

Der Bau des Wetterstein- und Mieminger Gebirges im Lichte von 100 Jahren geologischer Forschungsgeschichte

VON HANS-JOCHEN SCHNEIDER

Mit 8 Abbildungen

„Wir haben heute die Gebirge als etwas Starres vor uns liegen, starr wohl nur im Rahmen unserer eigenen Vergänglichkeit, und doch hält deren Struktur hin und hin unzweideutig die Spuren vielfacher lebendiger Bewegtheit aufbewahrt . . .“ Otto Ampferer (1923)

Das westliche Wettersteingebirge und der touristisch bedeutendste Abschnitt der Mieminger Gruppe bilden das Kernstück der diesem Alpenvereinsjahrbuch beiliegenden „Karte des Wetterstein- und Mieminger Gebirges, Mittleres Blatt“.

Der gewaltige Gipfelstock der Zugspitze, mit 2962 m Höhe der höchste Gipfel des deutschen Alpenanteiles, stellt nicht nur für die von Jahr zu Jahr anschwellende Masse der „Seilbahntouristen“ eine Attraktion dar. Vielmehr gab und gibt seine imposante, mauergleich geschlossene Westflanke auch Generationen von Geologen ein Rätsel besonderer Art auf. Fachleute von Rang und Namen suchten auch hier nach dem Schlüssel für die Klärung eines Problems, welches — über das engere Gebiet hinaus — für die gesamten Bayerisch-Nordtiroler Kalkalpen und letztlich für den Baustil der gesamten Ostalpen besteht: Sind die Gesteinsmassen, welche heute z. B. das eigentliche Wetterstein- und Mieminger Gebirge aufbauen, tatsächlich aus größerer Entfernung auf eine „fremde Unterlage“ überschoben worden? Und weiter: Wie ist ein solches zyklisches, dem Laien wie dem Fachmann zunächst gleichermaßen unvorstellbares Kräftespiel unserer Erdkruste zu erklären?

Wir werden sehen, daß wir mit dieser anscheinend simplen Fragestellung an eines der Grundprobleme der geologischen Wissenschaft geraten sind.

Es ist eine alte Gepflogenheit des Alpenvereins, daß mit der Herausgabe einer neuen Karte jeweils auch der geologische Bau des betreffenden Gebirges eine ausführliche Erläuterung erfährt. Was im besonderen über die Gesteine und den Bauplan von Wetterstein- und Mieminger Gebirge interessiert, hat H. Bögel im Jahrbuch 1960 dargelegt (Bögel, 1960¹). Die Aufgabe der folgenden Zeilen soll deshalb weiter gefaßt werden.

Der Österreichische Alpenverein blickt in diesem Jahr auf sein 100jähriges Bestehen zurück. Dieses Ereignis, das im vorliegenden Jahrbuch besonders gewürdigt wird, regt dazu an, auch die „geologischen Erläuterungen“ über eine Gebirgsgruppe einmal von der spröden Beschreibung des engeren Gebietes abzulösen und einen größeren historischen Rückblick zu versuchen, etwa unter der Devise: Was wußten und meinten die Alpengeologen vor hundert Jahren — und was wissen wir heute.

Wetterstein- und Mieminger Gebirge sind nun besonders geeignet, das ständige Fortschreiten der geologischen Erkenntnisse, das unaufhörliche Sammeln von Beobachtungen und vor allem das ständige Schwanken der Ansichten im edlen Streit der Geister zu demonstrieren. Wir werden sehen, daß letztlich auch die Forschungen in diesem verhältnis-

¹ Vgl. Schrifttumshinweise am Ende des Aufsatzes.

mäßig kleinen Gebiet zwischen Mieminger Hauptkamm und Eibsee von den großen, weltweit diskutierten Hypothesen und Theorien beeinflusst wurden. Andererseits wirkten gerade die in unserem Gebiet und seiner Nachbarschaft gesammelten Erkenntnisse belebend und befruchtend auf die Streitgespräche der Geologen über „die großen Theorien“ zur Entstehung der Faltengebirge: Vor nicht ganz 60 Jahren begründete *Otto Ampferer* während seiner geologischen Erforschung des Gebirgsbaues zwischen Achensee und Zugspitze seine „Unterströmungstheorie“, deren Grundkonzeption in unseren Tagen durch moderne geophysikalische Forschungen zunehmend bestätigt wird. Somit erscheint gerade der hier betrachtete Teil der Nördlichen Kalkalpen als „Geburtsstätte“ eines Gedankens, einer kühnen Hypothese zunächst, die Baustil und Bewegungsmechanismus der gesamten Erdkruste zu erklären versucht!

Wie in allen anderen Disziplinen der Wissenschaft stellt auch unser Wissen um Bauplan und Baugeschichte des Wetterstein- und Mieminger Gebirges die Summe von Erkenntnissen dar, die Generationen von Geologen hier und andernorts in mühsamen Einzelschritten sammelten. Es liegt auf der Hand, daß im Rahmen dieser kurzen Ausführungen die geistesgeschichtliche Entwicklung all dieser Gedanken nur in einzelnen „Streiflichtern“ erhellt werden kann.

Doch ehe wir uns diesem historischen Rückblick und dem großen geologischen Rahmen zuwenden, sei hier noch eine Besonderheit des Wettersteingebirges kurz erwähnt, die es nur mit wenigen Gebirgsgruppen der Nordalpen teilt:

Der Zugspitzstock beherbergt, neben der Hochkaltergruppe in den Berchtesgadener Alpen mit dem „Blaueis“, die einzigen Gletscher des deutschen Alpenanteiles. Der allgemeine Gletscherschwund der letzten hundert Jahre — eine Wirkung langperiodischer klimatischer Änderungen — tritt auch hier stark in Erscheinung. Die südlich des Zugspitzgipfels liegende Karsthochfläche „Auf dem Platt“ schmückte noch vor 70 Jahren ein ansehnlicher Gletscher, der „Schneeferner“. Inzwischen hat er sich in zwei kleine Gletscherflecken aufgelöst. Der nordöstlich des Zugspitzgipfels gelegene „Höllentalferner“ hat den allgemeinen Verfall dagegen noch verhältnismäßig gut überstanden. — Über die glaziologischen Beobachtungen hierzu berichtete *R. Finsterwalder* (1951) ausführlich im Alpenvereinsjahrbuch 1951.

„Am westlichen Fuße der Zugspitze, des Culminationspunktes des Wettersteingebirges, tritt von weitem bereits (z. B. von Lermoos und vom Eibsee) in großer Schärfe sichtbar ein mächtiger Komplex gutgeschichteter dunkler Gesteinstafeln unter dem weißen, auffallend davon kontrastierenden Wettersteinkalk hervor, welcher die Hauptmasse des Gebirges bildet...“ Der mit diesem Satz die wesentlichen Züge der Gesteinsfolge des westlichen Wettersteingebirges 1871 beschrieb, war kein Geringerer als *Edmund von Mojsisovics*, einer jener „drei jungen Männer“, die 1862 in Wien den Anstoß zur Gründung eines „Alpenvereines“ gegeben hatten! Von 1868 bis 1874 arbeitete *Mojsisovics* im Auftrage der damals noch jungen Geologischen Reichsanstalt, Wien, in den Bayerischen und Nordtiroler Kalkalpen unter *Ferdinand v. Richthofen*. Anschließend wandte er sich den Dolomiten Südtirols zu, wo er sich mit grundlegenden Arbeiten Rang und Namen in der internationalen Fachwelt verdiente.

Wenn auch *Mojsisovics'* Gedanken über den Bau des Wettersteingebirges, auf einigen — zeitbedingten — Irrtümern beruhend, von keiner besonderen Bedeutung waren, so werfen sie doch ein bezeichnendes Licht auf das Grundmotiv dieser ersten Phase der wissenschaftlich vorgehenden Alpengeologie: Die „Geologie“ war erst wenige Jahrzehnte vorher zu einer selbständigen Wissenschaft geworden. Ihre Vertreter bemühten sich nun-

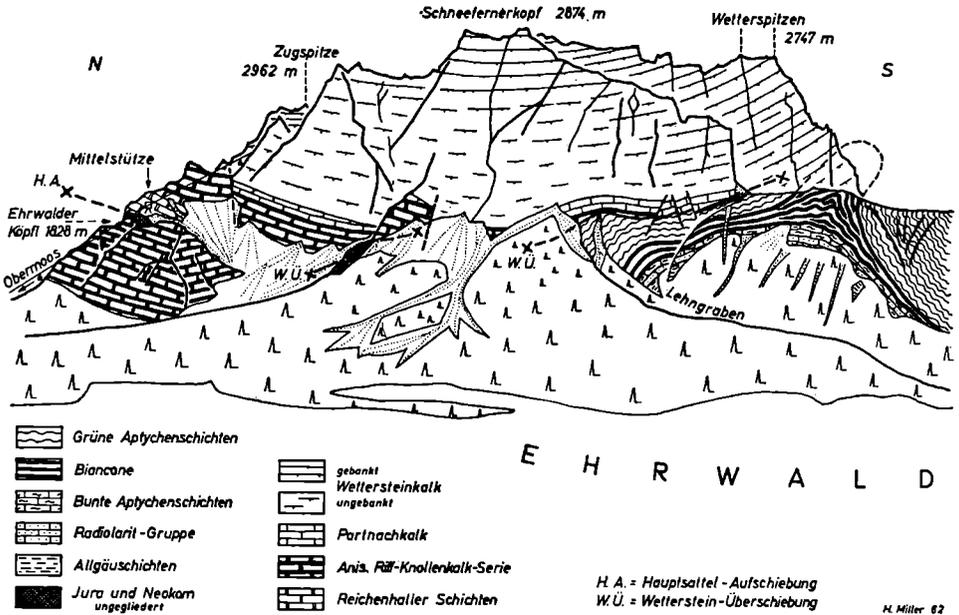


Abb. 1: Ansichtspröfil der Westflanke des Wettersteingebirges (H. Miller, 1962, nach einer photographischen Aufnahme von H.-J. Schneider, 1960; vgl. Taf. VI a).

mehr, vom kritischen Geist des Rationalismus inspiriert, zunächst die „Erdgeschichte“ in der durch versteinerte Lebensspuren (Fossilien) dokumentierten Abfolge übereinanderliegender Gesteinsschichten zu erfassen. Es war die große Pionierzeit der Paläontologie und Stratigraphie. So waren die maßgeblichen Geister dieser ersten Phase vor allem kritische, unvoreingenommene Sammler von Beobachtungen, die der „historischen“ (stratigraphischen) Fragestellung dienten.

