

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 56 (1976)

Heft: 3

Artikel: Eine Geotraverse durch die mittleren Ost- und Südalpen

Autor: Bögel, Helmuth

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-43701>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 20.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Eine Geotraverse durch die mittleren Ost- und Südalpen

Von *Helmuth Bögel* (München) *)

Abstract

From 1970 to 1976 the German Research Society has sponsored a Schwerpunkt-Programm "Geodynamics of the Mediterranean Area" (part of the Geodynamics Projects of the National Committee for the FRG for the Inter-Union Commission on Geodynamics).

Much research has been carried out along 4 "geotraverses" in the Eastern and Southern Alps, the Northern Apennines, in Calabria and the Aegaeen region. After some remarks on general problems arising by working along so-called «geotraverses» a short review on the Eastern and Southern Alps is given. Some results and details of geologic, petrographic and geophysic researches are described together with old and new unsolved problems. Some of our present knowledge is compiled in a general profile across the middle part of the Eastern und Southern Alps. The difficulties in the common plate-tectonic models for the Alps are pointed out.

Im Jahre 1970 richtete die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des International Geodynamics Project ein Schwerpunktprogramm «Geodynamik des mediterranen Raumes» ein. Auf 4 «Geotraversen» in den Ost-Südalpen, im Nordapennin, in Kalabrien und in der Ägäis sollten durch Ansetzen geeigneter Untersuchungen und durch kompilatorische Erfassung des bisher vorliegenden Materials möglichst konzentrierte Beiträge zur geodynamischen Entwicklung der genannten Gebiete erarbeitet werden. Der Schwerpunkt endete 1976; abschliessende Synthesen sind in Arbeit und werden zusammen mit Kurzfassungen wichtiger Publikationen in einem weiteren Band der bei Schweizerbart erscheinenden IUCG-Reports (1977) veröffentlicht. – Die Geotraverse IA war zunächst als Profil-Linie etwa von München nach Padua gedacht, erweiterte sich aber bald zu einem breiteren Streifen (München/Salzburg–Verona/Venedig).

Das Geotraversen-Verfahren hat zweifellos gewisse Nachteile – so werden ausserhalb des Schnittes liegende Strukturen zunächst nicht direkt erfasst. Das gleiche gilt für geodynamische Tendenzen parallel zum Streichen, von Schollen-Rotationen gar nicht zu

*) Lehrstuhl für Geologie, Technische Universität, Arcisstrasse 21, D-8000 München 2.

reden. Aber gerade diese Nachteile vermögen die hierin liegende Problematik und die Gefahren zylindristischer Betrachtungsweise unter Umständen überhaupt erst ins Licht zu rücken. Sodann: die Rückformung eines Orogens in den Zustand vor Beginn der einengenden Bewegungen («Palinspastik») geht zweckmässig von Profilen aus – bevor eine kartenmässige Darstellung in Angriff genommen werden kann. Das gleiche gilt für den Versuch, «plattentektonische» Modelle zu erarbeiten. Und schliesslich schreitet auch ein Grossteil der geophysikalischen Untersuchungen von der Profil-Linie ausgehend zur räumlichen beziehungsweise kartenmässigen Ausarbeitung fort.

Die im folgenden skizzierte Darstellung beruht weitgehend auf den Arbeiten anderer, nicht nur deutscher, sondern auch italienischer und österreichischer Kollegen¹⁾. Vieles ist publiziert, manches noch nicht; viele Anregungen entstammen Diskussionen anlässlich einer ganzen Reihe von Zusammenkünften und Exkursionen.

Um diesen Kurzbericht nicht mit einer aufwendigen Bibliographie zu belasten, verweise ich auf folgende Sammelreferate: ANGENHEISTER et al., Geol. Rundsch. 61, 1972; ANGENHEISTER et al., N. Jahrb. Geol. Paläontol. Abh. 148, 1975; BÖGEL, Verhandl. Geol. Bundesanst. Wien, 1975; BÖGEL, 1975-Progress-Report Dtsch. Landesaussch. Geodynamik 1975; BÖGEL und CLOSS, Geodynamics: Progress and Prospects, Ch. L. Drake ed., American Geophysical Union, Washington 1976, sowie auf die Zeitschriften-Bände: Carinthia II, 164, 1975; Nachrichten Deutsch. Geol. Gesellsch., Heft 13, 1975; Geol. Rundsch. 65, Heft 2, 1976; N. Jahrb. Geol. Paläontol. Abh. 151, Heft 3, 1976; Zeitschrift Deutsch. Geol. Gesellsch. 127, Teil 1, 1976; die jeweils eine Reihe von Beiträgen aus dem Arbeitsbereich der Alpen traverse enthalten oder ganz diesem Thema gewidmet sind. Ein Hinweis auf erste Ergebnisse aus dem «Alpine Longitudinal Profile» (ALP) ist dem von HEINZ MILLER editierten Bericht in Pure and Applied Geophysics 114, Bd. 6, 1976 (im Druck), mit freundlicher Erlaubnis des Verfassers entnommen.

1. Überblick über den Bau der Ost- und Südalpen

Das autochthone Vorland besteht aus ausseralpinem Kristallin (+ Jungpaläozoikum, örtlich), einem Mesozoikum teils in germanischer, teils in helvetischer und teils in ultrahelvetischer Fazies (Fazies der Grestener Klippen-Zone p. p.) und der Molasse. Darüber legen sich die tieferen Decken – meist nur in spärlichen Resten – des allochthonen Helvetikums und Ultrahelvetikums (+ Grestener Klippen-Zone p. p.) und die höheren des Rheno-Danubischen Flysches («ultrahelvetisch» oder penninisch?). Das ausseralpine Kristallin scheint in der Venediger Decke (FRISCH) im Tauernfenster wieder hervor-

¹⁾ Alle im folgenden Text mit * gekennzeichneten Autoren wurden aus dem Schwerpunkt-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft «Geodynamik des mediterranen Raumes» gefördert.

