© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Mitt. Österr. Geol. Ges. | ISSN 0251-7493 | **89** (1996) | 5-177 | Wien, Dezember 1998

Die Tethys: vor hundert Jahren und heute

Ein Festvortrag

gehalten am 18. November 1993 im Kleinen Festsaal
des Hauptgebäudes der Universität Wien

von

A. M. C. ŞENGÖR*)

100 Abbildungen und 5 Tabellen

Gewidmet
dem Andenken der
Wiener Giganten,
den Begründern der modernen Denkweise in der Geologie

*) Anschrift des Verfassers: A. M. C. ŞENGÖR, ITÜ Maden Fakültesi, Jeoloji Bölümü ve Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Ayazaga, 80626 Istanbul, Türkei.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Inhalt

Zusammenfassung 6
Abstract 7
Vorwort 8
Erster Teil: Geschichte der Entwicklung des Tethys-Begriffes 10
Zweiter Teil: Heutiger Stand der Tethys Forschung: Bestandsaufnahme, Probleme und Ausblick 124
Einige neuere allgemeine Regionalbeschreibungen 161
Zitierte Literatur 161

Zusammenfassung

Im Namen Tethys, geprägt von Eduard SUESS vor hundert Jahren, steckt eine ganze Vorstellungsweise der Vergangenheit und des Verhaltens unseres Planeten.

Es ist eine uralte Idee, beheimatet im Mittelmeerraum, Gebirge als Deszendenten der Meere zu deuten. Am Beispiel des Alpen-Himalaya-Systems hat ERATOSTHENES erstmals angenommen, daß langgestreckte Gebirgsgürtel geradlinig seien und durch plutonische Aktivität aus dem Meer emporsteigen. Bis ins 19. Jahrhundert blieb dies die führende Hypothese. Erst gegen Ende der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde wiederum am Beispiel der tethysischen Gebirgswelt klar, daß die Meere, aus welchen die Gebirge entstehen, nicht die selben Eigenschaften hatten wie die Meere auf den die Gebirge umrahmenden Krustenteilen. Diese Ideen führten in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zur Hypothese der Geosynklinale. Die Bekämpfung der Geosynklinalhypothese und der allgemeinen positivistischen tektonischen Weltanschauung an vorwiegend tethysischen Beispielen leiteten SUESS zu Forschungen mit bahnbrechenden Ergebnissen, die den Grundstein unserer modernen Vorstellungen über das tektonische Verhalten unseres Planeten legten.

Für SUESS war die Tethys ein hauptsächlich während des Mesozoikums bestehender Ozean, der zwischen dem Gondwana-Land im Süden und dem Angara-Land im Norden lag. Die Tethys erstreckte sich in W-O-Richtung von Mittelamerika bis zum Pazifik. Teile der Gebiete, die später der Tethys eingegliedert wurden, bestanden früher als z. T. tiefe Meeresgebiete. Als vom Westen nach Osten verlaufender Zwischenozean hat die Tethys bereits im Eozän durch den Verlust des zwischen Iran und Indien gelegenen Teils nicht mehr bestanden. Teile seiner Reste wurden durch spätere Einbrüche erweitert, wie im Falle des westlichen Mittelmeeres oder der Ägäis. Die Tethys wurde durch die Verschweißung Eurasiens mit Bruchstücken des Gondwana-Landes und die daraus resultierende enorme Einengung vernichtet. Aus dieser Einengung gingen die nach Süden gefalteten Kettengebirge des Alpen-Himalaya-Systems hervor, die den äußersten Bogen des asiatischen Baues bilden.

Eduard SUESS starb am 26. April 1914. Sein kolossales Werk dominierte das letzte Viertel des vorigen Jahrhunderts und das erste Dezennium des gegenwärtigen in dem Maße, daß die seit den alten Griechen bestehende Dichotomie der Leitbilder der tektonischen Forschung zugunsten einer kritisch-rationalistischen Schule verschwunden zu sein schien. Dies schien aber nur so. Eine Reaktion gegen die von SUESS eingeleitete kritisch-rationalistische Denkungsweise in der Tektonik stellte die Rückkehr zu den von den Arbeiten STENOS herkommenden und von solchen großen Lehrern der Geologie wie WERNER, CUVIER, VON BUCH, ÉLIE DE BEAUMONT und DANA im 19. Jahrhundert weitergebauten Geleisen der positivistischen Anschauungen dar. Nach den einflußreichsten Vertretern dieser reaktionären, positivistischen Denkweise in der Tektonik des 20. Jahrhunderts, habe ich ihre Vertreter unter dem Namen *Kober-Stille Schule* zusammengefaßt. Die Reaktion ist aber nicht ohne Widerspruch geblieben. Das SUESS'SCHE Leitbild bewährte sich besonders im alpinen Europa und wurde von einigen der bedeutendsten Genies in der Geschichte unserer Wissenschaft vertreten. Die Denkschule, die unter diesen Männern entstand, habe ich nach ihren bedeutendsten Führern die *Wegener-Argand Schule* genannt.

Nach den Vorstellungen der Kober-Stilleaner war die Tethys eine mindestens seit dem späten Präkambrium bestehende Schwächezone, die sich in Form einer enormen Geosynklinale geäußert hat. Diese Geosynklinalzone wurde in der nachfolgenden Zeit in weltweite und kurzfristige Orogenesen verwickelt und von außen nach innen durch Faltungen versteift und an Geosynklinalgebieten immer ärmer. Die letzten, alpidischen Faltungsakte betrafen den Restkanal der einst großen Urgeosynklinale. Durch ihre Konsolidierung wurden die Bruchstücke der vorweltlichen Superkontinente Eurasien und Gondwana-Land zur heutigen Alten Welt und Nord- und Südamerika zum heutigen Amerika verschweißt. Die Einengung der Geosynklinalen wurden immer im Rahmen der ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN Schraubstocktheorie veranschaulicht. Diese Vorstellungen und die damit verknüpften Vorurteile führten die Tethysforschung nach der Geburt der Theorie der Plattentektonik in die Sackgasse.

Betrachtet man die Beiträge der Wegener-Argandianer, so läßt sich ein Bild der Tethys ableiten, das aus einem sich nach Osten vergrößernden Ozean besteht. Die Schließung der Tethys wurde seit dem Paläozoikum durch die Eklogitisierung unterströmender Teile des Ozeanbodens weitergeführt. Dadurch wurden einseitige Orogene erzeugt, die sich heute in Europa hauptsächlich längs des ehemaligen Nordrandes des Gondwana-Landes und in Asien längs des ehemaligen Südrandes Laurasiens befinden. Wo der Ozean groß war, sind im heutigen Bau der Gebirge große Akkretionskeile zu sehen, wie im Kuen-Lun. Nach der Kollision kamen die Driftbewegungen nicht zur Ruhe. Sie deformierten zum Teil weite Areale der Vor- und Rückländer, wie sie z. B. in Asien von ARGAND beschrieben worden sind. Zum Teil wechselten die Driftbewegungen ihre Richtungen nach der Kollision und deformierten die entstandenen Orogene weiter. So erzeugten sie Faltenschlingen und davon umgebene Tiefbecken, wie sie uns im Mittelmeergebiet oder in der Insulinde entgegentreten. Der pazifische Magmatismus ist mit Verschluckungszonen gekoppelt und tritt auf der überfahrenden („erzeugenden") Scholle auf. Der atlantische Magmatismus ist meist postkollisional, kennzeichnet die postkollisionale Weiterverformung der Orogene und ist mit Zerrungserscheinungen verknüpft. Zu diesem erstaunlich modernem Bild braucht man nur noch den Begriff *Synaphie* hinzufügen, den eingehend durchdachten Vorläufer des heutigen Sutur-Begriffes.

Sind unsere heutigen Vorstellungen eine direkte Folge der Einblicke der Wegener-Argandianer? Die Antwort darauf lautet zu einem großen Teil: nein. Die Vorstellungen, mit welchen sich die geologische Fachwelt zwischen dem ersten Weltkrieg und der Einführung der Plattentektonik begnügte, um die terrestrische Tektonik zu erklären, beruhten auf den zweidimensionalen Einfachheiten des Schraubstockmodells der Orogenese, den fieberkurvenartigen Phasen der Schrumpfung und auf den streng an Phasen des tektonischen „Schluckaufs" gebunden gedachten magmatischen Ausbrüchen. Wir haben hier zwei unvereinbare Leitbilder vor uns: Das eine, das sich angeblich streng an die vorliegenden Daten hielt. Es wollte die unvollständige Dokumentation der Vorzeit mit möglichst wenig geistiger Anteilnahme überbrücken, auch wenn das daraus resultierende Bild unseren Erfahrungen in der aktuellen Welt nicht entspräche. Dieses Leitbild war dasjenige der Positivisten, die mit Leib und Seele an die Möglichkeit einer gesicherten Kenntnis glaubten. Es war dagegen die kritisch-rationale Einstellung der Wegener-Argandianer (und SUESS selbst), die es ermöglichte, mit weniger Erfahrungen, viele unsere heutige „Entdeckungen" vorwegzunehmen. Die bescheidene Einstellung, die dem Forscher von vornherein klar macht, daß seine aufgestellten Theorien höchst wahrscheinlich falsch sein werden und erst durch Kritik verbessert (oder mit einer noch besseren ersetzt) werden können, bereitet den Forscher darauf vor, seine geringe Kapazität mit Hilfe von Ableitungen aus zunächst schlecht fundierten Arbeitshypothesen zu untermauern. Es scheint, als ob dadurch die Wegener-Argandianer eine bessere Methode gehabt hätten, die Schranken der von Psychologen als dürftig angesehenen menschlichen

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

intellektuellen Kapazität zu überschreiten. Die positivistische Einstellung läßt keinen Raum für solch intellektuelle Bescheidenheit. Ich glaube, die Modelle der Kober-Stilleaner widerspiegeln ein Niveau der Naivität, die wir bei den Wegener-Argandianer (und unter den Wiener Giganten) nicht finden.

Der Hauptfortschritt in den Tethysvorstellungen nach der Einführung der Plattentektonik besteht in der Erkenntnis, daß der Tethys-Raum, der als eine notwendige Folgeerscheinung der gedanklichen Schließung des atlantischen und indischen Ozeans in Erscheinung treten sollte, nicht mit den Felddaten aus den „klassischen" Tethys-Bergen zu begründen ist. Diese letzteren enthalten lediglich die Reste eines Ozeankomplexes, der mit dem atlantischen und indischen Ozean gleichaltrig ist. Ein verhältnismäßig schmaler Streifen, gekennzeichnet durch sehr starke, weitgehend von Subduktions- und Kollisionsmagmatismus und streckenweise von Ophiolithen begleitete Orogenese triadisch-jurassischen Alters, befindet sich jedoch entlang des nördlichen Saumes der „klassischen" Tethys-Berge. Es ist diese ältere orogene Zone, entlang welcher die große Lücke im Körper der permotriadischen Pangäa im Laufe des früheren Mesozoikums verschwand. Weil die Kober-Stilleanische Phasenschemata die Existenz ständiger und bedeutender frühmesozoischer Orogenesen ablehnte, war es für lange Zeit nicht möglich die scheinbare Diskrepanz zwischen den kontinentalen Rekonstruktionen und den Felddaten (=„Paradoxon der Tethys") aufzuheben. Die Forschungen der letzten Jahre haben ergeben, daß die eigentliche interne Geometrie des Tethys-Raumes viel komplizerter war, als die einfache, zweisuturige Vorstellung uns vermuten läßt. Die Hauptaufgabe der heutigen Tethysforschung besteht darin, diejenigen Stellen zu finden, entlang welcher verschiedene Ozeane des Tethysraumes verschwanden und die von ihnen umgebenen Blöcke bis zu ihrem Entstehungsort zurückzuverfolgen.

The Tethys: one hundred years ago and today

Abstract

In the name Tethys, coined a century ago by Eduard SUESS, an entire way of thinking about the past and about the behaviour of our planet is hidden.

To consider mountains as descendents of seas is an ancient idea that originated in the Mediterranean realm. ERATOSTHENES was the first to consider long mountain ranges to follow straight lines and to rise from the sea through plutonic activity. This remained the leading hypothesis of mountain-building until the 19th century. Only towards the end of the first half of the 19th century it became clear that the seas, from which mountains originate, do not have the same characters as the seas covering the crustal parts neighbouring the mountains.These ideas led, in the second half of the 19th century, to the hypothesis of geosynclines. Combatting the geosyncline idea and with it the positivistic attitude in tectonics led SUESS to epoch-making research results that established the basis for our modern concepts of earth behaviour.

To SUESS, the Tethys was a mainly Mesozoic ocean which lay between Gondwana-Land in the south and Angara-Land in the north. It stretched in an E-W orientation from Middle America to the Pacific. Parts of regions later incorporated into the Tethys had existed earlier as partly deep marine areas. As a betwixt ocean extending from west to east already in the Eocene, the Tethys no longer existed as a consequence of the loss of her segment between Iran and India. Parts of its remnants were later enlarged by subsidence such as the western Mediterranean and the Aegean. The Tethys was destroyed by the enormous shortening resulting from the welding to Eurasia of the fragments of Gondwana-Land. Through this shortening the south-vergent ranges of he Alpine-Himalayan System originated, which formed the outermost arc of the Asiatic structure.

Eduard SUESS died on 26th April, 1914. His collosal work dominated the last quarter of the 19th and the first decade of the 20th century to such an extent that the dichotomy of *Leitbilder* that characterised tectonic research since the old Greeks appeared to have vanished in favour of the critical rationalist school. But this was only apparent. A reaction, against the critical rationalist way of thinking in tectonics introduced by SUESS, represented a return to the positivistic direction that rooted into the work of STENO and that was further established by such great teachers of geology as WERNER, CUVIER, VON BUCH, ÉLIE DE BEAUMONT, and DANA in the 19th century. I grouped the representatives of this reactionary positivistic way of thinking in tectonics in the 20th century under the name of the *Kober-Stille School* after its most influential leaders. The reaction did not remain without opposition, however. SUESS' *Leitbild* survived especially in Alpine Europe and was defended by some of the greatest geniuses in the history of our science. The school of thought, which originated among these people, I have named the *Wegener-Argand-School* after its most important leaders.

After the conception of the Kober-Stille School the Tethys was a zone of weakness that existed since at least the later Precambrian and that expressed itself in the form of an enormous geosyncline. This geosyncline was later involved in world-wide orogenies of short duration and was consolidated by folding from the outside towards the inside and thus became ever poorer in geosynclinal area. Through its consolidation the fragments of the former supercontinents Gondwana-Land and Eurasia were combined into the present-day Old World, and North and South America were united into the Americas. The shortening of the geosynclines was always considered in the framework of the jaws-of-the-vise analogy of ÉLIE DE BEAUMONT. These considerations and the prejudices associated with them eventually led the Tethyan research into a dead alley.

When one views the contributions of the Wegener-Argandians, it is seen that in their view the Tethys consisted of an oceanic area that became wider eastward. The closing of the Tethys continued since the Palaeozoic through eclogitisation of parts of underthrusting ocean floors. Through this, one-sided orogens were generated, which are now found in Europe mainly along the former northern margin of Gondwana Land and in Asia along the former south margin of Laurasia. Where the ocean was wide, large accretionary complexes are seen in the structure of the mountains, as in the Kuen-Lun. After the collision, drift movements did not cease. In part, they deformed large areas in the fore- and hinterlands of the orogen, as for example described by ARGAND in Asia. In part, the drift movements changed their direction following the collision and continued to deform the already formed orogen. Thus they produced the sharply curved fold strands and the deep basins enclosed by them, as we see in the Mediterranean or in the Indonesian island arcs and basins. The Pacific-type magmatism is related to zones of underthrusting and suction *(=Verschluckungszone)* and occurs on the overthrusting slab ("producing slab"). Atlantic type magmatism is mostly post-collisional, characterises the post-collisional deformation of the orogens, and associated with extensional structures. To this amazingly modern picture all one needs to add is the concept of synaphia, the better thought-out and more sophisticated harbinger of the present-day suture concept.

Are our present-day concepts direct descendents of the insights of the Wegener-Argandians? The answer to this question is mostly: no. The concepts, which the geological community found satisfactory to account for the terrestrial tectonics, between the end of the First World War and the advent of plate tectonics, consisted of the childish two-dimensional simplicities of the jaws-of-the-vise analogy, the feverish phases of contraction, and the magmatic eruptions thought to be associated with the tectonic hick-ups of the planet. Here we have before us two incompatible *Leitbilder.* One allegedly kept close to the observations. It wished to close the gaps of the incomplete documentation with as little intellectual contribution as possible, even if the resulting picture did not correspond with our experience in the present-day world. This *Leitbild*

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

was that of the positivists, who body and soul believed in the possibility of secure knowledge. By contrast, it was the critical rational attitude of the Wegener-Argandians (and also SUESS himself) that enabled them to anticipate our present "discoveries" with fewer observations. The modest attitude, which tells the researcher that her or his theories are most likely going to be wrong and that they can be improved (or replaced by still betters) only through criticism, prepares the researcher to underpin her or his limited capacity through help from originally poorly-justified working hypotheses. It seems as if through such an attitude, the Wegener-Argandias had a better method to overcome the bounds of our intellectual capacity, which the psychologists tell us, is not very great. The positivistic attitude leaves no room for such an intellectual modesty. *I believe that the models of the Kober-Stilleans reflect a level of naivety, which we never see among the Wegener-Argandians.*

The main progress in the Tethys concept after the advent of plate tectonics consists in the recognition that the Tethyan realm, which appears as a necessary byproduct of the reconstruction of the Atlantic and the Indian Oceans, cannot be supported by field data from the classical Tethyan ranges. The latter contain only the remnants of an ocean complex that is of the same age as the Atlantic and the Indian oceans. A narrow strip of mainly Triassic-Jurassic orogeny, accompanied by strong subduction and collision magmatism and local ophiolites, is found along the northern margin of the classical Tethyan ranges. It is this older orogenic zone, along which the large gap in the body of the Permo-Triassic Pangaea vanished in the course of the early Mesozoic. Because the Kober-Stille School long denied the existence of independent early Mesozoic orogenies of importance, it had not been possible to resolve the discrepancy between the continental reconstructions and the field evidence (=the Tethyan paradox). The researches of the last years have shown that the internal geometry of the Tethyan realm was much more complicated than the simple two-suture model would lead one to suspect. The main duty of the present-day Tethyan research consists in finding those places along which the various oceans of the Tethyan realm had vanished and the provenance and trajectory of the blocks which they surround.

Vorwort

Die vorliegende Schrift enthält die erweiterte Wiedergabe eines am 18. November 1993 im Kleinen Festsaal des Hauptgebäudes der Universität Wien gehaltenen Festvortrags. Die Erweiterung erfolgte größtenteils durch hinzufügen zahlreicher Zitate aus Originalquellen. Einige Kapitel, wie z. B. dasjenige über die Arbeiten der holländischen Geologen in der Insulinde, welche ich beim Festvortrag aus Zeitgründen nicht besprechen konnte, wurden eingefügt.

Die Darstellung legt Gewicht auf die historische Entwicklung der Begriffe. Viele Einzelheiten wurden dabei gar nicht berührt, weil sie, meiner Meinung nach, zur gesamten begrifflichen Entwicklung der Tethysvorstellung nicht wesentlich beigetragen haben. Andere Details wurden ausführlicher als bisher üblich behandelt. Ihr Einfluß auf die Evolution der Vorstellungen ist entscheidend gewesen.

Hervorgehoben sind auch entwicklungshemmende Vorurteile. Ich betone, daß es nicht möglich ist, die Sache ohne Vorurteile anzugehen. Sehr wohl ist es aber möglich, sich der eigenen Vorurteile bewußt zu werden und sie unter Kritik zu ändern. Die wichtige Rolle dieser rational-kritischen Einstellung in der Entwicklung des Tethys-Begriffes wird im Text wiederholt hervorgehoben.

Es wird versucht das heutige Bild der Tethys mit seiner geschichtlichen Entwicklung so gut wie möglich zu verknüpfen. Der heutige Stand der Forschung kann natürlich nur kurz zusammengefaßt werden, wobei ich stets bestrebt bin, bestehende Probleme und künftige Forschungsrichtungen zu unterstreichen.

Die Vortragsform habe ich, trotz der erheblich zugenommenen Länge des Textes nicht geändert. Dadurch konnte ich die persönliche Färbung des Vortrages bewahren. Das Thema ist ja eine persönliche Auseinandersetzung mit den mir wichtig scheinenden Problemen der Tethys und der Geschichte ihrer begrifflichen Entwicklung.

Bei den wörtlichen Zitaten habe ich die ursprüngliche Schreibweise stets beibehalten. Meine Kommentare innerhalb eines Zitats werden in *kursiv* geschriebenen Wörtern bzw. Sätzen angegeben. Diese Kommentare habe ich in gerade Klammern [...] gesetzt. Obwohl dieses Verfahren die Lektüre zuweilen erschweren kann, wird den Lesern ein Geschmack der älteren Literatur gegeben.

Ich möchte auch die Gelegenheit nützen, meinen Wiener Freunden die wärmsten Dankgefühle auszudrücken. Der Festvortag wurde von der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, der Österreichischen Paläontologischen Gesellschaft und dem Kulturamt der Stadt Wien gefördert und wurde unter der Patronanz Seiner Magnifizenz Prof. Dr. Alfred Ebenbauer, Rektor der Universität Wien, vorgetragen. Bei dem Festvortrag waren nicht nur die Magnifizenz selbst und die Spektabilität, der Dekan der Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien, Herr Prof. Dr. Wilhelm Fleischhacker, anwesend, sondern auch alle geologischen Lehr- und Forschungsanstalten der Stadt Wien waren auf höchster Ebene vertreten. Ich will den Personen sowie den Vorsitzenden aller österreichischen erdwissenschaftlichen Gesellschaften, seiner Magnifizenz dem Rektor der Universität Wien, seiner Spektabilität dem Dekan der Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät und ganz besonders meinem lieben und verehrten Freund und Kollegen Herrn o. Prof. Dr. Fritz STEININGER, dem Vorstand des Paläontologigschen Instituts der Universität Wien, für diese Ehre von ganzem Herzen danken.

A. M. C. Şengör
Istanbul, am 24. 1. 1994

Zusatz während der Revision: Zwei Umstände machen eine detaillierte Literaturangabe in der zweiten Hälfte dieses Vortrages unpraktisch. Zum einen habe ich den Text gleich nach dem Vortrag geschrieben. Das heißt ursprünglich war der Text auf dem Kenntnisstand 1994. Um den neuen Schrifttum im Sommer 1998 hineinzuarbeiten mußte ich den Text einigermaßen umgestalten. Dazu hatte ich keine Zeit und, vom Gesichtspunkt unseres Verständnisses der Tethysiden-Entwicklung aus gesehen, war es auch nicht nötig. Zum anderen wächst die Literatur über die Tethysiden so lawinenartig, daß es nicht möglich ist, in einer überregionalen Synthese sie im Detail angeben zu können. Ich habe deshalb nur die mir zugänglichen neueren und den Leser in die neueren Entwicklungen einführenden Publikationen im Text zusätzlich zitiert. Unten habe ich einige neuere, wichtigere Entwicklungen berichtende, allgemeine Regionalbeschreibungen der zitierten Literatur vorangestellt.

Für die Behandlung des Manuskriptes bin ich Herrn Univ.-Prof. Dr. Volker Höck und für die vielen und sehr gewissenhaften sprachlichen und stilistischen Korrekturen Herrn Gert Furtmüller dankbar. Herr Erden Soysal hat die meisten Originalabbildungen gezeichnet.

Istanbul, am 24. 7. 1998

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

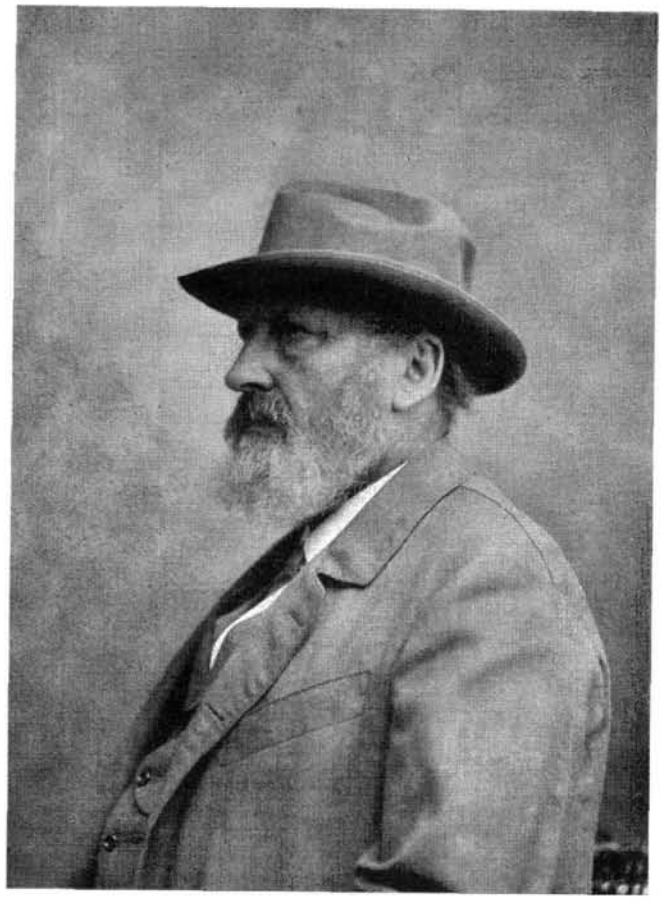
Ehrwürdige Magnifizenz, Hochansehnliche Versammlung!

L'anima mia gustava di quel cibo
Che saziando di se di se asseta
DANTE, Purgatorio

In diesem Jahre feiert einer der fruchtbarsten Begriffe in unserer Wissenschaft sein hundertjähriges Bestehen! Ideen über die *vorzeitlichen Meere,* deren nunmehr verlandete Gebiete sich dem Hammer des Geologen als übereinander liegende Gesteinsschichten anbieten, sind natürlich viel älter. Die alten Ägypter haben in ihren mythischen Schöpfungsgeschichten[1] die Welt als eine aus dem Urozean emporgehobene Insel gedeutet. Anaximander von Milet sprach von einem steten Rückzug des Meeres. Er hat darauf eine Art organische Evolutionstheorie gegründet. Den Vorstellungen des Anaximander können wir eine gewisse Wissenschaftlichkeit nicht absprechen (vgl. GOMPERZ, 1901 [1964][2], S. 53 ff.; KAHN, 1960, bes. S. 102 ff.; SCHMITZ, 1988, bes. S. 45 ff.). Aber der Begriff der *Tethys,* der vor hundert Jahren in Ihrer alten und berühmten Hochschule von einem der größten Vertreter unserer Wissenschaft (Abb. 1) aufgestellt wurde, besagt viel mehr als ein heute verschwundenes und von Gebirgen ersetztes Meer. Manche Geologiebücher, ja sogar einige hervorragende Forscher (z. B. TOZER, 1989, 1990), bezeichnen die Tethys heute noch so.

Wie der große Eduard SUESS in seinem monumentalen Antlitz der Erde niederschrieb, steckt im Namen Tethys eine ganze Vorstellungsweise der Vergangenheit und des Verhaltens unseres Planeten.

Die Einzelheiten des SUESS'schen Ideenkreises sind natürlich heute überholt. Aber sein Leitbild[3] in der globalen Tektonik, seine Methodik des Studiums unseres Planeten, die Weise, in welcher er sich mit der Erde unterhält, um sie nach ihren Rätseln zu fragen bestehen heute noch und beleuchten unsere Wege. Wenn ich in diesem Festvortrag über „die Tethys vor hundert Jahren und heute" spreche, werde ich mich auch mit dem Leitbild unseres längst verstorbenen aber im Geiste uns noch führenden Altmeisters beschäftigen. Darin mag vielleicht das Wichtigste der folgenden Zeilen liegen.



ED. SUESS
1831-1914.
D'après une photographie communiquée par M^r le Prof. FRANZ E. SUESS.
FIG. 156.

Abb. 1
Eduard SUESS (1831-1914).

Zunächst erörtere ich im ersten Teil des Festvortrages die Entstehung des Tethys-Begriffes, seine Vorgeschichte und die geologische Forschungsphilosophie innerhalb welcher er entstand und weiter wuchs. Im zweiten Teil, werfe ich einen Blick auf den heutigen Stand der Tethys-Forschung.

[1] Diese Mythen sind z. T. die frühesten kosmologisch-tektonischen Theorien, die uns überliefert sind (vgl., z. B. GREENE, 1992, bes. Kapitel 3 und 4; vgl. aber auch KIRK, 1974, wo gezeigt wird, daß die Mythen nicht *nur* protowissenschaftliche Spekulationen sind) und geben sehr wertvolle, oft unerwartete Auskünfte über die Wurzeln mancher unserer heutigen Vorurteile bzw. Verallgemeinerungen in der Tektonik (vgl. CAILLEUX, 1968, S. 15 f.), wie z. B. die Vorstellung der Gebirge als unstabile, unfruchtbare und unzuverlässige „männliche" Erdteile im Gegensatze zum stabilen, fruchtbaren und zuverlässigen „weiblichen" Flachland (vgl. ŞENGÖR, 1992a). Schöne und lehrreiche Zusammenstellungen bezüglich der Frage der vorzeitlichen Meere und der daraus entstandenen Berge sind: ASSMANN (1984), AUTORENKOLLEKTIV (1991), HANSEN (1991). Für englische Übersetzungen und Kommentare der relevanten Textfragmente vgl. insb. PRITCHARD (1969).

[2] Ich zitiere den ersten Band der *Griechischen Denker* des großen Wiener Meisters nur aus einem mir z. Zt. zugänglichen Nachdruck (1964) der englischen Übersetzung (1901).

[3] Hier benütze ich das Wort Leitbild im Sinne der von WEGMANN (1958) gegebenen und von mir auch anderswo (ŞENGÖR, 1991a) benützten Definition: „Die Leitbilder sind offene, mehr oder weniger bewegliche Systeme. Es sind allgemeine Bilder über den Ablauf und den Zusammenhang der Dinge, ohne Zwang und daher meist ohne scharfe Umrisse. Die hauptsächlichsten festen Punkte darin sind die gegenseitigen Verhältnisse in Zeit und Raum. Durch Beobachtungen können sie genauer bestimmt werden, und dadurch werden die Konturen besser erkennbar. Ein Leitbild kann zu einem geschlossenen Systeme ausgebaut werden. Die Geschichte der Wissenschaften zeigt dafür manche Beispiele aus alter und neuer Zeit. Es ist aber oft möglich, in einem geschlossenen Systeme noch das Leitbild, das dem Verfasser vorgeschwebt haben mag, zu erkennen. Es ist derjenige Teil, der sich erhält und weiter wirkt, auch wenn das geschlossene System gesprengt ist und in Ruinen liegt. Das Leitbild tritt dann meist in einer neuen Form wieder in Erscheinung." (WEGMANN, 1958, S. 532).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

ERSTER TEIL:
GESCHICHTE DER ENTWICKLUNG DES TETHYSBEGRIFFES

Our scholars will some day know more than their masters do now; so let us patiently continue our work and remain friends
Eduard SUESS
Are Great Ocean Depths Permanent?, 1893

Wie die Tethys selbst, hat auch der Tethysbegriff eine „Vorgeschichte" und es sei mir erlaubt, Ihnen, bevor wir uns der Tethys selbst zuwenden, einiges über diese Vorgeschichte zu erzählen. Dies dient dazu, die Stellung besser würdigen zu können, welche der Begriff Tethys in der geologischen Denkungsweise des vorigen Jahrhunderts aber auch in der heutigen einnimmt. Die „Vorgeschichte" und ihre nachfolgende „Geschichte" sollen die entscheidenden Ideen in der Entwicklung des Tethysbegriffes darstellen. Die Ideen zeigen was ich als Geologe in der Forschung und als Hochschullehrer in dieser Gesamtgeschichte als wichtig erachte. Manche Fachkollegen unter Ihnen werden in dieser Geschichte eine Schilderung erkennen, welche in einigen Stellen von der gewöhnlichen Geschichte abweicht. Der Hauptunterschied zwischen Untenstehender und den landläufigen Geschichten besteht darin, daß für mich die Wissenschaftsgeschichte nicht aus „entdeckten Tatsachen" sondern aus „suchenden Ideen" besteht.

Zuerst betrachten wir die Entstehung und Entwicklung der Vorstellungen, welche die Gebirge, ja alle Festländer, als Kinder der Meere darstellen.

Gebirge als „Deszendenten" der Meere

Berggestalten haben seit uralten Zeiten die Menschen bezaubert (vgl. SCHWARZ, 1888; CAMPBELL, 1974, S. 76 ff.; MANN, 1988; GRATZL, 1990). Als zweite Gottesgestalt nach seiner Mutter hat der Mensch den Berg gewählt, wie die primitivsten Mythen des mittleren Osten oder die Murale, welche der britische Archäologe James MELLAART im zentralanatolischen Çatal Hüyük, „der ältesten Stadt der Welt", in den sechziger Jahren ausgegraben hat (MELLAART, 1967), zeigen. Aber der Begriff einer „Bergkette" wurde ziemlich spät erfunden. Soweit wir aus überliefertem Quellenmaterial ersehen können, war ERATOSTHENES, der geniale Direktor des alexandrinischen *Museion* (Abb. 2), der erste, der im dritten Buche seiner jetzt leider verschollenen *Geographika* von einem Taurus-Gebirge sprach.[4] Man weiß, daß der Kyrener sich dabei auf die Zusammenstellungen des DIKÄARCH berief.[5] Was jedoch bei ERATOSTHENES wahrscheinlich neu war, ist die Hypothese, daß dieser Taurus-Zug sich mittels Erdbeben (und Vulkanismus?) aus dem Meere emporgehoben hatte.[6] In dieser Taurusgeschichte von ERATOSTHENES glaube ich nicht nur die Aufstellung des ersten Begriffes eines Gebirgsgürtels und auch nicht nur die erste wissenschaftliche Hypothese der Gebirgsbildung, sondern auch den allerersten Vorläufer des Tethysbegriffes erblikken zu dürfen (Abb. 3).

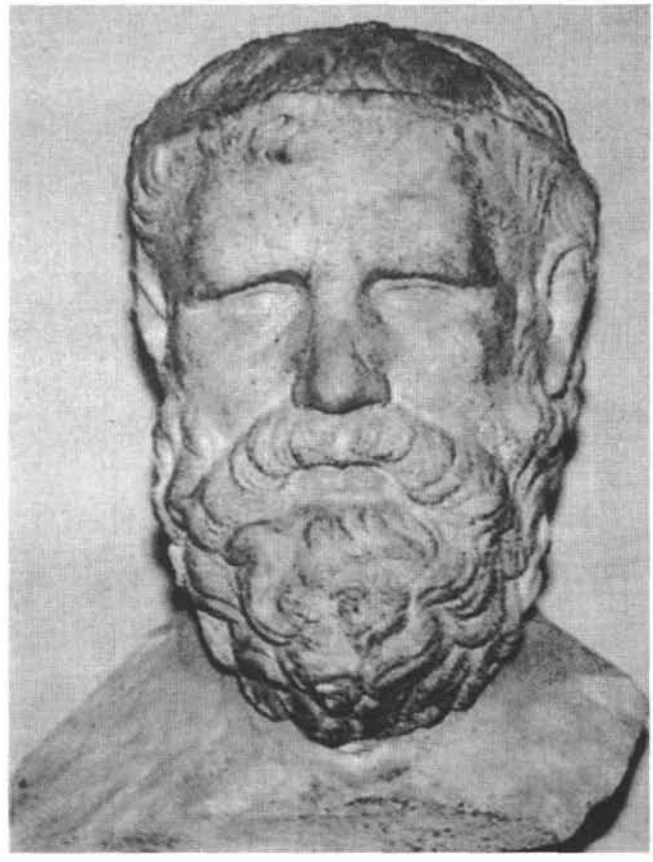


Abb. 2
ERATOSTHENES (Büste in der Ancient Art & Architecture Collection, Harrow, England).

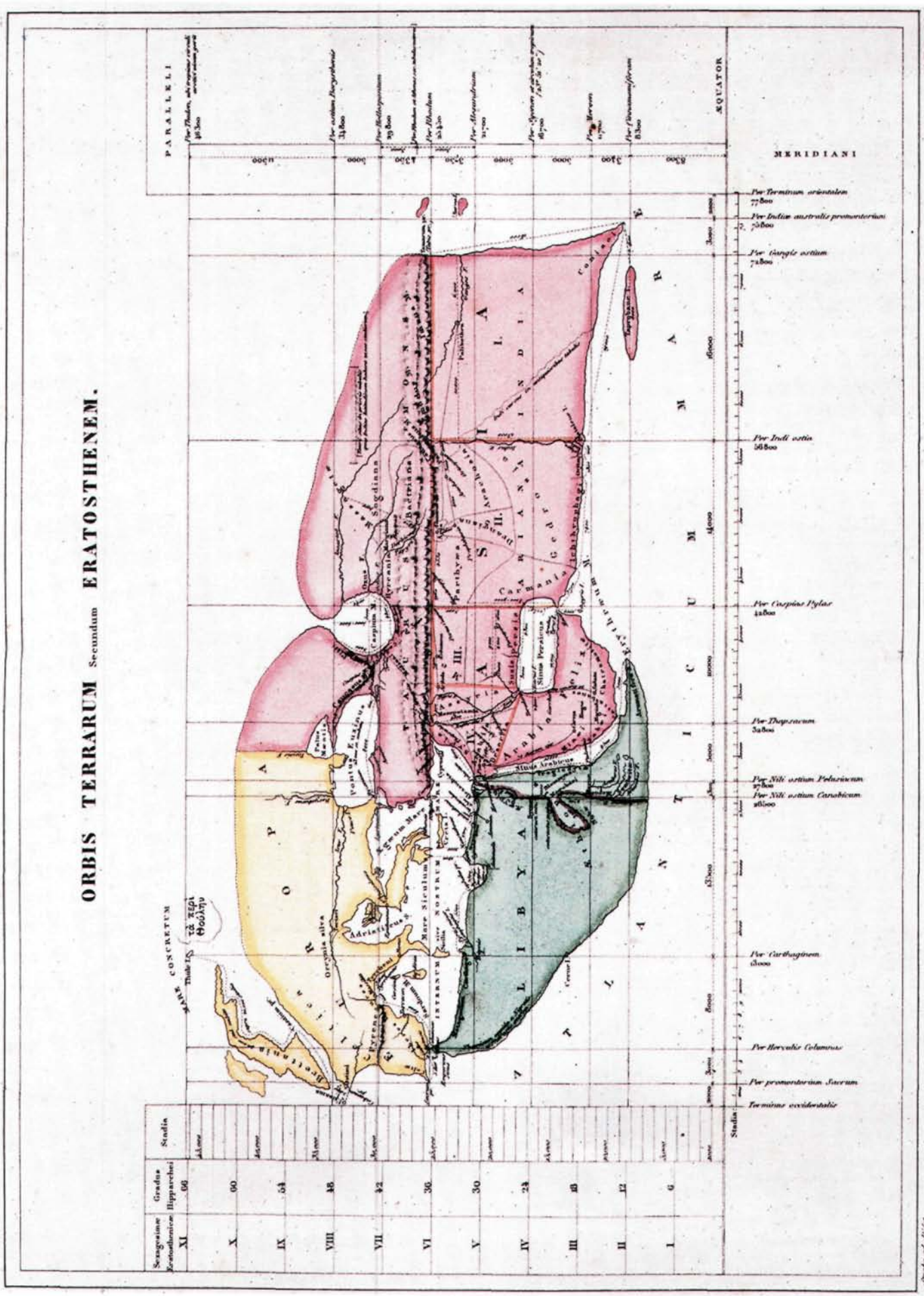
Abb. 3
Weltkarte des ERATOSTHENES (nach MÜLLER, 1880, Tabula I), die den geradlinigen Verlauf des Taurus durch ganz Asien zeigt. Dieses Gebirge fällt mit dem Alpen-Himalaya-System zusammen. →

[4] Für die entsprechenden Fragmente vgl.: BERGER (1880; Numerierung BERGERS): III A, 2; ; III A 16; III B, 2, 3, 4, 5, 6; vgl. auch ŞENGÖR (1991b) und (1992a).

[5] Für die Fragmente des DIKÄARCH, vgl. WEHRLI (1967). Das hier in Betreff kommende Fragment ist von ihm als 110 numeriert (WEHRLI, 1967, S. 35).

[6] Die folgenden, von BERGER (1880) zusammengetragenen Fragmente kommen in Betracht: Hebung aus dem Meer heraus: Fragment I B, 14 bei BERGER (1880); Veränderungen der Erdoberfläche durch Erdbeben und Vulkanismus: Fragment I B, 12. THEOPHRASTUS, der Nachfolger von ARISTOTELES, war ein Vorgänger von ERATOSTHENES bezüglich der vulkanischen Hebungstheorie der Festländer im allgemeinen (vgl. DUHEM, 1958, S. 241 ff.).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Die Geschichte der Geologie zeigt uns ERATOSTHENES' Vorstellungen über das Wesen und die Entstehung der Gebirge. Diese waren von erstaunlicher Ausdauer und Fruchtbarkeit. Ich könnte vielleicht seine Grundideen wie folgt zusammenfassen:

1. Der Taurus folgt als eine geradlinige Kette dem Parallelkreis von Rhodos[7] bis weit nach Asien hinein.
2. Der Taurus stieg aus dem Meer heraus.
3. Diese Gebirgskette entstand durch die Tätigkeit der „plutonischen Kräfte" hauptsächlich mittels Erdbeben.

Obwohl schon seine antiken Nachfolger wie PLINIUS der Ältere erkannten, daß der Taurus einen ziemlich gewundenen Kurs hat (z. B. PLINIUS d. Ä. 12. V. xxvii, 97-98; sogar STRABON II. 5. 28. [C 128][8]), hat ERATOSTHENES' Vorstellung über den geradlinigen Verlauf des Taurus auf die späteren Kartenzeichner und Geologen einen nachhaltigen Einfluß ausgeübt. Die verschiedenen Fassungen der ptolemäischen Weltkarte zeigen den Taurus als eine ± den Parallelkreisen 34° N bis 44° N folgende Bergkette, die sich von Kleinasien bis nach China erstreckt (Abb. 4).[9] Diese vom Sinne des ERATOSTHENES nicht allzu entfernte Auffassung finden wir wieder in *Tabula Itineraria Peutingeriana* (vermutlich aus dem 4. Jahrhundert A. D.[10] [bes. Segmente IX-XII[11]: MANNERT, 1824; WEBER, 1976]). Sie wurde auch später von anderen Kartenzeichnern der Renaissance, wie z. B. ORTELIUS (1570), SPEED (1627), MERCATOR (1636) und BLAEU (1663 [1963]) gefolgt (Abb. 5). Wir lesen bei SPEED (1627, S. 3, Hervorhebung SPEEDS) z. B., daß "Through the middle [*von Asien*] runs the Mont *Taurus* at full length, with the whole continent of *Asia*, & divides [*sic!*] it toward the North and South into *Asiem Exteriorem* and *Interiorem*, with so many windings...". Auf seinen Karten vermissen wir aber die „so many windings" (Abb. 5d) und wir sehen, daß die verschiedenen Segmente des Taurus auch von SPEED als mehr oder weniger gerade Linien nach dem ERATOSTHENISCHEN Vorbild gezeichnet worden sind. Dieses Vorurteil taucht auch in den damaligen „geologischen" Schriften auf. Abb. 6 stellt das Gebirgsskelett unseres Planeten nach den Ansichten des Gelehrten Jesuitenpater Athanasius KIRCHER dar. Es entspricht dem Karomuster der ptolemäischen Karten (vgl. Abb. 4).

„Regularistisch" nannte ich Neigungen (vgl. ŞENGÖR, 1982a, 1991a), welche die Erdwissenschaftler dazu zwangen, Gebirgsketten, ja selbst die kontinentalen und ozeanischen Konturen mit einfachen geometrischen Figuren zu zeichnen: Bei der Rekonstruktion uns fragmentarisch zugänglicher Naturgegenstände immer die einfachste Hypothese zu wählen, *unbekümmert ob sie den anderen Erfahrungen passen oder nicht*, war und bleibt das Hauptmerkmal eines der beiden großen Leitbilder in der Geschichte der Tektonik, nämlich ein *regularistisch-katastrophistisches* und ein *irregularistisch-aktualistisches.*[12] Anderswo habe ich zu zeigen versucht (vgl. ŞENGÖR, 1991a, 1992b, 1996), daß das erste Leitbild unter jenen Erdwissenschaftern bevorzugt gewesen ist, die eine *positivistische* Einstellung gegenüber der Interpretation geologischer Daten gehabt haben, während das zweite unter jenen, die eine mehr *kritisch-rationalistische* Einstellung hatten.[13] Die Positivisten verteidigten eine nüchterne Auslegung der Beobachtungen unter der Annahme, daß das Beobachtbare alles Geschehene darstellt. Die kritischen Rationalisten betonten dagegen die notwendige Lückenhaftigkeit der Überlieferung und deshalb müsse die Deutung des Beobachtbaren immer im Lichte eines bewußt vorher aufgestellten und nicht unbedingt gut fundierten Modells unternommen werden. Dieses Modell kann im Laufe der Untersuchung stückweise verbessert werden. Wir werden unten sehen, daß SUESS gegen regularistisch-katastrophische Leitbilder der Positivisten sein ganzes Leben lang gekämpft hat. Der Begriff der Tethys war ein markanter Ausdruck dieses Kampfes gegen die positivistisch-regularistische Deutung, verkörpert in der Hypothese der „Ewigkeit der Kontinente und Ozeane".

Abb. 4
Weltkarte von PTOLEMÄUS (aus Codex Seragliensis 57 in der Bibliothek des Topkapi-Sarayi-Museum, Istanbul, Folien 73v & 74r). Die grünen Linien sind die Gebirge. Der Taurus befindet sich zwischen den Parallelen 35°N und 40°N. Diese Karte zeigt den geradlinigen und west-östlichen Verlauf des Taurus sehr schön. Man beachte auch, daß die anderen Gebirgszüge zusammen mit dem Taurus auf dem Antlitz der Erde fast ein Karomuster der Gebirge darstellen. Solche Karten haben einen nachhaltigen Einfluß auf die Vorstellungen über die Verteilung und Entstehung der Gebirge bis auf Eduard SUESS ausgeübt. →

[7] Dieser Parallelkreis entspricht ± dem heutigen 36°N.

[8] Bei STRABON-Angaben gebe ich sowohl die Bücher-, Kapitel- und Absatznummer als auch die CASAUBON'SCHEN Seitennummer (in Klammern [...] und mit „C" vor der Nummer) an. Die VAN ALMALOVEEN'SCHEN Seitennummer sind mir z. Zt. nicht zugänglich.

[9] Ob die in den verschiedenen Handschriften und gedruckten Auflagen der ptolemäischen Γεωγραφικὴ Ὑφήγησις *(Geographike Hyphegesis)* beigegebenen Karten authentisch sind, ist eine seit langem umstrittene Frage. FISCHER (1932a, 1932b[1991]) behauptet, daß alle ptolemäischen Karten, sowohl die 27-Karten Serie in der A-Gruppe der Handschriften, als auch die 64-Karten Serie in der B-Gruppe, authentisch seien. In einer vor kurzem erschienenen Schrift bezweifelt SEZGIN (1987), Fußstapfen solchen skeptischen Gelehrten wie BAGROW (1964) folgend, daß eine einzige ptolemäische Karte uns überliefert sein könnte und behauptet weiter, daß alle ptolemäischen Karten später, wohl bereits im Mittelalter und hauptsächlich in Konstantinopel, nach den Vorschriften von Ptolemäus angefertigt worden sein sollen. In acht Manuskripten des Buches VIII der *Geographike Hyphegesis* taucht aber der Name eines Agathodaimon aus Alexandria auf, dem wenigstens die Mappamundi von Ptolemäus zugeschrieben wurde. Als ein in Alexandria tätiger griechischer Zeichner konnte er kaum nach dem 6. Jh. gelebt haben und nichts spricht dagegen, daß er auch viel früher gelebt haben könnte, z. B. gleich nach dem Tode von Ptolemäus. Auf diesem Zeugnis basierend, glaube ich, wenigstens zugunsten der Authentizität von einer vormittelalterlichen Entstehung der ptolemäischen Weltkarte sprechen zu dürfen (vgl. DILKE, 1985).

[10] Die nicht gesicherte Datierung ist aus DILKE (1985, S. 113).

[11] Die Bezeichnung *Mons Taurus* erscheint nur auf den Segmenten X und XI und in *Index nominum quae in Tabula Peutingeriana continentur* (MANNERT, 1824, S. 45; vgl. Abb. 5a hier). Sie bezeichnet aber unzweideutig eine sehr lange und ±geradlinige Bergkette zwischen Kleinasien und China.

[12] Die Einfachheit der geometrischen Darstellung ist im Wesen des Wortes *regular* enthalten. Es stammt vom lateinischen Wort *regula*, das ursprünglich ein gerades Holzstück bezeichnete. Später wurde die Bedeutung des Wortes erweitert, um zuerst ein Lineal und dann eine Regel einzuschließen. Als gerades Holzstück oder Lineal drückt das Wort *regula* eine Diskontinuität in der Darstellung der Natur aus, da mit geraden Linien keine kontinuerliche Kurve gezeichnet werden kann. Als Regel bedeutet *regula* im Lateinischen entweder eine Leitlinie oder einen vorschreibenden Standard. RUBY (1986, S. 346 f.) hat gezeigt, daß das Wort *regula* im späten Mittelalter als Universalprinzip oder Gesetz der Natur Verwendung fand. Bis zum 5. Jahrhundert war das Wort *regulariter* entstanden, welches regelmäßiges Vorkommen bedeutet, wie z. B. stetiges, uniformes, oder periodisches Geschehen. RUBY hat besonders darauf bestanden, daß ursprünglich das Wort *regula* eine *vorschreibende* Konnotation hatte. Die Wurzel des Wortes regular enthält also die meisten Eigenschaften der Leitbilder der regularistisch-katastrophischen Schule, die ich früher definiert habe (ŞENGÖR, 1982a, 1991a): Einfachheit (und Diskontinuität) der Geometrie der Strukturen, Diskontinuität in der zeitlichen Entwicklung ausgedrückt in den Hypothesen der episodischen oder gar periodischen tektonischen Zyklen unterschiedlicher Natur, Vorliebe für vorschreibende Regel usw. Deshalb finde ich das Wort *regularistisch* besonders angemessen für den Zweck, für welchen ich es verwende.

[13] Für den Unterschied zwischen beiden diesen Leitbildern vgl. auch die schöne Arbeit von GOULD (1979), in welcher er anhand der Marginalien von Louis AGASSIZ, die im ersten Band der ersten Ausgabe der *Principles of Geology* von LYELL eingetragen wurden, die Gegensätzlichkeiten zwischen der Denkungsweise des Positivisten AGASSIZ und der Deutungsweise des kritischen Rationlisten LYELL zu dokumentieren versucht, ohne aber die philosophischen Einstellungen der beiden als solche zu identifizieren.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

SEGMENT X

SEGMENT XI

Abb. 5
Die von der Ptolemäischen (und also von ERATOSTHENISCHEN) Vorstellung der Gebirge beeinflußten Erdkarten der Römer und der Renaissance, die Teile des Taurus-Gebirges zeigen. Die schwächere bildliche Repräsentation des Taurus im Verhältnis zu den Ptolemäischen Karten bei den Renaissance-Karten mag auf das geringere Interesse für die physische Geographie bei den Kartenzeichnern der Spätrenaissance zurückzuführen sein.

5a
Segment XI der Tabula Peutingeriana (Codex Vindobonensis 324 der Österreichischen Nationalbibliothek, Wien), die einzige überlebende römische Weltkarte. Dieses letzte (oder östlichste) Segment zeigt den östlichsten Teil Asiens. Der prominente west-östliche Gebirgszug in der Mitte ist der östliche Teil des Taurus Gebirges (Mons Taurus) (nach der vollständigen Faksimile-Ausgabe im Originalformat, Akademische Druck- u. Verlagsanstalt, Graz).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

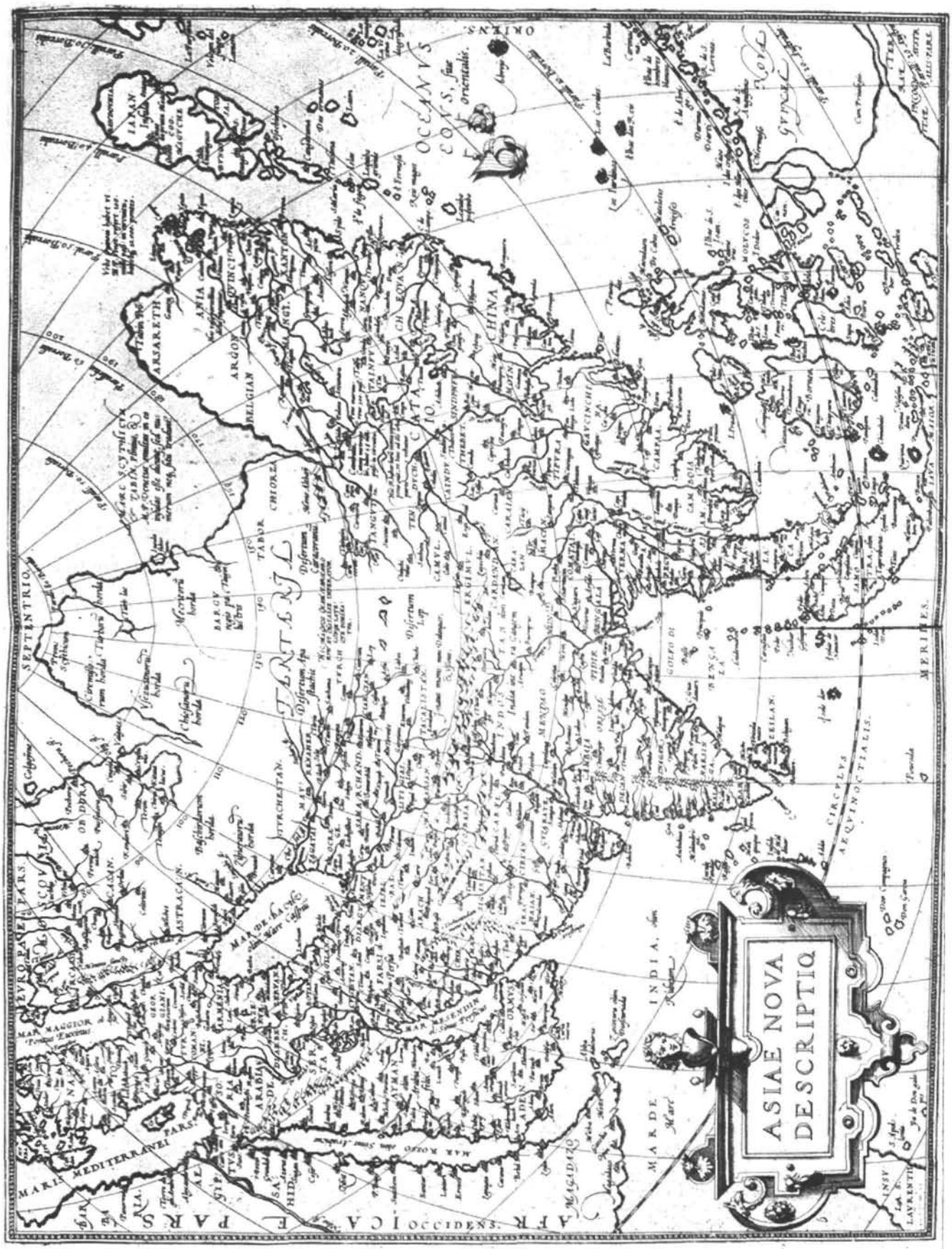


Abb. 5b
Asien von Abraham ORTELIUS: *Asiae nova descriptio*, 1570. Der Imaus Mons nördlich von Indostan ist der Taurus. Seine westliche Verlängerung nach Persien und Anatolien folgt einer Wasserscheide, also einem Gebirgsrücken. Alle europäische Karten des 17. Jahrhunderts zeigen das große Taurus-Gebirge von ERATOSTHENES in der gleichen Weise (Aus einer Faksimile des *Theatrum Orbis Terrarum* von Theatrum Orbis Terrarum Ltd., Amsterdam, 1964).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

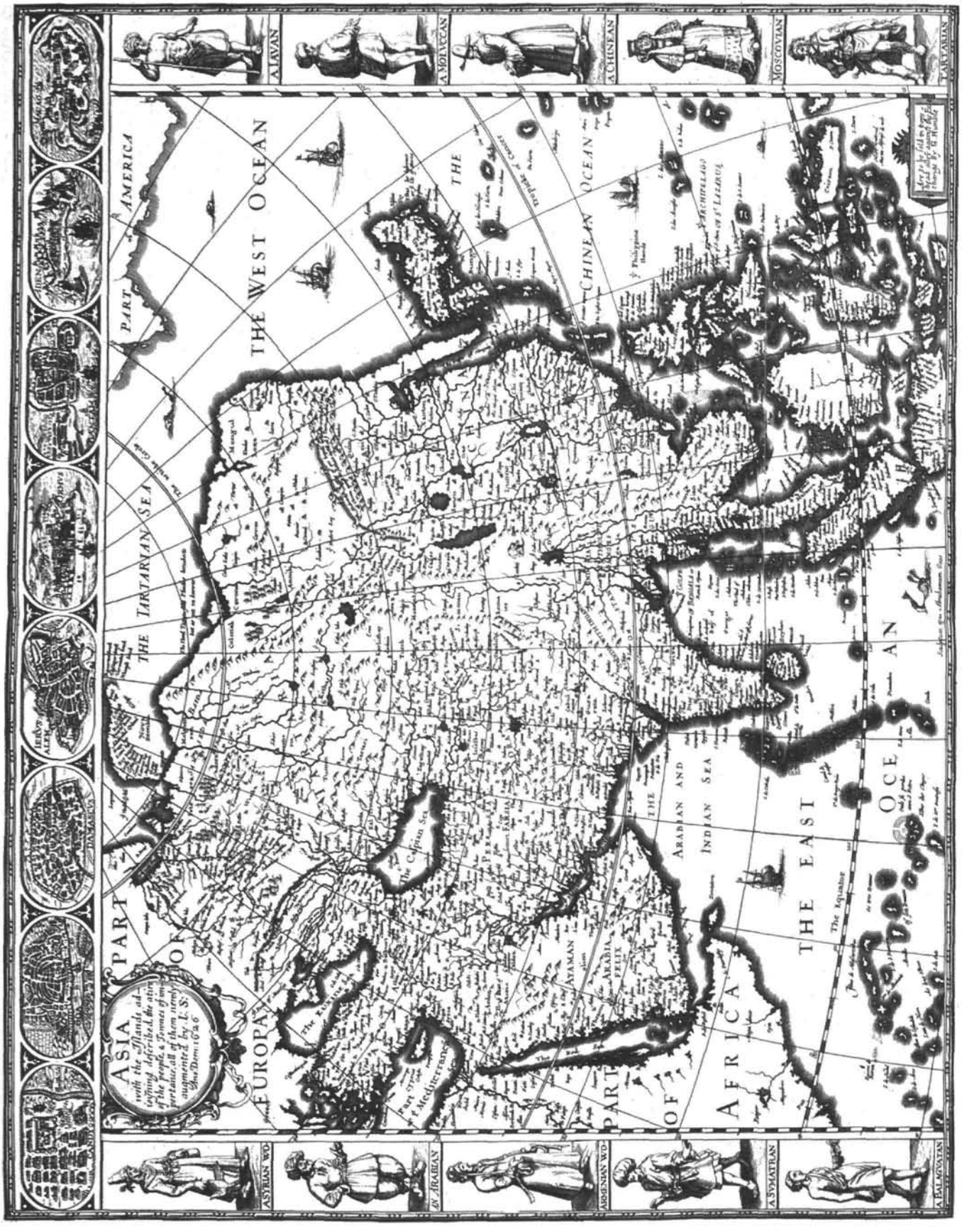


Abb. 5c
Asien von John SPEED, 1626 (Aus einer Faksimile von *A Prospect of the Most Famous Parts of the World* von Theatrum Orbis Terrarum Ltd., Amsterdam, 1966). Obwohl SPEED in seinem Text die Taurus-Kette, ganz den Richtlinien von ERATOSTHENES folgend, als Asien zweiteilender Gebirgswall beschreibt, ist diese Sachlage auf seiner Karte nicht eingetragen. Die Existenz eines solchen Gebirgswalls zwischen Iran und China ahnt man nur vom hydrographischen Netz.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 5d
Asien von Wilhelm BLEAU, *Asia noviter delineata,* 1633 (Aus einer Faksimile von Geographie Blaviane, Bd. 11, von Theatrum Orbis Terrarum Ltd., Amsterdam, 1968).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

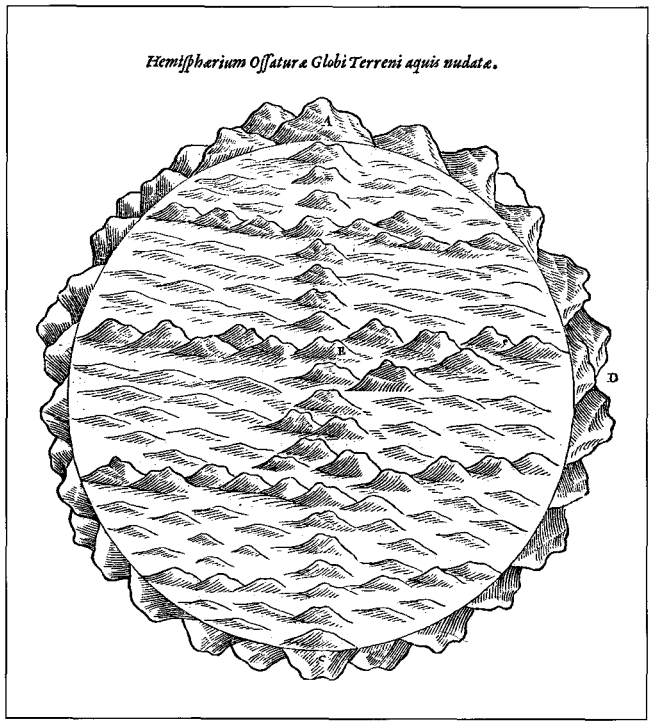


Abb. 6
Gebirgsskelett der Erde nach Athanasius KIRCHER (1665, S. 69).

Das regularistisch-katastrophistische Leitbild der positivistischen Tektoniker taucht auch in der Frage der Zeitfixierung der tektonischen Ereignisse in den nicht-aktualistischen Hypothesen von weltweiten tektonischen Phasen getrennt von Intervallen relativer Ruhe auf. SUESS verwarf auch dieses Modell des tellurischen Schluckaufs anhand vorwiegend tethysischer Beispiele.

Dem einfachen, geradlinigen Verlauf der Gebirgsketten, insbesondere des Alpen-Himalaya-Systems, begegnen wir auch in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts bei Kartenzeichnern wie Philipp Johann TABBET VON STRAHLENBERG (1730; vgl. SCHMALER, 1904, Karte III). SCHMALER (1904, S. 75) schrieb aber „Die zweite Hälfte desselben Jahrhunderts bietet uns in den Ansichten vom Gebirgsbau [*von Zentralasien*] ein verändertes Bild. Die Vorstellung vom Taurusgürtel verblasst immer mehr. Die Ansicht von der ‚hohen Tartarei' drängt sich in den Vordergrund". Obwohl ich auch der Meinung bin, daß in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts die Ansicht von einer hohen Tartarei in Zentralasien tatsächlich Boden gewann und als angeblicher Entstehungsort der Menschheit bzw. das zuerst bloßgelegte Landstück nach der Sintflut und damit als zweites Verbreitungszentrum alles Lebendigen die Aufmerksamkeit der Naturalisten auf sich lenkte (vgl. DE KARAMYSCHEW, 1764; VON HUMBOLDT, 1843a, S. 4 f.; SCHMALER, 1904, S. 75 ff.), schrumpfte dabei die Bedeutung des Taurusgebirges nicht ganz. Z. B. kommt bei Joseph de GUIGNES' *Histoire générale des Turcs, des Mogols* etc. (1756-1758: de GUIGNES, 1768) das ganze Taurusgebirge als Sintflutberg, d. h. als die erste sich aus den Gewässern herausgehobene Erhebung in Betracht (SCHMALER, 1905, S. 79). Bei PALLAS (1779, vgl. SCHMIDT-THOMÉ, 1960) aber sehen wir den einheitlichen Taurusgürtel doch nicht mehr und BUFFON (1778, S. 305-306 und 309-310) fühlte sich gezwungen folgendes zu schreiben: «J'ai dit, *volume I, page 319*, que *la direction des grandes montagnes est du nord au sud en Amérique, & d'occident en orient dans l'ancien continent*.» Cette dernière assertion doit être modifiée... On peut donc dire qu'en générale les plus grandes éminences du globe sont disposée du nord au sud, & que celles qui courent dans d'autres directions ne doivent être regardée comme des branches collatérales des ces premières montagnes.[14] Et c'est en partie par cette disposition des montagnes primitives, que toutes les pointes des continens se présentent dans la direction du nord au sud...».

Bereits bei den Kartenzeichnern der Renaissance begegnen wir Versuchen, die dargestellte Erdoberfläche, ja sogar den ganzen Planeten auch genetisch zu erklären. Diese Erklärungsversuche waren nicht immer glückliche Mischungen der antiken Ansichten, der mittelalterlichen Hypothesen (wie z. B. das „Isostasie-Modell" von Albert von SACHSEN[15]) und der Erzählungen der Bibel (z. B. vgl. „The Booke of the Creation and Fabrick of the World" von MERCATOR in MERCATOR & HONDIUS, 1636, S. 1-31). All diese Erklärungsversuche hatten eines von zwei Fundamenten: Entweder wurde alles im Meer geschaffen und nach einem Rückzug des Meeres bloßgelegt oder hatte dabei auch das Feuer (verschiedenen Ursprungs) mitgespielt und die jetzt aus dem Meer herausragenden Erdteile emporgehoben.

Im 18. Jahrhundert kämpften noch diese zwei Ansichten, welche die Entstehung der Gebirge zu erklären versuchten, um Anerkennung. Beide waren deshalb nicht original und hatten ihre Wurzel schon in der mythischen Vergangenheit der griechischen Welt um die Ägäis. Die eine Ansicht wollte die Gebirge als ursprüngliche Unregelmäßigkeiten am Boden eines Urozeans (z. B. de MAILLET, 1748[16]) und eventuell als zuerst von den Stürmen und dem endgültigen Abfluß des Sintflut-Ozeans (z. B. WOODWARD, 1723) geformte Gebilde deuten. Sogar das beste Modell bedeutete keinen großen Fortschritt gegenüber dem nicht unähnlichen (aber rationaleren!) Modell von ANAXIMANDER. Wie ich oben angedeutet habe, reichen die Wurzeln dieser Vorstellungsgruppe viel weiter zurück als in die Zeit der Ionier. Sie reichten sogar bis in die Zeit der ersten Schöpfungsmythen zurück!

Die zweite Ansicht beruhte auf der aktiven Emporhebung des Ozeanbodens aus dem Meer durch feurige Agentien und wurde hauptsächlich von Abbé Lazzaro MORO (1740[17]) auf der Basis der Schriften antiker Schriftsteller wie STRABON und PLINY und der neueren Autoren wie AGRICOLA (1544 und 1545[18]), KIRCHER (1665, bes. das IV. Buch), BOTTONI (1692) und HOOKE (WALLER, 1705) entwickelt.[19] Aber MORO folgte

[14] Dieser Idee werden wir in unserem Jahrhundert wieder bei STILLE (1949a) begegnen. Vgl. unten.

[15] Zitat bei HÖLDER (1960, S. 21).

[16] Hier zitiere ich eine Englische Übersetzung, die mit einer *Introduction* des Bearbeiters Herrn A. V. CAROZZI 1968 in Urbana publiziert wurde.

[17] Hier zitiere ich eine 1751 in Leipzig publizierte Deutsche Übersetzung des Italienischen Originals.

[18] Diese beiden Bücher AGRICOLAS zitiere ich nach der neuen und historisch-kritischen Ausgabe im Bd. III seiner *Ausgewählten Werke*, herausgegeben von H. PRESCHER. Dieser 1956 herausgegebene Band enthält auch eine sehr nützliche Einführung in die geologischen Werke AGRICOLAS, in welcher eine Liste der von AGRICOLA erwähnten Vulkane enthalten ist (S. 53).

[19] Insbesondere möchte ich auf den großen Einfluß von STRABON verweisen, der oft von MORO wörtlich zitiert wird (z. B. 1751, S. 277 f). Besonders wurde die von MORO sehr warm vertretene und oft ihm zugeschriebene Ansicht (z. B. ADAMS, 1938, S. 367 f.), daß alles Land (vulkanische und nichtvulkanische Inseln, ja ganze Kontinente) durch ein und dieselbe Ursache emporgehoben worden sein sollte, direkt von STRABON übertragen (STRABON, I, 3, 10 [C 54]). STRABON, wie auch PLINY, übernahmen aber viele ihrer „tektonischen" Ideen von ERATOSTHENES. Dies ist wichtig, weil wir unten den unglaublich nachhaltigen Einfluß des großen Kyreners bis zu Alexander VON HUMBOLDT und ÉLIE DE BEAUMONT im 19. Jh. verfolgen werden. Die Entwicklung des SUESS'SCHEN Weltbildes am Ende des 19. Jh. und damit des Tethys-Begriffes bedeutet erst damit ein Ende der „Eratosthenischen Ära" in der Geschichte der Tektonik!

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

auch den Ideen des EMPEDOKLES[20], in dem er annahm, daß die ganze Erdkugel ein mit einer dicken Schale umgebener Feuerball sei (MORO, 1751, S. 328 f.). Die neue Episode eines „Internisten" tektonischen Denkens möchte ich daher mit MORO beginnen lassen (und nicht mit KIRCHER!). Dabei werden die internen Energiequellen der Erde für das tektonische Verhalten des Planeten verantwortlich gemacht.

Mit MORO sind wir wieder fast völlig zurück zu den Ansichten des ERATOSTHENES. Bei seinen durch „plutonische" Kräfte emporgehobenen Bergen befindet sich der Taurus ganz im ERATOSTHENISCHEN Sinne: „Sind nun die Berge auf dem festen Lande von einerley Art mit den Inselbergen, so muß man auch zugestehen, daß beyderley von einer und eben derselben wirkenden Ursache herkommen ... oder den einen Berge **Ida** in der Insel **Candia** und einen **Taurus** in Sicilien durch Feuer; auf andere Weise aber den **Ida** in Natolien[21] und den **Taurus** in groß Asien erbauet. Ich kann nicht glauben, daß ein vernünftiger Mensch der Natur dergleichen Tadel anhängen sollte..." (MORO, 1751, S. 287-288; *Hervorhebung* MOROS).

Obwohl die physikalische Mappe-Monde von PALLAS (Abb. 7) die Einheit des ERATOSTHENISCHEN Taurus-Systems nicht mehr zum Ausdruck bringt (Abb. 8), sprach er oft von einer raschen und gewaltigen Emporhebung der Gebirge im Süden Asiens um das Vorkommen angeblich tropischer Tiere (Mammuth, Einhorn etc.) in Sibirien erklären zu können. Nach seiner Idee stieg plötzlich ein ganzer Gebirgswall im Süden des Kontinents aus dem Meer heraus und spülte die auflagernden Gewässer des Ozeans nach Norden als eine gewaltige Flutwelle, die alles Leben zerstörte und dessen leblosen Reste vor sich nach Norden trieb: „daß die Inseln der Südsee über dem Gewölbe eines mächtigen unterirdischen Brandherdes emporgestiegen sind.[22] Der erste Ausbruch... muß dabei eine unvorstellbar große Wassermasse vor sich her getrieben haben. Dieses Wasser drängte nordwärts gegen die ihm im Wege stehenden Gebirgsketten Asiens und Europas... Dabei gelangten die Reste zahlreicher Großtiere, die mit in diesen Untergang hingerissen wurden, zur Einbettung, wobei das tertiäre Gebirge und die jungen Alluvionen Sibiriens in übereinanderfolgenden Ablagerungen entstanden"[23] (PALLAS, 1778, S. 55 f.). Dieser Gebirgswall entspricht doch wenigstens zum Teil dem Taurus von ERATOSTHENES. Auch die PALLAS'SCHEN *Alpes Septentrionales* in seiner physischen Weltkarte aus dem Jahre 1797 waren nichts als die nördlichsten Teile des klassischen Taurus (Abb. 8). Die unterirdische Energiequelle, die PALLAS sich bei der Erhebung vorstellt, wenn man an ihr Ausmaß denkt, macht ihn zu einem Plutonisten[24] und die Plötzlichkeit mit dem fast weltweiten Charakter der Katastrophe macht ihn zu einem unserer Regularisten, wie wir unten noch ausführlicher sehen werden.

Abb. 7
Peter Simon PALLAS (1741-1811).

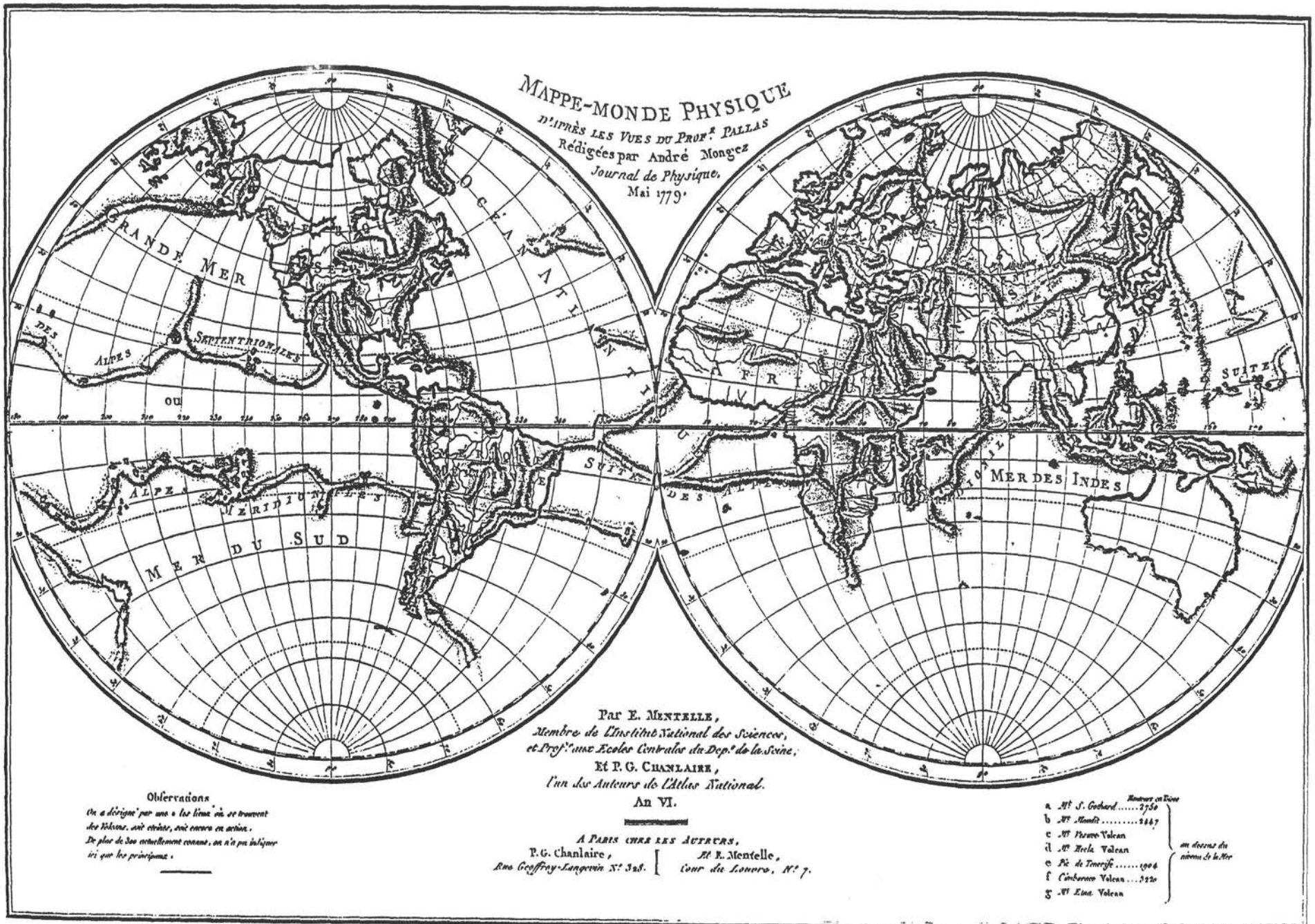
[20] *In Betracht kommen folgende Fragmente: DK 31 B 51: „Empedokles: geschwind nach oben. Vom Feuer gesagt."; DK 31 B 52: „Viele Feuer brennen unterhalb der Erde"; DK 31 B 62: „Im zweiten Buch seiner »Physik« [...] sagt Empedokles:* Weiter also: Wie das scheidende Feuer die nächtlichen Sprosse betrübter Männer und Frauen aufgehen ließ – hör dies: denn meine Geschichte ist weder zweck- noch kenntnislos. Beim ersten Mal tauchten aus der Erde ganzgewachsene Modelle auf, die an beidem, Wasser und Wärme, gebührenden Anteil hatten; das Feuer sandte sie herauf, als es seinesgleichen [die himmlischen Feuer] erreichen wollte. Noch zeigten sie nicht einen reizvollen Bau der Glieder, nicht Stimme oder Glied, wie es bei Männern am Platz ist." Auch scheint das Zeugnis DK 31 A 49 in dieser Frage wichtig zu sein, obwohl seine Deutung nicht ohne Probleme ist (vgl. ZAFIROPULO, 1953, S. 135 ff.): *„Empedokles sagt, daß [aus der totalen Mischung des Sphairos] zuerst der Äther [Luft] abgeschieden wurde, sodann das Feuer, darauf die Erde, aus welcher, als sie durch die Geschwindigkeit des Umlaufes ringsum zusammengepreßt wurde, das Wasser emporgetrieben wurde. Aus diesem Wasser sei die Luft in Dampfform aufgestiegen, und der Himmel sei aus dem Äther entstanden, die Sonne aus dem Feuer, während die Dinge um die Erde aus den anderen [Elementen] komprimiert wurden."* Die ausführlichste Diskussion des zentralen Feuers von EMPEDOKLES befindet sich in GUTHRIE (1962, S. 292 f.) und die darin gegebene Diskussion schließt, m. E., ein vor-EMPEDOKLESISCHES Modell des feurigen Erdzentrums aus, wie das von ZAFIROPULO (1953, S. 136, Fußnote 523) seinerzeit verteidigt wurde.

[21] Natolien für Anatolien war die Bezeichnungsweise für Kleinasien in den Atlanten der Renaissance. Kann dies ein Hinweis auf den Einfluß der Kartenzeichner auf MORO sein?

[22] Hier muß ich vielleicht anmerken, daß untermeerische Brandherde, die angeblich die irdischen Vulkane ernähren sollten, im 18. Jahrhundert sehr populär geworden waren. In seinen anonym herausgegebenen *Untersuchungen vom Meere*, schreibt POPOWITSCH (1750, S. 131; Hervorhebung durch POPOWITSCH): „Die an diesem Meere [*d. h. mittelländischem Meere*] gelegenen flammenspeyenden Berge, Vesuv und Aetna, die im Meere selbst stehenden, Strongyle (izt Stromboli) und der Vulkan oder Hiera, beides Aeolische Inseln, ferner die Entzündungen von Ischia, deren etliche Strabo, V, 247 *sequ.* erzählet, eine aber noch unter *Carolo II* sich ereignet und den Erdboden, auf eine Wälsche Meile in die Länge, verbrannt hat, auch mehr andere Ausbrüche von Feuer, die sich theils in Gegenden des festen Italiens..., theils auf seinen Eilanden zeigen, ja zuweilen mitten aus dem Meere fahren, leiten mich auf den Gedanken, daß ich mir den Grund des grossen Beckens vom Mittelländischen Meere, als einen Kessel vorstelle, darunter ein beständiges Feuer glühet;...". POPOWITSCH glaubte, daß dieser unterirdische Herd auch ein Ausweg für das Gewässer des Mittelmeeres sei. Dies ist ein Szenarium, im Rahmen dessen man sich gelegentlich auch gewaltige Dampfexplosionen vorstellen könnte, was seinerzeit PALLAS inspiriert haben mag.

[23] Zitat aus HÖLDER (1960, S. 137). Vgl. auch MATHER & MASON (1939, S. 125).

[24] Aber nicht unbedingt im Sinne von MORO, da auch POPOWITSCH (1750), z. B. seinen großen unterirdischen Herd durch brennbare Stoffe ernähren läßt: „...heimliche Wasserleitungen kann die Mittelländische See mehrere haben, und das sind ausgebrannte Minen von Steinkohlen, Erdpeche, Schwefel, auch ausgezehrte Lagen von Kiese, dadurch das Feuer der brennenden Berge unterhalten wird." (S. 139).



© Österreichische Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at und www.biologiezentrum.at

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Alles was wir bisher besprochen haben wurde ohne die Hilfe der Biostratigraphie erzielt. Mit der Aufstellung der biostratigraphischen Methode durch CUVIER (1796, 1806), gefolgt von CUVIER & BROGNIART (1808, 1811, 1823[25]) in Frankreich und William SMITH (1815, 1816, 1817) in England im ersten Viertel des 19. Jahrhundert wurde es erst möglich eine detaillierte Geschichte der Vorwelt zu ergründen. Alle Ideen, die wir bisher erörtert haben, wurden dann im Lichte einer verfeinerten Zeitskala weiterentwickelt, mit der Ausnahme der Ideen über die Geschwindigkeit der tektonischen Prozesse. Eine Verbesserung der Modelle in diesem Punkt kam, bevor die Biostratigraphie die Bühne betrat, und zwar durch eine Umstellung des philosophischen Blickwinkels durch den großen schottischen Naturwissenschafter und Philosophen James HUTTON (ŞENGÖR, 1991a).

Die oben besprochene Hypothese von PALLAS übte einen sehr tiefgreifenden Einfluß auf die Entwicklung der erdgeschichtlichen Ideen von CUVIER.[26] George CUVIER hatte am 21. Jaunar 1796 das Aussterben der Tierarten zuerst am Beispiel der Elefanten dokumentiert (CUVIER & GEOFFROY, 1795; CUVIER, 1796; vgl. RUDWICK, 1976, S. 101) und war überzeugt, daß dies durch plötzliche Veränderungen der Umwelt verursacht sein müsse, weil die in Sibirien im Permafrost gefundenen Mammut- und Einhornleichen von ihm als Nachweis einer plötzlichen Abkühlung der Umwelt gedeutet wurden (CUVIER, 1812, S. 11, Fußnote). Plötzliche, durch tektonische Aktivität verursachte Überflutungen nach Art der PALLAS'SCHEN waren sehr geeignet, die wiederholten und (nach CUVIER) plötzlichen Umwälzungen der Vorzeit und die daran geknüpften Extinktionen zu erklären. CUVIER war ein überzeugter Positivist und ein gefrorener, mit noch frischem Fleisch erhaltener Elefant schien ihm ein viel kräftigerer Beweis für die Plötzlichkeit vorweltlicher Katastrophen zu sein, als die elegantesten theoretischen Erörterungen eines James HUTTON:

«Jugez de ce que doivent être des explicatons imaginées tranquillement dans le cabinet par des personnes auxquelles ces deux petites circonstances des phénomènes [*hier meint CUVIER die Kenntnis der ausgestorbenen Mollusken und Vertebraten in den Schichten des Pariser Beckens*] étoient inconnues.

Que doivent donc faire les corps savans, pour procurer à une science ausi intéressante et aussi utile, les accroissemens dont elle est susceptible, en dirigeant sa marche vers un but réel, et susceptible d'être atteint?

Ils doivent tenir à son égard la conduite qu'ils ont teune depuis leur établissement à l'égard de toutes les autres sciences.

Encourager de leurs élogues ceux qui constatent des faits positifs, et garder un silence absolu sur les systèmes qui se succèdent. Aussi bien les auteurs de ceux-ci se font leur part à eux-mêmes. C'est une chose curieus de les voir *tous*, à l'afut des découvertes que font les observateurs; prompts à s'en emparer, à les arranger à leurs idées, ou à s'en faire des armes contre leurs adversaires. Il semble que les anatomistes, les zoologistes, les minéralogistes ne soient que les manœuvres destinés à fournir les matériaux de leurs constructions fantastiques.

Heureusement pour l'exemple de ceux qui seroient tentés de marcher sur leurs traces, ces châteaux aëriens s'évaporent comme de vaines apparences, et l'édifice plus solide des faits et de l'induction commence à s'élever.

Le plan en est déjà, pour ainsi dire, tracé. Les bons esprits de la fin du 18e siècle ont établi les questions; ils en ont déjà résolu quelques-unes; ils ont indiqué la seule marche à suivre pour résoudre les autres.

La série des problèmes est proposée. Il ne faut plus qu'une persévérance éclairée pour remplir les cadres dont l'ensemble constituera la science.» (CUVIER, 1806, S. 324 ff.).