Aus dem Bereich der Bayerisch-Nordtiroler Kalkalpen seien hierzu nur zwei hervorragende Vertreter genannt: *Adolf v. Pichler* (1819—1900), „Altmeister der Geologie Tirols“, erster Ordinarius für Geologie an der Universität Innsbruck, und *Carl Wilhelm v. Gümbel* (1823—1898), zunächst Leiter der „Geognostischen Abteilung“ und später, als Oberbergdirektor, Vorstand des gesamten Bayerischen Oberbergamtes. Letzterer führte die erste systematische geologische Erforschung des gesamten bayerischen Alpenanteiles durch, von Anfang an (etwa ab 1856) in gegenseitigem Einvernehmen und in enger Föhlungnahme mit den Fachkollegen von der Geologischen Reichsanstalt in Wien. *Gümbel* prägte unter anderem auch, nach seinen im Wettersteingebirge gewonnenen Erkenntnissen, für Gesteinskomplexe, die in den gesamten Nördlichen Kalkalpen verbreitet sind, die heute noch gebräuchlichen Namen „Wettersteinkalk“ und „Partnachschichten“.

Die verschiedenartigen Bauformen zu erfassen oder gar die Dynamik ihrer Bildungsweise exakter zu analysieren, dafür interessierte man sich in dieser Zeit noch nicht so sehr, offenbar in dem richtigen Gefühl, daß hierzu die Grundlagen noch nicht gesichert seien. Man nahm Verbiegungen, Faltungen und Bruchformen von Gesteinen zur Kenntnis, ohne nach Ausmaß und Ursache solcher riesenhafter Deformationen zu fragen. „Bei näherer Kenntnis des Nordtiroler Gebirges“, erklärt demzufolge auch *Mojsisovics*, „daß die heutigen Distanzen größtenteils nur Folgen von oft kolossalen Zusammenpressungen und Überschiebungen sind, durch welche die ursprünglichen Entfernungen bedeutend verringert worden sind“ (1871, S. 214). Jedenfalls stand für einen Teil der Alpengeologen damals schon fest, daß die allerorts im Gebirge beobachtbaren gewaltigen Faltungen und

Überschiebungen hauptsächlich durch horizontale Bewegungen bewirkt und somit auf eine seitliche Einengung des ursprünglichen Ablagerungsraumes der Gesteinsschichten zurückzuführen seien. Diesen Gedanken hatte erstmals *Horace Benedict de Saussure*, der Initiator der Erstbesteigung des Montblanc, bereits 1796 (!) geäußert. Er fand jedoch wenig Beachtung, da sich inzwischen die sog. „Erhebungstheorie“ *Leopold von Buchs* durchgesetzt hatte.

Nach dieser ersten Phase des Sammelns, Sichtens und Ordnen von Erkenntnissen über das Gesteinsinventar der Gebirge ergab sich bald das Bedürfnis, die ungeheure Summe von Einzelbeobachtungen in einer großen Zusammenschau zu vereinigen und dabei notwendigerweise auch Bauformen wie Baugeschichte (die „Tektonik“) zu erklären. Damit beginnt die geistesgeschichtlich bedeutungsvolle Phase der „großen Theorien“, der „Schulen“ und „Lehrbuchmeinungen“. Der Impuls hierzu ging von den Alpen aus über die gesamte Welt!

Die in den Ostalpen gesammelten Erkenntnisse faßte *Eduard Sueß*, einer der Wiener Gründer des Osterreichischen Alpenvereines, zunächst in einer kleinen Studie über „Die Entstehung der Alpen“ (1875) zusammen. Während *Sueß* seine Vorstellungen über Bauplan und Bewegungsmechanismus der Alpen mehr deduktiv durch eine Sichtung der vorhandenen geologischen Karten und Literatur gewann, schöpfte der große Schweizer Geologe *Albert Heim* seine Gedanken unmittelbar aus eigenen Kartierungsarbeiten in den Westalpen (Glerner Alpen, Tödigruppe). 1878 erscheint sein klassisches Werk über den „Mechanismus der Gebirgsbildung“. Von einigen, hier nicht näher interessierenden Einzelheiten abgesehen, waren sich beide Forscher im Prinzip darin einig, daß die Faltungs- und Überschiebungsvorgänge auf gewaltige horizontale Bewegungen zurückzuführen seien, die eine seitliche Einengung dieses Streifens der Erdkruste zur Folge hatten.

Eduard Sueß fand dazu einen übergeordneten, „globalen“ Bildungsprozeß. In seinem dreibändigen Standardwerk „Das Antlitz der Erde“ (Wien, 1883—1909), mit welchem er das Weltbild der Geologen über Jahrzehnte beeinflusste, vertrat er die „Kontraktionstheorie“ als umfassende Erklärung für Bewegung und Baustil der Erdkruste: Im Verlaufe ihrer Geschichte als Himmelskörper kühlte sich die Erde allmählich ab und schrumpfte mehr und mehr zusammen. Die zunächst aus dem Glutfluß („Urmagma“) während der Abkühlung ausgeschiedene und erstarrte äußere Gesteinshülle (Erdkruste) konnte dem weiteren Schrumpfungsvorgang des Erdkörpers nur dadurch folgen, daß sie (etwa wie ein trockener Apfel) weithin ziehende Faltenstränge um starre „Kontinent-schollen“ entwickelte.

Auf diese Weise war die in den Alpen und allen anderen „Faltengebirgen“ der Erde beobachtbare seitliche Einengungsbewegung und damit der Flächenschwund dieser Krustenstreifen zunächst erklärbar, bis weitere Erkenntnisse dann zu gewichtigen Gegenargumenten führten. Doch davon später!

Da der große Bogen der Alpen nun Faltungsbewegungen erkennen läßt, die vorwiegend „nach außen“, also nach Norden und Nordwesten, gerichtet sind, wurde als „schiebende Kontinent-scholle“ die afrikanische Masse angesehen.

Es ist verständlich, daß eine solche großzügige und kühne Theorie sich auch sofort auf die Gedanken der weiterhin in den Alpen forschenden Geologen auswirkte, denn diese mußten nunmehr ihre Beobachtungen und Aussagen über den Bauplan einzelner Gebirgsgruppen mit dieser neuen „tektonischen“ Erklärung in Einklang bringen.

Doch kehren wir nunmehr in die Bayerisch-Nordtiroler Kalkalpen zurück. In den Jahren 1886 und 1887 nimmt *August Rothpletz* im Zusammenhang mit der Herausgabe der ersten Karwendelkarte (1:50.000) durch den DuOeAV mit einer großen Zahl von Schülern den Nordteil des Karwendelgebirges geologisch auf. Nach seinen tektonischen Erkenntnissen wären die mächtigen Gesteinspakete hier zunächst an langen, Ost-West streichenden Brüchen zerlegt und anschließend durch „ortsständige“, nordwärts gerichtete

tete Verfaltungen eingeeignet worden (*Rothpletz*, 1888). Mit dieser einfachen, klaren Konzeption schuf *Rothpletz*, Professor für Geologie an der Universität München und langjähriger Vorsitzender der Sektion München, die Grundlage für eine Möglichkeit, den komplizierten Baustil der Faltengebirge weitgehend durch ortständige Bewegungen zu erklären: Es entstand die „Münchner Schule“, die bis zu unserer Zeit den geistigen Gegenpol zur „Schweizer Schule“ und zur „Wiener Schule“ bildet. (Diese kurzen Schlagworte mögen für eine nur dem Fachgeologen näher bekannte, vielfältige Variation einzelner Meinungen und Hypothesen stehen.) Anlässlich des Geologenkongresses in Zürich (1894) räumte *Rothpletz* noch ein, daß sicherlich auch größere, horizontalliegende Schubflächen im Bauplan der Alpen existieren mögen, diese aber eher durch eine „Unterschiebung“ zu erklären seien. Die Tragweite dieser Idee wird erst Jahrzehnte später verständlich.

Im Juli 1896 erscheint nun ein junger Geologe im südlichen Karwendelgebirge, um mit seinem langjährigen Seilgefährten, *Wilhelm Hammer*, eine von der Universität Innsbruck gestellte Preisaufgabe glänzend zu lösen: der bekannte Innsbrucker Bergsteiger *Otto Ampferer* (1875—1947). Das geologische Lebenswerk dieses Mannes, seine auf zahllosen Alleingängen über die Gipfel der Nördlichen Kalkalpen gesammelten Erkenntnisse und Gedanken haben — weit über die regional-geologische Forschung hinaus — grundlegende Bedeutung für die „modernen“ tektonischen Vorstellungen der geologischen Fachwelt erlangt.

