

## **Die neue Geologische Karte „Geologie des nördlichen Achenseeraumes – ÖK 88 Achenkirch“ Einführung und geologische Forschungsgeschichte**

A. GRUBER

### **Einführung**

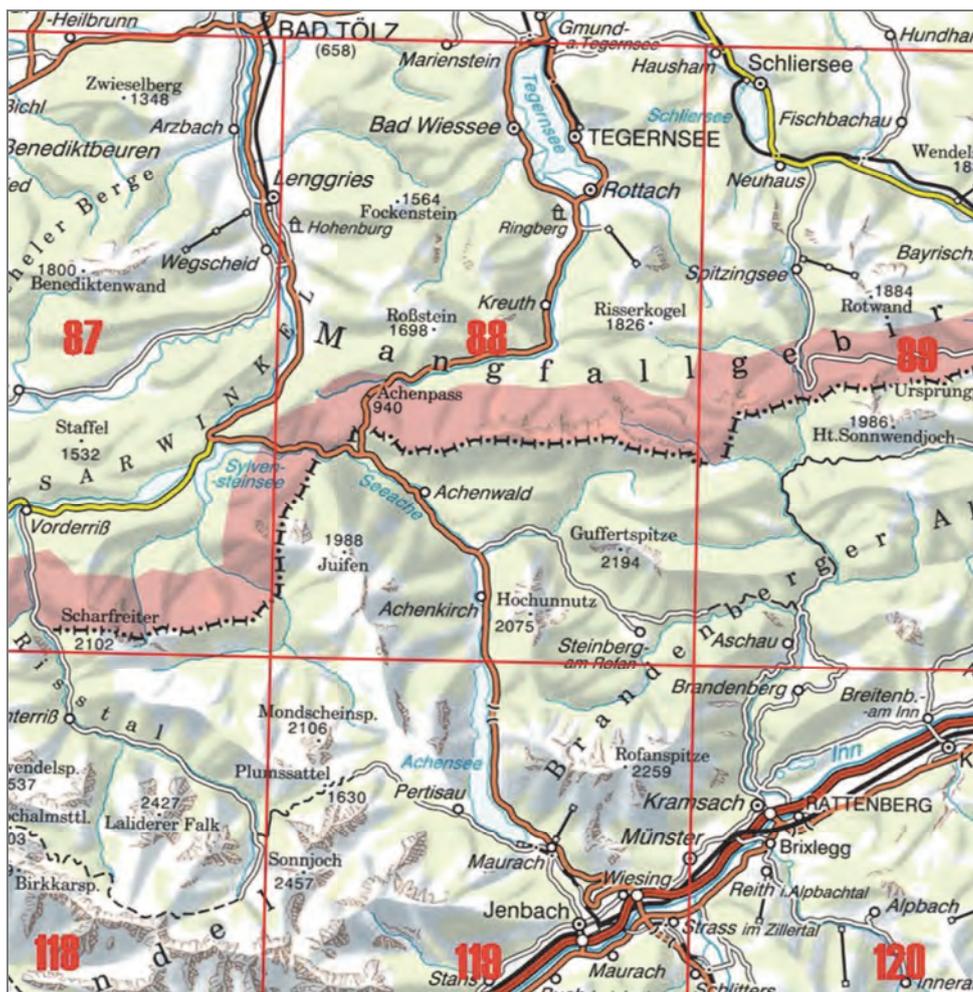
Es sind nunmehr fast 100 Jahre seit dem Erscheinen der letzten genauen geologischen Karte des Achentales verstrichen. Sie stammt von Otto Ampferer und wurde 1912 mit Erläuterungen im Maßstab 1:75.000 gedruckt (AMPFERER, 1912). Es war eine der ersten Karten, die Ampferer im Laufe seiner langjährigen, umfangreichen Aufnahmestätigkeit für die Geologische Reichs-/Bundesanstalt publizierte.

1926 wurde das Gebiet auf der Geologischen Karte des Deutschen Reiches 1:100.000, Blatt 664 Tegernsee abgebildet, das von v. WOLF (1926) bearbeitet und erläutert wurde. Ihr liegt großteils die Kartierung von Ampferer zugrunde.

In der 2. Auflage dieses nunmehr als Geologische Karte von Bayern bezeichneten Blattes verwendete der Bearbeiter SCHMIDT-THOMÉ (1953) für den österreichischen Anteil die von Quenstedt in jahrelanger Arbeit erstellte Manuskriptkarte 1:50.000 des Achenseegebietes (QUENSTEDT, 1942), die das Kartenblatt stratigraphisch und strukturell wesentlich verbesserte.

Der ungünstige Blattschnitt und die etwas dezentrale Lage im Schatten von Karwendel- und Rofangebirge brachten es mit sich, dass der Fokus der weiteren Kartierungen in den südlicher gelegenen Gebieten lag, von denen in der Folge sehr genaue Karten veröffentlicht wurden. Es sind dies die „Geologische Karte des Sonnwendgebirges 1:10.000“ (WÄHNER & SPENGLER, 1935) und westlich anschließend die „Geologische Karte des östlichen Karwendelgebirges im Maßstab 1:25.000“ (AMPFERER & HEISSEL, 1950). Die geringere Beachtung des Gebiets von ÖK 88 Achenkirch rührt auch daher, dass geologische Detailkartierungen stets mit guten topographischen Kartenunterlagen verbunden waren und heute noch sind, diese aber für den gegenständlichen Raum lange Zeit nicht verfügbar waren. Die Alpenvereinskarte bot in anderen Gebieten ideale Voraussetzungen für geologische Kartierungen, die auch genutzt wurden (vgl. Geologische Karten der Lechtaler Alpen (AMPFERER, 1932) und des Kaisergebirges (AMPFERER, 1933) bzw. die Karte der Glocknergruppe (CORNELIUS & CLAR, 1935). Auch im angrenzenden Bayern wurden schon früh, mit Beginn der Ausgabe der offiziellen Landeskarte, geologische Karten 1:25.000 publiziert (z. B. OSSWALD, 1919; TRUSHEIM, 1930).

Der Redakteur des neuen Kartenblattes A. Gruber arbeitete – aufbauend auf den detaillierten Kartenmanuskripten von Sausgruber und Spieler – seit 2005 gemeinsam mit R. Brandner und M. Lotter an der Aufnahme und Fertigstellung des Blattes ÖK 88 Achenkirch. Diese Arbeiten erfolgten im Gelände unter Anwendung moderner Aufnahmekriterien für Fest- und Lockergesteine nach den neuesten Vorgaben der Geologischen Bundesanstalt. Insbesondere wurde auch Wert auf eine möglichst vollständige Erfassung der quartären Ablagerungen und Formen sowie der Massenbewegungssphänomene gelegt. Die Neuerkenntnisse der lithostratigraphischen Gliederung der kalkalpinen Schichtfolge (gemäß Stratigraphische Tabelle von Österreich, 2004) und neue wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema, die im Raum Achensee – Karwendel durchgeführt wurden, fanden ebenso Berücksichtigung.