Für die weltweite Verfolgung der Spuren solcher vorzeitlicher Revolutionen war eine, auf sorgfältige „Tatsachensammlung" angeblich ohne „Systemschöpfung" beruhende, Biostratigraphie von großer Bedeutung. Aber wie man die biostratigraphischen Daten deutet hängt davon ab, wie man sich die Dynamik des Lebens vorstellt. Zwei Faktoren bestimmen, wie wir uns diese Dynamik vorstellen können: Zum einen unsere Vorurteile über die Frage der Schöpfung und zum anderen unsere Vorurteile über die Wechselbeziehungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt. CUVIER hatte ganz bestimmte und unerschütterliche Überzeugungen diese beide Fragen betreffend. Seine Überzeugung war es, die der biostratigraphischen Methode eine erste (obwohl später als unrichtig anerkannte) theoretische Unterlage gab, aber auch

← Abb. 8
Physische Weltkarte von PALLAS. Anstatt des eratostenischen geradlinigen Taurus sieht man hier eine mehr elliptische Bodenanschwellung in Zentralasien, die aber eine allgemeine west-östliche Orientierung hat. Die als *Alpes Septentrionales* angegebene Gebirgskette ist wieder nichts anderes als ein wenig nach Norden verlagerter Taurus, der aus einer seltsamen Mischung von Karpathen, Tien-Schan, und Kuen-Lun besteht! (PALLAS, 1779, aus SCHMIDT-THOMÉ, 1960).

[25] Ich hebe hier die Beiträge von CUVIER und BROGNIART ausdrücklich hervor, obwohl SMITH oft allein als der Begründer der biostratigraphischen Methode angesehen wird (z. B. FENTON & FENTON, 1952, S. 70 ff.; KUMMEL, 1970, S. 8; BRUNO, 1987, S. 216). Einige Historiker in der letzten Zeit sind den Fußstapfen solcher Geologen wie DE LAUNAY (1905, S. 76 f.) gefolgt, die Rolle von CUVIER und BROGNIART zu rehabilitieren (z. B. LAUDAN, 1987; GOHAU, 1990; und neuerdings auch wieder einige Geologen wie HALLAM, 1989), aber diese Bestrebungen wurden oft scharf kritisiert (SARJEANT, 1988, 1991 und ganz besonders 1992 für Angaben anderer diesbezüglicher und wenig bekannter Schriften). Wenn ich trotzdem auf das Werk der Franzosen Gewicht lege, geschieht dies aus zwei Gründen: Erstens haben SMITH und CUVIER die *Horizontgebundenheit der Fossilien* nach den vorhandenen Dokumenten gleichzeitig entdeckt. Die *Zeitgebundenheit der Fossilien* war aber eine Entdeckung CUVIERS allein. SMITH schrieb seine Gedanken zum ersten Male am 5. Januar, 1796 in seinem „Buch", das nur ein privates Notizbuch war (PHILLIPS, 1844, S. 17 f.; SMITHS „friend and pupil" John FAREY sagte dagegen, daß SMITH seine Entdeckung bereits 1795 seinen Bekannten erklärt hatte: vgl. GEIKIE, 1905, S. 394, Fußnote. DE LAUNAY sagt, daß SMITHS stratigraphische Studien schon 1794 begonnen wurden; ich weiß nicht worauf DE LAUNAY diese Äußerung begründet. WOODWARD, 1911, S. 33, schreibt aber, daß SMITH erst 1795 seine erste stratigraphische Sammlung zusammengetragen hatte) und CUVIER las seine Arbeit über die fossilen Elefanten, die das Aussterben der Arten zum ersten Male fest dokumentierte, am 21. Januar, 1796; zweitens, weil SMITH keine Theorie für die Begründung seiner Stratigraphie entwickelte. CUVIER dagegen hatte eine Theorie und diese gab ihm und seinen Anhängern das Vertrauen, die biostratigraphische Methode weltweit zu verwenden. Ich betrachte die universal-katastrophistische Theorie CUVIERS als den wichtigsten Anstoß für die rasche Ausbildung der geologischen Zeitskala in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts (vgl. auch NEUMAYR, 1887a, S. 26 und SUESS, 1901b, S. 1), gebe aber zu, daß speziell in England, wo die paläozoische Stratigraphie begründet wurde, der Einfluß SMITHS entscheidend gewesen ist (wie dies auch in der von SEDGWICK vorgeschlagenen Bezeichnung von SMITH von der Geological Society of London als der „Vater der Englischen Geologie" bestätigt wird). Ohne die biologisch-geologische Theorie CUVIERS hätte aber die Biostratigraphie als eine selbständige Methode sich nach den alleinigen Vorschriften von SMITH nicht entwickeln können. Wenn eine scheinbare Wiederholung der Fossilgruppen in verschiedenen Lagen einer Sequenz vorkam, wußte SMITH nichts besseres, als die WERNER'SCHE Stratigraphie als Erklärung: Ich zitiere aus seiner eigenen Schrift: "Cockscomb Oysters are also common both to that rock, and to the Septaria above; in fact those large Clay-balls found plentifully in the deep cutting of the north Wilts Canal seemed to partake both of the inhabitants of the rock above, and of that below the Clay; the Trigonia of the Clay-balls being the same species as those large ones which compose the chief part of some beds of stone, about four feet thick, near the bottom of the Swindon rock.
It may at first appear that the identification of Strata, by the organized fossils they contain, would in such cases be somewhat doubtful; but in the course of the work I shall make further remarks on such apparent repetitions, which will rather show the great utility of them,..." (SMITH, 1816, S. 18). Was er dann über dieses Thema bemerkt is sehr WERNERISCH: "...but this is only one of the many instances of the general resemblances of organised Fossils, where the strata are similar." (SMITH, 1816, S. 22).

[26] Vgl. besonders COLEMAN (1964, S. 113), wo er dokumentiert, daß CUVIER bereits im Jahre 1797 (also nur einem Jahr nach seinem bahnbrechenden Vortrag über die fossilen Elefanten am 21. Januar 1796!) über die Arbeiten von PALLAS in Sibirien durch seinen Hamburger Freund J. A. H. REIMARUS unterrichtet war.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 9
Nicolaus STENONIS (Niels STENSEN, 1638-1686) von einem unbekannten Maler (Uffizien, Florenz).

eine Rechtfertigung für paläogeographische Studien bedeutete.

Um CUVIERS Weltbild etwas näher kennenzulernen, müssen wir wieder zurück in die Renaissance gehen, um in die Gedankenwelt der ersten modernen Schöpfer der Stratigraphie einzudringen.

Die oben angedeutete zweite Grundidee von ERATOSTHENES, die er in ihren groben Umrissen von seinen quasi-legendären Vorgängern wie EPIMENIDES übernommen hatte, daß Gebirge, und speziell sein gewaltiger transkontinentaler Taurus, aus dem Meer gestiegen seien, bewährt sich heute noch und damit möchten wir uns ja heute hauptsächlich befassen. Dies ist auch eine der fundamentalen Annahmen der biostratigraphischen Methode gewesen. Daß die großen Gebirgsketten unserer Erde beinahe ausschließlich aus vorzeitlichen Meeresablagerungen bestehen ist eine Erkenntnis, die wir zum größten Teil den Forschern wie STENO (1667, 1669; Abb. 9) und HOOKE (WALLER, 1705) verdanken, obwohl der geniale Leonardo da VINCI sich schon früher dessen bewußt gewesen war. Dazu mußte ja die wahre Natur der Fossilien erkannt werden, wie es Leonardo geäußert hatte, aber nie publizierte.

Sowohl Leonardo als auch STENO verdanken die Inspiration ihrer Vorstellungen ihren Beobachtungen, die sie in den Apenninen gemacht hatten. Mit ihnen können wir vielleicht die moderne, unmittelbar zu unseren Vorstellungen führende Vorgeschichte des Tethysbegriffes beginnen lassen.

Anderswo bin ich einer Spekulation von ELLENBERGER (1988) gefolgt: STENO müsse durch seinen Freund, den Bibliothekar des Ambrosio in Mailand, Manfredo SETTALA, die Manuskriptnotizen des Leonardo gesehen haben (ŞENGÖR, 1991a). Darin glaubte ich den Grund zu sehen von STENOS strenger biblischer Deutung der geologischen Geschichte der Gebirge Toskanas sozusagen als Reaktion eines tiefgläubi-

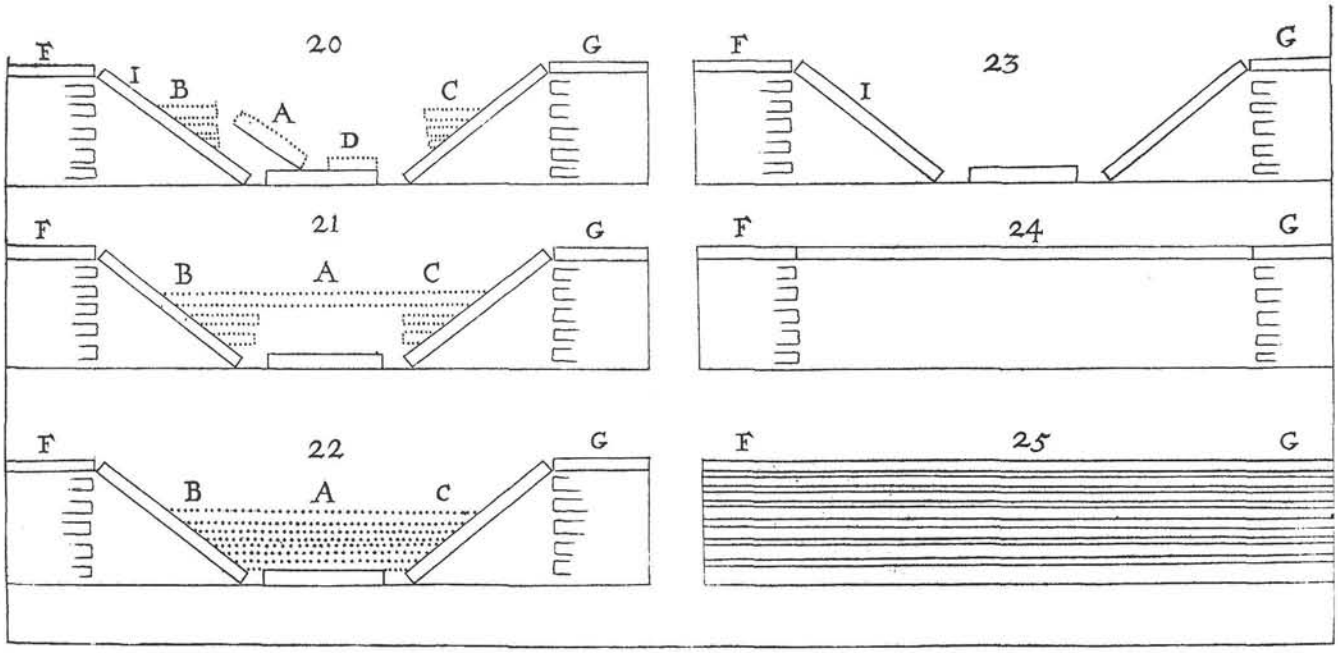


Abb. 10
Geologische Geschichte Toskanas nach der Vorstellung von STENO (1669, Figs. 20-25). STENOS Erläuterungen lauten: „Fig. 25 zeigt die horizontale Ebene Toskanas in der Zeit, in der die Steinschichten noch unversehrt und dem Horizont parallel waren, Fig. 24 ungeheure Hohlräume, die entweder durch die Gewalt von Feuer oder Wasser ausgehöhlt wurden, während die oberen Schichten unberührt bleiben. Fig. 23 zeigt die durch den Zusammenbruch der obersten Schichten entstandenen Berge und Täler, Fig. 22 die Erzeugung neuer Schichten in den besagten Tälern durch das Meer. Bei Fig. 21 ist von den neuen Schichten ein Teil der unteren zerstört, die oberen sind unberührt, und bei Fig. 20 sind die durch den Zusammenbruch der oberen Sandschichten entstandenen Hügel und Täler sichtbar." (Übersetzung von K. MIELEITNER, in STENO, 1923).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

gen entgegen den ausgesprochen antireligiösen Aussprüchen von Leonardo. Natürlich war dabei STENO auch anderen gefolgt, wie z. B. FAVENTIES (1561[27]) oder AGRIPPA (1584): Aber wir vermissen in seinen „tektonischen" und „paläogeographischen" Deutungen den Scharfsinn und die Originalität, die wir in seinen Interpretationen über die Sedimentation und Schichtenbildung und auch in seinen früheren anatomischen Studien sehen. Irgendwie fühlt man in den erdgeschichtlichen Spekulationen von STENO eine von religiösem Glauben gezwungene unfreie Hand!

Aber hier tritt bei STENO auch eine Überzeugung vom regelmäßigen Verhalten der Natur und einer nicht-aktualistischen Naturgeschichte auf. Hier sehen wir einen Parallelfall zu den regularistischen Kartenzeichnern der Renaissance! In seiner biblischen Deutung der Erdgeschichte spiegelt sich dieses nicht aktualistische Leitbild wieder. Rückzug und Wiedereinmarsch der Meere wie auch die Aufrichtung der Gebirge betrachtet STENO als episodische und plötzliche Ereignisse, die sich nach dem Gesetz Gottes abspielten. Da diese Ereignisse plötzlich stattfinden mußten, um sie innerhalb der kurzen biblischen Chronologie überhaupt zu ermöglichen[28], mußten auch die Zeitmarken in der Gesteinsfolge dieser Plötzlichkeit entsprechen. STENO wählte die Diskordanzen als seine Zeitmarken und deutete die dazwischenliegenden Schichtpakete als Produkte zweier großer Meeresfluten. Deren erste sollte die Entstehung der Welt, und deren zweite sollte die Sintflut repräsentieren (Abb. 10). Mit dieser Deutung kam die Vorstellung, daß wir in den Schichtverbänden nicht nur Bruchstücke einer Geschichte, sondern ein getreues Abbild der ganzen Geschichte registriert sehen. Gestein wurde damit mit der Zeit gleichgestellt und somit wurde STENO zum Begründer der Lithostratigraphie. Diese Deutung machte auch eine positivistische Einstellung möglich: Da die vorliegenden geologischen Objekte *die ganze* Geschichte repräsentierten, brauchte man nichts anderes als sorgfältige Beobachtung und man konnte diese Geschichte rekonstruieren!

Es ist in der geologischen Fachwelt allzugut bekannt was mit dieser Lithostratigraphie nach STENO geschah und eine Erörterung dieser Geschichte würde von unserem aktuellen Thema zu weit wegführen. Ich möchte hier nur einen unter seinen späteren Nachfolgern, nämlich Abraham Gottlob WERNER (Abb. 11), als Anhaltspunkt in unserer Geschichte erwähnen. Mit diesem Namen ist eine positivistische Weltanschauung und eine katastrophistische Erdentwicklungstheorie (trotz GOETHE und OSPOVAT!) verbunden. WERNERS großes Verdienst war es, daß er seinen Schülern die feste positivistische Überzeugung übertrug, es sei möglich, mithilfe der (Litho-)Stratigraphie Gesteinsverbände zu korrelieren und dabei eine Geschichte der Erde zu ergründen.[29] Der geniale Anatom CUVIER teilte diese Überzeugung.[30] Er zeigte aber, daß Fossilien bessere Führer für Korrelationen wären als die Gesteine selbst. Für CUVIER waren nicht Gesteine, sondern Fossilien die Zeitäquivalente. Beide Interpretationen aber fußten auf derselben

ABR^AM THÉOPHILE WERNER
(Géologiste et minéralogiste),
Associé étranger de l'Académie royale des Sciences,
Professeur de minéralogie à Freyberg
et Conseiller des mines de Saxe.
Né à Wehrau dans la haute Lusace en 1750.
Mort à Dresde en 1817.

Abb. 11
Abraham Gottlob WERNER (1749-1817).

Vorstellung globaler Umwälzungen in der Erdgeschichte und auf einem Leitbild eines regelmäßigen aber nicht-aktualistischen Verhaltens der Natur. Eine Vorstellung, die gewonnen wurde durch eine positivistische Einstellung gegenüber dem Naturstudium.[31]

Was die Natur solcher Umwälzungen gewesen war, interessierte WERNER und CUVIER wenig. Während WERNER glaubte, die Existenz dieser Umwälzungen durch Diskordanzen in Schichtpaketen nachgewiesen zu haben (Abb. 12)[32], glaubte CUVIER durch den Erhaltungszustand der Fossilien die Plötzlichkeit der Umwälzungen dokumentiert zu haben.[33] Ein mögli-

[27] Das wichtigste aus diesem winzigen Büchlein wurde auf die Bitte von Frank D. ADAMS von John MACNAUGHTON ins Englische übersetzt und zwischen den Seiten 348 und 357 der jetzt klassischen *The Birth and Development of the Geological Sciences* von ADAMS (1938) publiziert. ADAMS' Buch ist meine Quelle gewesen.

[28] Für STENO spielte die biblische Chronologie die gleiche Rolle wie die gefrorenen Mammuts von Sibirien für CUVIER. Beide bedeuteten zuverlässige Zeitmesser.

[29] Für WERNERS Stratigraphie vgl. besonders BIGNEL (1934), WAGENBRETH (1967) und die historisch-kritische Ausgabe und englische Übersetzung von OSPOVAT (1971) der WERNER'SCHEN *Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten* (1786 u. 1787).

[30] Ich finde die Übereinstimmung zwischen der Darstellung WERNER'S (SEMPER, 1914) und derjenigen CUVIER'S (COLEMAN, 1964) erstaunlich, weil die Ähnlichkeiten zwischen diesen beiden bedeutenden Wissenschaftern in den beiden voneinander völlig unabhängigen Darstellungen bis in die kleinsten Details gehen.

[31] Um die erkenntnistheoretischen Grundgedanken von CUVIER zu erfassen, vgl., außer seinem *Discours Préliminaire* (CUVIER, 1912), den kurzen Bericht über das Buch von Herrn André (CUVIER, 1806; vgl. das Zitat oben auf der S. 21).

[32] Daß diese Umwälzungen für WERNER katastrophale Fluten waren wurde von seinen Schülern während seiner Vorlesungen niedergeschrieben. Vgl. OSPOVAT (1971, S. 21 und Anm. 14).

[33] CUVIER dürfte seinen Vorstellungen über die Natur solcher Umwälzungen Ausdruck verliehen haben, jedoch nur privat und ganz zurückhaltend! Er schrieb an Herrn Henry DE LA FITE in einem nicht datierten Brief (wahrscheinlich aus der Mitte der 20er Jahren; die Skizze wurde datiert 17. April 1824): „und wenn ich mich

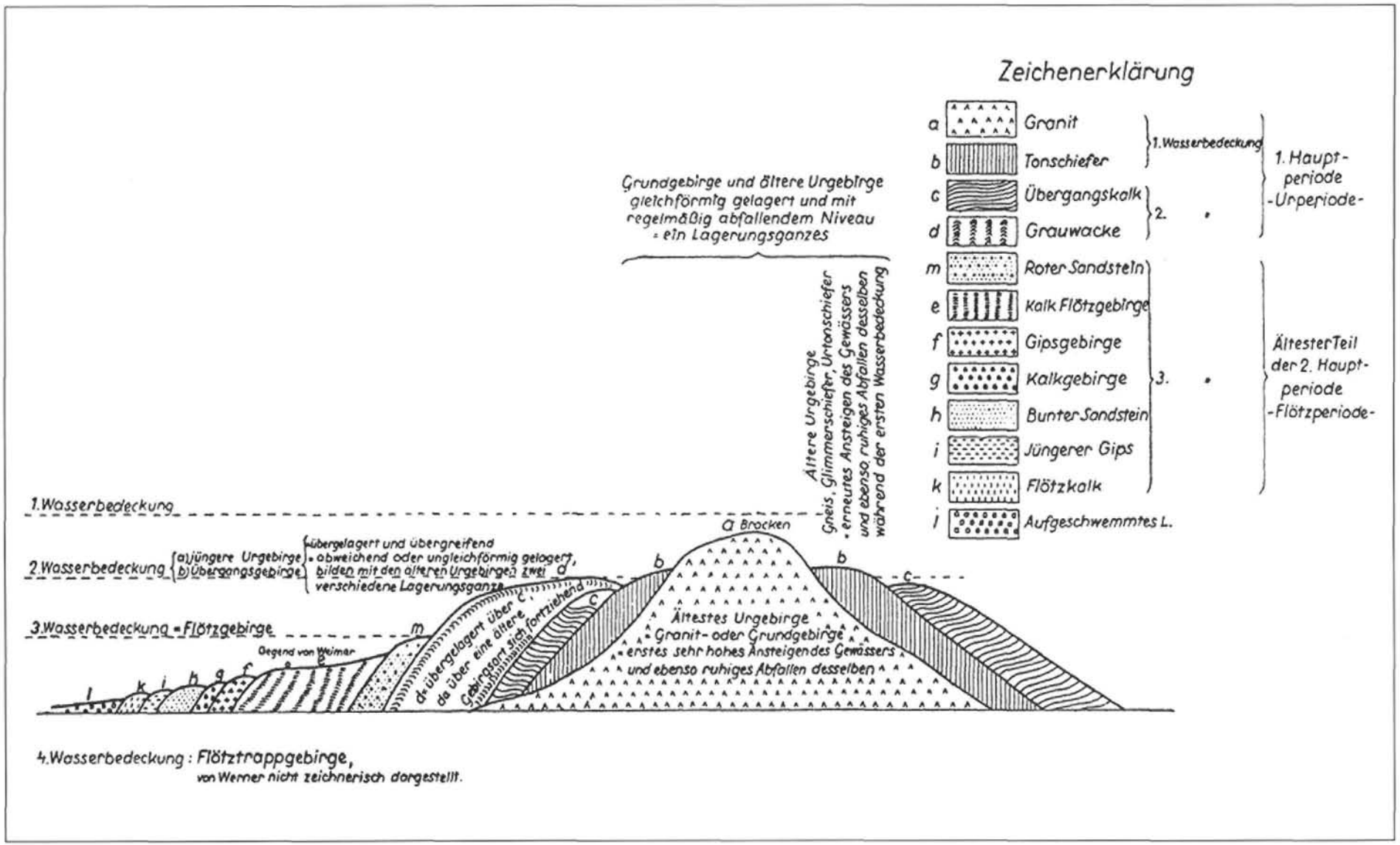


Abb. 12
WERNERS Theorie der Gebirgsbildung dargestellt von Heinrich BIGNEL (1934, Fig. 2).

© Österreichische Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at und www.biologiezentrum.at

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

cher Mechanismus solcher Revolutionen wurde 1778 von PALLAS vorgeschlagen.[34] Die Bearbeitung der Details wurde jedoch von einem ehemaligen Schüler WERNERS, dem Freiherrn Leopold VON BUCH (Abb. 13), unternommen. Nach ihm wurden die großen Gebirge unserer Erde und speziell die Alpen durch einen katastrophalen Magmaauftrieb (Augitporphyr!) entlang einer der Gebirgsachse subparallelen Spalte aufgerichtet (VON BUCH, 1822a, 1824a, 1827). Wie in der Hypothese von PALLAS sollte diese Aufrichtung so schnell stattgefunden haben, daß das vorzeitliche Meerwasser, welche das künftige Gebirge bedeckten, von der Gebirgsachse in Form großer Flutwellen weggetrieben wurden (VON BUCH, 1822b, 1827). Auf diese Weise erklärte VON BUCH auch die alpinen Geschiebe (VON BUCH, 1827).

Einer zentraleuropäischen bergmännischen Tradition folgend, in welcher er von WERNER geschult worden war, glaubte VON BUCH, daß tektonische Gebilde unterschiedlichen Alters auch verschiedene Streichrichtungen haben sollten.[35] In einer später sehr berühmt gewordenen Schrift hat VON BUCH im Boden Deutschlands vier selbständige „geognostische Systeme" erkannt, die er aufgrund der Streichwerte und der Deformationsalter voneinander trennte (VON BUCH, 1824b). Die Annahme, daß jedem Gebirgssystem eine die Aufhebung herbeiführende Spalte (oder Spaltensystem?) zugeordnet gewesen sein mußte, war die Grundidee. VON BUCH gab allen Gebirgssystemen lokale geographische Namen. Im Prinzip war dies nicht viel mehr als eine Multiplikation des ERATOSTHENISCHEN Taurus. Anstatt eines einzigen Gebirgssystems erkannte VON BUCH vier einander durchschneidende und daher altersverschiedene Gebirgssysteme. Die Prinzipien, die er aber dabei benützte waren nicht viel fortschrittlicher als diejenigen ERATOSTHENES'. Was dabei aber sehr wichtig und in einem gewissen Sinne neu war, war die Idee, daß verschiedene Gebirgssysteme durch verschiedene Umwälzungen in der Geschichte der Erde entstanden sein sollen. Diese VON BUCH'SCHE Hypothese eröffnete innerhalb weniger Jahren den Weg zur Aufstellung einer einflußreichen Theorie der Gebirgsbildung.

Der junge und scharfsinnige Französiche Geologe und spätere Nachfolger CUVIERS auf dem Lehrstuhl der Collège de France, Leonce ÉLIE DE BEAUMONT (Abb. 14), war von den oben besprochenen Ideen CUVIERS und VON BUCHS gefesselt.[36] Als Absolvent der École Polytechnique bewunderte er

LE Bon LEOPOLD DE BUCH
(Géologiste.)
Membre de l'Académie des Sciences de Berlin
et Correspondant de l'Académie des Sciences de Paris,
Né dans les Etats prussiens.

Abb. 13
Christian Leopold von BUCH Freiherr von Gelmersdorf (1774-1853).

die mathematische Präzision physikalischer Gesetze. Er glaubte, die Ideen CUVIERS und VON BUCHS zu einer gleichfalls präzisen Theorie der Erdentwicklung kombinieren zu können: «M. Cuvier a montré que la surface du globe a éprouvé une suite de révolutions subites et violantes. M. Léopold de Buch a signalé des différences nettes et tranchées entre les divers systèmes des montagnes qui se dessinent sur la surface de l'Europe. Je ne fais autre chose qu'essayer de mettre en rapport ces deux ordres d'idées»

über die physikalischen Ursachen [*der letzten Katastrophe*] ausdrücken darf, ich würde sagen, daß die vernünftigste Vermutung wäre, daß sie durch einige Rupturen in der Kruste des Globus verursacht worden wären, die das Niveau und die Position der Meere verändert hatten, wie dies bereits während der noch früheren Katastrophen geschehen war". Wie diese Rupturen überhaupt zustande kamen, wollte CUVIER wahrscheinlich nicht sagen. Wir wissen nicht ob er in dieser Frage den Neptunisten zuzuordnen ist und einen Einsturz im Sinne von STENO annahm, oder aber sich eine plutonische Katastrophe im Sinne von PALLAS vorstellte: „Ich muß mich aber auf diese ganz allgemeinen Bemerkungen beschränken und ich bringe sie hervor nur als Ausdrücke einer einfachen Vermutung. Um mehr Präzision zu wünschen, um zu versuchen die fernen Ursachen zu erklären und, besonders, das Wie und Warum jeder kleinen Tatsache wiedergeben, ginge viel weiter als unsere jetztige Kenntnis erlauben würde." (COLEMAN, 1964, S. 135; übersetzt von COLEMANS Übersetzung ins Englische von einem französischen Manuskript im Muséum d'Histoire Naturelle in Paris [CUVIER-Archiv, Dok.-Nr. 627]). Vgl. auch CUVIER (1825, S. 284). Nur einmal ist uns eine Äußerung des großen Naturalisten erhalten geblieben, daß ein Kometsturz auf die Erde, wie seinerzeit vom NEWTON-Schüler WHISTON vorgeschlagen worden war, die Katastrophen vielleicht erklären könnte (RUPKE, 1983a, p. 77; 1983b, p. 40).

[34] Eine Lektüre der CUVIER'SCHEN *Discours Préliminaire* zeigt, daß er bei der Deutung der großen Umwälzungen als gewaltige Überflutungen auch unter dem Einfluß von Jean-André DE LUC stand.

[35] Z. B. BOUÉ (1836, S. 124): "'this notion of the contemporaneity of parallel fractures and diachroneity of intersecting fractures' ...was also an axiom of the school of Freiberg." Alexander VON HUMBOLDT schrieb an Charles DARWIN, daß der Kluft- und Gangformation vom Blickwinkel des Verhaltens des Planeten die gleiche Bedeutung zukäme (BURKHARDT & SMITH, 1986, S. 220). Auch in *Fragmente einer Geologie und Klimatologie Asiens* (1831[1832], S. 47) und in *Asie Centrale* (1843a, S. 127) begegnen wir derselben Idee (vgl. unten die Zitate auf S. 28 & 34). Dies bedeutet, daß auch die durch Emporsteigen eines Magmas entlang einer Kluft verursachten Gebirge den gleichen Gesetzen gehorchen sollten. Das ist genau was Leopold VON BUCH und ihm folgend ÉLIE DE BEAUMONT postulierten (vgl. besonders DE LAUNAY, 1905, S. 76-80).
Später hat ein Schüler von ÉLIE DE BEAUMONT, SAINTE-CLAIRE DEVILLE (1878, S. 496) dies mit den folgenden, aus ÉLIE DE BEAUMONTS Artikel über die *Sytèmes des Montagnes* in der *Dictionnaire Universel d'Histoire Naturelle* zitierten Worten (ÉLIE DE BEAUMONT, 1849, S. 169) bestätigt: "Il y a donc synonymie entre ces termes:
Direction moyenne d'un système de fractures.
" " d'un système de couches redressées.
" " d'un système de montagnes."

[36] FÜR ÉLIE DE BEAUMONTS wissenschaftliche Tätigkeit und für zeitgenössische Zusammenfassungen seiner Ideen, vgl. GUYERDET (1875), POTIER (1875), SAINTE-CLAIRE DEVILLE (1878), ZITTEL (1899, S. 451 ff.). Vgl. auch FALLOT (1939) und GREENE (1982, S. 69-121). FALLOTS Würdigung und Deutung der Beiträge von ÉLIE DE BEAUMONT leiden aber unter seiner unausreichenden Kenntnis der Geschichte der Geologie.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 14
Jean Baptiste Armand Louis Leonce ÉLIE DE BEAUMONT (1798-1874).

(ÉLIE DE BEAUMONT, 1829 [-1830], S. 8). Als guter Kenner der Schriften STENOS, betrachtete ÉLIE DE BEAUMONT die Winkeldiskordanzen als die Momente der Aufrichtung der Gebirge. Mithilfe der Hypothese Gestein = Zeit korrelierte ÉLIE DE BEAUMONT 1829 und 1830 in einer von ARAGO viel gepriesenen positivistischen Schrift die markantesten Diskordanzen Europas zu 10 Epochen weltweiter Gebirgsbildung. Die Gebirge sollten geradlinig, oder aus geradlinigen, altersverschiedenen Segmenten zusammengesetzt sein. Parallel streichende Gebirge wurden als gleichaltrig angesehen (Abb. 15; vgl. Fußnote 35 oben).

Diese für damals sehr gewagte aber auch großartige Synthese erregte viel Ansehen und fand viele Anhänger.[37] Große Geister wie Alexander VON HUMBOLDT (Abb. 16) und Carl RITTER (Abb. 17) fanden die Ideen ÉLIE DE BEAUMONTS äußerst fruchtvoll. VON HUMBOLDT (1831[1832[38]]) benützte sie, die Leitlinien des Alpen-Himalaya-Systems zu interpretieren. In VON HUMBOLDTS Benützung der Theorie ÉLIE DE BEAUMONTS sehen wir deutlich die bis zu PALLAS hinabreichenden Wurzeln dieser Ideen:

„Die Epoche der großen geognostischen Revolutionen war diejenige, in welcher der Verkehr zwischen dem flüssigen Inneren des Planeten und seiner Atmosphäre viel lebhafter und an einer viel größern Anzahl von Punkten wirksam war, wo eben der Drang nach diesem Verkehr in verschiedenen Zeitaltern und nach verschiedenen Richtungen (die wahrscheinlich durch die Verschiedenheit dieser Epochen bedingt sind) über Längenrisse die Cordilleren emporhob, so wie den Himalaya und die Anden, Gebirgszüge von geringerer Erhebung, jenen Hügel- und Stufenboden, dessen mannigfache Wellenbildung die Landschaften unserer Ebenen verschönt. Als Beweis für diese Erhebungen und (nach den großartigen und geistreichen Ansichten Elie de Beaumont's) charakteristisch für das relative Alter der Gebirge gilt das, was ich in den Anden der Neuen Welt, in

Abb. 15 →
ÉLIE DE BEAUMONTS „Skizze der manche Gebirgssysteme dominierenden Richtungen" aus seiner Abhandlung über die Umwälzungen der Erdoberfläche aus den Jahren 1829-1830 (Karte im 19. Band 1830 publiziert). Man beachte die sehr gekünstelten Richtungen, die eine Schematisierung ad absurdum führen. Ohne den festen Glauben an eine angenommene geometrische Regelmäßigkeit wäre es auch damals nicht möglich, eine solche Karte zu zeichnen. ÉLIE DE BEAUMONTS Glaube an die geometrische Anordnung der Gebirge wurde nicht nur von seinem regularistisch-katastrophistischen Leitbild (ŞENGÖR, 1991a), sondern auch durch die damals vorhandenen kleinmaßstäbigen Karten und die darauf basierenden geographischen Vorurteile sehr unterstützt.

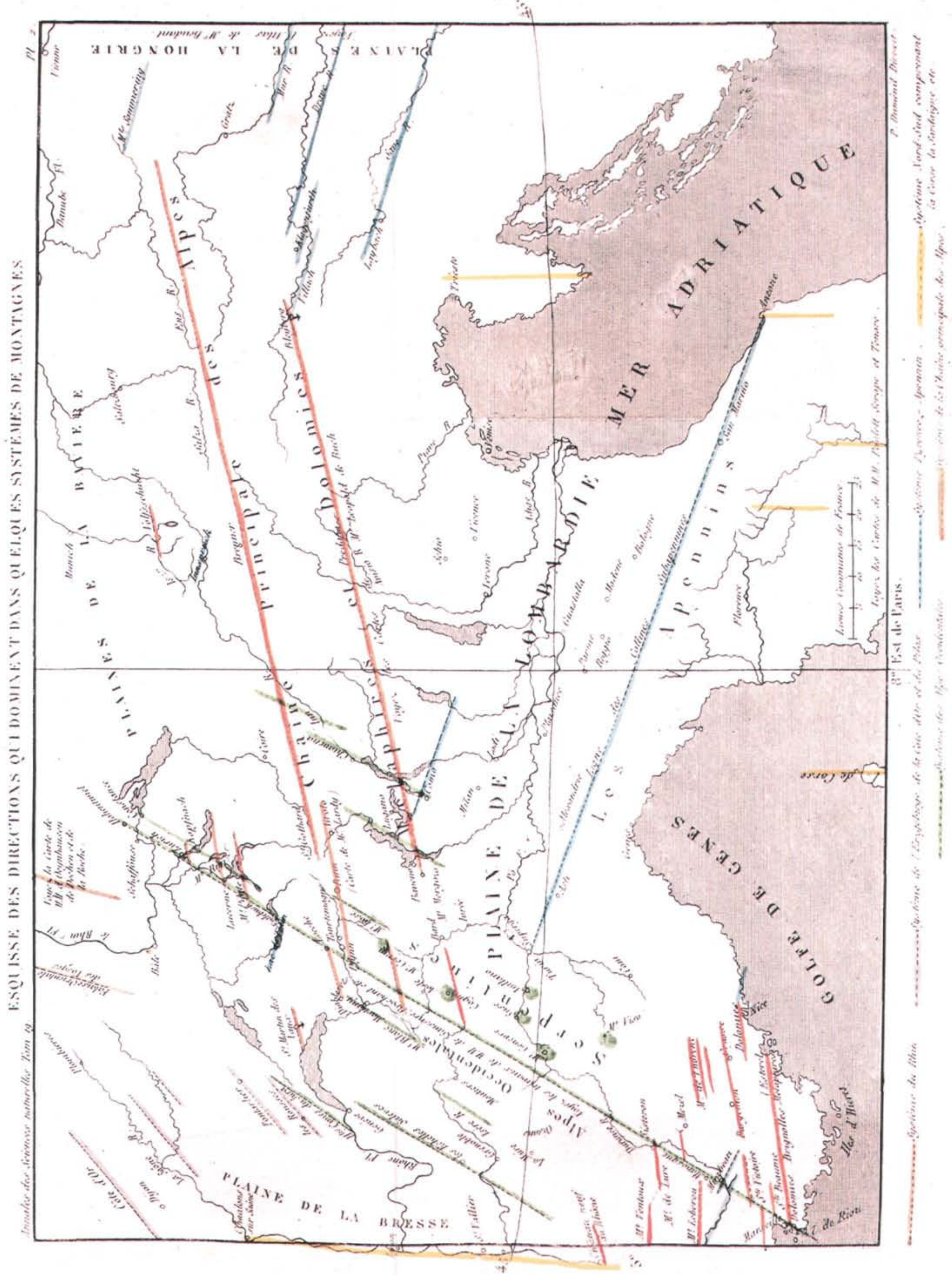
Cundinamarca, gesehen habe, gewaltige Kieselformationen, die sich von den Ebenen des Magdalenen- und Metastromes fast ununterbrochen über Hochebenen von vierzehn- bis sechshundert Toisen Höhe ausbreiten, was ich jüngst auch im Norden Asiens, in dem Uralzuge gesehen, dieselben Knochenreste einer antidiluvianischen [*sic!*] Thierwelt (so bekannt in den niederen Gegenden der Kama und des Irtysch) zerstreut auf dem Rücken des Gebirgszuges, in den Hochebenen von Beresowsk und Jekatherinenburg, in den zugehörigen Gebieten, die reich an Gold, Diamanten und Platina." (VON HUMBOLDT, 1832, S. 10 f.; Hervorhebung VON HUMBOLDTS).

Abb. 16
Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander Freiherr VON HUMBOLDT (1769-1759).

[37] BOUÉ (1836, S. 123) schrieb, z. B. "It is only to Mr. Lyell that M. de Beaumont seems to stand opposed. Every one [*sic!*] knows and acknowledges that most of the upheavings (*redressemens*) were produced by a series of violent and rapid movements."

[38] Ich zitiere hier eine 1832 publizierte deutsche Übersetzung des französischen Originals VON HUMBOLDTS.

© Österreichische Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

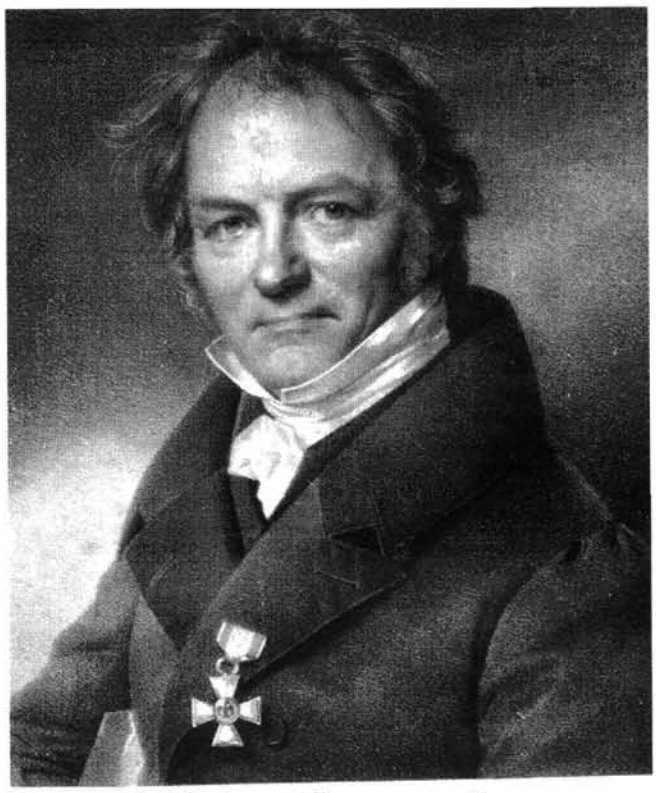


Abb. 17
Carl RITTER (1779-1859).

Indem VON HUMBOLDT Gebirgsbildung und plutonische Gangbildung als ein und denselben Vorgang betrachtet, folgt er hinsichtlich der Entstehungsgeschichte der Gebirge den Ausführungen ÉLIE DE BEAUMONTS (ÉLIE DE BEAUMONT wurde VON BUCHS plutonischen Ideen inspiriert. VON BUCHS Ideen stammen wiederum von seinem bergmännisch-neptunischen Vorbild WERNER):

„Jenseits des Meridians von 69° und 70° ist nur eine Kette, die des Hindu-Kho, welche gegen *Herat* abfällt, sich aber südlich von *Asterabad* gegen den vulkanischen Schneegipfel *Demavend* wieder mächtig erhebt. Das Plateau von Iran, das in seiner großen Ausdehnung von Teheran nach Schiraz eine mittlere Höhe von 650 Toisen zu haben scheint, streckt gegen Indien und Tübet gleichsam zwei Arme aus, die Himalaya- und Kuenlun-Kette; und bildet eine Bifurcation der Spalte, auf der die Gebirgsmassen emporgestiegen sind. Der Kuenlun kann also wie ein *anschaarendes Trumm* des Himalaya betrachtet werden. Der Zwischenraum (Tübet und Katschi) ist durch viele Klüfte in mannigfaltiger Richtung zerrissen. Diese Analogie mit den gemeinsten Erscheinungen der Gangbildung (schwärmenden Trümmern und Stockwerken) offenbart sich am deutlichsten, wie ich an einem anderen Orte entwickelt, in dem langen und schmalen Zuge der Cordilleren des Neuen Continents" (VON HUMBOLDT, 1832, S. 46 f. und Abb. 18 hier; Hervorhebung VON HUMBOLDTS).

1832 publizierte der große Geograph Carl RITTER den ersten Band seiner 19bändigen monumentalen *Erdkunde von Asien*. Hier vertrat der Freund VON HUMBOLDTS dieselben Ansichten wie VON HUMBOLDT und erwies sich auch als getreuer Anhänger von ÉLIE DE BEAUMONT. Im folgenden Zitat gebe ich einen längeren Textausschnitt aus dem Buch RITTERS wieder. Er enthält m. E. die beste Darstellung des gesamten, heute zu einer Gebirgswelt gewordenen Tethys-Gebietes von Eurasien aus dem Blickwinkel der Gebirgsbildungstheorie ÉLIE DE BEAUMONTS. In diesem Zitat sehen wir auch, wie der große Geograph des 19. Jahrhunderts noch die Terminologie und die Vorstellungen seines alexandrinischen Vorgängers ERATOSTHENES aus dem 2. Jahrhunderte v. C. verwendet, besonders in der Beschreibung des Taurus-Gebirges (zu der Beschreibung siehe Abb. 19a & b):

„Das östliche Hoch-Asien ist vom westlichen, oder West-Tübet von Ost-Iran, durch seine Naturform geschieden ... Beide größere Massen stoßen nicht mit ihren Längenseiten, sondern mit ihren entgegenstehenden Ecken zusammen; nämlich die Süd-West-Ecke, West-Tübet und die Hohe Bucharei, mit der Nord-Ost-Ecke, Ost-Iran oder Afghanistan. Das verbindende Mittelglied in jener merkwürdigen Verengung des Hochlandes ist seit Alexander des Großen Eroberungszuge unter dem Namen des Indischen Kaukasus bekannt geworden; es heißt noch heute Hindu-Khu, oder Khusch, das Indische Hochgebirge; es bildet nicht bloß eine einfache Kette, sondern ein System von Gebirgsketten der größten Erhebung, ein wahres Alpengebirgsland, das beide Hochländer verbindet...

Zu diesem eigenthümlichen Zusammenstoße zweier so großartiger Massenerhebungen kommt eine andere Eigenthümlichkeit, welche in der vorherrschenden Normaldirection ihrer Gebirgszüge von O.S.O. gegen W.N.W. besteht, wodurch im Bau des ganzen Gebirgssystemes der merkwürdige Parallelismus hervortritt, der seinen Einfluß beim ersten Blick auf die mehrsten der Randgebirge, der Plateauketten und selbst manche der begleitenden Vormassen unverkennbar bewährt [*unverkennbar ist der Einfluß des ERATOSTHENES via STRABON!*].

Ueber so große Räume fortgesetzt, läßt er auf eine eben so großartige als gemeinsame Ursache der großen Erscheinung zurückschließen; etwa[39] auf gangartige, aus dem Innern bedingte, insgesamt gegen N.W. ziehende Spalten, aus denen an den Rändern, wie in der Mitte ihrer hohen Massen, oder von ihnen abgerückt zu den Seiten, einst die Gebirgsketten hervorgehoben wurden durch unterirdische Gewalten. Da dieses aber nicht mit gleichhebender Gewalt, noch überall gleichzeitig, sondern nur aufeinanderfolgenden Perioden geschehen konnte, demnach also ebenfalls in der Erhärtung der Erdrinde oder in Bedeckung ihrer Oberflächen verschiedenartige Hemmungen entgegentreten mußten: so fanden frühere und spätere, ältere und jüngere Hebungen statt, wie dies die verschiedene geognostische Natur der Gebirgsarten zeigt, denen aber durch anfängliche Erdspalten von innen nach außen die Wege bereitet waren. Diese großartige Hypothese[40], welche so verschiedenartig räumliches, der Systematik seiner topischen Anordnung noch in genetische Reihen und in einen lehrreichen Causalzusammenhang der Erscheinungen zu ordnen sucht, deren innere geognostische Construction, hier im Orient noch unergründet, aber der im Abendlande und der neuen Welt erforschten analog hypothesirt werden dürfte, diene hier nur, da kein ruhiger Meeresabsatz solche Probleme löst, dazu, uns Gesamtverhältnisse bis auf einstige tiefere Erforschungen lebendig zu veranschaulichen, und den kleinern Differenzen oder Abweichungen nicht mehr Werth für das ganze Verhältnißsystem beizulegen, als sie für das Einzelne verdienen, welches bei Localbeschreibung überall specieller berücksichtigt werden wird. Unverkennbar ist dieser Parallelismus des Südrandes in der diagonalen Normaldirection, zwischen den Meridianen und Parallelkreisen, sowol des östlichen als des westlichen Hoch-Asiens, in der ganzen Längenerstreckung desselben. Der Südabfall des Tübetplateau's den das Randgebirg des Himálaya-Systems bezeichnet (vom 137-90° O. L. v. Ferroe, 600 geogr. Meilen lang), streicht vollkommen parallel mit dem Südabfalle des Iran-Plateau's, dessen südlicher Grenzwall das Taurus-System (vom 85°-45° O. L. v. F., 540 geogr. M. lang) von der Mündung des Indus bis zum Westkap des Klein-Asiatischen [*sic!*] Taurus, in Lycien, dem *Cragus Mons* und dem *Chimaera Promontor*, der Insel

[39] Hier fügt RITTER die folgende Anmerkung hinzu: "A. v. Humboldt Ueber Vulkane Inner-Asiens p. 320 l. c."

[40] Die folgende Anmerkung kommt hier im Texte von RITTER vor: „L. v. Buch über die geognostischen Systeme von Deutschland, nebst Karte. 1824. und Él. de Beaumont Recherches sur quelques-unes des Revolutions de la surface du globe etc. in Annales des Sciences natur. p. Audouin et Brogniart. Par. Tom. XVIII. u. XIX. 1830."

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 18
VON HUMBOLDTS erste Karte der Bergketten und Vulkane in Zentralasien (aus: VON HUMBOLDT, [1831] 1832). Man beachte den fortdauernden Einfluß des eratosthenischen Begriffs „Taurus" in der Zeichnung des Hindu Kho-Tsungling-Kuen Lun oder Kulkun oder Oneuta Gebirgszuges! Vgl. auch Abb. 20. Obwohl nicht annährend so geometrisch wie auf der Karte von ÉLIE DE BEAUMONT (siehe Abb. 15), bestehen auch die HUMBOLDT'SCHEN Gebirgszüge aus geradlinigen Segmenten. Man spürt nicht nur den Einfluß ÉLIE DE BEAUMONTS sondern auch ERATOSTHENES' und PTOLEMAIOS'!

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

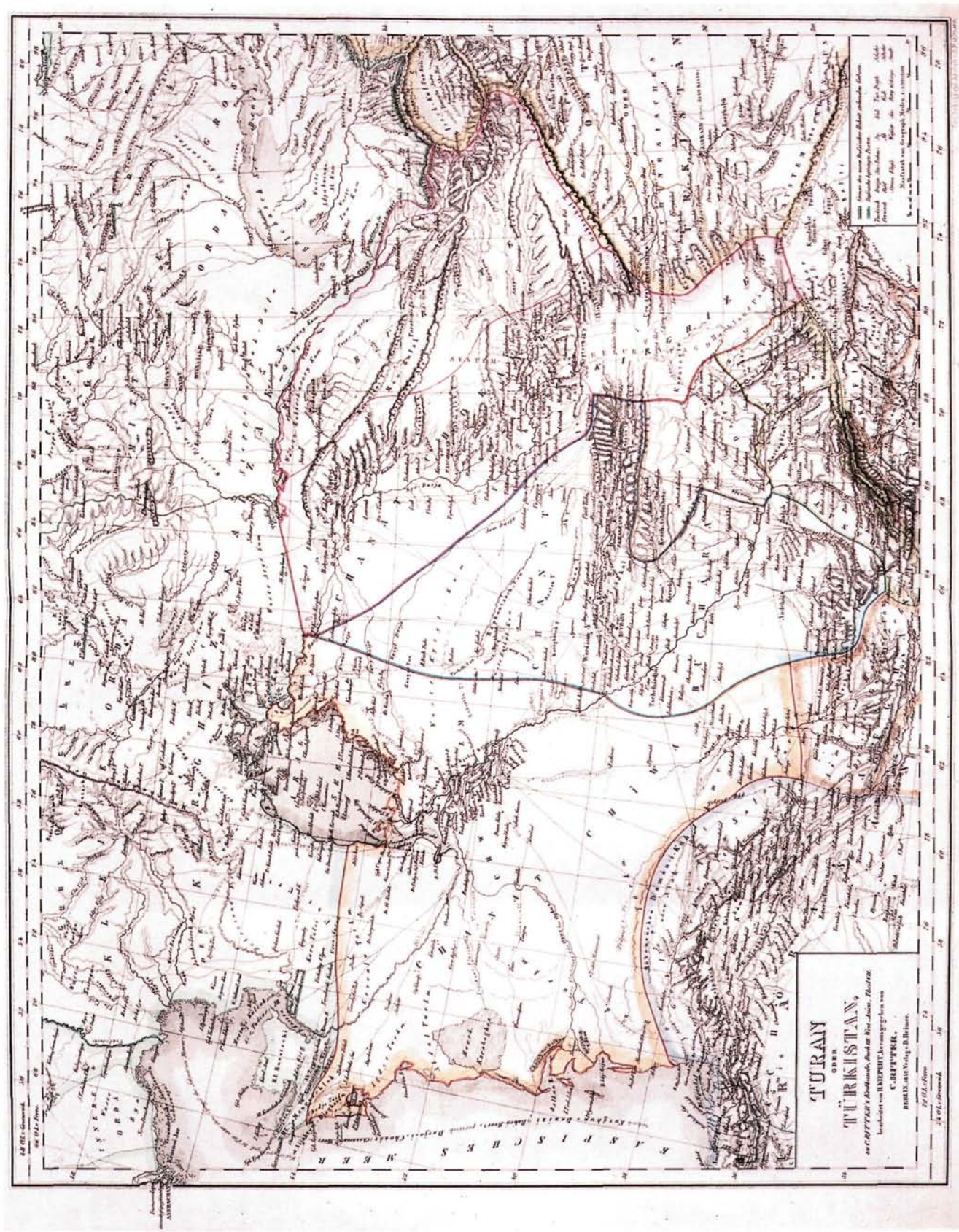


Abb. 19a
RITTERS Karte aus dem Jahre 1832, bearbeitet von H. KIEPERT, des NO-Irans, Turkmenistans, Uzbekistans, Kirgizstans und Kazakhstans. Diese Karte zeigt den westlichen Teil des Taurus-Gebirges im Sinne von ERATOSTHENES. Man beachte auch hier wie der Gebirgszug aus geradlinigen Segmenten besteht.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

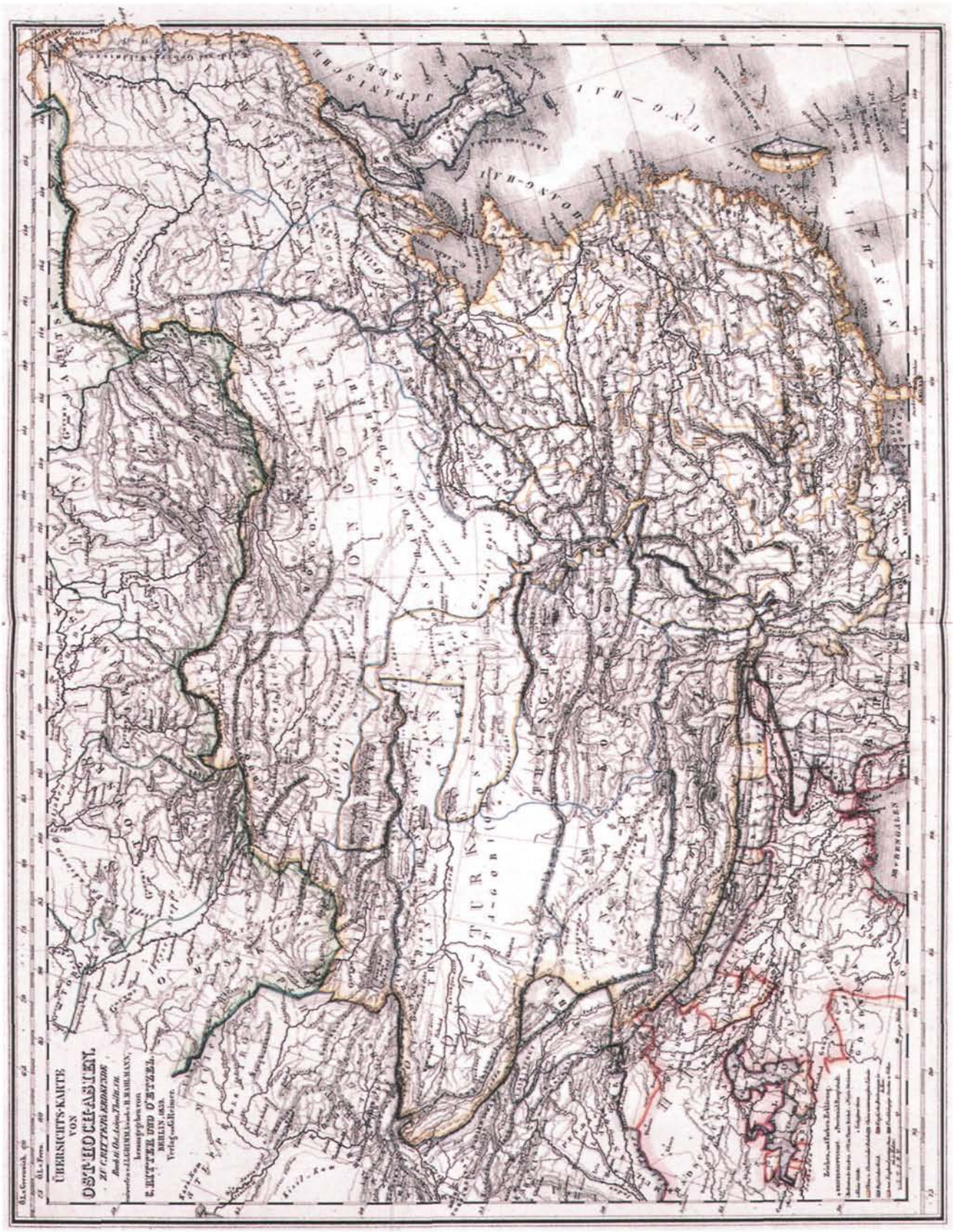


Abb. 19b
RITTERS Karte aus dem Jahre 1839, entworfen von J. L. GRIMM und bearbeitet von H. MAHLMANN. Sie zeigt den östlichen Teil der asiatischen Gebirgswelt. Man sieht hier die von RITTER beschriebene Divergenz der Bergketten nach Osten und wie sie westwärts „anschaaren".

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Rhodus gegenüber, bezeichnet [*bei hiesiger Verwendung des Namens Taurus tritt die Terminologie des* ERATOSTHENES *deutlich hervor*]. Diesem Südrande des West-Plateaus streicht aber wiederum dessen Nordrand vollkommen parallel, wodurch eben jene geometrische Figur des langgedehnten Rechtecks gegen N.W. entsteht, mit dem Parallelismus aller einzelnen Glieder, aber einer Tendenz zur horizontalen Breiten-Abnahme der Massen wodurch ein Schein des Convergierens der Ränder gegen West hervortritt. Denn vom Hindu-Khu verfolgt man durch Khorasan dieselbe, wiewol hie und da sich senkende Gebirgslinie bis zum hohen Elburz und Demawend im N. von Teheran, der dem Südende des Caspischen Sees seine Grenze setzt, und von da durch Aderbidschan und Armenien am Nordabfall Klein-Asiens zum schwarzen Meere mit mancherlei Oberflächenwechseln bis zum Olymp[41] bei Brusa[42] und zum Thracischen Bosporus auf die gleichartige Fortsetzung im noch mehr gegliederten Süd-Europa hinweist. Jenseit des Caspischen Sees, von der Abscheronhalbinsel bis zum Ostwinkel der Krimmschen Halbinsel, fast in gleicher Breite und gleicher Richtung mit dem Himmelsgebirge[43] im Norden des Himálayazuges, aber vom Westplateau etwas gegen Norden abgerückt, ähnlich dem Altai, erscheint, wie schon A. v. Humboldt bemerkt, in demselben Parallelismus der Kaukasus (von 67°-55° O. L. v. F., 150 geogr. M. lang) mit seinen Porphyren und Trachyten; wol eben eine Fortsetzung der gangartigen Spalte[44], auf der im Osten das Himmelsgebirg hervorstieg[45]. Und eben so deutlich erkennt man in jenem langen Zuge des Nord-*persischen Elburz-Systems, das wir auch im Gegensatze des* südlichen, das Nördliche Taurus-Gebirge nennen können (von 88°-45° O. L. v. F.; 560 geogr. M. lang) [*hier sehen wir den Einfluß der zuerst von* STRABON *durch die Annahme zweier parallellaufender Tauruszweige verbesserten Taurushypothese des* ERATOSTHENES], eine Fortwirkung der Spalte des Himálaya und Hindu-Khu.

Im östlichen Hoch-Asien zeigt sich dieser Parallelismus weder in den Randgebirgen, noch in den aufgesetzten Plateauketten mit gleicher Regelmäßigkeit. Zwar ist er in den einzelnen Kettengliedern des Himálaya-Systems und anderer noch unverkennbar und bedeutend genug: aber, in den Plateauketten des Kuenlun (im Parallel von 35°30'N. Br. von O. nach W.) und des Himmelgebirges (im Parallel von 42°N. Br.) findet zwar noch immer von O. gegen W. gegenseitig vorherrschender Parallelismus statt, jedoch in Beziehung auf jene Normaldirection der Randgebirge von O.S.O. gegen W.N.W., gegen Westen hin eher eine Convergenz, nach dem Innern der großen Erdsenkung der Alten Welt zu, wo das Querjoch des Bolor oder Belur-Tagh (*Imaus* der Alten) diese convergierenden West-Enden der verschiedenen Ketten, im Westabfalle der Gesamterhebung, den wir das Turkestanische Alpengebirgsland nennen, verbindet, oder, nach dem bergmannischen Kunstausdruck, sich denselben fast im rechten Winkel anzuschaaren scheint, ja selbst als ein übersetzender Trum noch durchschneidet. Gegen den Osten hin gehen, aus gleichem Grunde, dieselben Kettenzüge und auch die Randgebirge, immer mehr divergirend, auseinander, wie das normale Streichen der östlichen Fortsetzung des Himálaya-Systems in Süd-Osten und des Altai-Systems im Nord-Osten zum Baikal und Daurischen Gebirgsrande auf den ersten Blick zeigt. Ja die größten Divergenzen zeigen sich dort, in den östlichen, äußersten auslaufenden Gebirgs-Gliederungen, gegen S.O. bis nach Malacca hinüberweisend auf die Sundische Kette, und gegen N.O. nach dem Ochotzkischen Meere zur langgestreckten Tschuktschen Halbinsel nach Amerika zu. Dagegen im allgemeinsten Sinne, den Massen nach, bei anhaltendem Parallelismus der subordinirten Glieder, bleibt jene Convergenz nach West sich überall im Westplateau von Iran gleich, bis sie in Klein-Asien, wie schon oben gesagt, immer mehr zusammenrückt, am Caukasus zwar gegen N. wieder absetzend vorspringt, und so in mehrmals wiederholten, jedoch immer momentan unterbrochenen Absätzen, aber immer demselben Parallelismus gegen W.N.W. getreu, mit stets größerer Verengung dem großen Hauptzuge *der Erhebungsspalte durch ganz Süd-Europa folgt. So dem* Streichen des Hämus[46], der Alpen und der Pyrenäen in verwandter Systematik ihrer Anordnungen, und ihr äußerstes Atlantisches Ende erreicht sie erst in dem gegen West immer mehr verengten und gegliederten Süd-Europa mit der Iberischen Halbinsel. Dieser aber liegt im Süden der mediterrane, parallele Zug des von O. gen W. langgestreckten Atlas, als Plateaubegleiter Spaniens, wie eine Afrikanische *Insel aus weiter Niederung erhoben, eben so vor,* wie der Kaukasus und Altai, als Schwelle dem Nordrande des hohen Vorder- und Hinter-Asiens gegen die weiten nordischen Niederungen." (RITTER, 1832, S. 43 ff.; Hervorhebung RITTERS).

Die im ersten Bande der zweiten Ausgabe von *Erdkunde von Asien* dargestellten tektonischen Ideen über die heutige Struktur und die Entstehungsweise des Alpen-Himalaya-Systems weichen nicht so sehr von den tektonischen Ideen VON HUMBOLDTS ab, die er in seinem *Asie Centrale* 1843 (a, b, c) publizierte. Mit VON HUMBOLDTS Buche kehren wir zum letzten Male zu den Ideen von ERATOSTHENES zurück (zu der Beschreibung Abb. 20):

«Voilà donc, depuis les sommets du Taurus en Lycie jusqu'au Cafiristan, sur une immense étendue de 45° de longitude, la *direction moyenne* d'une chaîne qui, à l'exception de la petite interruption entre les méridiens du Lac Van et de la capitale de Teheran, oscille faiblement autour d'un même parallèle, celui de Rhodes, signalé déjà par Dicéarque, Eratosthène et Strabon. Ce parallèle de 36° coupe le grand nœud de montagnes du Bolor et du Baltistan (Petit Tubet). Si je voulais anticiper ici sur des vues géologiques qui seront exposées pour la première fois dans cet ouvrage, je rappellerais que le *véritable prolongement oriental du Caucase indien*[47] *et de toute la chaîne que nous venons d'examiner depuis la limite occidentale de la Perse, ne doit pas être cherché dans l'Himalaya qui renferme les sources du Gange et le Dhwalaghiri, mais dans le système des montagnes de Kouenloun ou Koulkoun, qui borde au sud le plateau de Khotan (Tourkestan oriental ou chinois), au nord, les plateaux de Ladak et du Tubet.* Depuis Gilgit et le Kachmir jusqu'aux environs de Gorkha et de Katmandou, 4° à l'est des Lacs Sacrés de Manasa et de Rawanahrada, la chaîne de l'Himalaya se dirige du nordouest au sud-est pour prendre, par les 28°1/2, une direction de l'ouest à l'est, vers le point où le grande rivière du Tubet, le Yarou-Tsanpou[48] (sous les noms de Brahmaputra ou d'Irawaddy?) perce la chaîne pour tourner brusquement vers le sud. La direction N.O.-S.E. de l'Himalaya est à peu près aussi longue que la direction O.E.: la première se trouve entre les parallèles de 35°1/4; et 28°1/2 et les méridiens de 71°3/4 à 82°1/4; le seconde, entre les parallèles de 28°1/2 et 28° et les méridiens de 82°1/4 et 92° à l'est de Paris. Ces orientations sont fondées sur les observations astronomiques et géodésiques que nous devons aux grands travaux si noblement encouragés par la Compagnie de l'Inde brittanique; elles offrent un vif intérêt sous le point de vue des grandes lignes de soulèvement dont l'importance a été révélée de nos jours par deux illustres géologues, M. Léopold de Buch et M. Elie de Beaumont.» (VON HUMBOLDT, 1843a, S. 125 ff.; Hervorhebung VON HUMBOLDTS).

VON HUMBOLDT stellt hier sehr deutlich dar, wie die Ideen ERATOSTHENES' mit denen VON BUCHS und ÉLIE DE BEAUMONTS verknüpften, was in RITTERS Buch implizit gemacht worden war. Auch noch im Buch von HUMBOLDTS (1843a) begegnen

---

[41] Der mysische Olymp, der heute Uludag genannt wird (2543 müM). In manchen osmanischen Quellen auch Keschisch-Dag.

[42] Auf Türkisch Bursa.

[43] Himmelsgebirge ist Deutsch für Tien-Schan.

[44] Hier fügt RITTER die folgende Anmerkung hinzu: «*Kupffer Voyage dans les Environs du mont* Elbrouz d. l. Caucase etc. St. Peterb. 1830. 4. p. 11, 24, 29, 64.»

[45] Hier ist eine Rechtfertigung für meine obige Bemerkung, daß die PALLAS'SCHE *Alpes Septentrionales* in Abb. 6 doch einen nördlichen Teil des ERATOSTHEN'SCHEN Taurus darstellt.

[46] Das heutige Balkangebirge.

[47] Hier ist mit „Indischer Kaukasus" der Hindu-Kusch gemeint. Vgl. das Zitat aus RITTER (1832) oben, S. 28.

[48] Mit „Yarou-Tsanpou" ist Yarlung Zangbo gemeint.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

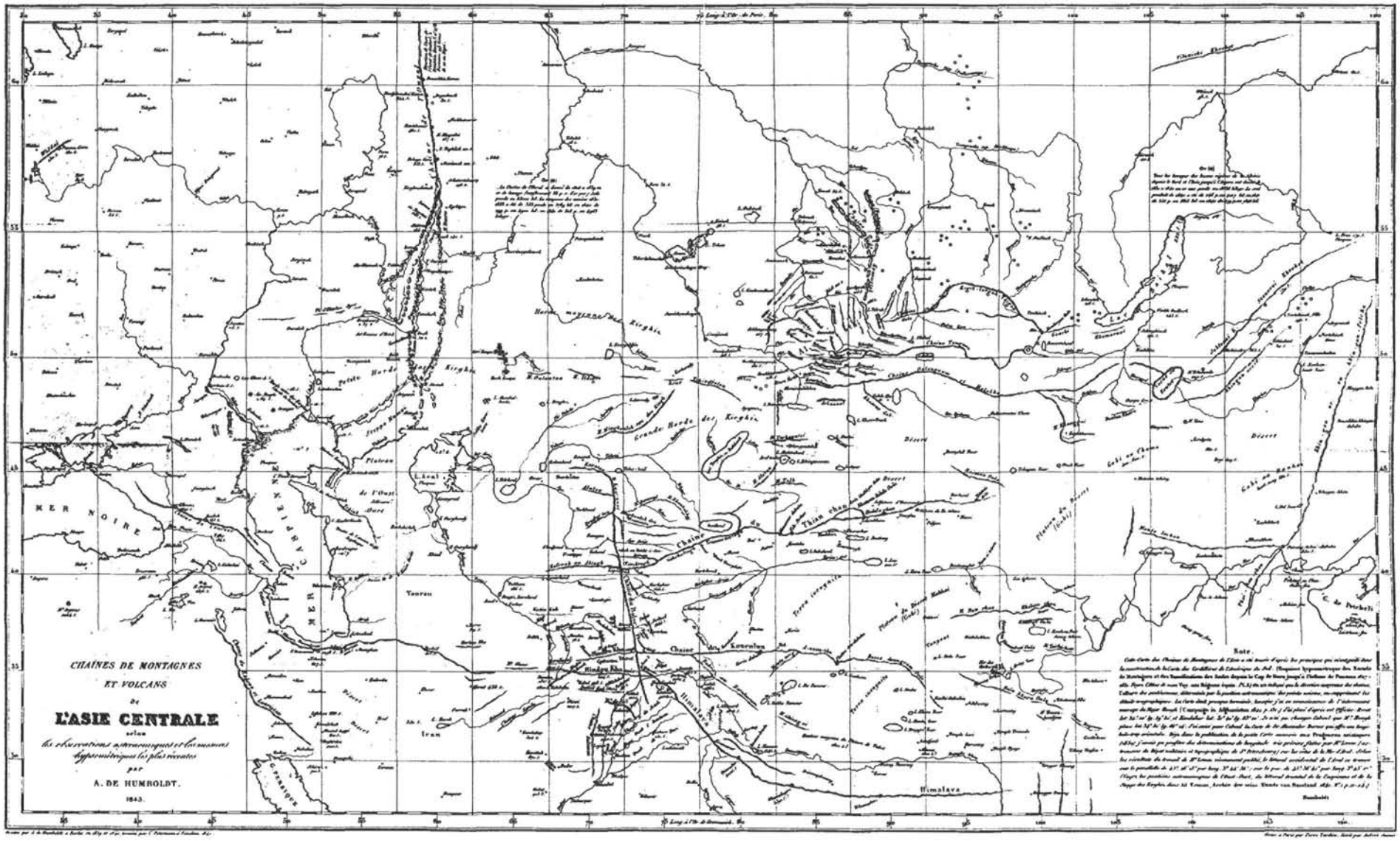


Abb. 20
VON HUMBOLDTS zweite Karte der Bergketten und Vulkane in Zentralasien (aus: VON HUMBOLDT, 1843c). Der Einfluß von ÉLIE DE BEAUMONT tritt hier noch stärker hervor als auf der Karte von 1831.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

wir der Idee, daß Gebirge und Gänge hinsichtlich ihrer Entstehung als gleichwertig zu betrachten seien:

«L'idée d'un soulèvement longitudinal, sur des fentes, conduit nécessairement à l'analogie de l'origine des filons. Or, le Kouenloun et l'Himalaya sont comme deux *branches* d'un même filon qui se séparent et parcourent chacune une diréction différente. Dans ce genre de considération géologique, la puissance du filon ou plutôt de sa masse (la diamètre et la hauteur qu'atteint la chaîne soulevée), n'est pas une grande importance: tout dépend de l'angle avec le méridien du lieu. Or la direction du Kouenloun est exactement celle de Hindou-Koh.» (VON HUMBOLDT, 1843a, S. 127; Hervorhebung VON HUMBOLDTS).

Das Buch von HUMBOLDTS ist das letzte große Werk, in welchem wir die Ideen des 18. Jahrhunderts fast unverändert vor uns sehen. Sie erscheinen zwar in einem Gewande des 19. Jahrhunderts, das Leopold VON BUCH ihnen gegeben hatte, gehören aber trotzdem zum vorhergegangenen Jahrhundert. Sie haben plutonistische Ideen WERNERS Schablone angepaßt und auf ERATOSTHEN'SCHE Geographie angewendet. Mit fortschreitendem Kolonialismus und mit den Entwicklungen der Wärmelehre in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden sowohl die Anwendung der plutonistischen Ideen in WERNERS Geognosie, als auch jegliche weitere Verwendung der klassischen Geographie unmöglich.

ÉLIE DE BEAUMONT schrieb bald, 1829 und 1831, die Aufrichtung der Gebirge Gewölbespannungen zu, die durch thermale Erdkontraktion hervorgerufen wurden. Das hatte eine erhebliche Komprimierung der Sedimente, die in Meeresarmen abgelagert wurden, zur Folge. Vergleichbar ist dieser Mechanismus mit den zwischen den Backen eines Schraubstockes liegenden Schollen[49]. Innerhalb von zwei Jahrzehnten arbeitete er diese Idee zu einer vollständigen Theorie der globalen Tektonik (ÉLIE DE BEAUMONT, 1852) aus.

Welcher Art waren die Becken dieser Meeresarme?

Dies ist eine erste Verfeinerung der Fragestellung nach der Entstehung der Gebirge seit der Zeit des ERATOSHENES! Dieser Schritt ist der weit fortgeschrittenen Kenntnis der Stratigraphie der Gebirge in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zuzuschreiben.

ÉLIE DE BEAUMONT war zu interessiert an der eigentlichen Mechanik der Gebirgsbildung als daß er sich der geologischen Detailgeschichte der Gebirge zusätzlich widmen konnte. Er war einer der beiden Autoren der ersten geologischen Karte Frankreichs. Viele Detailbeschreibungen der Gebirge Frankreichs sind sowohl in den mit A. DUFRÉNOY gemeinsam verfaßten *Mémoirs pour servir à une description géologique de la France*, als auch in der späteren *Explication de la Carte Géologique de la France* zu finden. Dort lesen wir, z. B. schon in der *Avertissement* des 2. Bandes der *Explication* (DUFRÉNOY & ÉLIE DE BEAUMONT, 1848, S. X), daß es DUFRÉNOY und ÉLIE DE BEAUMONT auffiel, daß gegen das Zentrum der Gebirge die Schichtmächtigkeiten zunahmen und die Sequenzen kompletter wurden. Das heißt, wo wir heute Gebirge sehen, waren früher tiefere Meeresbecken. Tief nicht unbedingt im Sinne von Wassertiefe, aber in bezug auf die Tiefenlage des Bekkensockels. DUFRÉNOY (Abb. 21) hat in seiner posthum publizierten Schrift hingewiesen, daß in der Kreide die Meeresfauna dieser tiefen Becken von der Meeresfauna der nördlicheren, seichteren (und jetzt viel weniger deformierten!) Becken verschieden war (DUFRÉNOY, 1873, S. 2). In diesen Vorstellungen sehen wir erste Andeutungen eines speziellen Meeresraumes, der mit dem heutigen Alpensystem zusammenfiel.

ÉLIE DE BEAUMONT hat das Problem der Existenz „spezieller" Meeresbecken von mechanischer Seite her und am Beispiel

Abb. 21
Pierre-Armand DUFRÉNOY (1792-1857).

des jurassischen Pariser Beckens behandelt. Er stellte zuerst fest, daß bei der Senkung des Pariser Beckens während des Juras die Sedimentation mit der Senkung Schritt gehalten hat: «Ainsi on peut regarder comme extrêmement probable que chacune des couches dont se compose le grand depôt jurassique du bassin parisien s'est formée sous une profondeur d'eau peu considèrable et qui, pour la plupart, a été inférieure à cent mètres» (DUFRÉNOY & ÉLIE DE BEAUMONT, 1848, S. 610). Dann fragte er sich ob diese Senkung bezüglich der Krümmung der Erdoberfläche eine konkave oder konvexe Niederung geschaffen hatte. Rechnerisch bewies er, daß die Sedimente, die im Pariser Becken zur Ablagerung gekommen waren, „ont été appliqée sur des surfaces convexes" (Abb. 22; DUFRÉNOY & ÉLIE DE BEAUMONT, 1848, S. 617). Dieses Ergebnis führte ihn zum geometrischen Schluß, daß durch Senkung eine Einengung des Beckens stattgefunden haben muß, wobei die Umrahmung des Bekkens durch elastische Biegung aufgebogen wurde: «Les bords du bassin ne tendent pas à s'enfonce, mais, au contraire, à se soulever» (DUFRÉNOY & ÉLIE DE BEAUMONT, 1848, S. 619). ÉLIE DE BEAUMONT zeigte ferner, daß solche Einengungs- und Aufhebungs-Phenomäne hauptsächlich entlang alter Linien der Gebirgsbildung („anciens axes de soulèvement": S. 617) geschehen würden. Er sagte am Schluß seiner Erörterungen, daß «ces faits, dont une analyse complète donnerait peut-être l'explication de beaucoup de phénomènes, qui ne se rattachent que comme conséquences éloignées aux ridements de l'écorce terrestre auxuels sont due les chaînes de montagnes, et confirmerait en même temps d'une manière indirecte, mais certaine, l'opinion généralement répandue aujourd'hui de la mollesse des parties intérieurs du globe et de leur haute température» (DUFRÉNOY & ÉLIE DE BEAUMONT,

[49] «...*comme les deux mâchoirs d'une étau...*» (ÉLIE DE BEAUMONT, 1852, S. 1317).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

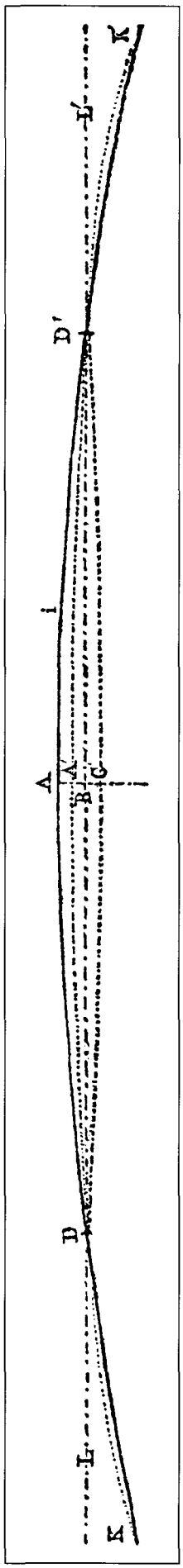


Abb. 22
Entstehung eines konkaven Beckens auf der konvexen Erdoberfläche nach ÉLIE DE BEAUMONT, DUFRÉNOY & ÉLIE DE BEAUMONT, 1848, S. 614. Um eine wirklich konkave Oberfläche (DCD') zu schaffen muß die Einsenkung den Betrag AB übertreffen. KDAD'K' ist Segment eines Kreises, welches die Erdoberfläche repräsentiert. Wenn die Mitte dieses Segments sinkt (A zu A'), steigen seine Rahmen auf (KLDA'D'L'K'). ÉLIE DE BEAUMONT hebt nachdrücklich hervor, daß die Länge der Linie KLDA'D'L'K' nicht sehr verschieden als die Länge der Linie KDAD'K' sein kann. Der Betrag des Aufsteigens zu L und L' hängt vom Betrag der Einsenkung zu A' ab. ÉLIE DE BEAUMONT hat unterstrichen, daß die Platznahme der Aufwölbungen, die den Rahmen des Beckens bilden «se placeront trés-naturellement sur les lignes ou l'écorce terrestre présentera le moins de ressistance au bombement, par example, sur les lignes qui aront ètè des axes de soulévements antérieurs au dépot du terrain jurassique.» (DUFRÉNOY & ÉLIE DE BEAUMONT, 1848, S. 619-620).

1848, S. 620). Es ist für ihn wahrscheinlich selbstverständlich gewesen, daß die nachgiebigeren Teile der Erdkruste den zwischen festeren „Backen" liegenden tieferen und während ihrer Bildung ständig komprimierenden Becken entsprachen. Die späteren europäischen Geologen haben ihn stets in diesem Sinne verstanden (z. B. vgl. SUESS, 1875, S. 96; DE LAPPARENT, 1883, S. 1226 ff.; DE LAUNAY, 1905, S. 82). Sogar schrieb ARGAND z. B. 1924, daß «On ne dira jamais assez tout ce que notre science doit à la féconde notion de rempli ... de l'accumulation des dépôts dans un sillon qui fléchit ..., ce point culminant de la pensée d'Élie de Beaumont, en lequel tiennent, exprimées en clair ou contenues à un état d'extrême implication, la plupart des idées dont la tectonique a longtemps vécu et dont elle vivra toujours, pourvu que l'emploi en soit finement réglé: l'idée de plissement encadré, l'idée de géosynclinal, l'idée de chaîne double et de double déversement, les idées de déversement unilatéral, d'avant-fosse véritable et d'avant-pays». (S. 327)[50]

Wir haben damit beinahe das Ende der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts erreicht und ich möchte jetzt bisher gesagtes zusammenfassen: Eine uralte Idee, beheimatet im Mittelmeerraum, das heißt im Tethysgebiet, speziell in der Ägäis, ist es, Gebirge als Deszendenten der Meere zu deuten. Am Beispiel der Gebirge des Tethysgebietes hat ERATOSTHENES erstmals ausgesprochen, daß langgestreckte Gebirgsgürtel geradlinig seien und durch plutonische Aktivität aus dem Meer emporstiegen. Bis ins 19. Jh. blieb dies die führende Hypothese. Seit der Zeit von STRABON wurde diese Theorie in eine regularistisch-nicht aktualistische Weltanschauung eingebettet. Diese Weltanschauung hatte eine positivistische Einstellung geologischen Daten gegenüber zur Folge. Erst gegen Ende der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde, wiederum am Beispiel der tethysischen Gebirgswelt, klar, daß die Meere, aus welchen die Gebirge entstehen, nicht die selben Eigenschaften hatten wie die Meere auf den die Gebirge umrahmenden Krustenteilen. Die Gebirge hatten mächtigere und komplettere Schichtserien als die außerhalb der Gebirge liegenden Ablagerungen. Der Untergrund der Gebirge war auch nachgiebiger gegenüber der Komprimierung. Wie ARGAND bereits ausgedrückt hat, führte diese Kombination der Ideen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu einer der dauerhaftesten Ideen in der Geschichte der Geologie der *Idee der Geosynklinale*. Die Bekämpfung der Geosynklinalhypothese und der allgemeinen tektonischen Weltanschauung von ÉLIE DE BEAUMONT leiteten SUESS zu Forschungen mit bahnbrechenden Ergebnissen. Diese Bekämpfung legte den Grundstein unserer modernen Vorstellungen über das tektonische Verhalten unseres Planeten im allgemeinen!

Geosynklinale als Muttertröge der Gebirge

Mit den oben skizzierten und z. T. aus einer fernen Vergangenheit stammenden Vorstellungen sind die Geologen der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in die zweite Hälfte gegangen. Die damaligen tektonischen Kontroversen konzentrierten sich auf die Anzahl der gebirgsbildenden Revolutionen und der Anzahl und Richtungen der Erhebungsachsen innerhalb eines Gebirges (vgl. VON COTTA, 1851; STUDER, 1851, 1853; BLEICHER, 1870).

Die Paläontologen und Stratigraphen, oft waren sie die selben Personen, mischten sich, mit wenigen Ausnahmen wie D'ORBIGNY (z. B., 1849, S. 125-129[51]), kaum in diese tektonischen Auseinandersetzungen. Ihnen ging es vielmehr darum, die biostratigraphische Korrelationen zu vervollständigen und die geologische Zeitskala zu verfeinern (vgl. TOZER, 1984; RUDWICK, 1985; SECORD, 1986; BERRY, 1987).

Mitte der fünfziger Jahre, d. h. fast gleichzeitig mit dem Eintritt unseres Helden Eduard SUESS auf die geologische Bühne, wurde ein metikulöser aber auch streitfreudiger Paläontologe mit der geologischen Aufnahme des amerikanischen Bundesstaates Iowa beauftragt. James HALL aus Albany, New York (Abb. 23), hatte sich früher mit seinem Studium der mächtigen paläozoischen Schichten seines Heimat-

[50] ELLENBERGER (1970) hat behauptet, daß ÉLIE DE BEAUMONT in seiner berühmten Arbeit über die Montagnes de l'Oisans (ÉLIE DE BEAUMONT, 1829) erst die Wechselbeziehungen zwischen Sedimentologie und Paläogeographie verstanden und die „premières intuitions européenes du concept de géosynclinal," wie z. B. die des geosynklinalen Metamophismus, publiziert hatte. In jener Abhandlung (auch nicht in der späteren Version: ÉLIE DE BEAUMONT, 1834) konnte ich aber gar nichts finden, das auf eine frühe Intuition des großen französischen Geologen über die Idee der Geosynklinale oder selbst nur auf eine entfernteste Nebenerscheinung der geosynklinalen Prozesse hindeuten würde! Leider hat ELLENBERGER die sehr ausführlichen Diskussionen ÉLIES DE BEAUMONTS in der *Notice Explicatif* der geologischen Karte von Frankreich nicht erörtert und konnte daher nicht dokumentieren, daß ÉLIE DE BEAUMONT in einer späteren Schrift dem Konzept der Geosynklinalen doch wesentlich mehr als „premières intuitions" beigetragen hatte.

[51] D'ORBIGNY folgte hauptsächlich den tektonischen Ideen von ÉLIE DE BEAUMONT in einer Interpretation der Effekte der globalen Umwälzungen, die sehr an die Ideen von PALLAS und CUVIER erinnern (vgl. ÉLIE DE BEAUMONT, 1843).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

JAMES HALL
President, American Association for the Advancement of Science
1856

Abb. 23
James HALL (1811-1898) im Jahre 1856, als er dabei war seine „Geosynklinalhypothese" zu entwickeln.

staates verdient gemacht. Nun wurde er gebeten, seine Kenntnisse zur Erforschung der Geologie Iowas zu nützen.[52]

In Iowa war HALL von der sehr geringen Mächtigkeit und der Lückenhaftigkeit der paläozoischen Serien überrascht. Genauso wie ÉLIE DE BEAUMONT von der Lückenhaftigekit der Sedimente im Pariser Becken vor einem Dezennium überrascht war. Was er aus New York als kilometer-mächtige, fast vollständige Sequenzen kannte, traf er hier in Iowa als höchstens einige hunderte von Metern mächtige und sehr lückenhafte Serien an: "In tracing westward the geological formations as known in New York and Pennsylvania, we find them, with one or two exceptions, gradually becoming thinner, until at last several of them are scarcely recognizable, or are so attenuated as to be overlooked in a country deeply covered by modern deposits." (Hall, 1858, S. 38). Aus dieser Beobachtung zog HALL einen sehr seltsamen Schluß: "This remarkable fact of the thinning out westwardly of all the sedimentary formations, points to a cause in the conditions of the ancient ocean, and the currents which transported the great mass of materials along certain lines which became the lines of greatest accumulation of sediments, and consequently present the greatest thickness of strata at the present time. It is this great thickness of strata, whether disturbed and inclined as in the Green and White mountains and the Appalachians generally, or lying horizontally as in the Catskill mountains, that gives the strong features to the hilly and mountainous country of the east, and which gradually dies out as we go westward, just as in proportion as the strata become attenuated.