Wenn er auch mit Abschluß seiner ersten Arbeit (1898, gem. mit *W. Hammer*) über das südliche Karwendelgebirge noch im großen und ganzen die tektonischen Vorstellungen von *Rothpletz* vertritt, so kommt er doch wenige Jahre später, nach einer neuerlichen gründlichen Durchforschung des nördlichen Karwendels, zu eigenen Erkenntnissen und Vorstellungen. Er erkennt hier erstmals die Existenz flachliegender Überschiebungen (so z. B. auf der Nordseite der nördlichen Karwendelkette) und schließt daraus, „daß vielleicht das ganze aus älterer Trias bestehende Hochgebirge auf einem aus jüngeren Schichten erbauten Sockel aufruhe“ (*Ampferer*, 1903, S. 247). Doch solche Gedanken sind den Alpengeologen dieser Jahre schon nicht mehr fremd!

Als ein für die Geologie der Ostalpen historisch bedeutsamer Wendepunkt erscheint aus der Rückschau der 1903 in Wien veranstaltete Internationale Geologenkongreß. Namhafte französische und Schweizer Geologen (*Bertrand*, *Haug*, *Lugeon*, *Schardt*, *Ter-*

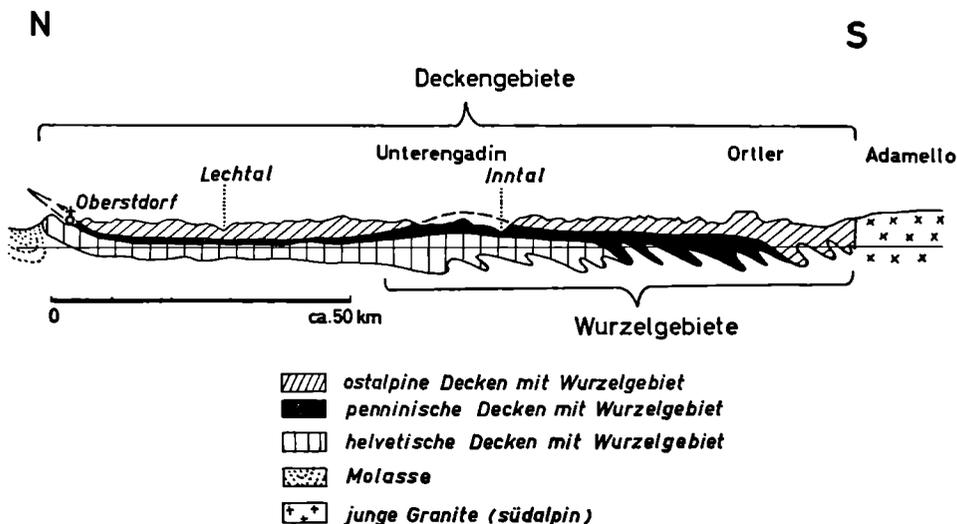


Abb. 2: Schematische Darstellung des Deckenbaues der Ostalpen nach G. Steinmann (1906).

mier u. a.) übertragen die nach jahrzehntelangen Beobachtungen in den Westalpen entstandene Theorie vom Deckenbau der Faltengebirge auf die Ostalpen. Von Wien aus tritt dieser neue Gedanke dann seinen Siegeszug in die Welt an.

Tatsache ist, daß in großen Teilen der Westalpen (z. B. Berner Oberland, Walliser Alpen) die Gesteinspakete nicht nur stark gefaltet, sondern auch — oft in mehreren „Stockwerken“ — übereinandergeschoben sind und heute auf fremder Unterlage „schwimmen“. Man schloß daraus auf eine gewaltige horizontale Überschiebung mächtiger Gesteinsdecken mit weit über 100 km Transportweite. In gleicher Weise seien auch die geologischen Einheiten der Nördlichen Kalkalpen und der südlich anschließenden kristallinen Schieferzonen von Süden her über das Zentralkristallin der Tauern hinweg nach Norden an ihren heutigen Platz verfrachtet worden. — Es ist interessant zu bemerken, daß sich die „Ostalpengeologen“ zunächst sehr zurückhaltend gegenüber diesen kühnen Vorstellungen verhielten.

Von den deutschen Geologen hatte sich zuerst *Gustav Steinmann*, Freiburg i. Br., zu den revolutionären Ansichten bekehrt und diese u. a. auch in einem Aufsatz im Alpenvereinsjahrbuch (*Steinmann*, 1906) verfochten (s. Abb. 2). Im letzten Band seines großen Werkes „Das Antlitz der Erde“ vertritt dann auch *Eduard Sueß* die neue „Lehre“. Damit wird die „Wiener Schule“, in späteren Jahren bis in unsere Zeit durch *Leopold Kober* und seine Schüler vertreten, zum Verfechter der „extremen Deckenlehre“ in den Ostalpen (s. Abb. 3).

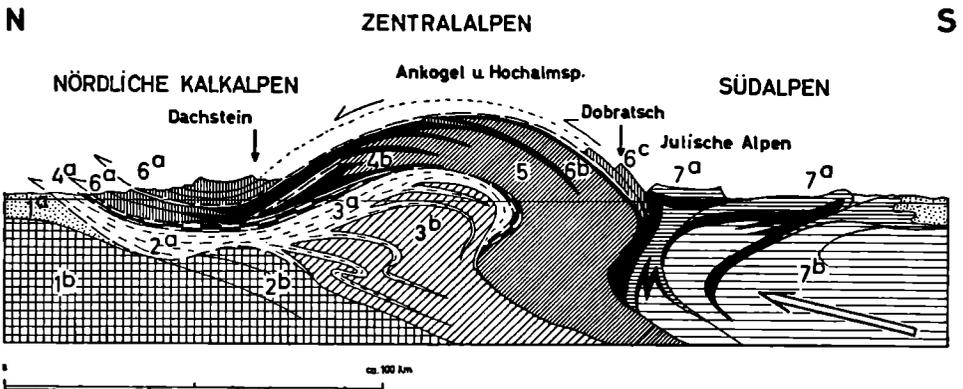


Abb. 3: Der Deckenbau des gesamten ostalpinen Orogens nach *L. Kober* (1928) (etwas vereinfacht).
 Legende: 1a Molasse und 1b kristalline Unterlage; 2a Flysch und 2b kristalline Unterlage; 3a Schieferhülle und 3b Zentralkristallin der Tauern („Penninikum“); 4a Unterostalpine Decken und 4b Kristallin; 5 Mittelostalpinen Kristallin (in div. Decken); 6a Oberostalpine Decken und 6b kristallines „Grundgebirge“ in Decken, 6c „Wurzelzone“; 7a Dinarische Decken und 7b kristalline Unterlage. Schwarz: Paläozoikum („Grawackenzone“ im Norden).

Doch kaum beginnt sich diese wahrhaft kühne Lehre auszubreiten, da entstehen ihr schon gewichtige Gegenstimmen, und zwar vor allem von den in den Bayerischen und Nordtiroler Kalkalpen arbeitenden Geologen! Wenn auch hier jetzt allerorts nordwärts gerichtete Faltungen und Überschiebungen festgestellt wurden, so boten doch die großen Baueinheiten keinerlei sicheren Hinweis dafür, daß die Nördlichen Kalkalpen als Ganzes weit aus dem Süden herangeschoben worden seien, wie es z. B. die Darstellung *Steinmanns* (s. Abb. 2) nach den herrschenden Vorstellungen zeigte. Gegen diese „neue Lehre“ äußerte sich der Altmeister *Rothpletz* noch einmal 1905 ausführlich und in scharfer Form. Er postulierte im Gegenteil eine allgemeine Ost-West-Bewegung der gesamten Nordalpen nach seinen ausgedehnten Untersuchungen am Westrand der Ostalpen (Bre-

genzerwald — Rätikon — Graubünden). Vergebens! Er stand auf verlorenem Posten, denn seine Argumente besaßen nicht genug Beweiskraft, wenn auch seine Bedenken grundsätzlich richtig waren.

Hier setzt nun der sowohl kritische als auch phantasievolle *Ampferer* ein. Er hatte inzwischen, nunmehr im Auftrage der Geologischen Reichsanstalt Wien, mit der Kartierung der Mieminger Gruppe und des südlichen Wettersteingebirges begonnen. Dabei traf er auf *O. M. Reis*, einen Schüler von *Rothpletz*, der mit der Aufnahme des gesamten Wettersteingebirges beschäftigt war. Beide ergänzten sich in kollegialer Zusammenarbeit. Sie bewiesen erstmals eingehender, was schon *Gümbel* 1861 kurz erwähnt hatte: Die mächtigen Triaskalkmassen des Zugspitzstockes überlagern entlang ihres Westabbruches gegen das Ehrwalder Becken mit einer flachen Überschiebung weithin die (jüngeren!) Jura- und Unterkreidesteine, wogegen sie entlang der Südwandabstürze des Gebirges meist mit steilen Brüchen an die „jungen Schichten“ angrenzen.

Zunächst jedoch vollendete *Ampferer* bis etwa 1905 seine geologische Aufnahme der Mieminger Gruppe. In diesem Zeitraum führte er auch hier noch viele Erstbesteigungen und Erstbegehungen durch. Während seiner zahllosen einsamen Wege erkannte er grundsätzlich richtig den Bauplan dieses Gebirges als eines gewaltigen Gewölbes von Triaskalken, das in seinem Scheitel eingebrochen ist. Bis zum Jahre 1912 festigte sich dann bei *Ampferer* die Überzeugung, daß das Mieminger Gebirge, ähnlich wie die Hauptmasse des Karwendelgebirges, entlang einer deutlichen, nordwärts gerichteten Aufschiebungsfäche gegen die nördlicher gelegenen Gebirgseinheiten abzugrenzen sei.

