**Zeitschrift:** Eclogae Geologicae Helvetiae
**Herausgeber:** Schweizerische Geologische Gesellschaft
**Band:** 47 (1954)
**Heft:** 1

**Artikel:** Neue Gedanken zur Entstehung der Alpen
**Autor:** Kraus, Ernst
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-161827

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 04.02.2026

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

# Neue Gedanken zur Entstehung der Alpen

Mit 7 Textfiguren

Von **Ernst Kraus**, München

---

Nachfolgend werden keine Ausführungen gebracht über tektonische Einzelheiten, vor allem nicht etwa abweichende Auffassungen zu den mit so viel Mühe, Energie und fortgeschrittener Methodik durch lange Jahrzehnte bekannt gewordenen Beobachtungstatsachen über den Alpenbau. Zwar sind gerade diese die einzig tragenden Grundlagen auch meiner, vom Bisherigen wesentlich abweichenden Ableitungen. Über die Beobachtungen als solche sind wir wohl alle gleicher Ansicht. Hier und heute handelt es sich vielmehr um die Folgerungen. Sie sind Fortentwicklungen der von Otto Ampferer 1906 erstmals ausgesprochenen Grundansichten über die Gebirgsbildung, insbesondere der Alpen.

## Kritische Einführung

Im Grunde handelte es sich bei O. Ampferers Gedanken, so wenig entwickelt sie auch noch waren, um einen völligen Bruch mit allen bisherigen Ansichten, welche verständlicherweise unwillkürlich alle anthropozentrisch gedacht waren. Suchte man doch die antreibenden Kräfte der Gebirgsbildung aussen, im Wohn- und Kontrollbereich der Menschen.

Die Kontraktionstheorie sprach von einer Runzelbildung der äusseren Erdrinde über dem sich noch weiter abkühlenden und dabei schrumpfenden Untergrund, der sich aber wesentlich ruhig verhalten habe.

Die Kontinent-Verschiebungstheorie dachte sich über einer gleichfalls ruhenden Tiefe eine durch äussere Kräfte erzeugte Kontinentplatten-Drift, welche

Fig. 1. *Die alpinen Hauptdecken der Ostschweiz* branden längs der Front des aktiv herandrängenden afrikanischen Kontinents (schwarz) gegen Europa. Mittleres Stadium der Entwicklung. Nach R. Staub 1923.

frontale Hochfaltung und Deckenbildung erzeuge (Fig. 1). Doch war es bereits der um die Alpengeologie so hochverdiente R. Staub, der dabei bedeutende Untergrundströme mit ins Spiel treten liess.

Die derzeit besonders im französischen Sprachgebiet moderne Ansicht geht dahin, dass der Antrieb der Orogenese die Schwerkraft sei. Gleicher Meinung war auch die Oszillations- und die Undations-Hypothese. Aber deren Anhänger müssen doch zugeben, dass die orogene Strukturbildung durch Abgleiten von sehr breiten und hohen Reliefaufwölbungen nichts wäre als ein oberflächennächster Massenausgleich dort, wo schon entsprechend gewaltige Massenverschiebungen der Tiefe jene „Geotumore" emporgestemmt hatten. Abgesehen davon, dass bisher nirgends der Versuch gelang, derart riesige Reliefaufwölbungen vor der Zeit der orogenen Strukturbildung paläogeographisch nachzuweisen, ist also zu sagen, dass die verursachende Leistung der Orogenese nicht die auf Ruhe hinzielende Schwerkraft ist. Bei der Gebirgsbildung wird ja gerade die isostatische Schwerkraftsruhe durchbrochen, und zwar durch bedeutende, aktive Massenverlagerungen in der Tiefe.

Aber auch die kontraktionstheoretisch gedachte Fortentwicklung nach der Erkenntnis der 60 oder 100 km weit gewanderten Decken konnte durch die Annahme der Ausquetschung und Emporpressung aus Wurzeln unsere mechanischen Grundvorstellungen nicht befriedigen. Die Decken wären ja in solchem Fall ungeheuer zermalmt und verwalzt. Sie sind jedoch oft merkwürdig intakt, obwohl sie sogar über rauhe Reliefs hinweg geschoben und gestossen sein sollen, nach ihrer Zertrümmerung in der rückwärtigen Wurzel. Namentlich bei den riesigen Flächen-Dimensionen einer meist nur 2 km mächtigen Decke erscheint ein solcher Vorgang unmechanisch.

Gelang es einer vorbildlichen, energischen Geländearbeit, in der Ostschweiz alpine Jurakalke bis zur südlichen Wurzelzone zu verfolgen, so widersprach doch gerade dies jener Vorstellung von einer emporpressenden Wurzel. Könnten doch in ihr nur älteste Massen nach oben rücken, nicht aber junge Gebirgsglieder.

Und noch eine andere Tatsache, welche dem Deckenschub – aktiv oben – aus einer Wurzel widersprach, förderte die moderne Deckenlehre: Nämlich die oft schon gut belegte Ausglättung der Falten und die gedankliche Zurückverlegung der Decken, soweit sie aus mesozoisch-tertiären Sedimenten bestehen. Denn setzen wir die ehemals nebeneinander sedimentierten Faziesbereiche auch nur mit einem Minimum der paläogeographisch zu fordernden Zwischenräume wieder nebeneinander, so rekonstruieren wir den ursprünglichen Sedimentationsraum. Gewiss, er wurde im Verlaufe der Einengungen nur allmählich schmäler. Aber ursprünglich muss er gewaltig breit gewesen sein. Wir halten vergeblich Ausschau nach den riesigen Sockelgebieten, die heute zum grössten Teil unter oder neben den Deckenstapeln fehlen. Wohin kamen sie?

## Das Problem der Massenbilanz

Die Geschichte der Mutterstätten der grossen Gebirge ist bekanntlich eine Senkungs-Geschichte. Die Frühzeit unserer Alpen ist die Geschichte des Tethysmeeres, in dem erst allmählich Inselgirlanden erschienen.

Seit P. Arbenz, E. Argand und R. Staub wissen wir, dass diese sehr lange Entwicklungszeit weit ins Mesozoikum zurückreicht. Schon früh hatte damals die alpine Einengungsstruktur bedeutende Fortschritte gemacht. Es gab wohl

kleinere Auf- und Ab-Bewegungen, jedoch nie breite und hohe Relief-Aufwölbungen mit starker exogener Abtragung. Derart umfangreiche Sockelmassen, wie wir sie vermissen, können somit durch Abtragung nicht verschwunden sein.

Der heute fehlende Unterbau kann allein abgesunken und ersetzt worden sein durch allmähliches, seitliches Heranrücken der höheren Nachbarschaft. Im Bereich unserer vorwiegend E–W-streichenden Alpen muss so die Meridianlänge – zwar sehr allmählich nur – doch sehr bedeutende Verkürzung erlitten haben.

Wohin kamen die verschluckten Massen?