Blattschnitt der Österreichischen Karte 1:50.000 ÖK 88 Achenkirch aus AMAP 1:500.000. Die dem Tagungsband beiliegende geologische Karte 1:25.000 umfasst den österreichischen Anteil des Gesamtblattes.

Gegenstand der vorliegenden Betrachtungen ist der österreichische Anteil des Kartenblattes ÖK 88 Achenkirch, für den im Rahmen der Arbeitstagung 2011 eine Gebietskarte im Maßstab 1:25.000 erstellt wurde, die auch in gedruckter Form dem Tagungsband beigegeben wird. Diese Karte basiert großteils auf Geländeaufnahmen im Maßstab 1:10.000, die in den letzten 20 Jahren durchgeführt wurden. Den Grundstein für die Karte legten die modernen stratigraphisch-strukturellen Aufnahmen von **A. Spieler** und **T. Sausgruber** in den 80er und 90er Jahren des 20. Jahrhunderts, die im Rahmen einer Dissertation bzw. einer Diplomarbeit am Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Innsbruck unter der wissenschaftlichen Leitung von **R. Brandner** ausgeführt wurden. Thema dieser Arbeiten waren die räumlichen und zeitlichen Änderungen der Fazies im Jura und die strukturelle Entwicklung der „Achentaler Schubmasse“ und der Karwendel- und Thiersee-Synklinale im Zuge der Alpinen Gebirgsbildung (Kreide bis Tertiär).

Die Kartierung von SAUSGRUBER (1994) deckt das zentrale Viertel des Blattes, die Gebiete zwischen Seeache und Ampelsbach bis zur Staatsgrenze sowie im Süden beide Talflanken des Achentales ab. Das Gebiet westlich davon, bis zur Blattgrenze, und die südlich und südwestlich auf den ÖK-Blättern 118 Innsbruck und 119 Schwaz anschließenden Areale der Karwendel-Synklinale nahm SPIELER (Aufnahmeberichte 1994, 1995) auf.

**A. Gruber** kartierte von 2005 bis 2011 das Gebiet östlich der Linie Ampelsbach/Unnütze sowie jenes nördlich des Schulterbergs, des Juifen und den Großteil westlich der Linie Rotwandalm – Tiefenbachalm – Hochleger neu (vgl. GRUBER, A., Aufnahmeberichte 2007, 2008a, 2008b). Die Mas-

senbewegungsphänomene des gesamten Blattbereiches erarbeitete er gemeinsam mit **M. Lotter**. Größere Teilkartierungen führte **J. Gruber** zwischen Sattelle und Guffertthütte, nördlich des Filzmoosbaches, am Nord- und Nordwestabhang des Schulterberges, Pitzkopfes und Juifen sowie entlang des Taschlbaches durch (GRUBER, J., 2009).

**R. Brandner** bearbeitete das zentrale Wettersteinkalk/dolomit-Areal an den Südabhängen des Guffert- und an den Nordostabhängen des Unnutzmassivs in fazieller Hinsicht. Er begleitete die Geländeaufnahmen während der gesamten Zeit auch in wissenschaftlicher Hinsicht. Weiters wurden Ergebnisse einer neuen Diplomarbeit zum Quartär des Steinberger Beckens (WISCHOUNIG, 2006, betreut von D. Sanders) und von Kartierungsübungen der Univ. Innsbruck im Abschnitt Unterautal/Hochplatte, Oberautal/Christlum in die Karte eingearbeitet. Die quartären Ablagerungen wurden von A. Gruber in großen Teilen des Kartengebietes unter Anleitung von **J. Reitner** neu bearbeitet oder in Teilbereichen kontrolliert.

Im Westen von Blatt Achenkirch und auf dem angrenzenden Blatt ÖK 87 Walchensee fanden gemeinsam mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt grenzüberschreitende Begehungen statt, da das Blatt Fall 1:25.000, welches sich mit Blatt Achenkirch überschneidet, zur gleichen Zeit von T. Horning bearbeitet wurde (Kurzfassung Teipel et al., dieser Band).

Die Verfasser betrachten es als günstige Gelegenheit, diesen geologisch vielfältig und komplex aufgebauten Ausschnitt der westlichen Nördlichen Kalkalpen, u. a. beflügelt durch die Fixierung des GSSP-Punktes der Trias-Jura-Grenze am nahe gelegenen Kuhjoch (Südschenkel der Karwendel-Synklinale) (KRISTYN, HILLEBRANDT & RICHOSZ, 2010) einem breiteren geologischen Publikum vorzustellen. Während der vier Exkursionstage bei der Arbeitstagung 2011 soll den Teilnehmern eine breite Palette an geowissenschaftlichen Themen an gut aufgeschlossenen Stellen der näheren und weiteren Umgebung von Achenkirch vorgestellt werden.

## Geographischer Überblick

Das Gebiet des österreichischen Anteils des Blattes ÖK 88 Achenkirch, das in der neuen geologischen Gebietskarte dargestellt ist, besteht in topographischer Hinsicht grob aus dem breiten, N-S-verlaufenden Achental im zentralen Teil, aus den steilen Grasbergen des nördlichen Karwendelgebirges im W und aus den schroffen Kalkmassiven der Unnutze und des Guffert im Osten. Der Achensee ist gerade noch mit dem nördlichsten Seespitz auf dem Blatt vertreten. Im N bilden die nach S sanft, nach N steil abfallenden Blaugerge die Grenze zu Bayern. Das bei Achenkirch etwa 1 km breite Achental wird im E vom wenig geliederten Steilabfall des Unnutzmassivs geprägt, währenddessen die Westseite zunächst sanft ansteigt und sich zuletzt sehr steil zum scharfen Schreckenspitzen-Juifen-Kamm aufschwingt. Von W münden auf gleicher Höhe wie der Talboden das breite Unterautal und Oberautal ein. Die Täler weiter nördlich weisen durchwegs tiefe, felsige Mündungsschluchten auf: Blaserbach, Dollmannsbach, Taschlbach, Hühnersbach. Die Westabdachung des Kammes Schreckenspitze – Juifen ist Teil des Bächentales, eines weitverzweigten Wald- und Almentales, das bei Fall ins Isartal mündet. Breite Übergänge führen nach S ins Ristal (Baumgarten- und Grasbergsattel), nach SE ins Gerntal (Schleimssattel) und nach E und NE ins Achental (Gröbner Hals, Rotwand-sattel). Bei Leithen macht das Achental einen Schwenk nach NW und führt abwechselnd mit Talverengungen und Talweitungen (Achenwald, ehemalige Grenzstation) ins Isartal bei Fall. Nördlich von Leithen weist das Gelände Mittelgebirgscharakter auf, gekennzeichnet von sanften Waldrücken und niederen Übergängen. Zwischen diesen Höhen und den Blaugergen verläuft in E-W-Richtung das verzweigte Waldtal des Klambaches. Bei Leithen nimmt das Achental von NE das zunächst schluchtartige, dann breiter werdende Ampelsbachtal auf. Am Köglboden verzweigt es sich: einerseits in das nach N ziehende Filzmoos-/Ampelsbachtal, welches die Einhänge von Halserspitze, Schneidjoch und Guffert-Nordseite entwässert und mit dem Schneidsattel und dem Issjöchl zwei breite Übergänge ins Brandenberger Tal aufweist; landschaftlicher Blickfang ist hier der schroffe Nord- und Nordwestabfall des Guffertmassivs. Nach SE führt andererseits das breite Schwarzenbachtal, welches das Guffertmassiv im E vom Unnutzmassiv im W trennt und einen niederen Zugang ins Becken von Steinberg ermöglicht. Zwischen dem Guffert im N, den Unnutzen im W und dem Rofan im S liegt das

weite Becken von Steinberg am Rofan, das durch die Klammern und Schluchten der Steinberger Ache und ihrer Nebenflüsse tief zerfurcht ist.