The subdued features of the West are therefore due, not alone to the absence of great disturbing forces, but to the absence or the great tenuity of the formations, or paucity of materials or strata to be disturbed. The thickness of the entire series of sedimentary rocks, no matter how much disturbed or denuded, is not here great enough to produce mountain features; and the most elevated portions of this region are those where no disturbing force essentially affecting the horizontality of the strata has acted.

Thus it would appear that the height of these mountains is not due to upheaval from beneath, or to the folding and plication of beds; but that the dislocations of the strata and consequent denudation render the elevation always less than it would have been made by the actual thickness of the strata, had they remained undisturbed and piled upon each other in their horizontal condition, and these subjected to the same denudating agencies." (HALL, 1858, S. 41-43).

Das Appalachen-Gebirge sollte demzufolge seine Existenz einer großen Anhäufung von Sedimenten verdanken, die von vorzeitlichen Strömungen parallel einer großen synklinalen Achse transportiert wurden, die mit der heutigen Achse des Gebirges zusammenfiel. Die Appalachen wären die Erosionsreste mächtiger Schichtserien nach einer kontinentalen Hebung, die das ganze Nordamerika betroffen haben soll. Sie sind somit nicht Produkt einer Hebung entlang der Gebirgsachse. Wie diese Sedimente gefaltet und gehoben worden sind, erklärt HALL wie folgt: "if the accumulation should go on to many thousands of feet in thickness, and the ocean bed be depressed accordingly, we should have a greater deflection of the strata from the original horizontal position [*soweit sagt HALL nichts was früher von Albert VON SACHSEN, MERCATOR oder MORO nicht gesagt worden wäre!*]; and as I conceive, this depression must be accompanied by folding or plication [*Abb. 24-4, 5; z. T. ÉLIE DE BEAUMONTS Ansicht!*]...he [*HERSCHEL*] says, every continent depressed has a tendency to rise again... It is this ultimate rising of continental masses, that I contend for, in opposition to special elevatory movements along lines of mountain chains" (HALL, 1859, S. 96). HALL wollte also die angehäuften Sedimente durch eine gemeinsame kontinentale Hebung, aus dem Meer herausheben (Abb. 24-5). Diese Schichtserien sollten aber auch der Grund des ursprünglichen Absinkens der Trogachse sein (Abb. 24-1, 2). Die Trogachse sollte von der tragenden Strömung lokalisiert sein. Obwohl HALL mit den Ideen von HERSCHEL und BABBAGE über eine „isostatische" Versenkung der Beckenböden unter dem Gewicht der sich in den Becken ansammelnden Sedimente vertraut war (HALL, 1859, bes. „Note E" auf den Seiten 95-96; vgl. auch LONGWELL, 1928), verstand er die zugrundeliegenden physikalischen Prinzipien nicht. Er sah nicht ein, daß man ein Becken braucht, um große Mächtigkeiten von Sedimenten anzusammeln. In Abb. 24 habe ich versucht diese unmögliche Hypothese von HALL zu veranschaulichen. Es ist mir nicht bekannt, ob er mit ähnlichen jedoch logischeren Ideen des Grafen VON MONTLOSIER vertraut war. DOTT (1979, S. 260) behauptet dies. Mir ist jedoch kein Anhaltspunkt für diese Behauptung bekannt.

HALLS Unvermögen, die geometrischen Folgen seiner eigenen Hypothese erklären zu können, sowie die Unkenntnis der Physik des HERSCHEL'SCHEN Vorschlags, gab Anlaß zu einer Äußerung seines genialen Landsmannes und Freundes James Dwight DANA (Abb. 25). DANA (1866, S. 120) schreibt, HALL habe eine Gebirgsbildungstheorie gegründet, welche die Entstehung der Gebirge ausschließt![53] DANA stimmt aber mit HALL überein, daß die Sedimente in den Appalachen viel mächtiger und viel kompletter seien, als diejenigen im mittleren Nordamerika, d. h. im „Midwest". DANA deutet die Synklinale von HALL als eine echte, durch seitliche Pressung entstandene krustale synklinale Falte, die im Osten von einer großen Antiklinale begleitet wurde. Wegen ihrer großen Dimension, nannte er die erste *Geosynklinale* (DANA, 1873,

[52] Für das Leben und Werk eines der größten Geologen Amerikas vgl. das schöne Buch von CLARKE (1921, Nachdrucke 1923 und 1978). CLARKE kannte HALL noch persönlich.

[53] Für HALLS Antwort auf DANA, siehe HALL (1883, S. 68 f.).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

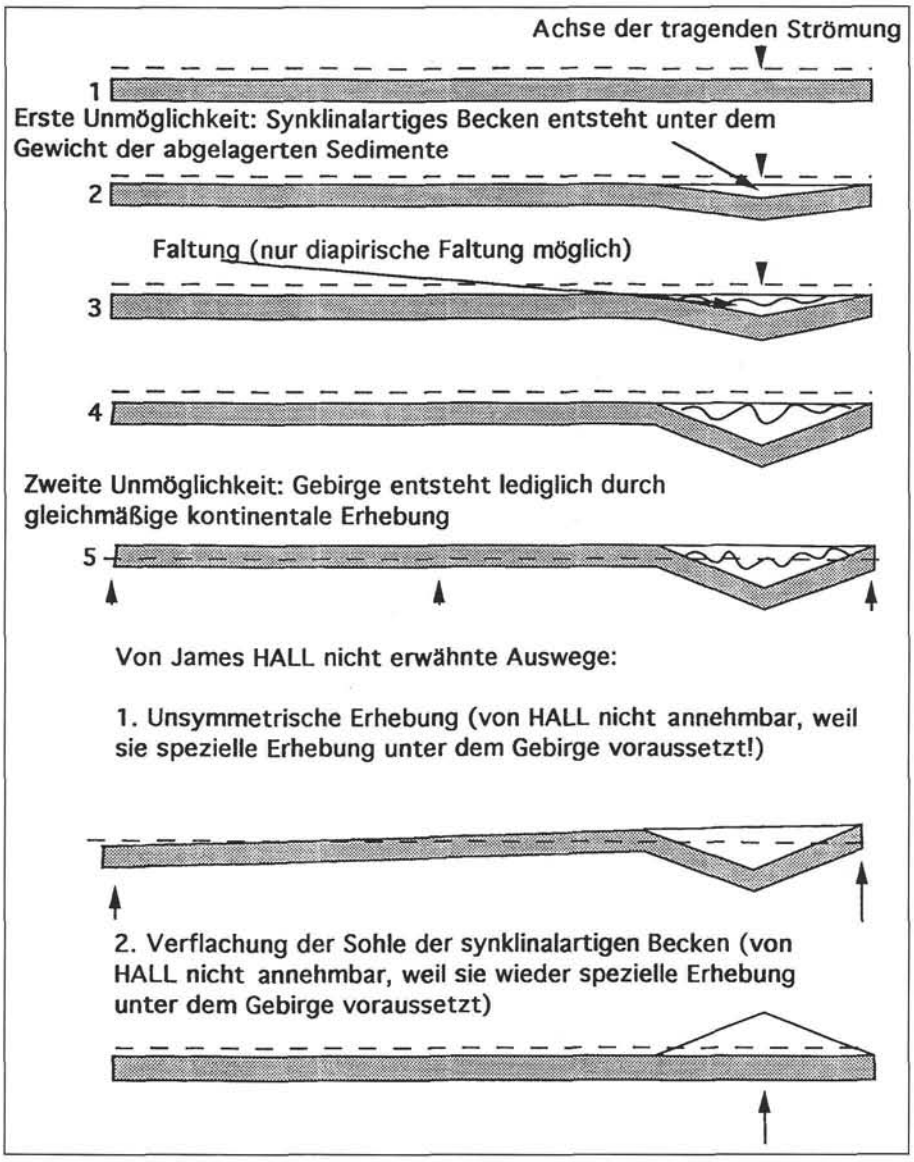


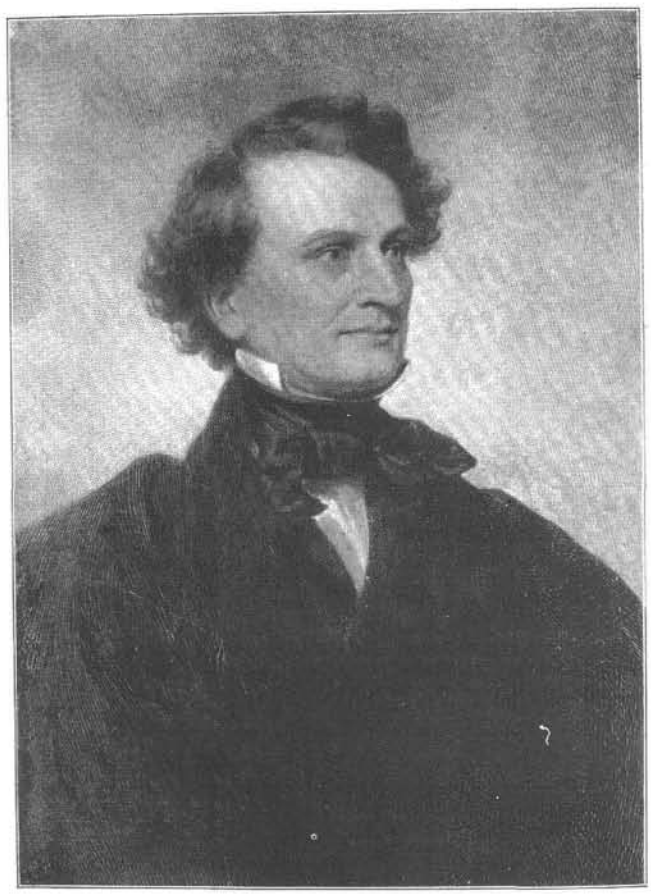
Abb. 24
HALLS unmögliche Hypothese der Geosynklinalbildung und Gebirgsbildung nach seiner Darstellungen in seiner Präsidialrede vor der *American Association for the Advancement of Science* in Montreal (1857; publiziert als Kurzfassung: 1857a, 1857b; Vollversion: 1883), in seinem Brief vom 26. 12. 1857 an Professor Joseph HENRY (publiziert in CLARKE, 1921, S. 328-331), im *Report of the Geological Survey of the State of Iowa* (1858), und in der *Introduction* zum 3. Band der *Palaeonotolgy of New York* (1859). HALLS Hypothese kann weder ein Sedimentbecken noch ein Gebirge erzeugen. Eduard SUESS sah dies und publizierte seinen Einwand in der *Entstehung der Alpen* (1875, S. 97). Das einzige, was bei HALLS Ausführungen über die „Geosynklinalfrage" richtig war, war seine Beobachtung der größeren Mächtigkeit und Lückenlosigkeit der Schichtserien in den Gebirgen gegenüber den Schichtserien im Inneren der Kontinente. Diese Feststellung war aber bereits 1848 von DUFRÉNOY & ÉLIE DE BEAUMONT publiziert worden.

S. 30), die zweite *Geantiklinale* (DANA, 1873, S. 32). Als treuer Anhänger der Schrumpfungsstheorie (DANA, 1846), deutet DANA diese Falten als Folge der Kontraktion, genau im Sinne der besprochenen Erörterungen ÉLIE DE BEAUMONTS! Katastrophale Gebirgsbildung setze ein, wenn durch stetige Absenkung in heißere Tiefen die unteren Krustenteile weicher werden und ihr Widerstand gegenüber den Gewölbespannungen zu klein wurde. Dabei überfuhr die Flanke der Geosynklinale, die der Geantiklinale näher gelegen ist, die zum Kontinent ansteigende Flanke und erzeugt ein einseitiges, dem Kontinent zugewandtes Gebirge. DANA deutet also den Synklinaltrog HALLS als den nachgiebigeren Krustenteil zwischen dem kontinentalen und dem geantiklinalen „Bakken". Die Geosynklinaltheorie DANAS (DANA, 1873) war also eine natürliche Folge der allgemeinen tektonischen Ansichten von ÉLIE DE BEAUMONT, betrachtet jedoch im Lichte der Beobachtungen amerikanischer Forscher von HITCHCOCK bis zu den Gebrüdern RODGERS, die die Einseitigkeit der appalachischen Struktur betonten (vgl. MERRIL, 1924).

Es wird ganz allgemein angenommen, daß James HALL der eigentliche Schöpfer der Geosynklinalhypothese sei und daß DANA nur die Bezeichnung Geosynklinale beigetragen haben soll. Es ist aber nicht möglich HALL als ersten Begründer der Geosynklinalhypothese zu betrachten. ÉLIE DE BEAUMONT schrieb viel früher über die Bedingungen der Gebirgs- und Beckenbildung und zusammen mit DUFRÉNOY wäre er ein viel berechtigterer Begründer dieser Hypothese. HALLS Beitrag wäre die Idee, daß Deformation lediglich durch Absenkung und diese durch Sedimentation herbeigeführt worden wäre. Das war aber auch nach dem damaligen Kenntnisstand absurd.[54] Um die Faltung der Appalachen zu erklären, hätte Hall nur den Effekt der Erdkrümmung, die Absenkung des Sedimentbeckens und die Komprimierung der Sedimente durchdenken müssen. Er wäre dann aufmerksam geworden, daß die auf diese Weise entstandene Faltung höchstens einige 10er km betragen konnte. Er hätte gesehen, daß die Faltung der Appalachen mit dieser Theorie nicht zu begründen wäre. Falls DANA HALLS Hypothese überarbeitet hat, hat er dies

[54] Einige seiner Freunde waren von diesen seltsamen Äußerungen HALLS so alarmiert, daß sie ihm dies offen schrieben. Z. B. schrieb Professor Joseph HENRY, der damalige Chef der Smithsonian, Physiker und einer der ersten wahrlich großen amerikanischen Wissenschafter nach Benjamin FRANKLIN, an HALL: "I should be pleased to have an opportunity to discuss with you your new views of geology. They are, as I understood them from your remarks at Montreal, of such a remarkable character that did they not come from you I would suppose there would be nothing in them. Your opinions are however entitled to my attention and respect though they may be considered at variance with what have long been regarded established principles. If after having brought your views to the test of the widest collection of facts you still are assured they are correct, then give them to the world, but I beg that you will be cautious and not commit yourself prematurely.
Forgive the freedom of my remarks – they are dictated by a regard for your reputation which belongs to the science of the country and is now powerful in the advance of truth or in the propagation of error" (CLARKE, 1921, S. 327 f.).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



PROFESSOR JAMES D. DANA
(From a Painting by David Huntington)

Abb. 25
James Dwight DANA (1813-1895), nach einem Gemälde von David HUNTINGTON.

hauptsächlich im Lichte der ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN Schrumpfungstheorie und viel weniger unter dem Einfluß der Beobachtungen der amerikanischen Forscher über die Einseitigkeit der Gebirgsstruktur gemacht. Deshalb kann ich mit der Äußerung DOTTS (1979), der Geosynklinalbegriff sei „First major concept ‚made in America'" nicht übereinstimmen. Ich hoffe gezeigt zu haben, daß HALL nur eine indirekte genetische Verbindung zwischen großen Sedimentmächtigkeiten und dem topographischen Gebirge postulierte. Daß Gebirge aus deformierten Gesteinen bestehen, war für HALL eine unbequeme Beobachtung und seine Erklärungsversuche waren deshalb ad hoc und absurd. Die später als „amerikanische Fassung der Geosynklinale" bezeichnete Hypothese ist nichts als eine Verwässerung der rigoros durchdachten Gebirgsbildungshypothese von ÉLIE DE BEAUMONT durch HALLS seltsame Idee des synklinalen Sedimenttroges. ÉLIE DE BEAUMONTS Hypothese war wenigstens zu einem guten Teil an Beispielen aus den mediterranen Gebirgen, d. h. aus dem Tethysraum, abgeleitet.

Bei unseren Erörterungen über die Geschichte des Geosynklinalbegriffes haben wir gesehen, daß dieser hauptsächlich ein tektonischer Begriff ist und weniger mit den vorzeitlichen Meeren als Wassermengen zu tun hat. Nur wenige Forscher versuchten damals, die tektonisch angelegten Meeresarme auch mithilfe der abgelagerten Sedimentgesteine und der Fossilien zu studieren.

Paläogeographische Karten wurden seit langem publiziert. Sieht man von Sintflut-Karten des 17. Jahrhunderts, welche die Verteilung der Flutgewässer darstellen (z. B. BURNET, 1684, S. 101 & 135) ab, könnte man vielleicht eine die Verteilung der seit dem Beginne der Tertiär-Periode mit Wasser bedeckten Flächen in Europa zeigende farbige Falttafel von LYELL (1832) und ein *La France à l'Epoque du Cerithium giganteum* darstellendes Kärtchen ÉLIE DE BEAUMONTS (1833) als die ersten Repräsentanten paläogeographischer Karten betrachten. Das Kärtchen von ÉLIE DE BEAUMONT bestätigt auch was viel später Jules MARCOU sagte: ÉLIE DE BEAUMONT war der erste, der in einer paläogeographischen Karte die sedimentären und paläontologischen Daten *und* Deutungen mit tektonischen Rekonstruktionen vereinte.

Seit der Zeit dieser ersten Publikationen wurde die vergleichende regionale Paläontologie besonders zur Etablierung der vorzeitlichen Meeresverbindungen benützt (D'ORBIGNY, 1849, 1852, behandelt in seinem Paläontologie- und Stratigraphie-Buch systematisch den paläogeographischen und paläoklimatologischen Nutzen der verschiedenen Versteinerungsgruppen).[55] Unter den ersten etablierten dieser Verbindungen befanden sich auch die Vorboten des Tethys-Begriffes.

In seinem epochemachenden Werk *Silurian System* schrieb Sir Roderick MURCHISON (1839, S. 583): "This fact accords, indeed, with what has been ascertained concerning the wide range of animal remains in deposits equivalent to our oolite and lias; for in the Himalaya Mountains, at Fernando Po, in the region north of the Cape of Good Hope, and in the Run of Cutch and other parts of Hindostan, fossils have been discovered, which, as far as the English naturalists who have seen them can determine, are undistinguishable from certain oolite and lias fossils of Europe."

Viel präziser und bedeutender waren die Deutungen von Ferdinand ROEMER (1852; Abb. 26), der die Kreidebildungen von Texas mit denen des Mittelmeerraumes verglich: „Die Texanischen Kreidegesteine und namentlich diejenigen des Hochlandes zeigen, mit denjenigen Europa's verglichen, sowohl nach ihren petrographischen, wie paläontologischen Charakteren eine entschiedene nähere Analogie mit den oberen Kreidebildungen des südlichen Europa's und längs des Mittelmeeres überhaupt, und namentlich tritt diese Aehnlichkeit in der starken Vertretung der Familie der Rudisten hervor." (ROEMER, 1852, S. 25[56]). Paläogeographisch zog ROEMER daraus allerdings nur klimatische Schlüsse: „Es entsprechen aber in ihrer geographischen Lage die Kreidemergel von Neu-Jersey eben so wenig den Kreidebildungen des nordwestlichen Deutschlands und Englands, als die Kreidegesteine von Texas denjenigen des westlichen und südlichen Frankreichs, sondern die Europäischen Gesteine liegen gegenwärtig zehn Breitengrade weiter gegen Norden, als diejenigen des gleichen Habitus in Nordamerika. Da nun die natürlichen Verhältnisse, welche jene zweifache Facies der Kreidebildungen in beiden Continenten bedingten, nicht wohl andere, als climatische gewesen sein können, so muss demnach dieselbe Verschiedenheit des Climas, welche gegenwärtig zwischen der Ostseite der Nordamerika's und der Westseite Europa's unter gleichen Breitengraden Statt findet, schon während der Kreideepoche vorhanden gewesen sein." (ROEMER, 1852, S. 25 f.). ROEMERS ganz aktualistische paläoklimatische Erörterungen haben innerhalb

[55] Ich muß hier vielleicht bemerken, daß der große österreichische Gelehrte und erste Direktor des kaiserlichen Hofmineralienkabinetts, Ignaz VON BORN bereits im 18. Jh. *Versteinerungen als Anzeiger für Veränderungen der Lage der Meere und des Klimas betrachtete.* Er ging aber leider von der falschen -vor-CUVIER'SCHEN!-Vorstellung aus, daß die fossilen Arten stets mit heute lebenden identisch wären und darum aus den heutigen Bedingungen ihres Vorkommens auf die Verhältnisse früherer Zeiten geschlossen werden könnte (RIEDL-DORN, 1991). Doch hatte VON BORN die Fruchtbarkeit der Idee des Aktualismus in der geologischen Deutung vorausgesehen.

[56] Wir werden sehen, daß fast ein halbes Jahrhundert später die Rudistenverteilung den französischen Paläontologen Henri DOUVILLÉ (1900, S. 223) erneut zur Hypothese eines kretazischen äquatorialen Meeresarmes führte!

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 26
Ferdinand ROEMER (1818-1891) nach einem Ölgemälde im Hildesheim Museum. ROEMER war der erste, der eine äquatoriale Seeverbindung zwischen Zentralamerika und dem Mittelmeerraum ahnte und damit die Grundlagen zur paläoklimatologischen Forschung legte.

von zwanzig Jahren entscheidenen Einfluß auf die Studien der Wiener Schule ausgeübt und führten unmittelbar zur Einführung des Tethys-Begriffes.

Der französische Geologe Jules MARCOU (Abb. 27) hat als erster eine ganze Weltkarte einer geologischen Periode, nämlich der Jura-Periode, publiziert (Abb. 28). Er hat dabei auch die Rolle der Tektonik nicht nur in der Definition der Umrisse der Festländer und Meere sondern auch in der Verteilung der sedimentären Fazies besprochen (MARCOU, 1857-1860, dixième lettre, bes. S. 320). Er betrachtete, genau wie Alcide D'ORBIGNY, die gebirgsbildenden Revolutionen ÉLIE DE BEAUMONTS als die Hauptursachen der Wandlungen in der Geschichte des organischen Lebens. Er bezweifelte jedoch, entgegen den Auffassungen von D'ORBIGNY, die Universalität und die Plötzlichkeit der Gebirgsbildungen: «On peut comparer cette manière de voir à un bucheron qui, cherchant à abattre un arbre, donne avec des intervalles de repos des coups de hache sur le tronc; un dernier coup, peut-être plus vigoureux, ou souvent plus heureusement appliqué, fait perdre l'équilibre à l'arbre, et l'abat, pour ne plus se relever. Il en est ainsi de la Terre, le Créateur est le bucheron, les soulèvements de montagnes sont les coups de hache, et le dernier efface une époque géologique, comme le dernier coup de hache a abattu l'arbre; puis des rameaux repoussent sur le tronc, comme les dépôts se continuent en se plaçant et se soudant sur les assises fraîchement relevées et disloquées» (MARCOU, 1857-1860, S. 339).

Als treuer Anhänger ÉLIE DE BEAUMONT betrachtet MARCOU die Erdgeschichte als ein Schauspiel, zerteilt durch plötzliche Unterbrechungen in scharf voneinander getrennte Episoden. Bei seinen Deutungen der paläobiogeographischen Verhältnisse der Vorzeit verwendete MARCOU eine völlig aktualistische Methode. Er begab sich damit in die Fußstapfen von FORBES & GODWIN-AUSTEN (1859). Diese zwiespaltige Einstellung erinnert an die ähnliche Haltung von STENO. Sie berechtigt uns durch ihre Details, MARCOU als einen Vertreter der regularistisch-nicht-aktualistischen Anschauungen der CUVIER-ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN Schule zu betrachten. Zur gleichen Zeit entwickelten in England DARWIN und WALLACE unter LYELLS entscheidendem Einfluß ein ganz anderes und heute viel bekannteres Bild der organischen Entwicklung.

Diese gegensätzlichen Anschauungen beeindruckten den neuen außerordentlichen Professor der Paläontologie an Ihrer ruhmvollen Hochschule tief, als er am 9. Oktober 1857 sein Amt antrat. Er betrachtete unseren Planeten als ein System, das aus vier Sphären besteht, Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre. Er betonte schon sehr früh, daß es unmöglich wäre, deren Entwicklung zu verstehen, wenn man sie getrennt voneinander behandelt:

„So wie man gelernt hat, die Sonne in eine Anzahl concentrischer Hüllen zu zerlegen, kann man wohl auch die Erde in Hüllen theilen, deren jede allerdings in vielfacher Verbindung mit der nächstfolgenden steht.

Die erste ist die Atmosphäre, die zweite die Hydrosphäre, die dritte die Lithosphäre.

...

Eines scheint fremdartig auf diesem großen, aus Sphären gebildeten Himmelskörper, nämlich das organische Leben. Aber auch dieses ist auf eine bestimmte Zone beschränkt, auf die Oberfläche der Lithosphäre. Die Pflanze, welche ihre Wurzeln Nahrung suchend in den Boden senkt und gleichzeitig sich athmend in die Luft erhebt, ist ein gutes Bild der Stellung organischen Lebens in der Region der Wechselwirkung der oberen Sphären und der Lithosphäre, und es lässt sich auf der Oberfläche des Festen eine selbständige Biosphä-

Abb. 27
Jules MARCOU (1824-1898), der eifrige französische Geologe, der die erste paläogeographische Karte einer vergangenen Erdperiode zeichnete und dabei beinahe das ganze Marinareal, das später „Centrales Mittelmeer" und „Tethys" genannt wurde, zum ersten Mal Geologen zeichnerisch vorlegte (siehe Abb. 28).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

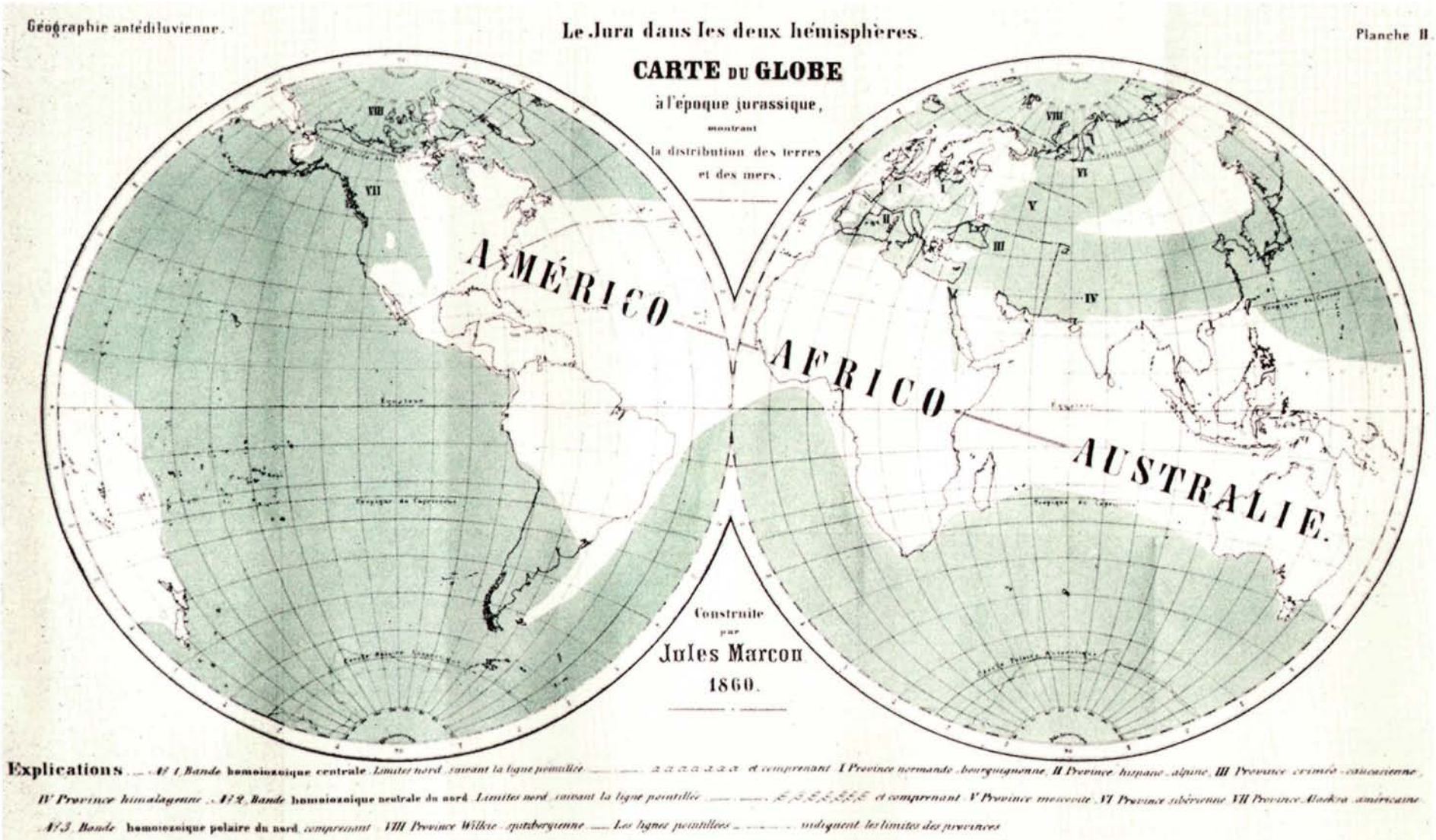


Abb. 28
Die Paläogeographie der Juraperiode nach MARCOU (1857-1860). Diese Karte stellt die Verteilung der Meere und Festländer dar. Gezeigt sind auch die Tierprovinzen nach der Klassifikation von Edward FORBES & GODWIN-AUSTEN (1859) und die von MARCOU aufgestellten lokalen biogeographischen Provinzen. Auf diese Karte ist die Existenz eines äquatorialen Meeres, das von dem östlichen Mittelmeer gegen die Pazifik immer breiter wird, ersichtlich. Obwohl nicht identisch mit NEUMAYRS späterem Centralen Mittelmeer, ist dieses von MARCOU gezeichnete mittelländische Meer einer der ersten Vorläufer des Tethys-Begriffes.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

re unterscheiden. Sie dehnt sich jetzt über die trockene wie über die benetzte Oberfläche aus, aber die Entwicklungsfolge von Kiemen und Lunge lehrt, dass die benetzte Oberfläche ihr Ausgangspunkt gewesen ist.

...

Die Entwicklung und Verbreitung des organischen Lebens ist in hohem Grade abhängig gewesen von der Ausbildung der Oberflächen-Gestaltung der Lithosphäre." (SUESS, 1875, S. 158 ff.)

Eduard SUESS war sich der Lückenhaftigkeit der geologischen Überlieferung bewußt. Er wußte, daß ohne Inter- und Extrapolation der Daten keine Erdgeschichte geschrieben werden konnte: „Freilich ist die Ueberlieferung in hohem Grade unvollständig" (SUESS, 1883, S. 14). Mit seinem Auftritt auf der Bühne der Erdwissenschaften änderten sich die Einstellungen der Geologen gegenüber den geologischen Daten zugunsten einer kritisch-rationalen Vorstellungsweise. Der Tethys-Begriff entstand unter diesen Bedingungen.

Eduard SUESS als Paläontologe und Geologe: Die Zwillingspfähle des Tethys-Begriffes

Wie ich bereits erwähnte, ist hier nicht Platz, eine Darstellung und Würdigung der wissenschaftlichen Tätigkeit von Eduard SUESS zu geben. Aber ohne den Geist von SUESS zu verstehen wäre es nicht möglich das von ihm aufgestellte Tethys-Konzept und die Beiträge seiner Wiener Kollegen und Schüler zu dieser Entwicklung zu erfassen.

Eine fundamentale Neigung beherrschte die ganze wissenschaftliche Tätigkeit von Eduard SUESS. Er wollte immer die natürlichen Prozesse verstehen, welche die geologischen Ereignissen verursachten. Er war nie zufrieden die geologischen „Objekte", sei es ein einzelnes Fossil, sei es der ganze Planet, nur zu beschreiben. Er wollte auch wissen wie sie entstanden und durch welche Prozesse. Im letzten Kapitel des ersten Bandes des *Antlitz der Erde* schrieb er: „So wenig man den gegenwärtigen Zustand eines Staates zu beurtheilen im Stande ist, ohne zu wissen, wie er geworden ist, ebensowenig vermag man über das Stück des physischen Erdbodens, auf welchem dieser Staat lebt, zu einer richtigen Anschauung zu gelangen, ohne die Vorgänge zu kennen, durch welche dasselbe gebildet worden ist." (SUESS, 1885, S. 766)

Diese Neigung hatte sich schon bei seinen früheren paläontologischen Schriften angekündigt. Der Paläontologe SUESS betrachtete die Fossilien als Lebewesen, die eine bestimmte Umwelt bevölkerten. In seinen *Erinnerungen* schreibt er, daß ihn die Vorstellung einer längst erloschenen Meeresbevölkerung und „der Gedanke an die gewaltigen Veränderungen, die das Land erlitten" (SUESS, 1916, S. 71), für die Geologie begeisterten. Schon in jungen Jahren sehen wir das Bestreben, die natürlichen Objekte in ihrem natürlichen Kontext zu sehen und zu verstehen. Diese Bestrebung kennzeichnete die Tätigkeit des späteren Forschers sein Leben lang! Als Paläontologe beschäftigte ihn die Frage der organischen Evolution. Wie einer seiner jüngeren russischen Kollegen, der Prinz KROPOTKIN, später eingesehen hat (KROPOTKIN, 1902 [1920][57]), fand Suess die DARWIN'SCHE Theorie bezüglich des Einflusses der Umwelt auf die Evolution der Organismen mangelhaft. Mit Recht schrieb er dies dem „Quietismus" der LYELL'SCHEN Geologie zu. Diese nahm für die Lebewelt wirksame umweltliche Veränderungen beinahe vollständig aus der Geologie heraus (vgl. die ersten beiden Kapitel des ersten Bandes des *Antlitz*). Um die Einwirkungen der Umwelt auf die Organismen besser

Abb. 29
Edward FORBES (1815-1854), Begründer der modernen Paläobiogeographie der Meere. FORBES übte einen wichtigen Einfluß auf das Denken von Eduard SUESS über die Meere der Vorzeit aus.

zu verstehen, wandte sich SUESS etwas zu, das wir heute als paläoökologische Probleme bezeichnen würden (z. B. SUESS, 1859/60). Mit Paläoökologie kam die Verbreitung der Fossilien ins Spiel und damit die Paläobiogeographie (z. B. SUESS, 1860).

Es war natürlich nicht SUESS, der die Paläobiogeographie gegründet hat. Alexander VON HUMBOLDT hatte bereits 1823 die Wichtigkeit der Paläobiogeographie für eine vernünftige Deutung der Biostratigraphie hervorgehoben. Auch LYELL hatte 1830 im ersten Band seiner *Principles of Geology* Paläobiogeographie für seine paläoklimatologischen Spekulationen benützt. Edward FORBES (Abb. 29) war der eigentliche Begründer der biogeographischen Studien, insbesondere derjenigen des marinen Bereichs. Sein posthum herausgegebenes Buch, *The Natural History of European Seas* (FORBES & GODWIN-AUSTEN, 1859) gab den unmittelbaren Anstoß zu globalen paläobiogeographischen Studien.[58] SUESS verband bald die Paläobiogeographie mit seinen globalen tektonischen Studien um die Schicksale vorzeitlicher Ozeane und Kontinente zu

[57] Ich zitiere hier eine autorisierte Deutsche Ausgabe seines klassischen *Mutual Aid*: KROPOTKIN, 1920).

[58] Die paläobiogeographischen Studien von FORBES haben auch auf SUESS persönlich einen starken Einfluß ausgeübt. Vgl. SUESS (1901b, S. 1); auch DIENER (1914).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

verfolgen. Nicht nur die Wechselbeziehungen der vier großen Erdsphären in der Erdgeschichte hat er gewürdigt und daraus ein Entwicklungsbild des Antlitzes der Erde abgeleitet. Er hat auch eine erst jetzt wieder zur Geltung gekommene interdisziplinäre Forschungsmethodik entwickelt. Wie wir noch sehen werden, ist der Tethys-Begriff eine Frucht dieses breit angelegten Forschungsprogramms gewesen.

Als Paläontologe und Stratigraph kam SUESS zum ersten Mal in Berührung mit Problemen, die ihn mit der Zeit zur Definition des Tethys-Begriffes führen würden.

Durch sein Studium mesozoischer Schichten und Versteinerungen in den Alpen war SUESS bereits mit der Entwicklung der mesozoischen Meere im Alpenraum vertraut. 1862 bereiste er Frankreich und England. Bei seinem Besuch des Geological Survey in der Jermyn-Straße in London zeigte ihm der Survey-Paläontologe John William SALTER eine Sammlung von *Versteinerungen, welche aus einem schwarzen, mit Schiefer* und rotem Sandstein vergesellschafteten Kalkstein im Himalaya, in der Nähe des indo-tibetanischen Grenzgebietes stammten. Gesammelt wurden diese von Generalmajor Sir Richard STRACHEY (damals Kapitän und noch kein Ritter) in den Jahren 1848-1849. STRACHEY (1851, S. 304 f.) identifizierte die Gesteine als „Muschelkalk". SUESS glaubte in der Sammlung unter anderen *Ammonites floridus* und *Halobia lommeli*[59], zwei für die alpine Trias (Muschelmarmor von Bleiberg) sehr typische Formen, erkannt zu haben. Er war begeistert und schrieb seine Beobachtung sofort an VON HAUER (SUESS, 1861/62).

SUESS' Reise nach England war nicht der einzige Kontakt, den die Wiener Geologen 1862 mit dem Himalaya hatten. Früher besuchte in demselben Jahr Dr. Thomas OLDHAM, der erste Direktor des Geological Survey of India, SUESS und VON HAIDINGER in Wien, mit der Bitte um einen Paläontologen für den Survey. SUESS schlug seinen damals im Dienste der geologischen Reichsanstalt stehenden Schüler Ferdinand STOLICZKA vor (BALL, 1886, S.4).

Noch in demselben Jahre segelte STOLICZKA nach Kalkutta und 1864 betrat er den Himalaya zum erstenmal. Sein erstes Schreiben an HAIDINGER im Oktober 1864 hat die Vermutungen SUESS' über die ehemalige Meeresverbindungen zwischen den Alpen und dem Himalaya während der Triaszeit bekräftigt. Es begann eine Zusammenarbeit zwischen der Universität Wien und dem Geological Survey of India, welche die Geschichte unserer Wissenschaft in ungeahnter Weise bereicherte (vgl. auch STOLICZKA, 1865)[60].

SUESS näherte sich noch von anderer Seite den Problemen einer weltweiten Paläogeographie. In einer kleinen Schrift zeigte SUESS (1872), als Resultat einer in Begleitung des Bonner Geologen Gerhardt VOM RATH unternommenen Forschungsreise in Süditalien (SUESS, 1916, S. 233; siehe auch VOM RATH, 1871), daß die ganze italienische Halbinsel eine nach Osten bzw. Ostnordost geschobene Nebenzone eines vormals größeren Gebirges sei. Die tektonische Achse soll heute unter den Wogen des tyrrhenischen Meeres liegen. Ein heute noch andauernder Vulkanismus begleitet diese Versenkung der Achse. Eine, die Apenninen vermeintlich herausgehobene Zentralmasse existiert nicht.

Schon nach zwei Jahren publizierte er seine erste große tektonische Arbeit unter dem irreführenden Titel *Die Entstehung der Alpen*. SUESS versuchte darin mit weltweiten Beispielen darzulegen, daß „gleichförmige Bewegungen großer Massen im horizontalen Sinne einen viel wesentlicheren Einfluß auf die heutige Gestaltung des Alpensystems gehabt haben, als die bisher allzusehr betonten verticalen Bewegungen einzelner Theile, d. h. die unmittelbaren Erhebungen durch eine radial aus dem Inneren des Planeten auf seine Oberfläche wirkende Kraft" (SUESS, 1875, S. 25, Hervorhebung durch SUESS). Nirgends sei es die aktive Rolle der Zentralmassen gewesen, die die Gebirge aufgerichtet hätten.

SUESS betrachtete die damals allgemein akzeptierte und insbesondere von Sir Charles LYELL und seinen Anhängern vertretene Hypothese der säkularen Schwankungen der Festländer als einen Spezialfall der diskreditierten Erhebungshypothese der Gebirge. Nachdem er diese Hypothese für Gebirge endgültig widerlegt zu haben glaubte, wandte er sich dem Problem der Kontinente zu: „Ich konnte mir nämlich schon damals nicht verhehlen, dass alle jene Bedenken, welche ohne Zweifel gegen eine active Betheiligung gewisser Felsarten an der Erhebung der Gebirgsketten im älteren Sinne bestehen, mit ganz derselben Kraft den herrschenden Ansichten über die sog. säcularen Schwankungen einzelner Theile der Erdoberfläche engegengesetzt werden müssen." (SUESS, 1880, S. 171). In der soeben zitierten Schrift teilte SUESS mit, sehr ausgedehnte stratigraphische, paläontologische, geomorphologische und tiergeographische Untersuchungen seien für die Beantwortung der aufgeworfenen Frage nötig. Er habe sie unternommen, „denn die sonst recht verdienstlichen bisherigen Zusammenstellungen sind, wie sich sofort zeigen wird, von vornherein ungeeignet gewesen, ein einheitliches Resultat zu liefern." (SUESS, 1880, S. 172).

SUESS bemerkte bei seinen Studien das unterschiedliche Verhalten des Meeresspiegels in höheren und niedrigeren Breiten sowie die Sachlage, daß „nicht nur der Norden heute die weitaus größere Ausdehnung an trockenem Lande besitzt, sondern daß auch die Meere unserer hohen Breiten eine vergleichsweise nicht bedeutende Tiefe haben" (SUESS, 1880, S. 177). Er wies auf die seit der Zeit BUFFONS immer wieder auftauchende Ansicht hin, daß dem hohen Norden eine eigentümliche Rolle in der Verteilung der Organismen zukomme und fügte hinzu, daß seine eigenen Untersuchungen ihn zur selben Ansicht geführt hatten: „... ich meine, dass die Formveränderungen des Meeres einen maassgebenden Einfluss auf alle diese Vorgänge ausgeübt haben, dass die von der heutigen Verbreitung der organischen Wesen auf dem trockenen Lande im Vergleiche mit den fossilen Faunen dargebotenen Tatsachen in dieser Richtung noch weiter gehen als bisher angenommen wurde, und dass zu ihrer Erklärung im Wesentlichen nur die Voraussetzung eines bleibenden Uebergewichts der Meeresbedeckung im Süden, d. h. die Existenz des früher erwähnten ständigen Factors zu Gunsten der südlichen Hemisphäre erforderlich ist" (SUESS, 1880, S. 177). Diese Erörterungen benötigten, nicht nur in der landläufigen Formationslehre und beschreibenden Paläontologie, sondern auch in der eigentlichen Paläogeographie eine große Erfahrungsbasis. Dafür hatte SUESS noch nicht die nötigen Unterlagen: „Es ist mir heute nicht gelungen, irgend welche entscheidende Nachweisungen über das Zusammenfallen von Formveränderungen des Oceans und Aenderungen der Temperatur zu erhalten, und ich wäre nicht im Stande, den sehr allgemeinen Vermuthungen, welche ich vor fünf Jahren über diesen Gegenstand ausgesprochen habe, irgend welche bestimmtere Form zu geben." (SUESS, 1880, S. 179).

In diesen Zeilen sehen wir eine typische Untersuchungsweise von SUESS. Was als eine rein tektonische Frage beginnt, wird mit fortschreitender Entfaltung des Problems immer größere Dimensionen annehmen. Erst am Ende der Untersuchung sieht der Leser wie mehrere voneinander entfernt lie-

[59] Ursprünglich von SALTER als *Ammonites* und *Pecten* identifiziert (vgl. STRACHEY, 1851, S. 305).

[60] Wie hoch SUESS selbst das Wirken des Geological Survey of India schätzte geht aus folgenden seiner Worte hervor: „In ihren [*der hohen Ketten Central-Asiens*] südlichen Vorländern, in dem weiten Ostindien, hat sich unter der Führung Oldham's eine glänzende Schule von Geologen gebildet, welche auch die allgemeine Frage von der Entstehung der grossen Hochgebirge zur Erörterung gebracht hat" (SUESS, 1875, S. 126).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

gende Gebiete das zu lösende Problem von verschiedener Seite her beleuchten und einer Lösung näherbringen.

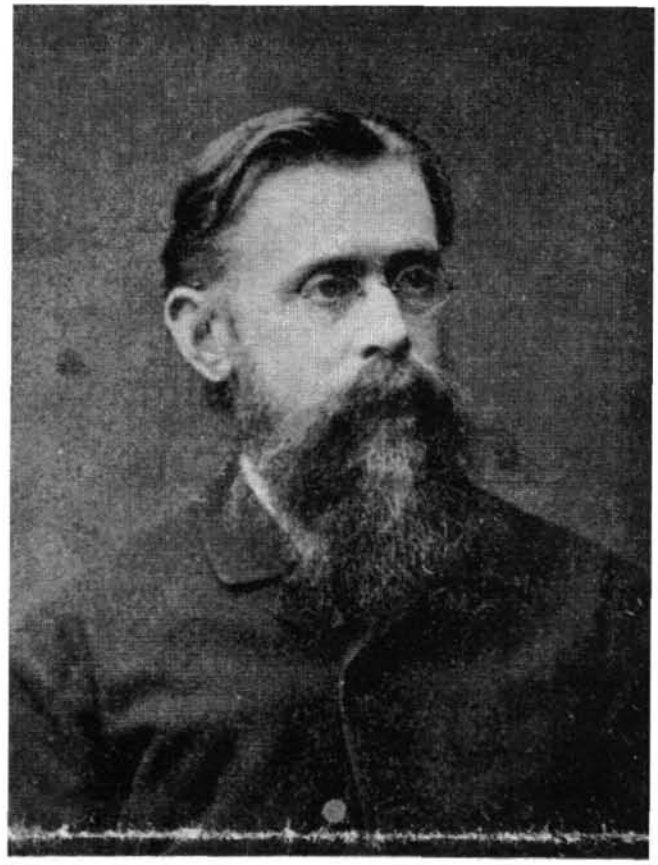
An der Lösung der gewaltigen globalen paläogeographischen Probleme arbeitete SUESS aber nicht allein. Er hatte um sich eine Schar von ausgezeichnet ausgebildeten Schülern und Kollegen, die alle selbständige und scharfsinnige Forscher waren. Die frühere Beschäftigung von SUESS mit der Ökologie der vorzeitlichen Tiergesellschaften hatte Anlaß zu ähnlichen Studien unter seinen Schülern und jüngeren Kollegen gegeben. SUESS hatte als Paläontologe bereits den Paläontologen und Geologen die Aufgabe gestellt „Das Maß und die Art der Abhängigkeit näher zu bestimmen, in welcher die Geschichte des Lebens auf unseren Planeten mit der Geschichte dieses Planeten selbst steht." (SUESS, 1861, S. 148). Als Geologe erinnerte er sie nochmals an die Wichtigkeit der paläogeographischen Studien: „Es handelt sich hier um eine Fundamentalfrage unserer Wissenschaft. Die gesammte Grundlage unserer Formationslehre ändert sich mit unserer Anschauung von den Ursachen, welche den wiederholten Veränderungen in der Vertheilung von Wasser und trokkenem Land zu Grunde liegen." (SUESS, 1880, S. 171).

Es waren die paläogeographischen Studien der Wiener-Schule, die schließlich in der Aufstellung des Tethys-Begriffes gipfelten.

Es war aber erst der Kollege und Schwiegersohn von SUESS, der große Deutsche Paläontologe Melchior NEUMAYR, „der größte Paläontologe seiner Zeit" (KÜHN, 1957; Abb. 30), der den Weg zum Tethys-Begriff anbahnte. Als Teil seines Interesses an den Zeit-Raum Verhältnissen des vorzeitlichen Lebens interessierte sich NEUMAYR, den Fußstapfen von SUESS folgend, für die Beziehungen zwischen der Verbreitung der Tiere und den Temperaturverhältnissen in der Vergangenheit. Nach einigen lokalen und europaweiten Arbeiten publizierte er 1883 sein klassisches Werk „Über klimatische Zonen während der Jura- und Kreidezeit" (NEUMAYR, 1883).

Dieses Werk ist ein Musterbeispiel an Arbeiten, die damals an der Wiener Hochschule am Gebiet der Erdwissenschaften publiziert wurde. Darin bespricht der geniale Paläontologe zuerst die Verhältnisse, welche die Temperaturverteilung auf der Oberfläche unseres Planeten kontrollieren. Diskutiert werden der Kohlensäurekreislauf und der Einfluß auf die Biosphäre, die Veränderungen in der Lage der Erdachse, in der Exzentrizität der Erdbahn, der Schiefe der Ekliptik, Veränderungen in der Verteilung von Land und Meer und insbesondere die bereits von SUESS in der oben zitierten Abhandlung betonte kritische Lage des Nordpols, sowie Veränderungen durch die, die Erdoberfläche erreichenden, Sonnenstrahlung (insbesondere die Rolle der Wasserdämpfe). NEUMAYR zeigt, daß es keinen Grund gebe, eine allmähliche Abkühlung der Klimate durch die geologische Geschichte anzunehmen, wie es bisher geschehen war. Er benützt dabei stets aktualistische Beispiele. NEUMAYR wäre darüber erstaunt, daß wir uns als Geologen des späten 20. Jahrhunderts erst seit höchstens zwei Dezennien wieder mit denselben Problemen beschäftigen und dabei unsere jetzigen „interdisziplinären" Forschungen als Neuigkeit betrachten!

Die Wichtigkeit dieser Arbeit NEUMAYRS besteht auch darin, daß sie uns seine kompromißlose aktualistische Einstellung in der Geologie zeigt. Er war auch einer der ersten Paläontologen, die sich zu DARWINS Deszendenzlehre bekannten. Er versuchte, diese Lehre mit seiner Suche nach eigentlichen Entstehungsmechanismen der Arten weiter zu entwickeln (UHLIG, 1890, insbes. S. 5 ff.[61]; KÜHN, 1957). Seine Studien über die Paludinenreihen in Slavonien zeigten die allmähliche



Melchior Neumayr (1845—1890)

Abb. 30
Melchior NEUMAYR (1845-1890), „der größte Paläontologe seiner Zeit" war auch einer der größten der Wiener Giganten. NEUMAYR definierte 1885 das „Centrale Mittelmeer" was später zur Definition der Tethys seinem Schwiegervater SUESS Anlaß gab. NEUMAYR bahnte mit seinen globalen paläogeographischen Studien nicht nur den Weg zu dem Tethys-Begriff an, sondern legte auch die Grundlagen der modernen paläogeographischen Forschung.

Änderung der Arten durch Veränderungen der Umwelt (NEUMAYR & PAUL, 1875; vgl. auch SUESS, 1890). NEUMAYRS Einstellung zur Geologie war deshalb grundverschieden von derjenigen CUVIERS, von BUCHS, ÉLIE DE BEAUMONTS, und MARCOUS. Er wußte sehr wohl, daß in den Gesteinsverbänden vor den Geologen *nicht* die Erdgeschichte, sondern nur ein sehr mangelhaftes Register des Geschehenen liegt. Im Geiste sollte dies vervollständigt werden um die Vergangenheit zu rekonstruieren, und zwar im Lichte einer kritischen und rationalen Betrachtung und Auswertung des heutigen Geschehens. Dazu brauchte man Theorien, die nur eine vorübergehende Funktion hätten und bald überholt werden sollten um durch noch bessere ersetzt zu werden: „in jeder einzelnen Phase einer Wissenschaft ist es notwendig, den momentanen Stand der Kenntnis zu einer Theorie zusammenzufassen, von der aus eine einheitliche Anschauung über die Gesamtheit der Erscheinungen möglich ist. Jede solche Theorie wird mit der Zeit überholt und mag in manchen Punkten sich als falsch erweisen, sie ist aber doch gut, wenn sie zur Zeit ihrer Aufstellung die Summe der bekannten Tatsachen umfaßt, mit keiner derselben in Widerspruch steht, frühern Auffassungen gegenüber einen Fortschritt bekundet und zu weiterer Forschung anregt" (NEUMAYR, 1887a, S. 26). Diese Einstellung zur Theorie kennzeichnete nicht nur das Denken NEUMAYRS, sondern auch das von Eduard SUESS.

[61] UHLIG reproduziert einen Brief von DARWIN an NEUMAYR (datiert 9. 3. 1877), der viele anerkennende Worte des britischen Gelehrten über die Arbeit NEUMAYRS enthält.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Paläogeographie und Tektonik: die Zwillingsfundamente des Tethysbegriffes

Innerhalb von zwei Jahren nach Publikation seiner Arbeit über die klimatischen Zonen der Jura- und Kreidezeit, legte NEUMAYR am 12. Februar 1885 eine größere Arbeit mit dem Titel *Die Geographische Verbreitung der Juraformation* (NEUMAYR, 1885) der Akademie vor. Der eigentliche Zweck dieser Arbeit war zum einen die genaue Feststellung der Verteilung der Meere und Festländer zu einer bestimmten Zeit der Vergangenheit. MARCOU verwendete zu demselben Zweck dieselbe Periode der Vergangenheit (MARCOU, 1857-1860). Zum anderen diente diese Arbeit der Aufstellung bzw. der Verbesserung der Prinzipien, die bei einer solchen Studie zu verwenden wären. In der Zusammenfassung seiner Ergebnisse besprach NEUMAYR vom Gesichtspunkt der paläogeographischen Daten die geodynamischen Ursachen der gegenseitigen Bewegungen der Meere und Festländer: „Der Überblick *über weitgreifende Änderungen in der Vertheilung von Land und Meer* kann unter Umständen Aufschluss über deren Ursache geben und dadurch für die Lösung von Fragen der dynamischen Geologie bedeutungsvoll werden ...

Wenn wir von diesem Standpunkte aus die Thatsachen betrachten, so wird es gestattet sein, abzuwägen, für welche der verschiedenen Ansichten dieselben sprechen. Wohl wäre es voreilig, aus dieser einen Beobachtungsreihe einen ganz bestimmten Schluss abzuleiten; es wird nur möglich sein, zu sagen, für welche Auffassung einseitig nach dieser Gruppe von Thatsachen die grösste Wahrscheinlichkeit spricht; werden dann von verschiedenen Seiten zahlreiche ähnliche Beobachtungsreihen zusammengestellt und kritisch geprüft, so wird die Combination all' dieser Ergebnisse im Falle der Übereinstimmung unter einander mit einem ziemlich hohen Grade von Wahrscheinlichkeit zu urtheilen gestatten, und hiefür Material beizubringen, ist vorläufig die Aufgabe, und nur von diesem Standpunkte aus wird das hier abgegebene Urtheil aufgefasst werden dürfen." (NEUMAYR, 1885, S. 129).

NEUMAYR glaubte, basierend auf seiner eigenen Ergebnissen, denen er sehr zurückhaltend gegenüberstand, die damals sehr heterodoxen Ansichten von SUESS, der jegliche unabhängige vertikale Bewegung der Kontinentalmasen ablehnte, unterstützen zu können: „Dasjenige Resultat, welches heute vollständig klar vor Augen liegt, die Zunahme der Wasserbedeckung auf der nördlichen Hemisphäre nach Ablauf der Liaszeit, spricht der Allgemeinheit der Erscheinung wegen nicht für die Annahme von Continentalbewegungen" (NEUMAYR, 1885, S. 129).

Ich habe ausführlich die Bedenken NEUMAYRS über die Zulänglichkeit seiner Daten für die Beurteilung der größeren Probleme der dynamischen Geologie zitiert, um zu zeigen, daß seine in dieser Abhandlung enthaltene Arbeit eine rein paläogeographische ist. Fragen der dynamischen Geologie besprach er nur nebenher und sehr zurückhaltend. Bedenken gegen eine zu schnelle Auf- und Abbewegung der Kontinente sowie gegen die Permanenz der Kontinente und Ozeane findet man bereits hier sehr stark und ausführlich besprochen.

Abb. 31 zeigt die Resultate der NEUMAYR'SCHEN Studie über die geographische Verbreitung der Juraformation. Es ist leicht einzusehen, warum er der Hypothese der Permanenz der Kontinente und Ozeane nicht beistimmen konnte. In den folgenden Zeilen möchte ich NEUMAYRS Beschreibung eines Teiles seiner Jura-Karte zitieren, denn hier erscheint zum ersten Mal der nächste begriffliche Vorläufer der Tethys-Vorstellung:

„Zwischen den Continenten verläuft von West nach Ost ein großes Mittelmeer, das im Osten bis an den sinisch-australischen Continent reicht, an dessen Küste nach Süden umbiegt und durch eine schmale Wasserstrasse mit der indischen Bucht des antarktischen Meeres in Verbindung steht. Wir bezeichnen dieses Meer als:

IV. Das centrale Mittelmeer. Dasselbe steht mit dem östlichen Theile des pazifischen Beckens in offener Verbindung, da aller Wahrscheinlichkeit nach Mexico, Centralamerika und der äusserste Nordrand von Südamerika, sowie die ganze westindische Area zur Jurazeit unter Wasser war. Von da zog sich das centrale Mittelmeer zwischen dem nearktischen und dem brasilianisch-äthiopischen Continent nach Osten, wobei natürlich die Art und Weise der Begrenzung und die Breite des Meres in keiner Weise genau festgestellt werden kann. Da auf dieser Strecke, welche heute einen Theil des atlantischen Oceans bildet, kein Anhaltspunkt zur Reconstruction der Küstenlinien vorliegt, so ist die Abgrenzung auf der Karte rein willkürlich, und ebensowenig können wir entscheiden, ob etwa Inseln in dieser Region vorhanden waren.

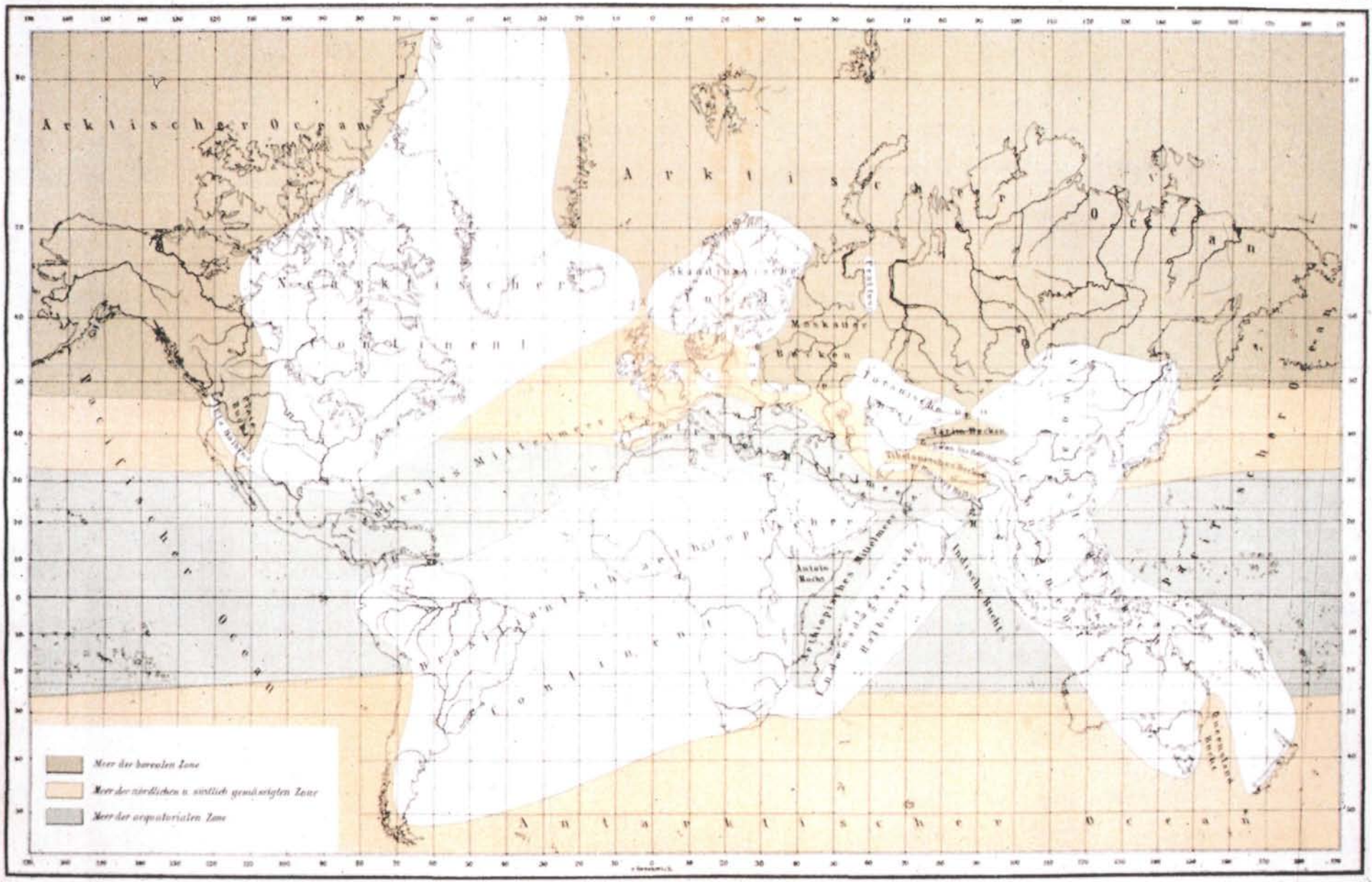
In der weiteren Fortsetzung nach Osten, nach Europa und Nordafrika, treffen wir auf jenes große Becken, in welchem sich die Schichten des mitteleuropäischen und des alpinen Jura abgelagert haben; diese Area trägt eine Anzahl bedeutender Inseln, welche in den früheren Abschnitten besprochen worden sind. Von hier führten drei vermutlich enge Wasserstrassen nach dem arktischen Ocean, *von denen die eine nördlich vom heutigen Schottland lag; wir bezeichnen* sie als Shetlandsstrasse. Eine zweite Verbindung, die baltische Strasse, führte über Popiläni nach dem Moskauer Bekken, und ebendahin öffnete sich die Strasse von Lublin, welche den polnischen an den innerrussischen Jura knüpfte. All' diese Communicationen scheinen aber nur während verhältnissmässig kurzer Zeit, während der Ablagerung der Kelloway- und des unteren Theiles der Oxfordstufe offen gewesen zu sein, und sich dann wieder geschlossen zu haben.

Weiter nach Osten setzt sich das centrale Mittelmeer zwischen der arabischen Wüstentafel im Süden und der turanischen Insel im Norden fort und erstreckte sich nach Indien, wo die Ablagerungen von Cutch und anderen Punkten nördlich vom Dekan mit ihrer der europäischen so überaus ähnlichen Fauna die Spuren dieses Meeres erkennen lassen. Immer mehr verschmälert sich das Becken im Osten und steht endlich gegen Süden umbiegend durch die bengalische Strasse mit der indischen Bucht des antarktischen Oceans in Verbindung.

Von diesem Meerestheile, der sich von Mitteleuropa nach Indien erstreckt, führen abermals zwei Communicationen nach Norden; die Existenz der einen haben wir oben aus den Arbeiten von Pawlow über den Jura von Ssimbirsk kennengelernt; diese Verbindung, die wir die Wolgastrasse nennen, war gross und breit, sie führte aus der kaukasischen Region nach dem russischen Becken und scheint die ganze Strecke zwischen der unteren Wolga und dem Uralfluss eingenommen zu haben. *Die zweite Communication nach Norden muss* aus der Gegend von Cutch nach dem Becken des tibetanischen Jura geführt haben, wir wollen sie als die Indusstrasse bezeichnen.

Wir haben gesehen, dass eine ganze Reihe von Meerengen das centrale Mittelmeer mit dem arktischen Ocean verbinden, während ausser der bengalischen Strasse im äussersten Osten keinerlei Verbindung mit dem Südmeere vorhanden zu sein scheint. Dafür zweigt sich eine mächtige Bucht, das „äthiopische Mittelmeer" nach Süden ab; die Existenz desselben wird gefolgert aus dem Auftreten von Ablagerungen des oberen Jura und der unteren Kreide bei Mombassa, Mossambique und auf Madagaskar, welche sich in ihrem Charakter, so weit wir denselben zu beurtheilen im Stande sind, nahe an die Vorkommnisse von Cutch in Indien und in der alpinen Region Europa's anschliessen, mit denjenigen des nahe gelegenen Caplandes dagegen nicht die mindeste Ähnlichkeit haben. Der Eingang dieses vermuthlich heissesten Meerestheiles der Jurazeit ist im Westen durch die arabische Wüstentafel begrenzt, in welcher überall Gesteine der oberen Kreide unmittelbar auf altem Gebirge zu ruhen scheinen; gegen Osten ist derselbe durch die alte Masse des Dekan und durch jene Landmasse abgeschlossen, welche Südafrika mit Indien verband, und welche wir als indisch-madagasische Halbinsel *bezeichnen. Das Vorkommen der jurasischen [sic!] Antalokalke in* Abyssinien weist auf die Existenz einer von dem äthiopischen Mittelmeere nach Norden einspringenden Bucht hin, die wir als Antalobucht bezeichnen." (NEUMAYR, 1885, S. 131 f.; Hervorhebung durch NEUMAYR).

Abb. 31
Paläogeographische Karte der Juraperiode von NEUMAYR (1885), auf welcher das Centrale Mittelmeer zum ersten Mal erschien. Vgl. mit Abb. 28, 50, 60, 87, 88 und 99. →



© Österreichische Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at und www.biologiezentrum.at

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

NEUMAYR zeigte, daß Sedimente der Tiefsee, ähnlich denjenigen, die während der Challenger-Expedition angetroffen worden waren, in unseren Hochgebirgen vorkamen. Er postulierte, daß sowohl in Mitteleuropa als auch im alpinen Bereich Wassertiefen im zentralen Mittelmeer von ± 2000 Faden existiert haben müßten. „Wir haben es hier mit einer Folge von Gebirgsaufstauung zu thun, durch welche Sedimente grosser Tiefen emporgefaltet wurden. In beiden Fällen, in Mitteleuropa wie in den Alpen, sehen wir also, dass an Stelle tiefen Meeres sich Festländer sammt ihren Sockel erheben, und wir haben es hier ebenso wie im westlichen Amerika mit einem Landgewinne zu thun, der mit der Annahme der Constanz der Meeresbecken in Widerspruch steht." (NEUMAYR, 1885, S. 137).

Bei seinen paläogeographischen Studien beabsichtigte NEUMAYR eine Darstellung der jurassischen Verteilung der Meere und Festländer. Wie wir oben gesehen haben, hat er dabei nur flüchtig Fragen tektonischer Natur berührt und nur soweit als sie durch seine paläogeographischen Daten beleuchtet werden konnten. Ganz besonders legte er Gewicht auf die Fragen betreffend der Strandverschiebungen und ob frühere Kontinente zu Weltmeeren werden könnten und umgekehrt.

Anläßlich der Frage der Strandverschiebungen mischte sich Eduard SUESS in das Problem der globalen Paläogeographie ein.

Als er am zweiten Band des *Antlitz* arbeitete, lag es ihm daran, die gegenseitigen Bewegungen der Meere und der Festländer zu dokumentieren. Damit wollte er prüfen, ob die Festländer oder Meere sich in bezug auf den Erdmittelpunkt bewegt hatten. Bereits in seiner *Entstehung der Alpen* hatte er sich mit der Frage der Geosynklinalen beschäftigt. Obwohl er gestanden hatte, daß es ihm nicht klar gewesen war: „wie, selbst wenn alle Prämissen richtig wären, durch Senkung und Erweichung einer ausgedehnten Fläche des Meeresbodens Gebirge entstehen könnten, welche auch nur einige Aehnlichkeit mit unseren grossen, an ihrer Aussenseite regelmässig gefalteten und nach Aussen überschobenen Ketten hätten" (SUESS, 1875, S. 97) hatte er nicht übersehen können, daß „allerdings die Art der Entwicklung mesozoischer Sedimente in vielen Fällen für die Annahme Herschel's spricht"[62] (SUESS, 1875, S. 97). SUESS hatte ferner bemerkt, daß pelagische Trias nirgends in ungestörter Lagerung angetroffen wurde und daß sich gewisse Ablagerungen der Alpen in *größeren Tiefen gebildet hatten. „In so ferne kann also allerdings* ein grosser, und zwar namentlich der östliche Teil der Alpen als eine einstige Geosynclinale angesehen werden" (SUESS, 1875, S. 101). Aber nicht alle Formationen hatten dieselbe Eigentümlichkeit wie die Trias gezeigt. An vielen Stellen lagen pelagische Sedimente alter Formationen ungestört. In diesen Fällen waren die Serien aber sehr lückenhaft und dünn. SUESS wollte den Unterschied zwischen den Regionen starker gebirgsbildender Deformation mit mächtigen und vollständigen Serien auf der einen Seite und den Regionen ohne starke gebirgsbildende Deformationen auf der anderen wissen. Zu diesem Zweck hatte er die Transgression des Cenomans untersucht um zu sehen warum „gewisse Formationen das Vorrecht haben, sich über diese weite Flächen auszudehnen, andere aber nicht?" (SUESS, 1875, S. 103). Sein sehr zurückhaltend ausgesprochenes Ergebnis hatte gelautet, daß die unabhängigen vertikalen Hebungen der Festländer nicht imstande wären die einheitlichen Bewegungen der Wassermassen zu erklären. Dann kehrte er zur Geosynklinalfrage zurück: „Hiermit ändert sich auch unsere Ansicht von den Geosynclinalen. Viele Kettengebirge liegen in der That in jenen Regionen, in welchen die sedimentäre Serie vollständig oder doch die Entwicklung einer grösseren Anzahl von Gliedern eine mehr pelagische ist als in den Nachbar-Regionen. Von den Pyrenäen, Alpen, Appenninen und Karpathen, vom Balkan und Kaukasus, vom Himalaya und von den nordamerikanischen Cordilleren kann man diess wohl behaupten. Aber darum ist noch nicht zugegeben, dass diese Gebirge durch den Zusammenbruch eines sinkenden Meeresgrundes entstanden seien. Ihr regelmässiger Bau und Verlauf widerspricht einer solchen Annahme, und es gibt auch eine gute Anzahl von Gebirgsketten, welche nicht in Geosynclinalen liegen" (SUESS, 1875, S. 120).

Diese ablehnende Stellung gegenüber der Geosynklinalhypothese führte SUESS zu folgenden Fragen: Welche Form hatten die Ablagerungsräume der in den Gebirgen auftretenden Sedimente wenn sie keine Geosynklinalen waren. Wie sind sie entstanden wenn sie nicht durch Kompression gebildete Synklinalen wären? Was könnten ihre Beziehungen zu der Wasserhülle des Planeten gewesen sein, oder, mit anderen Worten, was war der Grund für die großen Meeresspiegelschwankungen der Vorzeit wenn nicht die vertikalen Hebungen der Festländer?

Diesen Fragen hat SUESS den dritten und vierten Abschnitt des ersten Bandes des *Antlitz* (SUESS, 1885, S. 311-460) sowie den gesamten zweiten Band gewidmet (SUESS, 1888a). Seine Methode beim Studium der Struktur vorzeitlicher Meere war hauptsächlich eine paläogeographische. Er kombinierte damit Beobachtungen über tektonische Geschehnisse, welche für die Herbeiführung der paläogeographischen Situationen maßgebend waren. Im ersten Bande zeigte er, daß das heutige Mittelmeer zum größten Teil durch Vereinigung der zu verschiedenen Zeiten aber hauptsächlich während des Känozoikums entstandenen Einbrüche entlang großer und steiler Brüche entstand. In äußerst seltenen Fällen und im kleinen Maßstab kam es vor, daß Meeresgebiete durch seitliche Pressung zur Synklinale wurden. Diese Ausnahme merkte SUESS aber erst im letzten Band an (SUESS, 1909, S. 738).

Im zweiten Band verwendete er dieselbe Methode und zeigte, daß der atlantische und der indische Ozean junge, hauptsächlich spätmesozoisch-känozoische Gebilde waren. Wie das Mittelmeer, jedoch in größerem Maßstab, entstanden sie durch Einbruch.

Vorzeitliche Meere sollten dieselbe Entstehungsursache und Struktur gehabt haben: „Diese Zerstückung des Erdballes durch grosse Brüche verschiedenen Alters ist aber eine weitverbreitete Erscheinung. Die marinen Trias-Ablagerungen und mit ihnen die vollständigste Reihe mesozoischer Meeresschichten ziehen quer durch den grössten Continent der Gegenwart in einer Zone, welche zum nicht geringen Theile mit jener der südlichen Grenzbogen Eurasiens zusammenfällt, so dass Gebirge gerade an der Stelle des alten Meeres liegen, welches weiter im Westen seine tiefsten Stellen dort hatte, wo heute Theile der Ostalpen stehen, und welches über das westliche Mittelmeer und Theile des westlichen Europa sich fortsetzte" (SUESS, 1888a, S. 681).

Wie SUESS die Kenntnis dieses jetzt verschwundenen Meeres erworben hatte, erzählt er wie folgt:

„So umgürtet die marine Trias den Pacifischen Ocean; sie setzt über Sibirien und die Mündung des Olenek nach Spitzbergen fort. In das atlantische Gebiet gelangt sie aber auf diesem Wege nicht.

Es wurde die marine Trias von Arrakan erwähnt (I[63], S. 581). Sie tritt mit mächtigen Sedimenten in den Bau der asiatischen Hochgebirge ein, aber die Verbindung mit den Vorkommnissen der Alpen ist noch wenig bekannt. Griesbach's ausgedehnte Forschungen in Afghanistan lehren, dass *Halobia Lommeli* der alpinen oberen Trias bei Chahil, NW. von Saighán im afghanischen Turkistan vorkömmt. Aber sie

[62] Es ist sehr auffällig, daß SUESS hier *nicht* von der Hypothese von HALL, sondern von derjenigen von HERSCHEL spricht. Durch seine Aussagen in diesem Kapitel ist es mir klar, daß er mit den HALL'SCHEN Ansichten gar nicht zufrieden war und sich dazu nicht bekennen wollte. Wie wir unten sehen werden, hat er im Schlußband des *Antlitz* schließlich die ganze Geosynklinalhypothese verworfen.

[63] SUESS zitiert das *Antlitz* mit der Angabe der Bandnummer in römischen Ziffern.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

erscheint dort in Verbindung mit pflanzenführenden Schichten, welche einen gewissen Theil der indischen Gondwána-Serie vertreten, und wir haben gesehen, dass auch ein tieferer Theil der Gondwána-Serie von Indien her bei Darjiling in den Bau des Hochgebirges eintritt (I, S. 577).

Weiter gegen West fehlen wieder die Anhaltspunkte. Im russischen Turkistan fehlt die Trias. Im Kaukasus kennt man unter dem Lias nur pflanzenführende Schichten, welche diesem noch zugezählt werden. Mojsisovics, welcher sich so grosse Verdienste um die Feststellung der Vorkommnisse dieser Formation erworben hat, meint allerdings über den permocarbonischen Sedimenten von Djoulfa in Armenien Spuren der alpinen unteren Trias zu erkennen, aber erst die Aufsammlungen russischer Forscher am Berge Bogdo an der unteren Wolga gestatteten demselben den genaueren Nachweis des Auftretens alpiner Vorkommnisse. In dem NW. Kleinasien, an der unteren Donau, im Balkan, in den Karpathen, im ungarischen Mittelgebirge, mehren sich nun solche Vorkommnisse, bis das Gebiet der Ostalpen erreicht ist. Von hier reichen die Sedimente dieser Gruppe bis Graubündten, von den Südalpen und Bosnien durch den Apennin nach Sicilien, nicht mit dem gleichen Merkmalen in die nördlichen Abhänge der Schweizer Alpen, wohl jedoch über die Balearen bis an den Ebro.

Auf diesem Wege erhalten wir Kenntniss von einem Meere, welches aus Inner-Asien durch das südliche Europa sich erstreckte. Es ist dasselbe Meer, dessen Vorhandensein Neumayr aus der Verbreitung der Juraformation nachgewiesen, und welches er als das ‚centrale Mittelmeer' bezeichnet hat" (SUESS, 1888a, S. 328 f.) Diese Beschreibung des triadischen äquatorialen Meeres ähnelt sehr derjenigen, welcher wir in der *Erdgeschichte* von NEUMAYR (1887, Bd. 2, S. 264 ff.) begegnen. Suess glaubte dieses Meer für das gesamte Mesozoikum nachweisen zu können:

„Nun verlassen wir die Ränder der (heutigen) Meere und werfen einen Blick auf die Schichtfolge des Silikank [*sic.!*] im Himalaya (I, S. 562; [Abb. 32]). Wo, wie es hier der Fall ist, tausende von Fussen mächtig die mesozoischen Schichten in ununterbrochener pelagischer Entwicklung sich folgen, in diesem Beispiele sogar einer ähnlichen paläozoischen Serie aufgelagert, dort ist die Annahme unabweislich, dass sich ein tiefes und lange andauerndes Meer mitten in dem Gebiete des heutigen Festlandes befand, welche durch die Mächtigkeit der eigenen Sedimente, durch negative Bewegungen des Strandes und durch die Faltung des Gebirges sein Ende gefunden hat. Die östlichen Alpen bieten nicht minder auffallende Beispiele, und wir haben mit Neumayr ein centrales Mittelmeer anzunehmen, welches schon zur Zeit der Trias von Asien her durch das südliche Europa, zum Theile über das Gebiet des heutigen Mittelmeeres, dann über Gibraltar hinaus sich erstreckte. Dass dieses Meer auch quer über den atlantischen Ocean reichte schon bevor die cenomane Umrandung dieses Oceans begann, dafür sind Andeutungen im Jura vorhanden und noch bestimmtere Zeichen in der untercretacischen Meeresfauna von Bogota.

Durch die Erweiterung dieses im Sinne der Breitengrade sich erstreckenden centralen Mittelmeeres mag stückweise in später Zeit der atlantische Ocean entstanden sein. Noch im Weald gehen an der portugiesischen und nordspanischen Küste die Süsswasser Bildungen frei gegen das Meer aus. Das Auftreten einer Anzahl von Korallen des europäischen Turon auf den westindischen Inseln setzt eine Küstenlinie oder doch eine Anzahl grösserer Inseln in der Mitte des heutigen Meeres voraus, um die Ausbreitung der Korallen zu ermöglichen (I, S. 365).

Es ist daher wahrscheinlich, dass jenes alte Meer, welches sich von Europa gegen Westindien erstreckte, schon vor der Zeit des Cenoman durch die Hinzufügung neuer Tiefen eine beträchtliche Erweiterung erfahren hat, und dass von diesem erweiterten Gebiete aus die cenomanen Transgressionen erfolgten, aber es ist zugleich ebenso wahrscheinlich, dass seither eine Ausgestaltung durch die Bildung noch weiterer Tiefen eingetreten ist" (SUESS, 1888a, S. 368 f.).

Das sind die wesentlichen Darstellungen, die SUESS 1888 im 2. Bande des *Antlitz* von seiner Vorstellung des NEUMAYRSCHEN Centralen Mittelmeer wiedergab. Seine Hauptpunkte fassen wir zusammen:

1. Definition: „Unter dem Gebiete des centralen Mittelmeeres verstehen wir nach Neumayr's Aufstellung eine breite Zone, welche die betische Cordillere, das ganze Alpensystem und den grössten Theil der asiatischen Hochgebirge umfasst, und welche seit der Triasformation durch eine ununterbrochene marine Entwicklung der Sedimente ausgezeichnet ist" (SUESS, 1888a, S. 379).

2. Alter: Hauptsächlich mesozoisch, aber es erstreckte sich „noch im Beginne der Tertiärzeit über das mittlere Asien hinaus" (SUESS, 1888a, S. 385). Im Eozän bestand die Verbindung mit Indien nicht mehr (SUESS, 1888a, S. 383).[64]

3. Lage: Hauptsächlich entlang des Alpen-Himalaya-Systems aber es griff im Norden bis nach Schottland über (siehe unten) und im Süden fast bis nach Chile (SUESS, 1888a, S. 681).

4. Struktur: Dieselbe, wie die Struktur der heutigen Ozeane, d. h. durch vereinigte Senkungen entstandenes Meeresbekken samt den benachbarten Schelfen.

Am 3. Januar 1888 hielt SUESS einen öffentlichen Vortrag „über die Geschichte der Meere" bei einer außerordentlichen Sitzung der Geologischen Reichsanstalt. Dort hat er seine Resultate nochmals in kürzerer Form dargestellt:

„Verfolgt man nun genauer die Verbreitung der Sedimente der Vorzeit, so erkennt man die Spuren eines verschwundenen Oceans, welcher, mindestens seit der Trias-Formation von dem Pacifischen Ocean her auf jenem Gebiete, welches heute von den innerasiatischen Hochgebirgen eingenommen ist, quer über den heutigen Continent, das heutige Gebiet der Ostalpen umfassend, über Theile von Süd-Spanien und über die Mitte des Atlantischen Oceans, über Westindien bis zum neuerlichen Anschlusse an das Pacifische Meer sich erstreckt hat, so daß nur der nördliche und südliche Theil des Atlantischen Oceans als jüngere Senkungen erschienen. Dieses alte, heute nur in der Mitte des atlantischen Oceans und Theilen der europäischen und amerikanischen Mittelmeere erhaltene Meer nannte Neumayr das „centrale Mittelmeer". Wie in ungeheueren Pulsationen hat es sich bald erweitert und bald verengt. Flach und heute noch horizontal gelagert, strecken sich seine Ablagerungen von den Alpen her zur Zeit des Jura nach Franken und Schwaben und nordwärts bis in das nördliche Schottland, gegen Nordost aber zuerst kaum bis Passau, dann übergreifend über Krakau, Kiew, endlich längs der Westseite des Ural bis in die Nähe des heutigen Eismeeres. Dann zieht sich über die ganze Fläche das Meer wieder bis zu den Alpen zurück; das Land war trocken oder von großen Süsswasserseen bedeckt, wie in Südengland, Hannover, Nord-Spanien und Portugal. Dann tritt das Meer allmählich wieder vor, weiter und weiter und erreicht für die Zeit der mittleren Kreide in den gemäßigten und wärmeren Zonen der Erde seine größte bisher bekannte Ausbreitung. Dann weicht es abermals zurück, zu gleicher Zeit in Brasilien, in den Vereinigten Staaten, in Ostindien, im mittleren Europa; dann liegen wieder Süßwasser Seen in Istrien, Dalmatien und Süd-Frankreich." (SUESS, 1888b[65]).

Bis 1893 war noch keine Rede von der „Tethys" an sich. Dann bat der Herausgeber der *Natural Science*, einer in Eng-

---

[64] TOLLMANN (1984, S. 96) und TOLLMANN und KRISTAN-TOLLMANN (1985, S. 3) haben darauf hingewiesen, daß SUESS im ersten Teile des dritten Bandes des *Antlitz* „betont ...sogar (p. 296), daß dort [*Ostasien*] die Tethys marine Schichtfolgen ‚vom Ober-Karbon bis zur Gegenwart' besitzt". Ich bin nicht überzeugt, daß SUESS die dortigen paläozoischen Schichten tatsächlich zur Tethys zählte. Er schrieb nämlich „Das ganze Gebiet des Archipels, bis an das australische Festland, das im Gegentheile nur von vereinzelten Transgressionen erreicht wird, gehört der Tethys an, welche über Yünnan in das heutige Asien eintritt und die marine Schichtfolge scheint hier keine wesentliche Lücke vom Ober-Carbon bis zur Gegenwart zu besitzen. Die mesozoischen Sedimente zeigen viel Aenlichkeit mit Süd-Europa, wie diess durch die ganze Tethys der Fall ist,..." (SUESS, 1901a, S. 296). Ich möchte hervorheben, daß SUESS nur die mesozoischen Sedimente als Verbindungsstück mit dem südlichen Europa angibt, d. h. nur für die mesozoische Zeit nimmt er eine durchgehende Tethys an.

[65] Es gab auch andere Berichte dieses von einem sehr großen Publikum gehörten Vortrages in *Die Presse*, in der *Neue Freie Presse* und in *Neues Wiener Tagblatt*, von welchen der erste der ausführlichste war. In diesem Bericht lesen wir, daß SUESS seine Erörterungen des centralen Mittelmeeres mit der Jura-Periode begann, was ein Mißverständnis des Reporters sein muß. Alle diese Berichte wurden am 4. 1. 1888 publiziert.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

land erscheinenden Zeitschrift, SUESS, seine Ansichten über die Permanenzfrage der Ozeanbecken für die englische Leserschaft knapp darzustellen. In dieser Arbeit schrieb SUESS folgendes:

"Modern geology permits us to follow the first outlines of the history of a great ocean which once stretched across part of Eurasia. The folded and crumpled deposits of this ocean stand forth to heaven in Thibet, Himalaya, and the Alps. This ocean we designate by the name 'Tethys', after the sister and consort of Oceanus. The latest successor of the Tethyan Sea is the present Mediterranean" (SUESS, 1893a, S. 183).

In dieser Beschreibung erkennt der Leser ohne Zweifel sofort das NEUMAYRSCHE „centrale Mittelmeer" und in der Tat hat einer der besten Kenner des SUESS'SCHEN Denkgebäudes, der Übersetzer des *Antlitz,* Emmanuel de MARGERIE, in der französischen Ausgabe vom 2. Bande des *Antlitz*, den Namen Tethys in Klammern zu demjenigen des „centralen Mittelmeeres" hinzugefügt (SUESS, 1900, S. 489). Aber das war nicht alles aus der Arbeit von 1893. SUESS schrieb weiter:

"I asked Dr. Diener, recently returned from India, to give me his estimate of the thickness of the deposits in the Silakank region. Dr. Diener answers: From Dhauli-Ganga Valley, between Gweldung and Penthathali encamping ground above Silakank (19,265 English feet) to Sirka River in Hundes; a complete section from (Cambrian?) Haimantas to the Gieumal Sandstone (Cretaceous), without a great discordance, gives, according to Dr. Griesbach: –

Haimantas	3,000-4,000	feet
Lower Silurian	200	feet
Upper Silurian	1,100	feet
Devonian	700	feet
Carboniferous	1,200-1,400	feet
Permian and Trias	3,600-3,900	feet
Lias and Spiti Shales	1,400	feet
Gieumal Sandstone	1,200-1,500	feet
	12,400-14,200	feet

The determination of the thickness of the Spiti Shales and Gieumal Sandstone is difficult, because these less-resistant beds are crumpled in local folds.