zutreten; die «Zentralgneise» wären demzufolge samt ihrer primären mesozoischen Hülle als «helvetisch» (THIELE; besser: «ultrahelvetisch») anzusehen²⁾. Die Venediger Decke wird weitgehend von der Glockner Decke (Obere Schieferhüll-Decke auct.) eingehüllt. Sie besteht aus eugeosynklinalen Gesteinen (Bündner Schiefer + spärliche Ophiolithe). – Über alles wölbt sich das Austroalpine Deckensystem³⁾, das aus zwei, beziehungsweise drei (TOLLMANN) «Teildecken» besteht, deren Existenz und gegenseitige Abgrenzung noch längst nicht ausdiskutiert ist. – Die blockartige Südalpen-Masse ist von dem System der Ostalpen durch die Periadriatische Naht geschieden; die Fazies der Austroalpinen Decken entspricht jedoch der der Südalpen in den Grundzügen vollkommen. Die Südalpen-Masse ist sicher allochthon oder jedenfalls paraautochthon im Sinne einer Abscherung innerhalb der (tieferen) Kruste.

2. Einige Ergebnisse und Detailprobleme

Die Beschreibung folgt in etwa dem Sammelprofil Fig. 1 von Norden nach Süden; wobei nicht nur Ergebnisse aufgezählt sind, sondern auch die aus alten und neuen Erkenntnissen resultierenden Probleme herausgestellt werden.

Die Stratigraphie der Molasse und der Untergrund des Molassebeckens sind dank der Erdölexploration gut bekannt (LEMCKE). Geologische Überlegungen und refraktionsseismische sowie magnetotellurische und geoelektrische Untersuchungen ergaben, dass mit einem beträchtlichen Hineinreichen der Molasse unter die Nördlichen Kalkalpen zu rechnen ist; bereichsweise ist die Kristallin-Oberkante erst in 8000 m Tiefe zu erwarten (Fig. 2; LEMCKE, BERKTOLD* und Coll., WILL* u. a.). Nach wie vor problematisch ist die Paläogeographie des Südrandes des Molassemeeres. Die Nördlichen Kalkalpen, die im tieferen Oligozän an sich schon so weit nach Norden gerückt sein könnten, kommen aufgrund des Geröllbestandes der Molasse kaum in Frage, vielmehr sind Zwischengebiete ganz unbekannter Art zu erwarten (HAGN, OTT).

Untersuchungen zur Paläobathymetrie im Helvetikum, im Ultrahelvetikum, einschliesslich «Wildflysch», im Rheno-Danubischen Flysch sowie in der Gosau der Nördlichen Kalkalpen führten mindestens für die Höhere Oberkreide zur Annahme benachbarter Ablagerungsräume, wobei der Flysch in einer Tiefseerinne trogparallel und unter der CCD (Calcite Compensation Depth) sedimentiert wird. Das Südufer dieses Troges würden die Nördlichen Kalkalpen bilden mit der Gosau, die zum Teil Flyschcharakter hat und dann ebenfalls unter

²⁾ Diese Vorstellung gibt an sich ein klares Bild. Es wäre meines Erachtens aber zu prüfen, ob die «Zentralgneise» nicht doch echte «penninische» Gneiskerne sein könnten (die Diskussion dieser Frage bleibt einer späteren Publikation vorbehalten).

³⁾ Der Ausdruck «Austroalpin» wird eingeführt, um der unvermeidbaren Verwechslung Ostalpen – Ostalpin vorzubeugen.

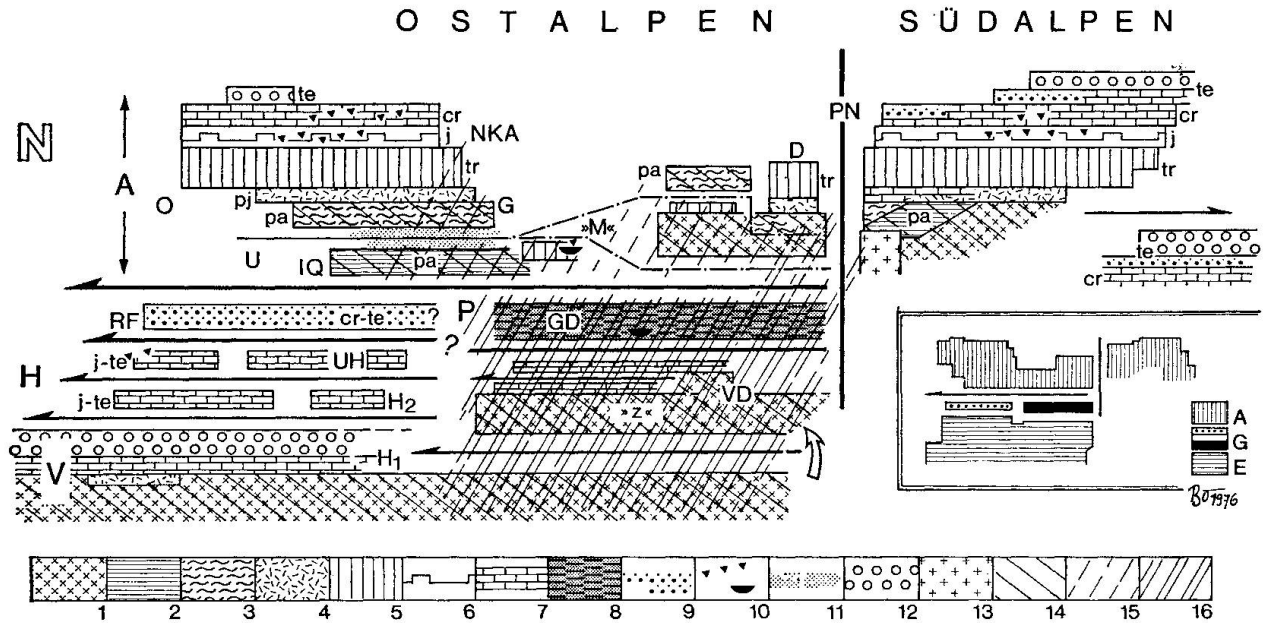


Fig. 1

Schema der Ost- und Südalpen als Versuch, die tektonische Stellung der wichtigsten Bauelemente, deren Fazies sowie die Wirkungsbereiche der verschiedenen alten Metamorphosen darzustellen.