Wegen des hohen Tiefendruckes gab es natürlich dort unten keine Hohlräume auszufüllen. Volumverlust durch Entgasung wäre viel zu gering gewesen; ebenso ein etwaiger Schwund bei der Kristallisation oder infolge vulkanischer Aufstiege. Da ausserdem eine entsprechende Reliefaufwölbung in der weiteren Umgebung unterblieb, kann allein an einen Massenkreislauf in der Tiefe, mit weitreichenden horizontalen Tiefenästen, gedacht werden.

Jede umfangreiche Hebung oder Senkung des Reliefs, jede Grossmulde oder jeder Grossattel erweist sich somit als Folge endogener Massenverschiebung gelegentlich eines solchen Massenkreislaufes. Unter einer Geosynklinale dürfte überwiegend eine Massenabfuhr nach unten, säkular und sehr langsam, vor sich gehen.

Ohne Zweifel verlangt die hochüberlastete Tiefe ungleich grössere Energien zur Fortbewegung grosser Volumina des „Geoplasmas" und zur Fortsetzung eines Massenkreislaufes weithin durch Zehner von Jahrmillionen als oberflächennächste, viel weniger belastete Erdrindenteile. Auch hieraus lässt sich ableiten, dass der antreibende Motor so gewaltiger Unterströmungen in der Tiefe zu suchen ist.

Als logische Forderung und mechanisch allein verstehbarer Gedanke erscheint: In der geoplastischen Tiefe herrschen Strömungen. Die orogenen Strukturen sind die oberflächennäheren Abbilder ihrer Verlagerungen, ihrer Hebungen, Senkungen und Horizontalbewegungen. In gleicher Weise verdankt auch das Grossrelief unter der Wasser- und Lufthülle der Erde seine Bewegungen zunächst inneren Massenverschiebungen.

Zudem konnte nie die Ansicht widerlegt werden, dass die Druckfestigkeit der Gesteine im Laboratoriumsversuch – in der Erdrinde noch vermindert durch

Fig. 2. *Geringe Druckfortleitung durch das zu wenig druckfeste Gestein* an der Front einer vordringenden Kontinentalplatte (schwarz). Schema.

deren unzählige Bewegungsflächen und beweglichere Einlagen – wegen der gewaltigen Reibungswiderstände in der Raum-Masse des Gesteins keineswegs ausreicht, um durch Druckfortleitung oben über 50, 100 oder mehr Kilometer einheitliche Faltenvergenzen und Deckenschübe zu erzeugen. Wie Fig. 2 andeutet,

gehen ja die Gesteine schon bald zu Bruch. Dagegen wird nach Fig. 3 jede Vergenz- und Schubverbreitung leicht verständlich über dem regional reibenden Rücken von untergleitenden Massen. Folgen solche langsam und absinkend dem Raume eines ausgedehnten, abwärtigen Massenverlustes, so nähern sie sich einander und müssen über sich oben die Gebirgsstauung bilden.

Fig. 3. *Profil eines zweiseitigen Orogens.* Der regionale Deckentransport wird über dem reibenden Rücken von aktiv untergleitenden Massen verständlich. Sie rücken von beiden Seiten einem primären Massenverlust-Raum abwärts nach, einer „Verschluckungszone" oder „Narbe". Unten mediane Fächerstruktur. Nach E. Kraus 1932. Vgl. Fig. 5.

Mit solcher wohl verständlichen Lösung wenden wir uns nun ab von einer anthropozentrischen Anschauungsweise, welche für die Beurteilung orogener Vorgänge natürlich ganz unmassgeblich ist.

Kopernikus wagte es, die Erde aus dem ptolemäischen Mittelpunkt der Welt herauszunehmen und sie anzusehen als einen gegenüber ihrer Umgebung selbst bewegten Himmelskörper. O. Ampferer versuchte seit 1906 – und zwar bis 1936 fast ohne Erfolg –, die scheinbar handgreifliche aktive Gebirgsbildung nächst der Erdoberfläche zu widerlegen und den Lebensraum des Menschen nur als unvollkommenes, weil passives Abbild innerer Massenkreisläufe des Erdballes klar zu machen.

Haben wir unter Hinweis auf die Literatur nur in Kürze allgemein für die grossen Geosynklinalgebirge der Erde und mit allgemeinen Denkgrundsätzen diese Auffassung abgeleitet, so sollen nun für die Alpen Möglichkeit und Richtigkeit solcher neuer Gedanken geprüft werden.

## Die baugeschichtliche Methode. Bedeutung der Molasse

Schon anfangs sei klar, dass auch Gebirgstektonik nicht in kurzer Zeit und nicht in einmaligem Akt entsteht. Die Orogenstruktur ist gewachsen wie ein Organismus, der eine ungeheure Zahl von Erbschaften, von Umwelteingriffen und Anpassungsvorgängen verkörpert.

Wir müssen also baugeschichtlich vorgehen, wollen wir die Struktur unserer Gebirge nicht nur – unvollkommen – beschreiben, sondern verstehen, so wie wir auch nur historisch etwa die Formen des Erdreliefs, das Wesen seiner Böden, die Verteilung des Bios auf dieser Erde verstehen werden.

Wo finden wir heute noch in den Alpen erste Anfänge der faltigen Einengung, die ja, zusammen mit der Schuppung und Deckenablösung, auch allmählich geworden sein muss?

Wegen der Migration des orogenen Geschehens von innen nach aussen in der orogenen Geosynklinale finden wir bekanntlich jüngste Vorgänge dieser Art aussen, im Bau der heutigen Vortiefen; also dort, wo die alpine Einengung noch jungtertiär-diluvial fortgeschritten ist. Zur Zeit, als der bereits stark zu-

sammengeschobene, gefaltete und verdickte Gebirgskörper sich höher und höher heraushob. Diesen jüngsten Vorgang bilden die Massen des Abtragungsschuttes ab, der Vortiefenmolasse also; ihn zeigen andererseits die mit Zwischenpausen emporgestiegenen Altverebnungsflächen des Gebirgsinneren.

Noch heute misst der Molasseschutt 4–5 km, und er besteht, abgesehen von zwei Flachsee-Einlagen, aus fluvioterrestrischem Sediment, aufgehäuft in breiten und langen Längsmulden. Folglich versanken vorwiegend diese Teilmulden der Vortiefen langsam mehr und mehr während der oligozän-miozänen Molassezeit.

Nach Ansicht des Verfassers war dies nur möglich, indem unter den Muldensohlen synsedimentär, also sehr langsam, jedoch mit grosszügiger Beharrlichkeit, „Geoplasma" irgendwie abgewandert ist. Da sich gleichzeitig das Gebirge unter Abtragung hob, so dürfte dieses abgewanderte Geoplasma zur Nachfüllung unter dem Hebungsgebiet im Gebirge verwendet worden sein.

Einem Massenunterstrom, tief unter das Gebirge hinein, würde somit oben ein entgegengesetzter Abtragungsstrom vom Gebirge weg zur Vortiefe entsprochen haben.