A parallel section across the Kurkutidhár range (Chor Hoti, about 18,000 feet), Shalshal encamping ground and Shalshal Pass (16,390 feet) to Hundes gives, without the Haimantas: –

Silurian	1,200-1,400	feet
Devonian and Carboniferous	1,800-2300	feet
Permian and Lower Trias	200	feet
Middle Trias	100	feet
Upper Trias to Dachstein Limestone	1,400	feet
Dachstein limestone, Rhætic and Lias	2,200	feet
Spiti Shales	1,000?	feet
Gieumal Sandstone	1,500?	feet
	9,400-10,000	feet

These figures show that a great and deep ocean has been incorporated into the continent, and that the deposits of this ocean form part of the highest mountain ranges." (SUESS, 1893a, S. 183 f.).

Aus dieser Beschreibung zog mein verehrter Freund und Kollege, der bedeutende britisch-kanadische Trias-Paläontologe Tim TOZER (1989, S. 883) folgenden Schluß: "The quotation from Suess also indicates when he considered Tethys to have started. When Suess wrote about the Himalaya, he knew, from the work of C. L. Griesbach, that these mountains preserved a concordant sequence extending at least from the Lower Silurian (i.e., Ordovician) to the Cretaceous. Suess thus knew that there was good evidence for a Palaeozoic-Mesozoic seaway, unaffected by Caledonian, Hercynian, or Mesozoic orogeny, on the north side of this side of Gondwana ... In his later writings, Suess (1901[a], 1909) dealt mainly with the Mesozoic history of the Tethys, but nothing suggests that he departed from his original view, that it was a feature of both the Palaeozoic and Mesozoic."

SUESS schreibt tatsächlich "we must ... concede the extinction of a great Palaeozoic, Mesozoic and Tertiary ocean in south-western Eurasia" (SUESS, 1893a, S. 185 f.). Die von DIENER beschriebenen Profile aus dem Himalaya kannte SUESS aber bereits 1885 (Abb. 32) und beschrieb sie wieder im Jahre 1888. SUESS bezeichnete das von ihm begrifflich bereits erweiterte centrale Mittelmeer trotzdem als ein erst mit der Trias beginnendes Phenomän (SUESS, 1888a, S. 368)! Im obengegebenen Zitat aus dem zweiten Bande des *Antlitz* (S. 368 f.) schrieb ja SUESS: „Wo, wie es hier der Fall ist, tausende von Fussen mächtig die mesozoischen Schichten in ununterbrochener pelagischer Entwicklung sich folgen, in diesem Beispiele *sogar* einer ähnlichen paläozoischen Serie aufgelagert, dort ist die Annahme unabweislich, dass sich ein tiefes und lange andauerndes Meer mitten in dem Gebiete des heutigen Festlandes befand ..." (Meine Hervorhebung). Daß er das Vorkommen konkordanter paläozoischer Sedimente mit einigem Erstaunen erwähnte, zeigt, daß sie nicht zum „centralen Mittelmeer" und auch nicht zur Tethys gezählt wurden.

TOZER glaubt, daß SUESS den Begriff Tethys erst 1901 mit dem Begriff des „centralen Mittelmeeres" in Verbindung gebracht hat, und der Begriff Tethys vom Begriff „centrales Mittelmeer" *unabhängig gewesen sei!* TOZER *ist überzeugt*, daß die ursprüngliche Tethys-Idee von SUESS sich mit einem bis in das frühe Paläozoikum hinabreichenden Meeresraum deckt. Diese Deutung ist aber, nach den vorhandenen Schriften SUESS' und nach den Ansichten seiner nächsten Mitarbeiter und Kollegen[66] kaum aufrechtzuerhalten, wie die sehr langen Zitate oben klar bezeugen.

Wechselte SUESS inzwischen seine Idee über das hauptsächlich mesozoische Alter des zentralen Mittelmeeres und

[66] Die anderen Wiener Giganten haben den Begriff Tethys auch stets als ein mesozoisch-frühkänozoisches Phänomen verstanden. Z. B. „Am eingehendsten hat er [*SUESS*] die Geschichte jenes heute fast erloschenen Meeres verfolgt, das wir nach seinem Vorschlage mit dem Namen Tethys belegen, das während des Mesozoikums und noch in der ersten Hälfte der känozoischen Ära von der Straße von Gibraltar quer durch Asien bis zu den Sundainseln reichte" (DIENER, 1914, S. 18). Nur bei UHLIGS Bearbeitung der NEUMAYR'SCHEN *Erdgeschichte* sehen wir mindestens zweimal den Gedanken auftreten, die Tethys sei ein seit dem frühen Paläozoikum bestehender Ozean: „Seit den ältesten Zeiten hat der ostwestlich gestreckte Ozean Tethys, als dessen letzten Rest wir das heutige Mittelmeer erkannt haben (vgl. Band I, S. 414), eine eigentümliche und von der allgemeinen abweichende Tierwelt beherbergt, deren Verbreitungsgebiet an den Grenzen zwar bald dahin, bald dorthin ausgedehnt oder auch eingeengt wurde, im großen und ganzen aber eine bemerkenswerte Stetigkeit bekundete. Man wird also diese Frage nur im Zusammenhang mit den jüngeren Formationen zu betrachten haben" (NEUMAYR, 1895a, S. 89). Obwohl UHLIG die Tethys bei den jüngeren Formationen besprechen will, tut er dies erst wieder bei der Besprechung der Triasformation! Auch dort ist die Rede von einem mindestens seit dem Devon bestehenden Ozean: „So wie wir bei Besprechung der Devon-, Karbon- und Permformation den *ostwestlich gestreckten Tethys-Ozean mit einem* arktischen Ausläufer in Verbindung fanden, so müssen wir auf Grund der innigen faunistischen Beziehungen auch für die Trias eine offene Meeresverbindung aus dem Herzen Europas bis nach Innerasien und von da in das arktisch-pazifische Gebiet annehmen" (NEUMAYR, 1895a, S. 204). Aber wir sehen doch keine Erörterung über die Tethys bei der Besprechung der paläozoischen Formationen mit der zitierten Ausnahme des Silurs, wo es heißt, diese Frage sei „nur im Zusammenhang mit den jüngeren Formationen zu betrachten". Als UHLIG die Tethys zum ersten Mal in seinem Lehrers Buch einführt, beschreibt er sie als rein mesozoischen Ozean: „Wir haben bei der Besprechung dieser Tiefseebildungen nur ihr Vorkommen in den Alpen und Karpathen erwähnt. In Wirklichkeit können wir sie aber weit über die Grenzen dieser Gebirge hinaus verfolgen. In gesamten Mediterrangebiet, soweit sich die Ketten des Alpensystems ausdehnen, sind diese Gesteine verbreitet, und sie sind bis in den Himalaja und nach Tibet nachweisbar. Anderseits kennen wir in Südamerika mesozoische Ablagerungen, deren Übereinstimmung mit den europäischen schon seit lange [*sic!*] die Aufmerksamkeit der Geologen erregt, und auch aus Kalifornien sind solche Ablagerungen bekannt geworden. Auf Jamaica erscheint die Oberkreide in derselben Ausbildung wie im Mediterrangebiet Europas, und ebenso zeigt das ältere Tertiär in Westindien diesen Typus. So gelangen wir zu der Kenntnis eines großen alten Ozeans, ‚Tethys', der sich quer zur Richtung des heutigen Atlantischen Meeres aus Asien über Europa nach Amerika erstreckte. Nach der Beschaffenheit der Sedimente zu schließen, befanden sich entlang dem Kettengebirgszug des Alpensystems die größten Tiefen, die denen der heutigen Ozeane nicht nachstanden. In der Trias- und Juraformation, die wir schon im Vorhergehenden als eine Periode zunehmender Meeresbedeckung und positiver Verschiebung der Strandlinie kennen gelernt haben, scheint die Tiefe der Tethys am größten gewesen zu sein..." (NEUMAYR, 1895b, S. 414 f.)

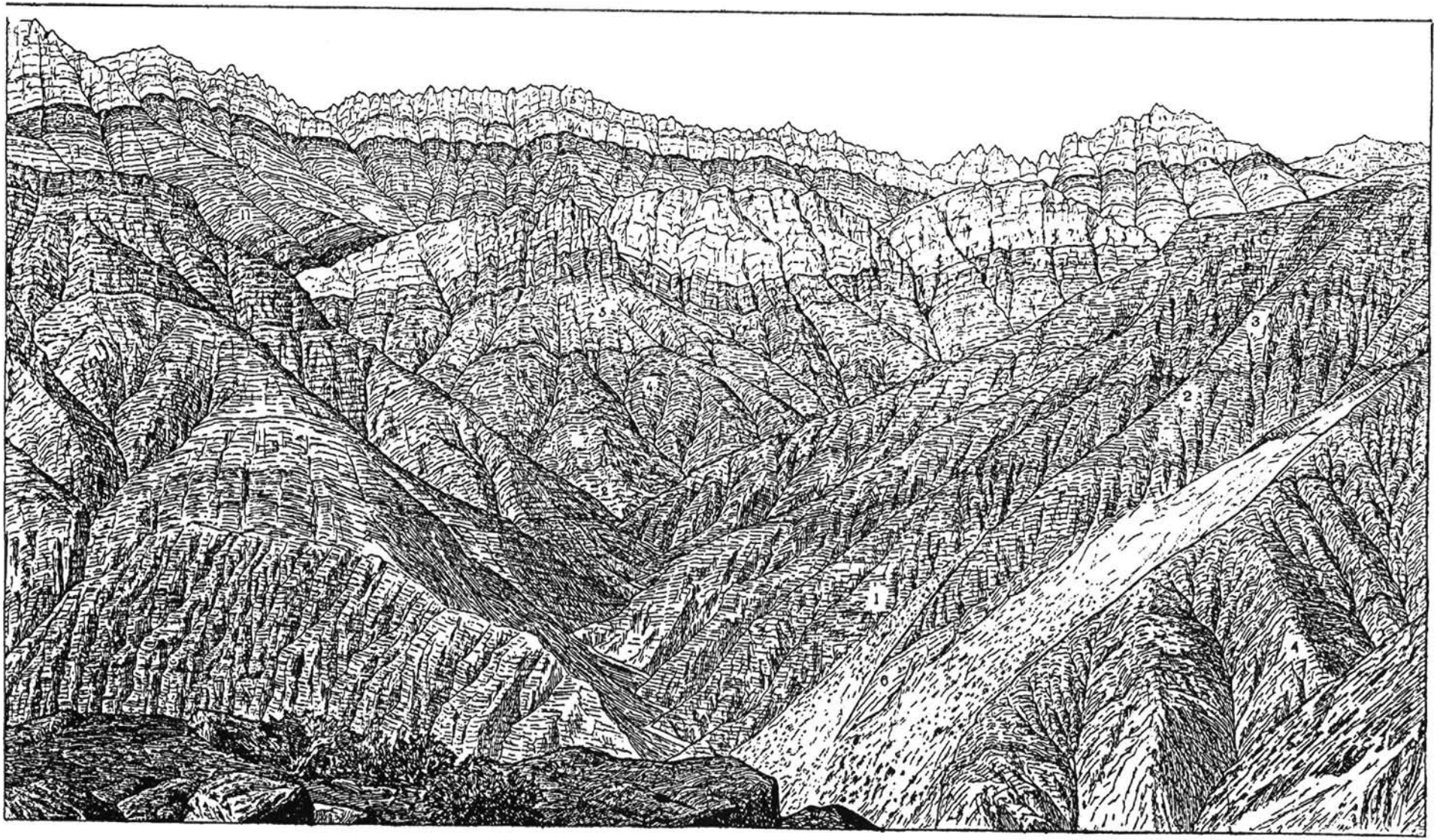


Abb. 32
Panorama des Silakank (Sillagong) im Zentralhimalaya. Es war dieses Profil, das Carl DIENER SUESS auf dessen Bitte beschrieb und welches SUESS als ein Beispiel tethydischer Schichtfolge in der kleinen Arbeit publizierte, in welcher die „Tethys" zum erstenmal definiert wurde (SUESS, 1893a). Erklärung: 1. Gneiss, Amphibolschiefer, Granit; 2. Konglomerat und Quarzit; 3. Rote Kieselschiefer (Kambrium); 4. Korallenkalk (Untersilur); 5. Quarzite etc. (Obersilur); 6. Blauer Kalkstein (Unterkarbon); 7. Crinoiden führender roter Kalkstein und 8. Weisse Quarzite (Oberkarbon); 9. *Productus-führende* Schichten (Perm?); *10. Otoceras-führende* Schichten; 11. Muschelkalk (Untertrias); 12. Halobia-führende Schichten; 13. *Corbis* führende Dolomite und Grünschiefer (Obertrias); 14. Dolomit; 15. Kössenerschichten und *Lithodendron-führende* Kalksteine (Rhät). *Hinter den Klippen, auf der Nordseite des Tales folgen noch Lias, Spitischiefer (Oberjura) und Kreide (nach SUESS, 1897, Fig. 85; siehe auch SUESS, 1885,* S. 562; 1888a, S. 368; 1893a, S. 184).

© Österreichische Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at und www.biologiezentrum.at

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

deshalb auch der soeben neu definierten Tethys? Bei der Beantwortung dieser Frage dürfen wir die bisher geweckte Vorstellung des zentralen Mittelmeeres in den Schriften von SUESS nicht unberücksichtigt lassen. Diese Vorstellung postuliert einen Meeresraum, der zu einem guten Teil aus ozeanischen Becken unterschiedlichen Alters besteht. Das ganze zentrale Mittelmeer war in der Vorstellung von SUESS eine dynamische, sich ständig weiter entwickelnde Struktur gewesen. Teile davon sind während der Kreide, andere im Känozoikum, noch weitere Teile erst im späten Känozoikum, nachdem die östlicheren Teile verlorengegangen waren, entstanden. In vergleichbarer Weise kamen zum zentralen Mittelmeer Teile älterer Becken dazu, einige sogar mit frühpaläozoischem Alter! Aber, als ein vom Pazifik bis zum Atlantik und wieder bis zum Pazifik reichender Zwischenozean bestand das zentrale Mittelmeer bzw. die Tethys lediglich während des Mesozoikums und im frühen Känozoikum bis ins Eozän. Die alpine Tethys entstand z. B. erst nach der Faltung der europäischen Variszide[67]: „Unter dem Ausdrucke ‚posthume Altaiden' sind hier alle jene Gebirgszüge verstanden, welche nach Beendigung des Baues des östlichen Altaiden in den Einsenkungen entstanden durch welche die Altaiden in Horste getheilt worden sind. Alle diese posthumen Ketten haben in tertiärer oder noch späterer Zeit Faltung erlitten. Alle, mit Ausnahme des mediterranen Atlas, gehören Europa an" (SUESS, 1909, S. 219). Diese Sachlage bestätigt SUESS selbst noch zweimal nach der Publikation seiner ersten Abhandlung über die Tethys:

„Das Gondwána-Land ist gegen Norden begrenzt durch eine breite Zone von Meeresbildungen der mesozoischen Epoche. Diese Zone erstreckt sich von Sumatra und Timor über Tonking, Yunnan zum Himalaya und Pamir, Hindukush und nach Kleinasien. Sie ist in ihrer Gesammtheit als der Rest eines Meeres anzusehen, welches quer über dem heutigen Asien lag. Dasselbe wurde von Neumayr das ‚centrale Mittelmeer' genannt und wird hier mit dem Namen Tethys bezeichnet werden. Das heutige europäische Mittelmeer ist ein Rest der Tethys" (SUESS, 1901a, S. 25).

Hier also lesen wir, daß 1) die Tethys dasselbe Objekt als das zentrale Mittelmeer ist und 2) sie ist in ihrer Gesamtheit mesozoischen Alters. In seiner Abschiedsvorlesung ist SUESS 1901 abermals zur Frage der Tethys zurückgekehrt:

„Unterdessen wurde auch mehr und mehr Licht erlangt in Betreff der fremdartigen Entwicklung, welche gewisse mesozoische Ablagerungen, und insbesondere die Trias, in den Alpen im Gegensatze zu den nördlich gelegenen Ländereien, wie Württemberg oder Franken, zeigen. Die Untersuchungen in den asiatischen Hochgebirgen und namentlich im Himálaya lehrten, dass diese Art der Entwicklung der Trias gegen Osten eine sehr weite Verbreitung besitze, und es wurde sogar möglich, nachzuweisen, dass quer durch das heutige Asien, vom heutigen europäischen Mittelmeere bis zu den Sunda-Inseln sich einst ein zusammenhängendes Meer erstreckt hat. Dieses Meer hat, wie Sie wissen, den Namen Tethys erhalten. Das alte Festland an seiner Südseite wurde Gondwánaland geheissen und jenes an seiner Nordseite Angaraland. Unser heutiges Mittelmeer ist ein Rest der Tethys.

...

Ich habe noch einen anderen Ocean, die Tethys, erwähnt, welcher zur mesozoischen Zeit quer über dem heutigen Asien lag und dessen Rest unser Mittelmeer ist." (SUESS, 1901b, S. 4 u. 5).

Diese Äußerungen von SUESS lassen keinen Zweifel mehr an seiner Meinung über das Alter und die Beschaffenheit der Tethys. Was die obigen Darlegungen von der *Beschaffenheit* der Tethys berichten ist aus dem zweiten Satze zu entnehmen. *Das ganze Areal der Tethys ist heute in Falten gelegt.* Aber nicht das gesamte gefaltete Gebiet gehört in die Tethys. Diese Äußerung steht im anscheinlichen Widerspruche mit der zitierten Beschreibung, *daß manche Ablagerungen des centralen Mittelmeeres „Flach und heute noch horizontal gelagert*, strecken sich ... von den Alpen her zur Zeit des Jura nach Franken und Schwaben und nordwärts bis in das nördliche Schottland ..." (SUESS, 1888b, meine Hervorhebung), wenn man das zentrale Mittelmeer ohne weiteres mit der Tethys gleichsetzt.

Meine These ist es, daß in der Vorstellung von SUESS die Tethys doch etwas mehr als das zentrale Mittelmeer seines verstorbenen Schwiegersohns war. Sonst hätte er dieses nicht mit einem neuen Namen belegt! Für SUESS war die Tethys der Ozean, der das zentrale Mittelmeer von NEUMAYR enthalten hatte und „an vielen Stellen ... kaum weniger als 4000 M. tief gewesen ist" (SUESS, 1909, S. 646). Ein Ozean war aber für ihn nicht die Wassermenge, sondern der Behälter, der Gegensatz zum Kontinent, ein Teil der Architektur unseres Planeten. Wenn er gegen die Hypothese der Permanenz der Ozeane schrieb, meinte er ja nicht, daß auch Wassermengen verschwunden waren, sondern nur die ozeanischen Becken als tektonische Strukturen! Daß durch die Entstehung neuer Ozeane negative Bewegungen des Strandes verursacht wurden, war eine seiner Hauptthesen im *Antlitz*. Eine solche Deutung wäre nur möglich, wenn man sich das Wasservolumen der Weltmeere als ± konstant vorstellt.[68] Durch Gebirgsbildung würde der Ozean eingeengt und seine sedimentäre Füllung tritt z. T. über den Rahmen in Form von Decken hinaus. Diese treibt die ursprüngliche Sedimentbedeckung der Rahmen, wie im Falle des Kinchinjinga, welche völlig terrestrisch sein kann, vor sich in Form von Vorlandsdecken und Vorlandsfalten her. Abb. 33 zeigt die strukturelle Entwicklung der Tethys, die ich nach meiner Interpretation der SUESS'SCHEN Darstellungen rekonstruiert habe.

Diese Deutung der SUESS'SCHEN Vorstellung der Tethys als Ozean wird durch die Äußerungen seiner Kollegen und Schüler auch bestätigt. DIENER, z. B. schrieb: „Die triadische Tethys war kein Ozean, sondern eine Kette von aneinander gereihten Ingressionsmeeren im Sinne Penck's." (DIENER, 1916, S. 520). Am Ende dieses Satzes fügte DIENER die folgende Anmerkung noch ein: „... Penck ist durchaus im Recht, wenn er ... die Bezeichnung der Tethys als Ozean durch Suess (Are great ocean depths permanent?, Nat. Science, Vol. II, No. 13, London, 1893, p. 183) ablehnt." (DIENER, 1916, S. 520, Fußnote; Hervorhebung durch DIENER).

TOZER (1989) hat auch die befremdende Äußerung gemacht, daß die Tethys von SUESS "remains a useful name for the seaway which lay on the north side of Gondwana throughout the Palaeozoic and Mesozoic" (TOZER, 1989, S. 883). Die „Tethys" wurde aber nicht nur durch ihre Beziehung zum Gondwana-Land definiert, sondern, wie die obigen Zitate zeigen, durch ihre zwischenkontinentale Lage. SUESS beschreibt ihre Beziehungen zum Angara-Land an verschiedenen Stellen des *Antlitz*: „Die Tethys besass, wenigstens durch einen grossen Teil ihres Bestandes, eine weite und flache Ausbreitung über das Gebiet der heutigen Aralo-kaspischen Niederung, am SW. Rande des Festlandes Angara" (SUESS, 1901a, S. 372). Was er darüber in seiner Abschieds-Vorlesung sagte, wurde bereits zitiert.

Wir können den SUESS'SCHEN Begriff der Tethys wie folgt zusammenfassen:

---

[67] SUESS betrachtete die europäischen spätpaläozoischen Kettengebirge als Teile seiner asiatischen Struktur, also auch als Teile der Altaiden. Man hat seither diese Deutung verlassen (vgl. ŞENGÖR, 1987; ŞENGÖR & OKUROĞULLARI, 1991; ŞENGÖR et al., 1993a). Für die europäischen spätpaläozoischen Gebirge benütze ich deshalb die von SUESS nur für den östlichen Teil derselben eingeführte Bezeichnung „variszisch", weil diese besonders in der deutschsprachigen Literatur, hauptsächlich durch die Bemühungen von Hans STILLE, so eingebürgert ist.

[68] Vgl. auch SUESS (1895, S. 1115 f.): «La quantité d'eau sur notre planéte étant regardée comme presque invariable, les grands affaissements, c'est-à-dire la naissance des nouveaux océans, doivent eux-mêmes contribuer au desséchement d'anciens bassins et à l'incorporation du lit de l'ancienne Tethys et de ses dépôts plissés dans le continent, c'est-à-dire à l'union de l'Eurasie et de l'Indo-Afrique.»

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

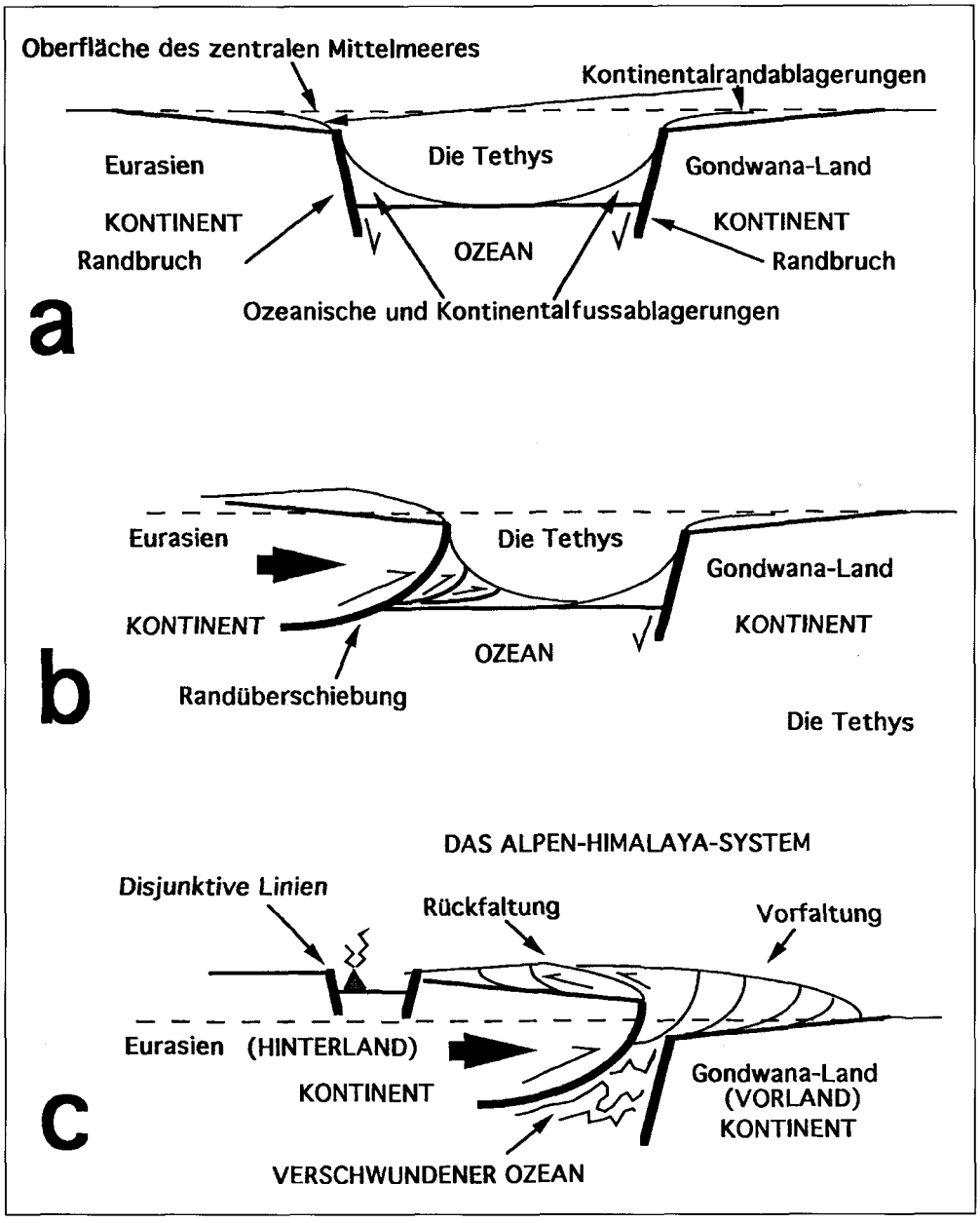


Abb. 33
Schematische tektonische Evolution der Tethys, gezeichnet nach den Darstellungen von Eduard SUESS in seinen verschiedenen Publikationen, hauptsächlich in SUESS (1875, 1878, 1883, 1885, 1888a, b, 1901a, b, 1904, 1909). a. Zeit des Einbruches; b. Zeit der beginnenden Komprimierung durch Schrumpfung-bedingte Tangentialbewegungen; c. Zeit der endgültigen Schließung. Obwohl diese Zeichnung den modernen Querschnitten durch Kollisionsorogene ähnelt, ist diese Ähnlichkeit ein reiner Zufall. Die Skizzen hier wurden lediglich auf der Basis der Darlegungen und der Terminologie von SUESS gezeichnet. Man beachte hier, daß das „Centrale Mittelmeer", ein paläogeographisches Meeresareal, einen breiteren Raum einnimmt als die Tethys, ein Ozean, das heißt ein tektonisches Gebilde im Sinne von SUESS.

Die Tethys war ein hauptsächlich während des Mesozoikums bestehender *Ozean*, der *zwischen* dem Gondwana-Land im Süden und Eurasien (oder Angara Land) im Norden lag. Die Tethys erstreckte sich in W-O-Richtung von Mittelamerika[69] bis zum Pazifik. Teile der Gebiete, die später der Tethys eingegliedert wurden, bestanden früher als z. T. tiefe Meeresgebiete. Als vom Westen nach Osten verlaufender Zwischenozean hat die Tethys bereits im Eozän durch den Verlust des zwischen Iran und Indien gelegenen Teils nicht mehr bestanden. Teile seiner Überbleibsel wurden durch spätere Einbrüche erweitert, wie im Falle des westlichen Mittelmeeres oder der Ägäis. Die Tethys wurde durch die Verschweißung Eurasiens mit den Bruchstücken des Gondwana-Landes durch die enorme Einengung vernichtet. Bei dieser Einengung gingen die nach Süden gefalteten Kettengebirge des Alpen-Himalaya-Systems hervor, die den äußersten Bogen des asiatischen Baues bilden.

Meine Ausführungen über die Ideen SUESS', die Tethys betreffend, schließe ich mit der Bemerkung, daß man im Auge behalten muß, wenn man SUESS'SCHE Begriffe bespricht, daß diese während der Niederschrift des *Antlitz*, immerhin in einem Zeitintervall von 26 Jahren nicht selten beträchtliche Änderungen erfahren haben. Im Gegensatz zu den meisten Lehrmeistern der Tektonik vor oder nach ihm, waren seine Gedanken in stetiger Entwicklung. Nie war er bestrebt, ein in sich geschlossenes, von jeglichen Fragen gereinigtes System zu erbauen. Dieser Charakteristik von SUESS wurde von manchen seiner Kollegen so gedeutet, als sei er ein schlechter Lehrer. In einem mit vielen Worten, jedoch mit erstaunlich geringem Verstand geschriebenen Versuch, die SUESS'SCHE wissenschaftliche Tätigkeit auszuwerten, zitiert TIETZE (1917) (oft aus dem ursprünglichen Zusammenhange herausgerissene) Verlautbarungen von SUESS, die besagen, er könne sich nie entschließen, die landläufige elementare Geologie zu lesen. Tietze sagt, daß er es seinen Hörern oder Lesern überließ, die Schlüsse aus seinen Darlegungen selbst zu ziehen, daß er seinen Schülern nie ein fest gewobenes Lehrgerüst gab, usw. Diese Kritik von TIETZE setzt aber voraus, daß Hoch-

[69] SUESS war nicht ganz sicher ob sich die Tethys wirklich bis nach Amerika erstreckt. An vielen Stellen beschrieb er sie als einen sich im Westen bis zu den Säulen des Hercules erstreckenden Ozean: „...ce vieux Pacifique possédait deux grandes branches,...et l'autre à travers toute l'Asie centrale et les Alpes jusqu'à la Méditerranée occidentale, qui a reçu le nom de *Tethys*..." (SUESS, 1895, S. 1115, Hervorhebung durch SUESS). Bald danach haben auch POMPECKJ, VON ARTHABER und KOSSMAT (seine beiden letzten Wiener Doktoranden!) die Versiegelung der Tethys nach Westen durch die kontinentalen Bildungen von Iberien und Nordwestafrika unterstrichen. Für die Literatur vgl. DIENER (1916, S. 529 f.).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

schulunterricht dem Kirchenunterricht gleichen soll, wo nur „Tatsachen" (in der Kirche die „Tatsachen der Offenbarung") vorgetragen werden und nicht verlangt wird, selbst den Tatsachen kritisch gegenüber zu stehen. In der Kirche wäre ein solcher kritischer Standpunkt sogar eine Sünde! In einer anderen Schrift habe ich darzulegen versucht, daß dieser „Kirchenstil" des Unterrichts besonders unter den Positivisten in der Geschichte der Tektonik sehr verbreitet war und noch immer ist (ŞENGÖR, 1996). SUESS hat ihn stets vermieden und hat deshalb an seinem Institut große Forscher ausbilden und weiterbilden können. Diesen Abschnitt schließe ich mit den Worten eines der größten Schüler von SUESS, der dann selbst zu einem der Wiener Giganten wurde:

„Er [*SUESS*] selbst hat einmal gesagt, in der Wissenschaft sei nur derjenige als alt anzusehen, der die Empfänglichkeit verloren habe, an ihren Fortschritten teilzunehmen, und nicht mehr zugänglich sei für die Meinungen anderer. In diesem Sinne ist Sueß niemals alt geworden. Er ist aber auch niemals der Gefangene einer starren Theorie gewesen. Er war stets bereit, neue Entdeckungen und Argumente zu würdigen, auch wenn sie mit seinen Ansichten nicht übereinstimmten, und die letzteren entsprechend zu modifizieren. Man kann seine eigenen Fortschritte in der Erkenntnis am besten aus dem Vergleich einzelner Abschnitte in der „Entstehung der Alpen" und im „Antlitz der Erde" beurteilen, z. B. jener über den Bau der Südalpen oder über die Herkunft der sarmatischen Fauna. Die neue Idee, die in dem ersten Werke aufkeimt, führt bei ihrer weiteren Verfolgung dreißig Jahre später zu Schlußfolgerungen, die den zuerst vertretenen geradezu entgegengesetzt sind.

Sueß selbst hat seine Meinungen über den Bau der Erdrinde bescheiden als Produkte eines Wanderns von Irrtum zu Irrtum erklärt. ‚Der Naturforscher' – sagt er einmal – ‚muß wissen, daß seine Arbeit keine andere ist, als das Klettern von einem Irrtum zum anderen, allerdings mit dem Bewußtsein, der Wahrheit immer näher zu kommen, so wie derjenige, welcher von Fels zu Fels steigt, wenn er auch den Gipfel nicht erreicht, die Landschaft immer offener und herrlicher vor seinen Augen sich entfalten sieht.' Ich möchte es geradezu als eines seiner größten Verdienste als Forscher bezeichnen, daß er uns das großzügige Bild von dem Bau unseres Planeten nicht in der Form eines starren Systems gegeben hat, sondern in der Gestalt eines elastischen Rahmens, in den neue Erfahrungen und Tatsachen sich einfügen lassen, ohne daß die Grundlage des Bildes erschüttert werden muß, daß es uns keine bestimmte Denkrichtung dogmatisch aufzwingt, daß es neue Gesichtspunkte zu assimilieren imstande ist und den Fortschritten der Wissenschaft entsprechend selbst entwicklungsfähig bleibt." (DIENER, 1914, S. 20).

Die nach-SUESS'SCHE Vergabelung in der tektonischen Forschung und die Entwicklung des Tethysbegriffes

Eduard SUESS starb am 26. April 1914. Sein kolossales Werk dominierte das letzte Viertel des vorigen Jahrhunderts und das erste Dezennium des gegenwärtigen in dem Maße, daß die seit den alten Griechen bestehende Dichotomie der Leitbilder der tektonischen Forschung zugunsten der kritisch-rationalistischen Schule verschwunden zu sein schien (vgl. ŞENGÖR, 1982a, 1991a). Dies schien aber nur so. Jenseits des Atlantik blieb das alte ÉLIE DE BEAUMONT'SCHE Ideengebäude durch die herausragende Persönlichkeit von James Dwight DANA sozusagen fast intakt stehen. Drei sehr einflußreiche Lehrbücher, die im ersten Dezennium des 20. Jahrhunderts auf beiden Seiten des Atlantiks veröffentlicht wurden (CHAMBERLIN & SALISBURY, 1904; LÖWL, 1906; HAUG, 1907), kündigten die beginnende Reaktion gegen die von SUESS eingeleitete kritisch-rationalistische Denkungsweise in der Tektonik an. Sie stellte eine Rückkehr zu den von seit den Arbeiten von STENO herkommende und von solchen großen Lehrern der Geologie wie WERNER, CUVIER, VON BUCH, ÉLIE DE BEAUMONT und DANA im 19. Jahrhundert weitergebauten Geleisen der positivistischen Anschauungen dar. Das frühzeitige Ableben einiger Giganten (STOLICZKA, NEUMAYR, WAAGEN, UHLIG), das Sichzurückziehen aus persönlichen Gründen einiger anderer (z. B. FUCHS) sowie der Zusammenbruch der österreichisch-ungarischen Monarchie im Zuge des ersten Weltkrieges hat zur Beschleunigung dieser Reaktion beigetragen.

Nach den einflußreichsten Vertretern dieser reaktionären Denkweise in der Tektonik des 20. Jahrhunderts, habe ich ihre Vertreter unter dem Namen *Kober-Stille Schule* zusammengefaßt (ŞENGÖR, 1982a, 1982b, 1991a).

Die Reaktion ist nicht ohne Widerspruch geblieben. Das SUESS'SCHE Leitbild bewährte sich besonders im alpinen Europa und wurde von einigen der bedeutendsten Genies in der Geschichte unserer Wissenschaft vertreten. Die Denkschule, die unter diesen Männern entstand, habe ich nach ihren bedeutendsten Führern die *Wegener-Argand Schule* genannt[70] (ŞENGÖR, 1982a, 1982b, 1991a). Trotz der großen und ernsthaften Bewunderung, die die geologische Fachwelt den geistigen Monumenten dieser Genies entgegenbrachte, blieben sie hauptsächlich wegen der ganz revolutionären Theorien der Erdentwicklung, die sie leider mit unzureichenden physikalischen Begründungen aufstellten, eine lange Zeit fast wirkungslos. Erst die durch den zweiten Weltkrieg und im darauf folgenden „kalten Krieg" entzündete Tiefsee- und seismologische Forschung hat das SUESS'SCHE Weltbild in einer ganz überraschenden und eklatanten Weise wieder aktuell gemacht.

Die Gründe des Unterganges der Wiener Schule, die vom frühzeitigen Ableben einiger ihrer Führer über die internen Streitigkeiten der Universität und der Geologischen Reichsanstalt bis hin zu den sozialen und ökonomischen Umwälzungen Österreich-Ungarns reichen, sind zu komplex um hier besprochen werden zu können. Es würde uns auch vom aktuellen Thema zu weit entfernen. Einen Grund, der bisher nie diskutiert und erst vor kurzem durch wissenschaftspsychologische Studien von FAUST (1984) begründet wurde, möchte ich aber nicht unerwähnt lassen. SUESS und die anderen Wiener Giganten haben durch ihre detaillierten Forschungen, die den ganzen Globus umfaßten, eine rasche Evolution der architektonischen und historischen Modelle der Erde eingeleitet. Die Geologie wurde in der Folge für die meisten Geologen einfach zu schwierig! Die Studie von FAUST (1984) hat in einer beunruhigenden Weise dokumentiert, daß die meisten Wissenschafter wegen ihrer kognitiven Limitationen nicht imstande sind, komplexe Informationen zu bekräftigen und konfigurale Analysen durchzuführen. FAUST kam zum unumgänglichen Schluß, daß diese Nachteile nur mit erheblicher individueller Mühe und mit Hilfe der Informatiktechnologie und mit großem Zeitaufwand eventuell beseitigt werden könnten. Komplexe Ideen, von Wissenschaftern außerordentlicher Kapazität aufgestellt, können deshalb nur sehr langsam von der Fachwelt verstanden und assimiliert werden.

Viel Fortschritt in der Geoinformatik und Geotechnologie benötigte es und erst in den sechziger Jahren setzte sich die geologische Fachwelt wieder mit den SUESS'SCHEN Konzepten

[70] Über WEGENER schrieb GREENE (1984, S. 739): "[*WEGENER*] trained few students, founded no school of thought..." In Anbetracht seines großen Einflußes auf eine bedeutende Gruppe Erdwissenschafter und seiner Aufstellung einer neuen Denkweise für die Behandlung tektonischer Fragen, kann ich mit der zweiten Hälfte dieser Bemerkung von GREENE nicht übereinstimmen. WEGENER hat nicht nur eine Schule gegründet, er hat eine glänzende Schule gegründet, deren „Schüler" von Emile ARGAND bis Arthur HOLMES reichten! Viele Buchwidmungen bezeugen das.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

erfolgversprechend auseinander. Ich werde dabei den Gedanken nicht los, daß SUESS und seine Wiener Kollegen die Aufnahmekapazität eines großen Teiles der geologischen Fachwelt einfach überschossen haben müssen. Wie wir unten sehen werden wurde dasselbe Schicksal ihren „Schülern" vor dem 2. Weltkrieg ebenfalls zuteil.

Das Tethysverständnis der Reaktion

Die erste Stimme gegen SUESS wurde in Europa im Lande ÉLIE DE BEAUMONTS, von Emile HAUG erhoben (Abb. 34). Er war ein Schüler Ernst Wilhelm BENECKES, dem Freund und Lehrer NEUMAYRS (STEINMANN, 1917). HAUG wurde von BENECKE zu einem hervorragenden Kenner der Geologie der Juraformation und insbesondere ihrer Ammonitenfauna nach OPPEL'SCHER stratigraphischer Tradition ausgebildet. Bisher fast genau der Laufbahn von NEUMAYR folgend, spaltete sich HAUG von dieser Richtung abrupt ab, indem er nach den antideutschen politischen Unruhen 1887 als Flüchtling nach Paris übersiedelte (LUTAUD, 1958). Er brachte die damals in Deutschland weitverbreitete Lehrmeinung über die historische Entwicklung der Erde nach Paris. Sie war eine Kombination der Ansichten von Forschern wie Leopold VON BUCH und Bernhard VON COTTA auf einer Seite sowie ÉLIE DE BEAUMONT und DANA auf der anderen Seite. Deutschsprachige Lehrbücher der Geologie aus der damaligen Zeit, wie NAUMANN (1858-1872), MOHR (1866), PFAFF (1873, 1876), VON HOCHSTÄTTER (1875), VON HAUER (1878) und CREDNER (1887) weisen darauf hin. In diesen Büchern wurden die langsamen kontinentalen Vertikalschwingungen und die schnelleren, sich auf engere Erdräume beschränkenden gebirgsbildenden Bewegungen als die zwei Typen der Erdkrustendeformationen dargestellt.[71] Den Vertikalschwingungen liegen die säkulären und großräumigen Krustenbewegungen zugrunde. Manche Autoren wie CREDNER führen die Erdkrustendeformationen auf thermale Erdkontraktion zurück und folgen dabei den Fußstapfen ÉLIE DE BEAUMONTS. Andere Autoren wie PFAFF (1873, 1876) glaubten in mehr eklektischen Ursachen eine bessere Erklärung zu finden.

Die geologische Welt von Paris, in welche HAUG kam, wurde von großen Geologen, wie Edmond HÉBERT an der Sorbonne, Marcel BERTRAND an der École des Mines und Albert-Auguste Cochon de LAPPARENT am Institut Catholique dominiert.[72] HÉBERT, der älteste dieser Geologen, stand den paläontologisch-stratigraphischen Interessen des jungen HAUG am nächsten. Es war also nicht zufällig, daß er unter HÉBERTS Leitung an einer Dissertation zu arbeiten begann. Seine Doktorarbeit hatte die Geologie der Gegend zwischen den Flüssen Gap und Digne in den französischen Subalpen zum Thema (HAUG, 1891).

Während seiner ersten Pariser Jahre war HAUG mit drei Faktoren in Berührung gekommen, die mit seinen früheren Erfahrungen harmonierten und ihn nachhaltig beeinflussten: 1) Sein Doktorvater war ein Schüler von Constant PRÉVOST. PRÉVOST war ein Mann, dessen Ideen über die tektonische Entwicklung der Erde die kontraktionistischen Schulen von

ÉMILE HAUG

1861-1927

Abb. 34
Emile HAUG (1861-1927). Er rief ein ÉLIE DE BEAUMONT'SCHES Weltbild in der Tektonik ins Leben als Reaktion gegen die Ansichten von Eduard SUESS.

Amerika und diejenigen, die im späteren 19. Jahrhundert in Europa entwickelt worden waren, entscheidend beeinflußt hatten; PRÉVOST selbst war ein Schüler CUVIERS und BROGNIARTS gewesen (vgl. ZITTEL, 1899, S. 459 ff.; auch PFANNENSTIEL, 1970, S. 30); 2) HÉBERT war auch ein Fürsprecher der stratigraphischen Ideen eines anderen CUVIER-Schülers, Alcide D'ORBIGNY. D'ORBIGNY war ein Ultra-Katastrophist[73], der seine grob gegliederten aber als weltweit gültig geglaubten „*Zones*" als exaktes Korrelationsmittel angesehen hatte. Eine solche Einstellung den Daten der Stratigraphie gegenüber brachte es mit sich, daß man fast dazu gezwungen wurde, die globale tektonische Entwicklung als eine in weltweite „Phasen" zerlegte Entwicklung zu betrachten. Als Paläontologe war HAUG auch vom Erfolge der CUVIER'SCHEN vergleichenden Anatomie zutiefst beeindruckt und erblickte in der Arbeit von SUESS die Gründung einer vergleichenden Geologie. Die engen Beziehungen zu HÉBERT können natürlich in ihm die Begeisterung für eine vergleichende Stratigraphie à la D'ORBIGNY geweckt haben; 3) HAUG bekam einen Geschmack für die alpinen tektonischen Probleme. HAUG befand sich in einer theoretischen Umwelt, welche, durch das große und einflußreiche *Traité de Géologie* von DE LAPPARENT (1883[74]) den ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN und den amerikanischen Vorstellungen viel näher stand als den Vorstellungen SUESS'.

Es war eine Zeit, in der selbst in Wien erste Bedenken gegen die SUESS'SCHEN Auffassungen der Einseitigkeit der Gebirge erhoben wurden (z. B. BITTNER, 1886, 1887). Im Zuge

[71] AGASSIZ schrieb einmal, daß diese Zweiteilung der tektonischen Bewegungen schon von D'ORBIGNY vorgeschlagen wurde (AGASSIZ, 1866, S. 129-130). Auch BOUÉ (1836, S. 123) hat auf den Unterschied zwischen kontinentalen Hebungen und Gebirgsbildungen bezüglich Mechanismus und Geschwindigkeit hingewiesen.

[72] Für eine sehr knappe Darstellung der französischen Geologie am Ende des 19. und am Beginne des 20. Jahrhunderts, vgl. DE MARGERIE (1915).

[73] NEUMAYR schrieb über D'ORBIGNY: „Wir finden bei ihm die Katastrophentheorie in ihrer starrsten dogmatischen Ausbildung bis ins äußerste Extrem entwickelt." (NEUMAYR, 1887b, S. 268)

[74] Zweite Ausgabe 1885, dritte 1893, vierte 1900, fünfte und letzte 1906. Die letzte Ausgabe war eines der Bücher, die in der Ausstellung von San Francisco die Bibliothèque de la Science Française ausmachten.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

dieser Diskussion wurden die Einseitigkeit der Spannungen mit der Einseitigkeit der Kinematik und der Struktur oft verwechselt. Die Einwände gegen die Einseitigkeit der Spannungen (SUESS sprach oft von „Schub" und „Kraft", die als einseitig dargestellt wurden) waren aus rein physikalischen Gründen berechtigt. Die Einwände gegen die Einseitigkeit der Kinematik und der Struktur sind jedoch von SUESS mit der Hypothese der Rückfaltung und der Scheidung der dinarischen Struktur von der alpinen beantwortet worden. Unsere heutigen Vorstellungen stehen den SUESS'SCHEN Interpretationen viel näher als denen seiner Gegner (z. B. DOGLIONI, 1985, 1987, 1990; ROEDER, 1989, 1992; aber ganz besonders siehe den monumentalen Schweizer Atlas der alpinen Struktur: PFIFFNER et al., 1997).

All diese Tatsachen haben HAUG dazu geführt, die Ideen von den Amerikanern DANA, LE CONTE und CHAMBERLIN & SALISBURY, seiner Landsleute HÉBERT und DE LAPPARENT, einem anti-SUESS'SCHEN reaktionären tektonischen Weltbild zugrundezulegen!

HAUGS erste Arbeit mit nachhaltigem Einfluß auf die Entwicklung der Ideen der Tektonik im 20. Jahrhundert und demgemäß auf die Vorstellungen über die Tethys wurde zu Beginn des Jahrhunderts publiziert (HAUG, 1900). In dieser Publikation hat HAUG die Samen gesät, deren Früchte Hans STILLE in Deutschland und Leopold KOBER in Österreich[75] später zugunsten eines ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN tektonischen Weltbildes geerntet haben. HAUGS Hauptgedanken können in vier Punkten zusammengefaßt werden:

1) HAUG behauptet, daß Geosynklinalen (Abb. 35a)[76] und Kontinentalschollen die beiden superstrukturalen Kategorien der Erdkruste darstellen (Abb. 36b). Ozeanböden, welche die Geosynklinalen flankieren, wurden als eingesunkene Kontinentalschollen angesehen (z. B. der Boden des Pazifik!). Diese Einteilung in Geosynklinalen und Kontinentalschollen übernahm HAUG von den Vorstellungen DANAS (z. B. DANA, 1894), sie leitete später zur KOBER'SCHEN Dichotomie der Orogene und Kratogene (KOBER, 1921, S. 8; was sich bei STILLE zu Orogenen und Kratonen weiter umgewandelt hat).[77]

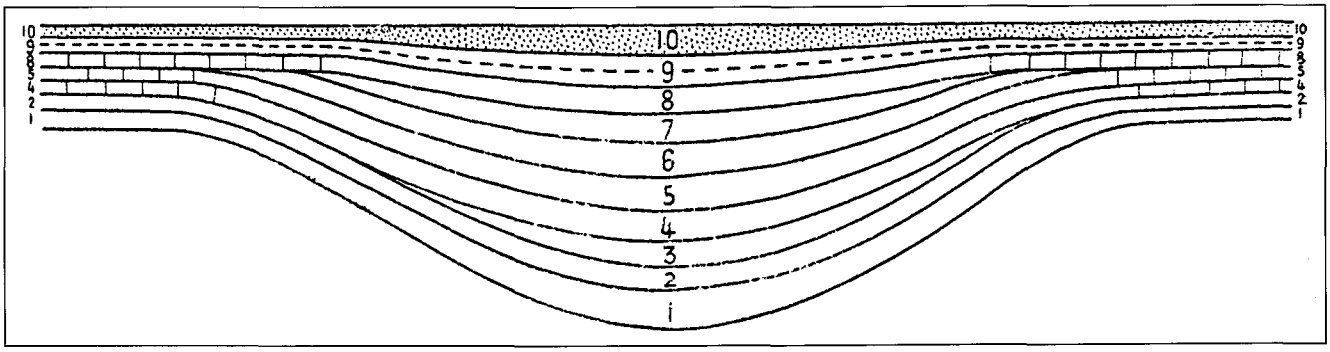


Abb. 35a
Schematisches Profil durch eine Geosynklinale nach HAUG (1907, Fig. 36). Die Nummern 1-10 zeigen kontinuierlich abgelagerte Sedimente *entlang der Achse der Geosynklinale*.

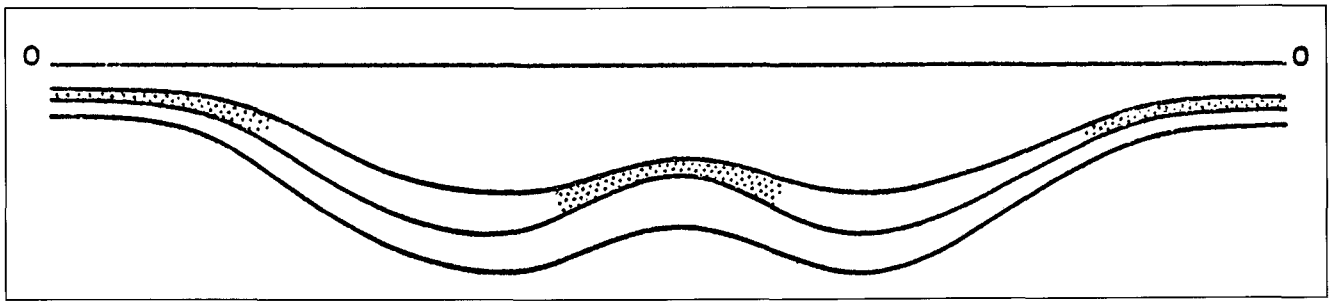


Abb. 35b
Schematisches Profil durch eine Geosynklinale, die sich gerade zu komprimieren beginnt (HAUG, 1907, Fig. 38). Eine aufsteigende Geantiklinale zerteilt die Geosynklinale in zwei Teilgeosynklinalen. Punktiert: Gebiete mit neritischem Absatz; weiss: Gebiete mit bathyalem Absatz.

[75] Die vielen anderen bekannten Geologen, die ähnliche Ideen wie KOBER und STILLE verteidigten, wie z. B. Walter H. BUCHER und Marshall KAY in Amerika, M. M. TETJAEW und W. W. BELOUSSOV in der ehemaligen Sowjetunion und Teiichi KOBAYASCHI in Japan erwähne ich hier nicht, da die meisten ihrer Ideen auf denjenigen von KOBER und STILLE gegründet waren.

[76] Soweit ich weiß, führte HAUG, den Fußstapfen DE LAPPARENTS folgend, die Idee der Geosynklinale auf die Arbeiten der Amerikaner zurück: „La notion du géosynclinal est du incontestablement à James HALL" (HAUG, 1900, S. 618). Weder in DE LAPPARENTS *Traité*, noch in HAUGS *Traité* (HAUG, 1907, S. 159 f.) sind Anzeichen früherer diesbezüglichen Ideen vorhanden. Ich finde es erstaunlich, daß ein französischer Forscher von HAUGS Gelehrsamkeit trotz der lobenden Worte von DE LAPPARENT über die tektonischen Ideen von ÉLIE DE BEAUMONT die Beiträge von ÉLIE DE BEAUMONT übersehen haben könnte. Dies kann verschiedene Gründe haben: 1) HAUGS deutsche Ausbildung in der Stratigraphie könnte die tektonisch-mechanischen Ideen von ÉLIE DE BEAUMONT nicht berücksichtigt haben; 2) HAUG arbeitete in Paris unter einem Schüler von Constant PRÉVOST, einem Gegner von ÉLIE DE BEAUMONT; 3) HAUG wirkte an einem Institut, das mit der Alma Mater von ÉLIE DE BEAUMONT konkurrierte und keine BEAUMONT'SCHE Tradition hatte; 4) die „Geosynklinalhypothese" von ÉLIE DE BEAUMONT wurde in einer Kartenerläuterung versteckt! (In einem Parallelfall wurde ARGANDS Revision seiner embryonalen Tektonik, die er in einem Exkursionsführer publizierte, von der Fachwelt beinahe ein halbes Jahrhundert nicht zur Kenntnis genommen: vgl. ŞENGÖR, 1982c). HAUGS Behandlung der Geschichte der Geosynklinalidee wurde zum Vorbild fast aller Tektoniker des 20. Jahrhunderts und bedeutete eine (Rück-)Importierung der amerikanischen Auffassungen nach Europa (vgl. ŞENGÖR, 1982b, S. 24).

[77] „Für die konsolidierten Massen unserer Erde ziehe ich die Wortbildung ‚Kraton' (Adjektiv ‚kratonisch') dem Worte ‚Kratogen', welches KOBER im Anklange an Orogen bildete, weil sie mir klarer zu sein scheint" (STILLE, 1935, S. 830; vgl. auch STILLE, 1940, S. 7, Fußnote 2). KOBER wendet später ein: „Wir nehmen hier diese Bezeichnung auf, obwohl sie sprachlich nicht in die hier gegebene Nomenklatur paßt; denn wir bezeichnen mit der Endsilbe -on eine Zeit, mit -gen eine Raumeinheit. Richtiger wäre Kratén" (KOBER, 1942, S. 90, Fußnote).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

2) HAUG glaubte, daß die meisten Orogene eine Fächerstruktur hätten (im Gegensatz zu SUESS' einseitiger Struktur). Diese Idee stammt aus einer angeblichen Zerlegung der Geosynklinale in zwei Teilgeosynklinalen durch eine zentrale Geantiklinale während der ersten Stadien der Entwicklung (Fig. 35b). Die Vergenzen der aus den Teiltrögen herauswachsenden Faltengebilde seien (als einseitige Gebilde ganz im SUESS'SCHEN Sinne![78]) nach aussen, d. h. weg von der zentralen Geantiklinale gerichtet. Diese Vorstellung harmonierte natürlich völlig mit der Schraubstocktheorie von ÉLIE DE BEAUMONT und bereitete, zusammen mit ähnlichen Vorstellungen von MICHEL-LEVY (1898), den Grund für das zweiseitige Orogen von KOBER (1921). STILLE übernahm das Bild von KOBER, behauptet aber, daß er auch unabhängig zur selben Überzeugung gelangt sei (STILLE, 1927a, S. 7, Fußnote).

3) HAUG übernahm die Begriffe „orogenetische" und „epirogenetische" Bewegungen von GILBERT (1890, S. 3), jedoch vom Gesichtspunkt DANAS. Er definierte die in den Geosynklinalen sich abspielenden Ereignisse als orogenetisch und diejenigen, die die Kontinentalschollen betreffen als epirogenetisch. HAUG (1900) nahm implizit an, daß die ersteren revolutionäre, d. h. katastrophistische und episodische, und die zweiten evolutionäre, d. h. säkuläre und kontinuierliche Ereignisse wären. Diese Ideen wurden später sowohl von KOBER als auch von STILLE übernommen, jedoch mit Modifikationen. STILLE hat HAUG aufgrund seiner Beschränkung der Orogenese auf die Geosynklinalen und Epirogenese auf die Kontinentaltafeln kritisert. STILLE glaubte, daß HAUG sich somit von den ursprünglichen GILBERT'SCHEN Definitionen abgewandt hat (STILLE, 1919).

4) HAUG akzeptierte die Existenz der SUESS'SCHEN eustatischen Meeresspiegelschwankungen, folgte aber seinem Lehrer HÉBERT, daß die großen Transgressionen und Regressionen durch die säkulären Schwankungen des Festlandes zu erklären seien.[79] Er folgte dem Beispiel ÉLIE DE BEAUMONTS indem er glaubte, daß Gebirgsbildung in den Geosynklinalzonen Transgressionen auf den Kontinentalschollen verursachte. In dieser Frage wurde er vielleicht auch von den Ansichten DANAS über „incalculable violence and great surgings of the ocean" während „orogenic disturbance" (DANA, 1895, S. 736) beeinflußt. Diese Idee war aber auch bei ÉLIE DE BEAUMONT nicht original und, wie wir jetzt bereits gesehen haben, kann bis zur katastrophischen Flut-Hypothese von PALLAS zurückverfolgt werden. ÉLIE DE BEAUMONT, der diese Idee CUVIERS und von BUCHS übernommen hatte, war aber der erste, der ihr zu einer im 19. Jahrhundert weitverbreiteten Bekanntheit verhalf: «L'apparition d'une chaîne de montagnes, qui à en juger par quelques-uns des résultats que j'ai cités, a produit dans les contrées très-lointaines que par l'agitation qu'elle a causée dans les eaux de la mer, et par un dérangement plus ou moins grand dans leur niveau; événemens comparables à l'inondations subite et passagère, dont on retrouve l'indication à une date presque uniforme dans les archives de tous les peuples»[80] (ÉLIE DE BEAUMONT, [1829]-1830, S. 232). Sowohl CHAMBERLIN & SALISBURY (1909, S. 656) und STILLE (1922, 1924) als auch die späteren amerikanischen Autoren wie MOORE (1933, 1935, 1936) stimmten mit HAUG überein, daß eine kausale Verbindung zwischen tektonischen Ereignissen und den Bewegungen der Hydrosphäre bestehe. Sie dokumentierten aber, im Gegensatze zu HAUG und seinen Vorgängern, daß in der Erdgeschichte Zeiten der Gebirgsbildung mit Zeiten der Regression zusammenfiel.

Somit war in Europa, schon zu Lebzeiten des großen Meisters SUESS, der Boden vorbereitet, auf dem ein BEAUMONT'SCHES reaktionäres Denkgebäude der Tektonik rehabilitiert werden konnte. SUESS selbst hat dagegen nur auf sehr indirektem Weg und leise reagiert (sein Leben lang versuchte er, vielleicht Sir Charles LYELLS Beratung für DARWIN ahnend, nicht in Polemiken eingebunden zu werden). Im letzten Band des *Antlitz* schrieb er „Ueberhaupt ist, mit Ausnahme von Buchten in Riasküsten, kein Meerestheil bekannt, der durch lateralen Druck als Synclinale erzeugt wäre. Wie Meeresbecken aus vereinigten Senkungen entstehen, zeigt die Geschichte des Mittelmeeres" (SUESS, 1909, S. 722). In einer beigefügten Anmerkung fuhr er fort: „Synklinal mag die Lagerung der ausfüllenden Sedimente sein, etwa wie Haug, Traité de Géol., I, 1907, p. 159, Fig. 36 [*hier als Abb. 35a wiedergegeben*]; dieses ist aber nicht der tektonische Begriff der Geosynclinale, und die Geanticlinale kann nicht als sein Gegensatz gelten; die Geanticlinale wurde auch ursprünglich von Dana in anderem Sinne gedacht, aber in den beiden Worten lag für manche Autoren die Voraussetzung eines Gleichgewichtes und der Keim der isostatischen Lehre. Desshalb bedaure ich, hier anfangs den Ausdruck Geosynclinale gebraucht zu haben; ich habe ihn später vermieden" (SUESS, 1909, S. 737 f., Anm. 52; Hervorhebung von SUESS). In Privatkorrespondenz war er noch direkter: Gegen die HAUG'SCHE Auffassung, «On pourrait aussi assimiler l'océan Atlanique tout entier à une immense géosynclinal...» (HAUG, 1907, S. 164) schrieb er: „Ich glaube nicht an ozeanische Geosynklinalen. Keiner der heutigen Ozeane zeigt Geosynklinalstruktur" (SUESS an RUEDEMANN, 1909, zitiert in KOBER, 1928, S. 51).

Mit HAUGS Publikation wurde auch die Tethys zu einer Geosynklinale (Abb. 35b; HAUG, 1900, S. 636 ff.). Vielleicht den Fußstapfen UHLIGS folgend (NEUMAYR, 1895a) erweiterte HAUG auch die zeitliche Ausdehnung der Tethys und schrieb über die Tethys zu verschiedenen Perioden des Paläozoikums.[81] NEUMAYRS Karte der „Verbreitung der jungen Kettengebirge" (Abb. 36a) diente als Basis für eine Karte der Verbreitung der

---

[78] STILLE hat die KOBER'SCHE Zweiseitigkeit der Orogene, wenigstens bis 1928, als eine fundamentale Eigenschaft der Orogene verstanden „In sehr vielen Fällen, so z. B. im mediterranen Faltengürtel, ist also die im Einzelgebirge im allgemeinen in Erscheinung tretende Einseitigkeit der Faltung nichts anderes wie eine halbe Zweiseitigkeit" (STILLE, 1924, S. 280). Das war auch ganz im Sinne von HAUG. In seiner bei dem 14. Internationalen Geologenkongress gedruckten Arbeit sehen wir aber eine totale Umkehr des Nachdruckes! „Ich bemerke, dass *Kober* [1921] den Begriff »Orogen« für orogenetische Zonen ganz allgemein gegeben hat (Bau der Erde, S. 21). Der Regelfall der Zweiseitigkeit ... ist also an sich in den Begriff »Orogen« nicht eingeschlossen... So scheint mir *das Orogen* die *sekundäre* Einheit zu sein; *die primäre Einheit ist der Stamm*, und die zweiseitigen Orogene entstehen, wenn die Stämme sich nähern... So meine ich, dass das zweiseitige Orogen, mag es auch die Regel in der Erscheinungswelt der alpinotypen Tektonik sein, doch der Unterfall einer grösseren gesetzlichen Beziehung ist, nämlich jener der Zugehörigkeit der Faltenkränze zu ihren Vorländern." (STILLE, 1928, S. 1751 f.). Wenn dies nicht ein Geständnis der Richtigkeit des SUESS'SCHEN Modells ist, wüßte ich nicht, wie man ein solches mit anderen Worten ausdrücken könnte!

[79] Ich erinnere hier an den Titel der HÉBERT'SCHEN These aus dem Jahre 1857: *Les mers anciennes et leurs rivages dans le bassin de Paris, ou classifications des terrains par les oscillations du sol*. Man erkennt in diesem Titel sowohl die Gründe weshalb SUESS die mit paläogeographischen Studien verknüpften tektonischen Studien so wichtig für die Formationslehre betrachtete, als auch diejenigen, die HAUG in eine anti-SUESS'SCHE Richtung geleitet hatten.

[80] Anmerkungsweise fügte ÉLIE DE BEAUMONT die folgenden Bemerkungen noch ein, die uns zeigen, wieviel er unter dem Einfluß von CUVIER stand: «Si cet événement historique n'était autre chose que la dernière des révolutions de la surface du globe, on serait naturellement conduit à demander quelle est la chaîne de montagnes dont l'apparition remonte à la même date, et peut-être serait-ce le cas de remarquer que la chaîne des Andes, dont les soupiraux volcaniques sont encore généralement en activité, forme le trait le plus étendu, le plus tranché, et pour ainsi dire le moins effacé de la configuration extérieure actuelle du globe terrestre» (ÉLIE DE BEAUMONT, [1829]-1830, S. 232, Fußnote).

[81] An einer Stelle schrieb der große französische Meister, daß «Les mêmes conclusions s'appliquent au Silurien, car le géosynclinal correspondant au *futur emplacement de la Téthys secondaire* coïncidait probablement avec celui du Dévonien» (HAUG, 1900, S. 639, meine Hervorhebung). Ich sehe in dieser Bemerkung eine im Unterbewußtsein steckengebliebene Kenntnis, daß die Tethys ein mesozoisches Phänomen sei! Ich muß bemerken, daß DE LAPPARENT, in der letzten Ausgabe seines *Traité* (DE LAPPARENT, 1906), die Tethys nur als meso- und känozoisch beschrieb.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

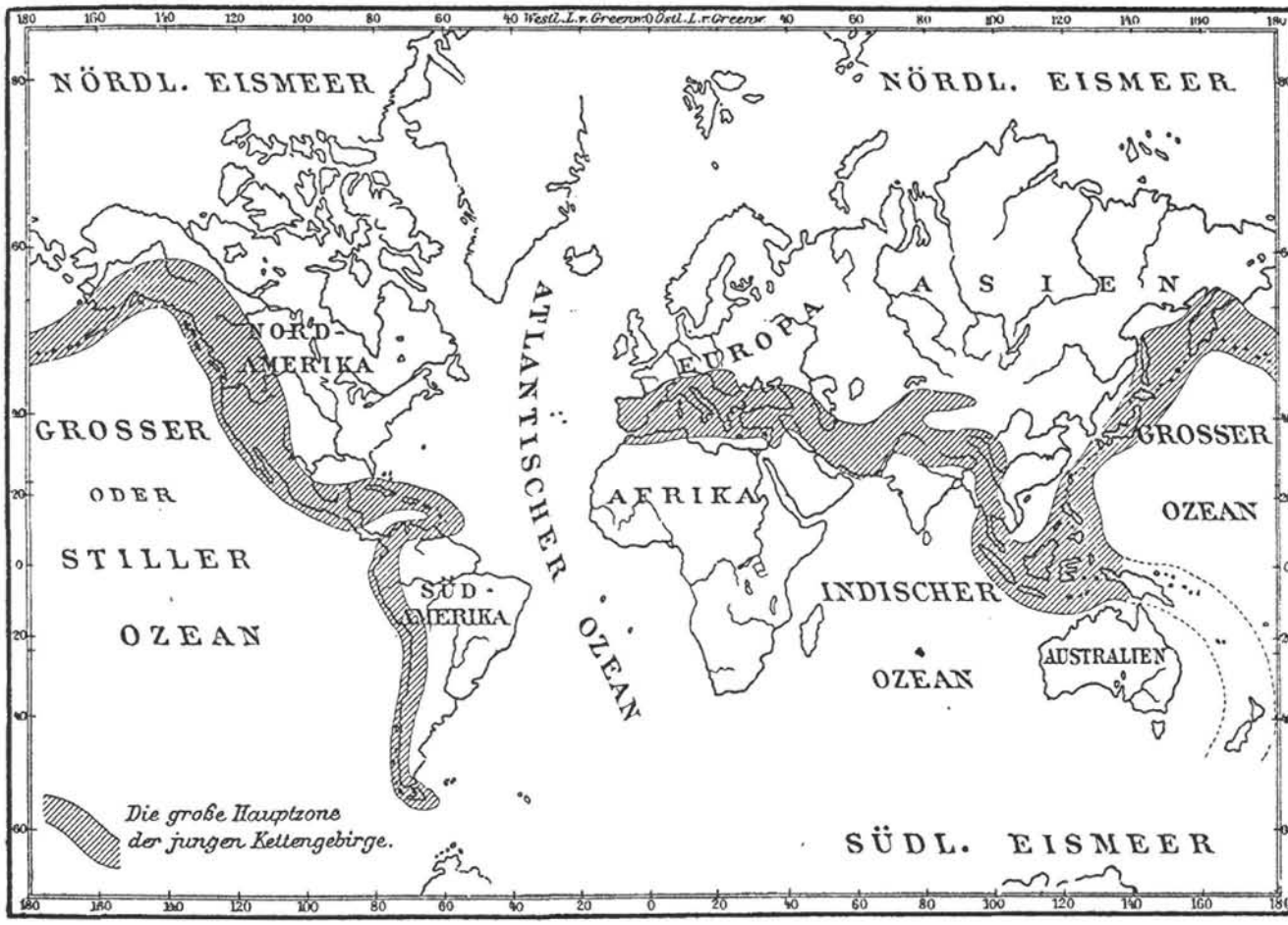


Abb. 36a
Die jungen Kettengebirge der Erde nach NEUMAYR (1887b, S. 655). Diese Karte diente als Basis für HAUGS Zeichnung der mesozoischen Geosynklinale der Erde (Abb. 36b).

Geosynklinale in der mesozoischen Ära, die HAUG seiner Arbeit beifügte (Abb. 36b). Diese Karte dürfte die erste sein, in welcher die Tethys als Geosynklinale gezeigt wurde.

Mit der Deutung der Tethys als Geosynklinale stimmte HAUG mit SUESS darin überein, daß der Begriff „Tethys" ein tektonischer und nicht einfach ein paläogeographischer sei. Besonders in seinem *Traité* zeichnete HAUG jedoch die früheren Lagen der Tethys fast ausschließlich auf Basis stratigraphisch-paläontologischer Daten. Deshalb gab die HAUG'SCHE Tethys-Geosynklinale immer den Eindruck ein paläogeographischer Begriff zu sein. Weiter unten werden wir die Folgen dieses Eindruckes auf STILLES Tethys-Auffassung sehen.

Nach ihrer Entstehung begann die Geosynklinale sich weiter einzuengen. Dadurch entstand eine Zentralschwelle in Form eines Antiklinalgewölbes. HAUG bezeichnete diese als zentrale Geantiklinale („géanticlinal médian": HAUG, 1900, S. 626[82]; Abb. 35b). Mit dem Aufsteigen des Geantiklinalkammes wurde dieser Bereich zur Stätte neritischer Sedimentation, während die flankierenden Teilgeosynklinalen („géosynclinaux secondaires": HAUG, 1900, S. 626) Stätten bathyaler Sedimentation blieben. HAUG glaubte, daß die alpine Geosynklinale, also der westliche Teil der Tethys, ein schönes Beispiel einer solchen Entwicklung lieferte:

«Dans la partie alpine du bassin du Rhône, le Lias présente deux faciès bien distincts: un faciès vaseux, que j'ai appelé le *faciès dauphinois* et qui se développe tout le long d'une ligne parallèle à la direction générale des plissements, et un faciès de calcaires zoogènes, à l'éléments détritiques, qui j'ai appelé, suivant les cas, *faciès dauphinois*, *rhodanien* ou *briançonnais* et qui borde de part et d'autre la band formée par le précédent. Le faciès dauphinois présente tous les caractères lithologiques et paléontologiques du type bathyal, il s'est déposé dans un géosynclinal et ses sédiments atteignent souvent un millier de mètres d'épisseur.

Le faciès de calcaires zoogènes, qui, aux environs de Digne, présente des alternances multiples avec le faciès dauphinois, appartient à la région néritique...

Dans cette même zone sublittorale, les calcaires spathiques et siliceux du Lias moyen prennent un grand développement. Des ‹bancs-limite› ou ‹hard grounds› se rencontrent à plusieurs niveaux. Sur l'autre bord du géosynclinal, dans la zone du Briançonnais, le Lias subit des modifications analogues. M. Kilian y a signalé en outre des calcaires coralligènes. Ailleurs même le Lias fait entièrement défaut, le Tithonique reposant immédiatement sur les calcaires triasiques. Le haut fond et les îles qui occupaient, au Lias, une partie de la zone du Briançonnais, séparent le géosynclinal dauphinois du géosynclinal piémontais, qui est formé par l'énorme accumulation des Schistes Lustrés et dont le bord oriental est inconnu». (HAUG, 1900, S. 623 f.[83]).

[82] Für die weitere Entwicklung dieses Begriffes in der Kober-Stille-Schule an Beispielen der Tethys, vgl. LINDEMANN (1912, S. 366 und Abb. 306), RICHTER (1937).

[83] Ich zitiere in diesem Zusammenhange die Arbeit von HAUG aus dem Jahre 1900 nur weil sie später so berühmt und einflußreich wurde. Die hier zitierten Ideen wurden aber bereits 1894 in einer z. T. polemischen Abhandlung gegen die Ideen von Hans SCHARDT, mit dem Titel *L'origine des Préalpes Romandes et les zones de sédimentation des Alpes de Suisse et de Savoie* (HAUG, 1894) publiziert. *Le géosynclinal dauphinois* hatte HAUG bereits in seiner Dissertation definiert. Seine Priorität für diese Ideen hat er auch viel später sehr sorgfältig verteidigt: «C'est sans doute par inadvertance que W. Kilian et J. Révil ont écrit, dans leur

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

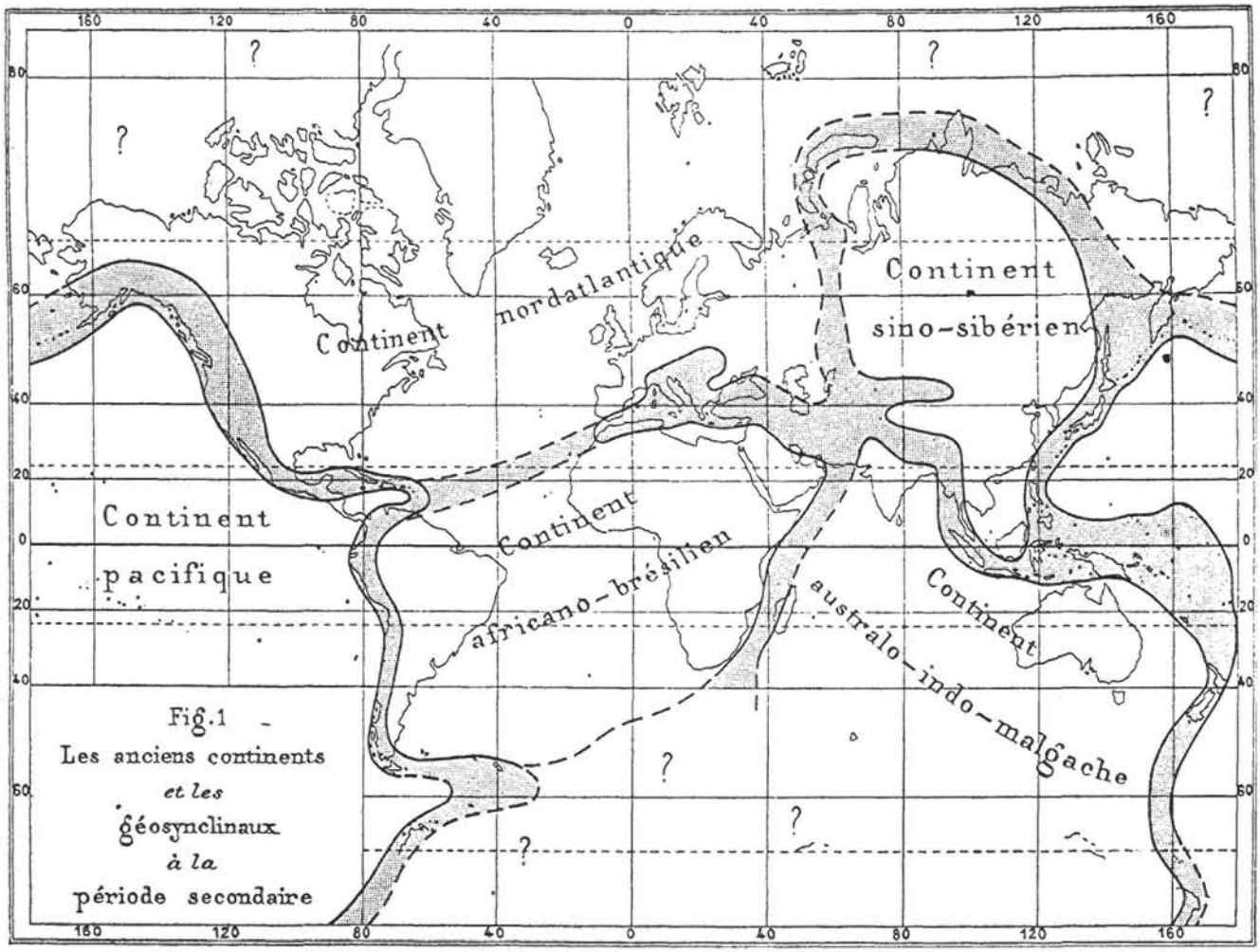


Abb. 36b
Alte Kontinente und Geosynklinalen der mesozoischen Ära nach HAUG (1900, Fig. 1). Man vergleiche die Geometrie der tethydischen Geosynklinale mit der Geometrie des Centralen Mittelmeeres von NEUMAYR (Abb. 31).

Wir werden sehen, daß diese Vorstellung der tektonischen Kontrolle der geosynklinalen Sedimentation bei HAUG innerhalb der nächsten zwei Dezennien Anlaß zur Aufstellung der Theorie der embryonalen Tektonik von ARGAND geben wird. Sogar die viel kritisierten zylindiristischen Vorstellungen ARGANDS gründeten in dieser bedeutenden Arbeit von HAUG:

«On remarque, dans des cas très nombreux, qu'il existe un parallélisme plus ou moins parfait entre les axes des plis et les axes des géosynclinaux multiples ou du géosynclinal simple, dont la formation a précédé la phase de plissement.

L'un des meilleurs exemples de ce parallélisme nous est encore fourni par la région des Préalpes du Chablais et de la Suisse romande, où l'on a pu établir depuis longtemps la constance du faciès dans toute la longueur d'un même pli et les variations brusques, lorsque l'on passe d'un pli à un autre pli parallèle.» (HAUG, 1900, S. 627).[84]

Auch mit HAUG enstand eine Dichotomie in der Deutung der Bathymetrie der Geosynklinalen, die jahrzehntelang in der Fachliteratur nichts als Verwirrung verursachte. HAUG berief sich auf die oben angedeutete Feststellung von SUESS, daß die meisten gefalteten Zonen durch überwiegend pelagische und komplette sedimentäre Serien gekennzeichnet sind. Dieser Feststellung setzte er die Beobachtung der Amerikaner entgegen, daß die Appalachen fast ausschließlich aus Seichtwasserablagerungen bestehen (HAUG, 1900, S. 619 f.). Er schlug eine Kompromißlösung dieses Gegensatzes vor, und betrachtete die Geosynklinalsedimente hauptsächlich als bathyale Absätze, weil er glaubte, die Deutungen sowohl der Amerikaner als auch der Wiener Schule seien Übertreibungen. Er gab jedoch zu, daß Anfangs- und Endstadien einer Geosynklinale von Seichtwasserablagerungen beherrscht werden. Diese Verwässerung des Gegensatzes zwischen den bathymetrischen Eigenschaften der in den angeblichen Geosynklinalen vorhandenen Faziesräume gab später Anlaß zu großen Verwirrungen in den aktualistischen Interpretationen der Geosynklinale.

Auch hinsichtlich der geographischen Lage der Geosynklinale dachte HAUG anders als die Amerikaner. Er mißdeutete die Auffassung DANAS und war der Meinung, daß dieser die Geosynklinale als randliche Bildungen eines Kontinents sah, welche sich zwischen dem Ozeanboden und dem Kontinent

ouvrage monumental (t. I, p. 343), ces lignes qui, au point de vue de l'histoire de la Géologie alpine, constituent une regrettable inexactitude: «L'un de nous, pour la première fois, en 1899 (A.F.A.S., Congrès de Boulogne) montré l'existence probable, à l'époque secondaire, d'un géosynclinal du Piémont, distinct et séparé du géosynclinal dauphinois par l'axe du Briançonnais qui, à ce moment, devait constituer un haut fond.» (HAUG, 1925, S. 218, Fußnote 1). Vgl. auch HAUG (1909) für die weitere Entwicklung dieser Ideen.

[84] Vgl. aber auch seine späteren warnenden Worte «Dans d'autres cas, cependant, la direction des plissements ne coïncide pas exactement avec celle de l'axe du géosynclinal primitif. Les lignes qui délimitent les divers faciès coupent alors obliquement la direction des plis.» (HAUG, 1907, S. 164).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

befand (HAUG, 1900, S. 630, 1907, S. 166). Er wies auf die Tethys hin, und zeigte, daß die eurasiatischen Geosynklinalen wie die Tethys immer zwischen zwei Kontinenten lagen (Abb. 36b). Auch die appalachische Geosynklinale paßte in diese Deutung, da der piedmontische Ursockel von HAUG als ein Stück Kontinent gedeutet wurde (was allerdings auch DANA tat!).

Wir wissen heute, daß die ursprüngliche amerikanische Geosynklinale lediglich eine Vortiefe war, während die alpinen und die übrigen tethysischen Beispiele heute zusammengeschobene Reste *gesamter Ozeane* repräsentieren. Sowohl SUESS, als auch die Amerikaner hatten also in einem gewissen Sinne Recht, jedoch mit der Ausnahme, daß HALL und DANA die Vortiefe irrtümlich als alleinige Geburtsstätte des Gebirges betrachteten. Die Kompromißlösung von HAUG schuf also ein hypothetisches Gebilde, das in der Natur niemals existierte und führte daher zu großen Verwirrungen, wie ich oben bereits erwähnt habe, insbesondere bei den Versuchen, im heutigen Antlitz der Erde aktive Geosynklinalen zu finden.

Der Kontrast zwischen der amerikanischen und der europäischen Auffasung der Geosynklinale, sowohl im Hinblick auf die Tiefe als auch bezüglich der tektonischen Lage, hat die Tektoniker bis in die zweite Hälfte dieses Jahrhunderts mit fruchtlosen Debatten beschäftigt und verhinderte es, eine aktualistische Diskussion über die Bedingungen der Gebirgsbildung zu eröffnen. Erst mit der Plattentektonik wurde den meisten Geologen die Fruchtlosigkeit der Geosynklinalhypothese klar.

Mit den HAUG'SCHEN Auffassungen über die Tektonik der Tethys im Hinterhaupt, erscheinen diejenigen von Leopold KOBER (Abb. 37) und Hans STILLE (Abb. 38), den zwei einflußreichsten Führern der globalen Tektonik sehr unoriginell. KOBER hat 1911 seine Ideen in einer sehr kurzen Form publiziert, entwickelte sie aber später in seinem seither klassisch gewordenen Lehrbuch *Der Bau der Erde*, dessen erste Auflage 1921 publiziert wurde, weiter.

KOBER hat beinahe alle Ideen von HAUG übernommen, belegte aber die HAUG'SCHEN Begriffe mit eigenen Ausdrücken. Diese erwiesen sich allerdings als viel dauerhafter als diejenigen HAUGS. Er teilte die Erdoberfläche in große, ziemlich gleichförmige Gebiete fehlender oder hauptsächlich spröder Deformation ein. Diese Äquivalente zu DANAS „stable regions" und HAUGS „aïres continentales", nannte er *Kratogene*. Jedes Kratogen wurde von relativ schmalen aber hochmobilen Zonen umgeben, den *Orogenen* (Abb. 39).[85] Im wesentlichen wurden Orogene als symmetrische, zweiseitige Strukturen betrachtet (Abb. 40). Beide *Randzonen* des Orogens besaßen bezüglich der Medianlinie des Orogens divergente Strukturen. Durch eine zentrale, relativ undeformierte Zone, das *Zwischengebirge*, wurden sie getrennt (das der HAUG'SCHEN *géanticlinale centrale* entsprach), oder stießen entlang einer Narbenzone oder einfach einer Narbe[86] einander.

Abb. 41 zeigt das Modell von KOBER für den westlichen Teil des Alpen-Himalaya-Systems. Abb. 40 veranschaulicht die Struktur im Profil und Abb. 42 zeigt KOBERS eigene Zeichnung für die zeitliche Entwicklung der alpinen Geosynklinale. Um die Ähnlichkeiten besser zu sehen vergleiche man insbesondere Abb. 42 mit dem in Abb. 35b gegebenen Schema der Entwicklung der Geosynklinale von HAUG.

KOBER adoptierte auch die von HAUG und vor ihm von den amerikanischen Nachfahren von ÉLIE DE BEAUMONT wie DANA

Abb. 37
Leopold KOBER (1883-1970).