Inzwischen hatte *Ampferer* im Verlaufe weiterer geologischer Kartierungsarbeiten die markante Überschiebung weiter nach Westen durch die gesamten Lechtaler Alpen verfolgt und dabei die wichtigsten Baueinheiten auch dieses Gebirges geklärt. Auf Grund des damit gewonnenen umfassenden Überblickes gliederte er nunmehr die gesamten Bayerisch-Nordtiroler Kalkalpen in drei große Einheiten, die als mächtige Gesteinsdecken nordwärts übereinandergeschoben sind (s. Abb. 4): Die Wortprägungen von *Rothpletz* (1905) verwendend, nannte er die nördlichste (tiefste) Einheit „Allgäudecke“, da ihre Hauptmasse die Allgäuer Berge aufbaut, und die darübergeschobene Einheit, ebenfalls nach ihrer kennzeichnenden Verbreitung, „Lechtaldecke“.

Die früher erwähnte Überschiebung des Karwendelgebirges, die sich über die Arnspitzen am Isartal zum Nordwestrand der Mieminger Berge und weiter durch die Lechtaler Alpen hinzieht, grenzt jedoch eine noch höhere tektonische Einheit ab, die *Ampferer* 1912 „Inntaldecke“ taufte. — Diese klassische Dreigliederung der großen Baueinheiten ist in den Bayerischen und Nordtiroler Kalkalpen bis in unsere Zeit gebräuchlich geblieben, wenn auch inzwischen noch weitere, kleine Decken und Teildecken (lokale Schuppen) benannt und z. T. wieder verworfen worden sind.

Seinen Erfahrungen und Vorstellungen entsprechend stellte *Ampferer* nunmehr das Wettersteingebirge, allerdings als gesonderte Großscholle mit geringer eigener Westbewegung, zur Lechtaldecke und das Mieminger Gebirge zur Inntaldecke. Doch der Gebirgsbau ist gerade hier derart kompliziert, daß seine Einfügung in ein so großzügiges Schema nicht ohne Widerspruch bleiben konnte. Dieser setzte ein, sobald die entsprechenden geologischen Karten dem prüfenden Blick der Fachkollegen zum Vergleich mit den Verhältnissen im Gelände zur Verfügung standen (s. Abb. 5).

Seit der ersten geologischen Aufnahme *Ampferers*, die dann in einer 1912 gedruckten „Spezialkarte“ (Blatt Zirl und Nassereith, 1:75.000) ihren Niederschlag fand, erfuhr das Mieminger Gebirge bis 1960 keine neuerliche Bearbeitung mehr, obwohl sein Nord- und Westrand wiederholt zur Begründung der unterschiedlichsten tektonischen Vorstellungen herangezogen wurde.

Das Wettersteingebirge dagegen fand von Anfang an mehr Beachtung. Als Ergebnis der *Reis*'schen Aufnahmetätigkeit erschien 1911 die „Geologische Karte des Wetterstein-

Als einen unwiderlegbaren Beweis dafür, daß im Bereich des Wettersteingebirges keine „Deckenfenster“ existieren, konnte *Mylius* noch im Gebiet zwischen Kreuzeck und Wamberg nachweisen, daß dort die sog. Partnachschichten ohne Zwischenschaltung von Wettersteinkalk allmählich in Raiblerschichten übergehen. Das Fehlen von Wettersteinkalk in diesem Teil des Gebirges war für *Ampferer*, *Reis* und *Schlagintweit* unter anderem ein Grund dafür, hier das sog. „Wamberger Fenster“ zu konstruieren, welches bis zum Eibsee reichen sollte (vgl. Abb. 5 — Profil 3).

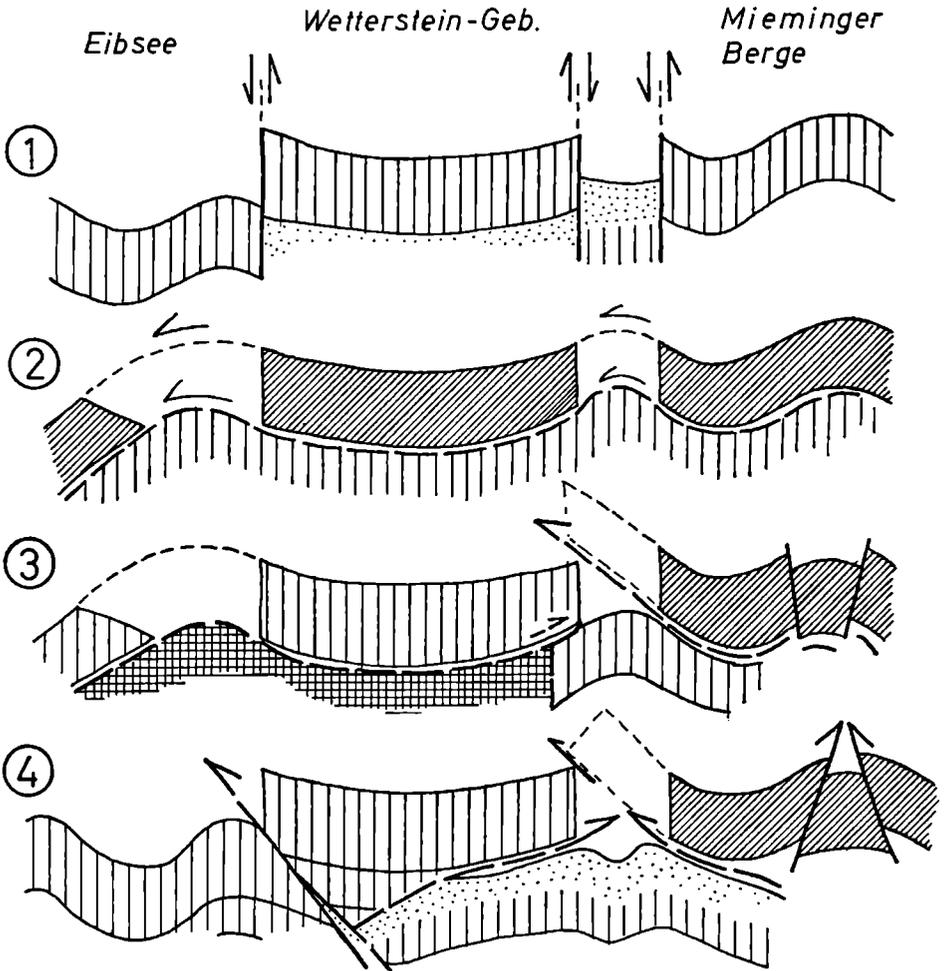


Abb. 5: Die unterschiedliche tektonische Deutung des Gebirgsbaues im westlichen Wetterstein- und Mieminger Gebirge (stark schematisiert).

Profil (1) nach *Reis* (1911) und seinem Lehrer *Rothpletz* sowie dessen Schülern (*Leuchs* u. a.). Die Überlagerung der „Jungschichten“ (punktiert) durch die Wettersteinmasse wird durch nachträglichen Westschub erklärt.

Profil (2) nach *Schlagintweit* (1912): Nordwärts gerichtete Überschiebung einer einheitlichen Ferndecke. Echte „Deckenfenster“ südlich und nördlich des Wettersteingebirges.

Profil (3) nach *Ampferer* (1912 und 1914): Drei Deckeneinheiten (vgl. Text).

Profil (4) nach *Miller* (1962): Nord- und südwärts gerichtete Überschiebungen einzelner Schollen eines einheitlichen Krustenteiles. „Ortsgebundene Tektonik“ im Sinne von *Mylius* (1914 u. 1916).

Damit standen sich schon bis zum ersten Weltkrieg die extremsten Auffassungen (Schulmeinungen) auch im Wettersteingebirge gegenüber, und es hob ein heftiges Streitgespräch im Blätterwald der Fachliteratur an. Hierzu sei nur an die „Besprechung . über das Wettersteingebirge“ erinnert, die *Ampferer* (1914) mit *Schlagintweit*, *Loesch* und *Mylius* führte. Die gegensätzlichen Auffassungen, die z. T. noch heute vertreten werden, sind in Abb. 5 schematisch dargestellt.

Die wesentlichen Grundzüge der gegensätzlichen Auffassungen sind dabei:

1. Nach *Reis* (und seinem Lehrer *Rothpletz* sowie den anderen Geologen der „Münchener Schule“) beweisen die vorhandenen Überschiebungen nur lokale Bewegungen. Von einem allgemein anerkannten, älteren Faltenbau abgesehen, haben die vertikalen Hebungen und Absenkungen einzelner Großschollen die größere Bedeutung. Als letzter Akt der Strukturentwicklung fand eine teilweise Westbewegung der höheren Gebirgseinheiten statt. Die Gesteinspakete liegen heute noch im großen ganzen in dem Bereich, in dem sie ehemals als Ablagerungen eines Meeres entstanden waren. (Abb. 5 — Profil 1.)