Es ist undenkbar, dass schon die erste Abtragung das Gebirge zu isostatischem Auftrieb befähigte oder dass allein schon das Anfangsgewicht des ersten Sedi-

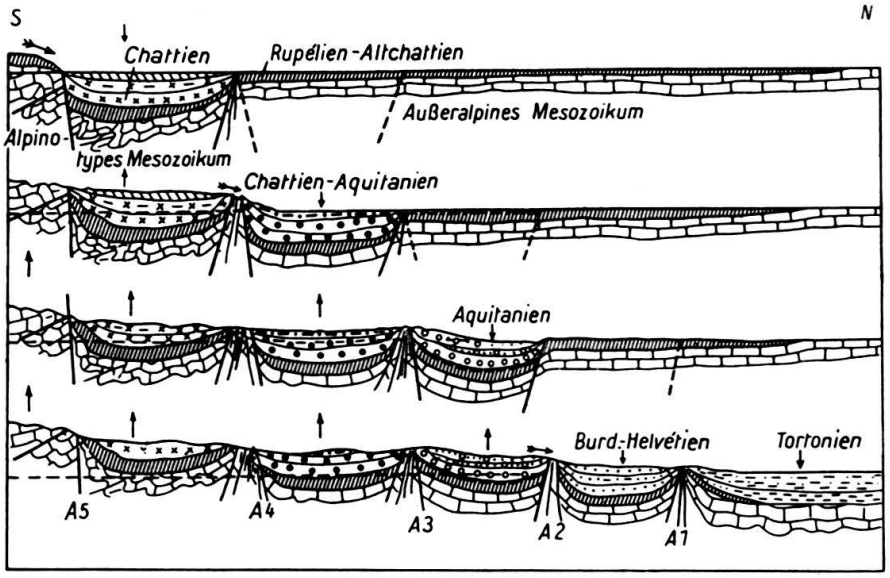


Fig. 4. *Migration in der subwestalpinen Molasse.* Versuch einer schematischen Darstellung einiger synsedimentär sinkender Stadien (fortschreitend von oben nach unten) in Allgäu-Vorarlberg. Ohne Maßstab. Unberücksichtigt: Nachträgliche Tangentialbewegung; Sediment, das von einer Mulde in die benachbarte übergreift. Pfeile: Hebung, Senkung und Umlagerungsrichtung. A1–A5 die gestörten Antiklinen zwischen den voneinander abweichend bewegten Mulden-Längsschollen. Aus E. Kraus 1951, S. 221.

ments in der Vortiefe die fortdauernde Absenkung hätte in Gang bringen können. Zu gross wären ja die Widerstände in der drangvollen Tiefe. So schien es Verfasser mit Ampferer naheliegend, den Motor für diese Verlagerungen säkularer Art in der Tiefe zu suchen.

Dass dies annehmbar ist, scheint sich aus Werdegang, Sedimentation und Struktur der Vortiefe zu ergeben. Das Alter der Sedimentfüllungen unserer grossen

nordalpinen Vortiefenmulden spricht für ein nach aussen fortschreitendes Nacheinander der Muldenabsenkung während deren Füllung (Fig. 4). Absinkend löste sich die innerste der jetzt erhaltenen Mulden steil ab sowohl von dem bereits in Hebung und Abtragung übergegangenen, benachbarten Gebirgskörper, wie auch von dem noch nicht zur Absenkung gelangenden Vortiefenteil aussen. An den daher oben zurückbleibenden Abbruchsrändern wurde der absinkende Streifen relativ emporgeschleppt und wegen geringerer Absenkung hier sedimentär unterernährt. Aus einer ursprünglichen Längsplatte der Vortiefe konnte sich so gleichzeitig eine Muldenform bilden, beiderseits begrenzt von steilen Längsstörungen. Verlagerte sich dann die allgemeine Absenkung auswärts, so erlahmte dafür die Senkung der ersten, bereits gefüllten Mulde. Deren steile Aussenrandstörung konnte nun die Neuabsenkung der sich auswärts ebenso bildenden Mulde erleichtern. Auch sie löste sich dabei von dem noch nicht sinkenden, äusseren Vortiefenteil ab. So entstanden durch Wiederholung der Vorgänge meist etwa 4 Mulden.

Dass übrigens schon primär Längsplatten mit begrenzenden Verwerfungen bestanden haben, ist z. B. in Niederbayern und Südwürttemberg seismisch und durch Tiefbohrungen in der nördlichen Vortiefe belegt. Diese Längsschollen bis zur Böhmischen Masse entstanden offenbar durch Zerrung, nach paläogeographischen Anzeichen gleichzeitig mit der subalpinen Einengung der Molassemulden.

Somit können wir von einer Bildung tektonischer Formen sprechen, von einem Bau, der subalpin entstand während muldenartiger Absenkung. Den Gesamtvorgang, einschliesslich der Abtragung und Sedimentation, hat Verfasser als „Hinabbau" beschrieben. Er ist die Strukturbildung während der Senkung.

Dieser Vorgang widerspricht der zunächst plausiblen Ansicht, dass gleichzeitig mit der Faltung eine Hochbewegung geschähe, dass wir „Hochfaltung" in der Geosynklinale hätten wie beim Zusammenschieben eines Tuches über der ruhenden Tischfläche. Derartiges lässt sich paläogeographisch nicht nachweisen.

Das Studium von Molassesediment und -bau in den gleichzeitig absinkenden Vortiefenmulden – übrigens aller besser bekannten geosynklinalen Vortiefen – scheint grundsätzlich deshalb so lehrreich, weil gerade hier erste Anfänge der Einengung erhalten blieben. Solches Embryonalstadium konservierte sich offenbar darum in der nordalpinen Vortiefe, weil der hier einsetzende Unterbau des europäischen Kontinents sich als zunehmend widerstandsfähig erwies und – bis heute – keine weitere Migration auswärts mehr zuliess.

Freilich können derartige Anfangsvorgänge nicht einfach übertragen werden etwa auf die ersten Faltungsanfänge im helvetischen, ultrahelvetischen, präalpinen, penninischen oder ostalpinen Bereich. Um hier eine Klarheit wenigstens anzubahnen, versuchte Verfasser in 3 Jahrzehnten aus dem Tatsachenmaterial alpiner Sedimente, aus Fazies, Fazieswanderung, Diskordanzen und Mächtigkeiten, sowie aus den Magmatiten Schlüsse abzuleiten auf die vielfach abweichende, jugendliche Baugeschichte der anderen Gebirgszonen (vgl. E. Kraus 1936, 1951).

Dort, wo die miopliozänen Horizontalspannungen spät noch anhielten, wie im westalpinen Vorland oder am niederösterreichischen Rande, verwandelten sich natürlich die Radialstrukturen noch in alpinotype, wie wir sie etwa extrem im Val d'Illiez kennen.