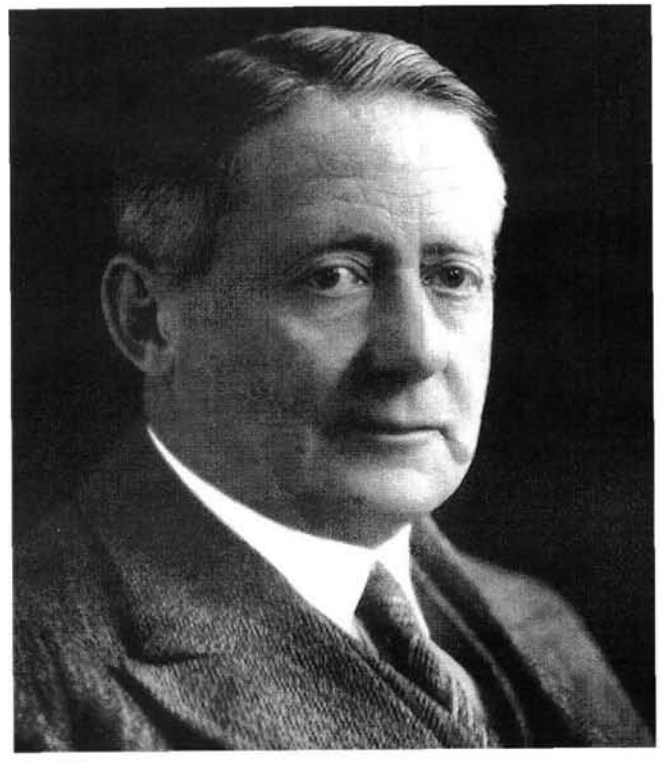


Abb. 38
Hans Wilhelm STILLE (1876-1966).

[85] Für dieses Bild der durch orogene „Kanäle" umgebenen starren Schollen vgl. AMPFERER (1906, insbes. Fig. 12). AMPFERER wird von KOBER (1921) zitiert, jedoch nicht in diesem Zusammenhang. Vielleicht deshalb, weil AMPFERER das Bild, das er in seiner Fig. 12 besprach, als tektonisches Modell der Erdoberfläche für unmöglich hielt (im Gegensatz zu KOBER).

[86] Soweit ich weiß kommt die Bezeichnung „Narbe" im Schrifttum der Tektonik als tektonische Faziesscheide erst im Buche von SCHMIDT (1907, S. 85 u. Fig. 78) als die, die Südgrenze der kristallinen Zentralmassive bildende, Rheintal- und Rhonetalnarbe vor.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

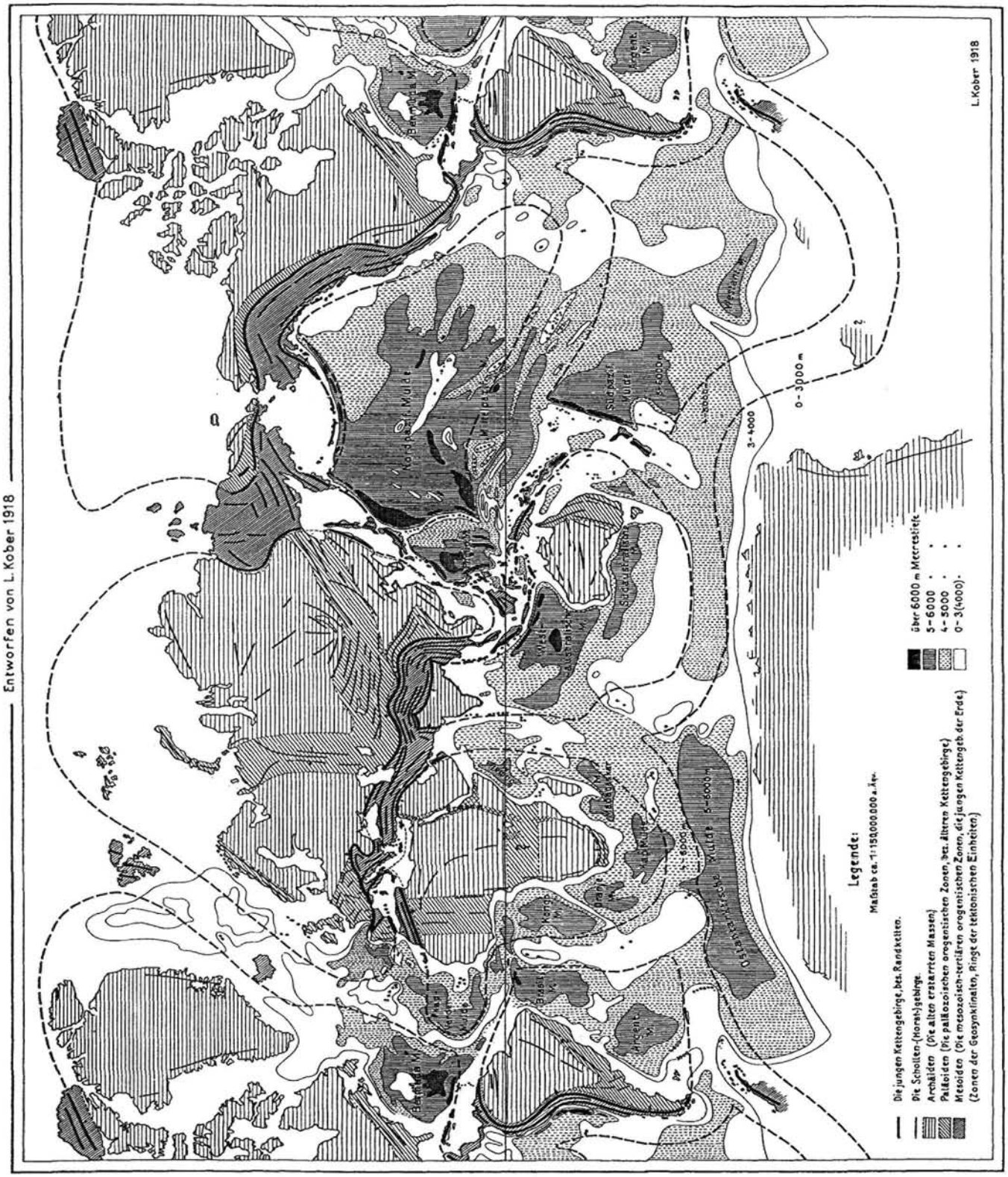


Abb. 39
„Schema der tektonischen Gliederung der Erde" nach KOBER (1921, Tafel). Die Karte zeigt die Verteilung der „orogenen Ringe" und die „Kratogene", die sie umgeben.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

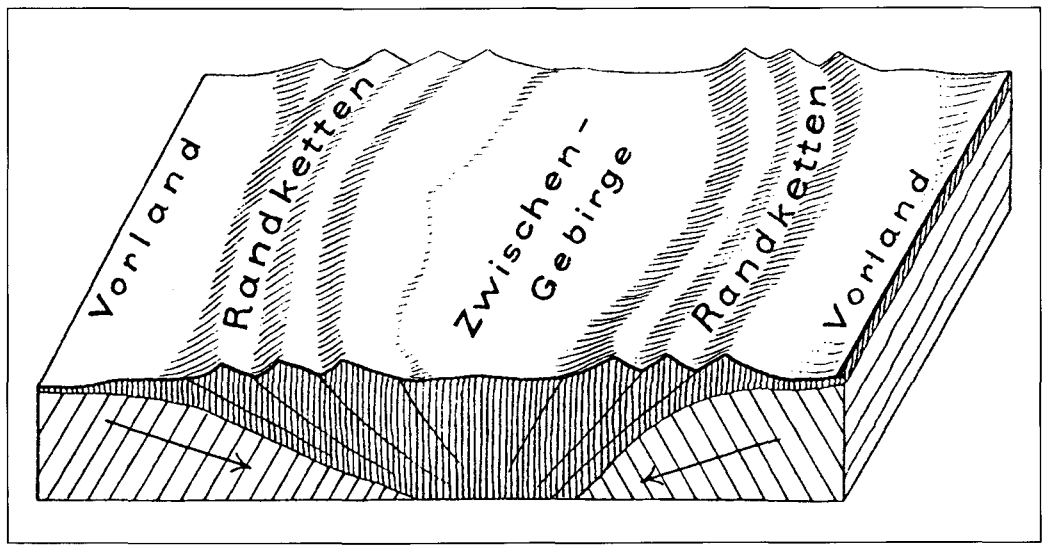


Abb. 40
Schema eines zweiseitigen Orogens mit Zwischengebirge (KOBER 1921, Fig. 30), KOBER betrachtete ein solches Orogen als „normal".

und LE CONTE vertretene Vorstellung einer zyklischen Entwicklung der Erde. Er glaubte, daß Gebirgsbildungen im Orogen während kurzfristiger orogenetischer Phasen stattfinden.[87] In dieser Hinsicht stimmt KOBER mit STILLE völlig überein. Beide teilen die Erdgeschichte in evolutionäre und revolutionäre Zeiten ein. Die Evolutionen sollen durch großräumige und säkuläre „epirogenetische" Bewegungen (STILLE, 1919, 1924) gekennzeichnet sein. Sie sollen hauptsächlich die großen Meeresbecken, einschließlich der Geosynklinalen und der Kontinentaltafeln geschaffen haben. Die Revolutionen sollen kurzfristige orogene Bewegungen hervorgebracht haben. Diese preßten die Geosynklinalen aus (STILLE, 1913, 1924; KOBER, 1921). Diese Ideen wurden absichtlich gegen die Ansichten von SUESS entwickelt:

„Wir können unsere Erfahrungen vorläufig am einfachsten in der sog. **Zyklentheorie** zusammenfassen. Vielleicht ist auch die Bezeichnung **„Orogentheorie"**, die ich vorgeschlagen habe, am Platze. Jedenfalls gibt die Zyklen- und Orogentheorie zusammen das Bild der geologischen Geschichte der Erde in den Kontinenten am besten wieder.

Man kann sagen: Die Entwicklung des Epirogens [*damit sind hier die Kontinente gemeint*] ist durch den fundamentalen Unterschied von Orogen und Kratogen bestimmt und vollzieht sich in großen natürlichen Perioden (Zyklen). Der Endeffekt ist Erstarrung. Das ist das Gestaltungsbild des Epirogens. Es wird sich zeigen, welches Gestaltungsbild dem Ozeanogen zukommt. Aber es muß betont werden, daß Auffassungen dieser Art, die bereits die ganze Erde betreffen, alt sind. Sie wurzeln in der Kontraktiontheorie É. de Beaumonts, in der Katastrophentheorie Cuviers, in der Geosynklinaltheorie von Hall und Dana, in der Lehre der *„cycles sédimantaires"* von Bertrand und haben gerade in Amerika raschen Ausbau gefunden. Dana schied ja schon die „stable parts" und die „Geosynklinalen", die Perioden der Gebirgsbildungen. Le Conte verwies auf die Bedeutung der „kritischen Zeiten" der Erdgeschichte. E. Suess ist auf diesen so wichtigen Vorstellungskreis nicht eingegangen, da er die Geosynklinaltheorie Danas prinzipiell abgelehnt hat. In neuerer Zeit haben Barrell, Chamberlin, Schuchert u. a. auf die Bedeutung der Zyklenlehre hingewiesen. In Deutschland war es besonders Stille, der tektonische „Evolution" und „Revolution" schied. Dacqué, *Tornquist*, *Salomon*, v. *Seidlitz*, *Kober*, *Quiring*, *Sonder*, Kossmat, Kraus haben sich für die Zyklentheorien ausgesprochen, in Frankreich Bertrand, Haug, in Italien F. Sacco u. a.

Tritt in dieser Zyklentheorie die Grundtendenz bei allen Autoren deutlich hervor, so gibt es doch im Einzelnen Verschiedenheiten der Auffassungen, so z. B. in der Frage des Alters der Ozeane, der Rolle der Geosynklinalen. Wir wollen vorerst das Gemeinsame, das Wesentliche herausheben." (KOBER, 1928, S. 18 f.).

Mit dieser Aufforderung dreht die überwiegende Mehrheit der geologischen Fachwelt die Uhren um fast ein Jahrhundert in die Zeit der ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN Katastrophentheorie zurück. Alle anderen „Begleiterscheinungen" der positivistisch-regularistisch-deterministischen Weltanschauung in der Tektonik bis zur Aufstellung der Plattentektonik in der Mitte der sechziger Jahre waren somit rehabilitiert.

Die Details der dazwischenliegenden Jahre können natürlich im Rahmen dieses Festvortrages nicht besprochen werden. Sehr viele tektonische Einzelmodelle und noch mehr Tethys-Modelle wurden zwischen dem ersten Weltkrieg und 1965 vorgeschlagen und diskutiert. Von Seiten der Kober-Stille Schule waren das geometrische Modell des zweiseitigen Orogens von KOBER sowie die Phasenlehre von STILLE für die Tethysforschung von herausragender Bedeutung. Selbst einer der letzten Wiener Giganten, Carl DIENER, fiel unter den Einfluß der Vorstellungen der Reaktion: „Wenn man mit Stille die vieldeutige Bezeichnung »Geosynklinale« auf labile, säkular sinkende Räume dauernder Sedimentation beschränkt, so ist die Trias in der Tat unter allen mesozoischen Perioden diejenige, deren Ingression in die heutigen Festlandsräume sich am meisten innerhalb der Geosynklinalen abspielt und nur ausnahmsweise aus diesen auf benachbarte Territorien übergreift." (DIENER, 1916, S. 541). „Echte Tiefseesedimente sind aus der triadischen Tethys bis heute nicht bekannt... Übrigens stand ja die große Geosynklinale an der Grenze Eurasiens und Indo-Afrikas während der Triasperiode erst am Beginn ihrer Entwicklung. Daß die Vertiefung im Jura erhebliche Fortschritte gemacht hat, ist nicht zu bezweifeln,..." (DIENER, 1916, S. 525).

Im nächsten Abschnitt erörtere ich den Einfluß der Phasenlehre und des zweiseitigen Orogens auf die Tethysforschung bis zur Zeit der Aufstellung des „Paradoxons der Tethys". Dieses brachte die erste ernsthafte Unvereinbarkeit mit sich und galt zugleich als Test zwischen den Vorstellungen der Kober-Stille-Schule und den notwendigen Folgen der Plattentektonik.

[87] CAILLEUX (1968, S. 15 f.) hat mit Recht diese Idee bis zu den mythischen Vorstellungen zurückverfolgt: «L'un des mythes primitifs les plus persistants, et les plus tenaces, est celui des cycles. Il existe dans la nature des phénomènes périodiques, qui se succèdent à intervales égaux; par example les jours et les nuits, les lunaisons, les marées; ceux-là sont cycliques. Mais il existe aussi des phénomènes simplements intermittents, comme par exemple les tremblements de terre, ou les crues exceptionelles. Beaucoup de personnes ont une inclinaison naturelle à voir là aussi de cycles, oubliant que les intervalles sont inégaux et le plus souvent imprévisibles. Tel est encore le cas, en pleine seconde moitié du XX^{e} siècle, pour la formation des chaînes de montagne...» Ich kann ihm hier nur beistimmen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 41a
Das zweiseitige Orogen des Mittelmeeres (nach KOBER 1914a, Tafel 36).

Abb. 41b
Zwei Strukturprofile durch das zweiseitige Orogen des Mittelmeeres. Profil I zeigt den „Narbentypus", Profil II den „Zwischengebirgstypus" (nach KOBER 1914a, Tafel 37).

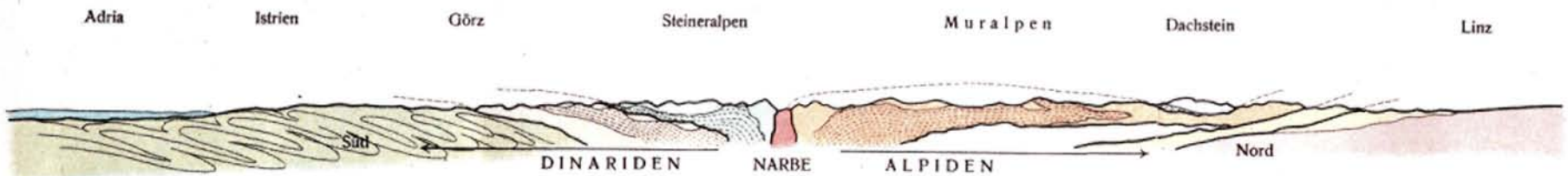
Siehe nächste Seite

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Schematische Deckenprofile der Dinariden und Alpiden

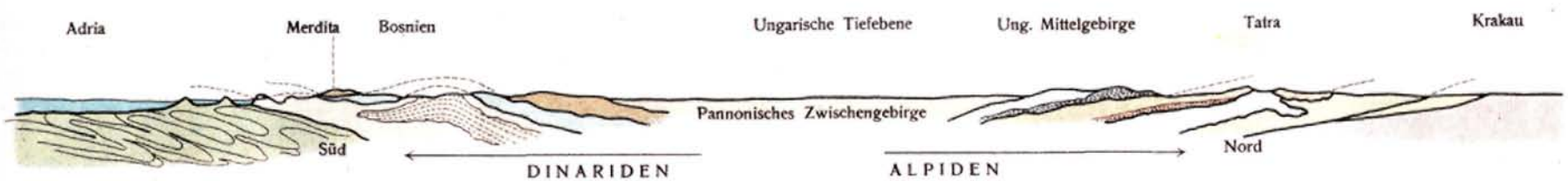
Entworfen von Dr. **L. Kober**

Profil I



Maßstab 1 : 1000000

Profil II



Maßstab 1 : 3700000

DINARIDEN

- Adriatische Deckenordnung
- Unter / Ober — dinarische Deckenordnung — Mesozoikum mit Karbon / Mesozoikum mit Silur u. Devon
- Bosnische Flyschdecke
- Alpin-dinarische Narbe
- Pannonisches Zwischengebirge

ALPIDEN

- Vorland der böhmischen Masse
- Molassezone
- Helvetisch-beskidische Deckenordnung
- Lepontinisch-Hochtatrische Deckenordnung
- Unter / Ober — Ostalpine Deckenordnung — Voralpine Decken mit Karbon / Hochalpine Decken mit Silur u. Devon

Leitung: Prof. Paul Langhans.

GOTHA: JUSTUS PERTHES

A. M. C. ŞENGÖR

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

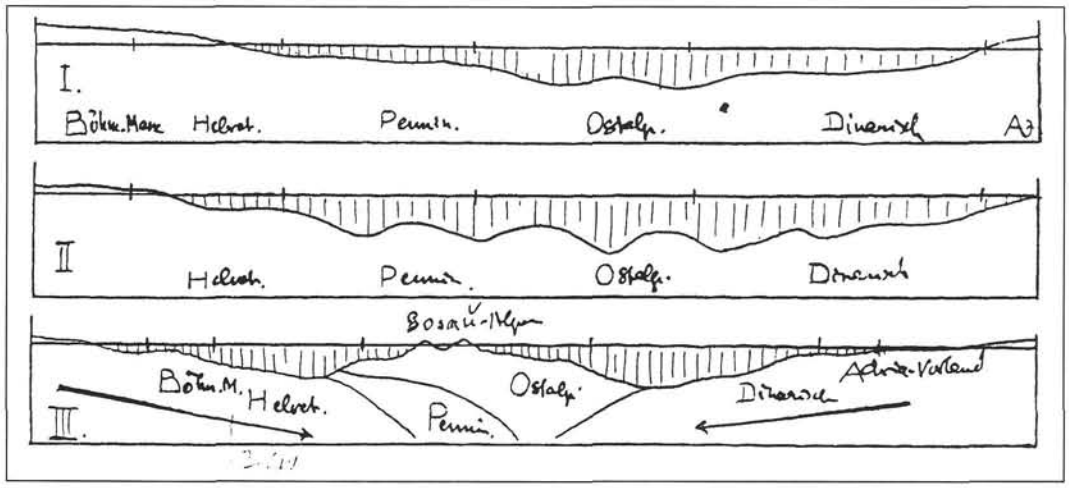


Abb. 42
Die zeitliche Entwicklung der alpinen Geosynklinale nach KOBER (1927, Abb. 4; KOBER hat die paläotektonischen Einheiten nur mit den ersten Buchstaben angegeben. Der Rest wurde in meinem Exemplar des Buches von einem Leser hinzugefügt). Profil I: Meere der Trias; Profil II: das Jurameer; Profil III: Oberkreidemeer. Man vergleiche das Profil I mit Abb. 35b oben.

Die phasenhafte Entwicklung der Tethys

SUESS (1886) und BERTRAND (1887) waren die ersten, welche die in Europa stattgefundenen Gebirgsbildungen in vier große Akte gegliedert haben (Abb. 43a, b).[88] BERTRAND (1887) nannte sie die „huronischen", „kaledonischen", „herzynischen" und die „alpidischen" *Plissements* und erstreckte ihren Gültigkeitsbereich bis nach Nordamerika (Abb. 44). Er betrachtete diese Einteilungen später als natürliche Stadien in der Entwicklung der Erde (BERTRAND, 1897). Das führte schließlich zum Protest von SUESS (SUESS, 1909, S. 40, Anm. 1).

Diese Zerteilung wurde später zum Keim einer typisch ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN Phasenlehre bei STILLE, der den „Plissements" von BERTRAND den Rang von „Faltungsären" zuteilte. Jede Faltungsära sollte aus mehreren orogenen Phasen[89] und Unterphasen bestehen (vgl. STILLE, 1924, 1928). Besonders die Phasenlehre STILLES hatte einen tiefgreifenden Einfluß auf die Tektonik. Heute noch glaubt man überall in der Welt „variszische" und „kaledonische" Ereignisse zu finden (vgl. ŞENGÖR, 1991a). Ich habe hier nicht die Absicht, die bereits überholte Phasenlehre STILLES zu kritisieren. Das habe ich ausführlich an anderer Stelle getan (vgl. ŞENGÖR, 1990a, 1991a). Was ich hier jedoch betonen möchte ist die Tatsache, daß wir immer noch, bewußt oder unbewußt, unter dem Einfluß STILLES (und daher unter dem Einfluß WERNERS, CUVIERS, VON BUCHS und ÉLIE DE BEAUMONTS!) stehen. Zum größten Teil ist es dieser Einfluß gewesen, der uns gehindert hat, die Tethys zum einen als ein hauptsächlich mesozoisch-känozoisches Phänomen und zum anderen die Existenz selbständiger Orogenesen bedeutenden Ausmaßes im frühen Mesozoikum innerhalb des Tethysraumes anzuerkennen. In den folgenden Zeilen erörtere ich diese Behauptung im Detail.

Wir haben oben gesehen, daß bereits UHLIG die Tethys als einen seit dem frühen Paläozoikum bestehenden Meeresarm

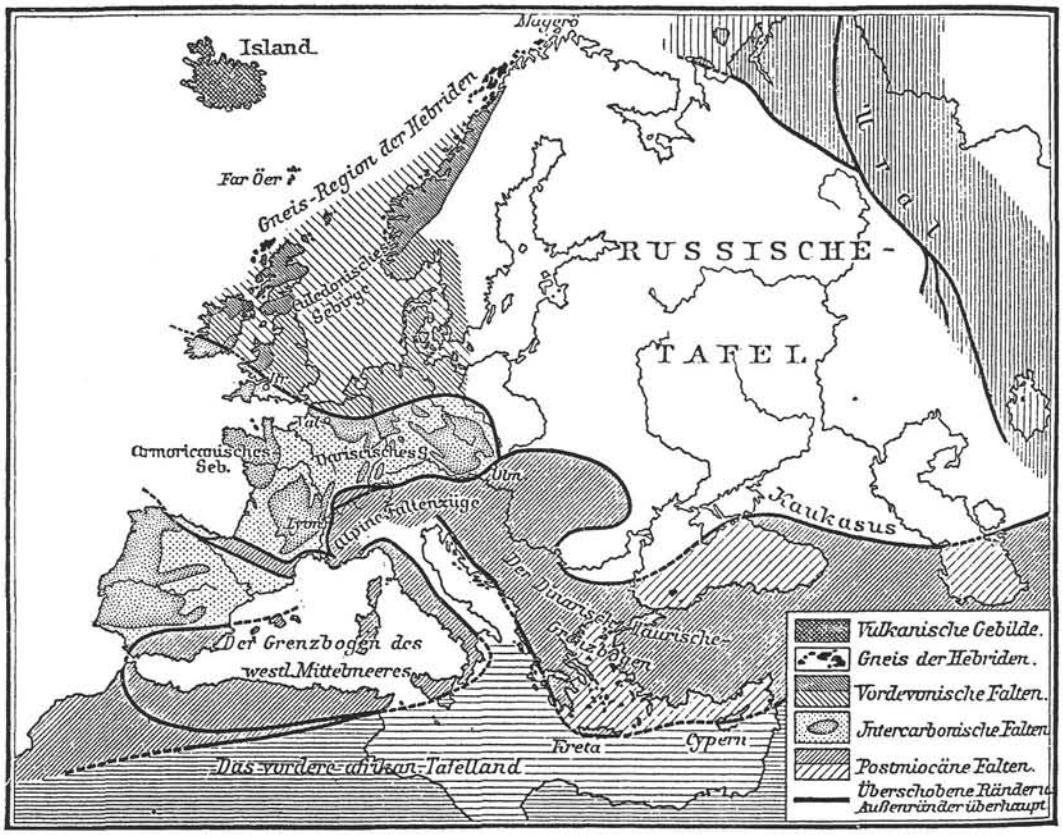


Abb. 43a
Struktur Europas nach SUESS (1893b, Tafel; schwarz-weiße Version aus NEUMAYR 1895b, S. 484).

[88] Diese Akte hatten mit den Gebirgsbildungsphasen von ÉLIE DE BEAUMONT weder prinzipiell noch zufällig etwas zu tun (vgl. ŞENGÖR, 1991).

[89] STILLE hat die Bezeichnung „orogene Phase" wahrscheinlich von HAUG übernommen: «...la phase d'orogénèse, qu'elle précède nécessairement et au cours de laquelle s'édifient les relifes de l'écorce terrestre» (HAUG, 1907, S. 14).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

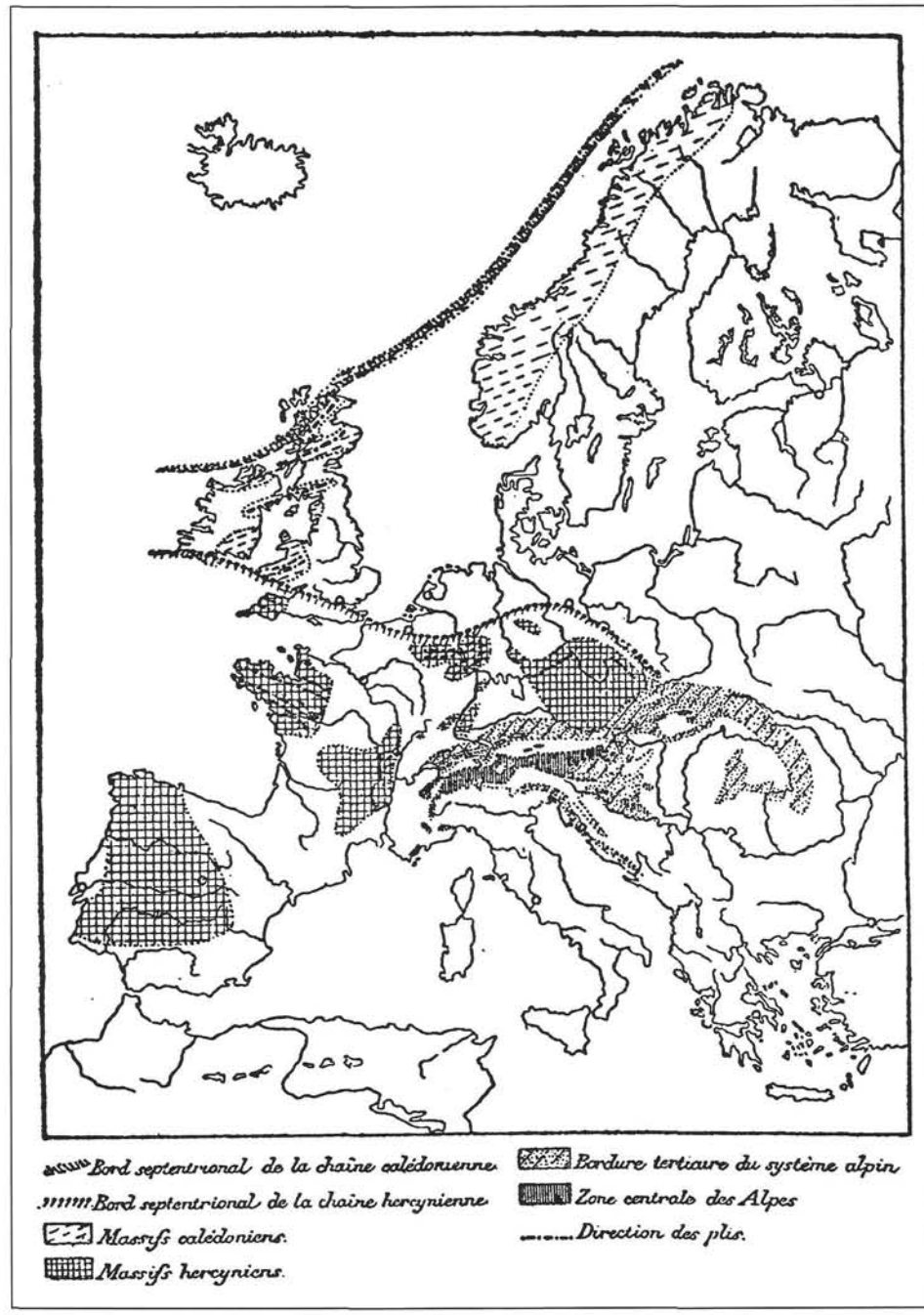


Abb. 43b
Struktur Europas nach BERTRAND (1887, Fig. 3).

ansehen wollte. Diese Neigung wurde innerhalb des ersten Dezenniums des neuen Jahrhunderts von FRECH, DE LAUNAY, KAYSER und HAUG übernommen. FRECH glaubte, daß „das Grosse Mittelmeer, dessen Sedimente in den eurasiatischen Faltungszonen gut aufgeschlossen sind, etwas jüngeren Ursprungs" sei. „Wie ein Blick auf die Weltkarten des Cambrium und Untersilur zeigt, gab es in diesen Epochen noch keinen Meerestheil, der einen entsprechenden Namen verdient hätte. Erst die obersilurische Transgression schuf eine Meeresverbindung, welche schon damals rund um die Erde lief und mit mancherlei Veränderungen bis in die Tertiärzeit hinein gedauert hat" (FRECH, 1897-1902, S. 679, Hervorhebung FRECHS). FRECH bestätigte einigermaßen was ich oben über die Tethysvorstellung von SUESS sagte. Zum Begriff „Großes Mittelmeer (Zentrales Mittelmeer oder Thetys[90])" sagte er: „Das Große Mittelmeer besteht in seiner erdumspannenden Ausdehnung erst seit der Oberen Trias, d. h. nach Durchbrechung des unter dem 70.-100. Längengrad liegenden asiatischen Isthmus und der Eröffnung einer atlantischen Meeresverbindung" (FRECH, 1903-1908, S. 554).

DE LAUNAY glaubte dagegen sehen zu können, daß «comme aujourd'hui, les terres s'accumuler autour du pôle Nord, dans une zone boréale, qui se trouve surélevée (pour une raison quelconque) en un ou plusieurs continents paléarctiques, tandis que les mers se rassemblent sur les zones déprimées, formant la périphérie du pôle Sud et un sillon Est-Ouest, séparant deux grandes masses continentales également Est-Ouest, apparaît à la hauteur de la mer des Antilles et de notre Méditerranée.

Ce long sillon Est-Ouest partage alors la Terre émergée en deux zones: l'une reliant le Nord de l'Europe aux États-Unis; l'autre l'Amerique du Sud à l'Afrique et à l'Inde. Comme le montre notre planche IV [*Hier Abb. 45a*] on constate sa présence, dès le cambrien (2), entre les môles septentrionaux (Canada, Groënland) et les môles équatoriaux, distinguées au chapitre de la tectonique; il prend mieux encore son allure définitive pendant l'ordonicien [*sic!*] (3), et, par un trait de permanence qu'il faut signaler aussitôt, nous alons, avec des variations de détail, le voir se perpétuer à peu prè durant toute la série géologique: ce sera la *Téthys* triasique de Suess, puis la *Mésogée* tropicale des temps crétacés, où se perpétueront et d'où essaimeront les faunes des mers chaudes; ce sera, plus tard, notre *Méditerranée* actuelle, séparée seulement du golfe du Mexique, qui lui fait vis-à-vis, par l'effrondrement récent de l'Atlantique, et disjointe de sa continuation dans le Pacifique, par le soulèvement également récent de l'isthme de Panama. Presque à toutes les époques, nous pouvons ainsi suivre le prolongement de ce sillon Est-Ouest sur les deux tiers de la circonférence terrestre (le Pacifique seul étant excepté), depuis le golfe du Mexique jusqu'à l'Asie Mineure, puis au Nord de l'Himalaya (mer à fusulines, Tethys de Suess), enfin le long de la chaîne si bien alignée des îles de la Sonde jusqu'à l'Est de l'Australie.[91]

[90] Die falsche Orthographie beruht auf FRECH.

[91] Anmerkung von DE LAUNAY auf S. 455: „J'ai sur la planche IV, page 487 [hier Abb. 45a], cherché à metter ce fait en évidence par le rapprochement des traits qui figurent approximativement l'axe de la Mésogée aux époques cambrienne (2), ordovicienne (3), dinantienne (11) et lutétienne (44).
Ce sillon mésogéen ets l'un des géosynclinaux, sur l'importance desquels M. HAUG a récemment insisté et auxquels il attribue un rôle essentiel et permanent dans l'histoire de la structure terrestre (Bull. Soc. Géol. de Fr., 3ᵉ sér., XXVIII- p. 617-711, 1900)". In dieser Anmerkung sehen wir die wichtige Rolle der Arbeit von HAUG auch in der Installation der Idee der Permanenz der Geosynklinallagen auf dem Antlitz der Erde.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

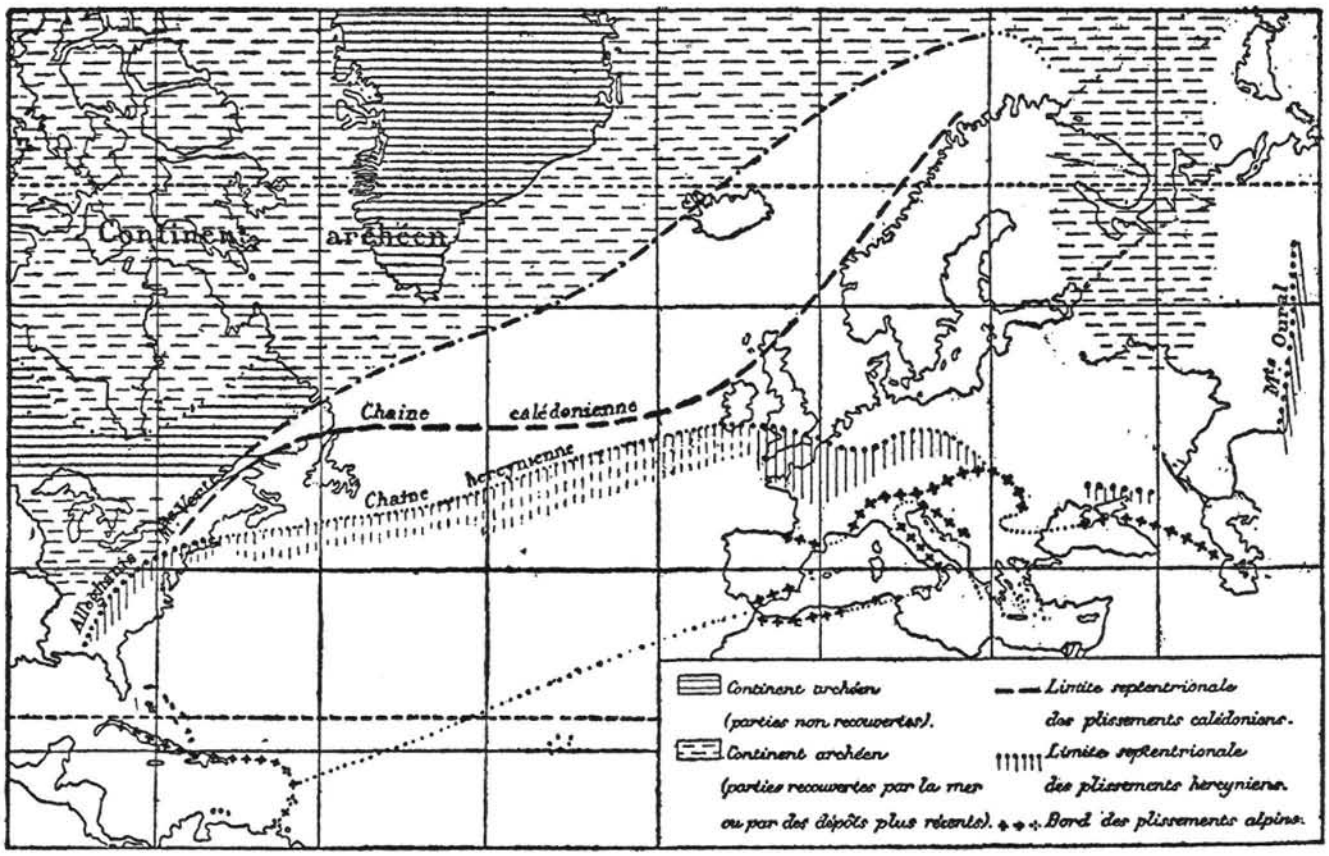


Abb. 44
Transatlantische tektonische Korrelation von BERTRAND (1887, Fig. 4).

Et, presque à toutes les époques également, il en résultera une différence dans l'évolution des deux masses continentales, séparées par ce sillon intérieur; d'un côte, l'Eur-Asie, avec l'Amérique du Nord; de l'autre, l'Amérique du Sud, avec l'Afrique et l'Inde.» (DE LAUNAY, 1905, S. 454 f.)

Emanuel KAYSER, in der zweiten Auflage seines einflußreichen *Lehrbuches der Geologie*, wiederholte fast wörtlich die Ansichten von DE LAUNAY: „Eines der besten Beispiele einer solchen Geosynklinale bildet das große von Südeuropa bis nach Sumatra reichende Mittelmeer, SUESS' Thetys[92], das vom Cambrium an bis in die ältere Tertiärzeit hinein bestanden hat." (KAYSER, 1905, SS. 651 f.). Genau wie DE LAUNAY betrachtete auch KAYSER die Tethys als eine Geosynklinale unter dem Einflusse der Arbeit HAUGS aus dem Jahre 1900 (vgl. KAYSER, 1905, S. 651, Fußnote 3).

HAUG forderte in seiner *Traité* die zeitliche Erstreckung der Tethys mindestens bis in das Devon hinab (1911, S. 726). Er deutete, FRECHS Fußstapfen folgend, an, daß sie auch schon im Silur zwischen einem *Continent équatorial* im Süden und einer Gruppe von Kontinenten bestehend aus einem *Continent Nordatlantique*, einer kleinen Insel der *plate-forme Russe* und einem *Continent Pacifique* im Norden existierte (Abb. 45b). Diese silurische Tethys nannte HAUG *Mediterranée centrale*[93].

Durch Publikationen bezüglich des angeblich hohen Alters, wurde die Tethys bald zum „konstantesten Meer aller Zeiten" deklariert[94] (DACQUÉ, 1915, S. 61): „...und nordwärts haben wir ein chinesisch-hinterindisches und im Kambrium wahrscheinlich, im Silur und Devon sicher vorhandenes himalayisch-kleinasiatisches Meer, dem sich seit kambrischer Zeit das mediterran-europäische Meer anschließt. Dieses Meer, das sich westwärts gegen die meridional dazu verlaufende andine Meeresrinne erstreckte, ist die uralte Tethys." (DACQUÉ, 1915, S. 159). Mit dieser gleichsam permanenten Stellung wurde die Tethys zu einer planetarischen Struktur, einer Zone wiederholter tektonischer Tätigkeit: „...die häufige Wiederkehr gleicher Meeressenken in getrennten Zeitaltern beweist, daß es gewisse Regelmäßigkeiten gibt, und daß manche Regionen der Kruste einen bestimmten, von anderen Teilen unterschiedenen Charakter haben, der von Zeit zu Zeit immer wieder durchbricht, auch wenn er vorübergehend durch andere akzidentelle Umstände verdeckt wurde... Bekannt ist ja ohnedies die Zähigkeit vieler Meere, so z. B. des Nordpolarmeeres, oder mancher Geosynklinalgebiete, wie z. B. der Tethys, welche ‚Formationen hindurch die Scheide nördlicher und südlicher Kontinentalmase bildete'" (DACQUÉ, 1915, S. 166).

Diese räumlichen Regelmäßigkeiten nahmen bald den Charakter der ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN „vorgezeichneten" Richtungen an. In seinem massiven *Handbuch der Paläogeographie* betrachtet Theodor ARLDT die zyklische Wiederbelebung solcher vorgezeichneter Richtungen auf dem Gesicht der Erde als eines der wichtigsten allgemeinen Entwicklungsgesetze des Planeten: „Viel häufiger begegnen wir der Betonung bestimmter Richtungen, worauf wir schon bei der Besprechung der allgemeinen Methoden der Palaeoptychologie[95] hingewiesen haben

[92] Die falsche Orthographie beruht auf KAYSER.

[93] In mehreren Stellen in der *Traité* wie auch in seiner früheren Schrift über die *Geosynclinaux et les aires continentales* setzte HAUG das zentrale Mittelmeer der Tethys gleich.

[94] Ich sehe hier eine interessante Parallele zu einer Vorstellung in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, die die Alpen als ungeheuer alt betrachtete (HEIM, 1921, S. 4), obwohl ich damit keine historische Kontinuität der beiden Vorstellungen behaupte.

[95] Palaeoptychologie wurde von ARLDT als „die Lehre von den alten Faltengebirgen" definiert (ARLDT, 1922, S. 681), hergeleitet vom unzutreffenden griechischen ἡ πτύχή die Falte (ARLDT, 1919, S. 37, Fußnote 3). πτύγμα, πτύγματ-gefaltete Materie (vgl. *The Compact Oxford Englisch Dictionary*, 2nd edition, Clarendon, Oxford, S. 1462), ist auch die Wurzel des Terminus ptygmatische Falte, den SEDERHOLM (1907) einführte.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

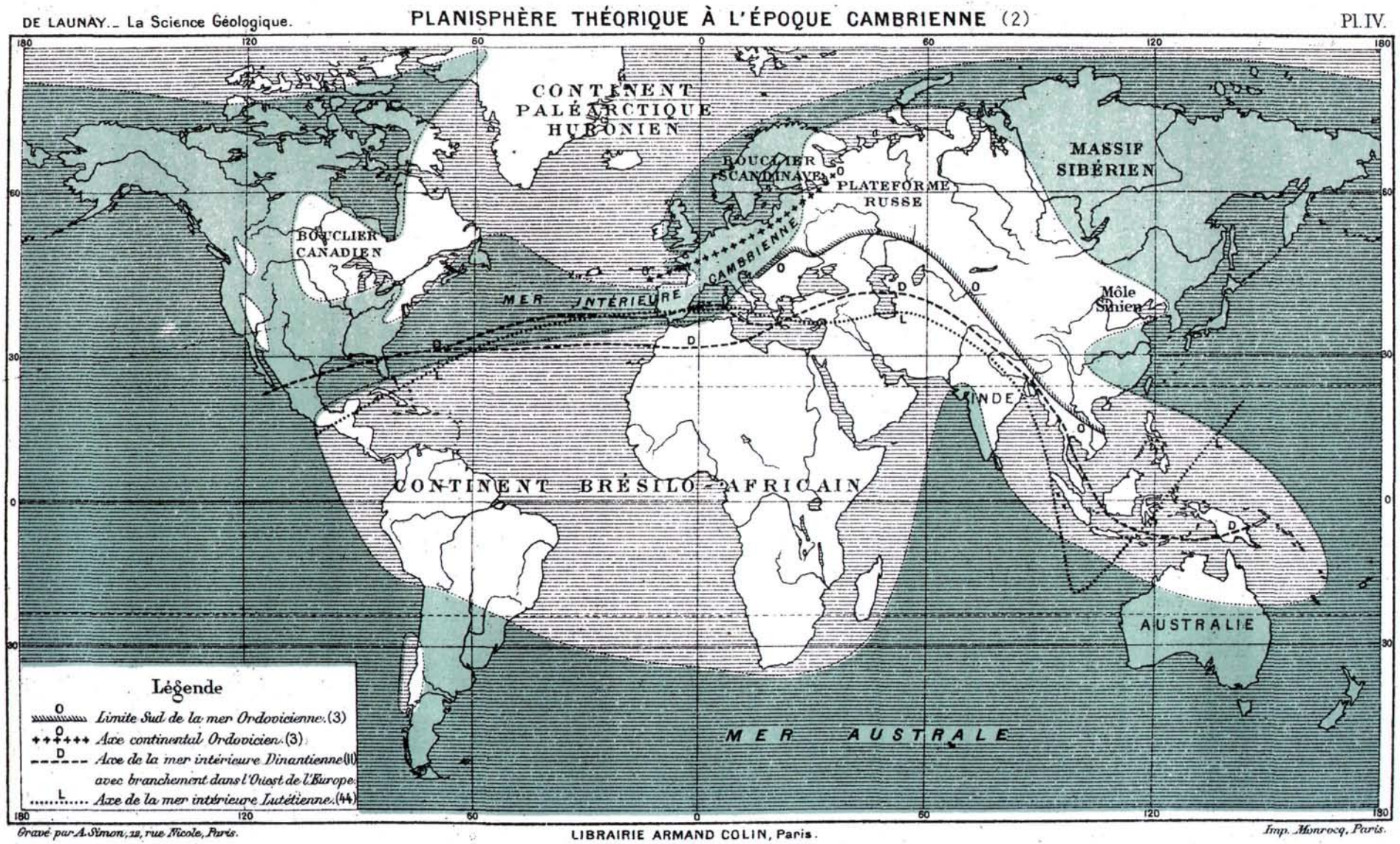


Abb. 45a
Paläogeographie des Kambriums und die Achsenlagen der Tethys während des Karbons und Eozäns von DE LAUNAY (1905, Tafel IV).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

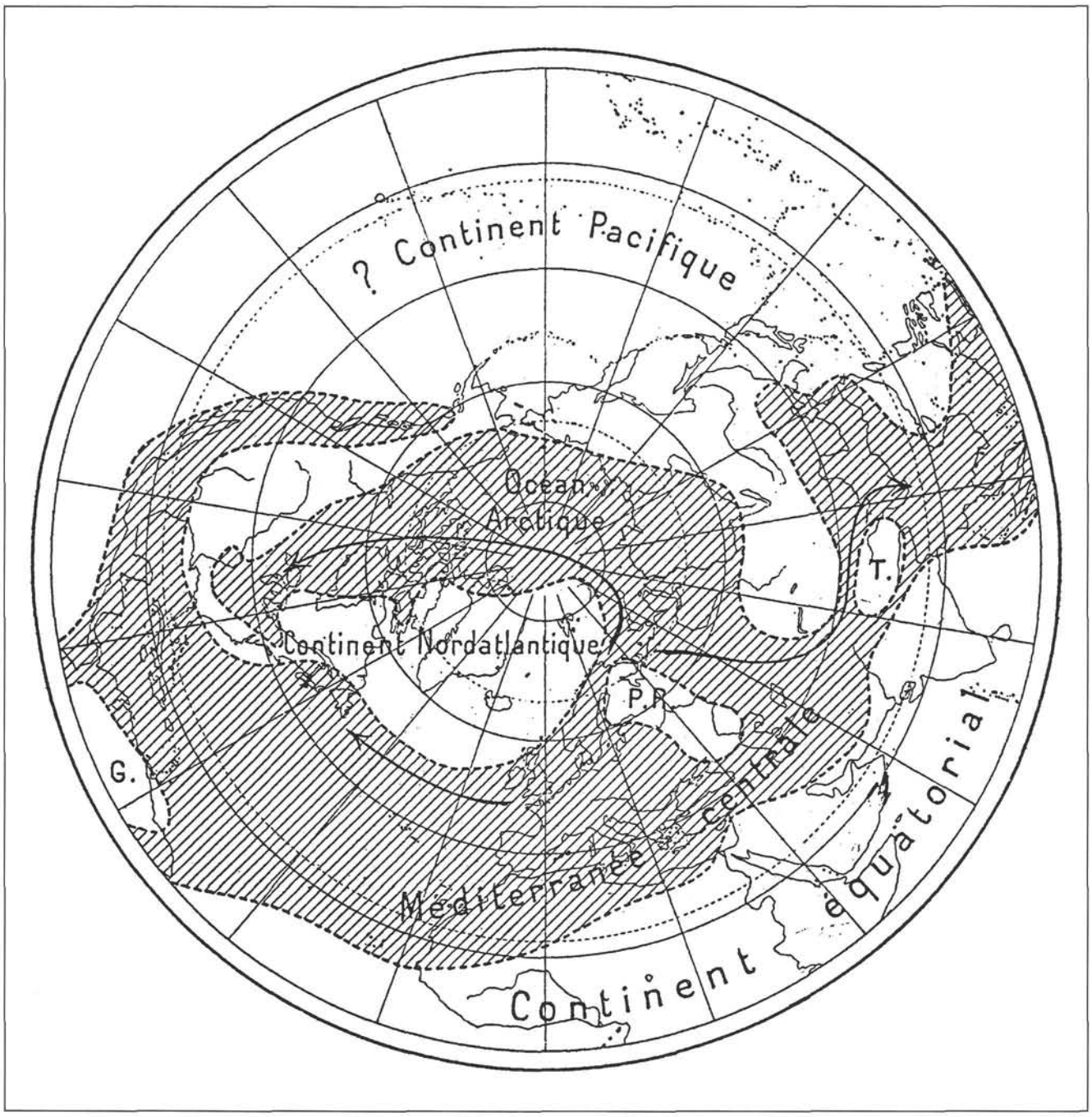


Abb. 45b
Paläogeographie der nördlichen Hemisphäre im Silur nach HAUG (1911, Fig. 226).

(S. 682[96]). „Die Bedeutung dieser Linien ist aber nicht bloß für die Gebirge, sondern auch für die Umrandungen der Kontinente hervorgehoben worden." (ARLDT, 1922, S. 1190). ARLDT versuchte das Vorhandensein solcher bevorzugten Richtungen durch GREENS Tetraedertheorie (vgl. auch MICHEL-LÉVY, 1898) der Erdentwicklung zu erklären. Danach sei die sich abkühlende Erde bestrebt gewesen, die Form eines Tetraeders anzunehmen. Sein Paradebeispiel war der Mediterrangürtel: „Eine besondere Bedeutung beansprucht der mittelmeerische Gürtel, der Mediterranik, der, wie wir sahen, uns als eins der beständigsten Elemente in der Geschichte des Erdreliefs entgegentritt. Die Existenz dieses Elements ist natürlich zu erklären. Schon GREEN [*1875, 1887*[97]] zog zu diesem Zwecke die inneren Gezeiten der Erde heran. Schärfer baute EMERSON [*1900*] die Theorie aus und ARLDT versuchte sie noch weiter zu führen."(ARLDT, 1922, S. 1199 f.) ARLDT glaubte, angelehnt an GREEN und EMERSON, daß die Tethys einer der basalen Kanten des Tetraeders folgte. Da die mittlere Achse des Tetraeders nicht mit der Rotationsachse zusammenfiel, war der Mediterrangürtel schräg zur Rotationsebene gestellt. Die wechselnde Geometrie des Tetraeders sollte die wiederholten Deformationen entlang des Mediterrangürtels verursacht haben, unterstützt von einer entlang des Gürtels tätigen sinistralen Scherzone, die der bereits von GREEN postulierten kristallographischen Zwillingsebene entsprechen

[96] Auf dieser Seite gibt ARLDT eine sehr lehrreiche Liste aller damals noch modernen Anschauungen über die vorgezeichneten Richtungen der Gebirge in der Erdgeschichte.

[97] Leider gibt ARLDT die Literatur nicht immer in einem Standardformat an. Ich habe hier seine Angaben vervollständigt.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

sollte.[98] Die auch von DACQUÉ, MICHEL-LÉVY und DE LAPPARENT (1883, S. 1245 ff.; 1906, S. 1947 ff.) verteidigte Tetraedertheorie wurde auch von einem geistigen Giganten wie Marcel BERTRAND (1900) befürwortet. 1946 wurde sie vom Australier W. G. WOOLNOUGH ausgebaut und wurde von HOLMES sogar in der 2. Auflage seines klassischen Lehrbuches *Principles of Physical Geology* zwar als eine jetzt überholte aber doch als eine „kluge" Vorstellung dargestellt (HOLMES, 1965, S. 32)!

All diese uns jetzt phantastisch erscheinenden Vorstellungen wurden allerdings von den meisten Vertretern der Kober-Stille-Schule nicht gebilligt. Indem diese Vorstellungen immer wieder die *Dauerhaftigkeit* der Tethys durch beinahe die ganze Erdgeschichte hindurch und ihre krampfhafte Beseitigung durch phasengebundene Deformationen betonten, haben sie jedoch einen sehr nachhaltigen Einfluß auf die Denkrichtungen dieser Schule ausgeübt. Schon bei STILLE war z. B. die Tethys ein „Urmeer". In einer Anmerkung zu dieser Deutung schrieb er (1924, S. 56, Fußnote; Hervorhebung durch STILLE selbst): „Wenn man in diesem Sinne auch das heutige Mittelländische Meer schließlich noch als ‚Urmeer' oder doch als Rest eines solchen bezeichnen will, so ist aber festzuhalten, daß wohl kaum ein Stück desselben in der geologischen Entwicklung nicht verlandet gewesen wäre, z. T. sogar mehrfach. Viele Teile sind ja überhaupt erst in relativ junger Zeit wieder Meer geworden. Aber die hier immer wieder erscheinende Tendenz zur Meeresbildung ist von Urzeiten her erkennbar." Diese Ideen wurden von den meisten Kober-Stilleaner so gedeutet, daß die Tethys tatsächlich als Teil eines permanenten planetarischen Bruchnetzes anzusehen sei. Z. B. BUCHER (1924) führte Experimente mit Paraffinschalen durch, um zu zeigen, daß vorgezeichnete Richtungen des Diastrophismus auf der Erde (er hat sie aus den Karten von NEUMAYR und HAUG entnommen) ursprüngliche Zerrungsbrüche repräsentierten (Abb. 46a-d) und bekannte sich zur Theorie von ROTHPLETZ (1903) einer abwechselnden Expansion und Kontraktion des Erdballs. Die Expansion sollte die Entstehung der Geosynklinalen und die Kontraktion sollte die Hebung der Gebirge verursacht haben (BUCHER, 1933).

Der gemeinsame Nenner der Kober-Stille-Schule zum Tethys-Problem war also die *Dauerhaftigkeit der Tethys* und *ihre phasengebundene Deformation.* STILLE war bekanntlich der hohe Priester der Phasenlehre und in seinen verschiedenen Publikationen hat er die Geschichte der Tethys aus dem Blickwinkel der Zeitlichkeit erörtert.

STILLES Erstlingsarbeit war seine 1899 unter der Begutachtung des diktatorischen Adolf VON KOENEN abgeschlossene Dissertation. Er hat darin zum ersten Mal im Gebiet des Teutoburgerwaldes das Vorhandensein vorkretazischer Verwerfungen kartographisch bewiesen. Wegen des vehementen Widerspruchs seines Doktorvaters konnte er diese in seiner Dissertation nicht veröffentlichen (CARLÉ, 1988, S. 152 ff.). Der alten, von ÉLIE DE BEAUMONT herkommenden kontinentalen Tradition folgend betrachtete STILLE jede Art der Bruchbildung als Gebirgsbildung und jede Art der Gebirgsbildung als ein episodisches und weltweit verbreitetes Phänomen. Sobald er sich aus der Obhut VON KOENENS befreien konnte, publizierte er seine eigene Deutung der Zeitlichkeit der Bruchbildung im weiteren Gebiet des Teutoburgerwaldes, zuerst sehr zurückhaltend (STILLE, 1901) aber dann ganz offen (STILLE, 1903). Er schrieb:

„...in bezug auf das Alter dieser Brüche [*ist*] mit Sicherheit nur soviel zu sagen, **dass sie jünger sind als der Mittlere Lias und älter als der Neocomsandstein**.

Immerhin liegt aber die Annahme sehr nahe, dass sie gerade in der Zeit entstanden sein mögen, in der in anderen Theilen unseres nordwestdeutschen mesozoischen Gebirgslandes ausgedehnte Strandverschiebungen und Transgressionen, also Erscheinungen, die gleichfalls mit Bewegungen in der Erdrinde zusammenhängen dürften, *eingetreten sind, nämlich in der Zeit des jünsten Jura oder* der ältesten Kreide" (STILLE, 1903, S. 322, Hervorhebung STILLES).

Wie ich bereits an anderer Stelle hervorhob (ŞENGÖR, 1991a) verriet STILLE hier seine von den positivistischen Tektonikern des 19. Jahrhunderts herkommende anti-SUESS'SCHE Überzeugung des nicht-aktualistischen und regelmäßigen Verhaltens des Planeten. Genau wie HAUG versuchte er miteinander nicht unbedingt zusammenhängende Ereignisse in *eine einzige Deformationsphase hineinzuzwängen.* Seine weiteren Arbeiten bewegten sich auf den selben Schienen, bis er 1910 seine Deformationsphasen mit Namen zu belegen begann. Ironischerweise übernahm er für die erste von ihm aufgestellte Phase eine Bezeichnung, die aus dem letzten Bande des *Antlitz* stammt!

„Die neueren Untersuchungen im Gebirge von Matchin [*also der südliche Teil der Norddobrudscha in Rumänien*] haben stratigraphische Aufgaben verfolgt.[99] Eine neue Karte hat Pascu herausgegeben. Ueber den Bau ist auch heute nur zu sagen, dass er ein Bruchstück ist, mit Str. W. bis WNW. in der Nähe des Meeres, das landeinwärts sich mehr und mehr NW. nähert. Im Südwesten ist eine breite Entwickelung von grünen Gesteinen (Diabas-Pelit nach Peters), im NO. auch eine ältere Reihe (Phyllit und Verrucano bei Tultscha) vorhanden und der Gneiss im Nordwesten gilt für die älteste Felsart. Zwischen diesen Gesteinen treten in kürzeren und längeren Zügen mesozoische Sedimente bis weit in's Delta hinaus, auch Decken von Porphyr und Melaphyr. Reich gegliedert ist die Trias. Die obere Kreide transgrediert.

Dass dieses Gebirge ein Bruchstück einer grösseren Einheit ist, kann keinem Zweifel unterliegen. Seine Lage und sein vorkretazisches Alter weisen auf die Krim. Ueber Mrazec's Vorschlag nennen wir diese das Krim-Gebirge, die Schlangen-Insel und das Gebirge von Matschin umfassende Einheit das Kimmerische Gebirge." (SUESS, 1909, S. 21 f.; Hervorhebung von SUESS selbst).

Nach SUESS war das Kimmerische Gebirge eine *selbständige* Einheit, die sich zwischen den Ketten des Alpen-Systems im Süden und dem Asow'schen Horst im Norden befand. Sie sollte sich nicht weiter nach Westen als bis ins östliche Vorland der Karpaten erstrecken. Auch in seiner letzten diesbezüglichen Schrift hat der große Meister dasselbe betont:

„Wir sind nun am eisernen Tore angelangt. Vielerlei wäre noch zu sagen. Zuerst wie in der Krim ein selbständiges Gebirge zu Tiefe sinkt, wie seine Reste in den Fidonisi (Schlangeninseln) außerhalb der Mündungen der Donau und in den Lagunen der Donau selbst hervortreten, dann in der Dobrudscha wieder Zusammenhang finden, bei Matschin die Donau ablenken und festhalten, und wie endlich die äußersten Spuren unter dem Rande der Ostkarpathen verschwinden. Die Geologen von Bukarest haben es das kimmerische Gebirge genannt." (SUESS, 1911, S. 12).

STILLE dagegen legte Nachdruck auf die *Zeitlichkeit* des tektonischen Geschehens im kimmerischen Gebirge:

„Eine ‚kimmerische', d. h. eine vorwiegend west-östlich bis südwest-nordöstlich gerichtete, vorcretacische Faltung ist in Südosteuropa in der Krim und der Dobrudscha erkannt worden.

...

Gleichzeitig mit der jüngeren Phase dieser kimmerischen, d. h. vorcretacischen (SUESS l. c.), Faltung in Südosteuropa erfolgte,

---

[98] Diese Hypothese einer tethysischen linkssinnigen Scherzone wurde später in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts von CAREY (1958) zum dritten Mal angeblich ohne Kenntnis seiner Vorläufer ins Leben gerufen. Erst in seinem Buche aus dem Jahre 1976 beschreibt CAREY die Studien von W. L. GREEN (S. 23) und seine amerikanischen und australischen Nachfahren, nicht aber seiner deutschen und französischen Nachfolger.

[99] Bei diesem Zitat lasse ich die Literaturangaben, die SUESS seiner Darstellung beifügt, weg.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

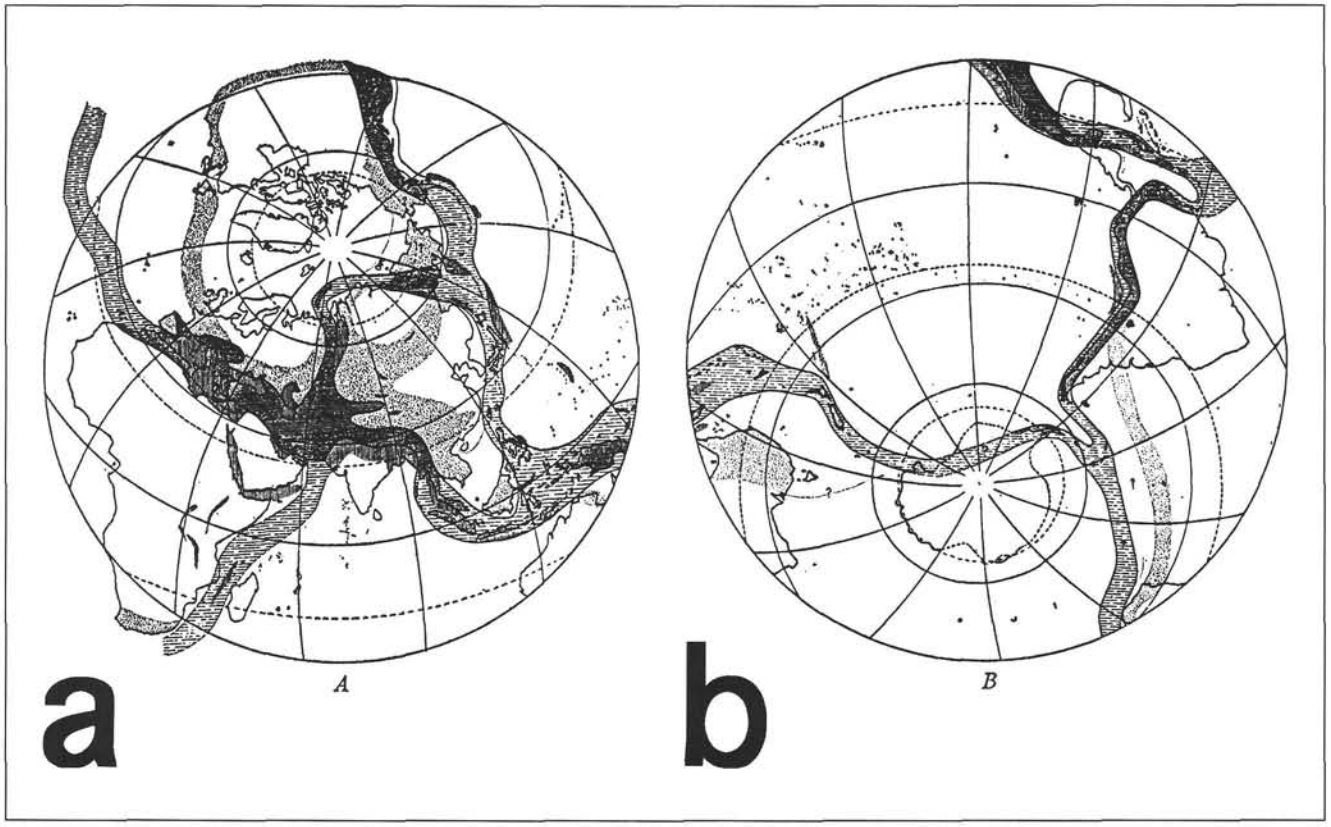


Abb. 46a & b
Die Verteilung der mesozoischen Geosynklinalen nach HAUG (siehe Abb. 36b) transponiert von BUCHER (1924, Fig. 2) auf eine sphärische Oberfläche. Das Geosynklinalmuster in a hat BUCHER „Kreuzmuster", das in b „Ringmuster" genannt.

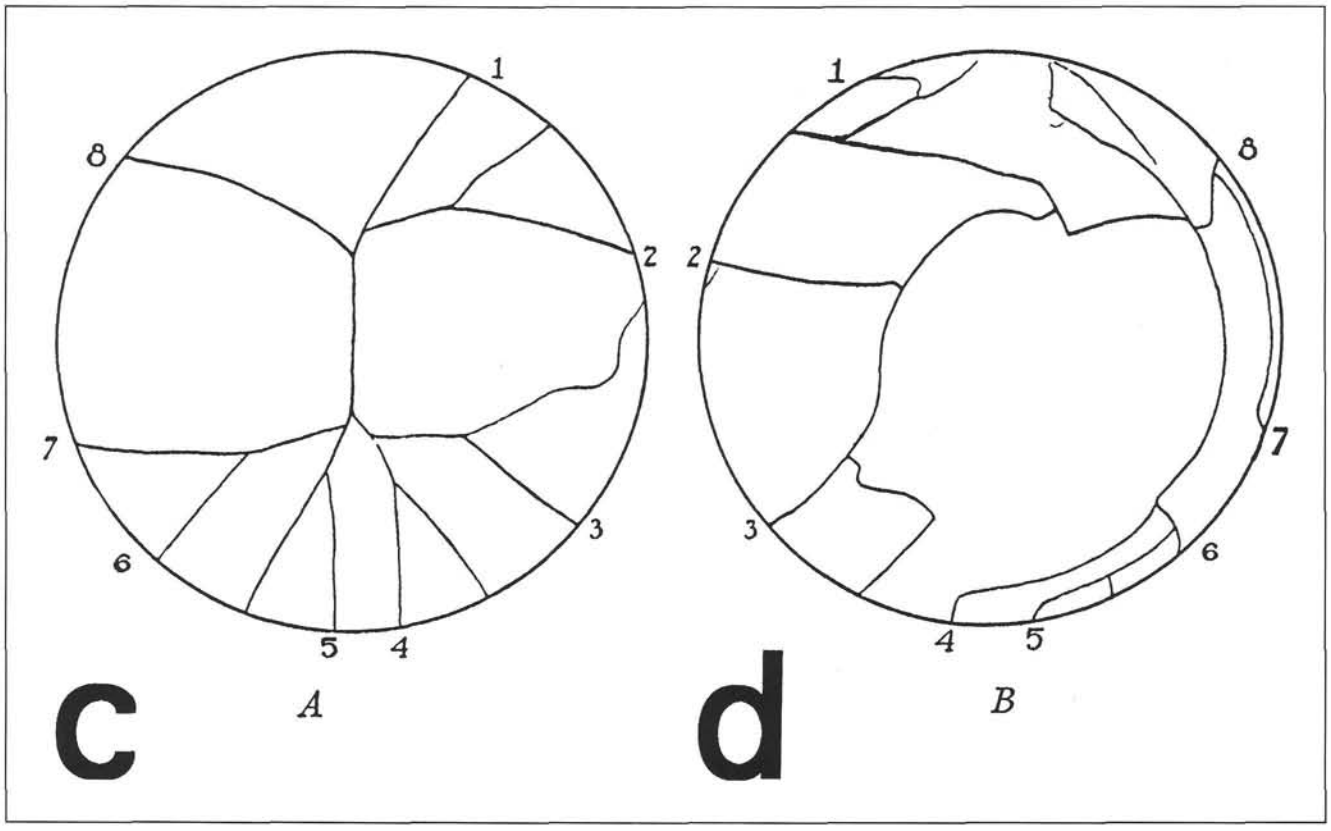


Abb. 46c & d
Zwei experimentell zerborstene Paraffinkugeln zeigen c) das Kreuz- und d) das Ringmuster. Auf der Basis dieser Experimente glaubte BUCHER die Entstehung der Geosynklinalen durch Zerrung erklären zu können. Solchen Versuchen lag der Gedanke zugrunde, die Tethys sei ein uraltes Element einer in sich geschlossenen irdischen Kruste.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

wie zuerst am Teutoburgerwalde nachweisbar wurde, die ältere bedeutsame Phase in der saxonischen Faltung der deutschen Mittelgebirge, die vorcretacische (jungjurassische), die sich außer in Nordwestdeutschland in England und Frankreich deutlich zu erkennen gibt, aber auch im Sudetengebiete nicht zu fehlen scheint. Somit kennen wir eine vorcretacische Faltung bisher in einer von den Ausläufern des Kaukasus in zunächst westlicher, dann mehr nordwestlicher Richtung durch Europa ziehenden, sich in Westeuropa stark verbreiternden Zone, und ich glaube, daß die Übereinstimmung in bezug auf Gleichzeitigkeit und generelle Richtung der Gebirgsbildung und ein gewisser räumlicher Zusammenhang der betroffenen Gebiete es gestatten, die vorcretacische Phase der gesamten oben skizzierten Zone und damit auch die älteste Phase der saxonischen Faltung im Bezirke der deutschen Mittelgebirge geradezu als ‚kimmerische Phase' zu bezeichnen;..." (STILLE, 1910, S. 154 ff.; Hervorhebung von STILLE selbst).

Wir haben aber gerade gesehen, daß erstens die am Teutoburger Wald bewiesene „Faltung" zwischen dem Mittleren Lias und dem Neocomsandstein war (STILLE, 1903, S. 322), das heißt also sie im Prinzip irgend ein Alter und irgend eine Dauer zwischen einem gewissen mittleren Lias und der Hauterive-Stufe haben könnte. Zweitens war das Kimmerische Gebirge eine von SUESS ausdrücklich vom Reste Europas scharf abgetrennte Einheit. STILLE hat also zum einen eine unberechtigte Annahme gemacht und zweitens den SUESS'SCHEN Begriff mißbraucht.[100]

Diese ersten Arbeiten STILLES wurden zum Fundament eines dogmatischen Lehrgebäudes, in dem alle Orogenesen in von STILLE selbst aufgestellten Phasen weltweiter Gleichzeitigkeit und von kurzer Dauer (einmal schrieb STILLE, daß die Phasendauer durchschnittlich ± 250.000 – 300.000 Jahren sein sollte: STILLE, 1936a, S. 37; 1936b, S. 81) eingeordnet wurden. Abb. 47 zeigt seine 1936 und 1944 publizierten Phasenschemata, die auch die Gruppierung der Phasen zu orogenen Ären darstellen.

Schon 1924 in seinen *Grundfragen der vergleichenden Tektonik* zeigte STILLE am Beispiel Europas wie die Kontinente als Folge der Orogenesen wachsen. Damit legte er den Grundstein einer nach seinem Schema selbstverständlich erscheinenden Methode der Definition und Klassifikation der tektonischen Einheiten erster Ordnung der Kontinente, nach welcher die Regionen zusammengefaßt werden, die während einer orogenen Ära endgültig konsolidiert wurden. 1926 übertrug STILLE diese Methode auf Asien (STILLE, 1928a). Nach dieser Methode könnten in jedem Kontinent vier Haupteinheiten erkannt werden:

1. Präkambrisch konsolidierte Bereiche: Ur-Kontinent
2. Kaledonisch konsolidierte Bereiche: Paläo-Kontinent
3. Variszisch konsolidierte Bereiche: Meso-Kontinent
4. Alpidisch konsolidierte Bereiche: Neo-Kontinent

Abb. 48a zeigt diese Einteilung im westlichen Eurasien und 48b die der Kontinente rund um den Atlantik (STILLE, 1928a).

Da alle Orogene aus Geosynklinalen wuchsen, könnte man mit derselben Methode auch Orogene klassifizieren. Aber für die tektonische Analyse der Gebirge führte STILLE ein zusätzliches Einteilungsprinzip ein: Die Großsysteme der Faltung. Unter einem „Faltungs-Großsystem" verstand er Faltungen gleicher Ära[101], welche gleiches Vorland haben (STILLE, 1928a, S. 1752). Nach dieser Klassifikationsbasis hat er alle irdischen Gebirge in Faltungs-Großsysteme eingeteilt (STILLE, 1928a). Diese Klassifikation gebe ich in Tabelle I wieder. Sie wird zu einem Widerspruch der STILLE'SCHEN Definition der Tethys führen, was die Unhaltbarkeit der Erweiterung

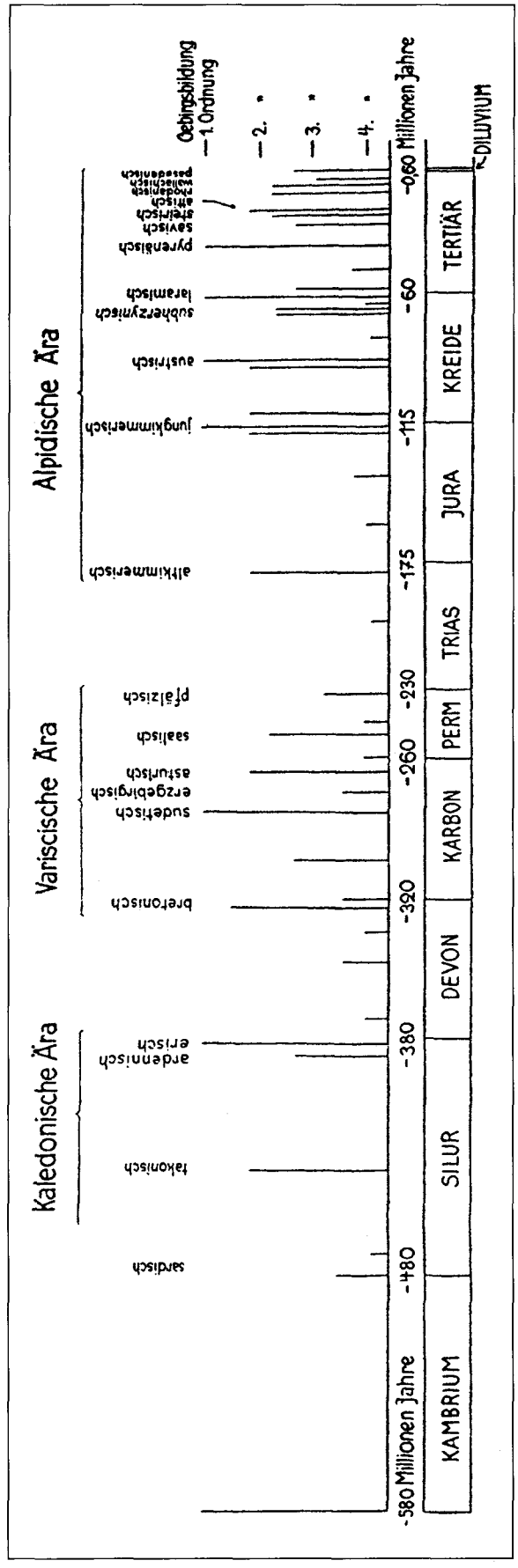


Abb. 47a
Zeitbild der orogenen Phasen der geologischen Vorzeit nach der Auffassung von Hans STILLE 1935 (aus STILLE, 1935, Abb. 1).

[100] Viele Jahre später glaubte STILLE den ganzen Begriff des kimmerischen Gebirges von SUESS ablehnen zu müssen (vgl. STILLE, 1953, S. 133 ff.). Neuere Untersuchungen haben aber SUESS recht gegeben (vgl. ŞENGÖR, 1984; ŞENGÖR et al., 1984, 1988).

[101] Gemeint sind hier natürlich nur die STILLE'SCHEN „*Faltungs*ären" und nicht die stratigraphischen Ären wie Paläozoikum, Mesozoikum, usw.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

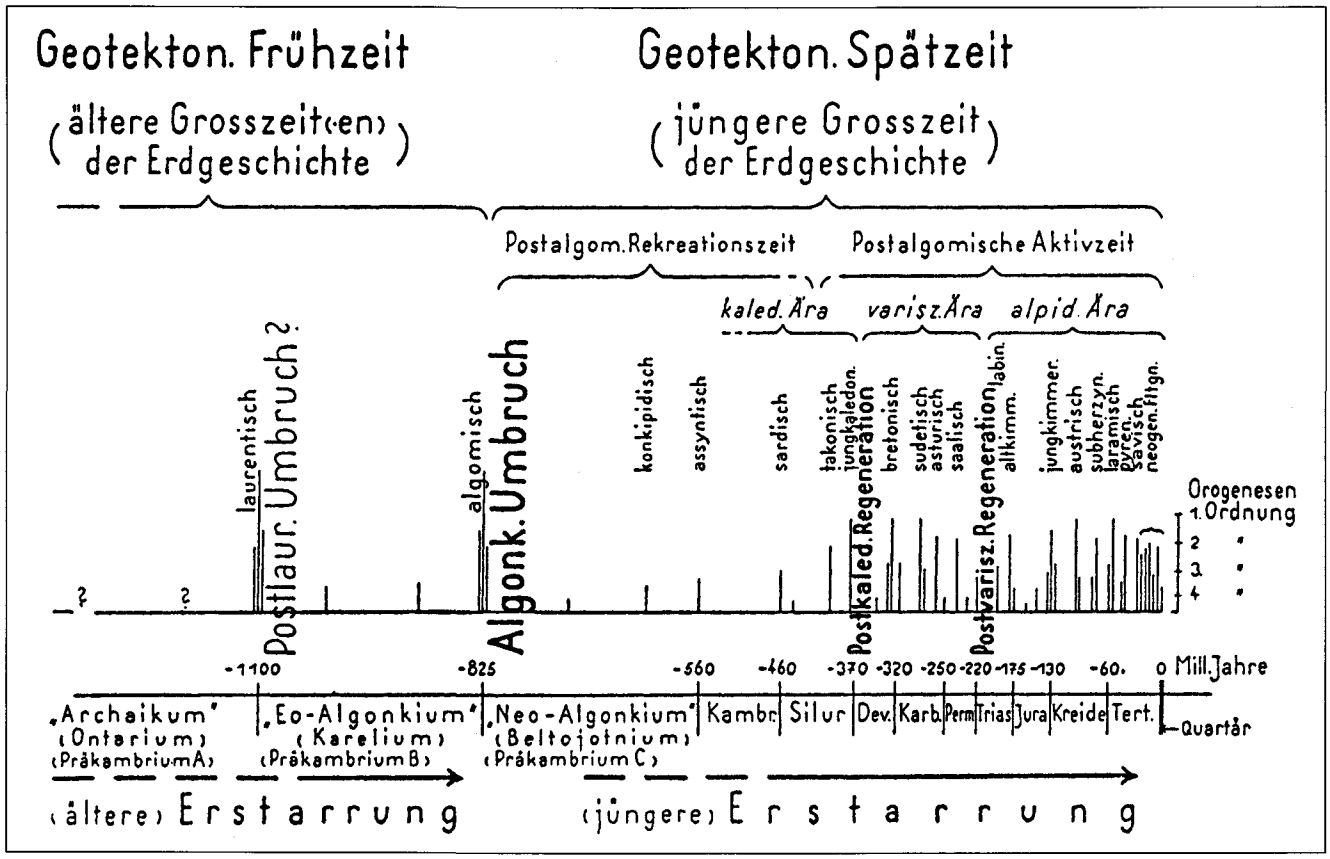


Abb. 47b
Zeitbild der orogenen Phasen der geologischen Vorzeit nach STILLE 1944 (aus STILLE, 1944a, Abb. 6). Das Phasenbild der post-kambrischen Zeiten hat sich zwischen 1935 und 1944 kaum geändert. STILLE hat inzwischen nur die präkambrischen Phasen hinzugefügt. Es war diese starre Regelmäßigkeit bei den Kober-Stilleanern, die das Paradoxon der Tethys verursachte.

SUESS'SCHER Urbegriffe der Tethys zu einem konstanten Meeresarm in der Erdgeschichte von den Vertretern der Kober-Stille-Schule zeigt.

Nach STILLES vollentwickelter Auffassung wurde die ursprüngliche nachalgonkische Tethys (Abb. 49) in vier orogenen Ären gefaltet und versteift, nämlich der assyntischen (von STILLE erst 1944 definiert), kaledonischen, variszischen und alpidischen (oder „neoidischen" wie STILLE in seinen späteren Publikationen zu schreiben pflegte). Die Konsolidationsbereiche der Tethys, die den in diesen Ären alpinotyp gefalteten Räumen entsprechen, sind in Abb. 50 angegeben (STILLE, 1958). Diese Konsolidationsgebiete sind aber nicht gleichbedeutend mit den Faltungs-Großsystemen, die er 1928 definiert hatte und immer wieder benützte.[102] Aber Faltungs-Großsysteme entstehen ja aus derselben Geosynklinalzone, solange sie nicht durch schon vor der Faltung versteifte Barren in verschiedene Geosynklinalen oder durch Zwischengebirge in Teilgeosynklinalen geteilt worden sind. STILLE gab 1949 ein kladistisches Entwicklungsschema der Alten Welt (STILLE, 1949b; Abb. 51 hier), indem er die Vorländer und die als „Kleinvorland" definierten „Barren", welche die Geosynklinalen begrenzten, sowie die Geosynklinalen veranschaulichte. Seiner ursprünglichen Definition der Barren zufolge, wäre er berechtigt, die gesamte uralamurische Geosynklinalzone aus der Tethys herauszunehmen: „Barrenzonen sind also Vorlandszonen zwischen gegeneinander gerichteten („kongredienten") Faltungen. Sie riegeln nicht nur Faltungsstämme, sondern darüber hinaus ganze Orogene voneinander ab und sind damit tektonische Linien allererster Ordnung" (STILLE, 1928b, S. 190, STILLES Hervorhebung). Aber eine solche Barre besteht nach STILLE zwischen den rhenidischen und den iberischen Orogenen (die sog. Ebroische Spornlinie) und eine andere zwischen den iberischen und den marokkanischen Orogenen (Gibraltarische Spornlinie) innerhalb der Variszide des westlichen Eurasien (STILLE, 1951, Abb. 52). Diese riegeln die variszische Tethys von anderen Geosynklinalen aber nicht ab! Was in Asien als ein Zerteilungsprinzip galt (vgl. ganz besonders STILLE, 1949a, S. 8, erster Absatz!), scheint in Europa und Nordafrika für den selben Zweck nicht dienen zu können.

Nach den vorangegangenen Erörterungen erscheint es so, daß STILLE entweder alle Konsolidationsbereiche in Eurasien und Nordafrika in die Tethys miteinbeziehen sollte (nach seinen Klassifikationsregeln der Faltungs-Großsysteme und seinen Ansichten über die Beziehungen Geosynklinale-Faltungsstamm; dann wäre die Rolle der Barren hinfällig) oder auch die europäisch-nordafrikanisch-amerikanische Tethys in noch kleinere Geosynklinalen zerteilen sollte (nach seiner Definition der Rolle der Barren; dann wären seine Ansichten über die Beziehungen der Geosynklinale zu Faltungsstämmen hinfällig).

STILLE hielt an einer Definition der Tethys fest, die in seinem Lehrgebäude zu inneren Widersprüchen führte. Warum? Ich glaube, weil ihm immer noch die *paläogeographische* Vorstellung des zentralen Mittelmeeres als Tethysvorbild vorschwebte.

Meine These wurde aber von STILLE selbst verneint – jedoch nur scheinbar.