Das eingerückte Übersichtsschema soll die grosstektonische Zugehörigkeit der Hauptelemente veranschaulichen: E «Europa» oder Nordkontinent; G Geosynklinal-Anteile beziehungsweise «ozeanische» Relikte (schwarz Eugeosynklinale, punktiert Rheno-Danubischer Flysch, Zugehörigkeit fraglich); A «Afrika» beziehungsweise Mikroplatten (p. p. Carnic plate, Lombardian microplate usw.).

A Austroalpines Deckensystem, H «Helvetikum» im weiteren Sinne, P Penninikum, V «Vorland» (ausseralpines Kristallin + Mesozoikum + Molasse), O Oberostalpin, U Unterostalpin, «M» Mittelostalpin (im Sinne TOLLMANN'S), NKA Nördliche Kalkalpen, G Grauwacken-Zone, D Drauzug, IQ Innsbrucker Quarzphyllit, GD Glockner Decke, RF Rhenodanubischer Flysch, UH Ultrahelvetikum, H₂ allochthones Helvetikum, H₁ autochthones Helvetikum, VD Venediger Decke, «z» Zentralgneis + Altpaläozoikum p. p.

pa Altpaläozoikum, pj Jungpaläozoikum, tr Trias, j Jura, cr Kreide, te Tertiär.

1 Herzynisches Kristallin + Altpaläozoikum p. p., 2 Quarzphyllite (= metamorphes Altpaläozoikum), 3 Altpaläozoikum i. A., 4 Jungpaläozoikum (stark terrestrisch beeinflusst), 5 Karbonat-Plattformfazies überwiegend, 6 Becken- und Schwellenfazies überwiegend, 7 pelagische Sedimente überwiegend, 8 Geosynklinal-Sedimente (p. p. Bündner Schiefer), 9 Flysch-Fazies, 10 Symbole für olisthostromartige Gesteine (oben) beziehungsweise Ophiolithe (unten), 11 Diaphthoresse-Zone unbekannter Alters, 12 Molasse, 13 spät-herzynische Granitoide, 14 Wirkungsbereich der herzynischen (variszischen) Metamorphose, 15 Wirkungsbereich der Paläo-alpidischen Metamorphose, 16 Wirkungsbereich der Meso-alpidischen (+ Paläo, + Neo?) Metamorphose.

der CCD abgelagert ist. Dieses Bild gilt natürlich nur bei Annahme einer streng ultrahelvetischen Position für den Flysch (BUTT*, HERM*, HESSE*). Die Diskussion hierüber ist jedoch längst nicht abgeschlossen (OBERHAUSER, TRÜMPY). HESSE entwarf ein neues Bild, nach dem der Kreideflysch einen Trog *zwischen* Briançonnais im weiteren Sinne und einem Nordpenninikum (Valais) einnimmt und über dem Bereich einer sehr langsam tätigen Subduktionszone sedimentiert wird.

Die Beteiligung olisthostrom-artiger Erscheinungen kann als sicher gelten,

namentlich für den Wildflysch, doch lassen die sehr dürftigen Aufschlussverhältnisse kaum sichere Beobachtungen zu. Möglicherweise verbergen sich in manchen als «Klippen» angesehenen Serien Reste der Arosa-Zone, also eher penninische Elemente (Spuren von Ophiolithen!).

Die Nördlichen Kalkalpen schwimmen samt ihrer nur im Südteil erhaltenen herzynischen Basis (Grauwacken-Zone) frei auf fremder Unterlage (Fig. 2); problematisch ist der Verbleib des Kristallins, das einmal als Träger für diese Masse vorhanden gewesen sein muss. Der Versuch, dieses Kristallin als Span unter den Südalpen (Fig. 2) zu belassen, ist natürlich hypothetisch. Über die permo-mesozoische Geschichte der Nordalpen siehe unten.

Der Bau des höheren metamorphen Stockwerkes – das ist vor allem das austroalpine Altkristallin mit seiner mesozoischen Auflagerung, die Grauwacken-Zonen usw., soweit eben alpidisch metamorph – ist komplizierter als bislang angenommen⁴). Einerseits werden innerhalb des «Altkristallins» zunehmend neue Bereiche als Altpaläozoikum erkannt (SCHÖNLAUB). Andererseits ist die Frage, ob nur *eine* bedeutende voralpidische Gebirgsbildung, die herzynische, als echte Orogenese anzuerkennen ist, oder ob dem durch radio-metrische Altersbestimmungen belegten kaledonischen Ereignis ähnliche Bedeutung zukommt, noch offen (KL. SCHMIDT* und Coll., SASSI und Coll.). Ein herzynischer Deckenbau ist sicher vorhanden, doch bleibt dessen Abtrennung von alpidischen Vorgängen vielfach unsicher (vgl. zum Beispiel die Ergebnisse der Arbeitsgemeinschaft Saualpe, Clausth. Geol. Abh. Sdbd. 1, 1975; TROLL* und Coll.), sofern permomesozoische Deckenscheider fehlen. Dies gilt auch für die schwächer metamorphen paläozoischen Serien der austroalpinen (und süd-alpinen) Quarzphyllite und der sogenannten Grauwacken-Zonen, deren Stratigraphie inzwischen weitgehend aufgeklärt ist (zum Beispiel MOSTLER, SCHÖNLAUB u. a.).