So selbstverständlich es jedem Beobachter erscheinen muss, dass hierbei der Druck aus dem so sehr durchbewegten Alpenkörper oben gegen das von jungen, kaum noch bewegten Sedimenten bedeckte Vorland gewirkt habe, so entschieden spricht doch neben vielem anderen dagegen etwa folgende Beobachtung: Auf dem Ostallgäublatt Seeg 1:25000, NW Füssen, mit Molasse, Helvetiden und Flysch, sieht man, wie der Südflügel der Murnauer Mulde längs einer NE-streichenden Blattstörung um 1,2 km gegen NE versetzt wurde. In der SW-Fortsetzung dieses Blattes verringert sich dieser Betrag im Helvetikum stark und hört ganz auf. Verfasser sah dies als weiteres Argument an dafür, dass der aktive Gesteinsdruck also nicht oben im Gebirge liegen kann, dessen Horizontalstruktur ja nachweislich wesentlich älter ist, sondern im Untergrunde des Vorlandes. An ähnlichen Beispielen hat nun auch Erich Spengler nach einer Arbeit über die Rückverlegung der kalkostalpinen Decken erkannt, dass die Überschiebungen mechanisch anzusehen seien als Unterschiebungen durch das jeweilige Vorland.

Nun gibt es im Gebirgsinneren weithin keine synorogenen Sedimente, wie etwa den Flysch, zur Fazieskontrolle der Bewegungen. Hier sind die Anfangsstrukturen alpinotyp noch weiter eingeengt und umgebaut während mancherlei orogener Akte. Sie wurden metamorph bei Verfrachtung in grössere Tiefen. Doch kann dann der baugeschichtliche Vorgang, weniger gut freilich, noch abgetastet werden aus der Einregelung, aus Faziesänderungen, aus Art und Menge erscheinender Magmatite und besonders aus der Ausbildung der Diskordanzen. Letztere setzen Senkfaltung, Hebung ins Abtragungsniveau und erneute Senkung unter das Meer voraus. H. Stille kommt das Verdienst zu, die Bedeutung der Diskordanzen historisch planvoll ausgewertet zu haben.

## Die alpinen Orogene

Da man unter „Orogen" recht Verschiedenes versteht, sei betont, dass hier darunter der typische, und zwar zweiseitige Bau verstanden wird, der sich in einer wenig veränderten „Geosynklinale", also in der mobilen und vorwiegend absinkenden Mutterstätte einer Orogenese, zu entwickeln pflegt (vgl. Fig. 5). Seine mechanische Möglichkeit zeigt Fig. 6 von dem erstarrenden Konvektionsstrom eines Glasschmelzflusses.

Verlagern wir den orogenen Motor der geosynklinalen Baugeschichte in die Tiefe, von der wir recht wenig wissen, so ist doch anzustreben, dass wir über die mechanischen Vorgänge dort unten wenigstens indirekte Schlüsse gewinnen. Sie können aus den allgemein verbreiteten Folgen abgeleitet werden. Aus dem ungeheuren Schatz alpiner Erfahrungen gilt es diejenigen auszuwählen, welche alle offensichtlich ähnlichen Grosstendenzen entstammen. Bereits publizierte Karten und Alpenprofile (1936) ermöglichen die Übersicht.

Bekannt ist der Gegensatz der in der Tiefe metamorph gewordenen, zentraleren Gesteinsmassen, die, bei späterer starker Heraushebung durch Abtragung enthüllt, heute den viel weniger gehobenen und weniger abgetragenen Kalkalpen im N und S gegenüberstehen.

Von vordringlichem Interesse für unsere Gedanken erscheint neben dem Generalstreichen die „Bewegungsrichtung" oder „Vergenz" der Falten und Decken, woraus man glaubte schliessen zu können auf die Druckrichtung vom Gebirge oben hinaus gegen das Vorland.

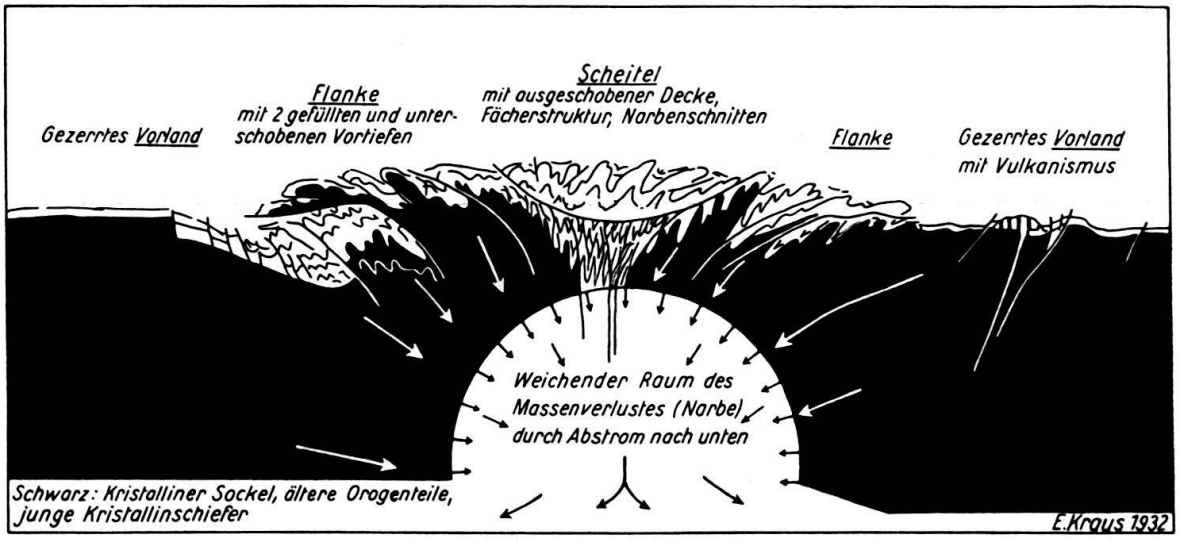


Fig. 5. *Profilschema einer normalen, zweiseitigen Orogenstruktur.* Nach einer Darstellung 1932, deren Mechanik jener des Konvektions-Unterstromes einer erkaltenden Glasschmelze (Fig. 6) entspricht.

Die vom Verfasser publizierten 8 Querprofile der Alpen zeigen im Briançonnais einen streng zweiseitigen Bau mit Vergenz oben beiderseits gegen aussen – ohne dass die zentrale Karbonachse angesehen werden könnte als hinausschiebender Motor und ohne dass im Scheitel ein Massendefekt entstanden wäre.

Im Sektor der Schweizer Alpen herrscht ein grosses Übergewicht der NW- und N-Vergenz. Es ist kein Wunder, wenn gerade in diesem klassischen Lande unserer Gebirgsbildungs-Vorstellungen schon frühzeitig die Theorie der immer einseitig gebauten, weil immer aus einer Richtung geschobenen Geosynklinalstruktur kräftig Wurzeln schlug. Doch hatte schon M. Lugeon neben der penninisch-unterostalpinen Hauptwurzel Canavese-Veltlin, der „racine interne" also, noch die „racine externe" unterschieden, aus der im S der autochthonen Massivreihe die Helvetiden ausgepresst worden seien.

Aber da man die unzweifelhafte, wenn auch viel geringere Südbewegung der Südalpen sah, hielt man schon bald eine grundsätzliche Abweichung von dieser Hypothese des einseitigen Gebirgsschubes für nötig: nämlich einen (da mechanisch sonst unverständlichen) späteren, insubrischen Unterschub unter das vorher nordwärts geschobene und gehäufte riesige Decken-Paket.