[102] Noch in seiner letzten wissenschaftlichen Publikation hat STILLE 1960 den Begriff Faltungssystem im Sinne seiner 1928 gegebenen Originaldefinition benützt.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Tabelle I

a) Kaledonische Faltungs-Grosssysteme

Vorland	Bezeichnung des Grosssystems	Allgemeiner Verlauf und Einzelstücke
Laurentia (Eria)	*Perilaurentiden*	Westlicher (britischer) Stamm des paläoeuropäischen (nordatlantischen) Orogens von den Britischen Inseln bis Nordgrönland und angrenzenden arktischen Gebieten. In der westlichen Umgrenzung von Laurentia scheit kaledonische Faltung zu fehlen, wie auch in der südwestlichen unter der Auffassung, dass die Piedmont-Faltung periatlantisch (peribrasilisch) ist.
Fennosarmatia	*Perifenniden*	Oestlicher (norwegischer) Stamm des paläoeuropäischen Orogens in Norwegen, auf der Bären-Insel und auf Spitzbergen. In der Ostkontur Fennosarmatiens ist kaledonische Faltung bisher nicht sicher bekannt.
Angaria	*Periangariden*	Teile des «Alten Scheitel» *(E. Süss)*. Taimyrhalbinsel?
Indoafrika	*Periindoafriziden*	Sahariden als östl. Stamm eines südatlantischen kaledonischen Orogens? Prae-Nama-Faltung in Südafrika? kaledonische Faltung des östlichen Australiens.
Brasilia (nebst Atlantia)	*Peribrasiliden* (Brasiliden i. w. S.	Brasiliden Südamerikas; kaledonische Faltung des Piedmontgebietes (Nordamerika)?
Antarktia	Kaledon. Periantarktiden	Bisher erst sehr wenig bekannt. Vielleicht ist kaledonische, vielleicht aber auch erst variscisch, die Faltung des Silurs der südlichen Orkney-Inseln. Hierher vielleicht auch Viktoria-Land.

b) Variscische Faltungs-Grosssysteme

Laurentofennia nebst Serindia und Sinia (Fennosinisches Vorlandssystem).	*Perifennaosiniden*	
	a) Nordgürtel *(Uraliden i. w. S.*, «Pan-Uraliden»)	Westlicher bzw. südlicher Stamm des uralamurischen Orogens von der Halbinsel Kanin und Nowaja Semlja über Ural und Tianschansystem zu den Hoangho-Ketten.
	b) Südgürtel *(Rheniden z. w. S.*, «Pan-Rheniden»)	Von den Ouachita-Ketten (Arkansas) über die Appalachien und akadischen Gebiete, Mesoeuropa (Armorikanisches, Variscisches Gebirge, Lysagora, Dobrudscha, Donezgebiet) nach Südwestchina und angrenzenden Gebieten.
Angaria	*Periangariden (Amuriden i. w. S.*, «Pan-Amuriden»	Nördlicher Stamm des uralamurischen Orogens vom östlichen Nowaja Semlja (über östlichsten Ural bei Iekaterinburg?) durch die Kirgisensteppe und den Russischen Altai zum Amurgebiete.
Gondwania	*Perigondwaniden (Gondwaniden i. w. S.*, «Pan-Gondwaniden»)	Von der Iberischen Halbinsel und Nordwestafrika über die variscischen Faltungen im Grundgebirge der eurasiatischen Dinariden und des Malayischen Bogens, die ostaustralischen Kordilleren, die Kapketten, die Falten des unteren Kongo und die Sierren von Buenos-Aires bis zu den variscischen Faltungen im Grundgebirge der südamerikanischen Anden.
Antarktia nebst Patagonia. Pazifik?	Varisc. Periantarktiden	Erst wenig bekannt; hierher gehört wohl das gefaltete Devo der Falklands-Inseln.
		Variscische Ostwärts-Faltungen im Grundgebirge der asiatischen Pazifiden?

c) Alpidische Faltungs-Grosssysteme

Makrolaurentia	*Perimakrolaurentiden (Karpathiden i. w. S.*, Pan-Karpathiden»).	Von Gibraltar bis zum nördlichen Teile des mittelamerikanischen Antillenbogens über den nördlichen («karpathidischen») Stamm des eurasiatischen mediterranen Orogens (Gibraltar bis Tonking). Sichota alin, den zirkumarktischen Faltenkranz, (Werchojansker Bogen, Vereint Staaten-Gebirge des arktischen Nordamerikas, Falten im Südwesten des Tschuktschengebietes) und den östlichen Stamm des westamerikanischen Orogens (von Alaska durch Britisch Kolumbien zu den Rocky Mountains und nach Mexiko).
Makrogondwania	*Perimakrogondwaniden (Dinariden i. w. S.*, «Pan-Dinariden»).	Von Gibraltar zum südlichen Teile des mittelamerikanischen Antillenbogens über den südlichen («dinaridischen») Stamm des eurasiatischen mediterranen Orogens (Gibraltar bis Hinterindien), den Malayischen Bogen und Neuguinea, etc., die gegen Australien gerichteten Faltungen im Inselgebiete von Neuguinea bis Neu — Seeland, die südlichen Antillen und die südamerikanischen Anden.
Pazifik	*Peripazifiden* (Pazifiden i. w. S.»).	Von den gegen den Pazifik gerichteten Inselbögen Ozeaniens und des östlichen Asiens (z. B. Palau-Inseln, Mariannen, Bonin-Inseln, Philippinen, Formosa, Riu-Kiu-Inseln, Japan z. F., Kurilen über Kamschatka und die Alëuten zum pazifischen Gebirgssysteme Nordamerikas von Alaska bis Niederkalifornien (westlicher Stamm des Orogens des westlichen Nordamerikas). Fortsetzung scheit in Südamerika zu fehlen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

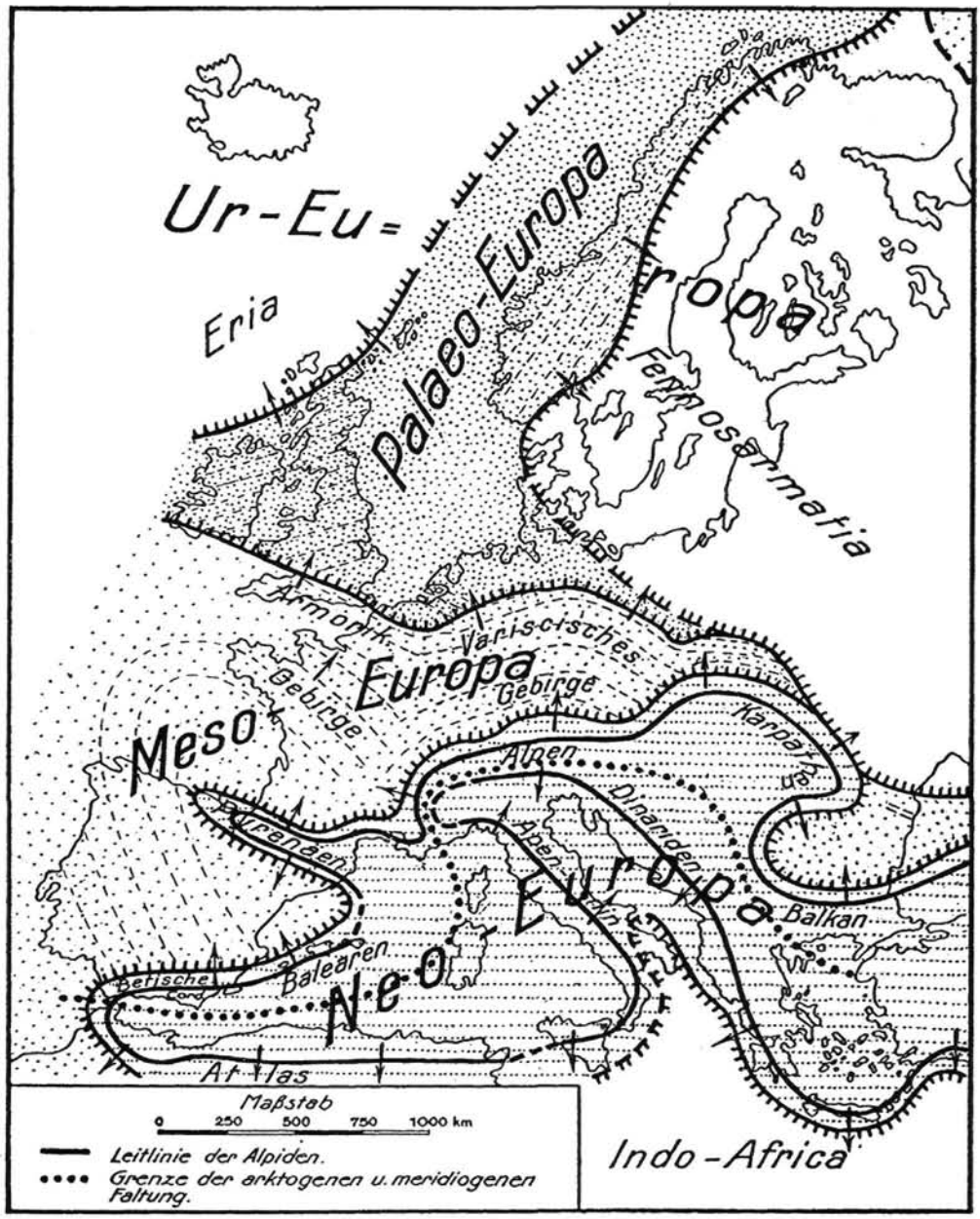


Abb. 48a
Konsolidationsbereiche Europas nach STILLE (1924, Abb. 1). Man vergleiche mit Abb. 43a & b.

Ich glaube, daß STILLE immer noch die HAUG'SCHE Tethys-Geosynklinale vorschwebte. Wir wissen aber, daß dieser Begriff in erster Linie von einem Paläogeographen stammt und, trotz der tektonischen Einstellung HAUGS gegenüber der Tethys, mit der SUESS'SCHEN tektonischen Tethys in Widerspruch stand. Das *geosynklinale* Meer war für HAUG maßgebend bei der Verwendung des Tethys-Begriffes und es war nichts anderes als das zentrale Mittelmeer von NEUMAYR. Auch STILLE verstand die Tethys immer in diesem Sinne. Für ihn war die geosynklinale Eigenschaft, d. h. die tektonische Beschaffenheit des Meeresbodens, maßgebend. Da SUESS den Geosynklinalbegriff prinzipiell abgelehnt hat, glaubte STILLE er habe nur an die paläogeographische Definition der Tethys gedacht:

„Der Begriff ‚Thethys'[103] besitzt eine doppelte Bedeutung, nämlich erstens eine paläogeographische und zweitens eine geotektonische. Erstere ist die ursprüngliche. In ihrem Sinne ist die Tethys kurzhin die ‚Mediterranzone' mit der in mancher Hinsicht charakteristischen ‚mediterranen' Faunenentwicklung.

Die Bezeichnung ‚Tethys' ist ja zuerst von E. SUESS gebracht worden, und zwar (vgl. Antlitz der Erde, Band III, Abt. 1, 1901, S. 25) für das ‚centrale Mittelmeer', das NEUMAYR (1885) ausgehend von der Jurazeit als eine hochbedeutsame, die außerpazifische Erde von den Antillen bis Ostasien, also im wesentlichen west-östlicher Richtung, querende paläogeographische Einheit erkannt hatte. Überhaupt hat SUESS den Begriff in erster Linie paläogeographisch verstanden, wenn er gelegentlich die Tethys auch als den ‚zerdrückten Meeresteil' bezeichnet hat und wenn ihm auch sonst die Beziehungen zwischen der Tethys und den in ihren Räumen entstandenen Gebirgen vorgeschwebt haben. In der Folgezeit hat aber der Begriff Tethys immer mehr auch die ausgesprochen geotektonische Bedeutung gewonnen als die Muttergeosynklinale des großen Zuges der Gondwanaland im Norden begleitenden und eine Süderde von einer Norderde trennenden und gerade auch in diesem Sinne ‚mediterranen' Faltungen, und speziell in diesem Sinne wird er auch in den nachfolgenden Ausführungen verstanden." (STILLE, 1958, S. 153; STILLES Hervorhebung).

Mit diesem Schritt faßte STILLE die Tethys als eine mindestens seit dem algonkischen Umbruch bestehende Geosynklinale auf:

„Oft wird die Bezeichnung Tethys angewandt in Beschränkung auf den Raum, den die große, die Norderde von der Süderde trennende Mobilzone in der neoidischen Ära, also erst im jüngsten Abschnitt des Neogäikums, eingenommen hatte, und das entspräche ja auch der Sachlage, daß das ‚centrale Mittelmeer' NEUMAYRS von mesozoischem Alter gewesen ist. Jedoch ist – und das kommt natürlich ganz besonders in Betracht, wenn man unter Tethys das geotektonische Gebilde versteht – die neoidische Tethys (vgl. Abb.16 [*hier als Abb. 50 reproduziert*]) nur der im Anfang der neoidischen Ära noch erhalten gewesene Restbestand eines ungleich breiteren, als die ‚Großtethys' zu bezeichnenden Geosynklinalsystems, das im Ablauf der neogäischen Großzeit, also zunächst in der assyntischen, dann in der kaledonischen und danach in der variszischen Ära, in zunehmender Weise Einengungen durch konsolidierende Faltungen erfahren hat. Somit ist es nötig, den Begriff ‚Tethys' bei geotektonischen Betrachtungen von vornherein entsprechend weit zu fassen, nämlich in der maximalen Ausdehnung, die dem zwischen den Urkontinenten der Nord- und Süderde lie-

[103] Thethys ist hier wohl einem Druckfehler zuzuschreiben. An allen anderen Stellen schrieb STILLE Tethys.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

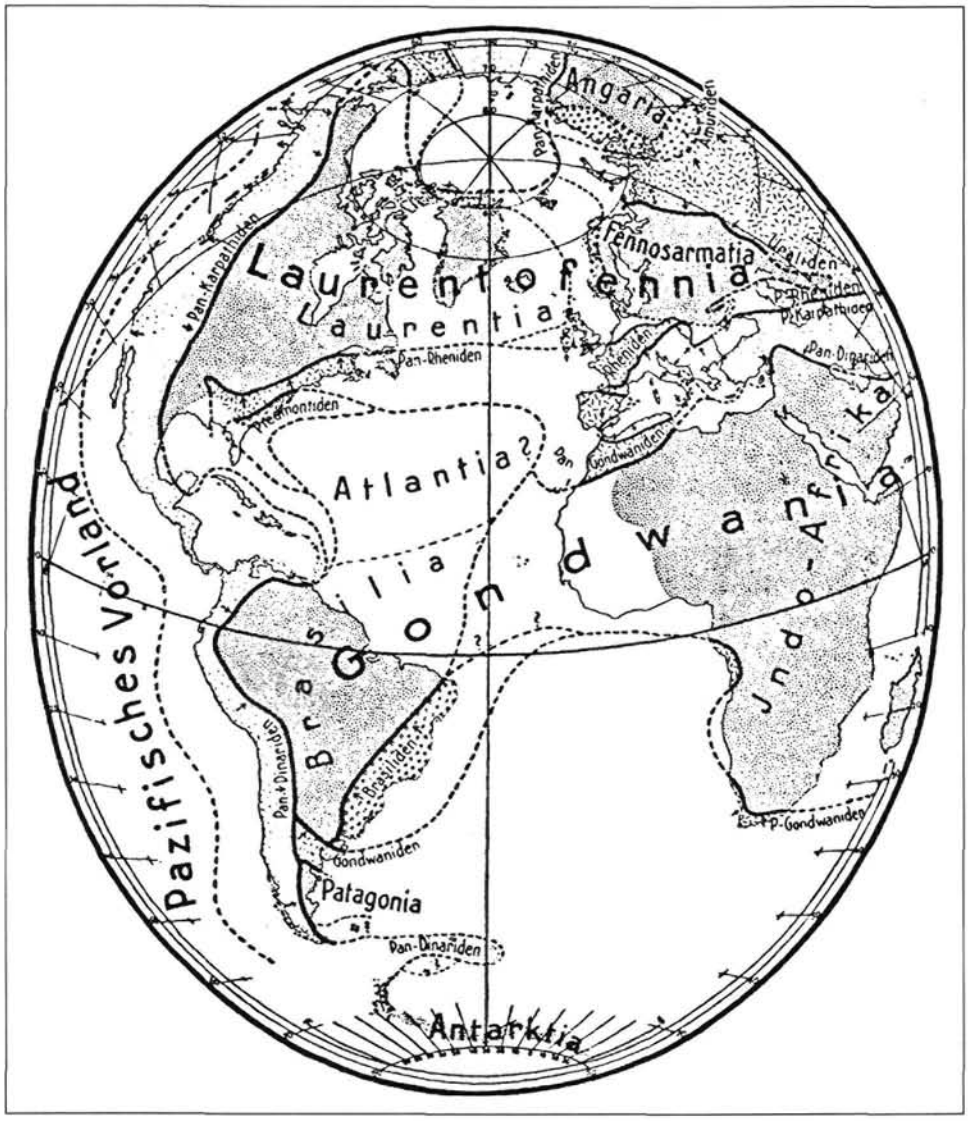
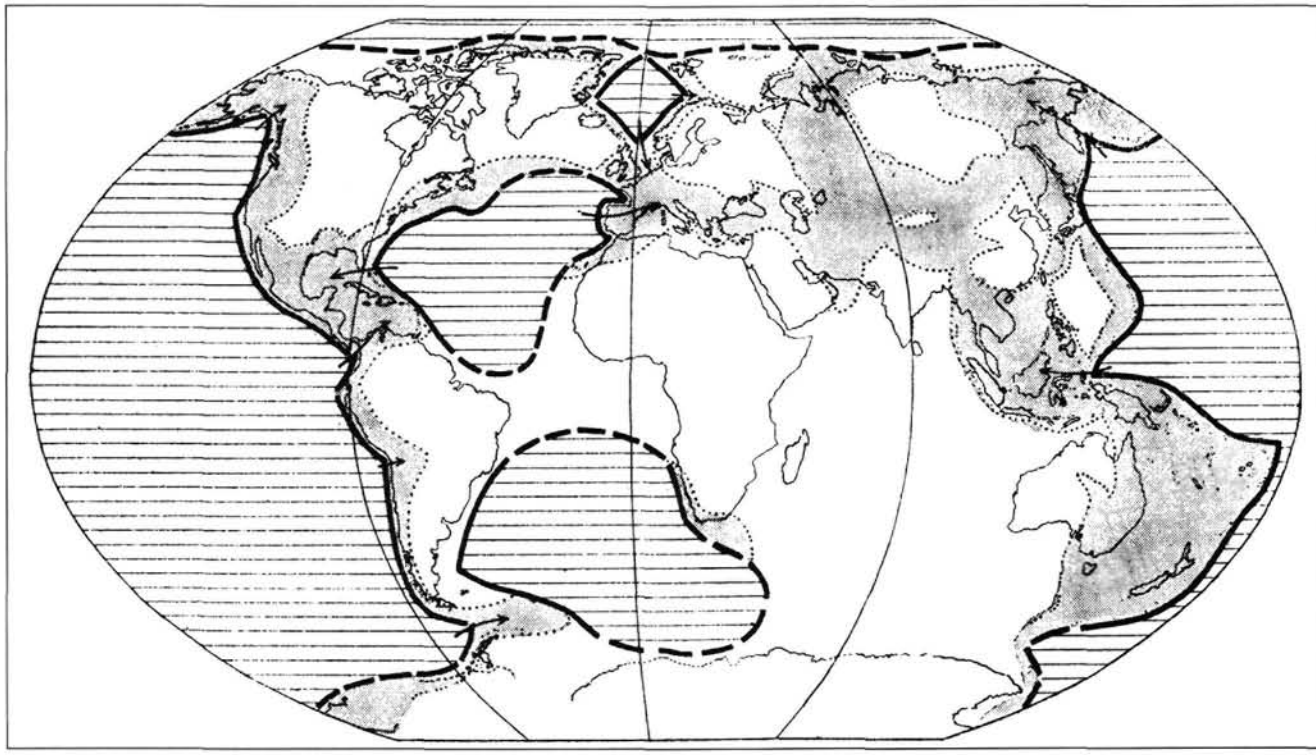


Abb. 48b
Konsolidierungsbereiche und Faltensysteme der zirkumatlantischen Kontinente nach STILLE (1928, Fig. 2). Man vergleiche mit Abb. 44.

Abb. 49
STILLES Bild des tektonischen Zustandes der Erde nach dem algonkischen Umbruch, das heißt weltweiter Regeneration der Orthogeosynklinale (aus STILLE, 1949a, Abb. 5). Man vergleiche dieses Bild mit der Tethyskarte in der Abb. 50.



© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

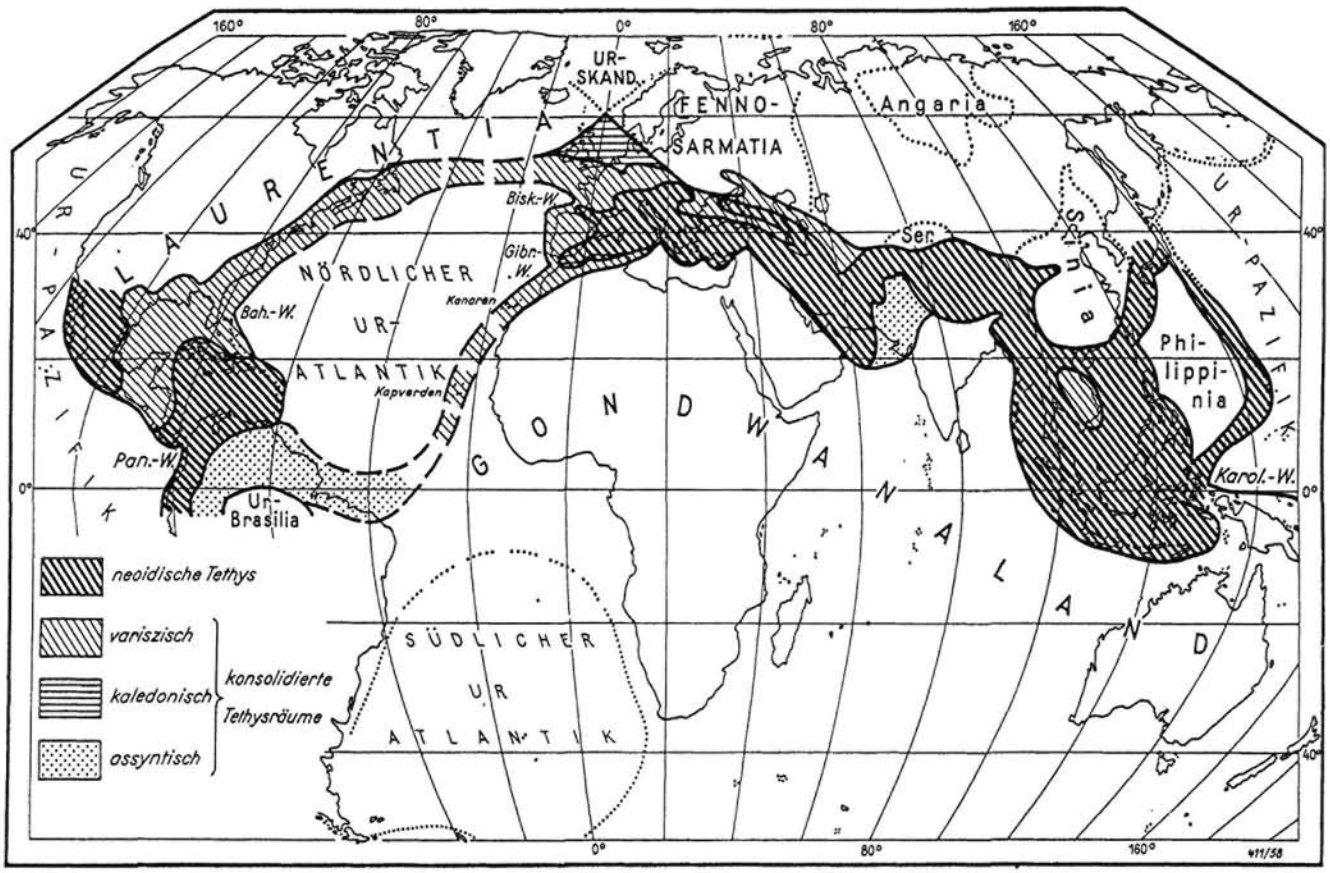


Abb. 50
Konsolidierungsbereiche der Tethys nach vollentwickelter Auffassung von Hans STILLE (1958, Abb. 16). Diese Karte zeigt die maximale Größe des Tethysraumes nach STILLE. Die vier Signaturen links zeigen die Gebiete, die während der vier Faltungsären von der Tethys durch faltungsbedingte Verlandung verloren wurden. Man beachte, daß die assyntischen, kaledonischen, und die variszischen Konsolidierungsgebiete im östlichen Nordamerika, Zentralamerika, nördlichen Südamerika, und westlichen Europa in die Tethys miteingeschlossen waren aber nicht die zentral- und nordasiatischen Gebiete ähnlicher Konsolidierungsgeschichte. Diese Sachlage widerspricht der Logik der STILLE'SCHEN Definition der Faltungs-Großsysteme (STILLE, 1928a), die angeblich aus der gleichen geosynklinalen Räumen emporsteigen (vgl. besonders STILLE, 1924, Abb. 6). Erklärung: Pan.-W. = Panama-Winkel; Bah.-W.= Bahama-Winkel; Bisk.-W. = Biskaya-Winkel; Gibr.-W. = Gibraltar-Winkel; Karol.-W. = Karolinen-Winkel; Ur-Skand. Urskandik.

genden einst mobilen Gürtel der ‚Zwischenerde' schon bei dessen Entstehung durch den Algonkischen Umbruch zugekommen war. In diesem Sinne ist die ‚Großtethys' zugleich die ‚Urtethys'" (STILLE, 1958, S. 153; STILLES Hervorhebung).

Somit wurde auch die ganze tektonische Geschichte der Tethys und dementsprechend die Struktur der daraus entstandenen Orogene klassifiziert, d. h. in das rigide Phasenschema von STILLE eingegossen. Eine neue tethysische Nomenklatur ist auch daraus entstanden, welche STILLE wie folgt formuliert:

„Die ‚Urtethys' (‚Großtethys')[104], wie sie durch den Algonkischen Umbruch in den eben teilweise schon angedeuteten Umgrenzungen geschaffen worden war (vgl. Abb. 16 [*hier als Abb. 50 reproduziert*]), ist reduziert worden im Ablauf der neogäischen Ären durch orogene Vorgänge, und zwar:

durch die assyntischen Faltungen zur
Paläotethys der kaledonischen Zeiten
danach durch die kaledonischen Faltungen zur
Mesotethys der variszischen Zeiten
und danach durch die variszischen Faltungen zur
Neotethys der neoidischen Ära. (STILLE, 1958, S. 155, STILLES Hervorhebung).

STILLE hat schon früher die beiden Termini Paläotethys und Neotethys eingeführt, aber ersteren in einem anderen Sinne gebraucht. 1949 schreibt er, daß Paläotethys, die Tethys der variszischen Ära vertreten sollte (STILLE, 1949a, S. 8). Dies wäre im Einklang mit der ursprünglichen Definition des Begriffes Paläotethys, der von KAHLER (1939) stammte. KAHLER hatte keine Definition gegeben, aber seine Anwendungsweise macht es klar, daß er seine Paläothetis[105] als einen nördlicheren Vorläufer der späteren Tethys und als paläogeographischen Begriff verstand (Abb. 53). Sein Lehrer HERITSCH (1940, insbes. S. 328-331) übernahm die Bezeichnungsweise von KAHLER, korrigierte aber die Orthographie zu Paläotethys und verwendete sie weiter hauptsächlich für paläogeographische Zwecke. Immerhin sehen wir bei HERITSCH auch eine tektonische Auffassung der Paläotethys:

„Wir sehen im großen Geschehen der Permzeit eine Art von Gesetzmäßigkeit: Die Wanderung der Tiere, die Besiedlung der Meeresräume mit neuen Faunen scheint in der Rattendorfer Zeit [*d. h. z. Zt. des früheren Perms*] – ebenso wie in der Auernigzeit [*Oberkarbon*] – von Westen nach Osten, auf dem Weg über die Paläotethis[106], gegangen zu sein. Nach der Rattendorfer Zeit verlegt sich *die Geo-*

[104] STILLE fügte hier die folgende Fußnote hinzu: „Mit den räumlichen Begriffen ‚Urtethys' und ‚Großtethys' würde sich auch die Bezeichnung ‚Eotethys' (Tethys der algonkischen Ära) in der Gegensätzlichkeit zur Paläotethys der kaledonischen, der Mesotethys der variszischen und der Neotethys der neoidischen Ära decken."

[105] Orthographie KAHLERS.

[106] Wahrscheinlich ein Druckfehler anstatt Paläotethys.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

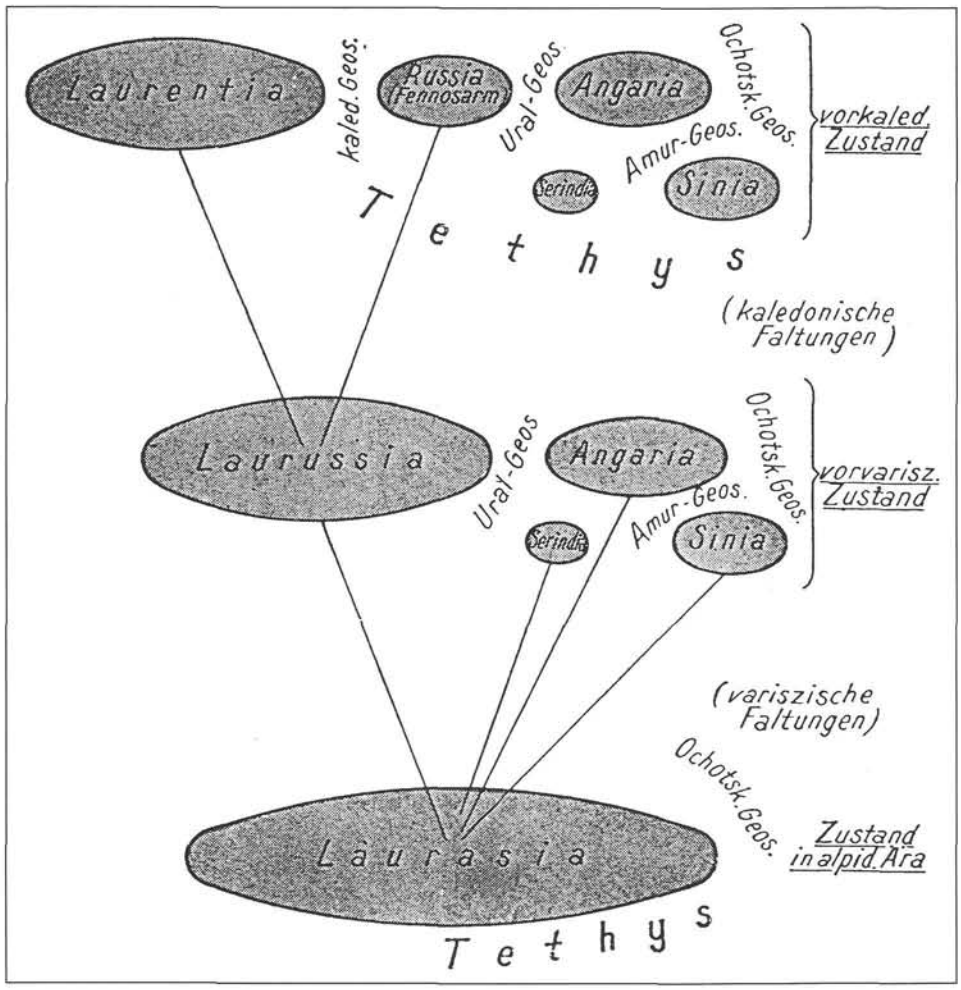


Abb. 51
STILLES „kladistischer" Stammbaum der nördlich der Tethys gelegenen Erdteile („Norderde Laurasia") aus STILLE (1949b, Abb. 5). Man beachte, daß in Asien nur Serindia (d. h. *der Tarimblock der chinesichen* Autoren) ein die variszische Geosynklinale teilendes Zwischenland darstellt. Damit bestünde kein Grund die amuridische Muttergeosynklinale von der rhenidischen Muttergeosynklinale (Tethys!) zu trennen. Wenn aber diese Trennung verschwindet, verliert das von STILLE'SCHE Schema aus d. J. 1958 der progressiven Konsolidierung der Tethys seine Gültigkeit.

synklinale nach Süden, sie beginnt sich der Lage der mesozoischen Tethys zu nähern. Die Wanderung der Tiere geht nun von Südostasien nach dem Westen, nach den europäischen Teilen des Mittelmeeres. Mit der Südverlegung des Meeres, mit der Wandlung der Paläotethys zur Tethys, schlägt augenscheinlich die Wanderungsrichtung um." (HERITSCH, 1940, S. 331, meine Hervorhebung).

HERITSCH hat also auch die Paläotethys als eine Geosynklinale und zwar als eine spätpaläozoische Geosynklinale betrachtet. Er zählte die Geosynklinale des uralamurischen Orogens zur Paläotethys, im scharfen Gegensatz zu STILLES spätere Auffassung.

Wir wissen, daß STILLE den Begriff der Paläotethys von HERITSCH übernahm (STILLE, 1951, S. 122) und ihn zuerst ganz im Sinne von HERITSCH gebrauchte (STILLE, 1949a, S. 8; 1951, S. 103). Erst später, und soweit ich weiß, erst im Jahre 1958 hat er die vierteilige Klassifikation der tethysischen Konsolidationsgeschichte entwickelt und damit die zeitliche Gliederung *der Tektonik der Tethys seinen früheren kontinentalen Klassifikationen* angepaßt.

Im Gegensatz zur Geschichte des Terminus Paläotethys, blieb die Bedeutung von Neotethys, die zum erstenmal 1944 von STILLE eingeführt wurde (STILLE, 1944a, S. 67; 1944b, S. 60), bis 1958 unverändert: „‚Neotethys' ist hier also geotektonisch als der noch mobile Restraum verstanden und nicht paläogeographisch im Sinne des Tethysmeeres, das über den mobilen Restraum oft erheblich hinausgegangen ist." (STILLE, 1944b, S. 60[107]).

Wir sehen hier also, wie STILLE sein Entwicklungsschema des tethysischen Raumes mit seinem üblichen, oben gegebenen kontinentalen Enwicklungsschema parallelisierte. In Tabelle II fasse ich diesen Vergleich zusammen.

Somit konnte STILLE sein rigides Phasenschema auch auf die Tethys anwenden. Nach diesem Schema seien aber 39/40stel der Erdgeschichte anorogen verlaufen (STILLE, 1936b, S. 81) und das Schema sagte selbstverständlich *solche anorogene Zeitabschnitte auch in der tethysischen Geschichte* vorher. Diese Vorhersage führte aber bald zu Proble-

Tabelle II: Die Parallelisierung der kontinentalen und tethysischen Entwicklungsetappen STILLES

1. Präkambrisch konsolidierte Bereiche: Ur-Kontinent	1. Präkambrische Tethys: Urtethys (=Großtethys=Eotethys)
2. Kaledonisch konsolidierte Bereiche: Paläo-Kontinent	2. Kaledonische Tethys: Paläotethys
3. Variszisch konsolidierte Bereiche: Meso-Kontinent	3. Variszische Tethys: Mesotethys
4. Alpidisch konsolidierte Bereiche: Neo-Kontinent	4. Alpidische (=neoidische) Tethys: Neo-Tethys.

[107] Ich besitze STILLES durchschossenes Autorenexemplar dieser Abhandlung. STILLE füllte viele der durchschossenen Seiten mit seiner Handschrift über neuere Literaturnotizen und andere Bemerkungen. Über die Neotethys befindet sich aber nichts. Daraus schließe ich, daß er tatsächlich über dieses Thema seine ursprüngliche Meinung nicht änderte.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 52
Spornlinien Westeuropas nach STILLE (1951, Abb. 15) innerhalb der variszischen Geosynklinale. Die die Orogene teilenden Spornlinien oder „Barren" teilen nach der Auffassung von STILLE die variszische Geosynklinale nicht. Barren teilen aber in Asien nach STILLE die uralamurische Geosynklinale von der tethysischen Geosynklinale!

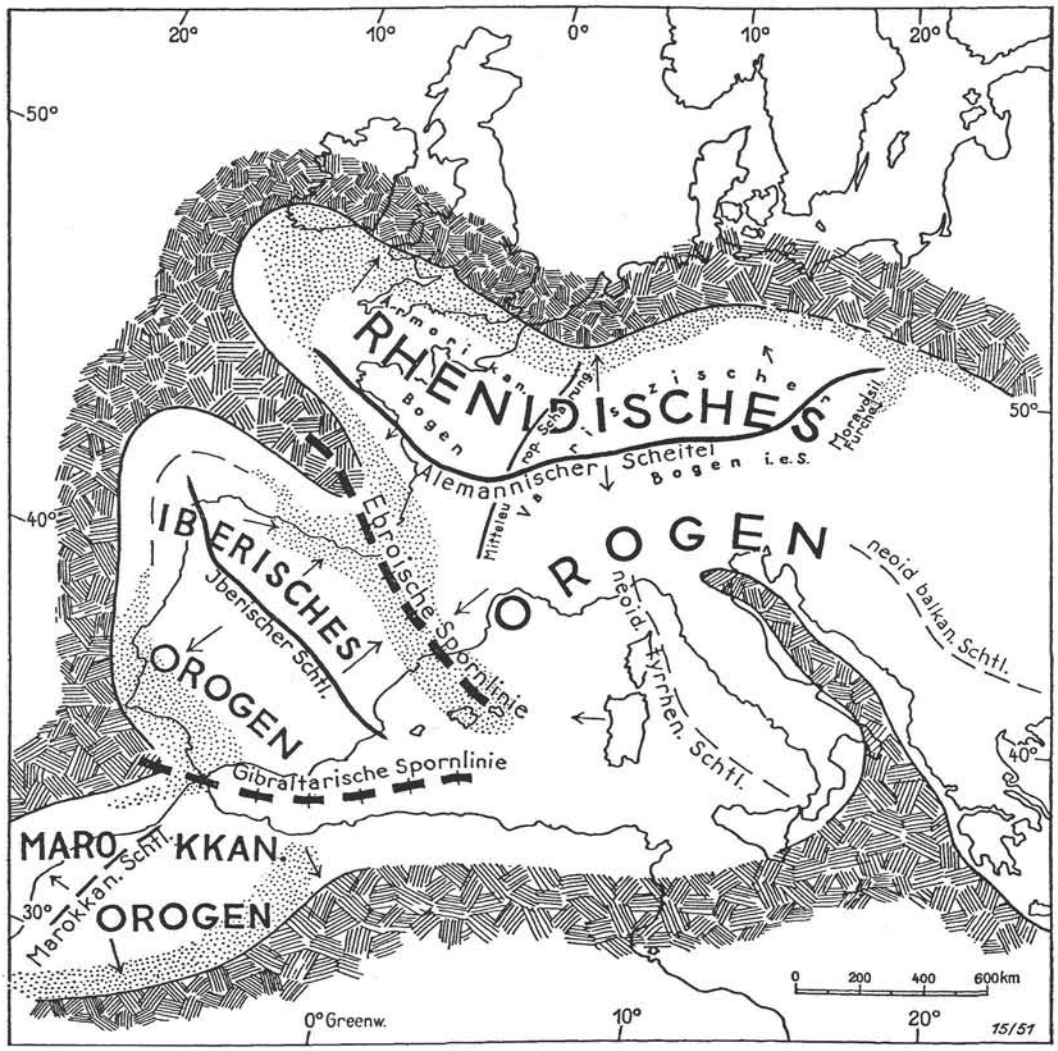
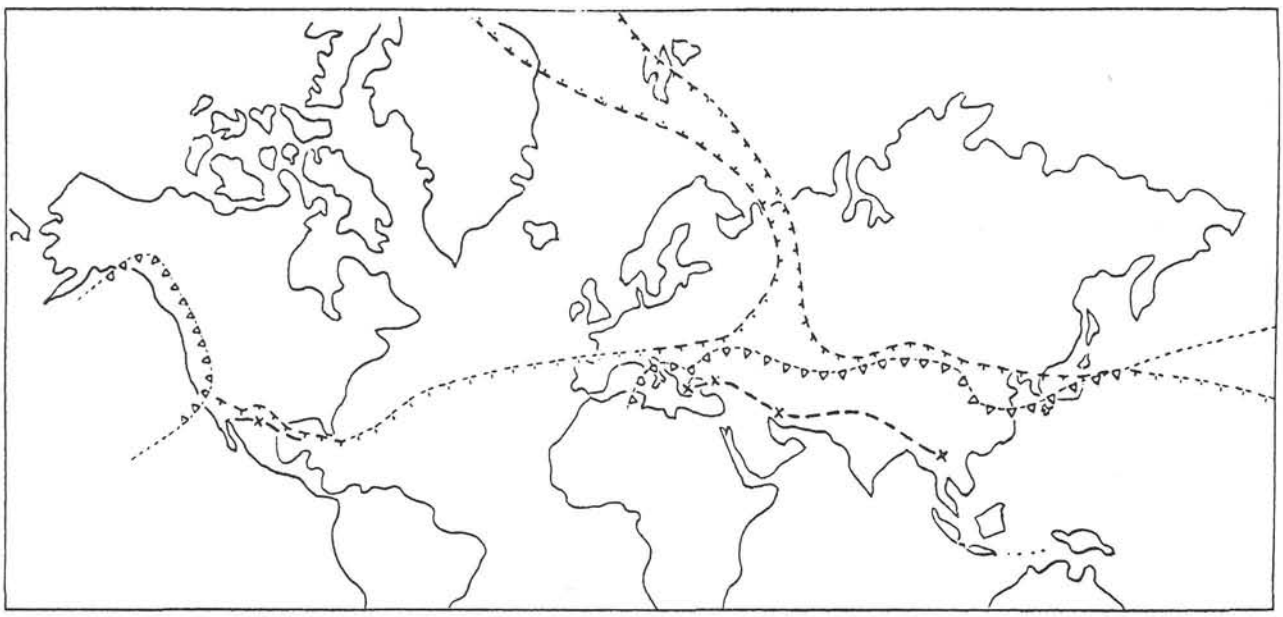


Abb. 53
Die Entwicklung der Paläothetis zur Thetis nach KAHLER (1939, Abb. 7). Man beachte die engen räumlichen Beziehungen und den paläogeographischen Charakter der Paläothetis nach KAHLER (nordische Verbindung!). Die Definition der Paläo-Tethys erfolgte lediglich auf der Basis der Verbreitung der fossilen Organismen, wie aus dem folgenden Satz hervorgeht: „Man beachte, daß nach den ‚Schwagerinen Funden' der Arm der Paläothetis zum heutigen Pol bald als Wanderungsweg verloren geht."



© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

men in der Tethysforschung, die von viel größerer Tragweite waren als man damals ahnen konnte.

Schon in den *Grundfragen der vergleichenden Tektonik* hat STILLE die Triaszeit als weitgehend „anorogen" angesprochen und die „altkimmerische" Gebirgsbildung in die Zeit zwischen Trias und Jura verlegt. Er hat auch hingewiesen „daß die altkimmerische Faltung bereits in vor- bzw. frühhätischer Zeit liegt..." (STILLE, 1924, S. 132). Nach STILLE war die variszische Orogenese schon im Perm mit der „saalischen Phase" ausgeklungen und die alpine Orogenese begann erst am Ende der Trias. Immerhin hat STILLE (1924, S. 125) von einem „höchst unbedeutenden Ausklang der variszischen Orogenese... an der Grenze von Dyas und Trias (pfälzische Faltung)" gesprochen.

Mit der Zeit hat die fortschreitende regionalgeologische Forschung überall in der Welt und speziell im Tethysbereich bedeutsame intratriadische Orogenesen festgestellt. Man hat sie aber immer noch nach dem Vorbild von STILLE entweder als „spätvariszisch" oder als „frühalpidisch" angesehen und den Hauptteil des Mesozoikums weitgehend als eine „anorogene" Zeit geschildert (z. B. BORN, 1933; MOORE, 1933; UMBGROVE, 1947; TERMIER & TERMIER, 1956). In den 50er Jahren war die Anzahl der früh- und mittelmesozoischen orogenen Vorgänge auf der Erde und insbesondere im Tethysraum so angestiegen, daß einige Forscher der Notwendigkeit Ausdruck verliehen, die „kimmerischen" Faltungen als selbständige „Faltungsära" von der variszischen und der alpinen abzutrennen. STILLE (1954, S. 5) wehrte sich dagegen mit folgenden Worten:

„Bei dieser Gelegenheit sei erwähnt, daß mehrfach der Vorschlag gemacht worden ist, der kimmerischen Tektonik sogar den Rang einer ‚Ära' einzuräumen, – die also etwa gleichberechtigt neben der variszischen und der ‚alpidischen', letztere im Sinne der erst nachkimmerischen, stehen würde. Aber es wird sich weiter ergeben, daß die kimmerische Tektonik z. B. in den Räumen ihrer alpinotypen, also ihrer bedeutsamsten Entwicklung nur den Anfang eines geotektonischen Ablaufes bedeutet, der sich mit wenig verändertem Grundplan in den nachfolgenden ‚alpidischen' Phasen fortsetzt und durch diese schließlich nur ergänzt wird, – so in dem ausgedehnten Malaiischen Orogen Südostasiens zuerst in der laramischen Phase und dann im Tertiär, so in nördlicheren Bereichen Ostasiens z. T. schon durch die austrische und danach durch die laramische Tektonik. Gegenüber solcherlei Sachlagen in den Gebieten, in denen die kimmerische Gebirgsbildung ihre ganz große Entwicklung besitzt, darf nicht allzu sehr ins Gewicht fallen, daß in manchen anderen, z. B. mesoasiatischen[108] Räumen, die kimmerischen Gebirgsbildungen, dort als Nachklänge der variszischen, keine wesentlichen nachkimmerischen Nachfolgefaltungen mehr gefunden haben und damit als eine Art Sonderphänomen gegenüber den späteren neoidischen Zeiten erscheinen können. Man muß aber bei der Abgrenzung von ‚Ären' der Geotektonik schließlich die Gesamterde im Auge haben. Und hinzukommt, daß eine kimmerische ‚Ära' im Vergleich zu den übrigen geotektonischen ‚Ären' eine allzu winzige Zeitdauer umfassen würde".

Diese Auffassung STILLES wurde von den, unter dem Einfluß der nach-SUESS'SCHEN Reaktion ausgebildeten europäischen und ganz besonders von den im Alpen-Himalaya-System arbeitenden sowjetischen Geologen geteilt. IANCHIN & GARETSKI (1964, S. 135), z. B., fühlten sich gezwungen die Interpretation ARKHANGELSKLYS (1934, S. 10 ff.) über die mesozoische (triadische) Faltung des Mangyschlak „korrigieren" zu müssen, denn die Trias sei in Asien nur eine Fortsetzung der variszischen Ära. Deshalb müßte die frühmesozoische Faltung von Mangyschlak doch noch als „variszisch" und nicht als mesozoisch angesehen werden!

Aus solchen Gründen hat sich im geologischen Schrifttum über Eurasien die Ansicht eingebürgert, echte, alpinotype Faltungen von früh- oder mittelmesozoischem Alter seien im Tethysbereich nicht vorhanden. Auf diesem Fundament haben z. B. ARGYRIADIS (1975, 1978) und STÖCKLIN (1983, 1984b) ihre Hypothesen des völligen Schließens der Tethys während der herzynisch-variszischen Orogenese und ihre darauffolgende mesozoische Öffnung errichtet. Auf das erst unten zu besprechende Paradoxon der Tethys stoßend, haben sie die Erdexpansionshypothese zu Hilfe gerufen.

Wie wir oben gesehen haben, hat STILLE die Tethys (oder den tethysischen Raum) immer als eine *Einheit* behandelt. Die von der Kober-Stille-Schule postulierten einzelnen Stämme des alpidischen Orogens hat er hinsichtlich der Zeitlichkeit ihrer Entwicklung nicht näher erörtert. Damit wurde die eigentliche interne Struktur der tethysischen Geosynklinale und ihre Entwicklung von STILLE kaum besprochen (mit Ausnahme des westlichen Mittelmeeres). Von den Kober-Stilleanern hat KOBER selbst auf diese Frage sein Augenmerk gerichtet. Wie schon gesagt, stammten die Ansichten von KOBER über die Zweiseitigkeit der Orogene hauptsächlich von HAUG und MICHEL-LEVY. Sie haben aber dann nicht nur die Vertreter der Kober-Stille-Schule, sondern auch diejenigen der Wegener-Argand-Schule erheblich beeinflußt.

Das zweiseitige tethysische Orogen und seine Entwicklung

Bekanntlich hat der große österreichische Meister Leopold KOBER die Begriffe des zweiseitigen Orogens und des entlang der Scheitelungslinie sich befindenden Zwischengebirges berühmt gemacht (Abb. 39, 40, 41). Sogar unter den bestinformierten Geologen entstand die irrige Meinung, er sei deren Schöpfer: "The term *Zwischengebirge* was first defined and later modified by Kober in a series of works published from 1914 to 1928" (BURCHFIEL, 1987, S. 846). KOBER selbst deutete aber darauf hin, daß er die beiden Begriffe von SUESS übernommen hatte:

„Zwischen dem schön geschwungenen, nach Norden wandernden Bogen der Karpathen und den südwärts bewegten Ketten der Dinariden schaltet sich das pannonische Massiv. Es zeigt so wie sein gefalteter Rahmen die ozeanische Entwicklung seiner Sedimente, es ist das pannonische Massiv so wie die Karpathen und Dinariden ein Stück der alpin-dinarischen Geosynklinale. Aber das tektonische Verhalten scheint ein anderes zu sein. Die alpine Deckenbildung ist nicht zu erkennen. Das Massiv ist durch große Brüche in Schollen zerlegt und tief eingesunken. Es ist vergleichbar dem Zwischengebirge Nordamerikas, das zwischen den ostwärts bewegten Rocky mountains und dem westwärts gefalteten Eliasgebirge gelegen ist. Und der Vergleich scheint mir noch ein engerer zu werden im Hinblick auf den intensiven Vulkanismus in beiden Zonen" (KOBER, 1914b, S. 176).

Das nordamerikanische Beispiel und die Bezeichnung „Zwischen-Gebirge" stammen aber von SUESS (1909, S. 434 ff.) basierend auf den Arbeiten des vielseitigen kanadischen Geologen G. M. DAWSON (vgl. MONGER, 1993, für eine gegenwärtige Abschätzung der Arbeiten von DAWSON in den kanadischen Kordilleren).

Eine sehr ungleichartige Entwicklung der Flanken eines zweiseitigen Orogens wurde von SUESS oft hervorgehoben. Er schrieb sogar die Entwicklung der beiden Flanken verschiedenen dynamischen Ursachen zu. Was KOBER dann tat, war die Vereinigung der SUESS'SCHEN Beschreibungen der nordamerikanischen Kordillere samt seiner Terminologie mit den

[108] Unter der Bezeichnung „Mesoasien" verstand STILLE diejenigen Teile dieses Kontinents, die im späten Paläozoikum (um mit STILLE zu reden müßte man „in der variszischen Ära" sagen) zum letzten Male alpinotyp deformiert wurden, d. h. diejenigen Gebiete die zwischen dem Angarakraton und dem Alpen-Himalaya-System liegen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

oben besprochenen Ideen HAUGS und MICHEL-LEVYS, zu denen später auch die Ideen TERMIERS (1911) hinzukamen. Aus allen diesen hat KOBER ein von rigiden Gesetzen geregeltes Modell ausgearbeitet: Alle Orogene sollten einen zweiseitigen Bau haben, wobei die Flanken entweder durch Zwischengebirge oder, wo diese fehlen, durch eine Berührung der beiden Flanken zustande gekommene Narbenzone oder kurzhin Narbe getrennt sind (Abb. 40). Zusammen mit den Zwischengebirgen, Narbenzonen und den Randzonen bildet das Orogen nach KOBER eine zusammenhängende dynamisch-genetische Einheit. In scharfem Gegensatze steht dies zu SUESS' zweiseitigem Orogen:[109]

„Der verschlungene Faltenknäuel hat im Laufe der Zeit mannigfaltige Deutungen erfahren. Aber immer mehr erkannte man allgemeine Gesetze. In der allgemeinen regionalen Betrachtung der alpinen Zone habe ich bereits 1911 in der alpinen Region zwei Hauptbewegungsrichtungen erkennen können, eine Bewegung nach Nord und eine nach Süden. Das Vorland für diese Bewegungen war einerseits das europäische Vorland, auf der anderen Seite die afrikanische Tafel. Zwischen diesen beiden Massen erscheint die alpine Region als eine einheitliche Zone, entstanden durch das passive Auspressen dieser Region zwischen den kontinentalen Massen.

So ist ein allgemeines genetisches Gesetz gegeben, das zugleich die Anschauungen von E. Suess und von Termier vereinigte und die alpine Zone als eine Einheit, die orogenetische Zone, kurz gesagt, als Orogen auffaßt, in der wieder für jedes Gebirge die Lehre von Suess von den einseitigen Bewegungen richtig war. So wurde diese Lehre wieder von anderen Gesichtspunkten und von höherer Warte aus bestätigt.

So liegt das Problem der Gebirgsbildung nicht in der Lösung des Baues jedes einzelnen Gebirges, sondern erst in der Zusammenfassung aller dieser Gebirge zu einer Einheit." (KOBER, 1921, S. 139; KOBERS Hervorhebung).

Wir sehen hier, daß KOBER die dynamischen Folgerungen der von SUESS beschriebenen Kinematik der Gebirgsbildung entweder nicht einsah oder nicht einsehen wollte. LÖWL (1906) war einer der vehementesten Gegner der Ideen SUESS' über Gebirgsbildung und er hat die dynamischen Implikationen der SUESS'SCHEN Lehre völlig durchschaut. Anstatt auf Basis der SUESS'SCHEN Beobachtungen die auch von SUESS immer weniger favorisierte Kontraktionstheorie zu verwerfen, lehnte LÖWL diese Beobachtungen ab. Schließlich kam er soweit, die ÉLIE DE BEAUMNONT'SCHE Kontraktionstheorie in ihrer ursprünglichen Form aufrechtzuerhalten! Es ist lehrreich ihn hier vollständig zu zitieren:

„Nach SUESS erlitt die vorspringende Stirn der Gebirgsbögen die stärksten Überfaltungen und Überschiebungen, während die konkave Rückseite, von der der einseitige Schub ausging, durch eine zerrende Kraft zerrissen wurde und aus den Spalten Magma austreten ließ. Diese Lehre bezog sich zunächst auf die Anordnung der karpatischen und tyrrhenischen Ausbruchstellen, ging aber von der unmöglichen Annahme aus, daß eine südwärts gezerrte Scholle einen nordwärts gerichteten Schub bewirkte. Unter diesen Umständen ist es begreiflich, daß Suess seine Auffassung nie wissenschaftlich zu begründen, sondern immer nur metaphorisch zu veranschaulichen suchte. Das bezeichnendste Bild fand er in einer 1879[110] erschienenen Schrift über ‚Die Heilquellen Böhmens'. Er könne sich, heißt es dort[111], die Entstehung eines großen Gebirges nicht beser vergegenwärtigen, als wenn er sich vorstelle, seine Hand ‚würde durch eine Verletzung aufgeschürft, dabei die Haut nach einer Seite in Falten zusammengeschoben, auf der andern reiße sie, und es dringe etwas Blut hervor. So sehen wir ein großes Gebirge immer nach einer Seite zusammengeschoben, in große Falten gelegt; auf der andern Seite zerreißen sie und wo sie aufgerissen sind, da treten aus dem Inneren der Erde Vulkane hervor'. Dieses Bild ist insofern sehr gut gewählt, als man auf den ersten Blick erkennt, daß Ursprung des einseitigen Schubes ebensowenig in der Erdrinde wie der Anlaß zum Hautschurf in der Haut liegen kann. Nur ein Anstoß ex coelo vermöchte die zum Vorschub der konvexen und zur Zerrung der konkaven Seite erforderlichen Spannungsunterschiede herbeizuführen.

Läßt man die unhaltbare und obendrein ganz überflüssige Hypothese des einseitigen Schubes fallen, so erscheinen die Kettengebirge im Lichte der alten, einfachen und vollkommen zutreffenden Auffassung Beaumonts als nachgiebige Rindenstreifen, die durch die Stauung der äußersten Erdkugelschale zwischen weniger nachgiebigen Schollen wie in einem Schraubstocke zusammengedrückt, verbogen und aufgestaut wurden" (LÖWL, 1906, S. 173).

LÖWLS Buch hatte unerwartet großen Einfluß gehabt und wurde sehr oft von den KOBER-STILLEANERN gegen SUESS zitiert (z. B. TIETZE, 1917, S. 447; STILLE, 1924, S. 277; HAARMANN, 1930, S. 13; BUCHER, 1933, S. 259; nicht jedoch von KOBER selbst!). Diese Forscher haben nie daran gedacht, daß die Interpretation von SUESS durchaus möglich wäre, wenn die Erdkruste oder die Lithosphäre (definiere sie man wie man will) nicht eine in sich geschlossene Schale ist. Im nachhinein wissen wir, daß SUESS' Deutung die Deutung der Plattentektonik geworden ist! Der Anstoß braucht ja nicht unbedingt *ex coelo* zu sein, er kann genausogut *ex terra* erfolgen. Aber ihre aristotelisch-cartesianische Einstellung (vgl. ŞENGÖR, 1991a) erlaubte ihnen diese Möglichkeit nicht.

Wegen dieser Einstellung betrachteten sie das zweiseitige Orogen als *eine Einheit, die passiv zwischen zweien starren Schollen ausgepreßt wird und aus einer Geosynklinale hervorgeht*. KOBER hat in seinem *Alpinen Europa* sehr ausführlich die Geschichte der Zwischengebirge besprochen. Er unterstrich, daß im alpinen oder sogar im variszischen Zyklus die Zwischengebirge, welche die alpine Geosynklinale, d. h. die Tethys teilten, nichts anderes als früher, z. T. schon im Präkambrium durch Faltung und Metamorphose versteifte Segmente einer seit Urzeit bestehenden Geosynklinale seien (KOBER, 1931, S. 208 ff.). STILLE (1940, S. 6) hat seinerzeit der gleichen Überzeugung, auch am Beispiel der tethysischen Geosynklinale Ausdruck verliehen.

Komplikationen wie der Wechsel der Hauptvergenz der aus gleichen Faziesräumen erbauten Orogenteile wurden mithilfe von stark vereinfachten Modellen „erklärt". Eines war das, welches eine Kreuzung der Medianzone der Geosynklinale mit der Scheitelungslinie des aus der Geosynklinale sich erhebenden Orogens postulierte (STILLE, 1927b, Fig. 2 [*hier Abb. 54*]). Alle diese Modelle ließen aber die Einheit des Orogens, die Einheit des geosynklinalen Raumes intakt nur um die Schraubstocktheorie von ÉLIE DE BEAUMONT zu retten.

Die tektonischen Ansichten, die von der Kober-Stille-Schule bis in die sechziger Jahre unseres Jahrhunderts zur Erklärung der tethysischen Entwicklung verwendet wurden, stammten aus einer Weltanschauung, welche die geradlinig verlaufende Gebirgsketten als Produkte weltweiter Umwälzungen ansahen. Diese wurzelte nicht nur in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, sondern in ferner Vergangenheit. Solche Ideen

---

[109] Wie KOBER selbst bezüglich der Ideen TERMIERS über den Bau des westlichen Mittelmeerraumes schrieb: „Ganz im Gegensatze zu E. SUESS" (KOBER, 1914a, S. 177, Fußnote).

[110] Das Exemplar dieser Schrift, das ich in der Bibliothek des geologischen Instituts der ETH-Zürich gesehen habe, trägt das Datum 1878.

[111] LÖWL sah diese kleine Schrift von SUESS nicht. Er zitiert die hier wiedergegebene Stelle aus DIENERS *Bau und Bild der Ostalpen und des Karstgebietes* (1903, S. 636). Er hätte dasselbe auch aus der *Enstehung der Alpen* auch zitieren können: „Wie bei einer Abschürfung der Hand die Haut in Falten gelegt wird und zugleich an der Stelle der Verletzung zerreisst und das Blut hervortreten lässt, so treten innerhalb der Falten des Appennin die geschmolzenen Massen der Tiefe hervor, keinesweges als die Ursache der Aufrichtung des Gebirges, sondern weil die an der Innenseite entstandene Zerklüftung ihnen die Möglichkeit bietet, zu Tage zu treten." (SUESS, 1875, S. 28). Da *Die Entstehung der Alpen* in der Literaturliste von LÖWL vorkommt (LÖWL, 1906, S. 163), frage ich mich ob er sie je sorgfältig gelesen hatte?

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

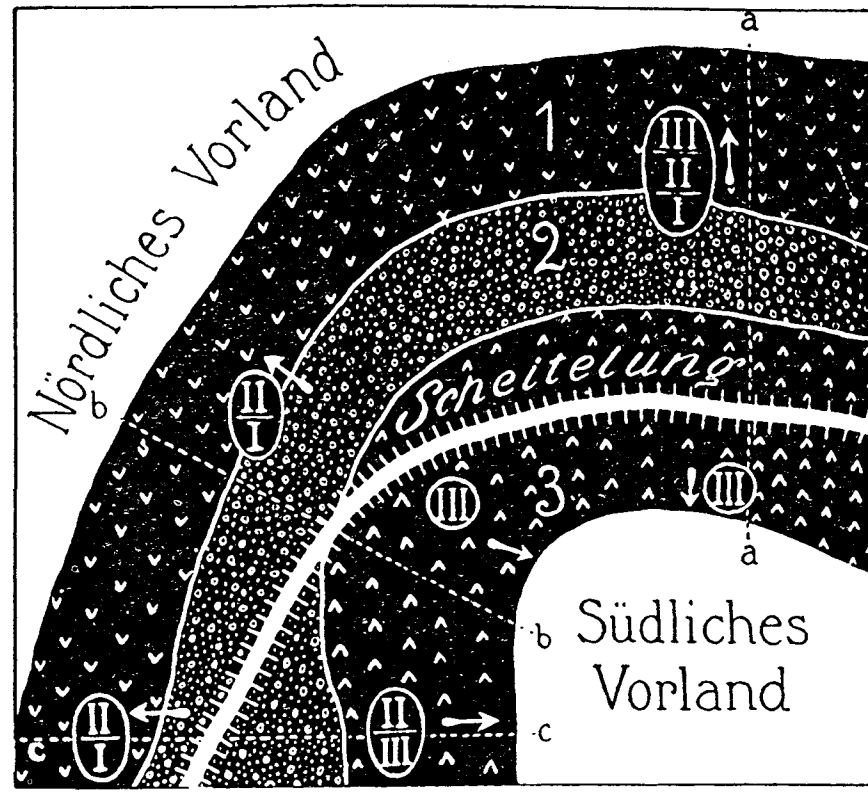


Abb. 54
STILLES Modell der Kreuzung der Achse der Tethys-Geosynklinale mit der Scheitelungslinie des alpidischen Orogens. STILLE versuchte mit diesem Modell den Vergenzwechsel von den Alpen zum Apennin zu erklären (Aus STILLE, 1927b, Fig. 2). Erklärung: 1. Helvetikum; 2. Penninikum; 3. Austroalpin; I. Decken der Herkunft 1; II. Decken der Herkunft 2; III. Decken der Herkunft 3. II/I bedeutet, daß Decken der Herkunft 2 auf Decken der Herkunft 1 liegen.

waren selbst dem genialen ERATOSTHENES nicht ganz fremd. Sie haben aber in unserem Jahrhundert nicht nur die Vertreter der Kober-Stille-Schule, sondern auch diejenigen der Wegener-Argand-Schule beeinflußt. In der Ära der Plattentektonik haben sie zu einem Scheinparadoxon Anlaß gegeben, welches erst gegen Ende der siebziger Jahren beseitigt werden konnte.

Synopsis der Tethysvorstellung der Kober-Stille-Schule

Ich möchte hier nur diejenigen Eigenschaften der Tethys nochmals kurz zusammenfassen, die von den Vertretern der Kober-Stille-Schule als wesentlich angesehen wurden. Nach den Vorstellungen dieser Forscher war die Tethys eine mindestens seit dem späten Präkambrium bestehende Schwächezone, die sich in Form einer enormen Geosynklinale geäußert hat. Diese Geosynklinalzone wurde in der nachfolgenden Zeit in weltweite und kurzfristige Orogenesen verwickelt und von außen nach innen durch Faltungen versteift und an Geosynklinalgebieten immer ärmer. Die letzten, alpidischen Faltungsakte betrafen den Restkanal der einst großen Urgeosynklinale. Durch ihre Konsolidierung wurden die Bruchstücke der vorweltlichen Superkontinente Eurasien und Gondwana-Land zur heutigen Alten Welt und Nord- und Südamerika zum heutigen Amerika verschweißt. Die Einengung der Geosynklinalen wurden immer im Rahmen der ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN Schraubstocktheorie veranschaulicht.

Wir werden im Kapitel über das Paradoxon der Tethys sehen, wie sehr diese Vorstellungen und die damit verknüpften Vorurteile die Tethysforschung zu Beginn der Plattentektonik in die Sackgasse geführt haben.

Tethys als Ozean: Der Tethysbegriff der Wegener-Argand-Schule

Die frühesten Vorboten unserer modernen Anschauungen zur Tektonik der Tethys sind, mit Ausnahme derjenigen von SUESS selbst, im Lebenswerk eines der größten Geister in der Geschichte unserer Wissenschaft, Emile ARGAND (Abb. 55), zu suchen. Sein Werk stellt die eigentliche Fortführung der Arbeiten von Eduard SUESS dar. Außer Alfred WEGENER und Franz Eduard SUESS, scheint ARGAND der einzige Tektoniker in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts gewesen zu sein, der wahrscheinlich alles völlig verstand, was SUESS in der Tektonik getan hat. Sein Genius war vergleichbar mit demjenigen von SUESS selbst und er hat offensichtlich nicht nur SUESS, sondern eine gute Zahl von Originalarbeiten, welche SUESS zitierte, sehr sorgfältig gelesen.[112] In scharfem Gegensatz zu der oft ablehnenden Einstellung der Kober-Stilleaner gegenüber SUESS, schrieb ARGAND in der Einleitung seiner unsterblichen Arbeit *La Tectonique de l'Asie*, «Douze ans ont passé, Messieurs, sur les dernières pages du grand œuvre de SUESS, douze ans pendant lesquels nombre de travaux distingués, consacrés aux régions les plus diverses de la Terre, ont paru, apportant un inestimable contingent de faits nouveaux et d'interprétations parfois hardies. Si le maître revenait parmi nous, il inclinerait peut-être à retoucher tel détail du plan, à compléter telle esquisse ou à conter tel épisode dans d'autres arrangements; il ne songerait pas, gageons-le, à modifier les lignes majeures du monument, tant l'ordonnance en demeure juste.» (ARGAND, 1924, S. 171[113]).

[112] Ich bin meinem lieben Freund und Kollegen Herrn Prof. Dr. Jean-Paul SCHAER für die reiche Belehrung dankbar, die er mir über das Leben und Werk seines großen Vorgängers ARGAND und über seine Bibliothek meist bei den sehr gemütlichen Abendsgesprächen in seinem eigenen Hause zuteil werden ließ. Unter seiner Anleitung habe ich die meist von ARGAND gekauften Schätze der Neuenburger Institutsbibliothek durchblättert. Auch durfte ich die vielen nichtpublizierten Dokumente des am Institut bewahrten ARGAND-Nachlasses sehen. Einen Teil dessen hoffe ich an anderer Stelle zu publizieren.
Für das Leben und Werk ARGANDS vgl. CARANDELL (1928), LUGEON (1940), THALMANN (1943), DUBOIS (1976), CAROZZI (1977) und SCHAER (1991). Einen Genius wie ARGAND ganz zu verstehen ist unmöglich, aber selbst ein Versuch wäre ohne die tektonischen Schriften von SUESS und HAUG zuerst eingehend studiert zu haben, nicht möglich.

[113] Schon in seinen frühesten Publikationen betrachtet ARGAND sein Werk als eine Fortführung und weitgehende Bestätigung desjenigen von SUESS: „...ils sont une éclatante confirmation des grandes conceptions synthétiques de MM. Suess et Bertrand" (LUGEON & ARGAND, 1905a, S. 1493); „Les inductions du grand maître viennois peuvent aujourd'hui, en ce qui concerne la région dont nous venons de résumer les traits principaux, être appuyées d'un critère stéréometrique dont la rigueur ne laisse rien à désirer" (ARGAND, 1906a, S. 529).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 55
Emile ARGAND (1879-1940) in Neuchatel, beim Zeichnen seiner berühmten tektonischen Karte Eurasiens.

Der Anfang der Beschäftigung ARGANDS mit Fragen über die Geschichte der Tethys war eigentlich früher als sein formeller Eintritt in die Geologie. Sein Lehrer LUGEON berichtet (LUGEON, 1940), daß ARGAND im Februar 1905 zu ihm kam, um seine Absicht auszudrücken, in seinem Studium von der Medizin zu Geologie zu wechseln. Bereits am 15. Mai desselben Jahres sehen wir eine gemeinsam mit LUGEON verfaßte Arbeit über die großen Überfaltungsdecken des Piémont in der *Comptes Rendus* der Akademie der Wissenschaften von Paris publiziert (LUGEON & ARGAND, 1905b). Im nächsten Jahr wurden sechs kurze Notizen in derselben Zeitschrift publiziert. Drei über die Alpen von ARGAND allein (ARGAND, 1906a, b, c) und drei über das Deckenland des südlichen Italien zusammen mit LUGEON (LUGEON & ARGAND, 1906a, b, c).

Die drei kurzen Notizen über die Alpen verraten, daß ARGAND nicht nur die Hauptzüge der heutigen Struktur sondern auch die Umrisse der historischen Entwicklung der Alpen entziffert zu haben glaubte! Seine Schlüsse über die heutige Struktur trug das unverkennbare schweizerische Gepräge, das schon von Arnold ESCHER VON DER LINTH in der Mitte des vorigen Jahrhunderts etabliert und von seinem Schüler Albert HEIM fast zu einem Dogma erhoben worden war: Alle Verformung in den Gebirgen sei durch Faltung herbeigeführt. Den Brüchen käme nur eine untergeordnete Rolle zu.[114] ARGAND folgte den Fußstapfen seines Lehrers LUGEON und betrachtete alle großen Decken der internen, metamorphen Teile der Alpen (von ihm später als penninisch bezeichnet) als nach Norden gelegte Falten.

Die stratigraphischen Ergebnisse ARGANDS zeigen eine starke französische Prägung: Wir haben oben gesehen, daß HAUG in seinen Schriften die Tethys als eine seit dem frühen Paläozoikum bestehende Geosynklinale gedeutet hat. In einem viel begrenzteren Gebiet, den Alpen, hatte Pierre TERMIER in seiner klassischen Synthese des Alpenbaues ausgeführt, daß zwischen den Sedimenten des Karbon und denjenigen *aus der Trias in den Westalpen kein Hiatus bestehe und der* Übergang ein allmählicher sei (TERMIER, 1903). Diesem Ergebnis stimmte ARGAND völlig bei (ARGAND, 1906b, S. 667) und betrachtete schon am Anfang seiner Studien das vorzeitliche alpine Meer als eine seit dem späten Paläozoikum bestehende Geosynklinale im Sinne von HAUG und TERMIER. Auch die Verteilung der paläozoischen Metamorphose unterstüzt das

[114] Dieses Vorurteil ist durch ESCHERS Reaktion auf die damals herrschende Meinung entstanden, die Alpen seien ein von zahllosen Verwerfungen zerhackter Trümmerhaufen! Durch seine übergenaue Kartierung hatte ESCHER gezeigt, daß die Struktur der Alpen durch Annahme einer bestimmten Zahl regelmäßig gebauter Falten erklärbar sei (vgl. HEIM, 1921, S. 4 f.). Diese Annahme harmonierte auch sehr gut mit den damaligen Ergebnissen der Amerikaner in den Appalachen (z. B. ROGERS & ROGERS, 1843[1884]), die bereits von DANA als eine Unterstützung der ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN Schraubstocktheorie der Gebirgsbildung gedeutet worden war (DANA, 1846). Dadurch war die Vorstellung, Faltengebirge seien gleichbedeutend mit Gebirgsketten, entstanden und wurde durch das epochemanchende Buch von ESCHERS Schüler Albert HEIM, *Der Mechanismus der Gebirgsbildung* (HEIM, 1878) populär. Der Einfluß dieser Vorstellung reichte weit in das 20. Jahrhundert sowohl im kontinentalen Europa (z. B. STILLE, 1924, S. 244) als auch in England (z. B. JEFFREYS, 1935, S. 153) und in Amerika (z. B. GRABAU, 1940, S. 48 u. Fig. 14). Diese Vorstellung beeinflußte ARGAND, trotz der sehr treffenden und frühen Kritik von Otto AMPFERER, sein Leben lang.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Modell von HAUG: die die ehemalige Achse der Geosynklinale des Piémont repräsentierenden Gesteinskomplexe zeigten den höchsten Grad der Metamorphose: «Le maximum de cristallinité est atteint dans la nappe V (Grand Paradis-Mont Rose), issue du centre du géosynclinal» (ARGAND, 1906c, S. 810).

Hier war für ARGAND auch eine kleine Schrift von SUESS von großer Bedeutung: Die 1904 auch bei den Pariser *Comptes Rendus* publizierte Notiz *Sur la Nature des Charriages* (SUESS, 1904) gab ARGAND den Tip, die großen Überschiebungsbahnen mit den ultrabasischen Intrusionen in Verbindung zu bringen.

In der letzten 1906 publizierten Notiz über die Alpen zeigte ARGAND, daß die basisch-ultrabasischen Gesteine immer häufiger in der Stratigraphie der großen penninischen Decken vorkommen, je höher man in dem Deckenstapel hinaufsteigt. Nach der von LUGEON bereits 1902 für die sedimentären Decken aufgestellten Regel der Deckenabwicklung, d. h. «plus une de ces grandes vagues sédimentaires est superficielle, plus elle tend, pour ainsi dire, à déferler vers l'avant et en conséquence plus elle prend racine au sud, plus elle tend à s'étendre vers le nord» (LUGEON, 1902, S. 773) bedeutete dies, daß je weiter nach Süden man in der ursprünglichen alpinen Geosynklinale geht, desto näher käme man zur Quelle der basisch-ultrabasischen Intrusionen (vgl. auch ARGAND, 1911a).

Nach diesen ganz skizzenhaften Gedanken galt es die Details der Struktur und Entwicklung der alpinen Geosynklinale zu enthüllen. Dazu bietet uns die Dissertation von ARGAND, die er 1909 in Form einer vorläufigen Mitteilung veröffentlichte, nicht viel mehr als was er vorher publizierte, mit Ausnahme einiger Korrekturen der vorher begangenen Fehler (z. B. ARGAND, 1909, S. 42 ff.).

Das Jahr 1911 war eines der produktivsten im Leben ARGANDS. In diesem Jahre publizierte er seine erste große bahnbrechende und sehr einflußreiche Synthese des alpinen Baus (ARGAND, 1911b; 1912a). Diese bezüglich der Wirkung auf die Fachwelt zauberhafte Arbeit kann ich hier nicht im Detail besprechen. Ich möchte nur sagen, daß wir darin die ersten, wahrscheinlich von den Schriften SUESS' und HAUGS beeinflußten Ausdrücke einer embryonalen Entwicklung des alpinen Gebirges sehen.[115] ARGAND stellte sich eine kontinuerliche Bewegung der großen Faltendecken seit den Anfängen der alpinen Evolution von Süden nach Norden bzw. Nordwesten vor: «Le fait que la partie interne de l'arc de recouvrement a souvent travaillé à la compression dans le sens longitudinal est d'un grand intérêt pour l'embryologie de la chaîne. Il s'accorde très bien avec l'idée d'une marche progressive des nappes vers l'extérieuer de la courbe des Alpes occidentales. Aux stades antérieurs de leur développement, les plis-nappes devaient être moins incurvés en plan qu'ils ne le sont aujourd'hui. L'accentuation de la courbure, lentement poursuivie dans le temps, me semble due surtout à l'adaptation forcée des plis-nappes aux conditions restrictives imposées par l'infrastructure hercyniene, c'est-à-dire par les massifs de l'Aar, du Mont Blanc, du Pelvoux, du Mercantour, et par tout ce qui les réunit en profondeur...

Toutes ces déformations [*hier meint ARGAND besonders die Rückfaltungen und die Faltenfächer, die er als völlig vom Liegenden abgescherte allochtone Strukturen deutete*] si curieuses, qui diversifient la monotonie de la continuité axial, mais n'en interrompent pas le cours, résultent du développement continu d'un même mécanisme, dans des conditions diverses et changeants.

L'embryogénèse, l'accentuation et le déferlement des plis-nappes, la naissance de la segmentation transversale en bombements et ensellements, la croissance des protrusions frontales aux points faibles de l'infrastructure et de l'avant-pays, la production de plis transversaux et de plis en retour, sont les phases d'un même développement, et au total, c'est le même phénomène» (ARGAND, 1911b, S. 24 f.).

Sogar die ursprüngliche Geometrie der später so notorisch gewordenen Deckenembryos war für ARGAND schon 1911 klar: «L'attitude subverticale des racines étant, dans sa forme actuelle, un phénomène secondaire, la question de leur attitude primitive demeure entière. Au total, et toutes réserves faites sur les difficultés d'un tel sujet, il me semble que le mode d'enracinement des plis couchés IV et V ne permet pas de les faire provenir de plis droits qui auraient chûté vers le nord. J'aime à me représenter que les racines primitives n'étaient pas nécessairement droites, que le plan axial des plis embryonnaires des nappes n'était pas inévitablement vertical, que pendant les phases initiales du développement, l'attitude des flancs normaux était déjà voisine de l'horizontale, et, que le plus reculé de ces flancs normaux se confondait, sans limite bien distincte, avec l'arrière-pays en mouvement.[116] En se perpétuant, l'effort unilatéral a changé tout cela, mais c'est toujours cette cause prépondérante que nous retrouvons dans la diversité des ses effets.» (ARGAND, 1911b).

Schon 1912 sehen wir ARGAND beschäftigt mit dem Mechanismus und der Geschichte des alpinen Baus. Zuerst übergab er seine Ergebnisse über die Zeitlichkeit der alpinen Entwicklung der Öffentlichekit (21. Februar, 6. und 20. März 1912: ARGAND, 1912b, c, d). Er hat durch seine tektonischen Kriterien, wie z. B. *Encapuchonnements*, vier Phasen der Entwicklung *während des nacholigozänen Paroxysmus festgestellt*: Saint-Bernard, Dent-Blanche, Mont-Rose und Insubrische Phasen. Alle früheren Deformationen wurden von ARGAND damals als *„proplissement"* betrachtet, was er 1920 *„plissement précerseur"* nennen würde.

Daß diese Phasen aber mit den episodischen, durch Ruheperioden getrennte Phasen von HAUG und STILLE gar nichts zu tun hatten, wollte ARGAND mit Nachdruck betonen: In seiner kurzen Schrift über die tektonische Segmentation der Westalpen versucht er zu zeigen, daß ein Dualismus in den tektonischen Vorgängen, nämlich ein genetischer und ein zeitlicher Schnitt zwischen orogenen und epirogenen Ereignissen nicht bestehe. Alles sei ein quasizähflüssiges Fließen, mit wechselnder Richtung und mit wechselnder Geschwindigkeit, bedingt durch die Geometrie des Vorlandes. Die variszischen Externmassive des Vorlandes verglich er mit den Pfählen einer noch sich im Bau befindenden Brücke. Die alpinen Decken seien ein zähflüssiger Fluß. Hinter den Pfählen würde der Fluß gestaut und seine Oberfläche steige hoch; zwischen den Pfählen bleibt der Fluß unbehindert und diese Zwischenräume haben eine niedrigere Oberfläche. Die HAUG'SCHEN *aires surélevation* und *aires d'ennoyage* seien nicht unbedingt Strukturen, die von einer Epirogenese geschaffen wurden, die der Orogenese genetisch unterschiedlich ist: «Par ses proportions énormes, la segmentation active des nappes penniques entre les

---

[115] Meiner Kenntnis nach war SUESS der erste, der den Ausdruck „embryonale Falte" und die damit verknüpfte Vorstellung der „embryonalen Entwicklung der Gebirge" in die Tektonik einführte: „Hier scheint wirklich eine Welle der Oberfläche erzeugt worden zu sein, und so verschieden die Erscheinung von wahrer Gebirgsbildung ist, muss doch erwähnt werden, dass das Profil des Allahbund wirklich einer jener embryonalen Falten nicht wenig gleicht, welche nach meiner Ansicht als unentwickelte Gebirge gelten können, und dass die Richtung der Bewegung dieselbe ist, wie in dem kleinen einseitigen Gebirge, dessen Reste aus dem Runn of Cutch hervorragen... Es ist fast, als würde an dieser Stelle heute die faltende, Gebirge bildende horizontale Bewegung in Wirksamkeit sein..." (SUESS, 1875, S. 152).

[116] Dieselbe Vorstellung hob ARGAND 1912 noch einmal hervor: „A la phase Dent-Blanche, la nappe VI laminé et tronçonné en lentilles les digitations supérieures de la nappe IV. Appelons ces digitations IV" et nommons IV' le reste de la nappe IV. L'ensemble VI+IV"+IV' était un système de plis largemenet couchés, dont les plans axiaux montaient docement vers l'extérieur des Alpes. Je considère cett Attitude come normale, primitive et dominante pendant le proplissement (Vorfaltung) des plis couchés penniques" (ARGAND, 1912c, S. 85).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Grisons et la Méditerranée, est l'un des plus grandes exemples de cette catégorie de phénomènes, l'un des plus généralisés et l'un des moins imparfaitement connus. Elle ne fournit pas, nous l'avons marqué, d'évidence en faveur du dualisme absolu [*der Epirogenese und Orogenese*] mentionné plus haut» (ARGAND, 1912e, S. 354).

Mit dieser Idee belebte ARGAND die SUESS'SCHE Idee der kontinuierlichen aber nicht unbedingt gleichmäßigen Orogenese bei der Deutung der Alpen. Die früheren Deutungen, die die alpine Entwicklung in ganz starre Phasen zerteilt hatten, waren ein Fehler des Geistes, «qui est de prêter à la nature les procédés de notre esprit» (ARGAND, 1912e, S. 355).

Was waren diese *procédés de notre esprit*? In dieser Erörterung ARGANDS ist eine der besten Darstellungen der kritisch-rationalen Betrachtungsweise in der Tektonik enthalten. Diese läßt ihren Unterschied gegenüber der Einstellung der Positivisten sehr scharf hervortreten:

«La géométrie des nappes, pour être éclaircie, veut être embrassée. Il est et restera toujours difficile, sans une application prolongée, de concevoir dans l'espace, tout d'une venue, la forme d'objets aussi compliqués. Il est plus facile, plus habituel et moins fructueux de se représenter les choses d'abord en plan, puis en coupes. La segmentation, qui apparaît mieux sur ces dernières, est ainsi conçue après coup, comme un phénomène distinct et postérieur. Inconsciemment la succession des images tend à s'imposer comme la succession des faits. Que malgré son caractère disjonctif et analytique, cette double opération mentale soit devenue, pour quelques bons esprits, une double opération de la nature, c'est ce qu'il est permis de croire.

Le point est de concevoir les objets dans l'espace, en une seule image, et non par touches successives. Il y faut quelque attention, mais ce pas franchi, on s'aperçoit très vite que la segmentation vue en plan, avec ses protrusions et ses rebroussements, c'est tout à fait la même chose que la segmenattion vue en cupe, avec ses abaissements et ses relèvements d'axe. Ce sont deux aspects d'un même corps, déformé aux même moments par les mêmes agents» (ARGAND, 1912e, S. 355).

ARGAND hatte die Struktur, sowohl der heutigen als auch die in der Vergangenheit, und den Mechanismus klargelegt. Es blieb nur noch die Darstellung der eigentlichen geschichtlichen Entwicklung des alpinen Baus zur Darlegung offen. Alle seinen bisherigen Erkenntnise kombinierte er zu einer der größten und einflußreichsten Synthese der Gebirgsbildung in der Geschichte der Tektonik bei der 33. Jahreshauptversammlung der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft am 14. September 1915 in Genf.

In dieser 1916 publizierten Synthese kombinierte ARGAND die fixistischen Ideen von SUESS, BERTRAND, SCHARDT, MICHEL-LÉVY, LUGEON, HAUG und TERMIER mit seinen eigenen Ideen und Beobachtungen zu einer Theorie der tektonischen Entwicklung der Alpen (ŞENGÖR, 1982c[117]). Den Grundsatz dieser Theorie stellt er schon an den Anfang seines Aufsatzes: «En se rapprochant, d'un mouvement d'ensemble dirigé, ou peu s'en faut, suivant le méridien, les môles anciens de l'Eurasie et de l'Indo-Afrique ont provoqué, dans le domaine géosynclinale et interposé de la Téthys, la formation d'un flux à peu près plastique, qui a fini par déferler en un double train de chaînes, de nappes et de plis, contre les mâchoires de l'étau, appelées de ce fait à la fonction d'avant-pays.» (ARGAND, 1916, S. 145). Er interpretierte die alpine Tethys als eine von den großen variszischen Einengungen verschont gebliebene, aber im variszischen Orogen eingeschlossene Niederung. Diese faßte er als Geosynklinale erster Ordnung. Diese Idee war schon von TERMIER ausgedrückt worden: «Le géosynclinal alpin (zone des Schistes lustrés) s'est établi dans une zone déjà plisée avant le dépôt du Houiller, et l'axe de ce géosynclinal était sensiblement parallèle aux pils varisques, géosynclinal qui a duré fort longtemps... et qui a été ployé et écrasé par le resserrement des dit faisceux, comme entre deux mâchoiures géants.» (TERMIER, 1903, S. 760). Diese Deutung ist, im Prinzip nichts anders als diejenige ÉLIE DE BEAUMONTS aus dem Jahre 1852 und wie im Zitat aus ARGANDS *La Tectonique de l'Asie* gezeigt (vgl. S. 35 oben), bestätigt er eine solche Parallelisierung selbst. Im Jahre 1915, trotz der enormen Fortschritte bei der Deutung der internen Struktur der Alpen, sind wir also mit ARGAND immer noch bei den Vorstellungen von ÉLIE DE BEAUMONT in bezug auf die Beschaffenheit der Muttermeere der Gebirge. ARGAND folgt den paläogeographischen Deutungen von HAUG (1909, 1911, S. 1126, Abb. 344 [*Hier als Abb. 56 reproduziert*]) in seiner Darstellung der internen Einteilung der tethysischen Geosynklinale in den Alpen: In diesem Becken entstanden durch schwache variszische Einengung große, nach Norden gelegene Faltenembryos (Abb. 57). Nur zwei dieser Faltenembryonen beeinflußten die eigentliche Paläogeographie der Geosynklinale. Die nördliche war die als liegende Falte umgedeutete Briançon-Geantiklinale von HAUG, die die ursprüngliche Geosynklinale zweiteilte. Die südliche, die durch ARGANDS Dissertation im Gebiet von Zermatt erkannte Dolin-Geantiklinale (± Lombard-Geantiklinale von HAUG, 1911, Abb. 344), stellte den Südrahmen der Geosynklinale dar und wurde nach dem Modell von SUESS (1904, 1909) als die Stätte der asymmetrischen Ophiolithergüsse gedacht. Diese im mittleren Karbon als bereits existent gedachte Paläogeographie wurde kontinuerlich zu den paroxysmalen Deformationen im Känozoikum eingeengt. ARGAND glaubte, alle tektonischen, stratigraphischen und petrologischen Eigenschaften der alpinen Entwicklung mit dieser *tectonique embryonnaire* (ARGAND, 1916, S. 161) erklären zu können. An der Schraubstocktheorie ÉLIE DE BEAUMONTS ändert diese Theorie nichts Prinzipielles, lediglich die Einseitigkeit der Hauptvergenz und die gewaltige Größe der Einengung.