Diese Probleme mögen zunächst für die alpidische Geodynamik – dem eigentlichen Gegenstand des Schwerpunktprogrammes – als weniger relevant erscheinen. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass bei plattentektonischen Modellkonstruktionen die voralpidische Paläogeographie mehr als bisher zu berücksichtigen wäre. Mangelnde Kenntnis der Konfiguration der variszischen Gebirge zieht automatisch sehr erhebliche Unsicherheitsfaktoren für derartige Modelle nach sich.

Eine ausführliche Diskussion der tektonischen Untergliederung des Austroalpins muss aus Platzgründen unterbleiben, zumal die wesentlichen Fragen noch offen sind.

Das tiefere metamorphe Stockwerk der Ostalpen wurde vor allem in den Zillertaler Alpen (westliches Tauernfenster) untersucht. Die Metamorphose erreicht Grünschiefer- bis Amphibolit-, örtlich auch Eklogitfazies (zum Beispiel

⁴) Es besteht der Verdacht, dass das «Altkristallin» nicht die «einheitliche Platte» ist, als die sie meist herausgestellt wird.

CHR. MILLER). Die Isograden für Albit-Anorthit, Orthoklas-Mikroclin sowie für verschiedene andere Minerale und die Isothermen (O^{16}/O^{18}) ergeben ein recht einheitliches Bild: Höhere Metamorphose im Zentrum, Abfall nach Norden und Süden (ACKERMAND*, HOERNES* und FRIEDRICHSEN*, HÖCK, MORTEANI*, RAASE*, RAITH*). Dies wird auch durch absolute Altersdatierungen gestützt (KREUZER*, SATIR). Unklar ist die zeitliche Datierung der als zwei- (oder mehr-) phasig erkannten Metamorphose, da bisher lediglich variszische beziehungsweise tertiäre radiometrische Alter bekannt geworden sind.

Wichtig ist, dass die Kristallisationen (Tauernkristallisation p. p.) die wesentlichen Deformationen überdauern.

Problematisch ist eine (spätvariszische?) örtliche Migmatisierung der sogenannten Greiner Serie im Zusammenhang mit der nach wie vor noch nicht völlig verstandenen Geschichte der magmatischen Anteile der Zentralgneise (KLEMM* und Coll.).

Legende zu Fig. 2

A. Geologie

In das Profil sind in unterschiedlichem Ausmass Verhältnisse ausserhalb des durch die Pfeile (Lageskizze) markierten Bereiches einprojiziert. Das gilt besonders für den Südrand der Südalpen, wo sowohl das Abtauchen unter die Po-Molasse (Verona), als auch die südvergente Schuppenzone (Maniago-Gemona: kleiner Pfeil!) dargestellt ist. – Der Bau der Nordalpen ist einigermassen gesichert. Ob die Venediger Decke tatsächlich so stark überfaltet ist, sei dahingestellt. Der Schuppenbau unter den Südalpen ist hypothetisch. Dies gilt besonders für den Span aus Bündner Schiefer und (fraglichem) «Ozeanboden»; er hätte auch tiefer gezeichnet werden können. Die mit nka bezeichnete Lage aus krustalem Kristallin soll die rein aus geometrischen Gründen zu erwartende ehemalige Unterlage der freischwimmenden Nördlichen Kalkalpen (+ Grauwacken-Zone) andeuten. An den Dislokationsflächen ist mit mi, e/o, cro/e, cro das Alter der Hauptbewegungsvorgänge bezeichnet. f_1 bis f_3 gibt verschiedene Möglichkeiten für die Situierung des Flysch-«Trog» an, z wäre der Herkunftsort der Zentralgneis-Masse (bei Annahme einer «ultrahelvetischen» Position des Zentralgneises).

1 autochthones Helvetikum über voralpinem Kristallin, 2 allochthones Helvetikum (schwarz) und Ultrahelvetikum (Klippen p. p.), 3 Rheno-Danubischer Flysch, 4 Permo-Mesozoikum der Nördlichen Kalkalpen, 5 Nördliche Grauwacken-Zone (oben) und Innsbrucker Quarzphyllit (unten), 6 Bündner Schiefer = Glockner Decke, 7 Zentralgneis + autochthones Mesozoikum + Wolfendorn-Decke (Untere Schieferhülle p. p.) = Venediger Decke, 8 Austroalpines Altkristallin mit Zentralalpinem Mesozoikum (z), Paläozoikum und Drauzug (d), 9 südalpiner Quarzphyllit + schwachmetamorphes Altpaläozoikum, 10 Granitoide und Tonalite (ca. 30 my), 11 spät-herzynische Granitoide, 12 Quarzporphyr und Permo-Mesozoikum, 13 Flysch im Schuppenbau von Maniago und Gemona, 14 Basalte, Trachyte usw., 15 südalpines herzynisches (kaledonisches p. p.) Kristallin, 16 hypothetischer «Ozeanboden», 17 Niedergeschwindigkeits-Zone nach ANGENHEISTER et al. 1972.

B. Geophysik

Die Linie über dem Profil gibt, etwas schematisiert, die Bouguer-Anomalien nach MAKRIŠ an. – Die Zahlen « $q = 1,77$ » bedeuten Wärmestromdichten in HFU nach HAENEL 1976. – Die Zahlen 6,8, 7, 8, 8,2 bezeichnen v_p in km/sec nach ANGENHEISTER l. c.; p ist die Geschwindigkeits-Tiefenfunktion für die p-Wellen des Schusspunktes D (MILLER, «ALP»), p' die des alten Modells zum Vergleich. – Das eingerückte Profil unten links gibt Höhenlage, Ausmass und Dicke eines Modellkörpers für die positive Anomalie des Erdmagnetfeldes von Berchtesgaden-Salzburg wieder (m in der Lageskizze). Der Schnitt liegt etwas östlicher als der des Hauptprofils.