Damit war bereits das Prinzip des einseitig, und zwar oben geschobenen Gebirges (E. Suess) durchbrochen. Die Betrachtung der tatsächlich den Gebirgsbau beherrschenden Vergenzen in weiteren Querprofilen zwangen Verfasser 1931, die alpine Struktur anzusehen als zweiseitige Unterschiebungsstruktur: Die Alpen sind zweispurig gebaut, sie sind ein Doppel-Orogen.

Sieht man aber ab von lokalen Verbesserungen der Art, wie einzelne tektonische Beobachtungen dieser Synthese günstiger einzuordnen sind – es gibt zweifellos

noch sehr viel zu bessern – so kann wohl heute gesagt werden, dass der Gedanke der Unterströmung auch in den Alpen sehr an Boden gewonnen hat.

Wir wissen, dass neben der vorwiegenden Nordvergenz in den nördlichen Kalkostalpen gegen deren Südrand eine Südvergenz weithin durchläuft,

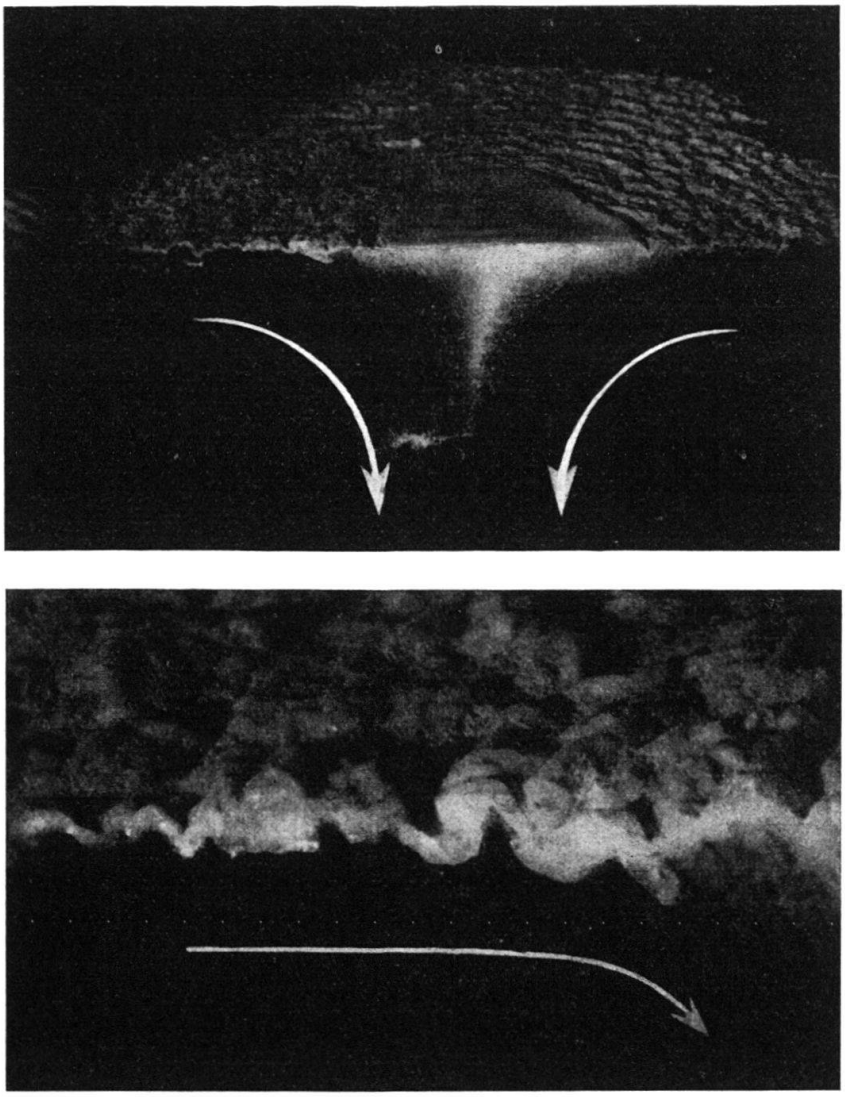

Fig. 6. *Ansichten von Oberfläche und Profilanschnitt eines erstarrten Glasschmelzflusses.* In der Glasfabrik Gelsenkirchen kühlte die Masse eines 40 m langen, 8 m breiten, 1,6 m tiefen Schmelzofeninhalts von 1000° unter Bildung von Konvektionsströmen (weisse Pfeile) ab. Über absinkenden Strömen entstanden an der Oberfläche auswärts übergelegte (vergente) Falten (im untern Bild vergrössert). Die Strömung nahm Kristallkeime und Luftblasen (weiss) mit abwärts. Sie bildete dieselbe Struktur, wie sie Verf. 1932 in vorstehender Fig. 5 zeichnete und für eine zweiseitige Orogenstruktur (mit Narbendecke) nach dem geosynklinalen Bauplan mechanisch angenommen hatte.

die mit einheitlicher Nordbewegung nicht verständlich ist. Infolge der späteren zentralalpinen Heraushebung sind bedeutende Deckenteile dieser „Südflanke" heute über den zentralen Ostalpen abgetragen.

Wir wissen schon lange, dass in tiefer abgetragenen Scheitelgebieten zwischen Gebirgszonen entgegengesetzter Aussenvergenz oder „Flanken" breite steilstehende und generalstreichende Bewegungszonen weithin durchziehen. Es

sind die in den ersten Jahren der Deckenlehre als „Wurzeln" bezeichneten Gebirgsstreifen. In diesen nach C. SCHMIDT und L. KOBER „Narben" genannten, steilen bis senkrechten Störungszonen muss nicht nach oben, wohl aber nach unten ein gewaltiger Massentransport vor sich gegangen sein. So vermissen wir z. B. längs der Unterinntalnarbe gegen W zu die breite Nordgrauwackenzone, die hier offenbar bis auf letzte Quetschlinge nach unten verschluckt wurde.

Darum beobachten wir dort, wo in der streichenden Fortsetzung der Narben die Achsenhöhe des Gebirges absinkt, im höheren Stockwerk also, zunächst einen Fächerbau (Nordpenninikum, Briançonnais) und noch höher eine Überlagerung durch flachliegende „Narbendecken" (Dolomitenplatte, Inntaldecke, Schneebergdecke, Steiner Alpen). Denn der nach abwärts wachsende Massenabstrom führte offenbar zu einem Heranrücken tiefer Nachbarmassen, die ihr Hangendes dabei narbenwärts unterschoben (Fig. 5). So entstanden diese Narbendecken, deren Wurzelheimat bekanntlich immer fraglich geblieben war.

Im Hangendstockwerk, hoch über einer Verschluckungszone, kann man folglich keine senkrechten Längsstörungen mit Massenverlusten mehr auffinden. Negative Versuche, solche zu entdecken (H. P. CORNELIUS), sprechen somit auch nicht gegen die Annahme einer recht verstandenen Unterströmung.