Höchster Punkt des Kartenblattes ist der mächtige Wettersteinkalkklotz des Guffert (2194 m), auch die drei Unnützgipfel (2007 m, 2075 m, 2078 m) und die Schreckenspitze (2022 m) überschreiten noch die 2000-m-Marke. Die mächtige Graspyramide des Juifen (1988 m) und eine Reihe markanter Gipfel wie Zundersp. (1926 m), Retherjoch (1905 m), Rether Kopf 1926 m), Kafell (1906 m), Marbichler Sp. (1898 m), Demeljoch (1924 m), Halser Sp. (1867 m), Hochplatte (1813 m) und Schneidjoch (1808 m) bleiben unter dieser Höhe. Charakteristische Bergformen sind daneben noch die Natterwand (1618 m) im NE, die Pyramide des Schildenstein (1613 m) im N, Schulterberg und Pitzkopf (1686 m bzw. 1670 m) im NW und Christlum- und Moosenkopf (1758 m bzw. 1750 m) im SW. Der tiefste Punkt im Einzugsgebiet der Seeache liegt etwa 760 m hoch, wo diese in den Sylvensteinsee einmündet. Die Steinberger Ache verlässt auf ca. 830 m Höhe das Blatt nach E. Weite Flächen des Kartenblattes liegen unterhalb von 1200 m.

Die verschiedenen Landschaftsformen wurden in charakteristischer Weise in Abhängigkeit vom lithologischen Untergrund und vom tektonischen Bau gebildet.



Schrägluftbild vom Achensee und Achental mit Unnützmassiv rechts, Karwendel-Vorberge links und tirolisch-bayrischem Grenzkeim Bildmitte hinten.

Die vielfältige Orographie spiegelt sich auch in der Hydrographie wider. Das Achenental und mit ihm der Achensee und die ihm tributären Karwendeltäler (Tristenau-, Falzthurn- und Gerntal) werden über die Seeache/Walchen in den Sylvensteinspeicher und damit in die Isar entwässert. Dies gilt auch für die Dürrach, die die Bäche des „Bächentales“ sammelt und südlich von Fall in den Sylvensteinspeicher einmündet. Die Blauberge bilden die Wasserscheide zwischen der Seeache im S und der Weißach im N, die als Zufluss der Mangfall bei Rosenheim in den Inn entwässert. Alle Gebiete östlich einer Linie Vorderunnutz – Guffert – Schneidjoch – Halserspitze fallen in das Einzugsgebiet der Steinberger Ache, des Weißenbaches und der Bairache, allesamt westseitige Zuflüsse der Brandenberger Ache, welche bei Kramsach in den Inn fließt. Die Hydrologie des Achen- und Bächentales wurde mit dem Bau des Achenseekraftwerkes (20er bzw. 40er/50er Jahre) nachhaltig verändert.

Die Wässer des Ampelsbaches, des Unteraubaches und ein Großteil der Zuflüsse des Bächentales wurden in den Achensee übergeleitet und der natürliche Seeabfluss, die Seeache, mit einem Damm abgesperrt. Das Wasser des Achensees wird über einen Druckstollen nach Jenbach und damit zum Inn abgearbeitet. Der Seespiegel ist jahreszeitlich großen künstlichen Schwankungen (Absenkungen bis 13 m) ausgesetzt.

## Geologische Forschungsgeschichte

Der Achenseeraum wird erstmals 1849 auf einer geologischen Karte dargestellt: Die „Geognostische Karte Tirols“ erschien im Maßstab 1:115.200 und wurde vom Geognostischen Verein für Tirol und Vorarlberg herausgegeben; 1853 folgten die Erläuterungen zur Karte (WIDMANN, 1853). Wenig später veröffentlichte GÜMBEL (1861) die großangelegte Geognostische Karte des Königreichs Bayern im Maßstab 1:100.000; auf Blatt Miesbach ist der gesamte Achenseeraum dargestellt.

Schon vorher durchstreifte A. von Pichler mehrmals dieses Gebiet und berichtete als Erster von einer Überschiebung an der Unnutz-Westseite (PICHLER, 1856). 1869 beschreibt PICHLER wiederum vom Unnutz ein Profil in den Cardita-Schichten, in welchem er zahlreiche gut erhaltene „Lettenkohlen“-Pflanzen findet.

Erwähnenswert ist auch eine aus dieser Zeit von Pichler stammende handkolorierte Karte 1:200.000, die die Kalkalpen zwischen Seefeld und Kufstein abbildet und auf welcher 17 Schichtglieder ausgeschieden wurden, vom Bunten Sandstein bis zum Torf. In den Ostausläufern des Karwendelgebirges am Südrand des Achensees vermerkte Pichler den Unteren Alpenkalk und -dolomit mit Rauwacken und Gips, am Westabhang des Unnutz trug er einen Streifen Cardita-Schichten ein. Im Großteil des Rofanengebirges, am Fonsjoch und am Juifen, im Ampelsbach und am Südabfall der Blauberge wies er Oberen Alpenkalk, Unteren und Oberen Lias aus. Neokom kommt im Bächental und insbesondere zwischen Filzmoosbach und Thiersee vor. Gosau tritt in Brandenberg auf, das Tertiär am Unter- und Oberangerberg war auch bekannt. An jungen (quartären) Ausscheidungen führte er Diluvium an, das an der Nordseite des Inn (Inntalterrassen) weit verbreitet ist und auch die Achenseeschwelle aufbaut. Neubildungen sind für ihn u. a. die Talböden der Karwendeltäler südwestlich und nördlich des Achensees (Oberautal). Präzise verzeichnet sind auch die Bergstürze vom Pletzackkogel und von Münster (siehe Patzelt, dieser Band). Gut erkennbar sind bereits die Anlage von Karwendel- und Thiersee-Synklinale und der berühmte Knick bei Achenkirch.

Wertvolle Grunderkenntnisse zur Stratigraphie des Karwendel- und Sonnwendgebirges, insbesondere der Trias und des Jura lieferten in der Folge RICHTHOFEN (1859), NEUMAYR (1879), MOJ-SISOVICS (1870, 1871), PICHLER (1856–1876), GEYER (1886), CLARK (1887), WÖHRMANN (1889) und HAHN (1911).