Der hypothetische Schuppenbau unter den Südalpen (s. o.) ist ein Erklärungs-Versuch für die Unterschiede im Bau der Kruste beiderseits der Periadriatischen Naht; dieser kommt nicht die Natur einer (ehemaligen) Plattengrenze zu. Dieser Versuch kann nur als Zwischenlösung, bis weiteres Material aus dem Alpenlängsprofil vorliegt, betrachtet werden.

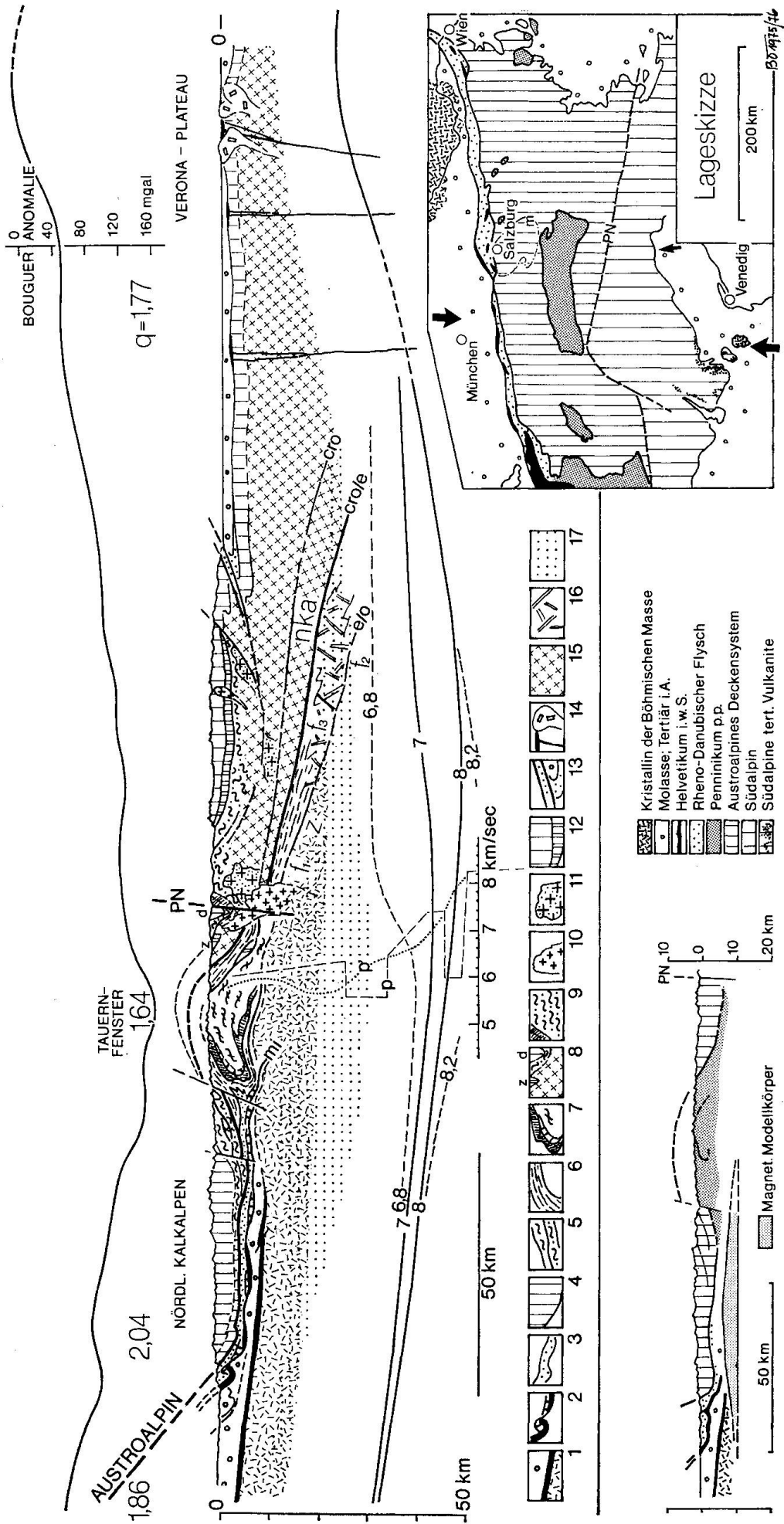


Fig. 2. Geologisch-geophysikalisches Sammelprofil durch die mittleren Ost- und Südalpen.

Bemerkenswert ist, dass an der Basis der Bündner Schiefererien sehr häufig typischer Verrucano aufscheint (tektonisch? Melange-artig? FRISCH), und dass alpidische Ophiolithe (im Sinne der STEINMANN-Trinität) nur spärlichst vertreten sind.

Das austroalpine Deckensystem wird durch die Periadriatische Naht vom Südalpin getrennt. Inwieweit, wie in Fig. 2 deutlich angesprochen, penninische (eugeosynklinale) Serien wirklich noch unter den Südalpen anzutreffen sind, ist hypothetisch. Aus rein geometrischen Gründen wäre dies zu erwarten, es sei denn, man nimmt vertikale Verschluckung im Sinne von E. KRAUS längs der Periadriatischen Naht an, oder erhebliche Seitenverschiebungen an dieser Störung, bei sehr viel höherem Tiefgang (zum Beispiel LAUBSCHER).

Das merkwürdige tektonische Element der Periadriatischen Naht weist auf seine ganze Länge eine sehr einheitliche Entwicklung auf, wie Späne von Ultramyloniten beziehungsweise Pseudotachyliten sowie die zerriebenen «Tonalitgneise» zeigen. Zum Alter der Bewegungsvorgänge liegen als einzige Anhaltspunkte die Mineralalter der Tonalitgneise am Nordrand des Brixener Granitmassives mit 30 my vor (BORSI et al.), sowie das Alter der nicht tektonisierten Andesite von Biella mit ebenfalls 30 my. Die Heraushebung der Ostalpen beziehungsweise der Westalpen gegenüber den Südalpen muss aber wesentlich länger angehalten haben. Das in den Zentralalpen einfache Schema: Lepontin – *Hebung* und Südalpen – *Senkung* ist im Bereich südlich des Tauernfensters etwas komplizierter. Hier liegt eine Reihe von Staffelbrüchen vor (zum Beispiel LAMMERER*, SASSI und Coll.). Die Serien *im* Tauernfenster heben sich gegenüber dem südlichen, altkristallinen Fensterrahmen heute noch heraus (SENFTEL und EXNER).