Die besonders von FR. HERITSCH 1923, 1927 vertretene Erfahrung, dass die Decken der nördlichen Kalkostalpen miteinander verankert sind, hat sich bewährt. Für die diesbezüglich noch fraglich gebliebene Inntaldecke konnte Verfasser 1936 und 1949 Gleiches feststellen, ebenso 1953 wieder M. RICHTER & R. SCHÖNENBERG. Sie ist auch eine vom N und vom S her unterschobene Narbendecke im Scheitelgebiet der Nordalpennarbe.

Auf dem Rücken der von beiden Seiten gegen den Tiefenraum des Massenverlustes, gegen die Narbe heranrückenden Nachbarmassen müssen sich natürlich die Hangendstockwerke stauen, verspiessen. Ihre Schubflächensohle sieht so aus, als hätten sich die Decken vom Narbengebiet nach auswärts verlagert, überfaltet, überschoben. Aber statt eines Massenverlustes median oben sehen wir doch gerade hier den Massenstau von beiden Seiten her (Fig. 5, 7).

Wegen der verständlicherweise nicht ganz gleichzeitigen und gleichstarken Flankenbewegungen nach der Tiefe zu beiderseits der Narbe lösten sich in dieser oder ihr nahe an primären, überaus tiefgreifenden Steilspalten die Flanken voneinander ab. Noch die jungen Ausräumungen längs dieser zertrümmerten „Narbenschnitte" und deren oft hohe Seismizität charakterisiert nicht selten solche Längstalfluchten (Insubrische Linie des Veltlins bis Malé, judikarisch abgesetzt zur Pustertal–Gailtal–Donatital-Linie; Brig–Oberrheintal, abgesetzt zu Klostertal–Arlberg–Unterinntal bzw. Oberennstal–Paltental–Semmering).

Längs solchen Hauptschwächelinien der Orogene arbeiten die unheilvollen Erdbeben Nordanatoliens, zieht im Himalaya der obere Indus nach W, der Sangpo nach O, folgen die Verkehrswege der Längstalflucht südlich Algier–Oran–Nordmarokko, sind mächtige, junge Magmatite aufgestiegen. Längs ihnen versanken tiefe Gräben planetaren Ausmasses (Westanden und Westkordilleren). An ihnen trennten sich im atlantischen, zirkumpazifischen und malayischen Zerrungsraum die Orogene, so dass die eine Flanke ins Meer versank und nur die andere, andersvergente Flanke (Appalachen, Japan, Kaledoniden, Namaiden) heute trocken

liegt. Damit spiegelt sie den grundsätzlich scheinbar einseitigen Gebirgsbau vor und ist doch nur eine Orogenruine.

Diese weitreichenden Folgerungen wurden 1951 gezogen und dargestellt. Jene weltweiten Strukturen sind da. Sie konnten bisher nicht verstanden werden.

Wenn die Schweizer Narbe der Helvetiden und der Préalpes (E. HAUG u. a.) im S der „autochthonen" Massivreihe und mit dieser (als Vorposten des euro-

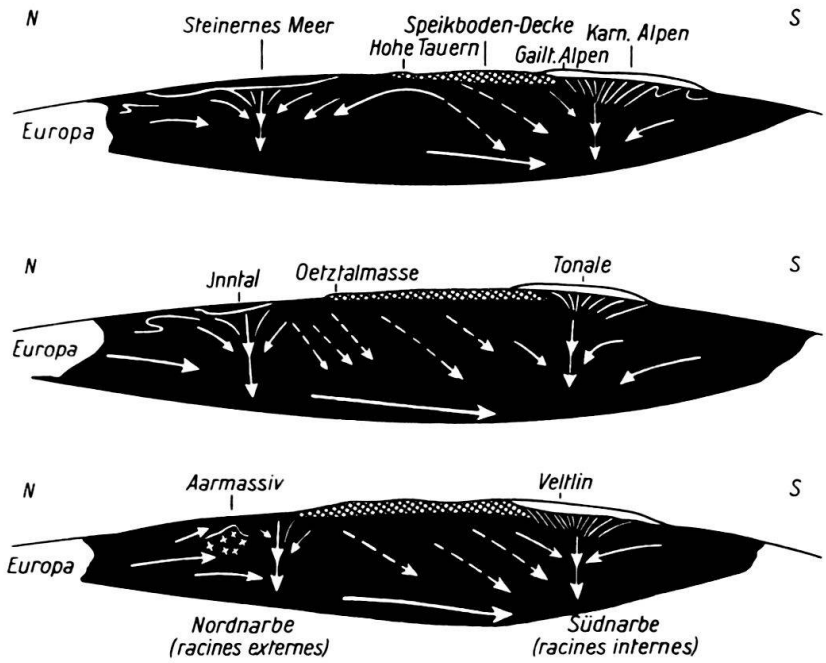


Fig. 7. *Drei schematische Profile durch die Alpen.* Darstellung des doppelorogenen Hinabbaues im Fließstockwerk des Hyporheons (einfache Pfeile und Doppelpfeil) sowie der tiefen Unterströmung, die im Bathyrheon gegen SE vorgreift (grosse Pfeile) und von unten her Teile des Hyporheons erfasst (gestrichelte Pfeile).

päischen Kontinents) südwärts hineingeglitten ist unter die Riesenmasse der penninischen Decken, so wurde darin 1936 ein Hinweis für das geosynklinale Überwiegen der ansaugenden Macht der insubrischen Südalpennarbe gesehen. Weitere Studien zeigten 1951, dass hier mit einer noch tieferen, mächtigeren Unterströmung zu rechnen ist (siehe unten).

Im Sinne der Unterströmungstheorie würde der paläozoische Geosynklinalraum der Nordgrauwackenzone Vorläufer der nordalpinen Geosynklinale im Mesozoikum sein. Die Südgrauwackenzone bereitete die mesozoische Südalpen-Geosynklinale vor.

Eine mächtige Deckenüberschreitung des zentralostalpinen Zwischenraumes zwischen beiden (Zillertaler, Tauern) wäre auch nach der neuen Auffassung anzunehmen, jedoch anders zu verstehen. War nämlich der südalpine Abfuhrstrom energischer, so musste ihm unterschiebend, unterwälzend als Nordflanke zentralalpines Geoplasma zustreben. Aktivierte sich mehr der Abstrom unter der Nordalpennarbe, so mussten zentralalpine Sockelmassen, da sie gleichzeitig ja zugleich Südflanke der Nordnarbe waren, gegen sie sich unterwälzend heranbewegen. Das ergab den Bau der Schieferhüllen.

Man versteht auch, dass dem vereinigten Tiefensog beider Nachbarnarben besonders tiefe Versenkung und Verwalzung gelingen musste. Verständlich, dass danach besonders starker isostatischer Auftrieb auch jungintrudierender und umgeschmolzener Massen zu dem heutigen Rückgrat der Ostalpen mit seiner „penninischen" Gesteinsfazies (aber nicht Decke) führen musste. Ein Teil des in den 2 Nachbarnarben verschluckten Geoplasmas dürfte diese langdauernde Zentralhebung ermöglicht haben.