Schon bald kristallisierten sich regionale Schwerpunkte der Forschung heraus: das Karwendelgebirge in der Umgebung von Innsbruck, das Stanerjoch sowie das Sonnwendgebirge (Rofan) und das Fonsjoch an der Westseite des Achensees, welches wegen seiner reichen Lias-Fauna Berühmtheit erlangte (s. auch LANGE, 1952; BLIND, 1963; KARLE, 1984).

Rothpletz veröffentlichte 1888 die erste geologische Detailkarte des mittleren und nördlichen Karwendel im Maßstab 1:50.000 auf Basis der Alpenvereinskarte (ROTHPLETZ, 1888). Sie ist das

Ergebnis zweijähriger systematischer Kartierungen einer größeren Arbeitsgruppe. Die farbige Karte schließt auch das Gebiet westlich des Achentales um das Fonsjoch und den Juifen ein; es wurde von CLARK (1887) und SAPPER (1888) im Rahmen von Dissertationen bearbeitet und ist durch große Genauigkeit und struktureologische Details gekennzeichnet.

Das durch bahnbrechende Arbeiten von PENCK (1882) und BLAAS (1889a, b, 1890) geweckte Interesse an der alpinen Quartärgeologie führte zur intensiven Erforschung des Inntales (Höttinger Brekzie) und seiner Terrassen. Die Achenseeschwelle als Teil der Inntalterrassen war forthin eine Schlüsselstelle in der Quartärforschung. Die Suche nach erratischen Geschieben, Moränen und glazialen Schliiffformen war hierbei entscheidend für die Klärung der eiszeitlichen Dynamik. Bereits PICHLER (1856–1876) und MOJSISOVICS (1870, 1871) berichten von ersten Erratika-Funden (vgl. PENCK & BRÜCKNER, 1901–1909). Das Achental war deshalb interessant, da es zu den drei Hauptübertrittsstellen des hochglazialen Inngletschersystems in die Nördlichen Kalkalpen und ins bayerische Alpenvorland zählte. Für das Achental erkannte dies erstmals STARK (1873), der auch die erste Karte mit dem hocheiszeitlichen Eistromnetz von SE-Bayern im Maßstab 1:250.000 veröffentlichte. Stark glaubte auch, dass der Achensee infolge von Gletscherkonfluenzen ausgekolkt worden wäre.

Im Jahr 1904 bzw. 1912 erschien das gesamte Gebiet auf drei Spezialkarten im Maßstab 1:75.000, die von Ampferer in 1:25.000 aufgenommen und von der Geologischen Reichsanstalt herausgebracht wurden. Es sind dies die Blätter Achenkirchen und Benediktbeuern, Innsbruck und Achensee (AMPFERER, 1903, 1904, 1905, 1907, 1912, 1914). Die Erläuterungen zu Blatt Innsbruck und Achensee erschienen 1924 (AMPFERER & OHNESORGE, 1924).

Der junge Ampferer erfasste in seiner Landesaufnahme systematisch auch die quartären Ablagerungen und gliederte sie nach Alter und Genese. Die Grunderkenntnisse hieraus sind, dass der Inngletscher im Hochglazial durch das gesamte Achental bis ins Isartal bzw. zum Tegernsee vordrang, wie aus der Verteilung der Moränen und der kristallinen Geschiebe bzw. Findlinge hervorging. Dabei drang dieser Gletscher weit in die Seitentäler vor und staute die Lokalgletscher zurück. Diese Situationen erkannte AMPFERER (1905) in großem Umfang in den Gebieten der Steinberger Ache. WOLF (1922) beschrieb weitere Vorkommen vom Ampelsbach-, Unterau- und Hühnersbachtal und gab einen umfassenden Überblick über die Spuren der eiszeitlichen Vergletscherung (Hoch- und Spätglazial) des Achenseegebietes (siehe Exkursionsbeitrag E4a, Gruber et al., dieser Band).

Ampferer beschäftigte sich jedoch in erster Linie mit der Stratigraphie und insbesondere mit dem tektonischen Bau: Auf ihn geht die grundlegende Deckengliederung in Allgäu-, Lechtal- und Inntal-Decke zurück. Es ist sein Verdienst erkannt zu haben, dass die Unnutz-Überschiebung mit überkipptem Hauptdolomit (Hangendscholle) auf Ammergau- und Schrambach-Fm. (Liegendscholle) weit nach W bis zur Hochplatte reichte. Der auffällige Knick zwischen Thiersee- und Karwendelmulde sowie ein möglicher Zusammenhang mit der Überschiebungszone von Achenkirch bzw. der „Achentaler Schubmasse“ (QUENSTEDT, 1933, 1951a, b), waren in der Folge Hauptgegenstand heftiger Diskussionen: AMPFERER (1921, 1941) sprach sich für eine ursprünglich durchgehende, großteils überkippte Synklinale vom Thiersee bis nach Mittenwald aus, wobei der Knick zwischen beiden Mulden durch faltende Bewegungen im Zusammenhang mit der Unnutz-Überschiebung entstand. Eine vorangegangene N-S-Einengung führte demnach zur Bildung einer durchgehenden Mulde, die im Zuge einer E-W-Einengung schlingenartig verformt wurde. Der überkippte S-Flügel der Karwendelmulde riss in dieser Phase schräg durch und wurde auf die jüngeren Schichten überschoben (vgl. SAUSGRUBER, 1994). FUCHS (1944), QUENSTEDT (1951a) und SPENGLER (1953) widersprachen Ampferer und gingen von der Annahme zweier getrennter Mulden aus. Laut Fuchs machten der Kern und der Nordflügel der Karwendelmulde diesen Knick nicht mit, womit sie älter als die Mulde sein mussten (näheres hierzu siehe Beitrag Ortner & Gruber, dieser Band).

Der Münchner Paläontologe W. Quenstedt befasste sich neben seinen tektonischen Studien auch intensiv mit der Biostratigraphie des Achentales: Er versuchte in unzähligen Juraprofilen mittels Aptychen und Rhynchoteuthen die Hornsteinkalke und die Aptychenschichten zu gliedern und damit Dogger und Malm besser zu unterscheiden (vgl. QUENSTEDT, 1951b; JAKSCH, 2003).

Eine weitere komplexe tektonische Fragestellung stellte Ampferer am Südrand des Achensees im Stanerjoch-Gebiet mit seinem „Modell der Reliefüberschiebung“ zur Diskussion. Dieses Modell besagt, dass die Inntal-Decke bei Ihrem Vorschub über die Lechtal-Decke ein bereits kräftig ero-

diertes Relief Letzterer überfuhr (Details hierzu in AMPFERER & OHNESORGE, 1924; AMPFERER, 1928, 1946; AMPFERER & HEISSEL, 1950).

Ab den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts übernahm Ampferer bei zwei großen Bau-Projekten den Part der angewandten Geologie: Es ging um den Bau des Achenseekraftwerkes und der neuen Achensee-Bundesstraße von Wiesing nach Achenkirch, deren v. a. quartärgeologische Ergebnisse er in mehreren Arbeiten niederschrieb (AMPFERER, 1919, 1940; AMPFERER & PINTER, 1927; AMPFERER & BERGER 1929). Sie erweiterten wesentlich das Wissen um den Aufbau des Achenseedammes und den Untergrund des Achensees (siehe Beitrag Burger et al., dieser Band).