2. Nach *Schlagintweit* (und später z. B. *M. Richter*) wurden die Gesteinspakete von Mieminger, Wettersteingebirge und nördlichem Vorland (z. B. Kramer-Gebiet sowie die Kalkvoralpen weiter im NE!) als große „Ferndecke“ weit von Süden her auf eine fremde Unterlage überschoben (Abb. 5 — Profil 2). Der Ursprung, die „Wurzel“, dieser „oberostalpinen (Fern-) Decke“ wird dabei südlich der kristallinen Zentralalpen angenommen, wie dies *Steinmann* (Abb. 2) und *Kober* (Abb. 3) in Anlehnung an den Baustil der Westalpen darstellten.

3. Nach *Ampferer* existieren in den gesamten Nördlichen Kalkalpen wohl mächtige, weithin nordwärts überschobene Deckeneinheiten. Ihr ursprünglicher Ablagerungsraum lag jedoch auf der Nordseite der kristallinen Achse der Ostalpen. Dabei erklärte er die Mechanik des Deckenschubes bereits 1906 durch „Unterströmungen“ im Erdmantel, eine Theorie von weittragender Bedeutung, auf die wir später noch zurückkommen. — Bezüglich des hier betrachteten Bauplanes nahmen seine Grundgedanken eine zwischen der ersten und zweiten Ansicht vermittelnde Stellung ein.

Auf Grund seiner umfassenden Geländekenntnisse und seiner reichen Erfahrungen war es *Ampferer* nun ein leichtes, die bis dahin meist ungenügend begründeten Argumente der anderen Geologen zum großen Teil zu entkräften, so daß seine Vorstellungen — hier wie in den gesamten Nordtiroler Kalkalpen — obsiegten. Zudem brachte der erste Weltkrieg eine unfreiwillige Ruhepause.

*

Im Jahre 1923 widmet dann die Deutsche Geologische Gesellschaft anlässlich ihrer Jahreshauptversammlung in München dem Wettersteingebirge eine große Exkursion. Hierbei faßt *Kurt Leuchs*, der Bruder des in Bergsteigerkreisen bekannten Kaisererschließers *Georg Leuchs*, in einem einführenden Vortrag noch einmal die ganze Problematik des Gebirgsbaues zusammen (*Leuchs*, 1924): Während das Wettersteingebirge an seinem Nord- und Ostrand unzweifelhaft in die angrenzenden Gebirgseinheiten geologisch überleitet, weist seine mächtige Westflanke eine Überlagerung von (älteren) Triaskalkmassen über (jüngeren) Jura-Unterkreideschichten auf. Die gleichen „jungen Schichten“ aber, die am Rand des Ehrwalder Beckens (s. Abb. 1) vom eigentlichen Wettersteingebirge überlagert werden, ziehen auf dessen Südseite, von steilen Brüchen abgegrenzt, über Ehrwalder Alm, Hohen Kamm und Scharnitzjoch nach Osten zur Unterleutasch, wo sie von der (geologischen) Fortsetzung der Mieminger Masse nordwärts überschoben und regelrecht „ausgequetscht“ werden.

Als einer der markantesten Schüler von *Rothpletz* mißt *Leuchs* den von *Ampferer* (oder gar von *Schlagintweit*) hervorgehobenen Süd-Nord gerichteten Deckenüberschiebungen keine besonders große Bedeutung bei: „So ergibt sich aus allen Beobachtungen immer klarer die Einsicht, daß das Gebirge bodenständig ist und nur geringe

horizontale Bewegungen erfahren hat, welche nicht vermochten, das Gebiet aus seinem ursprünglichen Zusammenhang erheblich herauszureißen“ (*Leuchs*, 1924, S. 112). Die Gedanken von *Rothpletz* weiterverfolgend, findet er dann im folgenden Jahrzehnt im Wettersteingebirge auch andere tektonische Hinweise, die die oben umrissene Vorstellung weiter bestätigen (*Leuchs*, 1935).

Damit scheint die tektonische Stellung des Wettersteingebirges im Sinne der „Münchener Schule“ weitgehend geklärt, was durch einige weitere Studien bekräftigt wird (*Beurlen*, *Knauer*, *Kraus* u. a.). Wie aber ist nun der tektonische Zusammenhang mit dem Mieminger Gebirge (*Ampferers* „Inntaldecke“) zu deuten?

Nach dem zweiten Weltkrieg setzt die zweite Periode einer systematischen geologischen Kartierung des gesamten Gebietes, nunmehr im Maßstab 1:10.000, ein. Jetzt stehen inzwischen erprobte, exaktere Untersuchungsmethoden zur Verfügung als vor 50 oder 100 Jahren.

Zunächst beginnen Schüler des Münchner Geologen *P. Schmidt-Thomé* im Ost- und Nordwestteil des Gebirges. *Schneider* (1953) bestätigt dabei weitgehend, entgegen anderen Deutungen, die Beobachtungen *Ampferers*: Beiderseits des Isartales, zwischen Scharnitz und Mittenwald, überlagert die geologische Fortsetzung der Mieminger Masse tatsächlich mit einer weit vorgehenden Überschiebung die Strukturen des Wettersteingebirges, damit ostwärts in die „Karwendelüberschiebung“ überleitend.

Doch wenige Kilometer westlich der Isarlinie, etwa zwischen oberem Puitental und dem Buchener Sattel, verlieren sich, wie schon *Leuchs* betonte und neuerdings *Bögels* Untersuchungen 1958 bekräftigen, alle Hinweise auf eine weitreichende, nordwärts gerichtete Überschiebung. Der Baustil dieser geologischen Grenzzone zwischen Wetterstein- und Mieminger Gebirge ändert offensichtlich sehr rasch seinen Charakter. Die Front einer weit herangeschobenen „Decke“ müßte, den klassischen Vorstellungen entsprechend, wesentlich einheitlicher und markanter ausgebildet sein! Dieses Argument wurde schon früher wiederholt von den Münchner Geologen (*Beurlen*, *Boden*, *Leuchs*, *Kraus*, *Mylius* u. a.) vorgebracht, wie letzthin *Zeil* (1959) in einer kritischen Zusammenfassung darlegte.

Am Nordwestrand des Wettersteingebirges, dem weiteren Umkreis des Eibsees, findet *Vidal* (1953) die Beobachtungen von *Leuchs* und *Mylius* bestätigt: Auch hier zeigt sich keinerlei Hinweis auf eine größere, bedeutungsvolle Deckengrenze.

Die Klärung des letzten großen Problems, wie nun Wetterstein- und Mieminger Gebirge geologisch aneinandergrenzen, war offenbar nur vom großen Westabbruch des Zugspitzstockes und in den Mieminger Bergen selbst zu erwarten. Erst die Fertigstellung des neuen Höhenschichtplanes zur Alpenvereinskarte ermöglichte hier eine gründliche geologische Untersuchung. So konnten auch anlässlich der Jahreshauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft, die 1960 wiederum eine größere Exkursion dem Wettersteingebirge widmete, nur einige vorläufige Ergebnisse gebracht werden.

Inzwischen hat *H. Miller* (1962) die Arbeiten abgeschlossen und seine Ergebnisse veröffentlicht: Im Prinzip zeigt sich eine zwischen den Ansichten von *Ampferer* und *Mylius* vermittelnde Lösung. Die das eigentliche Mieminger Gebirge aufbauenden Triaskalkmassen sind tatsächlich auf die vielzitierte Jungschichtenzone nordwärts (über einige Kilometer) aufgeschoben. Völlig neu dagegen ist der erstmals exakt geführte Nachweis, daß der Felskoloß des Zugspitzstockes südwärts einige Kilometer über die Jungschichten überschoben ist (vgl. Abb. 5 — Profil 4). Damit findet die vor nahezu 50 Jahren von *Mylius* geäußerte Vermutung eine klare Bestätigung.

Den früheren Bearbeitungen war offensichtlich entgangen, daß die am Westfuß des Zugspitzstockes erschlossene Überschiebungsfläche nicht nach Osten, sondern nach Nordnordosten einfällt und somit nur ein Anschub aus dieser Richtung in Frage kommen kann. Außerdem zeigt der Faltenbau der unterlagernden Jurakreidegesteine hier eine merkliche Überkipfung nach Süden (s. Abb. 1). Erst durch jüngere, Ost-West streichende Brüche

wurde das gesamte Gebirge in einzelne Streifenschollen zerhackt und der ältere Bauplan durch geringe Westbewegungen verwischt.

Der früher einmal als „Deckenfenster“ gedeutete Streifen der Jungschichten ist somit hier von zwei Seiten überschoben, die aufgeschobenen Gesteinspakete können dadurch als Krustenteile der unmittelbaren Nachbarschaft angesehen werden.

Solche Hinweise auf eine „ortsgebundene Tektonik“ wurden in den letzten Jahren von *M. Richter*, Berlin³, *C. W. Kockel*, Marburg, und deren Schülern in den Allgäuer und Lechtaler Alpen gefunden. Für die dort nachgewiesene Mechanik der Gebirgsbewegungen (z. B. zweiseitige Überschiebungen) bieten westliches Wetterstein- und Mieminger Gebirge einen weiteren Beweis.

Damit beginnt nunmehr eine neue Phase der tektonischen Vorstellungen, mindestens für den Baustil der Bayerischen und Nordtiroler Kalkalpen. Das kühne Gedankengebäude von den weithin verfrachteten Überschiebungsdecken hat sich vorerst wenigstens für diesen Teil der Alpen als unnötig erwiesen. Doch die Mühe, die zu seiner Errichtung und Ausgestaltung aufgewendet wurde, war nicht umsonst: Erst im ständigen Widerstreit der Geister klärte sich Schritt für Schritt jene Einsicht ab, die wir — kaum erlangt — auch schon für die Wahrheit halten. Doch sicherlich sind wir noch immer weit davon entfernt!