Die Unterströmungstheorie scheint auch den bezeichnenden Beobachtungen im „Tauernfenster" gerecht zu werden, das im übrigen als „Kleinfenster" der Schieferhüllen unter dem Tarntal-Radstätter Mesozoikum der Zentralalpen bis zu einem gewissen Grad bezeichnet werden könnte.

Die penninische Fazies der Penniden in den Westalpen unterwälzte sich offenbar in ähnlichen Tiefen wie jene der Tauern den Nachbarnarben, bis die noch zu besprechende Grossunterströmung aus NW einsetzte. Kuppeln „penninischer Fazies" sind im übrigen bekanntlich auch im Paringfenster am Eisernen Tor, im Attikafenster, im Kern der Betischen Kordillere bekannt. Auch hier wäre es verfehlt, von derselben penninischen Decke sprechen zu wollen.

Wegen der sehr umfangreichen Massenverschluckung in beiden ostalpinen Narben müssten beide ursprünglich sehr weit voneinander gelegen haben. Daher war es Verfasser schwer, schon ein anfängliches Zusammenfliessen beider Narben in einem noch tieferen Stockwerk anzunehmen. Wohl aber könnte man für eine spätere Zeit vermehrter Narben-Annäherung mit E. Clar an eine solche gemeinsame „Basalnarbe" denken. Eine solche nimmt Verfasser seit 1951 für das ursprüngliche Doppelorogen von Nevadiden-Rockyiden an. Es wäre das für die Alpen dadurch motiviert, dass ja der gesamte Alpenkörper auch erst durch die mitteltertiäre Herausbildung einer nördlichen und südlichen Molassevortiefe den Hauptteil seiner Zweispurigkeit eingebüsst hat. Als letzte Reste erscheinen nur noch die Molassesenken im Unterinntal und jene an der Drau.

## Andere zweiseitige Orogene

Bei der oben gegebenen Definition für „Orogen" sind wir abgewichen von der wertvollen Erstfassung des zweiseitigen Orogen-Begriffes durch L. Kober. Dieser hatte ja zunächst aus der übersichtsmässigen Tatsache des nordvergenten Alpiden-Karpatiden-Stammes und des südvergenten Dinariden-Stammes in Europa die Einheitlichkeit seines Gross-Orogens definiert.

Die fortschreitende Einzelkenntnis der Vergenzverteilung zwingt zur Fortbildung dieses Gedankens im unterströmungstheoretischen Sinn.

Demzufolge sehen wir unsere zweiseitigen Orogene, die aber in der so mannigfach gestalteten Erdrinde natürlich nie genau symmetrisch und auch nicht immer mit senkrechter Narbenzone ausgestattet sind, auch ausserhalb der Alpen.

So finden wir die Fortsetzung des zweiseitigen nordalpinen Briançonnais-Narbenbaues mit seiner westvergenten Westflanke im NW von Genua, mit seiner aus dem piemontesischen Loch wieder auftauchenden Ostflanke östlich davon im ostvergenten Apennin. Schon im Paläozoikum Mitteleuropas konnten zahlreiche zweiseitige Orogene 1951 ausgeschieden werden. Schön zweiseitig gebaut sind die

Pyrenäen, welche gegen W mit ihrer Narbendecke auslaufen in FR. LOTZE's „autochthone Klippe". Zu zweiseitigem Bau ergänzt sich die nordvergente Betische Kordillere durch den südvergenten Tellatlas („Tellobetisches Orogen"). Die Westflanke des nordalpin-genuesischen Orogens liegt noch westvergent auf Korsika. Der Kaukasus, das Schneegebirge von Neuguinea, der südvergente Himalaya neben seiner nordvergenten tibetanischen Nordflanke, beide getrennt durch die Indus-Sangpo-Narbe – das sind weitere Beispiele.

### Die Störung der zweiseitigen Orogengebäude.

Nun lassen sich freilich mancherlei Störungen an diesen zweiseitigen Orogengebäuden feststellen. So gibt es scharf ausgeprägte Bogenformen, deren Geschichte zeigt, dass sie meist nicht anerkannt werden können als primär mit gleichem Radius angelegt. So den Westalpen- und Karpatenbogen, den Bogen am Eisernen Tor, die überkreuzende Insertionszone (FR. KOSSMAT, A. VON WINKLER-HERMADEN) der balkanischen Dinariden an den Südalpen, den Gibraltar-Bogen – um nur bei Europa zu bleiben.

Ganze Orogene wurden allmählich verbogen. Grosse Teile sind niedergebrochen: die ostalpinen Fortsetzungen gegen Ungarn, die alpine Südzone in der Lombardei, die Südfortsetzung der nordalpinen Westflanke im N und S von Korsika, der Innenteil des Tellobetischen Orogens. Dank der geosynklinalen Senkung der spez. leichten, zusammengeschobenen Gesteine hat ein Orogen zwar normal ein Schwereminus. Aber durch seine Auseinanderzerrung konnte, z. B. weithin im westlichen Mediterranraum, basaltisches Magma emporsteigen und Schwereüberschuss verursachen (E. KRAUS, 1953).

Von dem Niederbrechen ganzer Orogenflanken unter das Meer längs den Narbenschnitt-Schwächen wurde oben gesprochen.

Sehr zu beachten ist, dass alle diese Störungen der Orogenbauten sich in ihrer typischen Tendenz oft bereits während der Wachstumszeit der Orogene zeigen, so in den Schweizer Alpen oder im Karpaten–Balkan-Bogen. In anderen Gebirgen können wir heute nur eine spätere Zerstörung erkennen. Das sind jedenfalls Vorgänge, die sowohl nach Dauer ihrer Leistung wie nach regionalem Umfang und nach ihrer Energie gewaltiger und ausgreifender wirken als die geosynklinale Orogenentwicklung.

Wir haben darum Anlass, die aufbauende, geosynklinale Orogenbau-Geschichte anzusehen als Folge langdauernder, sehr langsamer Absenkungen, welche zu Massenkreisläufen vielleicht bis 80 km unter der Erde gehören. Dieses Strömungsstockwerk wurde „Hyporheon" genannt.

Wenn aber teils gleichzeitig – begünstigend oder schon zerstörend –, teils erst erweisbar als spätere Zerstörung, horizontale Grossverbiegungen, Zerrungen, Driften, Niederbrüche in diesem Stockwerk mitregieren, ja wenn sie dessen Leistungen beherrschen, übermächtig in Zeit und Raum, so scheint der Schluss auf ein noch tieferes, nach seismischen Tiefbebenbeobachtungen bis etwa 800 km Tiefe reichendes Unterströmungsstockwerk, auf ein „Bathyrheon" berechtigt. Es trägt die geosynklinal-orogen tätige Erdschale des strömenden Hyporheons. Die Vormacht der NW-Vergenz in den Schweizer Alpen dürfte auf bathyrheale Unterströmung zurückgehen.