Mit Ende der 30er Jahre des 20. Jahrhunderts gab – durch Anregung von Prof. Raimund v. Klebelsberg – der Österreichische Alpenverein den Auftrag, auf den drei neuen Alpenvereinskartenblättern Karwendelgebirge West, Mitte, Ost das gesamte Karwendelgebirge neu zu kartieren. Mutschlechner führte diese Arbeiten in wenigen Jahren auf den beiden westlichen Blättern durch, Ampferer bearbeitete das östliche Blatt. Obschon er die Fertigstellung und Drucklegung nicht mehr erlebte, brachte W. Heissel sein Blatt bereits drei Jahre nach dem Tod Ampferers heraus. Die beiden westlichen Blätter Mutschlechners wurden für die Erstellung der GEOFAST-Blätter ÖK 118 Innsbruck und ÖK 119 Schwaz verwendet.

Seit dem späten 19. Jahrhundert ist das Rofangebirge Ziel umfangreicher geologischer Forschungen. Das Interesse galt dem komplexen Gebirgsbau und der zeitlichen Beziehung und Entstehung der oberjurassischen Hornsteinbrekzie. Die Erkenntnisse der umfangreichen Arbeiten von WÄHNER (1903) und SPENGLER (1935) haben bis heute in Grundzügen ihre Gültigkeit bewahrt (vgl. WÄCHTER, 1987). Die Grundfrage nach der Genese der Hornsteinbrekzie beschäftigte zahlreiche Geowissenschaftler. Zwei Meinungen standen sich gegenüber: Laut Ampferer, Trusheim, Sander, Weynschenk ist der Großteil der Brekzie sedimentärer Natur; Wähner, Spengler, Steinmann etc. plädierten demgegenüber für eine Entstehung als tektonische Brekzie (Dislokationsbrekzie). Dieser heftige Disput hatte zur Folge, dass von verschiedenen Geologen zahlreiche paläontologische, sedimentologische und fazielle Detailstudien durchgeführt wurden (HEITZER, 1932; KÜHN, 1935; WEYNSCHENK, 1949; ULRICH, 1960; FABRICIUS, 1966; WENDT, 1969), die das kleine Rofangebirge, nicht zuletzt mit der Monographie Wähners und der geologischen Karte 1:10.000 (beide von Spengler vollendet und herausgebracht) sowie Untersuchungen Ampferers, seit Langem zu einem der geologisch am besten erforschten Gebiete der gesamten Nördlichen Kalkalpen machen. Den letzten Stand der Forschung gibt Wächters umfangreiche Arbeit über die Sedimentologie und Paläogeographie der Hornsteinbrekzie und der vergleichbaren Schwarzbergklambrekzie der Unkenner Synklinale (WÄCHTER, 1987) wider (Näheres dazu siehe Beitrag Brandner & Gruber, Exkursion E2a, dieser Band).

HEISSEL G. (1977, 1978) versuchte in großangelegten strukturgeologischen Aufnahmen das Problem der Abgrenzung von Lechtal- und Inntal-Decke im angrenzenden Karwendel in den Griff zu bekommen. Seine Erkenntnisse münden in der Ausscheidung der deckentrennenden Karwendel-Schuppenzone.

In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts richtete die Arbeitsgruppe um W. Zeil aus Berlin ihr fazielles und strukturgeologisches Interesse auf die Karwendel- und Thiersee-Synklinale und kartierte das Gebiet systematisch im Maßstab 1:10.000 aus. Diese Arbeiten fanden ihren Niederschlag in zwei wegweisenden Arbeiten von NAGEL (1975) über den Bau der Thiersee- und Karwendelmulde und von SCHÜTZ (1979) über die Aptychenschichten der Karwendel- und der Thierseemulde.

Beginnend mit den 70er Jahren setzte das Bayerische Geologische Landesamt einen Forschungs- und Kartierungsschwerpunkt im Isar- und Tegernseer Tal, die an das Achenental angrenzen. Zum einen wurde die wichtige Forschungsbohrung Vorderriß I abgeteuft, die den Deckenbau der Nördlichen Kalkalpen endgültig bestätigte (s. BACHMANN & MÜLLER, 1981 und Bachmann & Müller, dieser Band) und u. a. neue Daten zur quartären Übertiefung des Isartales lieferte. In den 90er Jahren erschienen die bayrischen geologischen Kartenblätter 1:25.000 Vorderriß, Lenggries und Tegernsee (DOBEN, 1991, 1993, 1995).

In den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts schließlich, angeregt durch Vorstudien für das Transalp-Tiefenseismik-Projekt begann R. Brandner von Innsbruck aus, sein Interesse auf dieses Gebiet zu

lenken und gemeinsam mit J.E.T. Channel (Washington) und A. Spieler mittels paläomagnetischer Untersuchungen an Jura-Rotsedimenten Rotationen der Kalkalpen im Zuge der alpidischen Gebirgsbildungen zu ermitteln. Die Ergebnisse sind in CHANNELL et al. (1990) und CHANNELL et al. (1992) publiziert.

Damit einher gingen genaue Kartierungen 1:10.000 der Karwendelmulde sowie mikrofaziale Detailstudien an ausgesuchten Jura-Profilen. Die Arbeitsgruppe wurde später um T. Sausgruber erweitert, der den komplexen Übergangsbereich zwischen Karwendel- und Thiersee-Synklinale – die Achentaler Schubmasse und Überschiebung – neu untersuchte und sich erstmals auch moderner Methoden der Strukturgeologie (Auswertungen der gemessenen Strukturdaten im Schmidtschen Netz, Paläostressstratigraphie) bediente. Somit wurde der Grundstock für die Lithostratigraphie und die Strukturgeologie des vorliegenden Blattes gelegt. Ergänzend fanden überregionale strukturgeologische Untersuchungen auch von Eisbacher und seinen Schülern (vgl. AUER & EISBACHER, 2001) statt, mit dem Ergebnis einer tektonischen Übersichtskarte 1:200.000 der gesamten westlichen Nördlichen Kalkalpen (EISBACHER & BRANDNER, 1995, 1996).

Jüngst hat H. Ortner (Innsbruck) versucht die Mechanik und Kinematik der Achentaler Schubmasse aufzulösen (siehe Beitrag Ortner & Gruber, dieser Band), ebenso fanden strukturgeologische Detailaufnahmen von TÖCHTERLE (2005) in der Thiersee-Synklinale des nordöstlich angrenzenden Brandenberger Tales statt, die im Rahmen der Finalisierung des Tiefenseismik-Projektes Transalp (1998–2001) durchgeführt wurden. Die aus dem Projekt gewonnenen strukturgeologischen Neuergebnisse für den Tiroler Raum (NKA – Tauernfenster) sind in der Arbeit von ORTNER et al. (2006) zusammengefasst.