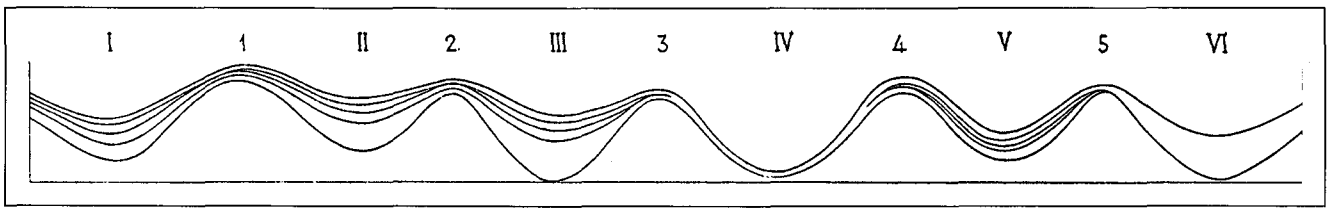


Abb. 56
Schematischer Querschnitt durch die Geosynklinalen und Geantiklinalen der Alpen zur Jurazeit nach HAUG (1911, Abb. 344). Erklärung: I. Vindelizische Geosynklinale; 1. Helvetische Geantiklinale; II. Walliser Geosynklinale; 2. Briançonnais Geantiklinale; III. Piemontische Geosynklinale; 3. Lombardische Geantiklinale; IV. Bajuvarische Geosynklinale; 4. Karnische Geantiklinale; V. Juvavische Geosynklinale; 5. Forojulianische Geantiklinale; VI. Illyrische Geosynklinale. Als HAUG dieses Bild publizierte war die Idee einer embryonalen Entwicklung der alpinen Decken bereits im Kopf von ARGAND geformt. Trotzdem dürfte dieses Bild ARGAND weiter inspiriert haben.

[117] Es ist sehr lehrreich in diesem Zusammenhang die brilliante Arbeit von AMPFERER (1906) zu lesen. Der geniale österreichische Meister hat die deckenkinematischen Ansichten von SCHARDT und LUGEON (ARGANDS großer Lehrer, dessen Deckenkinematik von ARGAND 1916 ohne wesentliche Veränderung übernommen wurde) als eine Übertreibung der Kontraktionstheorie zurückgewiesen! AMPFERER hat später auch ARGAND kritisiert (vgl. AMPFERER, 1928).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

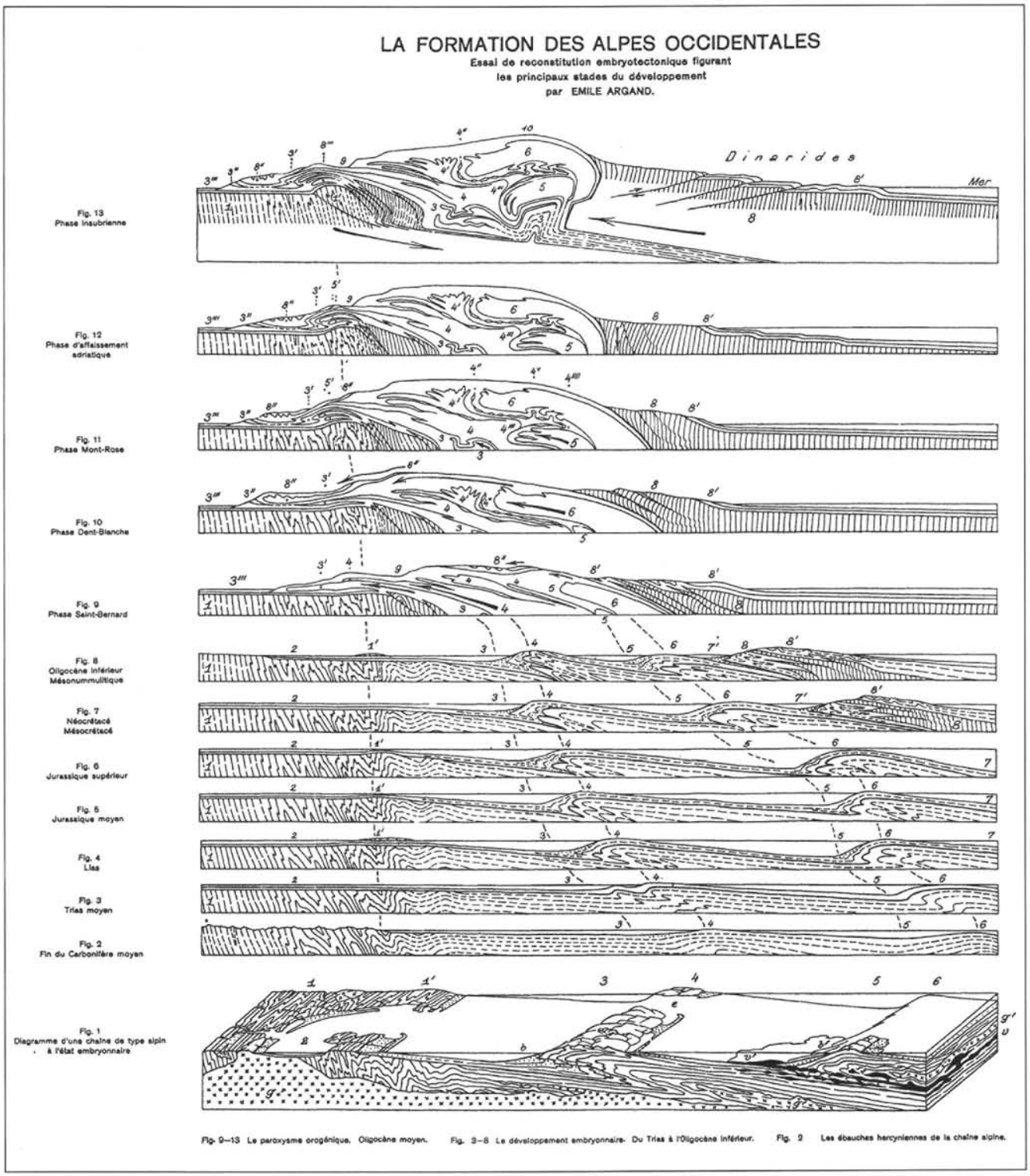


Abb. 57
Tectonique embryonnaire von Emile ARGAND (1916, Tafel II).

Einen wichtigen und von den Nachfolgern ARGANDS wenig beachteten Punkt der ARGAND'SCHEN Gedanken über die alpine Paläogeographie möchte ich hier hervorheben. Seine Nachfolger haben betont, daß ARGAND, den Fußstapfen HAUGS und TERMIERS folgend, einen strikten Parallelismus zwischen Deckenbau und Paläogeographie forderte: „Seine theoretische Grundlage erhielt der Parallelismus von Deckenbau und Paläogeographie namentlich durch die kühnen, mit prachtvollem Schwung vorgetragenen Ideen EMILE ARGAND'S (1916, 1920)." (TRÜMPY, 1955, S. 221; vgl. auch TRÜMPY, 1960, S. 882). Obwohl ARGANDS Embryotektonik eine solche Folgerung zu rechtfertigen scheint (*nur* wenn man eine coaxiale Deformation während der ganzen Entwicklung voraussetzt!), zeigte ARGAND selbst sehr früh, daß ein strikter Parallelismus zwischen Deckenbau und Paläogeographie nicht à priori angenommen werden darf:

«Les stratigraphes des Alpes occidentales attribuent avec raison une valeur de premier ordre à la distinction de la zone du Briançonnais et de la zone du Piémont, encore qu'elles reliées par des passages latéraux ménagés, et que la première soit surtout le faciès normal et différencié en niveaux, la seconde le faciès métamorphique et plus ou moins compréhensif d'un même ensemble solidaire.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Et pourtant ces deux zones stratigraphiques du premier ordre passent l'une à l'autre, non pas à la limite de deux grandes nappes, mais sur la carapace, sur le flanc normal du pli couché IV. Il est difficile de trouver dans les Alpes un exemple plus saisissant d'indépendence n'est pas complète, et nous y reviendrons. Elle suffit cependant à montrer que la liaison entre une nappe et un ensemble de faciès déterminés, bien que souvent vérifiée, ne l'est pas toujours ni nécessairement, et que ce principe a été prématurément et trop rigoureusement généralisé. Pour beaucoup de savants, cette dépendance nécessaire entre les nappes et les faciès s'impose sur des faits d'observation. Je crois avoir montré que ce principe, malgré sa haute valeur pour la diagnose de beaucoup de nappes alpines, ne s'étend pas à toutes, quie son emploi comporte certaines réserves et qu'il demeure, au total, à peu près vrai entre certaines limites.» (ARGAND, 1911a, S. 18).

Der strikte Parallelismus zwischen den Decken und den paläogeographischen Zonen war mehr eine Regel von HAUG und TERMIER als von ARGAND. Die Kritiker von ARGAND in den fünfziger Jahren haben aber immer seinen Namen zusammen mit denjenigen von Rudolf STAUB, Maurice GIGNOUX und Léon MORET genannt. Was TRÜMPY (1960, S. 882) eine brilliante Synthese von GIGNOUX (1950) nennt ist eine halb verdaute Wiedergabe der Ideen von ARGAND. Um dies zu sehen, braucht man nur die erste und die zu Lebzeiten des Autors herausgekommene letzte (d. h. die vierte) Ausgabe der berühmten *Géologie Stratigraphique* zu vergleichen. In der ersten Ausgabe (GIGNOUX, 1926), unter *Les Alpes suisses: essai de synthèse paléogéographique et tectonique,* weist GIGNOUX hin, daß «D'ailleurs la plupart des idées développées aujourd'hui par les géologues suisses sous le nom d'«embryotectonique» se trouvent déjà exprimées dans les remarquables notes de E. HAUG...» (GIGNOUX, 1926, S. 310, Fußnote 1). In der Ausgabe aus dem Jahre 1950 sehen wir dieselben Abbildungen wie in der ersten Ausgabe und dieselben Ideen dargestellt. Und dies trotz der wichtigen Revision der embryonalen Tektonik, die ARGAND bekanntlich 1934 unternommen hatte (ŞENGÖR, 1982; vgl. unten). Wiederum lesen wir die Behauptung, daß «cette étude du Jurassique des Alpes nous conduit à entrevoir un type de sédimentation tout à fait particulier, celui des *«faciès de cordillères»*, déjà pressenti par E. HAUG...» (GIGNOUX, 1950, S. 404; Hervorhebung durch GIGNOUX). GIGNOUX hat offensichtlich den Einfluß von HAUG auf ARGAND gesehen, aber die Ideen ARGANDS nicht ganz verstehen können. Er war nicht der Einzige!

Wir müssen bei der Aufstellung der *tectonique embryonnaire* noch einen anderen, vom anderen Ende der Tethys-Zone kommenden Einfluß erkennen: In den Jahren 1910-1912 leitete der bedeutende holländische Geologe Gustaaf A. F. MOLENGRAAF eine *Nederlandsche Timor-Expeditie* (vgl. MOLENGRAAF 1915, MOLENGRAAF et al., 1918, 1922). In dieser nahmen auch H. A. BROUWER und F. A. H. WECKHERLIN DE MAREZ OYENS teil. Die tektonischen Resultate dieser Expedition faßte MOLENGRAAF beim 12. Internationalen Geologenkongreß in Toronto vorgelesenen Abhandlung, betitelt *Folded mountain chains, overthrust sheets and block-faulted mountains in the East Indian Archipelago*, zusammen (MOLENGRAAF, 1913). Diese Arbeit reproduziert beinahe die Hälfte einer früheren Abhandlung, die der Niederländischen Akademie 1912 vorgelegt worden war (MOLENGRAAF, 1912). MOLENGRAAF hatte 1913 (S. 693) die Inselreihen in den Molukken und die dazwischenliegenden Tiefseerinnen nach dem Modell, das HAUG für die Alpen der Jurazeit entworfen hatte (1911, S. 1126, Fig. 344), als heute aktive Geantiklinalen und Geosynklinalen interpretiert. Nach einer vorangegangenen miozänen Gebirgsbildung und darauffolgender intensiver Erosion seien diese durch großwellige Faltung gebildet worden (MOLENGRAAF, 1912: Faltungsmodell, z. T. nach ABENDANON, 1910; 1913: Interpretation der Großfalten als Geosynklinalen und Geantiklinalen à la HAUG, 1911, S. 1126, Fig. 344). In seiner Abhandlung in Toronto kombinierte er dieses Modell von HAUG mit seinen Deutungen aus 1912 und ging weiter:

"Adjoining sunken and tilted blocks must have resulted from... a process of thrust at a certain depth, resulting in very large but gentle folds. Every range of tilted and gently arched blocks or islands, e. g. the Timor range, the Flores range, etc., in this case indicates the position of a saddle, and every range of sunken blocks or deep-sea basins indicates the position of a trough of the gentle but deep-seated folds, and thus the folding at depth is expressed in the surface topography.

If the question were raised as to what might be seen at the earth's surface if an area were compressed by crustal movement at a certain depth, I should be inclined to reply that its appearance would be similar to what obtains at present in the eastern portion of the Indian archipelago" (MOLENGRAAF, 1913, S. 698).

Zwei Jahre später stellte sich ARGAND genau diese Frage und seine Antwort war dieselbe wie MOLENGRAAFS und offensichtlich von MOLENGRAAFS Abhandlung beeinflußt, obwohl wir keine Erwähnung der MOLENGRAAF'SCHEN Abhandlungen bei ARGAND finden können:[118]

«Pour nous figurer, dans le lointain des temps, la condition des Alpes encore jeunes, nous n'avons qu'à regarder, dans la nature actuelle, les guirlandes insulaires de l'Asie orientale et de l'Océanie. Ces arcs mouvants ont ceci d'admirable, qu'ils nous montrent côte à côte, au même instant[119], les états successivement traversés par des chaînes plus évoluées, sinon plus anciennes. Par un tour sembable à celui de l'anatomie comparée, leur étude confirme les résultats de l'embryologie tectonique.

Pour nous en tenir à un seul exemple, l'arc malais est bien remarkable à cet égard. Mettons, pour faciliter la comparaison visuelle, le Sud en haut. L'Australie est le môle externe; un vaste plateau, à peine couvert par l'ingression du glofe de Carpentarie et par la mer épicontinentale des Alfourous, la prolonge jusque au bord d'un talus plus déclive (socle continental) qui s'abaisse rapidement jusqu'à un premier sillon curviligne, l'avant-fosse, comparable au géosynclinal dauphinois et valaisan. En arrière, deux cordillères concentriques dont l'extremité orientale, sous la mer de Banda, s'incurve jusqu'au demicercle et même au delà, pour l'arc interne venu de Sumatra et de Java. Ce plan demi circulaire, c'est celui que présentaient les jeunes Alpes occidentales. Les deux cordillères principales sont nos deux maîtres géanticlinaux; le sillon intermédiaire. comme le géosynclinal piémontais, est plus profond que l'avant-fosse. Par son dessin plus tendu, la partie encore libre de l'arc, Flores-Java-Sumatra, rapelle les alpes orientales et leur déferlement moins contrarié. Un peu partout,

---

[118] Wenigstens muß die 1913er Arbeit von MOLENGRAAF ARGAND bekannt gewesen sein. Im selben Kongreßband, in welchem sie abgedruckt war, stand auch die Notiz über die Verleihung des Spendiaroff-Preises an ARGAND (STEINMANN, 1913). ARGAND war aber nicht annährend so großzügig gegenüber seinen Kollegen wie SUESS es gewesen war. In seinen Briefen und in den Anekdoten über ihn erkennt man eine Persönlichkeit, der es trotz seiner hervorragenden Intelligenz und Begabungen an Selbstvertrauen mangelte. Er versuchte immer wieder sich selbst zu behaupten. SCHAER (1991, S. 525 ff. und auch Addendum auf S. 533 f.) hat ein schönes Beispiel dieser Seite von ARGANDS Charakter gegeben.

[119] Hier glaube ich eine indirekte Bezugnahme auf den folgenden Absatz von MOLENGRAAF (1913, S. 699) erkennen zu können:
"The most salient feature on this map is the striking difference which exists between the western portion (the Java sea and its surroundings), and the eastern portion (the Molucca sea). The latter exhibits a complex topography and great variations both in the depths of the sea and in the heights of the numerous islands, which generally emerge boldly from the sea; whereas the western area shows a slight and very uniform depth of sea and smooth outlines of land, which rises with a very gentle slope from the coast. The western portion, with the gentle topography both of land and sea-bottom, has not taken part in the more recent crustal movements; since the upheaval which raised the Miocene sandstone formation in central Borneo to more than 1000 m. above the sea, no earth-movements have been recorded there, with the probable exception of the area immediately bordering the Strait of Macassar. In the eastern portion of the archipelago, where a complex topography of land and sea-bottom prevails, deep sea-basins have been formed by subsidence; and during the same time ranges of islands have been elevated above the sea by opposed movements which are probably still in course of progress."

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

l'érosion débite des nappes de recouvrement dont les débris passent, à l'état de sédiments détritiques, dans les sillons et dans l'avant-fosse, en attendant un nouvel empiètement des cordillères. Loin à l'arrière, au delà d'autres chaînes tertiaires qui englobent des fragments d'infrastructure ramenés au jour, c'est le vieux môle de l'Indo-Chine.

...

C'est le vaste dos des cordillères, lentement courbé par les force intérieurs, ébranlé de sismes innombrables, et façonné par l'érosion.[120] Ce sont les rangées volcaniques fumantes, et celles que l'âge a apaisées. C'est la ceinture des terrasses marines gauchies, des récifs coralliens soulevés, étagés en gradins. C'est la ligne éclatante des franges et des barrères, la lumineuse poussière des atolls, l'infini des mers bleues, et le joyeux tonnere des vagues brisées sur le rivage.» (ARGAND, 1916, S. 179 f.)

Ich glaube, daß die obigen Ausführungen genügen, Sie vom starken und direkten Einfluß MOLENGRAAFS auf ARGANDS *tectonique embryonnaire* zu überzeugen. Bald werden die Ideen ARGANDS einen ähnlichen positiven Einfluß auf die weiteren Entwicklungen in der Insulinde ausüben, den die dortigen Geologen seitdem mit Dankbarkeit immer zitiert haben.

Bis hierher ist also die *tectonique embryonnaire* von ARGAND nichts als eine von einem kritisch-rationalistischen Gesichtspunkt unter stark aktualistischen Gedanken weiterentwickelte Form der Ideen der großen, fixistischen, und meist positivistischen Ideen aus der Zeit um die Jahrhundertwende. Die Tethys taucht als HAUG'SCHE Geosynklinale auf, die durch kontinuierliche aber nicht gleichmäßige Einengung entstanden ist. Das heutige Abbild dieser Entwicklung glaubte ARGAND in der Insulinde durch MOLENGRAAFS Darlegungen wiedererzukennen.

ARGAND wurde aber bald (vielleicht gleich nach der Entwicklung der *tectonique embryonnaire*?[121]) mit der Theorie der Kontinentalverschiebungen von Alfred WEGENER (Abb. 58) vertraut. Er erkannte sofort die großen Schwierigkeiten, welche die Isostasievorstellung für die bisherigen Ideen über die kompressionale Entstehung der Geosynklinale mitbrachte.[122] Diese Theorie ermöglichte ihm, die Alpen beliebig zu verkürzen, solange man der Isostasie nicht widersprach, d. h. solange man unter Einengung Gebirge und Hochebenen erzeugt und nicht große und tiefe Becken (was SUESS nie akzeptieren konnte!). ARGAND konnte die geosynklinalen Versenkungen nur unter Annahme krustaler Zerrung erklären. Diese Neuerungen führte ARGAND bei seiner epochemachenden Rede

Abb. 58
Alfred Lothar WEGENER (1880-1930).

beim Internationalen Geologenkongreß in Brüssel ein, die zwei Jahre später unter dem Titel *La Tectonique de l'Asie* in den Comptes Rendus der Kongreß zur Veröffentlichung gelang:

«La vue classique [*d. h. die fixistischen Vorstellungen von ÉLIE DE BEAUMONT, DANA, HAUG, KOBER, STILLE*], jointe à celle des plis de fond, permet certainement des tours hardis. En voici un auquel j'ai pensé: que les méditerranées, les mers bordières et les océans soient tout simplement des synclinaux de fond. Ces géosynclinaux

---

[120] Diese und die folgende Zeilen von ARGAND erinnern stark an die Ausführungen von MOLENGRAAF:
"It appears that the elevation of the central portion of the island has been from the beginning somewhat stronger than that of the southern and northern coastal regions, the entire island thus forming a feebly curved arch of a large anticline.
...
During the prolonged period of recent elevation the running waters were obliged to cut their courses with strong and increasing gradients. Narrow, deep valleys, often true gullies (cañons), which are characteristic of the topography of the island, were formed. Numerous terraces are found along the courses of the rivers, both those rivers which have developed their system within the late Tertiary basins and those where the systems lay entirely outside of these basins. This proves that the entire island of Timor experienced the recent elevation, although not everywhere of the same extent." (MOLENGRAAF, 1913, S. 696 f.)
...
"In tropical regions generally, a coating of coral limestone is formed along an elevated coast as long as there are no causes to counteract or destroy the growths of successive fringing reefs during the period of upheaval.
This easily recognizable coating of coral limestone (series of fringing reefs in different levels, one above the other) in tropical regions affords an excellent criterion for deciding whether a coast has been elevated with reference to sea-level. Now, raised coral reefs have not been recorded in the entire western portion of the archipelago, that is, the land surrounding the Java sea where, according to my opinion, no important movements of the land relative to the level of the sea have taken place in the latest geological time. In the eastern portion of the archipelago with its complicated topography, where crustal movements have occurred, elevated coral reefs are found on the great majority of the islands." (MOLENGRAAF, 1913, S. 700).

[121] Herr Prof. Dr. Jean-Paul SCHAER hat mir am 9. 1. 1994 mitgeteilt, daß er unter dem handschriftlichen Nachlaß ARGANDS Bemerkungen gefunden hatte, nach welchem ARGAND bereits 1912 den Mobilismus zu lehren begonnen haben soll. Dies kann, selbst wenn es richtig wäre, nicht seine Wendung zu mobilistischen Ideen bedeuten, weil noch der *Sur l'arc des Alpes occidentales* von 1915 unter fixistischen Vorstellungen geschrieben wurde (vgl. Fußnote 114 oben und 124 unten), obwohl ARGAND auch damals viel mobilistischer als die meisten Fixisten war. Er schrieb ferner in *La tectonique de l'Asie*, daß „Depuis 1915 et surtout depuis 1918, j'ai longuement scruté le degré de crédibilité de la théorie des translations..." (ARGAND, 1924, S. 289), also er selbst sagt, daß er erst 1915 (wahrscheinlich nach der Präsentation der *Arc des Alpes Occidentales*) die Drifttheorie zu studieren begann). CAROZZI (1977) gab ein spätest mögliches Datum für die Konversion ARGANDS zu der Driftidee von WEGENER: ARGAND las am 3. November 1916 eine später nicht gedruckte Abhandlung über die Ideen WEGENERS vor der Société neuchâteloise des sciences naturelles (Bulletin de la Soc. Neuch. Sci. Nat., **42**, 115). Was LUGEON in seinem schönen Nachruf auf ARGAND schrieb, „Il était parti comme à peu près fixiste et je puis en témoigner. Il l'était encore quand je revins de Pologne [d. h. im Herbst 1923!]" (LUGEON, 1940, S. 44) kann nicht wahr sein und der ganze Absatz, in welchem sich dieser Satz befindet, ist vielleicht als LUGEONS Versuch zu interpretieren, ein Teilchen der Gloire von ARGAND auf sich kommen zu lassen.

[122] Zur gleichen Zeit kam auch MOLENGRAAF zu ähnlichen, von den Ideen WEGENERS inspirierten Gedanken. Für eine frühe und interessante mobilistische Schrift von MOLENGRAAF vgl. MOLENGRAAF (1916).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

d'un nouveau genre[123], formés par compression latérale et devenant le siège de compressions latèrales plus particulières, créatrices de chaînes, expliqueraient sans doute bien des choses: on ne peut s'empêcher de penser aux guirlandes de tout site, aux Océanides et aux crêtes allongées qui sinuent au milieu de l'Atlantique et dans la partie occidentale de l'Océan Indien. Cette conception mène tout droit à l'idée de la continuité et surtout de l'universalité du plissement, qui devient la seule affaire[124]. En effet, à considérer de ce point de vue le milieu clos formé par la planète entière, on embrasse d'un coup, en droit, la totalité des aspects horizontaux et des aspects verticaux du jeu. Il devient tout-à-fait vain de se demander si les mouvements radiaux suivent ou précèdent originairement les mouvements tangentiels, et quels rapports les uns soutiennent avec les autres: cette question, débattue par des générations de géologues, conserve sa légitimité aux echelles parcellaires, mais n'a plus de sens à l'égard du tout. L'inaptitute des milieux plastiques à transmettre, au-delà d'une certaine distance, un effort utile, n'est pas un obstacle invincible, à la condition d'admettre dans les hauts, pour les fonds océaniques, le genre d'hétérogénéité que révèlent avec certitude les fonds continentaux. La vue clasique, ainsi renouvelée, serait susceptible de longs enrichissements, et il se passerait du temps avant qu'on en voie le bout. Malheureusement pour tout cela, il ya l'isostasie, et nous verrons qu'il a plus.» (ARGAND, 1924, S. 291).

Die neue Deutung der Entstehung der Geosynklinale und anderer Meeresbecken und ihrer endgültigen Vernichtung durch die Orogenese beschrieb ARGAND mit folgenden, für die Deutung der Geschichte der Tethys sehr wichtigen Worten:

«La théorie mobiliste a quelque peu négligé la notion de géosynclinal. Il convient donc d'esquisser un raccord. Un géosynclinal résultera en général, d'une *traction* horizontale qui étire le radeau de sal. L'étirement est d'abord plus aisé dans les profondeurs du sal que dans les hauts, où peuvent naître des fissures d'extension. En s'amincissant, le sal descend et se creuse: L'affaisement inhérent à la fonction géosynclinale n'est donc pas demandé à un jeu radial originaire: il n'est que l'effet verticale d'une distension horizontale. La surcharge des dépôts concourt, il va de soi, à accentuer l'alvéole, mais elle n'est pas nécessairement le fait primitif. Jusqu'à compensation, le sima monte sous le sal aminci: ce jeu rend compte de la fréquente association de roches vertes à des sédiments bathyaux ou abyssaux. Le mélange[125] des derniers avec des depôts de moindre profondeur se fait par des glissements sous-marins sur déclivité. Les pieds-droits de la zone amincie, qui ont conservé l'épisseur normale du sal, sont les serres du géosynclinal. La compression vient-elle à remplacer la traction, les serres se rapprochent et le jeu géosynclinal classique avec son plissement embryonnaire par cordillères, sillons et avant-foses véritables, commence: la concluson, presque toujours, es la mise en place de deux chaînes géosynclinales à déversements opposés.

...

Le jeu géosynclinal ordinaire est donc, dans son principe, un tronçonnement lenticulaire incomplet du continent; quand le tronçonnement est complet, la condition océanique apparaît.» (ARGAND, 1924, S. 299; siehe auch seine Abb. 19, 19 bis [hier reproduziert als Abb. 59]).

Trotz des mobilistischen Grundtenors, könnte man nach diesen Sätzen immer noch behaupten, daß ARGAND sich immer noch nicht von der Schraubstocktheorie ÉLIE DE BEAUMONTS befreien konnte. Eine solche Deutung der oben zitierten Sätze zeigt eigentlich, wie stark wirklich der Einlfuß der ÉLIE DE BEAUMONT'SCHEN Vorstellung gewesen ist.

Dies aber gälte nur solange, als man von Geosynklinalen redet – sei es im Rahmen einer fixistischen oder mobilistischen Theorie der Gebirgsbildung. Sobald man durch Zerrung einen Ozean anstatt einer Geosynklinale erzeugt, braucht die Schraubstocktheorie nicht mehr zu gelten. Im oben gegebenen Zitat habe ich einen Absatz weggelassen, in dem ARGAND diese Sachlage bespricht. Wir sollen vielleicht aber zuerst die Beispiele besprechen, die ARGAND von eigentlichen Kontinentalrandorogenen im Bau der heutigen tethysischen Kettengebirge gefunden zu haben glaubte.

Alle großen orogenen Gürtel Eurasiens interpretierte ARGAND als Folgen kontinentaler Kollisionen (Abb. 60). Diese Kollisionen erfolgten entlang Suturzonen, die durch Reste von Tiefseesedimenten und Ophiolithen gekennzeichnet wären. Bei der Betrachtung der Suturzonen erkannte ARGAND zwei Varietäten. Die eine bestand aus einer an gewissen Stellen mit Ophiolithresten überzogenen Schubfläche, an welcher sich die zwei Kontinente berührten und die im Detail sehr komplex deformiert sein konnte (Abb. 61, alle Profile). Dieser Typus

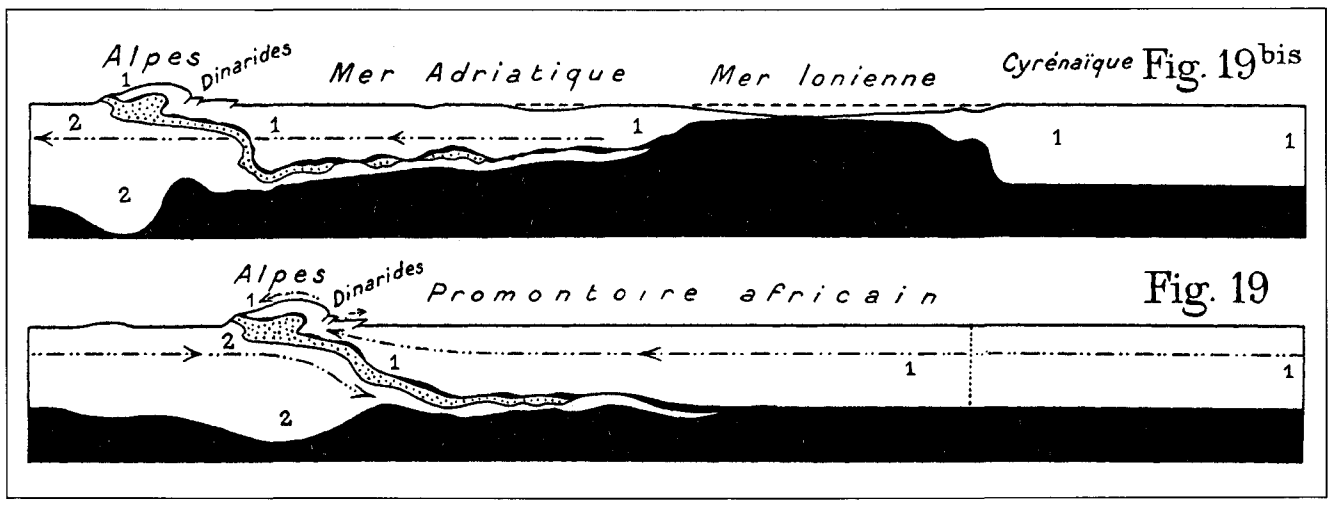


Abb. 59
Entstehung der Geosynklinalen und Ozeanbecken durch krustale Zerrung, erläutert am Beispiel des ionischen Meeres von ARGAND (1924, Abb. 19 & 19 bis).

[123] Es ist mir nicht klar warum ARGAND diese vom lateralen Druck als Synklinale erzeugten Becken als *géosynclinaux d'un nouveau genre* betrachte. Schon ÉLIE DE BEAUMONT dachte dasselbe und später verteidigten DANA, HAUG und STILLE explizit diese Idee.

[124] Die bisher beschriebenen Ideen waren die leitenden Ideen des *Sur l'arc des Alpes occidentales* von 1915 (publiziert 1916) und zeigen, daß ARGAND noch damals mit den „klassischen Begriffen" zu arbeiten versuchte, wie ich in der obigen Fußnote 121 gesagt habe.

[125] Ich glaube, daß es ein Zufall ist, daß ARGAND hier das französiche Wort *mélange* benützt für einen Gesteinsverband, den wir auch heute in allen Weltsprachen nach der noch früheren Benützung von GREENLY (1919, bes. S. 65 ff. und 193 ff.) Mélange nennen. Nach seiner Beschreibung hier wäre es völlig berechtigt ARGAND als der Schöpfer des Begriffes *ophiolitischer Mélange* zu betrachten.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

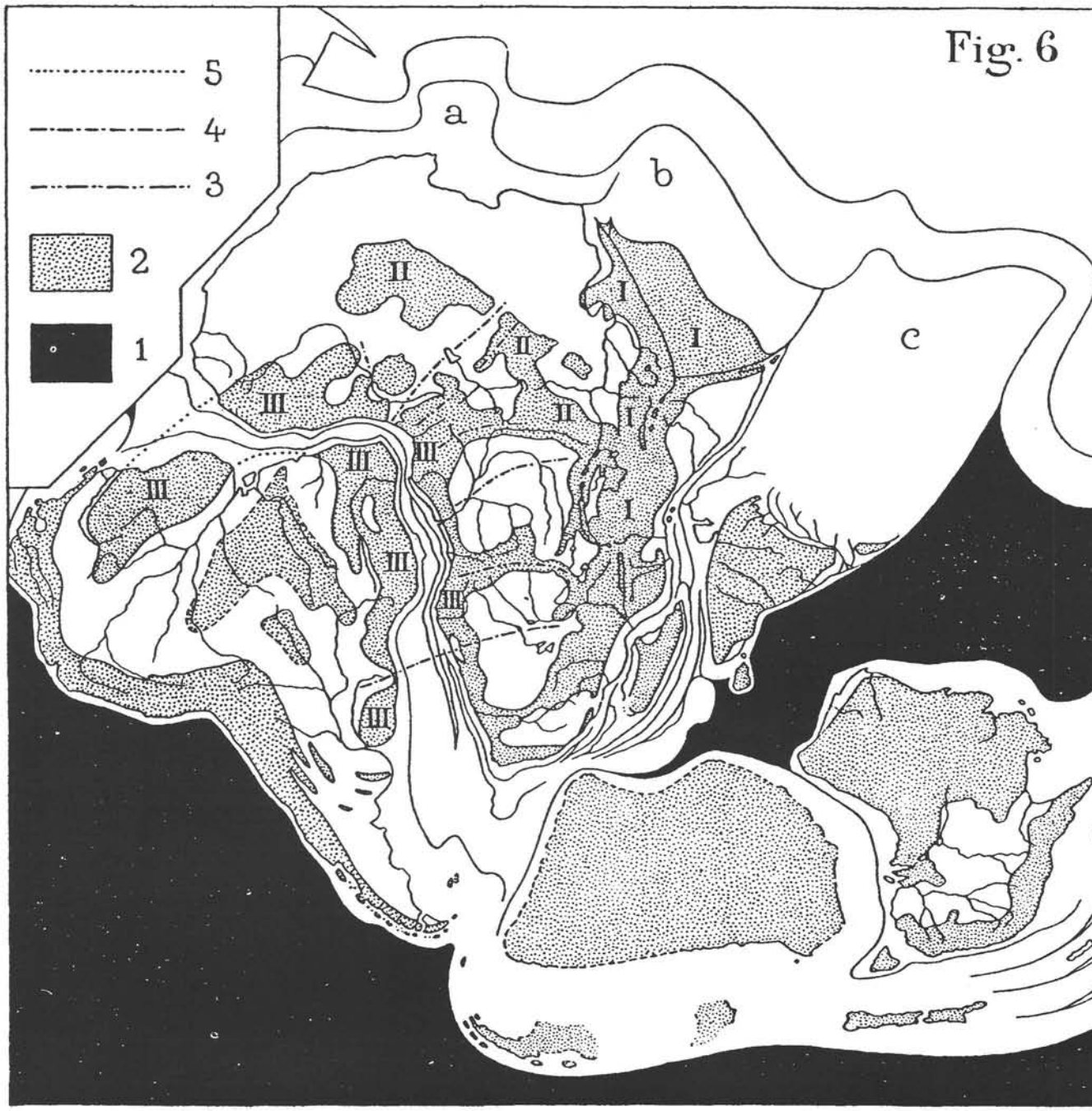
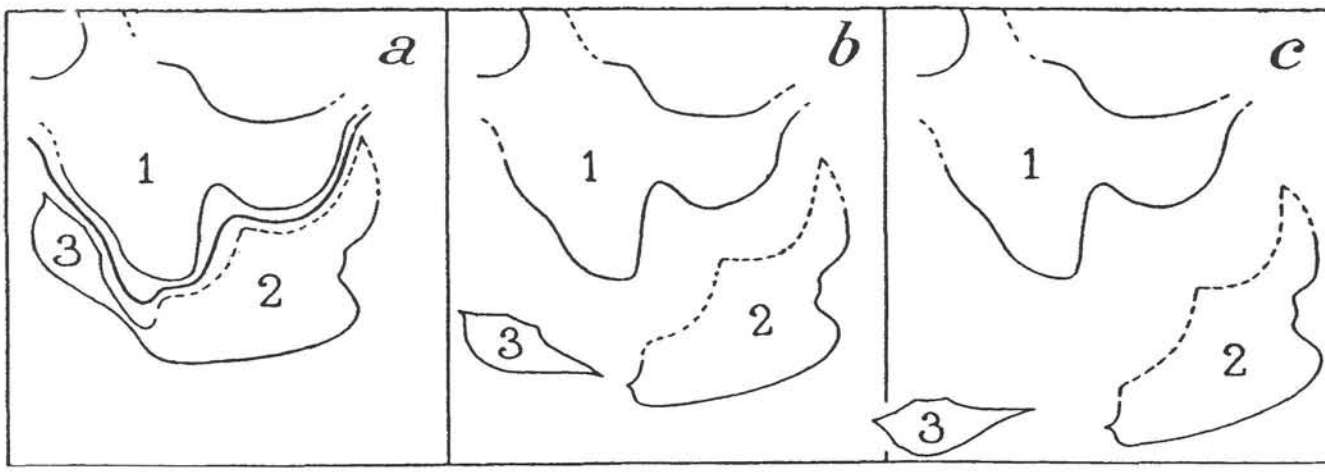
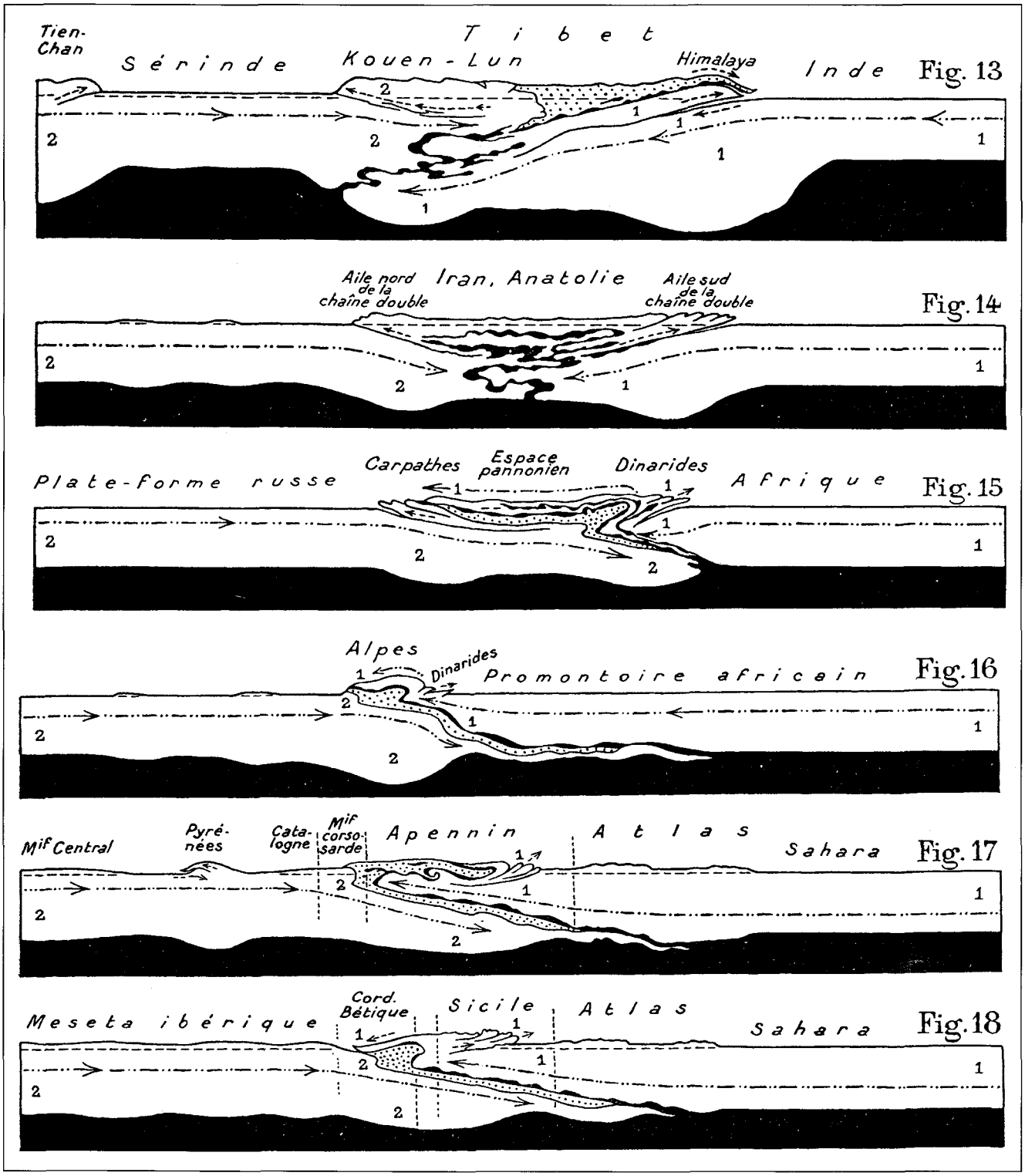


Fig. 6



© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



← Abb. 60
Innereurasiatische Gebirgsgürtel als Produkte kontinentaler Kollisionen (aus ARGAND, 1924, Fig. 6). Man beachte die Geosynklinalform der Tethys und die enorme Länge der kontinentalen Zunge, die ARGAND nördlich von Indien zeichnen mußte, um die Geosynklinalform der Tethys zu bewahren. In der Rekonstruktion des Gondwana-Landes, ist 5 Verbindungslinie, 4 Achse der Großsynklinalen, 3 Achse der Großantiklinalen, 2 Kontinentalsockel, 1 ozeanische Kruste. In a, b und c ist 1 Angara-Land, 2 Sinia und 3 Serindia (=Tarim).

Abb. 61
Querschnitte durch verschiedene Segmente des tethysischen Großorogens von ARGAND (1924, Figs. 13-18), welche die Vorstellung ARGANDS von der Geometrie der tethysischen Synaphien in der Tiefe zeigen. 13. Profil durch die Himalaya und Tien-Schan, 14. Profil durch die Ketten des mittleren Ostens, 15. Profil durch die Pannonische Tiefebene samt den Dinariden und den Karpaten, 16. Profil durch die Alpen, 17. Profil durch den Apennin, 18. Profil durch die Betischen Kordilleren und den Atlas. In allen Profilen (mit Ausnahme von Anatolien und Iran) hat ARGAND immer eine gewisse Menge akkretiertes ozeanisches Material gezeichnet.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

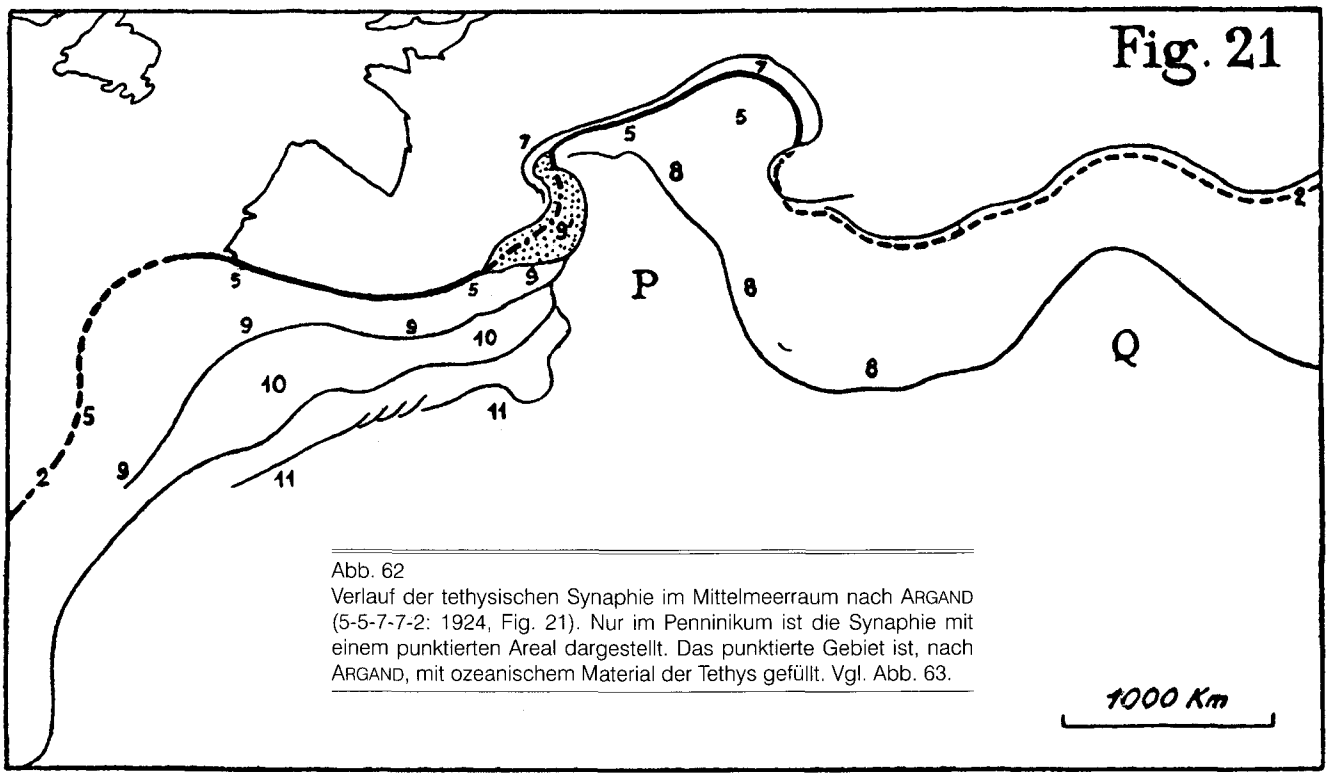


Abb. 62
Verlauf der tethysischen Synaphie im Mittelmeerraum nach ARGAND (5-5-7-7-2: 1924, Fig. 21). Nur im Penninikum ist die Synaphie mit einem punktierten Areal dargestellt. Das punktierte Gebiet ist, nach ARGAND, mit ozeanischem Material der Tethys gefüllt. Vgl. Abb. 63.

kennzeichnete die Suturzonen, die aus den schmalen („geosynklinalen") Teilen der Tethys hervorgegangen waren (ARGAND, 1924, Fig. 21 [hier Abb. 62]). Die zweite Varietät erkannte ARGAND sowohl in Teilen der Penninischen Einheiten der Alpen (ARGAND, 1924, Fig. 21 [hier Abb. 62] und Fig. 26 [hier Abb. 63]) als auch im Bau des Kuen-Lun im nördlichen Tibet (Abb. 27, Fig. 13 [Abb. 61-13 & 64 hier]). Dieser Typus bestand aus einer Zone mit wechselnder Breite subparallel zum Streichen, die mit von Ozeanböden durch die driftenden Kontinentalschollen weggekehrten Sedimenten und Rindenteilen (d. h. Ophiolithresten) gefüllt war. Um die Erfahrungen im Kuen-Lun erklären zu können, schrieb ARGAND folgendes:

«On conçoit, en effet, qu'un géosynclinal ordinaire, c'est-à-dire point trop large et dont les deux serres sont de niveau, donne naissance à une chaîne double à ailes opposées; on ne le conçoit pas, ou mal, d'un dispositif trop large. Il est donc vraisemblable qu'en des temps paléozoïques, le centre de ce qu'on appelle la Téthys ressemblait plus, entre l'Inde et la Sérinde, à un océan qu'à un bras de mer, et que le jeune Kouen-Lun, né d'un talus continental qui de la Sérinde s'abaissait vers la mer ouverte, ressemblait en ses jeux à nos chaînes circumpacifiques, bien plus qu'à une moitié de chaîne double sortant d'un géosynclinal» (ARGAND, 1924, S. 244; Abb. 64 hier).

An einer früheren Stelle schrieb er:

«L'espace indo-sérindien, trop large peut-être, en ces temps reculés, pour être taxé de géosynclinal, a vu naître tout contre la Sérinde des plis antédévoniens suivis de plis hercyniens: ce bourrelet complexe était le matière du futur Kouen-Lun. Le reste de l'espace, au sud, a subsisté comme Téthys alpine» (ARGAND, 1924, S. 243 f.).

Hier sehen wir zum erstenmal bei ARGAND, daß die ÉLIE DE BEAUMONT'SCHE Schraubstocktheorie hinfällig wird und das Modell der Gebirgsbildung von SUESS in Verwendung kommt! Mit diesem Modell inspirierte SUESS nicht nur ARGAND, sondern auch einen Anderen, einen großen Landsmann, Otto AMPFERER.

Das Modell von SUESS, das hier gemeint ist, ist seine Erklärung des Baus der Altaiden in Zentralasien:

„Man mag irgend einen einzelnen Gebirgszug, wie den Kaukasus, die Karpathen, die Pyrenäen oder die Appalachien ins Auge fassen und sich die Frage vorlegen, ob sein Bau ein symmetrischer oder asymmetrischer sei, nach welcher Seite sein Vorland liege, ob er in mehrere Kulissen zertheilt sei usw. Die einzelnen Höhenzüge des alten Scheitels gestatten eine solche Prüfung nicht. Sie verdanken ihre äussere Gestalt wie ihren Bau einem sehr allgemeinen und ausgedehnten Vorgange der Faltung..." (SUESS, 1901a, S. 246)

„Es gibt aber in Inner-Asien andere Gebirgsketten, hoch aufragend in die Schneeregion, jünger als der alte Scheitel und von abweichender Richtung. Sie sind zuweilen so dicht gedrängt, dass auf weite Strecken ihre Talböden die absolute Höhe von 4000 M. und noch mehr behaupten, und dass sie gewaltige, gemeinsame Erhebungen darstellen, über welchen die relative Höhe der Schneegipfel eine verhältnismäßig geringe ist. Der mittlere Kuen-Lun ist dafür ein Beispiel. Aber wo immer diese gewaltigen Gebirgsmassen von tiefen Quertälern durchschnitten sind, wie z. B. zwischen Min-tshou und dem rothen Becken, bemerkt man doch nur gedrängte Falten, und wenn der ganze mittlere Kuen-Lun abgetragen wäre bis zur Meeresfläche, so würde er auch kein wesentlich anderes Bild darbieten wie der alte Scheitel, nämlich zahlreiche parallele Falten, da und dort unterbrochen durch die breiter gewordene Grundlage einer granitischen Masse. So ist auch die östliche Gobi ein Meer von mehr oder minder abgetragenen Falten.

In diesen gedrängten Faltensystemen besitzen auch die einzelnen Ketten nicht jenen Grad von Individualisierung, welchen man bei dem Kaukasus und ähnlichen Ketten antrifft, und so kommt es, dass wir z. B. im Nan-shan hinter einander Ketten bald von Gneiss und bald von sedimentären, z. B. carbonischen Sedimenten treffen, welche man begreift, sobald sie als zusammengehörige Wellen einer gemeinsamen Bewegung aufgefasst werden, deren verschiedenartige Zusammensetzung aber unverständlich wird, sobald man sie gesondert betrachten will. Diese Gemeinsamkeiten der Bewegung bringt es mit sich, dass innerhalb dieser Ketten der Gegensatz zu einem fremden und anders gebauten Vorlande fehlt, welcher in den Alpen und im Himálaja vorhanden ist. Es ist der Unterschied zwischen den Wogen der offenen See und der Brandung am Ufer." (SUESS, 1901a, S. 247 f.)

Es steht außer Zweifel, daß ARGAND in seiner Deutung des Kuen-Lun als akkretioniertes Sedimentpaket diese Zeilen von SUESS im Kopf hatte. Diese Darlegung, die Wellen-Metapher von SUESS, wurde von seinen Kober-Stilleanischen Gegnern absurd gefunden, weil sie bei einem Schraubstockmodell

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

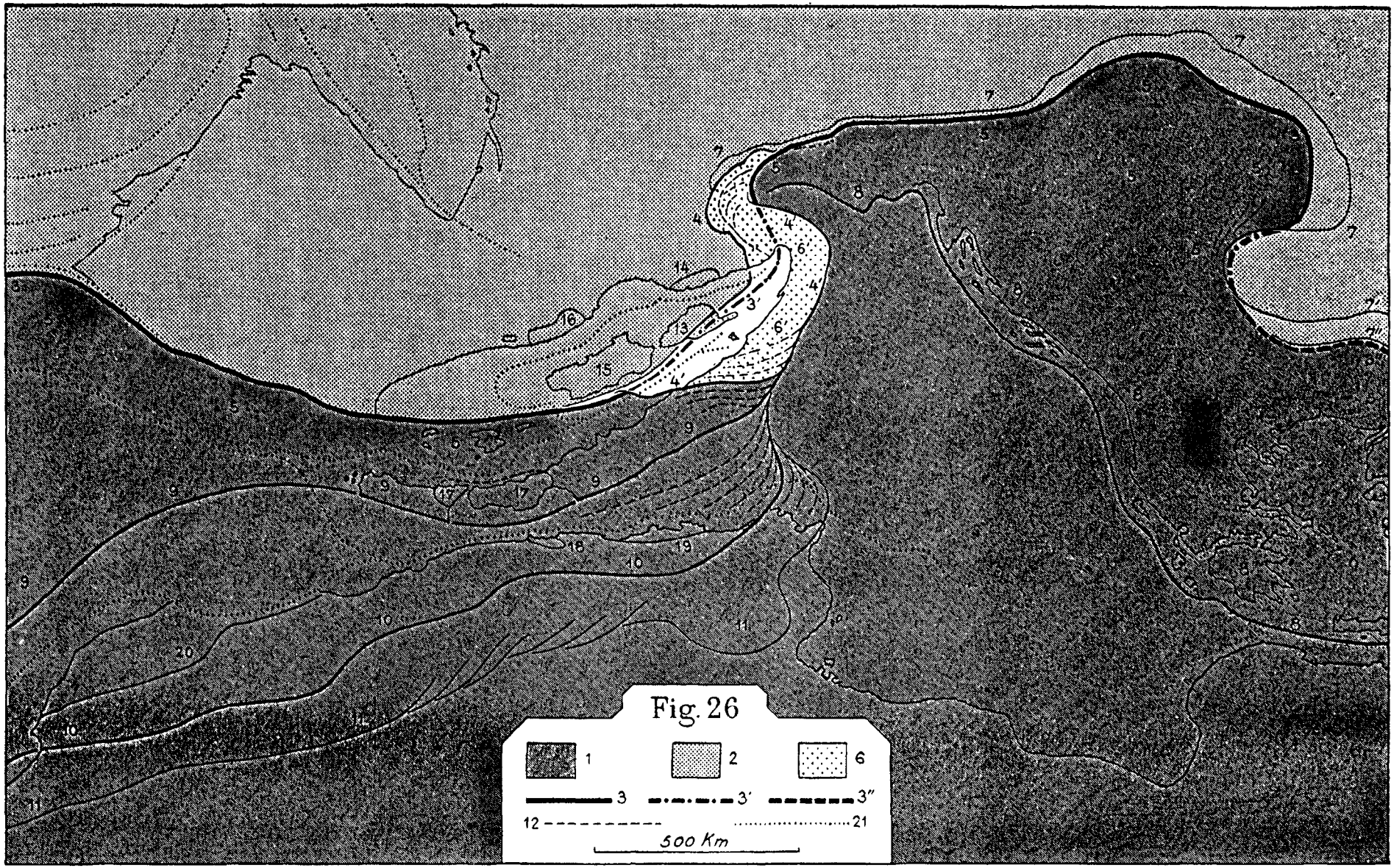


Abb. 63
Verlauf der tethysischen Synaphie im Mittelmeerraum nach ARGAND (1924, Fig. 26). Erklärung 1. Gondwana-Land; 2. Eurasien, noch mit Nordamerika verbunden; 3, 3', 3". Nordfront Afrikas *(d. h. die tethysische Synaphie);* 6. Penninische Decken nicht überschoben von anderen Einheiten; 4, 5 & 7-21: verschiedene tektonische Einheiten und Strukturdetails im Mittelmeerraum. Man beachte hier den Unterschied zwischen Suturlinien und Suturzonen!

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

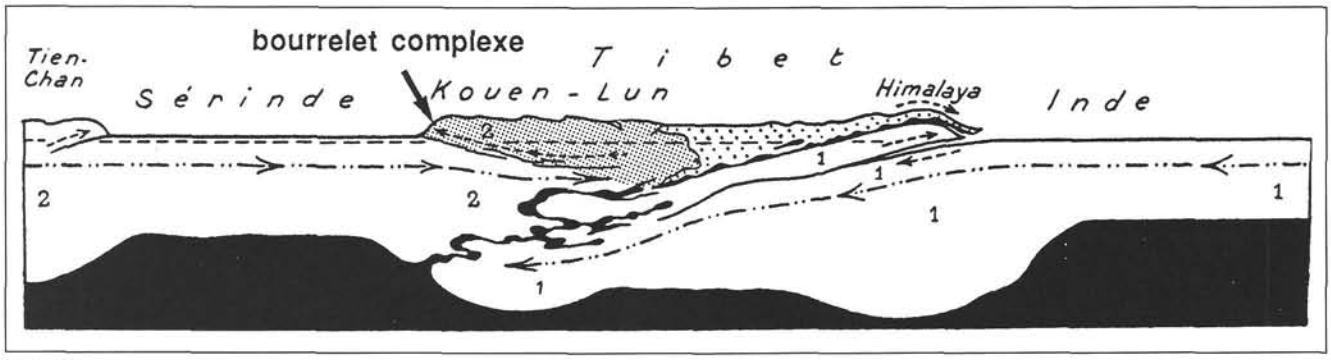


Abb. 64
ARGANDS Vorstellung der internen Struktur von Tibet. Querprofil (aus ARGAND, 1924, Fig. 18; hier Abb. 61) vervollständigt von ŞENGÖR & OKUROĞULLARI (1991, Fig. 4) nach den Ausführungen von ARGAND selbst (ARGAND, 1924, S. 243-244; vgl. ŞENGÖR & OKUROĞULLARI, 1991, S. 545) über „das komplexe Kissen" *(=bourrelet complexe* von ARGAND, 1924, S. 244), das aus ozeanischem und Kontinentalfußmaterial besteht. Das komplexe Kissen betrachtet ARGAND als einen Akkretionskeil im Rahmen der Drifttheorie von WEGENER.

nicht erklärbar war (vgl. insbesondere TIETZE, 1917, S. 469 f. und Fußnote 1 auf S. 469[126]). ARGAND dagegen verwarf das Schraubstockmodell und ersetzte ihn mit einer Tektonik der Akkretion an der Stirn driftender Kontinentalschollen (vgl. besonders ŞENGÖR & OKUROĞULLARI, 1991[127]). So wurde das sehr zutreffende Modell von SUESS der dynamisch selbständigen einseitigen Gebirge wieder aktuell während der Schraubstock nur bei kontinentalen Kollisionen verwendet wurde:

«La traction continue-t-elle, au lieu de céder le pas à la compression, le sal finit de s'étirer et le sima apparaît au fond de l'alvéole. Sur les diamétres où cela arrive, la condition géosynclinale fait place à la condition océanique; si le fait se généralise, il n'y a plus qu'un océan. Qu'en cet état ou un peu avant, alors que le sal n'est que très aminci, survienne un rapprochement: faute de synergie, il se constituera un ou deux trains de chaînes liminaires, de jeu circumpacifique, et non la double chaîne de type géosynclinal. Le rapprochement continuant, ce dernier type s'établira par degrés, et peut-être parviendra-t-il à prédominer; mais des traces de la condition simplement ou doublement liminaire persisteront, voilées.» (ARGAND, 1924, S. 299).

Einige Zeitgenossen ARGANDS, darunter Walther STAUB, haben die Bedeutung dieses wichtigen Wechsels der Deutung für die Einengungstektonik der Orogenesen als Anfang einer neuen Epoche in der globalen Tektonik sofort erkannt. In seiner Besprechung von *La Tectonique de l'Asie* schrieb STAUB: „Im letzten Kapitel (XXXI) wird dargetan, daß die Theorie der Kontinentalverschiebung als Spezialfall der Rahmenfaltung, also eines altbekannten Prinzips der klassischen Tektonik, aufgefaßt werden kann, wobei das Sima als Rahmen für das Sial, die eingerahmte Masse, wirkt. Das ist wohl die kühnste Aussage des ganzen Werkes und vielleicht der Anfang einer neuen Betrachtungsweise" (STAUB, 1926, S. 6). Somit wurde anerkannt, daß man für orogene Einengung kein Schraubstockmodell brauchte, bei dem die Backen aus kontinentalem Material bestehen mußten. Diese Vorstellung führte dazu, daß die Betrachtung der Tethys als eine zusammenhängende Einheit, wie sie bei der Geosynklinalhypothese nötig war, nicht mehr nötig war.

Auch eine gewisse Unregelmäßigkeit in der sog. „geosynklinalen" Entwicklung mußte mit der mobilistischen Vorstellung ins Spiel kommen. Die frühere, durch Erdkontraktion verursachte monodirektionale Einengungstektonik während der ganzen Geosynklinalentwicklung mußte durch eine von der Kinematik willkürlich driftender Kontinentalschollen diktierte multidirektionale Tektonik mit Zerrungs-, Einengungs- und Scherbewegungen ersetzt werden (vgl. WEGENER, 1922, Fig. 33 [hier Abb. 65]). Trotz des gewaltigen geistigen Sprungs, den *La Tectonique de l'Asie* bedeutete, sehen wir darin noch keine eindeutige Formulierung dieser unumgänglichen Implikation der Drifthypothese. ARGAND unternahm die Bearbeitung dieser Implikationen erst in seiner letzten großen Arbeit, *La Zone Pennique*, die er für den bei Anlaß der 50sten Jahresfeier der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft 1934 herausgegebenen *Geologischen Führer der Schweiz* schrieb (vgl. ŞENGÖR, 1982c).

In dieser Arbeit ist die *tectonique embryonnaire* des *Sur l'arc des Alpes occidentales* zwar beibehalten aber mit wesentlichen Modifikationen. Diese entgingen beinahe ein halbes

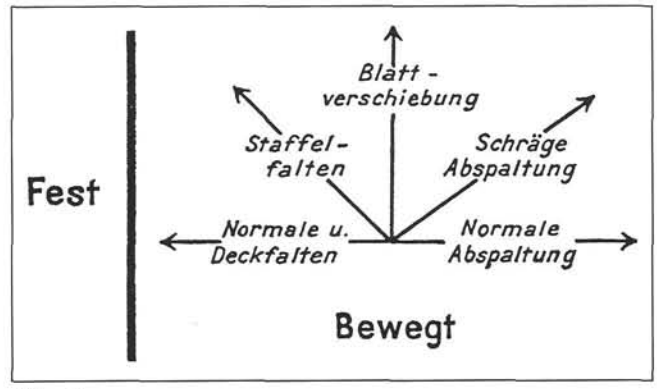


Abb. 65
WEGENERS Darstellung der möglichen Relativbewegungen zwischen zwei Schollen und die daraus sich entwickelnden Hauptstrukturkategorien (WEGENER, 1922, Abb. 33). Eine volle Würdigung des ganzen kinematischen Potentials der Drifttheorie bei ARGAND sehen wir erst in seiner *La Zone Pennique* vom Jahre 1934 und das auch nur implizit.

[126] Besonders in dieser Fußnote wird es klar, daß TIETZE entweder SUESS gar nicht verstanden hatte oder ihn nicht verstehen wollte. Genau wie LÖWL vor ihm, versuchte er aus einer Metapher eine Theorie der Gebirgsbildung in den Mund von SUESS zu legen. Wie bei LÖWL zeigt eine sorgfältige Lektüre dieser sehr oberflächlichen und mit Mißverständnissen überfüllten Schrift auch, daß TIETZE einige sehr wichtige Schriften von SUESS gar nicht gelesen haben kann!

[127] Ich möchte hier noch erwähnen, daß ARGAND selbst, vielleicht dem Beispiel seines Lehrers LUGEON (1902, S. 773) folgend, die Wellen-Metapher von SUESS mit Vorliebe benützte: „Le rôle des massifs hercyniens se traduit très nettement par la production de plis à arrêst force; les têtes frontales cherchent à remonter vers la surface comme pour franchir l'obstacle (gneiss de Ganter). La naissance dans les nappes de replis à déversement sud est due également au serrage contre les masisfs hercyniens. Ce sont des vagues en retour" (LUGEON & ARGAND, 1905a, S. 1492). Nach vielen Jahren schrieb er wieder: «Du fond de l'immensité bleue, les vagues accourent, déferlent et grondent: elles disent la belle fugacité des apparences, le balancement mesuré des choses. Sous nos pieds, des vagues moins agiles se pressent dans la profondeur noire. Loin à l'arrière, jusqu'au cœur du continent, d'autres et d'autres vagues encore, épuisées par le temps, figées dans la splendide torpeur des vieilles chaînes, sont ranimées aux prix d'efforts immenses par les lourdes vagues de fond» (ARGAND, 1924, S. 329).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Jahrhundert der Fachwelt. Erst ich lenkte die Aufmerksamkeit der Geologenschaft darauf (ŞENGÖR, 1982c). Die hauptsächlichen Änderungen betreffen die extensionale Entstehung der alpinen Geosynklinale erst während der Trias (d. h. nicht mehr im späten Paläozoikum) und ihre Entwicklung mit alternierenden aber lokalen Phasen von Zerrung und Kompression, bis zum Paroxysmus, als die Kompression die Alleinherrschaft übernahm (d. h. keine kontinuerliche Einengung mehr seit dem Karbon). ARGANDS letzten, uns bekannt gewordenen Ideen über die Entwicklung des westlichen Teiles der Tethys sind folgende:

«J'ai montré ailleurs (*As*. 1924, p. 299) qu'un géosynclinal se forme par distension, et que son évolution ultérieure est régie par des alternances de compressions et de distensions, jusqu'à la compression définitive qui est le paroxysme.

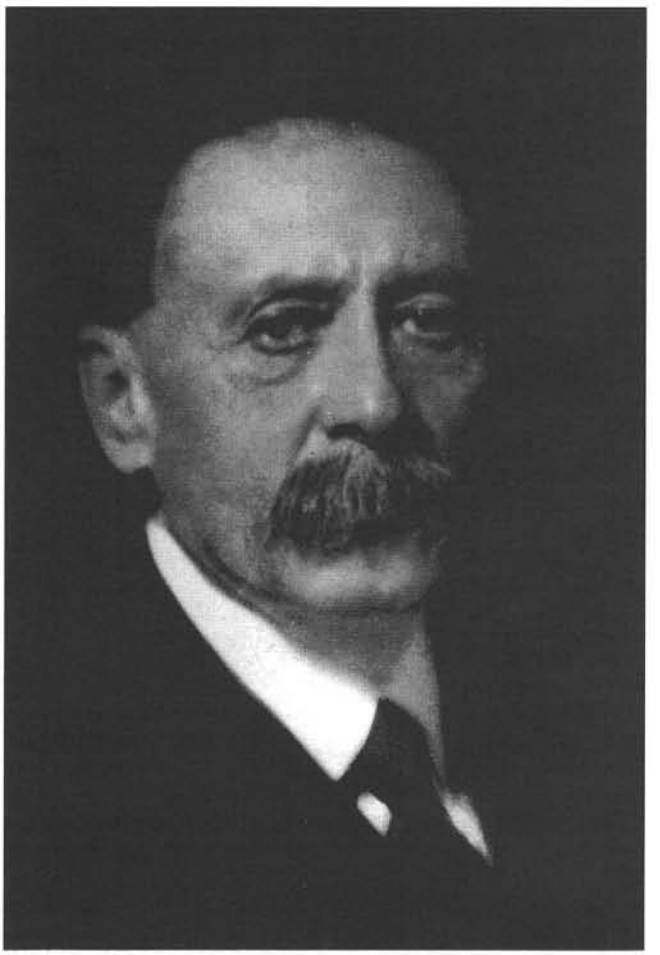
Ce sont des distensions qui, au début du Trias moyen, ont rétabli un géosynclinal d'ordre supérieur. Les restes non émérgés du géosynclinal hercynien s'y sont trouvés incorporés. Le concours de ces deux facteurs a permis au faciès schistes lustrés de s'établir dans les sillons du géosynclinal dès le Trias moyen, et d'y persister pendant le Trias supérieur. Pendant le Lias, les distensions s'accentuent et l'ensemble s'approfondit; les schistes lustrés continuent à se déposer dans les régions les plus déprimées, mais ils s'étendent en outre, dans le sens transversal, sur de grandes régions à Trias calcaire. Un ou plusieurs épisodes de compression s'intercalent pendant le Lias. Je ne puis songer àmentionner ici toutes les alternance de jeux plicatifs et de jeux distensifs. Il suffira de relever les distensions qui, au Jurassique supérieur, ont creusé certains sillons au point qu'il s'y est déposé des radiolarites.

Sillons et cordillères ont été façonnés et refaçonnés, pendant les temps antérieurs au paroxysme, par les jeux alternants des distensions et des compressions.

Les jeux plicatifs, qui l'ont emporté au total, continuent, vers la fin des temps précurseurs, à s'accentuer, et l'on passe ainsi au paroxysme.» (ARGAND, 1934, S. 182).

Dies ist alles was ARGAND dem Ideenschatz der Tethysforschung im 20. Jahrhundert hinzufügte bzw. wiedereinführte. Tethys als Ozean betrachtet, brauchte nicht mehr ein einziges Orogen erzeugt haben zu müssen! Man hätte innerhalb der Tethys kleinere, einseitige Gebirge von verschiedenem Alter und durch verschiedene dynamische Ursachen erzeugen können. Das alles aber hat ARGAND nicht betont. Obwohl er ganz explizit die dynamische Selbständigkeit der einseitigen Gebirge, wie der Kuen-Lun war, besprach, gebrauchte er diese Selbständigkeit bei der Entwicklung der Tethys nicht. Er schreibt zwar oft von den ozeanischen Dimensionen der Tethys zwischen Serindien und Indien. Seine Abbildung der Rekonstruktion des Gondwana-Landes und der Tethys zeigt aber, daß er die Tethys immer noch als eine HAUG'SCHE Geosynklinale sah, aus welcher eine *chaîne double* herausgepresst wurde (Abb. 60 & 61). Es ist mir aus der Geschichte der Tektonik im 20. Jahrhundert kein anderer Fall bekannt, welcher so klar die Entwicklung hemmende Effekte der Geosynklinaltheorie zeigen könnte.

Andere versuchten, von der Geosynklinalvorstellung unabhängige einseitige Gebirgsmodelle zu entwickeln. Zwei Österreicher und ein Engländer waren dabei die Erfolgreichsten. Die von diesen Forschern entwickelten Modelle erscheinen uns auch heute noch sehr modern.



Otto Ampferer.

Abb. 66
Otto AMPFERER (1875-1947).

Otto AMPFERER (Abb. 66), einer der originellsten und größten Theoretiker in der Geschichte unserer Wissenschaft[128], hat als erster dieser Frage seine Aufmerksamkeit gewidmet. Ein echter kritischer Rationalist ist AMPFERER unter den wenigen großen Tektonikern, die uns ihre philosophischen Überzeugungen in schriftlicher Form hinterlassen haben. AMPFERER benützte immer die hypothetisch-deduktive Methode in seinen Forschungen. „Die Art, wie er dabei [*d. h. bei seinen theoretischen Überlegungen über die Mechanik der Gebirgsbildung*] vorging, hat manchmal Befremden erregt: er pflegte nämlich nicht die Naturbeobachtung voranzustellen, sondern Deduktionen vor allem geometrischer Art. Dies bedeutet jedoch nur die konsequente

[128] Otto AMPFERER war ein Geologe, der in keiner Weise den Wiener Giganten nachstand. Er war zugleich ein ausgezeichneter Feldgeologe und erstklassiger Theoretiker der Tektonik, den man ohne Bedenken neben ARGAND stellen konnte. Er gehörte aber nicht der Wiener Schule an und in seinen Forschungen war er meist ein Einzelgänger, obwohl die Mehrzahl seiner Ideen als natürliche Entwicklungen der Ideen von SUESS angesehen werden können (hierin auch vergleichbar mit ARGAND), trotz seiner wiederholten und unberechtigten Behauptung, seine Vorstellungen wären gegen diejenigen von SUESS. Sein Einfluß ist aber erstaunlich gering gewesen und er mußte nach der Revolution der Plattentektonik als einer ihrer Wegbereiter wiederentdeckt werden (z. B. DAVIS et al., 1974; ŞENGÖR, 1977; THENIUS, 1980, 1988). Diese Sachlage ist wohl dem zuzuschreiben, daß er niemals eine Lehrkanzel bekleidete und seine theoretischen Schriften den Eindruck auf Uneingeweihte übten (meist wegen der nicht sehr schönen Abbildungen und der trockenen Schreibweise – ein frappanter Gegensatz zu den fast künstlerischen Illustrationen und poetischen Schriften von ARGAND), als ob sie von der Realität der Geologie herausgerissene Spekulationen wären. Ich besitze, z. B. das mit handschriftlichen Randbemerkungen gefüllte persönliche Exemplar eines Sonderabdruckes der 3. Fortsetzung der AMPFERER'SCHEN *Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen* von dem großen Schweizer Geologen Albert HEIM. Auf S. 345 hat er neben AMPFERERS Darstellung der verschluckungsbedingten Sedimentabscherung der unteren Platte „Phantasie" geschrieben. AMPFERER litt also auch massiv unter demselben Nachteil wie die meisten Wiener Giganten und ARGAND. Er war seiner Zeit zu weit voraus! Für die Geschichte seines mit Wissenschaft überfüllten Lebens vgl. von KLEBELSBERG (1947), CORNELIUS (1946-1948) und GÖTZINGER (1947: Grabrede).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Anwendung der Erkenntnis, die er einmal ausgesprochen: ‚Die Natur gibt ihrem Prüfer höchstens auf so viele Fragen Antwort, als er ihr zu stellen vermag. Wer daher mit einem reicheren Vorrat überlegter Möglichkeiten herantritt, wird unter sonst gleichen Bedingungen eine vollere Ernte an Beobachtungen zu erwarten haben[129]'" (CORNELIUS, 1946-1948, S. 210). Die Rolle der Kritik in diesem Vorgang hat AMPFERER völlig erkannt: „In Wirklichkeit sind auch zahlreiche Änderungen im Aus- und Umbau aller tektonischen Hypothesen vor allem durch die Kritik erzwungen worden. Und so halte ich auch diese ebenso gut für ein Werkzeug des Fortschrittes als das Herbeitragen und Vermehren des geologischen Beobachtungsmaterials" (AMPFERER, 1928, S. 353). Auch aufgrund dieser Einstellung glaube ich, berechtigt zu sein, ihn als Vertreter der Wegener-Argand-Schule zu nennen.[130]

Ampferer begann 1906 mit dem Beweis der Unzulänglichkeit der Kontraktionshypothese für die Erklärung irdischer Tektonik. Mit sehr einfachen geometrisch-kinematischen Argumenten zeigte er, daß, solange man keine unrealistisch hohe Druckfestigekit der Gesteine annimmt, es unmöglich ist, passive Pressungsgebirge aus einer in sich geschlossen gedachten Erdkruste (um die sehr geringe Mächtigkeit dieser Kruste im Verhältnis zum Erdradius zu betonen, nannte sie AMPFERER „Erdhaut") durch einfache Kontraktion entstehen zu lassen. Das später von KOBER (1921) „wiederentdeckte" Modell starrer, von orogenen Ringen umgebenen Einheiten (KOBERS Kratogene) führt AMPFERER hier an, nur um zu zeigen, daß es die irdische Tektonik nicht zu erklären vermag.[131]

Alle Argumente AMPFERERS beriefen sich auf die sehr geringe Druckfestigkeit der Gesteine, die eine Druckübertragung über große Distanzen unmöglich macht. Er zeigte auch, daß es ohne große Überschiebungen nicht möglich wäre, die großen liegenden Falten der alpinen Decken zu erklären. Alle Geländebefunde der Alpinen Tektonik, betrachtet im Lichte unserer Kenntnisse über die physikalischen Beschaffenheiten des Erdkörpers und der Gesteine, überzeugten ihn, daß die gebirgsbildende Kraft im Gebirge lokalisiert sein müsse. Das konnte er sich nur durch unterirdische Strömungen des fließenden Gesteinsmaterials unter hohen Druck- und Temperaturbedingungen erklären. Damit begründete AMPFERER seine „Unterströmungslehre", die sich in der Folge zwar als fruchtbar erwies, aber von verschwindend wenigen Erdwissenschaftlern ernst genommen wurde – bis in die Zeit der Plattentektonik.[132]

Die geologische Aufnahmetätigkeit im Dienste der Geologischen Reichsanstalt Wien gemeinsam mit seinem Kindheitsfreund Wilhelm HAMMER, führte zu einer klassischen Publikation im Jahre 1911, worin AMPFERER weitere Gründe zur Bewahrung seiner Unterstömungshypothese veröffentlichte:

„Kalkalpen und Silvretta können also nicht in der Tiefe ein Äquivalent von anders zusammengeschobenen älteren Schichten haben, sie müssen daher auf fremder Unterlage ruhen.

...

Als Fortsetzung der Silvrettazone wäre dann südwärts wahrscheinlich die Münstertaler Gneismasse mit ihrem Triasfeld anzunehmen. Bei dieser Zusammenschließung von Kalkalpendecke, Silvretta-Münstertaler Gneismasse zu einer gewaltigen Schubmasse (nicht zu einer Überfalte!) erhebt sich einerseits die Frage nach den riesigen fehlenden Massen an der Unterseite, anderseits jene nach der Beschaffenheit und Zusammensetzung des Untergrundes. Wenn wir uns durch die oberen Teile der Erdhaut eine ausgedehnte, flach in die Tiefe ziehende Bewegungsfläche gezogen und an ihr dann den oberen Flügel über den unteren in bedeutendem Ausmaße vorgeschoben denken, so ist dies nur möglich, wenn entweder der untere Teil der Erdhaut gegenüber dem oberen etwas stärker kontrahiert wurde und hier eine Summation aus bedeutender Ferne stattfand oder eine gewaltige Massenabsorption in der Tiefe vor sich ging und große Teile der oberen Zone dabei verschluckt wurden.

In der Arbeit über das Bewegungsbild der Faltengebirge [*hier als AMPFERER, 1906 zitiert*] ist ausführlich gezeigt worden, daß die Annahme der Gebirgshäufung durch Fernschiebungen sich nicht aufrechterhalten läßt.

Wenn aber dieser Ausweg ungangbar ist, so bleibt nur noch die Möglichkeit, an eine Einsaugung nach der Tiefe hin zu denken, wodurch an der Oberfläche breite Zonen überschüssig werden, welche an Bewegungsflächen aus der Tiefe aufsteigen und große Schollen übereinander führen.

Diese Überlegung führt uns zu dem Begriff der Verschlukkungszonen, welcher für das weitere Verständnis des Alpenbaues manche Einblicke gewährt." (AMPFERER und HAMMER, 1911, S. 699 ff.; Hervorhebung durch die Autoren; Fig. 44 & 45 [hier Abb. 67]).

Diese Zeilen wurden nur ein Jahr vor der Veröffentlichung der WEGENER'SCHEN Kontinentalverschiebungshypothese geschrieben. Demnach sah AMPFERER, genau wie ARGAND, die großen Möglichkeiten, die diese Theorie für die Erklärung der alpinen Tektonik bot. Soweit ich weiß, kombinierte AMPFERER seine Theorie der Unterströmungen zum erstenmal 1924 mit WEGENERS Kontinentalwanderungstheorie, um die mediterranen Faltenschlingen erklären zu können[133]: „Wie ich schon... hervorgehoben habe, wird... das Ausmaß der zusammengehörigen Umformungen bereits so groß, daß es sich wohl um ‚Kontinentdeformationen' handelt. Hier ist es angemessen, einen Anschluß an die Vorstellungen von Wegener über die Kontinentverschiebungen zu vollziehen. Es ist vom Standpunkte der Hypothese der Unterströmungen aus sehr einfach, da man ja nur Unterströmungen als die Träger der Kontinentalverschiebungen einzuführen braucht." (AMPFERER, 1926, S. 126; Hervorhebung durch AMPFERER).

Mit der Freiheit, welche die Kontinentaldrifttheorie AMPFERER bot, konnte er eine von seinem großen Landsmann, dem

---

[129] Dieses Zitat ist aus Mitt. Geol. Ges. in Wien, 1919, S. 136. War der große AMPFERER mit den Worten von NOVALIS vertraut „Hypothesen sind Netze, nur der wird fangen, der auswirft..."? POPPER (1984) zitiert diese, die kritisch-rationale Einstellung vielleicht am besten ausdrückenden Worte des Dichters als Motto in seiner bahnbrechenden *Logik der Forschung*.

[130] Wie THENIUS in seinen oben erwähnten Publikationen dargetan hat, war AMPFERER auch ein Mobilist.

[131] Über KOBERS Ausführungen schrieb AMPFERER später: „Natürlich wird die ganze Ableitung ausführlich ohne die leiseste Erwähnung der Verschluckungshypothese mit den Gebärden einer Entdeckung vorgetragen. Es könnte dies ein begründeter Anlaß zum Ärger sein, wenn nicht gleichzeitig die Komik der ganzen Situation darüber weghelfen würde" (AMPFERER, 1924, S. 63 f.). Die Komik dabei war, daß nach AMPFERER das Orogenmodell von KOBER dessen eigene Meinung über die Erdkontraktion widerlegt! Vgl. auch DU TOIT (1937, S. 34).

[132] Ernst KRAUS war starker Verteidiger der Unterströmungstheorie. Nach seinen Schriften gibt sich KRAUS aber als Positivist und als Kober-Stilleaner. Man vergleiche seine folgenden Bücher, die fast keine unter Kritik unternommene Änderungen über eine Zeitspanne von mehr als drei Dezennien zeigen: KRAUS (1936, 1951a, 1951b, 1971). Überall hat KRAUS immer nur Bestätigungen seiner Ansichten gesehen – auch nach der Plattentektonik! Am Ende der *Vergleichenden Baugeschichte der Gebirge* (1951a) versuchte er, à la BUCHER (1933), numerierte „baugeschichtliche Grundsätze" aufzustellen (S. 533 ff.). „Der Hauptanteil an dem Zustandekommen unserer, am Ende des Buches formulierten Grundsätze baugeschichtlichen Werdens ist unserem Altmeister Prof. Dr. H. STILLE und seinen gerade im letzten Jahrzehnt erschienenen Veröffentlichungen zu danken. Darf doch mit Befriedigung festgestellt werden, daß anfangs abweichend begangene Wege auf den verschiedensten Gebieten nun immer mehr konvergieren und nur die Mannigfalt der Natur widerspiegeln." (KRAUS, 1951a, S. IX). Obwohl ihre Theorien am Anfang abweichend waren, waren ihre Leitbilder dieselben! Das hat KRAUS wahrscheinlich nicht eingesehen. Der englische Geologe Arthur HOLMES, ein weiterer Anhänger der Ideen AMPFERERS, war aber ein kritischer Rationalist und hat die Idee AMPFERERS weiter ausgebaut und, über HESS, den Weg für die Plattentektonik vorbereitet.

[133] WEGENER verwendete dagegen sofort das Unterströmungsmodell von AMPFERER für seine Verschiebungstheorie um die gewaltige Verfrachtung der Kontinentalschollen zu erklären: WEGENER (1915, S. 75, Fußnote 1).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

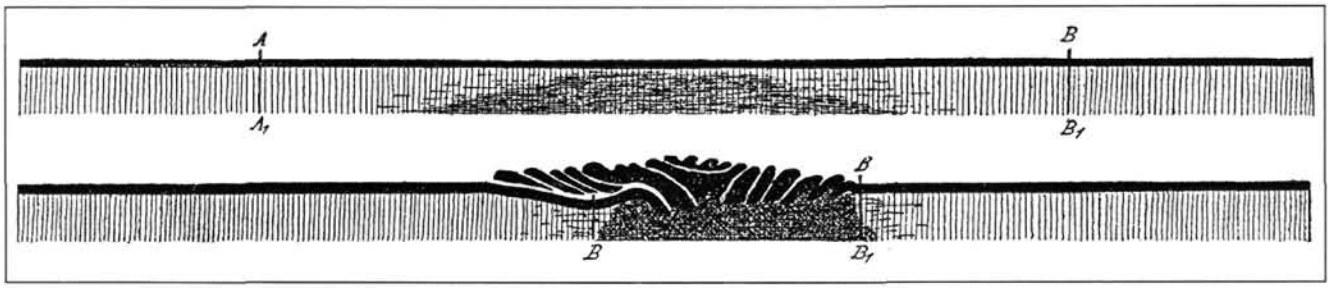


Abb. 67
Darstellung des Verschluckungsprozesses nach AMPFERER & HAMMER (1911, Abb. 44). Die dicken schwarzen Linien sollen den obersten Teil der Erdhaut, die senkrecht schraffierten Flächen tiefere Teile derselben, die gegitterten aber Bereiche von Tiefenbewegungen und Masseneinsaugungen vorstellen. Fig. 44 veranschaulicht die räumlichen Verhältnisse unter der Voraussetzung, daß eine starke Masseneinsaugung gegen die Tiefe zu stattfindet. Dadurch wird eine gewaltige Hereinschiebung von seitlichen Massen veranlaßt, wobei die obersten starren Zonen schuppenförmig übereinander getrieben werden. Zur Gebirgsanhäufung werden hier in der Hauptsache nur die obersten Erdschichten verwendet, während die unteren in die Tiefe sinken. Der Motor der Gebirgsbildung ist eine verhältnismäßig lokale starke Massenverringerung im Untergrunde (AMPFERER & HAMMER, 1911, S. 700). Wenn wir AMPFERERS „Massenverringerung" mit „Subduktion" ersetzen, erhalten wir aus seiner Erläuterung eine ganz moderne Beschreibung! Ist in dieser Vorstellung auch die neuerdings so modisch gewordene Idee der *ductile-brittle-transition* nicht eingeschlossen?