H. STILLE hat in einer seiner wertvollen Arbeiten eine Zusammenstellung der beobachteten und in Frage kommenden geoplasmatischen „Geschwindigkeiten" gegeben. Danach dürfte die Geschwindigkeit – sagen wir besser Langsamkeit – von Unterströmungen im Hyporheon für längere Dauer unter 10 cm im Jahrhundert liegen, das Bathyrheon dürfte noch langsamer strömen.

Es ist klar, dass seismische Kurz-Impulse von solchem Fortschleichen meist bruchlos-geoplastischer Art direkt nichts berichten. —

Die Frage nach den annehmbaren Ursachen unserer Strömungen wurde vielfach bewegt. Antworten können nur Arbeitshypothesen sein. Immerhin können sie zeigen, dass bei Annahme thermisch bedingter Massenkreisläufe im Hyporheon sowie von einer noch langsameren, bathyrhealen Horizontalverdriftung infolge Gezeitenhemmung der Erdrotation in der hangendsten Erdrinde ein Gesamtbild von harmonischer Geschlossenheit entstehen kann. Es dürfte den modernen Erfahrungen ungleich besser entsprechen als etwa der Vergleich des Erdballes mit einem schrumpfenden Apfel.

Solche Fernziele der Forschung können aber erst in langen Jahrzehnten erarbeitet werden.

Einstweilen wird es darauf ankommen, dass, insbesondere auch in den schon so gut untersuchten Alpen, recht viele Tektoniker versuchen, mit historisch eindringenden Methoden ihre Beobachtungen im kleinen und grossen zu ordnen, auch nach dem Gesichtspunkt der hier vorgetragenen Unterströmungstheorie. Das wird zur Prüfung und Verbesserung dieser neuen Gedanken führen. Doch darf schon heute gesagt werden, dass die meisten Alpengeologen die Unterströmung im Grunde als die mechanisch naheliegendste Deutung ansehen.

## Literaturverzeichnis

AMPFERER, O. (1906): *Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen.* Jb. Geol. Reichsanst. Wien *56*, 539–622.

– (1939): *Grundlagen und Aussagen der geologischen Unterströmungslehre.* Natur und Volk *69*, 337–349 (Frankfurt a. M.).

– (1944): *Vergleich der tektonischen Wirksamkeit von Kontraktion und Unterströmung.* Mitt. Geol. Ges. Wien *35*, 107–123 (Wien).

ARBENZ, P. (1919): *Probleme der Sedimentation und ihre Beziehungen zur Gebirgsbildung in den Alpen.* Vjschr. Naturf. Ges. Zürich *64*.

ARGAND, E. (1916): *Sur l'arc des Alpes occidentales.* Eclogae Geol. Helv. *14*.

CADISCH, J. (1942): *Die Entstehung der Alpen im Lichte der neuen Forschung.* Verh. Naturf. Ges. Basel *54*, 32–58.

– (1953): *Geologie der Schweizer Alpen.* II. Aufl. (Wepf & Co. Basel).

CORNELIUS, H. P. (1939): *Zur Schichtfolge und Tektonik der Mürztaler Kalkalpen.* Jb. Geol. Bundesanst. *89* (Wien).

DAL PIAZ, GIAMB. (1945): *La Genesi delle Alpi.* R. Istit. Veneto sc., t. *104*, 467–498 (Venezia).

GIGNOUX, M. (1950): *Comment les géologues des Alpes françaises conçoivent la Tectonique d'écoulement.* Geol. en Mijnbouw *12*.

HEIM, ARN. (1933): *Energy sources of the earth's crustal movements.* Report Intern. Geol. Congr. Washington *1933*, 1–13.

HOFMAN, B. J. (1953): *The gravity field of the West-Mediterranean Area.* Geol. en Mijnbouw *14*, 297–306. Hiezu: VAN BEMMELEN, R. W., Geol. en Mijnbouw *14*, 306–315 und KRAUS, E. *Zur Erklärung der westmediterranen Überschwere-Anomalie durch die Unterströmungstheorie.* Z. Deutsch. Geol. Ges. *104* (1953), 316–320.

KOBER, L. (1923): *Der Bau der Alpen* (Gebr. Bornträger Berlin).
– (1942): *Tektonische Geologie.*
KRAUS, E. (1931): *Die Alpen als Doppelorogen.* Geol. Rdsch. *22*, 65–73.
– (1936): *Der alpine Bauplan.* 352 S. (Gebrüder Bornträger Berlin).
– (1950): *Zur Baugeschichte des Alpenvorlandes.* Z. Deutsch. Geol. Ges. *102*, 216–226.
– (1950): *Über Hyporheon und Bathyrheon.* Z. Deutsch. Geol. Ges. *102*, S. 169–173.
– (1951): *Die Baugeschichte der Alpen.* 2 Bände (Akademieverlag Berlin).
– (1951): *Vergleichende Baugeschichte der Gebirge.* (Akademieverlag Berlin.)
– (1952): *Une Synthèse de Structure des Alpes.* Sc., Rev. int. Synthèse sc. *46*, (Asso, Como).
– (1953): siehe oben unter HOFMAN, B. J. (1953).
LOTZE, FR. (1934): *Über „autochthone Klippen", mit Beispielen aus den westlichen Pyrenäen.* Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. IV [N.F.], I, 1, 10 S.
METZ, K. (1952): *Zur Frage voralpidischer Bauelemente in den Alpen.* Geol. Rdsch. *40.*
RICHTER, M., & SCHÖNENBERG, R. (1953): *Über den Bau der Lechtaler Alpen.* Z. Deutsch. Geol. Ges. *105*, 57ff.
SPENGLER, E. (1952): *Rekonstruktion des kalkalpinen Sedimentationsbereiches durch Abrollung der tektonischen Einheiten.* Verh. Geol. Bundesanst. Wien.
SPENGLER, E. (1953): *Versuch einer Rekonstruktion des Ablagerungsraumes der Decken der nördlichen Kalkalpen.* I. Teil: *Der Westabschnitt der Kalkalpen.* Mit paläogeogr. Karte. Jb. Geol. Bundesanst. *96* (Wien), 1–64.
STAUB, R. (1928): *Der Bewegungsmechanismus der Erde.* (Gebr. Bornträger Berlin.)
– (1937/1942): *Gedanken zum Bau der Westalpen zwischen Bernina und Mittelmeer.* Vjschr. Naturf. Ges. Zürich *82*, 1937 und *87*, 1942.
– (1944): *Die Gebirgsbildung im Rahmen der Erdgeschichte.* Verh. Schweiz. Naturf. Ges., 25–48.
STILLE, H. (1924): *Grundfragen der vergleichenden Tektonik.* (Gebr. Bornträger Berlin.)
TERCIER, J. (1950): *La tectonique d'écoulement dans les Alpes Suisses.* Geol. en Mijnbouw *12*, 330–342.
VAN BEMMELEN, R. W. (1933): *Die Anwendung der Undationstheorie auf das alpine System in Europa.* Kon. Akad. Wet. Amsterdam Proc. *36.*
WINKLER-HERMADEN, A. (1923): *Über den Bau der östlichen Südalpen.* Mitt. Geol. Ges. Wien *16.*