, Austria. – Sedimentology, **41**, 935–950, Oxford.

SAUSGRUBER, T. (1994a): Jurabeckenentwicklung nördlich vom Achensee und deren Folgen bei der alpidischen Kompressionstektonik. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Innsbruck, 133 S., Innsbruck.

SAUSGRUBER, T. (1994b): Bericht 1993 über geologische Aufnahmen in den Nördlichen Kalkalpen auf Blatt 88 Achenkirch. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **137**, 469–474, Wien.

SCHÄFER, R. (1888): Über die geologischen Verhältnisse des Karwendels in der Gegend von Hinterriss und um den Scharfreiter. – Unveröffentlichte Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität, 37 S., München.

SCHMIDT-THOMÉ, P. (1950): Geologie des Isartalgebietes im Bereich des Rißbach-Stollens und des geplanten Sylvenstein-Staubeckens. – Geologica Bavarica, **4**, 3–55, München.

SCHREIBER, W. (1949): Über die Klammbildung und Talverschüttung im Brandenberg-Steinberger Gebiet. – Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseums Ferdinandeum, **26–29**, 33–60, Innsbruck.

SCHÜRMANN, W. (1969): Die Geologie der Thiersee-Mulde zwischen Hof-Joch und Schulter-Berg bei Achenwald/Tirol. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 73 S., Berlin.

SCHÜTZ, K.-I. (1971): Die Geologie des Juifen und seiner Umgebung (Nordtirol). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 93 S., Berlin.

SCHÜTZ, K.-I. (1975): Die Aptychenschichten der Thiersee- und der Karwendel-Mulde (Nordtirol). – Unveröffentlichte Dissertation Technische Universität Berlin, 183 S., Berlin.

SCHÜTZ, K.-I. (1979): Die Aptychenschichten der Thiersee- und der Karwendel-Mulde. – Geotektonische Forschungen, **57**, 1–84, Stuttgart.

SCHÜTZ, S. (1974): Die Geologie der Karwendel-Mulde zwischen Dürrach und Baumgartenjoch (Nordtirol). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 160 S., Berlin.

SOLTI, G. & LOBITZER, H. (1989): Aufsuchung von Alginit in Österreich. Endbericht über die Österreichisch-Ungarische Zusammenarbeit in der Ölschiefer-Alginit-Prospektion. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **17**, 47 S., Wien.

SOLTI, G., LOBITZER, H., CSASZAR, G. & SELMECZI, I. (1987): Bericht von den Ergebnissen der österreichischen-ungarischen Ölschiefer-Alginit-Forschungszusammenarbeit im Jahr 1986. – Unveröffentlichter Bericht, Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt Ü-LG-019/86, 176 S., Budapest–Wien.

SPENGLER, E. (1935): Bemerkungen zum Problem der Hornsteinbreccie im Sonnwendgebirge. – Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **1935**, 157–165, Wien.

SPENGLER, E. (1953): Versuch einer Rekonstruktion des Ablagerungsraumes der nördlichen Kalkalpen (1. Teil, Westabschnitt). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **96**, 1–64, Wien.

SPIELER, A. (1994): Bericht 1993 über geologische Aufnahmen in den Nördlichen Kalkalpen auf Blatt 88 Achenkirch. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **137**, 474–475, Wien.

SPIELER, A. (1995): Bericht 1994 über geologische Aufnahmen in den Nördlichen Kalkalpen auf Blatt 119 Schwaz. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **138**, 526–527, Wien.

SPIELER, A. & BRANDNER, R. (1989): Vom jurassischen Pull-Apart Becken zur Westüberschiebung der Achentaler Schubmasse (Tirol, Österreich). – Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, **16**, 191–194, Innsbruck.

SPÖTL, C. (2019): Von der Eiszeit zur heutigen Warmzeit. Das Werden der Landschaft am Großen Ahornboden. – In: SONNTAG, H., STRAUBINGER, F., BRANDNER, R., SPÖTL, C. & VON NICOLAI, C. (Hrsg.): Großer Ahornboden. Eine Landschaft erzählt ihre Geschichte, 2. Auflage, 49–59, Wattens (Berenkamp).

SPÖTL, C., MAIR, D. & STARNBERGER, R. (2014): From Vorderriß to Großer Ahornboden: Quaternary geology of the Riss Valley (Karwendel Mountains) – Von Vorderriß bis zum Großen Ahornboden: Quartärgeologie des Risstales (Karwendelgebirge). – In: KERSCHNER, H., KRAINER, K. & SPÖTL, C. (Eds.): From the foreland to the Central Alps – Field trips to selected sites of Quaternary research in the Tyrolean and Bavarian Alps, 32–44, Deuqua Excursions, Berlin (Geozon Science Media).

STARK, F. (1873): Die bayerischen Seen und die alten Moränen. Mit Karte 1:250.000. – Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, **1873**, 67, Frankfurt am Main.

STEINMANN, G. (1925): Gibt es fossile Tiefseeablagerungen von erdgeschichtlicher Bedeutung? – Geologische Rundschau, **16**, 435–468, Berlin.