Allein schon diese wenigen Streiflichter zur Geschichte der geologischen Erforschung des Wettersteingebirges haben in eindringlicher Weise gezeigt, wie sehr jeder Teilbereich unserer Wissenschaft mit der Weiterentwicklung des gesamten geistigen Rahmens verknüpft ist. Dieser große Rahmen aber ist noch längst nicht fertig.

*

Den großen Rahmen, in dem sich jene gewaltigen Bewegungen unserer Erdkruste abspielen, und den Motor, der diese Bewegungen verursacht, gedanklich zu erfassen, waren und sind Generationen von Geologen und Geophysikern bemüht. Das Rätsel ist bis heute noch nicht befriedigend gelöst!

Als erste moderne, erdumfassende Theorie wurde bereits früher die „*Kontraktions-theorie*“ des französischen Forschers *Elie de Beaumont* (1798—1874) erwähnt, als deren genialster Vertreter *Eduard Sueß* (1831—1914) in die Geschichte der Geologie eingegangen ist. Mit der Entwicklung der Kontraktionstheorie war zeitlich und gedanklich die Lehre von den großen Überfaltungs- und Überschiebungsdecken, kurz „Nappismus“⁴ genannt, eng verbunden. Für den Bauplan der Ostalpen vertritt die „Wiener Schule“ unter *Leopold Kober* diese Gedanken bis heute (vgl. Abb. 3).

Doch mit der Übertragung dieser neuen Theorie von den West- auf die Ostalpen, wie dies in großen Zügen anlässlich des Geologenkongresses 1903 in Wien geschah, entstanden auch schon Gegenstimmen, vornehmlich aus den Reihen der hier kartierenden Geologen. Einer ihrer geist- und phantasievollsten Vertreter war *Otto Ampferer*. Aus seinen Erfahrungen und Erkenntnissen heraus, die er in den Jahren der Erforschung von Karwendel-, Mieminger und Wettersteingebirge gesammelt hatte, schuf er eine neue, kühne Theorie über die Ursachen der Krustenbewegungen.

In einem über 80 Seiten langen Aufsatz legte er 1906 der Fachwelt seine Gedanken „*Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen*“ dar: „Die vorliegende Arbeit versucht auf einem neuen Wege zu neuen Entscheidungen und Kriterien . . . zu gelangen. Die Frage nach der Berechtigung der Schardt-Lugeonschen Überfaltungshypothese bildet somit nur einen Bruchteil der gestellten Aufgabe und wird zusammen mit der Kontraktionshypothese als eine Übertreibung derselben behandelt.“ Und weiter: „Die Festigkeitsver-

³ Allerdings sieht *M. Richter*, auch wenn er heute die einzelnen „Deckenstockwerke“ innerhalb der Nördlichen Kalkalpen ablehnt, noch immer die gesamten Kalkalpen im Sinne Steinmanns und der „Wiener Schule“ als eine große „oberostalpine Decke“ an (vgl. Abb. 2 u. 3).

⁴ Von französisch *nappe* = Decke.

hältnisse der obersten Erdzone gewähren den natürlichen Ausgangspunkt für diese Untersuchung“ (*Ampferer*, 1906, S. 540).

Damit wird erstmals in ganz konsequenter Weise das Festigkeitsverhalten der Gesteine in der Erdkruste als ein Kriterium dafür herangezogen, inwieweit deckenförmige Überschiebungen großer Gesteinspakete über mehr als 100 km Horizontalabstand mechanisch überhaupt möglich sind. Da die hierfür notwendigen horizontalen Schub-(Druck-)Spannungen die Festigkeit der Gesteinspakete um ein Vielfaches übersteigen müssen, kommt *Ampferer* zu dem Schluß, „daß eine Fernleitung der Seitenschübe ganzer Erdringe sowie eine Zusammenfassung derselben an einzelnen Stellen der Erdhaut vollständig unmöglich ist . . . Damit sind alle Hypothesen der Gebirgsbildung abgelehnt, welche Kräfte und Massen zum Gebirgsbau aus weiter Ferne zusammenschleppen“ (1906, S. 618).

Nach diesen und anderen Erkenntnissen kommt er zu der Vorstellung, daß auch die horizontal gerichteten Bewegungsvorgänge der Erdkruste durch langsame Strömungen in einer „säkular flüssigen“ Zone unterhalb der Erdkruste hervorgerufen werden müssen. Die „*Unterströmungshypothese*“ war geboren!

Da aber die obersten Gesteinspakete der Erdkruste diesen tiefen Magmenströmungen nicht ungehindert folgen können, reißen sie in einem durch verschiedenes Festigkeitsverhalten bedingten Horizont ab, während das jeweils tiefere Stockwerk weiter mitgleitet. Auf diese Weise entwickelt sich statt der Überschiebung eine Unterschiebung! Das neue an *Ampferers* Vorstellungen ist somit die gedankliche Umkehrung der gesamten Bewegungsmechanik: Nicht die überlagernde „Decke“ hat sich (aktiv) über eine fremde Unterlage geschoben, vielmehr ist der Untergrund unter sie hinein gezogen worden. Daß bei einem solchen Vorgang ebenfalls Faltungen und Überschiebungen zustande kommen können, liegt auf der Hand.

Den „Deckenbau“ des hier betrachteten Kalkalpenabschnittes sah *Ampferer* somit nicht als ein aktives, nach Norden gerichtetes Verschieben der einzelnen Gesteinspakete, sondern eher als ein passives Verharren derselben, während sich der alte Untergrund südwärts unter sie hineinschob. Auf diese Weise entsteht das gleiche Bild der dachziegelartig nach Norden vorgestaffelten Gesteinsdecken (s. Abb. 4).

Ein Problem blieb dabei jedoch noch offen: Die Faltungen und Überschiebungen in einem Streifen der Erdkruste, zusammen mit den entsprechenden magmatischen Erscheinungen als „Orogenese“ bezeichnet, zeigen in jedem Fall — wo auch immer der Motor für diese Vorgänge zu suchen ist — eine erhebliche seitliche Einengung des ursprünglichen Ablagerungsraumes der Gesteinsschichten. Auch zur Erklärung dieser Erscheinung geht *Ampferer* konsequent den Weg in die Tiefe, indem er erklärt, die alte Unterlage der Gesteinsdecken würde durch die Unterströmungen zum größten Teil in die Tiefe gezogen, sozusagen „verschluckt“. Deshalb wird *Ampferers* Hypothese auch als „*Verschluckungshypothese*“ bezeichnet.

Für den im einzelnen sehr komplexen Entwicklungsprozeß fand dann der Grazer Geologe und Geophysiker *Robert Schwiner* 1919 eine erste Erklärung von geophysikalischer Seite: Die Magmenströme an der Unterseite der Erdkruste könnten als Konvektionsströme verstanden werden, etwa in der Form, daß hierdurch eine komplizierte Form des Wärmeaustausches zwischen tieferen Teilen des (heißen) Erdkörpers und den obersten (ständig abkühlenden) Zonen der Kruste stattfindet. Modernste geophysikalische Untersuchungen weisen auch tatsächlich auf eine solche Möglichkeit hin.

Die Vorstellungen *Ampferers* haben aber auch noch auf andere Weise große Bedeutung für die tektonische Erklärung des Baustiles unserer Kalkalpen. Die Unterströmungshypothese macht es unnötig, ja unwahrscheinlich, die einzelnen „Decken“ der Sedimentgesteine aus dem Südteil der Alpen herzuleiten: Der ursprüngliche Ablagerungsraum (Meerestrog) der Gesteinsserien lag nördlich der kristallinen Zentralalpen. Die „Verschluckungszone“ müßte dann etwa im Streichen des Inntales gesucht werden (vgl. Abb. 4, großer Pfeil!).

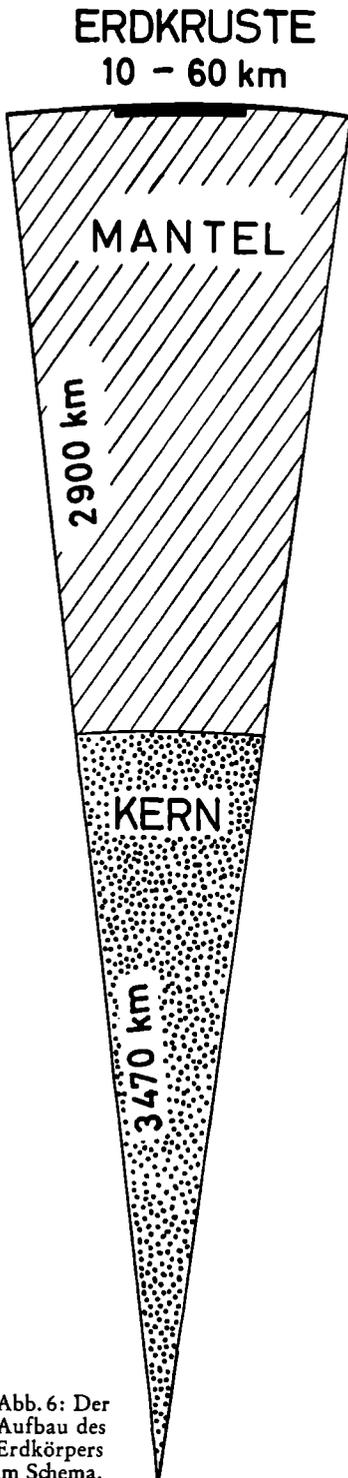


Abb. 6: Der Aufbau des Erdkörpers im Schema.