Die von Geologen aus Berlin, München und Wien aufwendig betriebenen biostratigraphischen und isotopengeologischen Forschungen zur Trias-Jura-Grenze im nördlichen Karwendel fruchteten in der internationalen Festlegung des Profiles am Kuhjoch als GSSP-Punkt für die Trias-Jura-Grenze (siehe HILLEBRAND & KMENT, 2009; Beiträge Richoz sowie Hillebrand & Kment, dieser Band).

In den letzten Jahren wurde auch der Quartärgeologie des betrachteten Raumes neue Beachtung geschenkt: D. Sanders und L. Wischounig widmeten sich ausführlich den prähochglazialen, fluviatilen und lakustrinen Sedimenten, die im weiten Becken von Steinberg am Rofan in Schluchten in ungeahnter Mächtigkeit aufgeschlossen sind und bisher kaum beachtet wurden. C. Spötl und seine Arbeitsgruppe erforschen seit einigen Jahren die vielfältige Quartärabfolge im benachbarten Ristal, das zur letzten Hocheiszeit von den Eismassen des Inn-/Isargletschers nur randlich im Westen erfasst wurde und hauptsächlich von lokalen Eisstaussituationen und fluviatiler Sedimentationsdynamik geprägt ist.

## Literatur

- AMPFERER, O. (1903): Geologische Beschreibung des nördlichen Teiles des Karwendelgebirges. – Jb. Geol. R.-A., 1903, S. 169, Wien.
- AMPFERER (1904): Geologische Beschreibung des nördlichen Theiles des Karwendelgebirges. – Jb. k.k. Geol. R.-A., 53, Wien.
- AMPFERER, O. (1905): Aus der geologischen Geschichte des Achensees. – Zeitschr. des Alpenvereins, 1905, 1–15, Innsbruck.
- AMPFERER, O. (1907): Über Gehäungebrekzien der Nördlichen Kalkalpen. – Jb. Geol. R.-A., 1907, S. 727, Wien.
- AMPFERER (1912): Österreichische Geologische Spezialkarte 1:75.000, Blatt 5047 (Innsbruck-Achensee) und Blatt 4947 (Achenkirch-Benedictbeuern). – Geol. R.-A., Wien.
- AMPFERER, O. (1914): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte 1:75.000 Österreich-Ungarns, Blatt Achenkirchen. – 30 S., Geol. R.-A., Wien.
- AMPFERER, O. (1919): Landschaft und Geologie des Achensees. – Die Wasserwirtschaft, Sonderheft: Der Achensee und die Ausnützung seiner Wasserkräfte, 1–3, Wien.
- AMPFERER, O. (1921): Über NW-Beanspruchungen in den Nordalpen. – Jb. Geol. B.-A., 71, 198–202, Wien.

- AMPFERER, O. (1928): Die Reliefüberschiebung des Karwendelgebirges. – Jb. Geol. B., 78, 241–256, Wien.
- AMPFERER, O. (1932): Geologische Karten der Lechtaler Alpen i. M. 1:25.000. 4 Blätter: Klostertaler Alpen, Arlberggebiet, Parseierspitze und Muttekopf. – Geol. B.-A., Wien.
- AMPFERER, O. (1932): Erläuterungen zu den geologischen Karten der Lechtaler Alpen i. M. 1:25.000, mit Beiträgen von W. Hammer. – 125 S., Geol. B.-A., Wien.
- AMPFERER (1933): Geologischer Führer für das Kaisergebirge. – 131 S., 1 geol. Kte. 1:25.000, Geol. B.-A., Wien.
- AMPFERER, O. (1940): Über die geologischen Aufschlüsse beim Bau der neuen Achenseestrasse auf der Strecke zwischen Wiesing und Scholastika. – Geologie und Bauwesen, Jg. 11, Wien.
- AMPFERER, O. (1941): Tektonische Nachbarschaft Karwendel-Sonnwendgebirge. – Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl. Abt. I, 150, 181–199, Wien.
- AMPFERER, O. (1946): Geologische Formenwelt und Baugeschichte des östlichen Karwendelgebirges. – Denkschr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Klasse, 106, Wien.
- AMPFERER, O. & BERGER, J. (1929): Vom geologischen Aufbau der Achenseeufer, seine Auswirkung bei der Spiegelabsenkung. – Schweizerische Bauzeitung, 93/14, Zürich.
- AMPFERER, O. & HEISSEL, W. (1950): Das östliche Karwendel. – 55 S., 1 Profil, 1 tekt. Übers.-Kte., Innsbruck (Wagner).
- AMPFERER, O. & OHNESORGE, Th. (1912): Innsbruck und Achensee 1:75.000, Geologische Spezialkarte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie. – Verl. Geol. Reichsanst., Wien.
- AMPFERER, O. & OHNESORGE, Th. (1924): Erläuterungen zur Geologischen Spezial-Karte der Republik Österreich Blatt Innsbruck-Achensee (5047). – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- AMPFERER, O. & PINTER, K. (1927): Über geologische und technische Erfahrungen beim Bau des Achenseewerkes in Tirol. – Jb. Geol. B., 1928, 78, Wien.
- AUER, M. & EISBACHER, G.H. (2001): Structure and Kinematics of the Northern Calcareous Alps along the Transalp-Profile. – Geol.-Paläont. Mitt. Innsbruck; 25: 19–20, Innsbruck.
- BACHMANN, G.H. & MÜLLER, M. (1981): Geologie der Tiefbohrung Vorderriß (Kalkalpen, Bayern). – Geologica Bavarica, 81, 17–53, München.
- BLAAS, J. (1889a): Ein Profil durch den Achenseedamm. – Verh. Geol. R.-A., 1889, S. 232, Wien.
- BLAAS, J. (1889b): Über sogenannte interglaziale Profile. – Jb. Geol. R.-A., S. 477, Wien.
- BLAAS, J. (1890/91): Notizen über diluvioglaziale Ablagerungen im Inntalgebiete. – Ber. D. naturwiss.-mediz. Vereins Innsbruck, Innsbruck.
- BLIND, W. (1963): Die Ammoniten des Lias alpha aus Schwaben, vom Fonsjoch und Breitenberg (Alpen) und ihre Entwicklung. – Palaeontographica (A), 121: 37–131.
- BUNZA, G. & KOZUR, H. (1971): Ostracoden aus den Raibler Schichten östlich von Scholastika (Achensee, Tirol). – In: BUNZA, G. & KOZUR, H. (1971), Beiträge zur Ostracodenfauna der tethyalen Trias, Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 1, H. 2, Teil I. 3–13, Innsbruck.
- CHANNELL, J.E.T., BRANDNER, R., SPIELER, A. & SMATHERS, N.P. (1990): Mesozoic paleogeography of the Northern Calcareous Alps – evidence from paleomagnetism and facies analysis. – Geology, 18, 828–831, 5 Figs., Boulder.
- CHANNELL, J.E.T., BRANDNER, R., SPIELER, A. & STONER, J.S. (1992): Paleomagnetism and paleogeography of the Northern Calcareous Alps (Austria). – Tectonics, 11, 792–810, Washington.
- CLARK, W.B. (1887): Über die geologischen Verhältnisse der Gegend nordwestlich vom Achensee mit besonderer Berücksichtigung der Bivalven und gastropoden des unteren Lias. – Diss. München, 45 S., 2 Taf., 1 geol. Kte., München.S
- CORNELIUS, H.P. & CLAR, E. (1935): Geologische Karte des Grossglocknergebietes 1:25.000 mit Erläuterungen. – Geol. B.-A., Wien.
- DOBEN, K. (1993): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8335 Lenggries. Mit Erläuterungen. – 120 S., München (Bayer. Geol. Landesamt).
- DOBEN, K. (1993): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8434 Vorderriß. Mit Erläuterungen. – 73 S., München (Bayer. Geol. Landesamt).
- DOBEN, K. (1995): Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 8336 u. 8436 Rottach-Egern. Mit Erläuterungen. – München (Bayer. Geol. Landesamt).