SUAN, G., SCHLÖGL, J. & MATTIOLI, E. (2016): Bio- and chemostratigraphy of the Toarcian organic-rich deposits of some key successions of the Alpine Tethys. – Newsletters on Stratigraphy, published online February 2016, 19 S., Stuttgart. https://dx.doi.org/10.1127/nos/2016/0078

THÖNY, W. & ORTNER, H. (2001): Early Cretaceous to Tertiary thrusting in the Thiersee structure: results from stratigraphic and paleomagnetic investigations. – In: BRANDNER, R., KONZETT, J., MIRWALD, P., ORTNER, H., SANDERS, D., SPÖTL, C. & TROPPER, P. (Eds.): 5th Workshop of Alpine Geological Studies, Obergurgl, Abstracts. – Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck, **25**, 212–213, Innsbruck.

THÖNY, W., ORTNER, H. & SCHOLGER, R. (2002): Differentielle Blockrotationen in den nördlichen Kalkalpen: Ergebnisse paläomagnetischer Untersuchungen. – In: INSTITUT FÜR GEOLOGIE UND PALÄONTOLOGIE SALZBURG (Ed.): PANGEO 2002, Abstracts, 179, Salzburg.

THÖNY, W., ORTNER, H. & SCHOLGER, R. (2006): New paleomagnetic data from syntectonic sediments indicate joined geodynamics of Eastern and Southern Alps in Oligocene to Miocene times. – Geophysical Research Abstracts, **8**, 03940, Katlenburg-Lindau.

TÖCHTERLE, A. (2005): Tektonische Entwicklungsgeschichte des Südteiles der Nördlichen Kalkalpen entlang der TRANSALP-Tiefenseismik anhand bilanzierter Profile. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Innsbruck, 91 S., Innsbruck.

TOLLMANN, A. (1969): Tektonische Karte der Nördlichen Kalkalpen, 3. Teil: der Westabschnitt. – Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, **62** (1969), 78–170, 1 tektonische Karte 1:100.000, Wien.

TRUSHEIM, F. (1930): Die Mittenwalder Karwendel-Mulde. – Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, **7**, 69 S., 1 geologische Karte 1:25.000, Innsbruck.

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

VAN KOOTEN, W.S.M.T. (2018): Structural evolution of the Achental Jurassic basin and present-day oblique structure in field and analogue model. – Unpublished Master Thesis, Universität Innsbruck, 156 S., Innsbruck.

VORTISCH, W. (1926): Oberrhätischer Riffkalk und Lias in den nordöstlichen Alpen. I. Teil. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **76**, 1–64, Wien.

WÄCHTER, J. (1987): Jurassische Massflow- und Internbreccien und ihr sedimentär-tektonisches Umfeld im mittleren Abschnitt der Nördlichen Kalkalpen. – Bochumer Geologische und Geotechnische Arbeiten, **27**, 239 S., Bochum.

WÄHNER, F. (1886a): Zur heteropischen Differenzirung des alpinen Lias. – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1886**, 168–176, Wien.

WÄHNER, F. (1886b): Zur heteropischen Differenzirung des alpinen Lias (Schluss). – Verhandlungen der k. k. Geologischen Reichsanstalt, **1886**, 190–206, Wien.

WÄHNER, F. (1903): Das Sonnwendgebirge im Unterinntal, 1. Teil. Ein Typus alpinen Gebirgsbaues. – 356 S., Leipzig–Wien (Deuticke).

WÄHNER, F. & SPENGLER, E. (1935): Das Sonnwendgebirge im Unterinntal, 2. Teil, mit geologischer Karte 1:10.000. – 200 S., Leipzig–Wien (Deuticke).

WEISTROFFER, K. (1974): Die Geologie der Karwendel-Mulde im Bereich des östlichen Bächentals, Nordtirol. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 152 S., Berlin.

WENDT, J. (1969): Stratigraphie und Paläogeographie des Roten Jurakalks im Sonnwendgebirge (Tirol, Österreich). – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, **132**, 219–238, Stuttgart.

WEYNSCHENK, R. (1949): Beiträge zur Geologie und Petrographie des Sonnwendgebirges (Tirol), besonders der Hornsteinbrecciен. – Schlern-Schriften, **59**, 1–66, Innsbruck.

WIDMANN, H. v. (1853): Erläuterungen zur Geognostischen Karte Tirols. – 95 S., Innsbruck (Wagner'sche Buchdruckerei).

WISCHOUNIG, L. (2006): Das Quartär bei Steinberg am Rofan (Tirol): Stratigraphie, Sedimentologie und Aspekte der Landschaftsentwicklung. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Innsbruck, 105 S., Innsbruck.

WOLF, H. v. (1922): Beiträge zur Kenntnis der eiszeitlichen Vergletscherung des Achenseegebiets in Tirol. – Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München, **15**, 147–304, München.

WOLF, H. v. (1924): Eiszeitstudien im Risser Gebirge. – Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München, **17**, 255–274, München.

WOLFF, H. (1985a): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8338 Bayrischzell. – Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

WOLFF, H. (1985b): Geologische Karte von Bayern 1:25.000. Erläuterungen zu Blatt Nr. 8338 Bayrischzell. – 190 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

ZÖLLER, I. (1972): Geologie der Karwendel-Mulde zwischen Achensee und Bächental in Tirol (Österreich). – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Technische Universität Berlin, 108 S., Berlin.

Eingelangt: 12. Dezember 2019, angenommen: 18. Dezember 2019