An der Periadriatischen Naht sind rezente Bewegungen nicht zu erkennen; der Bereich der Störung scheint aseismisch zu sein. Von 30 zwischen 1973 und 1975 ermittelten Epizentren (einschliesslich Kleinbeben, FÖRTSCH* und SCHMEDES*) lag nicht eines in der Nähe der Naht, wie auch die seit 1000 Jahren beobachteten Schadbaben (SCHNEIDER) keine Beziehung dazu erkennen lassen.

Während des Altpaläozoikums tritt ein faziestrennendes Element in dem Bereich der heutigen Periadriatischen Naht nicht in Erscheinung. Deutlich unterscheidet sich hingegen die Fazies im Jungpaläozoikum (postvariszisch), wenig dann wieder im Mesozoikum: ein prinzipieller Unterschied⁵⁾ zwischen dem austroalpinen und dem südalpinen Mesozoikum besteht nicht (AHRENDT, BÖGEL*, EXNER, E. FLÜGEL*, H. W. FLÜGEL, FUMASOLI, GANSSER, SASSI und Coll., ZANFERRARI).

Der Grossbau der Südalpen darf als bekannt vorausgesetzt werden. Deutlich ist in den Südostalpen das schrittweise Vordringen des Meeres zu ver-

⁵⁾ Der mesozoische Ablagerungsraum der Ost- und Südalpen kann als einheitliches Gebilde dem penninischen oder dem helvetischen Bereich gegenübergestellt werden.

folgen: So setzt die für die Trias so charakteristische Karbonat-Plattformfazies hier schon im Jungpaläozoikum ein und wandert langsam nach Norden und Westen (E. FLÜGEL* und Coll., PISA † und Coll. in Vorbereitung). So wandelt sich der Ost-Südalpenraum allmählich aus einem epikontinentalen Bereich in den weiten Schelf am Westende der Tethys um. Dieser Schelf zeigt jedoch alsbald «Zerfallerscheinungen»: Vor allem in der Mitteltrias der Südalpen, des Drauzuges und der Nördlichen Kalkalpen findet ein lebhaftes Wechselspiel zwischen Riff- und Beckenfazies statt (BECHSTÄDT*, BRANDNER, EPTING*, OTT*, MOSTLER, KL. SCHMIDT*). Für die triassischen Karbonatplattformen ist mehrfache (rhythmische?) Trockenlegung evident (Calichebildung, Trockenrisse, Einwirkung vadoser Wässer, PISOIDE usw.). In der Obertrias nimmt eine einheitliche lagunäre (bis evaporitische) Fazies einen weit über die Alpen hinausreichenden Raum ein (Toskaniden, Umbro-Markiden, Sizilien). Riffbildungen treten eher zurück, schmale Zungen des «offenen» Ozeans (Hallstätter Fazies) greifen von Südosten her ein. Stärkere und schwächere Beweglichkeit des «Schelfes» wechselt zeitlich und räumlich.

Der endgültige Zerfall erfolgt im Jura, der durch eine engständige Becken- und Schwellenmorphologie gekennzeichnet ist. Schichtlücken, olisthostromartige Umlagerungen und Olistholithe sind allgemein verbreitet, Flachwasserfazies ist zwar vorhanden, tritt aber zurück. Diese Unruhe spiegelt den zeitgleichen Einbruch der penninischen («eugeosynklinalen») Becken wider. Höhepunkt der Unruhe wird in der Unterkreide mit grossen Olisthostromen (Hallstätter Decken p. p.) erreicht. Hierzu vergleiche zum Beispiel BERNOULLI, BÖGEL*, CASTELLARIN, DIERSCHÉ*, PLÖCHINGER, SCHÄFFER, ZANKL*, ZEIL* und Coll, u. a.

Der tektonische Werdegang der Südalpen unterscheidet sich von dem der Ostalpen beträchtlich: Die im Ostalpenbereich verhältnismässig flachen Abscher-Niveaus sinken unter den Südalpen tiefer ab (GIESE*, vgl. Fig. 1); entsprechend spielen Oberkreide- und Alttertiär-Tektonik eine vergleichsweise geringe Rolle, alpidische Metamorphose fehlt. Es liesse sich daraus wohl ableiten, dass die Südalpen zur Zeit der alpidischen Metamorphose eine tektonisch sehr hohe Position eingenommen haben – zwangsläufig kommt man dann aber zu der alten, schon von TERMIER ausgesprochenen Vorstellung zurück, dass nämlich die Südalpen einmal als höchste Decke noch über dem Austroalpin gelegen hätten⁶).

Der Südrand der Südalpen ist kompliziert: teils ist, u. a. durch Bohrungen belegt, ein deutlicher südvergenter Schuppenbau erkennbar (im Osten; vgl. MARTINIS), teils tauchen die Südalpen im Gebiet des Veroneser Plateaus (vgl.

⁶) Es sei in diesem Zusammenhang an die Schollen von «Ivrea-Zone» auf der Sesia-Lanzo-Zone beziehungsweise der Dent-Blanche-Decke erinnert (zum Beispiel DAL PIAZ et al. 1972, COMPAGNONI, DAL PIAZ et al. 1975).

M. RICHTER 1962) einfach unter die Schuttmassen der Po-Ebene ab. Das seitliche Verhältnis ist unklar und nicht einfach durch den Übergang einer Flexur in eine Überschiebung erklärbar (Fig. 2).

Das Wiedererscheinen der Fazies der Südalpen in den «miogeosynklinalen» (und parautochthonen bis allochthonen) Serien der Toskana und der Umbria-Marche ist evident, doch sind die paläogeographischen Beziehungen noch nicht durchschaubar.