Es ist verständlich, daß eine solche neuartige Deutungsweise zahlreiche Anhänger und Gegner fand. Unter ihren Verfechtern trat sehr bald auch ein Schüler von *Rothpletz* hervor: Der Münchner Geologe *Ernst Kraus* prüfte die von *Ampferer* nur skizzenhaft geäußerten Gedanken zunächst auch am Baustil der Westalpen und übertrug sie später auf die gesamte Erde. Das erste regional-geologische Werk nach den Vorstellungen der „Unterströmungstheorie“ trägt dann auch den bezeichnenden Titel „Der Abbau der Gebirge“ (*Kraus*, 1936), womit das Zur-Tiefe-Abströmen der tektonogenetisch aktiven Gebirgstteile gemeint ist.

Man hat *Ampferer* von seiten seiner fachlichen Gegner immer wieder den Vorwurf gemacht, daß er mit der Unterströmungshypothese „die Flucht in die Tiefe“ ergriffen habe, in Bereiche unserer Erde, die — so schien es zunächst — dem forschenden Blick des Menschen verschlossen seien. Diesen Einwand mag er vorausgesehen haben, als er am Ende seiner Ausführungen schon 1906 (S. 620) schrieb: „Dem ist indessen nicht so, einmal weil diese Tieferlegung eine notwendige ist und dann, weil durch die Umkehrung, durch den Schluß von den Formen der Erdhaut auf die Zusammensetzung und Art des Untergrundes die Möglichkeit einer systematischen, wissenschaftlichen Erforschung der tieferen Erdzonen nähergerückt wird. Damit ist einer bedeutenden Erweiterung der geologischen Forschungs- und Erkenntnisgebiete überhaupt Bahn gebrochen.“

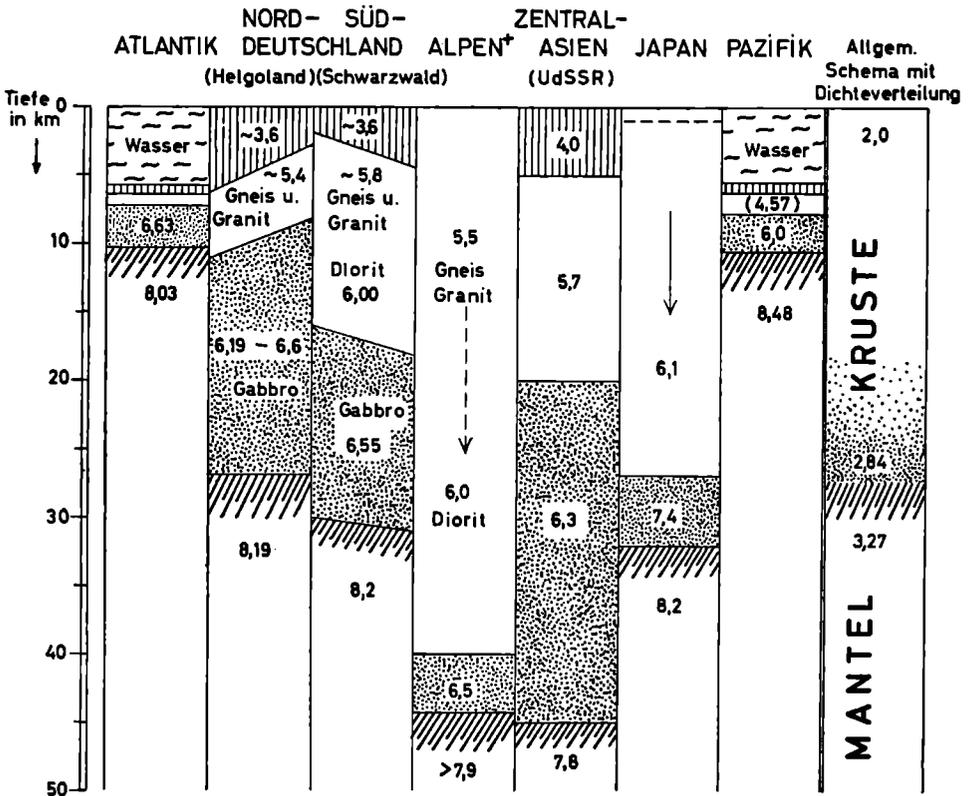
Diese Worte wirken aus der Rückschau des Jahres 1962 beinahe prophetisch! In den letzten 60 Jahren entwickelte sich nämlich als neuer selbständiger Zweig der Naturwissenschaften die Geophysik in wahrhaft stürmischer Weise. Ihre Forschungsergebnisse ermöglichen dem Geologen heute schon einen guten Einblick in die tieferen Zonen unserer Erde. Damit werden aber auch die großen Theorien über Bau und Bewegungsweise der Erdkruste in gewissem Sinne „meßbar“. Doch hier stehen wir erst am Anfang einer (wieder einmal einer!) neuen Phase des Sammelns von Erkenntnissen. — Die abschließenden Bemerkungen seien deshalb als letztes „Streiflicht“ den vorangegangenen Betrachtungen noch kurz angefügt.

Etwa vier Jahre nach den zukunftsweisenden Worten *Ampferers* faßte der serbische Geophysiker *Mohorovičić* (1910) seine Erfahrungen über die bis dahin registrierten Erdbebenwellen zusammen: In etwa 60 km Tiefe müsse eine „Unstetigkeitsfläche“ in der Erdkruste existieren, an der sich die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen sprunghaft ändere. Sie springt hier von etwa 6 bis 7 km/sec auf über 8 km/sec. Inzwischen

ist diese sehr ausgeprägte Grenzfläche, vor allem durch große Meßreihen nach dem zweiten Weltkrieg, über die gesamte Erde verfolgt worden. Nach ihrem Entdecker wird diese Grenzfläche „Mohorovičić-Diskontinuität“ genannt. Wir wissen heute, daß sie etwa der Untergrenze der festen Erdkruste entspricht.

Nach solchen seismischen und anderen geophysikalischen Messungen können wir als gesichert betrachten, daß sich unsere Erde (mittlerer Radius: 6370 km) im wesentlichen aus drei großen Zonen aufbaut (Abb. 6): Dem „Erdkern“ mit einer Dichte von 12,2 bis 9,7 abnehmend und einer Temperatur um 4000° C. Darüber folgt der „Erdmantel“ mit einer Dichte von 5,6 bis 3,3 abnehmend und Temperaturen von 3600° bis etwa 1200° C nach außen hin abfallend.

Darüber liegt noch — als beängstigend dünne „Eierschale“! — die „Erdkruste“, auf der wir leben. Ihre Dicke spielt gegenüber der Masse des Erdkörpers kaum eine Rolle (zur Darstellung in Abb. 6 wurde sie etwas verstärkt!). Wie wir aus Abb. 7 entnehmen können, ist diese Erdkruste nicht einmal gleichmäßig dick! Unter den großen Ozeanen liegt ihre Untergrenze bereits in etwa 10 km Tiefe, unter den Kontinenten reicht sie



* In den Alpen vorläufige Tiefenbestimmung nach Erdbeben!

SCHNEIDER 1962

Abb. 7: Dicke und Schichtenbau der Erdkruste im Bereich des eurasischen Kontinents nach modernen geophysikalischen Ergebnissen im Schema.

Die Profilsäulen stellen nur kleine Ausschnitte aus dem betreffenden Krustenteil dar. Als Maßzahl wird hierbei üblicherweise die Fortpflanzungsgeschwindigkeit natürlicher oder künstlicher Erdbebenwellen (Longitudinalwellen) in km/sec angegeben (vgl. Text).

dagegen zwischen 25 und 60 km tief. Da die Dichte der Erdkruste zwischen 2,8 und 2,0 schwankt, „schwimmen“ die großen Kontinente wie mächtige Eisschollen auf dem (schwereren) Erdmantel. Die Kontinente besitzen deshalb einen ähnlichen (Schwimm-) „Auftrieb“ wie etwa ein Eisberg im Meereswasser.

Im Jahre 1928 registrierte nun der Wiener Geophysiker V. Conrad Erdbeben der Ostalpen. Dabei stellte er eine weitere Unstetigkeitsfläche innerhalb der Erdkruste in 15 bis 20 km Tiefe fest, die nach ihm benannte „Conrad-Diskontinuität“. Auch diese markante Grenzfläche, an der wiederum die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen sprunghaft steigt, konnte inzwischen in vielen Gebieten der Erde festgestellt werden. In den letzten Jahren wurden noch weitere tiefe Grenzflächen seismisch ermittelt.