- EISBACHER, G. & BRANDNER, R. (1995): Role of high-angle faults during heteroaxial contraction, Inntal thrust sheet, Northern Calcareous Alps, western Austria. – GPM Innsbruck, 20, 389–406, 7 Figs., Innsbruck.
- EISBACHER, G.H. & BRANDNER, R. (1996): Superposed fold thrust structures and high angle faults, northwestern Calcareous Alps, Austria. – Ecl. Geol. Helv., 89, 553–571, 4 Figs., 2 Taf., Basel.
- FABRICIUS, F. (1966): Beckensedimentation und Riffbildung an der Wende Trias/Jura in den Bayerisch-Tiroler Kalkalpen. – Internat. sedim. petrogr. series, 9, 143 S., Leiden.
- FUCHS, A. (1944): Untersuchungen am tektonischen Gefüge der Tiroler Alpen. II. Kalkalpen Achensee – Karwendelgebirge. – Neues Jahrb. für Mineral., Abh., Abt. B, 88, 88, 337–373, Stuttgart.
- GEOGNOSTISCHER VEREIN FÜR TIROL UND VORARLBERG (Hrsg.) (1849): Geognostische Karte Tirols im Maßstab 1:115.200.
- GEYER, G. (1886): Ueber die Lagerungsverhältnisse der Hierlatz-Schichten in der südlichen Zone der Nordalpen vom Pass Pyhrn bis zum Achensee. – Jb. k.k. Geol. R.-A., Wien.
- GRUBER, A. (2007): Bericht 2005/2006 über geologische Aufnahmen im Quartär und in den Nördlichen Kalkalpen auf Blatt 88 Achenkirch. – Jb. Geol. B.-A., 147: 635–643, Wien.
- GRUBER, A. (2008a): Bericht 2006 über geologische Aufnahmen auf den Blättern 88 Achenkirch und 119 Schwaz. – Jb. Geol. B.-A., 148: 277–281, Wien.
- GRUBER, A. (2008b): Bericht 2007 über geologische Aufnahmen im Quartär und in den Nördlichen Kalkalpen auf den Blättern 87 Walchensee und 88 Achenkirch. – Jb. Geol. B.-A., 148: 236–240, Wien.
- GRUBER, J. (2009): Bericht 2008-2009 über geologische, strukturgeologische und quartärgeologische Aufnahmen auf Blatt 88 Achenkirch. – Jb. Geol. B.-A., 149, 525–528, Wien.
- GÜMBEL (1861): Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes. – 950 S., 25 Abb., 42 Prof.-Taf., 1 Kte., 5 geol. Kartenbl. 1:100.000, u. a. III Werdenfels, IV Miesbach, Gotha.
- HAHN, F.F. (1911): Neue Funde in nordalpinem Lias der Achenseegegend und bei Ehrwald. – Neues Jahrb. für Mineral., Beilagebd. 32, Stuttgart.
- HEISSEL, G. (1977): Die geologische Neuaufnahme des Karwendelgebirges und seine tektonische Ausdeutung. – Unveröff. Diss Univ. Innsbruck, 372 S., 1 geol. Kte. 1:20.000, 1 tekt. Kte. 1:100.000, 17 Prof. 1:25.000, Innsbruck.
- HEISSEL, G. (1978): Karwendel – geologischer Bau und Versuch einer tektonischen Rückformung. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 8, Festschrift W. Heissel, 227–288, Innsbruck.
- HEITZER, I. (1930): Die Radiolarienfauna der mitteljurasischen Kieselmergel im Sonnwendgebirge. – Jb. Geol. B.-A., 80, Wien.
- HILLEBRANDT, A., v. & KMENT, K. (2009): Die Trias/Jura-Grenze und der Jura in der Karwendelmulde und dem Bayerischen Synklinorium. – Deutsche Stratigraphische Kommission, Jahrestagung der Subkommission für Jurastratigraphie in Fall vom 10.–13. 06. 2009, Exkursionsführer, 45 S.
- KRYSTYN, L., HILLEBRANDT, A. v. & RYCHOZ, S. (2010): The GSSP for the base of the Jurassic in the Northern Calcareous Alps (Kuhjoch section, Karwendel Mountains, Tyrol, Austria). – In: PANGEO AUSTRIA 2010: Geowissenschaften – Grundlagen und Anwendung: Leoben 15. 09. 2010 – 19. 09. 2010: Abstract Volume, Journal of Alpine Geology; 52, 163, Leoben.
- JAKSCH, K. (2003): Werner Quenstedt und sein Achantaler Ampelsbachprofil (Tirol) mit einem Beitrag zur frühen Lamellaptychenentwicklung. – Jb. geol. B.-A., 143/1, 45–55.
- KARLE, U. (1984): Palynostratigraphische Untersuchung eines Rhät/Lias-Profiles am Fonsjoch, Achensee (Nördliche Kalkalpen, Österreich). – Mitt. Österr. Geol. Ges., 77, 331–353, Wien.
- KRYSTYN, L., HILLEBRANDT, A. v. & RYCHOZ, S. (2010): The GSSP for the base of the Jurassic in the Northern Calcareous Alps (Kohjoch section, Karwendel Mountains, Tyrol, Austria). – In: PANGEO AUSTRIA 2010: Geowissenschaften - Grundlagen und Anwendung: Leoben 15. 09. 2010 – 19. 09. 2010: Abstract Volume, Journal of Alpine Geology, 52: 163, Leoben.
- KÜHN, O. (1935): Die Hornsteinbreccie des Sonnwendgebirges und ihre Korallenfauna. – Paläontologische Zeitschrift, 17, 178-204, Stuttgart.
- LANGE, W. (1952): Der untere Lias am Fonsjoch (östliches Karwendelgebirge) und seine Ammonitenfauna. – Palaeontographica (A), 102: 49–162.