Geophysikalische Untersuchungen

Geothermik: Die Wärmeflussdichte (q in Fig. 2) scheint im Zentralteil der Ostalpen, also dort wo die Kruste sehr dick ist, am geringsten zu sein (HAENEL; vgl. RYBACH, dieses Heft). Eine Erklärung, wie zum Beispiel als Nachwirkung einer ehemaligen Subduktions-Zone, oder Aufwölbung basischen Materials, steht aus.

Magnetotellurik und Geoelektrik: Eine Schicht erhöhter Leitfähigkeit unter den schlecht leitenden Gesteinen der Nördlichen Kalkalpen (in Ostbayern) kann zwanglos als Molasse – oder ähnlich gutleitende Serien – erklärt werden (BERKTOLD* und Coll.). Dies deckt sich mit den geologischen Ergebnissen. Detaillierte refraktions-seismische Arbeiten längs einer Messlinie zwischen Chiemsee und Kiefersfelden ergaben, dass unter dem nördlichen Teil der (hier 3 km dicken) Nördlichen Kalkalpen eine bis zu 7 km dicke Schicht geringer Geschwindigkeit liegt, die gleichfalls mit Molasse oder gesteinsmässig ähnlichen Serien erklärt werden kann. – Alle diese Befunde deuten übereinstimmend darauf hin, dass die maximale Absenkung innerhalb des Molasse-Troges dort zu erwarten ist, wo heute der Nordteil der Kalkalpen liegt (WILL*, vgl. LEMCKE).

Geomagnetik: Im Raum Salzburg–Berchtesgaden wurde eine schon länger bekannte Anomalie des Erdmagnetfeldes neu vermessen (Ausmass und Lage siehe die in Fig. 2 eingerückte Lageskizze). Von verschiedenen errechneten Modellen ist eines in Fig. 2 wiedergegeben (BLEIL* und POHL*). Als Ursache ist an einen basischen Körper zu denken, der, da die remanente Magnetisierung anscheinend nicht vernachlässigt werden kann, eher als nicht zu alt und jedenfalls als einheitlich anzunehmen ist (? Span ozeanischer Kruste, der allerdings sehr dick sein müsste). Die Karte der Bouguer-Anomalien (MAKRIS) zeigt im Bereich der Nördlichen Kalkalpen ein sekundäres Maximum (vgl. Fig. 2); dieses deckt sich regional jedoch nicht mit der Anomalie des Magnetfeldes.

Refraktions-Seismik: Gegenüber dem früher publizierten Modell (ANGENHEISTER* et al. 1972), das in Fig. 2 noch angedeutet ist, zeigen erste Ergebnisse aus dem Alpenlängsprofil, dass nicht mit einer, sondern mit zwei Inversionszonen zu rechnen ist; beide liegen tiefer als die eine des älteren Modells

(MILLER* im Druck; vgl. Fig. 2). Abgesehen davon scheint es, dass die Konfiguration der Kruste im ganzen durch die 6,8-, 7- und 8-Isolinien des alten Modells in den Grundzügen richtig angedeutet war (MILLER*, GEBRANDE* und SCHMEDES*, Geol. Rundschau, Fig. 10, im Druck).

Paläomagnetik: SOFFEL* ermittelte an tertiären Vulkaniten der Lessinischen Alpen und der Colli Euganei sowie an penninischen Quarzporphyren der autochthonen Toskaniden (Apuaner Alpen) aus der Deklination der remanenten Magnetisierung in Übereinstimmung mit vielen anderen Autoren eine Rotation für die Südalpen und das «autochthone» Italien um ca. 50° gegen den Uhrzeigersinn. Nach SOFFEL fand die Hauptdrehbewegung vor ca. 38 my statt, nach ALVAREZ et al. dagegen früher. Auch für das Austroalpine Deckensystem liegen vorerst widersprüchliche Daten vor. Unerwartet sind Befunde aus dem Pelvoux-Massiv (WESTPHAL) und dem Bergeller Granitoid (HELLER). Eine befriedigende Diskussion und Interpretation ist wohl erst möglich, wenn weit mehr Daten verfügbar sind.

3. Zur Problematik plattentektonischer Modelle

Ich sehe davon ab, hier ein weiteres Modell zur Entstehung der Alpen vorzustellen; es würde ebensowenig befriedigen können wie die bisherigen, deren eine ganze Reihe ja publiziert sind. Vielmehr möchte ich einige Probleme herausstellen, die einer Modellkonstruktion (bisher) im Wege stehen, ohne die Fragen hier länger zu diskutieren. – Vorausgeschickt sei, dass keinesfalls zum Ausdruck gebracht werden soll, dass die Erarbeitung solcher Modelle überhaupt überflüssig wäre – im Gegenteil. Es geht mehr um die Schaffung der Voraussetzungen.

a) Die Paläogeographie der betrachteten Räume ist noch recht unklar, namentlich was den Verlauf und die Anordnung «ozeanischer» («eugeosynklinaler») Tröge anlangt (waren sie überhaupt «echt ozeanisch»?). Ausmass und Abgrenzung rotierter Bereiche sowie die Zeit(en) der Rotationen sind weitgehend offen (s. o.).