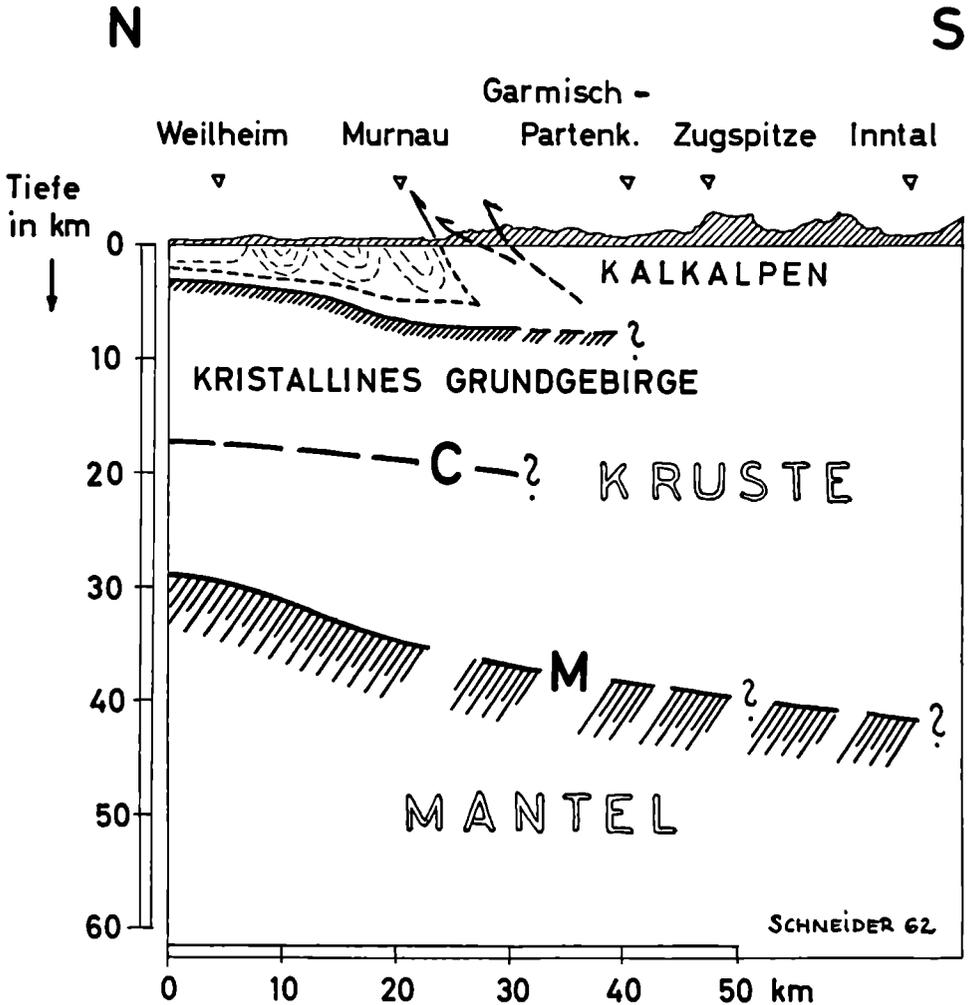


Abb. 8: Der Schichtenbau der Erdkruste im Profilschnitt zwischen Alpenvorland (Weilheim—Murnau) und Bayerisch-Nordtiroler Kalkalpen (Wetterstein- und Mieminger Gebirge), nach neuesten geophysikalischen Ergebnissen (stark schematisiert).

Das Profilschema ist nicht überhöht! Die über den Meeresspiegel herausragenden Bereiche der Erdkruste sind dicht schraffiert. Man beachte das deutlich wahrnehmbare Absinken der Mohorovičić-Grenzfläche (M) unter dem Nordrand des Alpenkörpers nach Süden. C = Conrad-Diskontinuität.

Nach dem ersten Weltkrieg war man dazu übergegangen, die bisher mehr zufällig registrierten Erdbeben auch künstlich zu erzeugen, nämlich durch Sprengungen. Dieses Verfahren der „Sprengseismik“ wird heute industriell vor allem zur Aufsuchung von Erdöllagerstätten verwendet. Die apparative und methodische Weiterentwicklung brachte aber auch für allgemeine geologische Fragen neue Erkenntnisse. (Abb. 8.)

Eine allgemeine Feststellung ist, daß unsere Erdkruste auch in den tieferen Teilen offensichtlich einen ausgeprägten Schichtenbau aufweist. Besonders markant ist sodann die Untergrenze der Erdkruste, die „Mohorovičić-Diskontinuität“. Hier steht noch nicht sicher fest, ob diese Grenzfläche nur eine Änderung des Aggregatzustandes (etwa zähflüssig/fest) oder auch einen stofflichen Wechsel anzeigt.

Immerhin kann heute, nach verschiedenartigen geophysikalischen und petrochemischen Hinweisen als gesichert angenommen werden, daß sich die oberen Zonen des Erdmantels zeit- und gebietsweise in einem „zähplastischen“ Zustand befinden und dabei in eine langsame Strömung übergehen. Der holländische Geophysiker *F. A. Vening-Meinesz* gibt für diese Bewegungen einige Zentimeter pro Jahr an! Liegt hier der geheimnisvolle „Motor“ verborgen, der die Gesteinspakete unserer Erdkruste von Zeit zu Zeit bewegt und zu mächtigen Gebirgen emporhebt? — Das können wir heute noch nicht entscheiden.

Wie unbedeutend, als ein kleiner Buckel der Erdkruste, erscheint auf einmal der mächtige Felskoloß des Zugspitzstockes, wenn wir seine Größe mit den Dimensionen der Erdkruste vergleichen (Abb. 8). Welch kühner Gedanke war es, der die Geologen vor 50 oder 100 Jahren zu der Erkenntnis führte, daß diese heute so „tot“ wirkende Erdkruste einstmals gewaltige Bewegungen ausgeführt haben muß!

Und der „Weg in die Tiefe“, den *Ampferer* vor nahezu 60 Jahren von den Gipfeln des Wetterstein- und Mieminger Gebirges wies, ist voller Verheißungen — und dem Menschen unseres technischen Zeitalters nicht mehr verschlossen.

„Die steten Erschütterungen und Erweiterungen unserer Zeit-, Raum- und Kraftvorstellungen hat die Geologie mit der Astronomie gemeinsam, von der sie sich jedoch durch die Nähe und Anschaulichkeit ihrer Schauplätze unterscheidet. In keiner anderen Wissenschaft aber ist der Schatz der gesicherten Beobachtungen im Vergleich zum Unerforschten, zur Unendlichkeit des Möglichen so bescheiden wie hier und nirgends gehört daher die Hypothese, die Theorie, so zum unumgänglichen täglichen Werkzeug des Forschers“ (*Ampferer*, 1906, S. 539).

Schriften

(Die hier ausgewählte Literatur enthält alle weiteren Schriftenhinweise, auf die im Text nicht einzeln eingegangen werden konnte.)

Ampferer, O.: Geologische Beschreibung des nördlichen Theiles des Karwendelgebirges. — Jb. k. k. geol. R.-A., 53, S. 169—252, Wien 1903.

— Geologische Beschreibung des Seefelder, Mieminger und südlichen Wettersteingebirges. — Jb. k. k. geol. R.-A., 55, S. 451—562, Taf. 12—14, Wien 1905.

— Über das Bewegungsbild von Faltegebirgen. — Jb. k. k. geol. R.-A., 56, S. 539—622, Wien 1906.

— Besprechung mit O. Schlagintweit, K. Ch. v. Loesch und H. Mylius über das Wettersteingebirge. — Verh. k. k. geol. R.-A., 1914, S. 338—352, Wien 1914.

Bögel, H.: Der geologische Bau des Wettersteingebirges und seiner Umgebung. — Jb. Deutsch. Alpenver., 85, S. 20—27, München 1960.

Finsterwalder, R.: Die Gletscher der Bayerischen Kalkalpen. — Jb. Deutsch. Alpenver. (Überbrückungsbd. 1943—1951), S. 60—66, München 1951.

Kober, L.: Der Bau der Erde. — 500 S., Berlin (Borntraeger) 1928.

Kraus, E.: Der Abbau der Gebirge (Bd. 1: Der alpine Bauplan). — 352 S., Berlin (Borntraeger) 1936.

Leuchs, K.: Der geologische Bau des Wettersteingebirges und seine Bedeutung für die Entwicklungsgeschichte der deutschen Kalkalpen. — Z. deutsch. geol. Ges., 75 B (1923), S. 100—113, Berlin 1924.

- Leuchs, K.*: Tektonische Untersuchungen im Wettersteingebirge. — Z. deutsch. geol. Ges., 87, S. 703—719, Berlin 1935.
- Miller, H.*: Zur Geologie des westlichen Wetterstein- und Mieminger Gebirges (Tirol). (Strukturzusammenhänge am Ostrand des Ehrwalder Beckens.) — Diss. Univ. München, 118 S., 19 Taf., 3 Beil., München 1962.
- Mojsisovics, E. v.*: Der nordwestliche Theil des Wetterstein-Gebirges. — Verh. k. k. geol. R.-A. 1871, S. 215—217, Wien 1871.
- Reis, O. M.*: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Wettersteingebirges. — Geogn. Jh., 23 (1910), S. 61—114, München 1911.
- Rothpletz, A.*: Das Karwendelgebirge. — Z. DuOeAV, 19, S. 401—470, Taf. 14—21, 1 Karte, München 1888.
- Ausdehnung und Herkunft der Rhätischen Schubmasse. Geol. Alpenforschungen II. — 261 S., München (Lindauer) 1905.
- Schneider, H.-J.*: Der Bau des Arnsitzstockes und seine tektonische Stellung zwischen Wetterstein- und Karwendelgebirge. — Geologica Bavarica, 17, S. 17—55, Taf. 1, München 1953.
- Steinmann, G.*: Geologische Probleme des Alpengebirges. — Z. DuOeAV, 37, S. 1—44, Innsbruck 1906.
- Vidal, H.*: Neue Ergebnisse zur Stratigraphie und Tektonik des nordwestlichen Wettersteingebirges und seines nördlichen Vorlandes. — Geologica Bavarica, 17, S. 56—88, München 1953.
- Sueß, E.*: Das Antlitz der Erde. 3 Bde. — Wien und Leipzig (Tempsky und Freytag) 1883—1909.
- Zeil, W.*: Zur Deutung der Tektonik in den deutschen Alpen zwischen Iller und Traun. — Z. deutsch. geol. Ges., 111, S. 74—100, Hannover 1959.