- MOJSISOVICS, E. v. (1870): Das Kalkalpengebiet zwischen Schwaz und Wörgl im Norden des Inn. – Verh. Geol. R.-A., 1870, S. 185, Wien.
- MOJSISOVICS, E. v. (1871): Beiträge zur topischen Geologie der Alpen. – Jb. Geol. R.-A., 1871, S. 189, Wien.
- NAGEL, K.H. (1975): Der Bau der Thiersee- und Karwendelmulde (Tirol). – Geotektonische Forschungen, 48, 136 p., Stuttgart.
- NEUMAYR, 1879: Zur Kenntnis der Fauna des untersten Lias in den Nordalpen. – Abh. K.k. Geol. R.-A., 7 (5), 1–46, Wien.
- 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 (2006) 241–258.
- OSSWALD, K. (1919): Geologische Karte des Risserkogel-Gebietes. – Karte 1:25.000, München (Verlag von Piloty und Loehle).
- 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. – Bd I–III, 1199 S., Leipzig (Tauchnitz).
- PICHLER, A. v. (1856): Zur Geognosie der nordöstlichen Kalkalpen Tirols. – Jb. Geol. R.-A., 1856, S. 737, Wien.
- PICHLER, A. v. (1859): Beiträge zur Geognosie Tirols. – Zeitschr. d. Ferdinandeums, 1859, I. Folge, S. 169, Innsbruck.
- PICHLER, A. v. (1869): Beiträge zur Geognosie und Mineralogie Tirols. – Verhandlungen der k.k. Geol. R.-A., Wien.
- PICHLER, A. v. (1872): Zur Geognosie der nördlichen Kalkalpen Tirols. – Neues Jahrb., 1872, Stuttgart.
- PICHLER, A. v. (1875): Beiträge zur Geognosie Tirols. 8. Vom Sonnwendjoche. – Neues Jahrb., 1875, S. 936, Stuttgart.
- PICHLER, A. v. (1876): Beiträge zur Geognosie und Mineralogie Tirols. – Neues Jahrb., 1876, S. 920, Stuttgart.
- QUENSTEDT, W. (1933): Studien in der Überschiebungszone von Achenkirch. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 85, 459–461, Hannover.
- QUENSTEDT, W. (ca. 1942): Geologische Karte des Achentales, 1:50.000. – Unveröff. Manuskriptkarte.
- 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 I: *Tabula stratigraphica (geohistorica) Mesozoici Achentalensis (Tirolis)*. – *Biotropia*, 1, 12 S., Innsbruck (Felizian Rauch).
- RICHTHOFEN, F. v. (1859): Die Kalkalpen von Vorarlberg und Nord-Tirol. Erste Abtheilung. – Jb. K.k. Geol. R.-A., 10, Wien.
- ROTHPLETZ, A. (1888): Das Karwendelgebirge. – *Zeitschr. DuOeAV*, 1888, 1–74, 29 Abb., 1 topogr. u. 1 geol. Kte. 1:50.000, 9 Taf., München.
- SAPPER, C. (1888): Über die geologischen verhältnisse des Juifen und seiner Umgebung mit besonderer berücksichtigung der Liasablagerungen. – 34 S., 1 Kte., Inaug. Diss., München.
- SAUSGRUBER, TH. (1994): Jurabeckenentwicklung nördlich vom Achensee und deren Folgen bei der alpidischen Kompressionstektonik. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Innsbruck, 133 S., 53 Figs., Innsbruck.
- SCHMIDT-THOMÈ, P. (1953): Geologische Karte von Bayern 1:100.000, Blatt Tegernsee, München. Der Tiroler Anteil dieser Karte ist größtenteils nach den Angaben von W. Quenstedt (1952) gezeichnet.
- SCHÜTZ, K.-I. (1979): Die Aptychenschichten der Thiersee- und der Karwendelmulde. – *Geotekton. Forsch.*, 57, 1–84, Stuttgart.
- SPENGLER, E. (1953): Versuch einer Rekonstruktion des Ablagerungsraumes der nördlichen Kalkalpen (I. Teil, Westabschnitt). – *Jb. Geol. B.-A.*, 96, 1–64, Wien.

- SPIELER, A. (1994): Bericht 1993 über geologische Aufnahmen in den Nördlichen Kalkalpen auf Blatt 88 Achenkirch. – Jb. Geol. B.-A., 137: 474–475; Wien.
- SPIELER, A. (1995): Bericht 1994 über geologische Aufnahmen in den Nördlichen Kalkalpen auf Blatt 119 Schwaz. – Jb. Geol. B.-A., 138: 526–527; Wien.
- STARK, F. (1873): Die bayerischen Seen und die alten Moränen. Mit Karte 1:250.000. – Zeitschr. d. Alpenvereins, 1873, S. 67.
- TÖCHTERLE, A. (2005): Tektonische Entwicklungsgeschichte des Südteiles der Nördlichen Kalkalpen entlang der TRANSALP-Tiefenseismik anhand bilanzierter Profile. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Innsbruck, 91 p., Innsbruck.
- TRUSHEIM, F. (1930): Die Mittenwalder Karwendelmulde. – Wiss. Veröff. D.Ö.A.V., 7, 69 S., 1 geol. Kte. 1:25.000, Innsbruck
- ULRICH, R. (1960): Die Entwicklung der ostalpinen Juraformation im Vorkarwendel zwischen Mittenwald und Achensee. – *Geologica Bavarica*, 41: 99–151.
- WÄCHTER, J. (1987): Jurassische Massflow- und Internbreccien und ihr sedimentär-tektonisches Umfeld im mittleren Abschnitt der Nördlichen Kalkalpen. – *Boch. Geol. u. Geotechn. Arb.*, 27, 239 p., Bochum.
- WÄHNER, F. (1903): Das Sonnwendgebirge im Unterinntal, 1. Teil. Ein Typus Alpen Gebirgsbaues. – 356 S., Deuticke, Leipzig/Wien.
- WÄHNER, F. & SPENGLER, E. (1935): Das Sonnwendgebirge im Unterinntal, 2. Teil. – 200 S., Deuticke, Leipzig/Wien.
- WENDT, J. (1969): Stratigraphie und Paläogeographie des Roten Jurakalks im Sonnwendgebirge (Tirol, Österreich). – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 132, 2: 219–238, Stuttgart.
- WEYNSCHENK, R. (1949): Beiträge zur Geologie und Petrographie des Sonnwendgebirges (Tirol), besonders der Hornsteinbreccien. – *Schlern-Schriften*, 59, 1–66, Innsbruck.
- 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. – Unpubl. Dipl.-Arb. Univ. Innsbruck, 105 S., 118 Figs., 12 Taf., Innsbruck.
- WOLF, H. v. (1922): Beiträge zur Kenntnis der eiszeitlichen Vergletscherung des Achenseegebietes in Tirol. – *Mitt. Geogr. Ges. München*, Bd 15, 147–304, München.
- WOLF, H. v. (1924): Eiszeitstudien im Risser Gebirge. – *Mitt. geogr. Ges. München*, Bd. 17, 255–274, München.
- WOLF, H. v. (1926): Erläuterungen zur geologischen Ausgabe des Blattes 664 Tegernsee der Karte des Deutschen Reiches 1:100.000. Mit Geol. Karte 1:100.000. – München (Verlag von Piloty und Loehle).
- WÖHRMANN, S. v., 1889: Die Fauna der sog. Cardita- und Raibler Schichten in den Nordtiroler und Bayerischen Alpen. – *Jb. K.k. Geol. R.-A.*, 39, 181–258, Wien.