Die Paläogeographie ist mit geologischen Methoden zu erarbeiten, mit Unterstützung der Paläomagnetik, nicht aber durch den Einsatz plattentektonischer Modelle (die dann mit Hilfe der so gewonnenen Paläogeographie bewiesen werden).

b) Die bei Anwendung etwa pazifischer Modelle zu erwartenden Vulkanite sind nicht beobachtbar. Namentlich in der Oberkreide ist kein andesitischer Vulkanismus nachzuweisen (auch nicht in den Karpaten! Dort ist er entweder älter oder jünger; vgl. SZÁDECZKY-KARDOSS). Lediglich einige Gänge andesitischer Zusammensetzung sind jüngst (GATTO et al.) bekannt geworden. Der Vulkanismus im Alttertiär (Mesophase im Sinne TRÜMPYS) ist spärlich; der

Taveyannaz-Sandstein der Westalpen zum Beispiel ist in den Ostalpen bisher ganz unbekannt (er könnte allerdings unter den austroalpinen Decken begraben sein). Die (zeichnerisch) gerne verwendeten Basalte der Lessinischen Alpen und die vielfältigen Vulkanite der Colli Euganei sind nach ihrer chemischen Zusammensetzung nicht als subduktions-bedingt anzusehen (DE VECCHI et al.) – ganz abgesehen von ihrer sehr lokalen Verbreitung im Gebiet des Verona-Plateaus, das eine tektonische Sonderstellung einnimmt

Der mengenmässig bedeutende periadriatische tertiäre Plutonismus ist durchweg jünger (28–30 my); er würde eher zur neoalpinen Phase (TRÜMPY) passen. – Sehr spärlich sind ferner Ophiolithe (im Sinne der STEINMANN-Trinität) anzutreffen; viele Ophiolithe aus dem Tauernfenster zum Beispiel sind wahrscheinlich Bestandteil des herzynischen Gebirges. Also sind entweder andere als die *üblichen* Platten-Modelle anzuwenden, oder grössere «Ozeane» scheiden für die penninischen Räume aus.

c) Rolle und Deutung der Hochdruck-Niedertemperatur-Metamorphose sind unklar. Es ist kaum denkbar, dass eine Hochdruck-Niedertemperatur-Fazies an die 60 my unbeschadet in der Tiefe verbleibt – bei Annahme einer Oberkreidesubduktion (zum Beispiel HAWKESWORTH et al.) müsste dies aber so sein⁷⁾. Für den Tauernbereich jedenfalls ist eine sehr langsame Heraushebung nachweisbar, für ein rasches Nach-oben-Befördern im Sinne von DAL PIAZ et al. und COMPAGNONI et al. spricht wenig. Ganz abgesehen davon ist es eine alte geologische Beobachtungstatsache, dass strukturverändernde tektonische Vorgänge nicht einfach umkehrbar sind, eine Erfahrung, die man wohl auch auf Bewegungen an Subduktions-Zonen anwenden darf.

Diese Überlegungen erfolgen natürlich unter der Annahme, dass die Ergebnisse der theoretischen Petrologie auf geologische Vorgänge übertragbar sind, und dass die demzufolge notwendigen Drücke nicht durch einfache Überlagerung durch einen Deckenstapel erreichbar sind.

d) Das heute vorliegende Orogen besteht aus einer äusserst engen Verzahnung zweier (oder sogar mehrerer) Platten beziehungsweise Mikroplatten. Hiervon sind in erster Linie kontinentale Kristallinmassen sowie Sedimente, die mit Sicherheit auf kontinentaler Kruste abgelagert waren, betroffen. Beträchtliche Mengen von altem Kristallin sind zu beseitigen; «krustale» Geschehnisse müssen also eine bedeutende Rolle spielen. Ehemalige echte Plattengrenzen, gleichviel welcher Art, sind daher wohl kaum mehr zu identifizieren: krustale Vorgänge sollten von Lithosphären-Subduktionen getrennt betrachtet werden.

⁷⁾ Es ist erst einmal zu prüfen, ob die Oberkreide-Tektonik und die alttertiäre Hauptphase (Mesophase TRÜMPYS; vgl. auch TRÜMPY 1976) überhaupt raumstetig ablaufen.

Es ist meines Erachtens nicht ganz unstatthaft, sich die Meeresräume, aus denen das Alpen- (und Apennin-) Orogen hervorgegangen ist, so ähnlich wie das heutige Mittelmeer vorzustellen – schliesslich befinden wir uns wohl auch zur Zeit vor und zu Beginn der Öffnung des Atlantiks am Westende der Tethys. Laufen nun die rezenten Bewegungen im Atlantik grössenordnungsmässig so ab wie seinerzeit – dies zu bezweifeln, liegt kein Grund vor –, so müssen diese Bewegungen auch heute zum Teil im Mittelmeer kompensiert werden: hier aber kennen wir weder grosszügige Subduktions-Zonen noch bedeutende Transformstörungen, und schon gar kein «echtes» Spreading, abgesehen vom Roten Meer natürlich, wohl aber Tiefsee-Ebenen, mit teilweise ozeanischer Kruste, kleine Benioff-Zonen, aber zum Teil ohne den chemisch «passenden» Vulkanismus, back arc-basins, die nur bedingt mit entsprechenden Erscheinungen in grösserem Massstab zu vergleichen sind usw.⁸⁾. Kurzum ein kleinräumiges, gewissermassen «europäisches» Bild ...

Danksagung: Für die Durchsicht des geophysikalischen Teils danke ich Herrn Prof. Angenheister, ebenso auch dessen Mitarbeitern, den Herren Gebrande, Heinz Miller, Pohl, Schmedes und Soffel (alle München). Den Herren Frisch, Wien und Roeder, Knoxville, danke ich für kritische Hinweise. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die Bereitstellung von Mitteln zur Kompilation im Rahmen des Schwerpunktes.

⁸⁾ Nochmals: Dies soll *nicht* heissen, dass der Antrieb für die orogene Entwicklung im Alpenraum (und in den benachbarten Gebirgen) nicht in globalen Platten-Mechanismen zu suchen ist. Das mediterrane Gebirgssystem *ist* als Ergebnis der verschiedenen Öffnungsphasen im Atlantik anzusehen, jedoch erreichen hier die Vorgänge nur teilweise «Lithosphären-Massstab»; sehr viel bleibt gewissermassen im krustalen Bereich stecken (zum Beispiel Nordsee-Graben!) oder wird an Bewegungsbahnen (Niedergeschwindigkeitszonen) innerhalb der Kruste kompensiert.