SUESS-Schüler Franz KOSSMAT, früher vorgeschlagene Deutung der Faltenschlingen der mediterranen Gebirge weiterentwickeln. Nämlich die Idee, daß hier auch die „Schleppung des ganzen Faltengürtels in ost-westlicher Richtung" stattgefunden hatte (KOSSMAT, 1920, S. 29; vgl. AMPFERER, 1926, S. 130). AMPFERER sah, daß eine Erklärung der mehrmals geschwungenen Faltenschleifen des Mediterranraumes ohne eine Annahme von Seitenverschiebungen, d. h. Bewegungen nicht nur quer, sondern auch längs des Streichens, nicht möglich wäre: „Es spielen aber auch große Verschiebungen im Streichen eine sehr wichtige Rolle, die ebenfalls von dem Nappismus ganz übersehen wird. Man kann daher die Mechanik des Alpenbaues gar nicht im Rahmen eines Querschnittes vollständig zur Darstellung bringen[134] ...Ich halte die Verschiebungen im Streichen durchaus nicht für etwas Nebensächliches, sondern im Gegenteil für einen Strukturzug, dessen Beachtung und genaueres Studium zu neuen Einblicken führen wird." (AMPFERER, 1928, S. 352 f.[135]). Es wurde somit auch klar, daß die Entstehung und Weiterentwicklung der Faltenschleifen eine permanente Starrheit der Vor- und Rückländer nicht erlaube: „Es gehört also zu den mediterranen Faltenschlingen ein wahrscheinlich ziemlich weit ausgreifendes System von gleichsinnigen und gleichzeitigen Störungen in ihrem ganzen Umland, durch deren Mitwirkung erst die Entstehung der Faltenschlingen ermöglicht wurde." (AMPFERER, 1926, S. 135, vgl. WILSON, 1966 als zitiert in der Fußnote 135 oben!).

KOBERS Zwischengebirge wurde von AMPFERER als ein durch die gebirgsbildenden Vorgänge stark beeinflußtes Erdstück betrachtet. Das tyrrhenische Meer, und die Becken der ungarischen Tiefebene und der Ägäis hat er als Erweiterungs- und damit verbundene Senkungszonen angesehen. Dies waren die Deformationen der Faltengebirge, die nach der Hauptfaltung vonstatten gingen.

Die Tethys war nicht mehr einfach eine Einengungszone. Einengungen, Seitenverschiebungen und sogar Zerrungen waren während der gesamten Dauer der Gebirgsbildung im Spiel gewesen, wie sie WEGENER (1922) verlangte (Abb. 65) und ARGAND später auch zugab (1934; vgl. oben). Nur eines verstand AMPFERER wahrscheinlich nicht. Genau wie Emile ARGAND (und vielleicht wegen ARGAND) glaubte er, alle Seitenverschiebungen innerhalb der Gebirge und auch an der Oberfläche mit Fließvorgängen erklären zu können. Durchgehende, scharfe Horizontalverschiebungen in Gebirgen erkannte er nicht oder wenigstens sprach er von solchen nicht (darin liegt auch der Unterschied zwischen seinen und WILSONS Ideen).

Der älteste Sohn von Eduard SUESS, Franz Eduard SUESS (Abb. 68), der Ordinarius für Geologie an der Universität Wien nach dem frühzeitigen Tod von einem der letzten Wiener Giganten, Viktor UHLIG, ergänzte das von ARGAND und AMPFERER erstellte mobilistische Bild der irdischen Tektonik mit seinen Studien an metamorphen Gesteinen. Auch er erkannte die einseitige Struktur der meisten Orogene und als erster definierte er die drei Hauptstrukturelemente eines Kollisionsorogens (Abb. 69). Die Schriften von SUESS scheinen heute ziemlich altmodisch, liest man sie mit petrographisch-petrologischen Brillen. In den Nachkriegsjahren fand ein gewaltiger Fortschritt, die Petrologie der metamorphen Gesteine betreffend, statt. Betrachten wir aber seine Schriften aus einem tektonischen Blickwinkel, wird es schwierig zu glauben, daß sie mehr als vor einem halben Jahrhundert geschrieben wurden. Franz Eduard SUESS erbte einen Teil der unglaublichen Intuition seines Vaters, leider nicht seine große Fähigkeit als Autor. Seinen Schriften fehlt die Schönheit der Darstellung und die unwiderstehbare Kraft der Überzeugung, die die Schriften des älteren SUESS kennzeichneten. Trotz allem aber müssen wir in der literarischen Tätigkeit Franz Eduard SUESS' eine der elegantesten begrifflichen Monumente der Tektonik der Vorkriegsjahre anerkennen. Mit Franz Eduard SUESS erreichte die Wegener-Argand-Schule ihren Höhepunkt und Vollkommenheit vor dem zweiten Weltkrieg. Indem er die notwendigen paläogeographischen und petrologischen Schlüsse aufzeigte, die vom Mobilismus abzuleiten waren und mit zahlreichen und weltweiten Beispielen belegte, ergänzte er die kinematischen Vorstellungen von ARGAND und AMPFERER. Ich habe hier weder die Zeit noch den Platz alle seine Ausführungen darzulegen. Ich muß aber sagen, daß meiner Einschätzung nach, Franz Eduard SUESS der letzte Wiener Gigant war, dessen Heimgang am 25. Jänner 1942, inmitten der Flammen des weltweiten Wahnsinns, das Ende der großen Wiener Schule in der globalen Geologie bedeutete, welches tragische Moment, im Schatten des gewaltigen Weltgeschehens, von allzuweni-

[134] Vgl. ARGAND (1912e, S. 355; 1924, S. 172).

[135] Vgl. WILSON (1966, S. 16) wo der große Kanadier auch dasselbe sagt – jedoch 40 Jahre nach AMPFERER. Unter seinen „tentative rules governing continental drift" sind folgende zwei die ersten:
"1. Compression of great but unmeasured amount may take place along active primary mountains. Some rotation of the sides may accompany compression.
2. Shearing may take place along the same systems or on independent transcurrent faults."

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

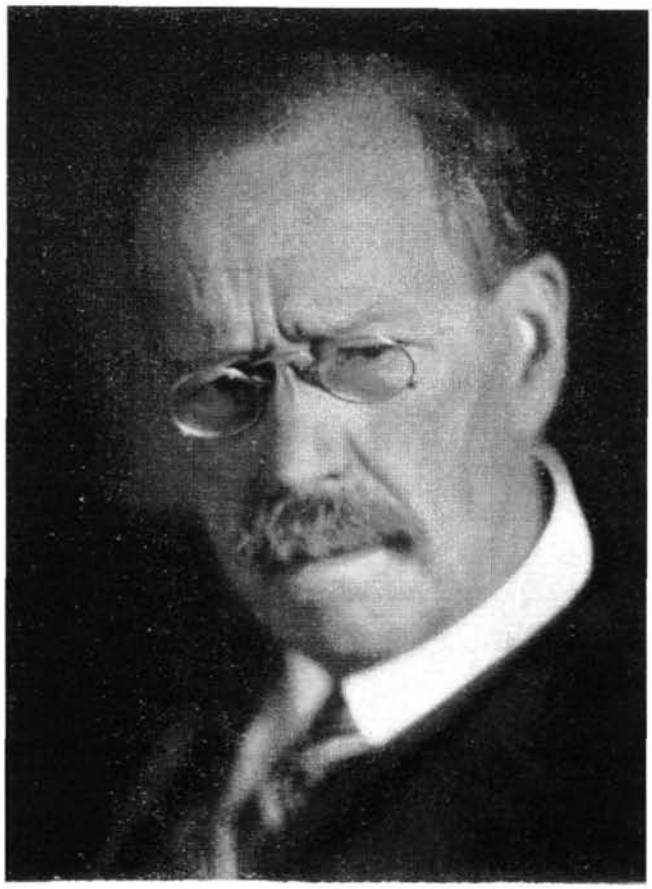


Abb. 68
Franz Eduard SUESS (1867-1941), der letzte Wiener Gigant.

gen Erdwissenschaftern in seiner vollen Bedeutung empfunden werden konnte.

Ich möchte hier SUESS selbst das Wort geben. Sie werden erkennen, daß was der Meister uns von seinem Grabe aus erzählt, ist nichts weniger als was wir in den letzten drei Dezennien als die geologischen Folgen der Plattentektonik erkannt zu haben glauben (nicht zu verwechseln mit der Theorie der Plattentektonik selbst, wovon Franz Eduard SUESS keine Ahnung haben konnte). Meine beigefügten Kommentare zeigen die Beziehungen der SUESS'SCHEN Ausführungen zu denen anderer Mitglieder der Wegener-Argand-Schule:

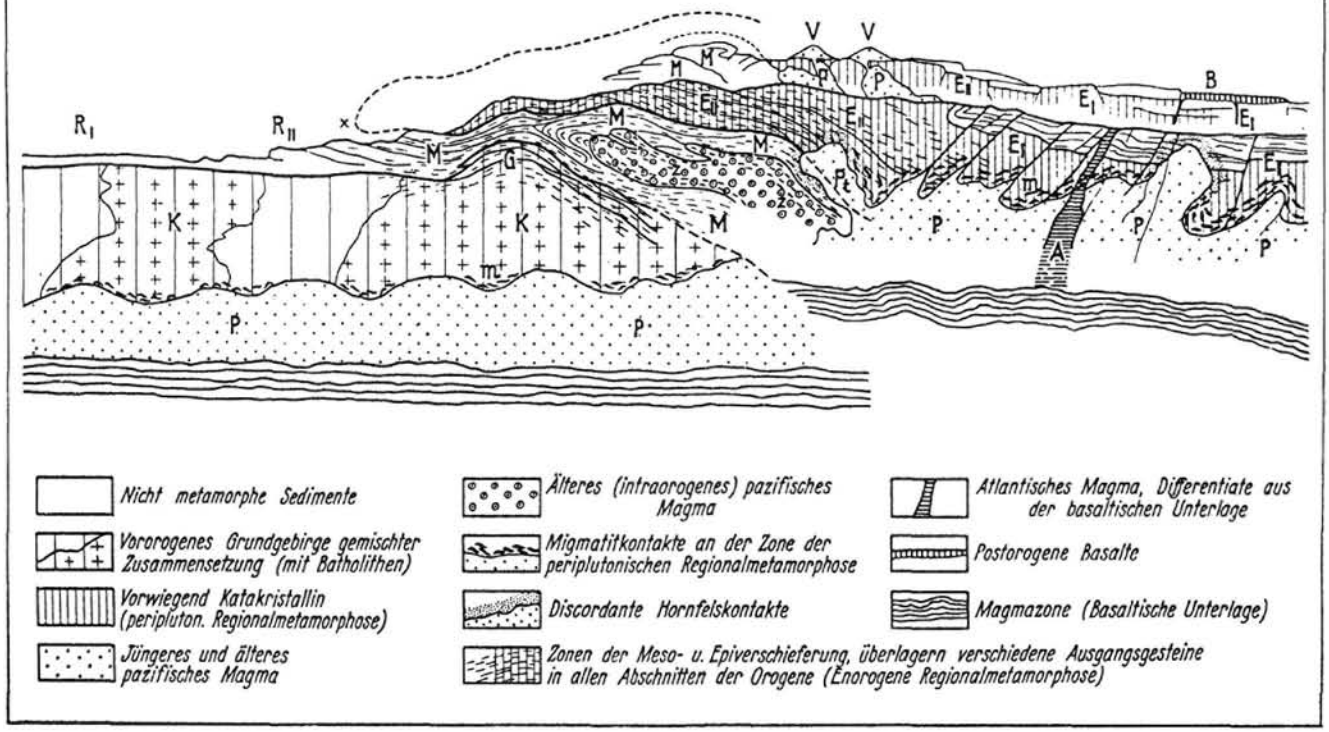
„Die am stärksten auf der Erdoberfläche hervortretenden Zonen, die sog. Orogengürtel, sind nicht aus Geosynklinalen hervorgegangen [*vgl. WEGENER, 1915, S. 15, Fußnote und S. 69; ARGAND, 1924, S. 299*] und sind keine von Alters festgelegten Schwächezonen [*AMPFERER, 1906*]; sie sind auch keine Zonen eigener Kraft [*contra AMPFERER*] und auch nicht zweiseitig symmetrisch gebaut und das Bild der einseitigen Anlage, wie es E. SUESS vor langer Zeit entworfen hat, wird durch neu erkannte Züge klarer ausgedrückt und ergänzt [*besonders ARGAND, 1916, 1924; AMPFERER & HAMMER, 1911; AMPFERER, 1928*]. Zu der Unterscheidung des voll überwältigten Vorlandes von dem innerhalb des gleichen Gebirgskörpers zumeist nachträglich rückgefalteten Rücklandes [*ARGAND, 1911b, 1916, 1924*] kommt die in der Verteilung der Metamorphose im Gebirge, ausgedrückte Dreiteilung der Orogene in die lastende, die belastete und die unbelastete Zone [*vgl. Abb. 69 hier*]. Was als sedimentärer Trog oder ‚Geosynklinale' als Uranlage der Orogene betrachtet wird, ist – wenn vorhanden – als eine wandernde Vortiefe zu deuten, die erst durch die Gebirgsbewegung selbst geschaffen worden ist [*ARGAND, 1916, aber zum Teil contra ARGAND, 1936, der die Geosynklinale als ein Kleinozean, d. h. eine Zerrungsstruktur deutete*].

Am vollkommensten sind die Eigenschaften des Orogens in den ‚Kontinentalrandgebirgen' ausgeprägt. Wo sie an ein fremdes Vorland angeschlossen sind, weisen Paläogeographie und Tektonik auf ein Wandern über große Entfernungen.

...

Nicht durchgreifende Starrheit der Kontinentalschollen, sondern die Verteilung ungleichartiger Widerstände ist es, die im wesentlichen

Abb. 69 *(Text siehe nächste Seite)*



© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

die Gegensätze und das Herausheben von Faltenzonen bewirkt [*Argand, 1924*]. Verhältnismäßig geringe Ungleichförmigkeiten vermögen in den gleitenden Kontinentalschollen, in den z. T. sehr mächtigen Kontinentalinnengebirgen und in weithin ausstrahlenden Kluftsystemen ein großzügiges Bewegungsbild hervorzubringen, wie es im Bau von Asien nach der Darstellung von ARGAND dargeboten wird.

...

Die Magmen sammeln sich nicht in der Tiefe der ‚Geosynklinalen' oder Orogene. Sie werden zum Auftriebe oder Durchbruche in der Nähe des Randes der treibenden oder lastenden Scholle veranlaßt. Die subkrustale Herkunft solcher den Orogenen nahe angeschlossener, aber nicht in der Achse des Orogens aufsteigender Magmen wird durch ihren syntektisch-pazifischen Chemismus angezeigt." (SUESS, 1937, S. V ff.).

Abb. 69
„Schematisches Sammelprofil durch ein Orogen" von Franz Eduard SUESS (1937, Abb. 1). Die von ihm gegebene Erläuterung lautet (SUESS, 1937, S. 10 ff.):

„Schema der dynamischen Dreigliederung und Magmenverteilung im Orogen.

Der beigegebene Gebirgsdurchschnitt erläutert den Zusammenschluß der aneinanderbewegten Bestandteile des Baues zur geschlossenen dynamischen Einheit, d. i. zum Orogen, durch den Vorschub der Kruste von einer Seite her. Er lehnt sich wohl in den Hauptzügen an die bekannten Querschnitte durch die Alpen; entspricht aber dennoch im ganzen nur einem gedachten Sonderfall. Ungleiche Raumfülle, Vervielfältigung oder auch das Ausscheiden einzelner Bestandteile können das Umrißbild für andere Fälle weitgehend verändern. Aus den vergleichenden Hinweisen ist aber doch zu ersehen, daß der Hauptzug, d. i. die durch das kontinentale Gleiten geschaffene, dreiteilig dynamische Anlage in eine lastende, belastete und unbelastete Zone – durchgehend erhalten bleibt. Eine entscheidende Rolle für die Beurteilung des Ganzen spielt das Hinzutreten der Magmen der Tiefe und der Oberfläche von einer Seite her und das ursprüngliche Nebeneinander der Gebiete mit deformativer und mit thermischer Regionalmetamorphose.

K = Kristallinischer Sockel (Unterbau) des Vorlandes, – entsprechend Fennoskandia für die Kaledoniden, Moldanubikum und Moravikum für die Alpen, Laurentia für die Appalachen u. a.

R = Sedimentäre Decke (Oberbau) des Vorlandes.

R_I = Ungefaltete Vorlanddecke.

R_{II} = Zone des nicht metamorphen Falten- und Deckenbaues (unbelastete Zone), entsprechend Rheinisches Schiefergebirge und thüringische Zone in den Variszíden, älteres Altpaläozoikum in Wales und SW-England für die Kaledoniden, nicht metamorphes Paläozoikum der sog. appalachischen Geosynklinale.

M = Zone des metamorphen Falten- und Deckenbaues (überfahrene Zone), – entsprechend den Penninischen Decken in den Alpen, der Schieferhülle über den Batholithen in den moravischen Fenstern, den Gneisen und kristallinischen Schiefern des Erzgebirges, dem Dalradian in den Schottischen Kaledoniden. = Allgemeiner Bereich der enorogenen Regionalmetamorphose.

In dem dargestellten Durchschnitte enthält diese Zone noch:

G = Zu Gneisgewölben umgeformte Batholithen im Untergrunde des überfahrenen Vorlandes, – entsprechend den Gneiskuppeln der moravischen Fenster; und in größeren Abmessungen und weniger durchgreifender Umformung: die helvetischen Massive der Westalpen und die Kerngebirge der Karpathen; – mit durchgreifender Vergneisung und Aufnahme in den Deckenbau: Bittescher Gneis, Kepernikgneis und Tessgneise im moravo-silesischem Gebirge, die Decken des roten Gneises im Erzgebirge.

Die Schieferhülle (M) in dem dargestellten Profile entspricht einer älteren überwältigten Vortiefe, der auch hier die mesoverschieferten Granite des älteren pazifischen Magmas angehören, die von der erzeugenden Scholle herstammen und mit dem andauernden Vorschube überwältigt und vergneist worden sind. Ihnen entsprechen die alpinen Zentralgneise (Z) mit ihrer Schieferhülle.

In den Appalachen ist die mit den Sedimenten erfüllte Vortiefe während der verschiedenen Zeiten der Orogenese, der Transgressionen und Regressionen von höheren Decken nicht überfahren worden und daher, trotz ihrer Mächtigkeit, frei von der Metamorphose und in der unbelasteten Zone verblieben.

E = Lastende Zone, überschobene Zone (erzeugende Scholle), mit kristallinischen Grundschollen, kann ausgedehntes ursprüngliches Kristallin des Gebietes der periplutonischen Regionalmetamorphose, mit Intrusionstektonik und Migmatitkontakten in der Tiefe, enthalten (E1). Große Teile sind oft mit rückschreitender Metamorphose zur Meso- und Epistufe durchbewegt. Entsprechend den moldanubischen Gebieten mit den rheinischen Horsten im Rücken der variszischen Falten, dem Moinian in den Schottischen Kaledoniden (ohne eigentliche Intrusionstektonik), – in teilweise stärker retrograd verarbeitetem Zustande den Austriden Grundschollen der Ostalpen, der Münchberger Gneismasse, dem Zwischengebirge über dem erzgebirgischen Dekkenbau und einem Teil des Kristallins der appalachischen Küstenzone (E1).

Enthält Para- und Orthogneise und auch Batholithen maningfaltiger Herkunft.

Hierher gehört auch der hypothetische Untergrund des hochgestauten und zumeist rückgefalteten Rücklandes jüngerer Gebirgsbauten, wie der südalpinen Dinariden, der Brasilianden mit der Puna von Atakama und der Rocky Mountains in ihren größten Erstreckungen.

x = Einstige Reichweite der erzeugenden Scholle über der verschieferten Zone.

P = Pazifische Batholithen in der Unterlage der erzeugenden Scholle und den anschließenden Kontinentalgebieten; Migmatite im Tiefenkontakt [m] und diskordantem Hornfelskontakt in den in das nicht metamorphe Deckgebirge aufsteigenden Ausläufern; – entsprechend den moldanubischen Graniten mit örtlichem diskordanten Kontakt am Barrandien und den Graniten des Adamello in den Südalpen am Mesozoikum der Bergamasker Alpen. = Eigentlicher Bereich der periplutonischen Regionalmetamorphose.

P^1 = Posttektonisch die Wurzelzone querende Vorgriffe, entsprechend den Graniten des Erzgebirges und den Graniten des Bergells an der Tessiner Wurzelzone.

V = Dazugehörige Kammvulkane mit pazifischem Magma in den jüngeren Bauten nahe am Rande der erzeugenden Scholle, wie die Vulkanreihen der südamerikanischen Anden, die Großkegel der Anden Nordamerikas, die Vulkane der Iranischen Ketten, des Sundabogens u. a.

A = Atlantische Differentiate aus basaltischem Magma an postorogenen Bruchspalten, entsprechend Buffaure, Predazzo, steierische Vulkane.

B = Postorogene Spaltenergüsse aus undifferenziertem basaltischem Magma, entsprechend patagonische Basalte, Basalte von Oregon."

Die Terminologie von SUESS ist direkt in die plattentektonische Terminologie übersetzbar: Einheiten K, R, und R_I werden auch heute mit denselben Worten bezeichnet, wie SUESS sie bezeichnete. R_{II} wird heute auf Englisch „foreland fold and thrust belt" und auf Deutsch „Vorlandgürtel" genannt. Einheiten M und G sind meistens die vor Subduktionszonen angehäufte („akkretionierte": vgl. EISBACHER, 1991, S. 243 ff.) Gesteinspakete, die normalerweise metamorphosiert sind. Die lastende Zone, E, ist die überfahrende Platte mit den Magmatiten des aktiven Kontinentalrands (P). Die von SUESS nicht mit einem besonderen Namen belegte Narbe (Sutur) wird von nachkollisionalen Plutonen durchgeschlagen (P^1), die auch Vulkane nähren (V: wie im heutigen Tibet: ŞENGÖR & KIDD, 1979). Nachkollisionale Zersplitterung des Orogens, die besonders jetzt wieder sehr aktuell geworden ist (DEWEY, 1988; ŞENGÖR, 1993a), fördert einen Alkalimagmatismus (A) und auch die großen Trappdecken (B). Keine der anderen tektonischen Modelle der Vorkriegsjahre, eingeschlossen diejenigen von ARGAND und AMPFERER, können auch annähernd so gut mit den plattentektonischen Modellen der Orogenese verglichen werden, wie das Modell von SUESS.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Was ARGAND, AMPFERER und SUESS fehlte war ein mit den physikalischen Eigenschaften des Planeten kompatibler und aus diesen ableitbarer Mechanismus der Kontinentalwanderungen. Mit anderen Worten, einen Mechanismus irdischer Tektonik. Arthur HOLMES (Abb. 70), der große englische Meister der Petrologie und physikalischen Geologie, war wegen seiner früheren Beschäftigung mit der thermalen Geschichte des Planeten dazu berufen, diese Lücke zu schließen. Über HOLMES verbindet sich diese Schule mit unseren heutigen Vorstellungen globaler Tektonik.

Arthur HOLMES, der in den 20er Jahren als Professor für Geologie an der nordenglischen Universität Durham tätig war, hatte die meisten Beiträge der Mobilisten gelesen. Er war vom Gewicht der für den Mobilismus geltend gemachten Argumenten sehr beeindruckt. Sein Anfangspunkt war zuerst weit entfernt von den Fragen der Kontinentverteilung oder der Bildung der Kontinente durch Gebirgsbildungen. HOLMES war von den Möglichkeiten des radioaktiven Zerfalls der Atome für die thermale Geschichte der Erde und dadurch für eine mögliche genaue Messung ihres Alters begeistert (HOLMES, 1913). Er folgte den Ideen von JOLY (1909, 1925) und widmete der Frage der Beziehungen zwischen radioaktiver Wärmeproduktion und tektonischem und petrologischem Verhalten unseres Planeten seit 1914 eine Serie von Abhandlungen! Ein Ergebnis seiner Studien war: "The theory of continuous cooling has long been a traditional doctrine of geology, but it has nevertheless consistently failed to lead to any adequate explanations of fissure eruptions and other volcanic and tension phenomena; mountain-building processes and their distribution in time and space; and the alternation of marine transgressions and recessions...Thus there remains for consideration only the conception of the alternating accumulation and discharge of latent heat proposed by Joly, a conception based on the radioactivity of the rocks and the principles of isostasy and tidal drift. Periodically repeated cycles of fusion and consolidation provide fully for a varied geological history of just the rhythmic and discontinuous type that the earth has actually experienced. No other hypothesis has accomplished so general a synthesis, and at the moment no alternative seems to be even conceivable." (HOLMES, 1926, S. 306 f.). Als Gegner der thermalen Schrumpfungstheorie zuerst auf der Basis der Geschichte des irdischen Magmatismus, mußte HOLMES mit einem sehr bedeutenden Befürworter der Schrumpfungstheorie in England, Harold JEFFREYS, sich auseinandersetzen. JEFFREYS betonte oft, daß die Schrumpfungstheorie die einzige hinreichende Erklärung der Gebirgsbildung liefere (JEFFREYS, 1924, S. 130). Er benützte sie auch alle anderen tektonischen Strukturen der Erdoberfläche zu erklären. HOLMES (1926) zeigte zuerst, daß die Schrumpfungstheorie völlig versagte, der Existenz der großen Plateaubasalt-Eruptionen der Erdgeschichte Rechnung zu tragen, ohne episodische (HOLMES sagte eigentlich, unter dem Einfluß von JOLY „periodische") Schmelzvorgänge in der Subkruste anzunehmen. Nach JEFFREYS war dies unmöglich (JEFFREYS, 1926).

HOLMES (1927) behauptete, daß JEFFREYS' Version der Schrumpfungstheorie (JEFFREYS, 1924) weder die Entstehung der großen ozeanischen Versenkungen, noch die Entwicklung der Geosynklinalen, noch die Entstehung der Gebirge zu erklären vermochte. Für deren Erklärung adoptierte HOLMES die Drifttheorie WEGENERS. Aber in seinen hier zitierten Schriften sehen wir, daß die Schriften ARGANDS ihn vielleicht mehr beeinflußten als diejenigen WEGENERS selbst.

Die Forderung seiner Theorie der magmatischen Zyklen, daß die Subkruste von periodischen Schmelzvorgängen be-

Abb. 70
Arthur HOLMES (1890-1965) im schweizerischen Jura mit Professoren August Buxtorf (links) und Max Reinhard (rechts) vor einer Antiklinale in der Moutier-Schlucht (aus HOLMES, 1965, Fig. 829).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

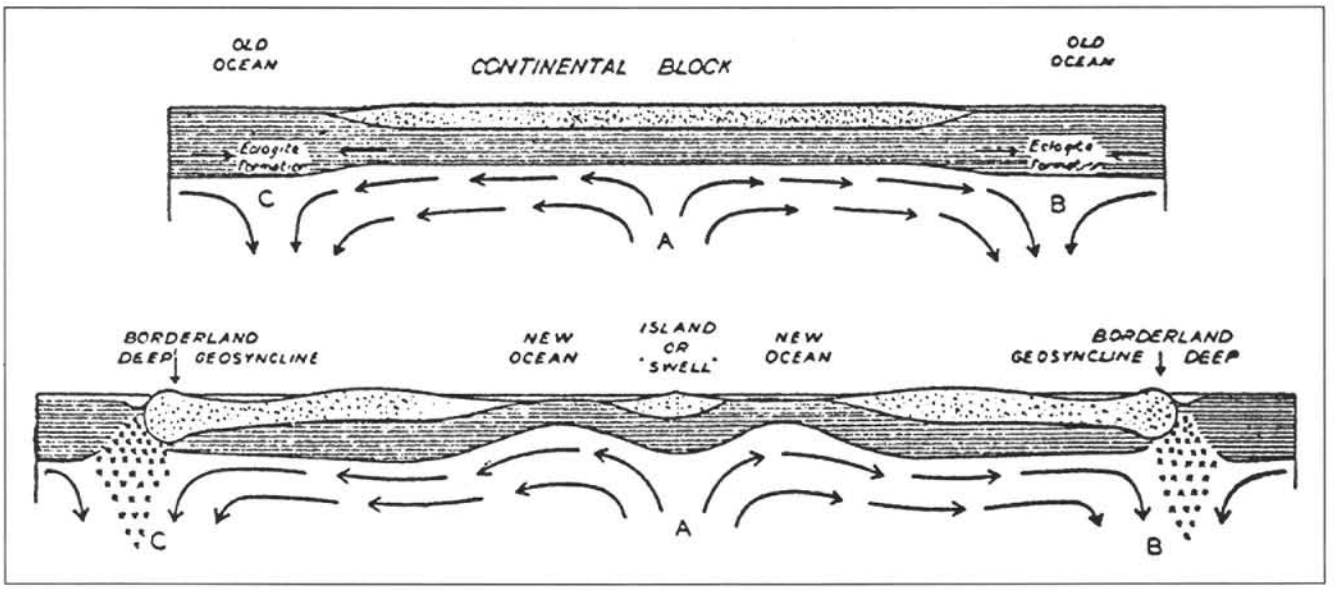


Abb. 71
Konvektionsströmungen führen zur kontinentalen Abspaltung und Entstehung der Gebirge an der Stirn driftender Schollen. Eklogite, die in Bereichen der abtauchenden Strömungen entstehen, unterstützen die durch Konvektion verursachten Bewegungen (aus HOLMES, 1928, Figs. 2 & 3).

troffen sein muß, führte HOLMES zum Gedanken, die Kontinentalwanderungen mit Stoffverlagerungen im subkrustalen Bereich in Verbindung zu bringen. Außer seinem Landsmann BULL (1921, 1927) war er dabei auch von AMPFERER (1924[136]) und SCHWINNER (1920) beeinflußt gewesen (HOLMES, 1928, S. 565 f.). Seine erste Aufgabe dabei war eine allgemeine Geometrie der Konvektionszellen aus den physikalischen Eigenschaften des Planeten abzuleiten:

"...we may infer by analogy with the atmosphere a circulation like that of the planetary system of winds. Within the earth the ellipticity of successive shells of increasing density gradually decreases with depth. Thus a considerable part of the difference between the polar and equatorial radii will be concentrated in the substratum. The equatorial thickness being greater than that beneath the poles, and the distribution of radioactivity being independent of latitude, the equatorial temperature gradient will be steeper than that towards the poles " (HOLMES, 1928, S. 577).

Dieses Bild betrachtete HOLMES als eine Uranlage der Strömungen, die einen von den Polen zum Äquator getriebenen Urkontinent entzweigerissen haben muß. In diesem zu Beginn der Erdgeschichte sich abspielenden Vorgang sah HOLMES die Ursache der "long history of the Tethys girdling the continental half of the earth between Gondwanaland and Laurasia" (HOLMES, 1928, S. 578). Auch bei ihm sehen wir also den Einfluß der von den Kober-Stilleaner weiter entwickelten Idee des hohen Alters der Tethys.

HOLMES postulierte ein zweites, von der differenzialen Heizung der Kontinente und Ozeane getriebenes System der Konvektionszellen:

"Such evidence as we have, suggests that the radioactivity of continental rocks is generally greater than that of oceanic rocks. Thus, although the temperature at the base of the crust will be everywhere nearly the same, the continental crust should be thinner than the old or normal oceanic crust, and thus beneath the continents the temperature should be higher than at the same level beneath the oceans. The circulation due to this unequal heating of the substratum would be a system of ascending currents somewhere within a continental region, spreading out at the top in all directions towards the cooler peripheral regions" (HOLMES, 1928, S. 578 f.).

HOLMES veranschaulichte diese Hypothese wie in der Abb. 71 dargestellt ist. Er postulierte, daß ein solches subkontinentales System der Konvektionszellen unter dem spätpaläozoischen Gondwana-Land die planetarische Konvektionsströmung völlig ausgeschaltet haben muß und den Superkontinent zerbrochen hat. Auch Laurasien sollte sich gegen seine Peripherie ausgebreitet haben. Als Ausgleich für die Entstehung des atlantischen und indischen Ozeans befand sich die zwischen Laurasien und Gondwana-Land gelegene Tethys in einer Zone der Einengung: "The approach of Africa and Europe across the site of the Tethys is the most striking example of this inevitable reversal of circulation brought about by the changing boundary conditions of an earlier system of currents." (HOLMES, 1928, S. 584; Abb. 72 hier).

Der Eklogitisierungsprozess von HOLMES bildete eine zusätzliche Triebkraft für die Konvektionsströmungen und war besonders geeignet, die großen Einengungen bei den Kontinentalrandorogenen zu erklären. Mit HOLMES konnte sich die mobilistische Tektonik völlig von der Schraubstocktheorie ÉLIE DE BEAUMONTS befreien und die von STAUB (1926) deutlich ausgesprochene Umdeutung der Theorie der Rahmenfaltung ARGANDS (1924), daß die sialischen Kontinente von den simatischen Ozeanböden umrahmt seien, rechtfertigen. Aber genau wie ARGAND war auch HOLMES bei der Geosynklinalvorstellung steckengeblieben und konnte deshalb die von der Drifttheorie gebotene Freiheit nicht nützen.

Bei der Diskussion der Zwischengebirgsareale („Median Areas") bemerkte HOLMES, daß bei Einengung eines Geosynklinalgebietes zwischen zwei Kontinenten, das komprimierte Material in Richtung des niedrigsten Widerstandes ausweichen würde (Abb. 73): "This should be particularly noticeable where approaching continents have an ocean on one or both sides, e. g. in the case of North and South America. The lateral stresses directed against the ocean floor will develop thrust planes increasing in steepness as the more rigid upper levels of the crust are fractured. In plan the thrust planes will be convex towards the oceans. Magmas will escape up the curved fractures and form volcanic belts or arcs of islands at the surface. In this way the Panama-Costa Rica land bridge and the volcanic arc of the Lesser Antilles can be readily explained...

[136] Es ist mir nicht bekannt, ob HOLMES in den 20er Jahren auch die früheren Schriften von AMPFERER gelesen hatte.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

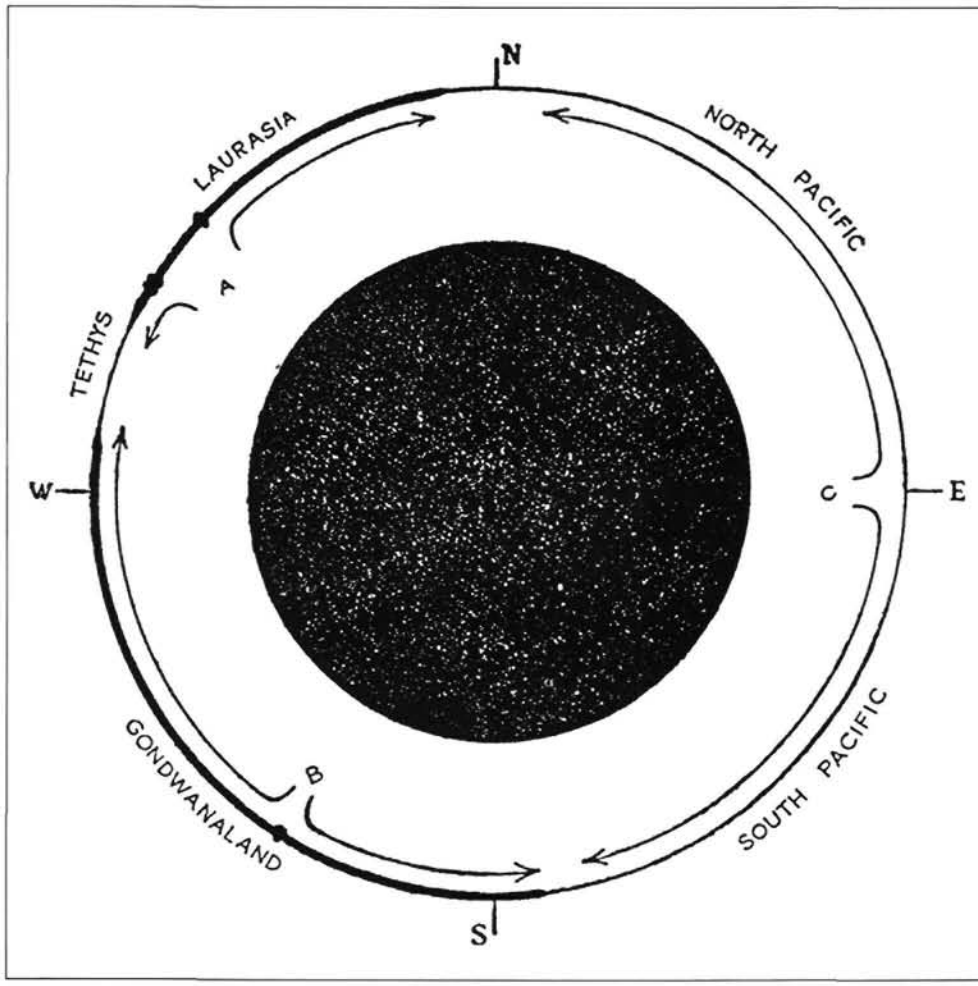
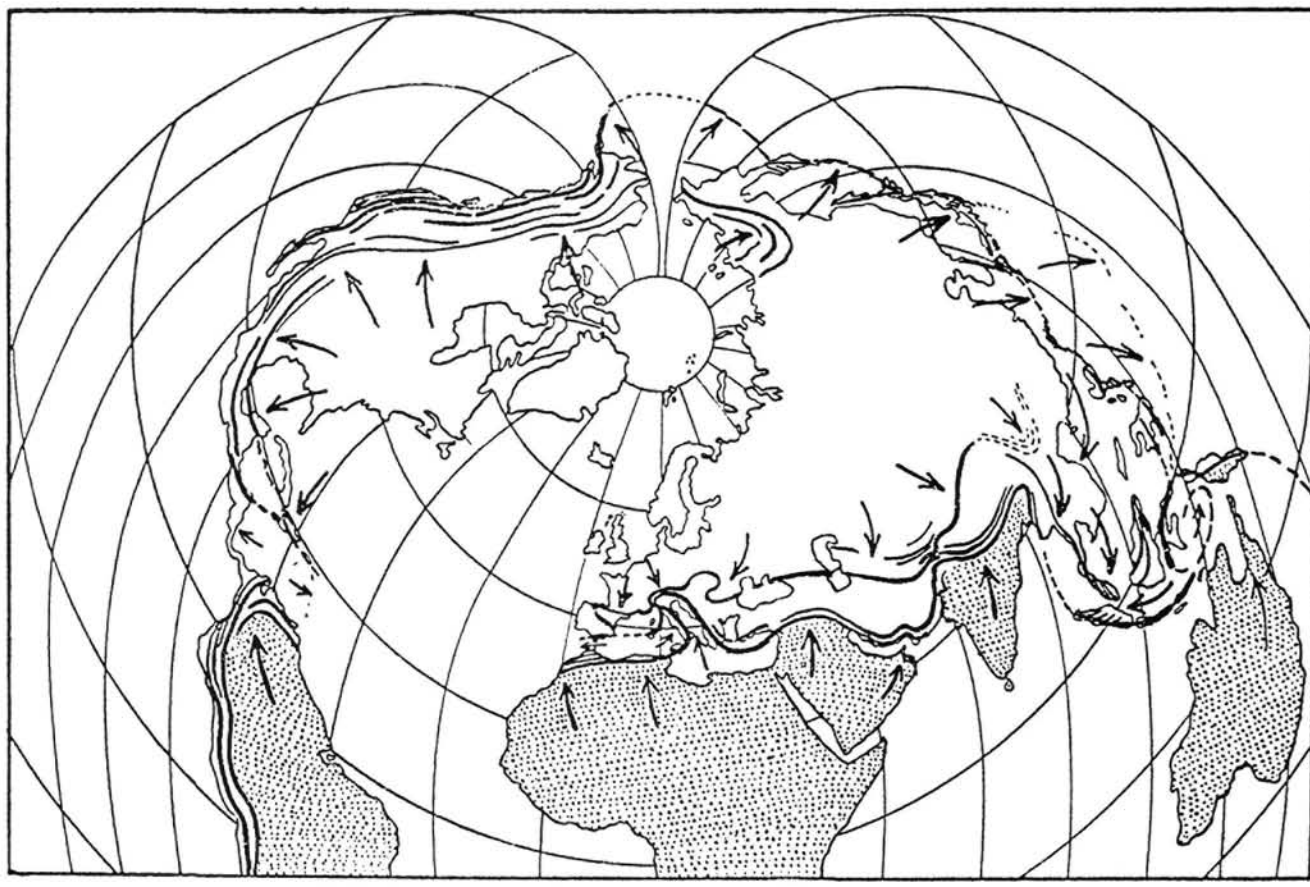


Abb. 72a
Das sekundäre („subkontinentale") Konvektionssystem von HOLMES, das von der differentialen Heizung der Kontinente und Ozeane getrieben werden soll. Bei A quillt die Strömung hinauf und bricht den daraufliegenden Kontinent entzwei und treibt die resultierenden Kontinentteile auseinander. An der Peripherie des ursprünglichen Kontinents taucht die Strömung wieder unter und erzeugt Eklogite. Direkt über der aufquellenden Strömung verbleibt eine Totregion, die meist einen Rest des ursprünglichen Kontinents enthält (aus HOLMES, 1928, Fig. 5).

Abb. 72b
Darstellung von HOLMES des Auseinanderdriftens von Gondwana Land- und Laurasien-Fragmenten und die konsequente Schließung der Tethys. Diese Schließung führte zur Entstehung des Alpen-Himalaya-Systems (aus HOLMES, 1928, Fig. 6).



© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

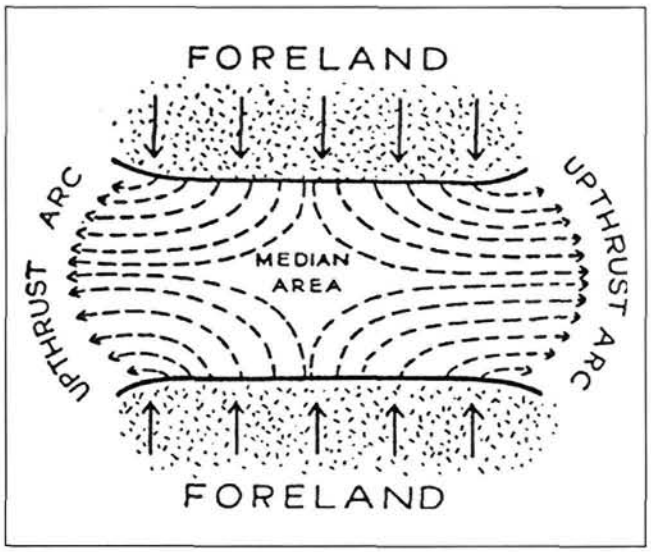


Abb. 73
Bewegungsmuster in Kollisionszonen zwischen zwei sich gegeneinander bewegenden Kontinenten. Man beachte das nach Seiten ausweichende Material in der Zone der Kompression (aus HOLMES, 1928, Fig. 9).

A similar arrangement of volcanic arcs is to be found around the Western Mediterranean... and the Banda Sea." (HOLMES, 1928, S. 594). Kein Geologe aus den siebziger und achtziger Jahren unseres Jahrhunderts kann leugnen, daß wir hier eines der ersten Anzeichen der „escape tectonics" oder „extrusion tectonics" sehen.

So weit die Ausführungen der Vertreter der Wegener-Argand-Schule über die Eigenschaften der irdischen Tektonik dargestellt an Beispielen aus dem Tethys-Raum. Man wird sich vielleicht wundern warum ich hier auch die Schriften des Schweizer Alpengeologen Rudolf STAUB nicht erwähne. Erstens war STAUB trotz seines mobilistischen Standpunktes gleich wie Baron Franz VON NOPCSA (WEISHAMPEL & REIF, 1984), jedoch mit viel weniger Originalität, ein Vertreter der Kober-Stille-Schule. Zweitens trug STAUB bezüglich der Prinzipien der die Tethys betreffenden Teile der allgemeinen Tektonik nichts bei, was bereits vor ihm nicht gesagt worden war. Mit zunehmendem Alter wandte er sich auch vom Mobilismus völlig ab, wie ich (ŞENGÖR & OKUROĞULLARI, 1991, S. 547, Fußnote 12) im Detail dargelegt habe. Dort habe ich auch die Frage aufgeworfen, ob STAUB den Mobilismus von ARGAND wirklich verstanden hatte.

Betrachtet man die Beiträge von ARGAND, AMPFERER, F. E. SUESS und HOLMES zusammen, so sieht man, daß ein Bild der Tethys abzuleiten ist, das aus einem sich nach Osten vergrößernden Ozean besteht. Die Schließung der Tethys wurde seit dem Paläozoikum durch die Eklogitisierung unterströmender Teile des Ozeanbodens weitergeführt. Dadurch wurden einseitige Orogene erzeugt, die sich heute in Europa hauptsächlich längs des ehemaligen Nordrandes des Gondwana-Landes und in Asien längs des ehemaligen Südrandes Laurasiens befinden. Wo der Ozean groß war, sind im heutigen Bau der Gebirge große Akkretionskeile zu sehen, wie im Kuen-Lun. Nach der Kollision kamen die Driftbewegungen nicht zur Ruhe. Sie deformierten zum Teil weite Areale der Vor- und Rückländer, wie z. B. in Asien von ARGAND beschrieben worden sind. Zum Teil wechselten die Driftbewegungen ihre Richtungen nach der Kollision und deformierten die entstandenen Orogene weiter. So erzeugten sie Faltenschlingen und davon umgebene Tiefbecken, wie sie uns im Mittelmeergebiet oder in der Insulinde entgegentreten. Der pazifische Magmatismus ist mit Verschluckungszonen gekoppelt und tritt auf der überfahrenden („erzeugenden") Scholle auf. Der atlantische Magmatismus ist meist postkollisional, kennzeichnet die postkollisionale Weiterverformung der Orogene und ist mit Zerrungserscheinungen verknüpft.

Zu diesem erstaunlich modernen Bild brauche ich nur noch den Begriff *Synaphie* hinzufügen. Dieser wurde von dem großen deutschen Geologen Wilhelm SALOMON-CALVI (Abb. 74) für diejenigen Strukturen geschaffen, die wir heute Suturen nennen. Das Wort Sutur oder Narbe wollte SALOMON-CALVI vermeiden, weil sie die *Zurück*schließung einer Wunde bedeuteten. SALOMON-CALVI sah in der Drifttheorie zu viel Mobilität, als sie einen solch einfachen Ziehharmonika-Stil der Tektonik erlauben könnte. Mit dieser Äußerung zeigte der alte deutsche Meister der Tektonik, daß er die wichtigsten kinematischen Folgerungen der Kontinentalwanderungen besser erfaßt hatte, als die meisten heutigen Geologen die der Plattenbewegungen. Deswegen gebrauche ich bei diesem Festvortrag nicht die übliche Bezeichnung „Sutur" sondern SALOMON-CALVIS „Synaphie" und hoffe, daß dieser, der Natur der Sache gerechte Terminus wenigstens im deutschen Sprachraum Verwendung finden wird.

Meine Damen und Herren!

Sie haben mit großer Geduld meine Darlegungen der glänzenden Errungenschaften der Wegener-Argand-Schule bei der Darstellung der Tethys als ein ehemaliger Ozean und ihre Folgen gehört. Sie haben auch bestimmt gespürt, daß die Vorstellungen aller Vertreter dieser Schule, in einem gewissen

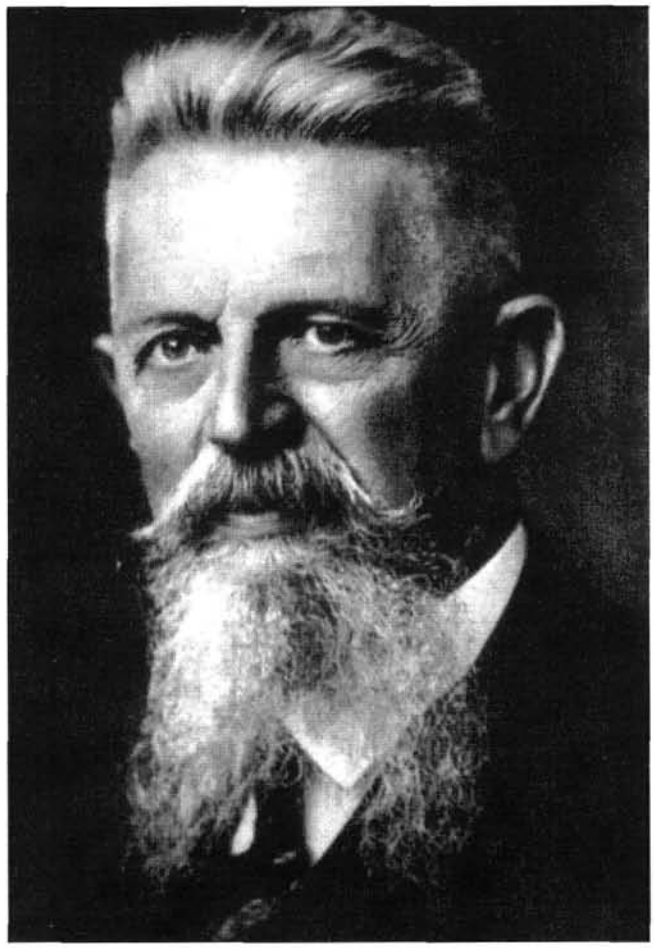


Abb. 74
Wilhelm SALOMON-CALVI (1868-1941), der Begründer des Synaphie Begriffs.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Sinne, als eine Fortsetzung der Gedanken des Eduard SUESS angesehen werden können. Jetzt aber möchten sie mich vielleicht endlich fragen: Was ist mit diesen Erkenntnissen geworden? Sind unsere heutigen Vorstellungen eine direkte Folge der Einblicke der Wegener-Argandianer?

Die Antwort darauf lautet zu einem großen Teil nein. Schon zu Lebzeiten dieser Autoren wurden sie von der überwiegenden Zahl der Erdwissenschafter, insbesondere von den Englisch-sprechenden, teilweise überhaupt nicht zur Kenntnis genommen oder ohnehin abgelehnte Vorstellungen von ARGAND, AMPFERER, F. E. SUESS, A. HOLMES und SALOMON-CALVI sind nach dem zweiten Weltkrieg dann beinahe völlig in Vergessenheit geraten. Der Fall ist in mancher Hinsicht mit dem Schicksal der Ideen der Wiener Schule vergleichbar. Die Unterschiede bestehen darin, daß keiner der Wegener-Argandianer eine große Schule um sich hatte, daß ihre Publikationen, mit wenigen Ausnahmen wie die von ARGAND und HOLMES, in nicht leicht zugänglichen Stellen publiziert wurden, daß nach dem Kriege die Haupttätigkeit in der Geologie sich in die Englisch sprechende Länder verlagerte und sich auf Themen wie Petrologie, Meeresgeologie und Meeresgeophysik konzentrierte. Auch der Zusammenbruch des internationalen wissenschaftlichen Verkehrs hat die Weiterentwicklung der regionalen Tektonik und damit die theoretische globale Tektonik gehemmt. Arthur HOLMES, der einzige einflußreiche europäische Englisch-sprechende Wegener-Argandianer, stellt den einzigen Faden dar, der die übrigen Wegener-Argandianer mit den Schöpfern der Plattentektonik verbindet. HESS (1962), in seiner epochemachenden Abhandlung, drückt seine Schuld an HOLMES und die Wichtigkeit der Idee der Konvektionsströmungen (d. h. die Wichtigkeit der Ideen zweier Österreicher, AMPFERER und SCHWINNER) mit den folgenden Worten aus:

"Long ago Holmes suggested convection currents in the mantle to account for deformation of the Earth's crust (Vening Meinesz, 1952; Griggs, 1939, 1954; Verhoogen, 1954; and many others). Nevertheless, mantle convection is considered a radical hypothesis not widely accepted by geologists and geophysicists. If it were accepted, a rather reasonable story could be constructed to describe the evolution of ocean basins and the waters within them. Whole realms of previously unrelated facts fall into a regular pattern, which suggests that close approach to satisfactory theory being attained." (HESS, 1962, S. 607).

Aber auch die Wegener-Argandianer, genau wie die Wiener Giganten früher, müssen die Aufnahmekapazität der geologischen Fachwelt überschossen haben. Viele der Vorstellungen, die in den zwanziger und dreißiger Jahren von den Wegener-Argandianer entwickelt worden waren, wurden in den fünfziger, sechziger, ja sogar in den siebziger Jahren wiederentdeckt. Viele wurden erst nach der Aufstellung der Plattentektonik allgemein angenommen. Die Vorstellungen, mit welchen sich die geologische Fachwelt zwischen dem ersten Weltkrieg und der Aufstellung der Plattentektonik begnügte, um die irdische Tektonik zu erklären, beruhten auf den kindlichen zweidimensionalen Einfachheiten des Schraubstockmodells der Orogenese, den fieberhaften Phasen der Schrumpfung und auf den streng an Phasen des tektonischen Schluckaufs gebunden gedachten magmatischen Ausbrüchen. Man kann mir nicht vorwerfen, daß es unfair wäre, von unserem heutigen Standpunkt aus die einfachen Modelle der Kober-Stilleaner zu verurteilen. Es gab auch damals nicht wenige Wegener-Argandianer, die die Unhaltbarkeit der Kober-Stilleanischen Weltanschauung an gut dokumentierten Beispielen zeigten. Anderswo habe ich gezeigt, daß wir hier zwei unvereinbare Leitbilder vor uns haben: Das eine, das sich angeblich streng an die vorliegenden Daten hielt. Es wollte die unvollständige Dokumentation der Vorzeit mit möglichst wenig geistiger Anteilnahme überbrücken, auch wenn das daraus resultierende Bild unseren Erfahrungen in der aktuellen Welt nicht entsprechen würde. Dieses Leitbild ist dasjenige der Positivisten gewesen, die mit Leib und Seele an die Möglichkeit einer gesicherten Kenntnis glaubten. Wie wir oben sahen, glaubten die Repräsentanten dieses Leitbildes vor der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts diese Sicherheit durch religiöse Offenbarung erringen zu können (weil der Herrgott nicht lügt: *veracitas dei*; STENO war das eklatanteste Beispiel dieser Denkrichtung). Ihre Nachfahren nach der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts ersetzten das *veracitas dei* mit *veracitas naturae* (weil die Naturwahrheiten nackt dastehen: POPPER, 1989, S. 7) und glaubten die Wissenssicherheit durch reine Beobachtung erreichen zu können. Wie bereits angeführt, war CUVIER vielleicht der größte Repräsentant dieser Denkrichung.

Dieses positivistische Leitbild verlangt daher das absolute Minimum an menschlicher Vorstellungskraft. Wir sollen ja danach uns nichts einbilden und lediglich die nackt vor uns Stehenden registrieren. Hans CLOOS hat diesen Glauben mit einem Zitat aus BUFFON als Motto in seinem sehr berühmten und einflußreichen Buch *Einführung in die Geologie* (CLOOS, 1936) Ausdruck verliehen: „Sammelt Tatsachen – aus diesen entsteht der Gedanke!" Aber wenn wir uns die Geschichte der Astrologie z. B. ansehen würden, eine Geschichte die mit „Tatsachenbeobachtungen" überfüllt ist, werden wir im Lichte des BUFFON'SCHEN Satzes enttäuscht, daß aus dieser Fülle von astronomischen wie historischen Tatsachen gar keine brauchbare Theorie des Himmels oder des menschlichen Verhaltens oder Schicksals erwachsen ist! Aber wie FAUST (1984) gezeigt hat, ist der Mensch geneigt, sich möglichst einfache Ideen anzueignen, weil seine geistige Kapazität viel beschränkter ist, als wir allgemein gewöhnt sind anzunehmen. Es ist diese Neigung, glaube ich, die uns die große Zahl an Positivisten in der Geschichte der Tektonik erklären kann. Auch das Versagen der Wiener Giganten und der Wegener-Argandianer, was Akzeptanz der Fachkollegen betrifft, ist darauf zurückzuführen.

Trotz allem ging die Entwicklung der Gedanken innerhalb der Kober-Stille-Schule weiter und die Vorstellungen, welche die Wegener-Argandianer gefühlsmäßig entwickelt hatten, wurden von den langsameren aber in manchen Fällen vorsichtigeren Kober-Stilleaner vereinzelt wiederentdeckt und mit reichlich Daten fundiert.

Hier ist es vielleicht angebracht, einiges über die Entwicklung wissenschaftlicher Kenntnis zu sagen.

Bekanntlich gibt es heute drei populäre Schulen, die die Entwicklung der wissenschaftlichen Kenntnis zu beschreiben versuchen. Die älteste davon ist die Theorie des großen österreichischen Wissenschaftsphilosophen Karl POPPER, die er in seiner jetzt klassisch gewordenen *Logik der Forschung* 1934 veröffentlichte.[137] Nach dieser Lehre erweitert sich unser Wissen durch Hervorbringung gewagter aber nicht unbedingt fundierter Hypothesen und ihre von Beobachtungssätzen herbeigeführte Widerlegung, d. h. Falsifikation. Der amerikanische Wissenschaftshistoriker Thomas KUHN hat dieser Theorie seine Idee der wissenschaftlichen Moden gegenübergestellt, die nur durch begriffliche Revolutionen beseitigt werden können (KUHN, 1970, 1977). Nach KUHN sind es nicht die Daten, d. h. nicht die Beobachtungssätze, die bei der Überwindung älterer Theorien maßgebend sind, sondern eine Gestaltsänderung, die den Wissenschaftern plötzlich ermöglicht,

[137] Ich zitiere hier die achte Ausgabe (POPPER, 1984).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

die gleichen Daten in einem ganz anderen Gewand zu sehen. Die wissenschaftlichen Revolutionen sollen diesen Gestaltsumschaltungen entsprechen. Die dritte Schule stammt gleichfalls von einem Wiener, dem vor kurzem verstorbenen vernunftsfeindlichen Wissenschaftsphilosophen Paul FEYERABEND. Seine Annahme ist, daß es überhaupt keinen Fortschritt gibt[138] und zwischen wissenschaftlichem und unwissenschaftlichem Wissen keine Grenzen definierbar sind. Deshalb wären wir nicht berechtigt, „Regeln" der Erkenntnis aufzustellen. FEYERABENDS Ideen finde ich so schlecht begründet, daß sie meiner Kenntnis der Geschichte der Wissenschaft so gänzlich widersprechen, daß ich sie hier nicht weiter besprechen möchte, mit der Ausnahme eines Vergleichs: Wenn man den Fortschritt des menschlichen Wissens ablehnt, würde man auch den Fortschritt der organischen Evolution ablehnen – da dies ein Prozess der Informationsbearbeitung ist (LORENZ, 1987[139]) – und den Menschen einem Pantoffeltierchen gleichsetzen. Manche können bereit sein, diesen Schritt zu machen – ich sehe keinen Grund dasselbe zu tun!

Um zwischen POPPER und KUHN zu entscheiden, finde ich ein Kriterium wesentlich. Die Geschichte der mit dem Tethys-Begriff zusammenhängenden Ideen sind bei der Verwendung dieses Kriteriums maßgebend. Es scheint mir, daß KUHN beim Vergleich zwischen dem Wechsel wissenschaftlicher Meinungen und Gestaltsumschaltungen, die Unumkehrbarkeit der wissenschaftlichen Theorieüberwindungen nicht beachtet hat. Die Gestaltsumschaltungen dagegen sind umkehrbar. Keine der verlassenen Theorien wurde in der Geschichte der Naturwissenschaft wiederaufgestellt. Niemand denkt jetzt daran, zum ptolemäischen System zurückzukehren, oder die Phlogiston-Theorie zu rehabilitieren, oder die Gebirgsbildungshypothese von ÉLIE DE BEAUMONT wieder ins Leben zu rufen.

Es sieht aber so aus, als ob die Kober-Stilleaner, die phasengebundene Gebirgsbildungstheorie von ÉLIE DE BEAUMONT rehabilitierten. Es ist aber nicht so, weil die Theorie ÉLIE DE BEAUMONTS, trotz der starken Opposition von SUESS, ihre Aktualität bis dahin nie verloren hat. Wir haben hier also zwei *konkurrierende* theoretische Modelle. KUHN (und FEYERABEND auch) würde sagen, daß die Wahl zwischen den beiden eine Geschmackssache sei. Die Geschichte zeigt uns, daß die Sachlage nicht so war. Die Theorie von SUESS konnte eine größere Anzahl von Erscheinungen erklären und sie war in einem größeren Maße widerlegbar. Die Modelle der Kober-Stilleaner waren einfacher. Sie waren ursprünglich für die Erklärung einer kleineren Anzahl von Erscheinungen konzipiert. Sie wuchsen mit einer immer größer werdenden Zahl an Hilfshypothesen, welche meistens ad hoc waren.[140] Deshalb war es schwierig sie zu widerlegen (ŞENGÖR, 1991). Nur nach der Konfrontation mit der viel stärkeren Voraussagekraft der Plattentektonik mußten die Kober-Stille-Modelle endlich aufgegeben werden. Sie konnten die überwältigenden neuen Daten, besonders diejenigen der Seismologie und Ozeanographie, innerhalb ihrer ursprünglichen Logik nicht erklären. Sie wurden also endgültig mithilfe neuer Daten widerlegt. Diese Daten waren allerdings in ihrem Rahmen, von überzeugten Vertretern der Kober-Stille-Schule wie Maurice EWING mit der Absicht gesammelt worden, die alten fixistischen Theorien endgültig zu beweisen. Es war aber ein alter fixistischer Vertreter der Wegener-Argand-Schule, der vor kurzem heimgegangene große kanadische Geologe J. Tuzo WILSON, der einsah, daß es mit den alten fixistisch-kontraktionistischen Modellen nicht mehr weiter gehen konnte. Diese Erkenntnis war kein Gestaltsumschlag. Die alten Ansichten reichten einfach nicht mehr aus, die gesammelten Erfahrungen zu erklären. Als WILSON auf Basis seines enormen Wissens der regionalen Geologie der Erde[141] erkannte, daß der Fixismus nicht mehr haltbar sei, war dieser Schritt ein unumkehrbarer. Nach und nach wurden die alten Erkenntnisse der Wegener-Argandianer fast ausschließlich durch Wiederentdeckungen nachgeholt (man ist zu denen nicht zurückgekehrt, sondern hat sie wiederentdeckt! Es ist wichtig diesen Unterschied zu verstehen.), zu denen auch neuere beigefügt wurden. Erst die Wissenschaftshistoriker haben später die alten Ideen ausgegraben.

Es war die kritisch-rationale Einstellung der Wegener-Argandianer (und SUESS selbst), die ermöglichte, mit weniger Erfahrungen, viele unseren heutigen „Entdeckungen" vorwegzunehmen. Die bescheidene Einstellung, die dem Forscher von vornherein klar macht, daß seine aufgestellten Theorien höchstwahrscheinlich falsch sein werden und erst durch Kritik verbessert (oder von einer noch besseren ersetzt) werden können, bereitet den Forscher vor, seine geringe Kapazität mit Hilfe von Ableitungen aus erst schlecht fundierten Arbeitshypothesen zu untermauern. Es scheint, als ob dadurch die Wegener-Argandianer eine bessere Methode gehabt hätten, die Schranken der von FAUST (1984) als dürftig angesehenen menschlichen intellektuellen Kapazität zu überschreiten. Die positivistische Einstellung, d. h. die Idee, daß der Mensch durch Erfahrung sicheres Wissen erlangen kann, mit anderen Worten, daß der Mensch angeblich alles wissen kann, läßt keinen Raum für solch intellektuelle Bescheidenheit. Ich glaube, die Modelle der Kober-Stilleaner widerspiegeln ein Niveau der Naivität, die wir bei den Wegener-Argandianern (und unter den Wiener Giganten) nicht finden.

Ich glaube daher, daß das Modell von POPPER die geschichtliche Entwicklung der Tektonik viel besser erklären kann, als das Modell KUHNS.[142] Man muß nur in Kauf nehmen, daß der POPPER'SCHE Prozess bei manchen schneller abrollt. Dieser Unterschied hat mit Gestaltswahrnehmungen gar nichts zu tun.

Mit dem Tod der Wegener-Argandianer Franz Eduard SUESS und Otto AMPFERER war die schöpferischste Periode der Geschichte der Tektonik vor dem Aufkommen der Plattentektonik im 20. Jahrhundert geschlossen. Die Weiterentwicklungen über den Begriff Tethys, die später erfolgten, enthielten wenig Neues. Die Ideen des Australier Samuel Warren CAREY, die besonders in der Englisch-sprechenden Welt viel Resonanz gefunden haben und welche er erst 1955 zu publizieren begann und 1958 mit der Bekanntmachung seiner Hypothese

---

[138] Diese Behauptung ist eigentlich meine Deutung seiner Gleichsetzung der Religion mit der Wissenschaft. Wenn die Entwicklung von Religion zu Wissenschaft kein Fortschritt ist, dann wüßte ich nicht wie Fortschritt definierbar wäre.

[139] Was LORENZ in der Biologie gezeigt hat, haben manche Philosophen in der Entwicklung des menschlichen Wissens wiedererkannt und daraus entwickelte sich die sog. evolutionäre Erkenntnislehre (vgl. RADNITZKY & BARTLEY, 1987). In diesem Buch ist besonders der Aufsatz von Donald T. CAMPBELL für unser aktuelles Thema von hoher Bedeutung.

[140] Das ist ein Fall, den Imre LAKATOS eine degenerierende Problemwanderung (degenerating problemshift) nennen würde (LAKATOS, 1974).

[141] Ich hatte das große Glück Tuzo WILSON noch persönlich kennenzulernen. Bei meinen Unterhaltungen mit ihm haben sein uferloses Wissen der detaillierten regionalen Geologie der Erde und sein unglaubliches Gedächtnis mich immer sehr beeindruckt.

[142] Einige Wissenschaftshistoriker haben in den letzten zwei Jahrzehnten auch betont, daß die Vorstellungen KUHNS die Entwicklungen in der Geschichte der Tektonik, einschließlich der Aufstellung der Plattentektonik, nicht erklären können (z. B. LAUDAN, 1980). Alle diese Historiker haben aber offensichtlich die POPPER'SCHE Ansicht der Entwicklung der Wissenschaft gar nicht verstanden. Deshalb sind ihre Analysen des Geschehenen in der Tektonikgeschichte sehr oberflächlich und deshalb habe ich sie hier nicht zitiert bzw. diskutiert.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

der Expansion der Erde einen Höhepunkt erreichten, wiederholten die Ideen ARGANDS und AMPFERERS. Weder die durch spätere Forschung bewährten Hypothesen von CAREY (z. B. die Rotation Iberias oder der italienischen Halbinsel, die Öffnung der von CAREY „Sphenokasm" genannten dreieckigen und von ihm „Rhombokasm" genannten viereckigen Becken mit ozeanischem Boden, die von CAREY „Oroklinale" genannten Gebirgsumbiegungen), noch die nicht bewährten aber sehr berühmt gewordenen Hypothesen wie die des „Tethyan Shear", stammten von ihm. Sie wurden alle publiziert und oft in der Literatur diskutiert, noch bevor er seine Dissertation schrieb, in welcher er angeblich die meisten seiner mobilistischen Ideen enwickelt haben sollte. Weder in seiner Arbeit aus dem Jahre 1955, noch in derjenigen in dem berühmten, von ihm selbst organisierten Symposium ist überhaupt etwas aus den Schriften von ARGAND oder AMPFERER zitiert. Alles wurde als Neuentdeckung vorgetragen. Die Bewunderung, die von der geologischen Fachwelt (überwiegend dem Englisch-sprechenden Teil!) den Publikationen CAREYS entgegengebracht wurde, und der Einfluß, den sie ausübten, zeigen wie die Arbeiten der Wegener-Argandianer in Vergessenheit geraten waren.[143]

In der zwischen den letzten Publikationen der Wegener-Argandianer und den ersten der Plattentektonik verlaufenden Intermezzo sind aber nicht alle Publikationen reaktionär oder unoriginal gewesen. Sehr wichtige Entdeckungen und damit verknüpfte Ideen sind weiter im tethysischen Raum entwickelt worden: Schauplatz waren diesmal die Inselmeere und die Inseln der südöstlichsten Ecke der ehemaligen Tethys – die Helden, Insassen der nordöstlichsten Ecke des kontinentalen Europa.

Die Helden des Intermezzos: Die Holländer in der Insulinde und der Kampf um die Inselbögen

Wir werden nun den Tätigkeiten der holländischen Geologen in den östlichsten Teilen der Tethys unsere Aufmerksamkeit schenken. Wir haben bereits Gelegenheit gehabt, die Gedanken von Gustaaf A. F. MOLENGRAAF (Abb. 75) über die aktive Gebirgsbildung in den Molukken und deren Einfluß auf die Aufstellung der Theorie der Embryonaltektonik von ARGAND zu besprechen. Umgekehrt besprachen wir auch den Einfluß alpiner Theorien auf die Gedanken der Holländer. Um die Beiträge der holländischen Geologen in der Insulinde richtig erfassen zu können, müssen wir unsere chronologische Erörterung aufgeben und zu den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts zurückkehren.

Die holländischen Arbeiten in der Insulinde haben unsere Kenntnis über dieses schwer zugängliche, größtenteils mit Urwald und Meer bedeckte Tethys-Gebiet und über die Tektonik von Inselbögen und der damit zusammenhängenden Erscheinungen wesentlich erweitert. Sie haben einen Teil der kritisch wichtigen geophysikalischen Daten beigetragen, die später für die Formulierung des Begriffes der Subduktionszone bedeutend wurden.

Wie anderswo, treffen auch in der Insulinde die zwei Denkschulen der Tektonik aufeinander: Gustaaf A. F. MOLENGRAAF, Hendrik A. BROUWER, B. G. ESCHER, L. VAN VUUREN, N. WING EASTON und Gerard L. SMIT SIBINGA representierten die Wegener-Argand-Schule. Johannes H. F. UMBGROVE und R. W. VAN BEMMELEN repräsentierten die Kober-Stille-Schule. Philip H. KUENEN und Felix A. VENING MEINESZ neigten mehr zur Kober-Stille-Schule. Ich möchte hier nicht die enormen Beiträge der Niederländer aus dem 19. Jahrhundert zur Geologie der Insulinde und zur allgemeinen Tektonik besprechen, die in einem gewissen Sinne, ihren Abschluß in den tektonischen Ansichten von WICHMANN und VERBEEK gefunden hatten.[144] Im vorplattentektonischen 20. Jahrhundert haben die Holländer begrifflich viele wichtige Neuigkeiten unserer Kenntnis der Tektonik hinzugefügt. Manche wurden kaum bemerkt, andere wurden zu gleichen Zeiten von Anderen auch anderswo an anderen Beispielen entdeckt. Nur eine dieser Neuigkeiten etablierte aber nicht nur eine neue Methodologie in der Geophysik, sondern ihre Resultate wurden zugleich zu einer Grundvorstellung der Orogenese in den vierziger und fünfziger Jahren. Die holländischen Beiträge in der menschenfeindlichen Umwelt der Insulinde haben in der Geschichte unserer Wissenschaft eine neue Epoche angekündigt!

Den in der Insulinde tätigen holländischen Geologen konnte die Lebendigkeit der tektonischen Aktivität und das Wachstum der langgestreckten vulkanischen Rücken aus dem Meer heraus nicht entgehen. MOLENGRAAF hat schon 1900 den abyssischen Charakter der von ihm benannten Danau-Formation in Nord-Borneo erkannt (MOLENGRAAF, 1902). Damit hat er die große Mobilität der Sedimentationsräume um die Inselbögen bewiesen. Schon 1916 bekannte er sich zur Drifttheorie WEGENERS, als er das Problem der Koralleninseln besprach. In diesem Artikel über die Beziehungen der Korallenriffe zur Isostasie hat der holländische Meister eine Deutung der mittelatlantischen Rücken vorgeschlagen, die sich fast völlig mit unseren neuen Vorstellungen deckt:

"Perhaps we may see in this remarkable mid-Atlantic ridge the final result of volcanic activity along an enormous fracture of the same extent, where from numerous fissures and vents volcanic material was discharged, thus a volcanic mountain-chain and cones being formed, which nowadays subside through yielding under the influence of gravity and nearly all have sunk back to a level approaching the average level of the deep submarine ridge. Here and there a few islands, where volcanic activity lasted longer or has existed to this day, still rise above the sea and others (of which naturally only a few have been discovered accidentally by soundings) still rise to different heights above the average level of the ridge but no longer attain the surface of the sea. Among these latter we mention three submarine mountains which near the western part of the Azores rise from the bottom of the ocean, which has there a depth of about 3,000 meters, to elevations of 146, 128, and 88 meters, respectively, below sea level. The cause for the extrusion of such enormous masses of volcanic material might perhaps be sought in the disruption of the American continent from the European-African one with which it formerly cohered. This disruption was assumed by Pickering and Taylor and a plea for it is again brought forth by Wegener on page 68 of his paper quoted before. On this supposition the mid-Atlantic ridge would in my opinion indicate the place where the first fissure occurred and the sima was first laid bare. From this it would follow logically that the ridge itself must consist entirely of sima and not of sial, as Wegener assumes on page 69." (MOLENGRAAF, 1916, S. 625 f.). In

[143] Ich muß aber gestehen, daß ich bereits 1974, als ich aus Europa nach Amerika als Schüler kam, die in Amerika von den Arbeiten und Vorträgen von CAREY ausgelöste Bewunderungswelle nie recht verstehen konnte. Auch damals war es mir klar, daß die meisten von CAREY vorgeschlagenen Ideen nicht von ihm waren (einschließlich denjenigen über die Tektonik Amerikas; in Istanbul war ich schon als Gymnasiast mit den Ideen ARGANDS vertraut geworden und konnte mir kaum vorstellen, daß ein Berufstektoniker von dieser nichts gehört haben könnte) und deshalb ich seine mit den Gebärden eines Entdeckers vorgetragenen Ausführungen abstoßend fand. Seine Behandlung der Geologie des auch damals gut bekannten mediterranen Raumes betrachtete ich höchstens als amateurhaft und konnte nicht glauben, daß sie von der Fachwelt überhaupt erst genommen wurde.

[144] Für die früheren holländischen Beiträge zur Geologie SO-Asiens, siehe die umfassende Bibliographie von VERBEEK (1912,1914).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

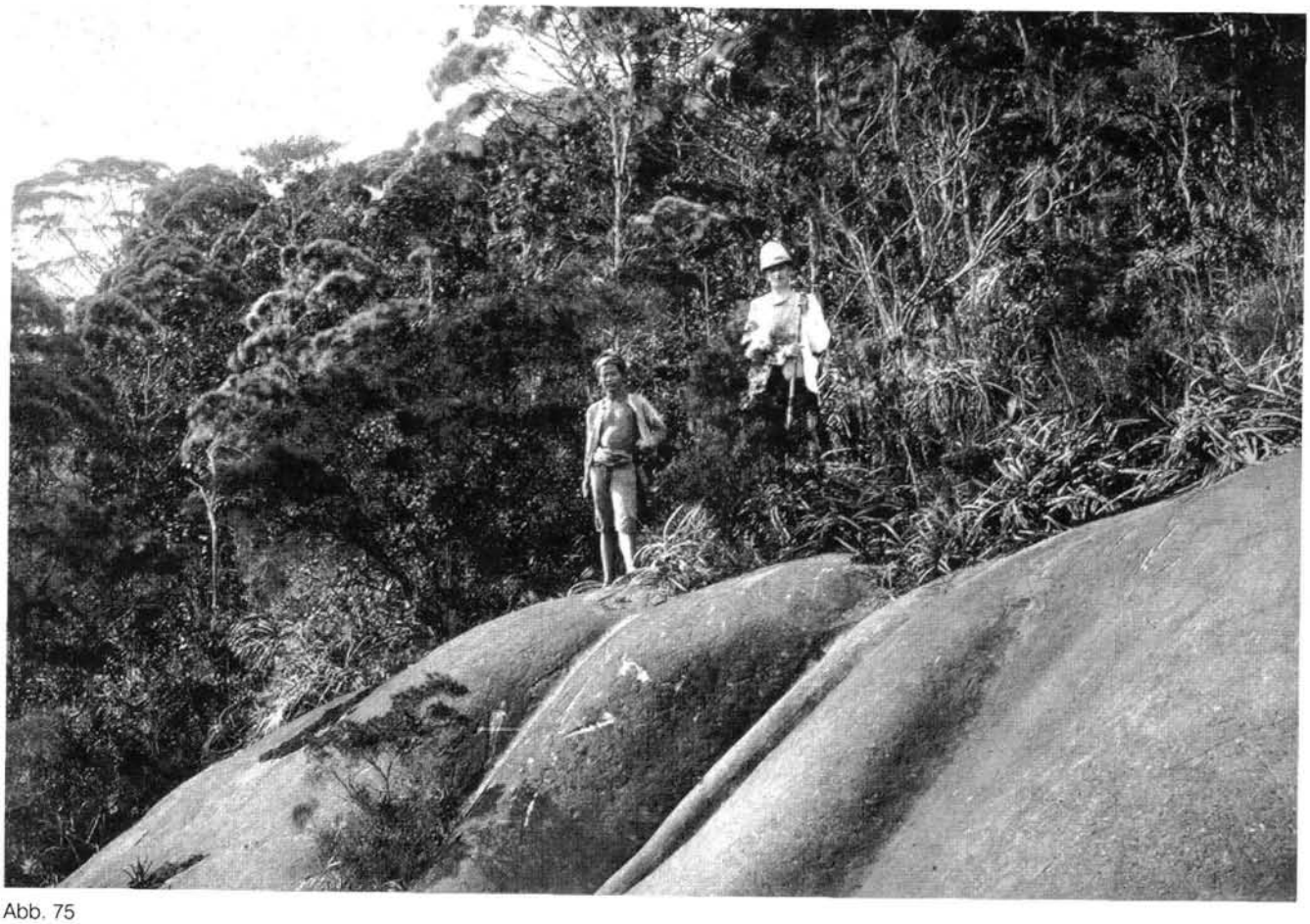


Abb. 75
Gustaaf Adolf Frederik MOLENGRAAF (1860-1942) im Gelände in der Insulinde.

einer weiteren Abhandlung aus dem Jahre 1928 schrieb MOLENGRAAF ferner, daß "If so, this mid-Atlantic fracture is strictly comparable to the great rift-valley (Ost-Afrikanische graben [*sic!*]) in East Africa, along which the disruption of the more westerly greater portion of Africa from the smaller easterly portion appears to be now in active preparation[145]" (MOLENGRAAF, 1928, S. 91).

Im Artikel aus dem Jahre 1916 sehen wir aber, daß auch MOLENGRAAF sich durch die Geosynklinalhypothese die Hände binden ließ. Nach den Vorstellungen WEGENERS sah er ein, daß Kontinente nicht zu Ozeanböden und umgekehrt Ozeanböden nicht zu Kontinenten werden können. Die Existenz der Tiefseebildungen (wie z. B. seine Danau-Formation) auf den heutigen Kontinenten versucht er durch einen Akkretionsprozeß zu erklären, der im Prinzip nicht unähnlich zu den späteren Ideen ARGANDS über die Akkretion im Kuen-Lun war:

"Finally it may be remarked that according to the hypothesis put forward in this paper it is not possible that deposits formed on the floor of true oceanic regions will ever be definitely raised above sea-level and so partake in the building up of continents. In accordance with this is what experience had until now taught about the occurrence of fossil deep-sea deposits on the continents. Although their occurrence there is much less limited than is generally supposed, they are exclusively found in geosynclinal regions, i. e. in parts which once, before their folding and forcing up, were deep troughs at a relatively small distance from the edge of continents and by no means true oceanic regions." (MOLENGRAAF, 1916, S. 626).

Schon WEGENER hat in der vierten (und zu seinen Lebzeiten letzten) Auflage seines klassischen Buches bemerkt, daß besonders in der Insulinde tätige holländische Geologen sich *größtenteils den in seiner Drifttheorie enthaltenen mobilistischen* Ideen angeschlossen hatten (WEGENER, 1929, S. 93). Trotz der ablehnenden Haltung WEGENERS gegenüber seinen Ideen[146], war die Arbeit WING EASTONS aus dem Jahre 1921 eine der originellsten Abhandlungen, die so früh über die *Drifttheorie geschrieben worden war.*

In dieser Arbeit hat WING EASTON folgende Ideen entwickelt:

1) Wenn die Sal-Blöcke im Sima schwimmen, müssen sie bei ihren Wanderungen im Sima den Oberflächenwellen des Sima folgen und daher sich nicht nur horizontal, sondern auch vertikal bewegen. Die Geosynklinalen sind nichts als solche Vertikalbewegungen erleidende Blockränder, d. h. Kontinentalschelfe.

2) Die Bewegungen der Salblöcke können mit Hilfe der Paläoklimatologie rekonstruiert werden.

3) Wo zwei Blöcke kollidieren, findet Orogenese statt. Die Schelfe sind dabei am meisten betroffen: "that the weaker parts (especially the shelves) will have to suffer most and will be compressed into the smallest possible volume **(mountain building)**. It is obvious that this orogenesis will take place with the preservation of the isostatic equilibrium, for these shelves belong to blocks which are subject to law of isostasy; it is only in this way that gravitation plays a part in mountain-building." (WING EASTON, 1921, S. 124; Hervorhebung durch WING EASTON).

4) Alle Kontinente sind nichts als ein Mosaik von einst freitreibenden Blöcken: "The Timor-Ceram group of islands offers an

[145] Vgl. WEGENER (1915, S. 50 ff.).

[146] Über die Arbeit von WING EASTON schrieb WEGENER folgendes: „Hier werden einige meines Erachtens weniger glückliche Abänderungen der Verschiebungstheorie vorgeschlagen" (WEGENER, 1929, S. 225).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

excellent example of such a collision (Molengraaf, Compte Rendu de la XII Session du Congrès Géologique Int. de Toronto, 1913, 689 ff) but it is most likely that many others have occurred in the course of the Earth's History, the crumbled blocks now lie hidden somewhere and belong to the 'tectonic puzzles'" (WING EASTON, 1921, S. 125). Ferner: "I should be surprised if anybody, after such a study, could deny that the geological features can be explained in a much simpler, and above all things in a more rational way, if the continent is considered as not having been formed in the place where it is now, but as being composed of a mosaic of smaller and bigger blocks, which came floating along in different times. The former outlines of the blocks may have become for a great deal ill-defined by mutual rubbing, by sedimentation and by denudation..." (WING EASTON, 1921, S. 125 f.).

5) Alle Kontinente wurden von einem Superkontinent in der südlichen Hemisphäre losgelöst und wanderten nach Norden. Die Gebirge in der nördlichen Hemisphäre entstanden durch die Kollision solcher nach Norden treibender Schollen. Seitenkollisionen kamen ebenso vor und erzeugten meridionale Gebirgszüge wie den Ural: "If all the Sal-blocks, now drifted together especially on the northern hemisphere, have really made an ocean-voyage, they must have come from the South, and our Earth's History then very concisely be described as follows:

In the Proterozoic Era (Precambrium) the primeval Sal-Continent, which was already folded, crumpled and faulted to the utmost, was situated around the South Pole; in the North was the Ocean. We will not discuss the question how it was that the Sal-matter had gathered in that area. From time to time bigger and smaller, higher and lower blocks of most different shapes got loose and floated to the North. Some of them reached the North Pole; their shelves left a blank space between them: the Arctic Ocean. The collision of the other often gave rise to folding and mountain-building and to block-faulting. By the side of a northerly motion there also existed at intervals a westerly or easterly (transversal) movement, which shifted larger groups of blocks that had already subsided. Of course collisions could occur, with mountain building as a consequence, also in this direction (Ural).

...

Whereas the first blocks left the shore [*of the primeval Sal-Continent*] at or even before the beginning of our Earth's History, the last only set out in the course of the Miocene: Australia and New Zealand. The latter consisting of two islands of different provenience [*sic!*], is still pretty far behind. After having left Wilkesland, Australia has, with its greater velocity, first overtaken and carried along with it New Guinea, and then some smaller blocks; their resistances having become apparent by the crushing of the Timor-Ceram group and by the splitting-up of the New Guinea front. Finally it has pressed its 'guests' against the Sunda Islands which, having travelled from the part of Antarctica situated to the west of Wilkesland, where they were *formerly neighbours of Madagascar and South Africa, had settled* down already near the southeast coast of Asia.

All the Pacific islands are travelling still full speed. The Philippines, the Eastasian [*sic!*] groups of islands, Japan, Sachalin, Formosa, Hainan, seem to have accommodated themselves to the very slow speed of Asia, but only very recently. Kamtschatka [*sic!*], Korea, East-Shantung, Malacca, and perhaps some other 'blocks' have already become connected with the Main-Continent by narrow bridges, the paint of which is hardly dry." (WING EASTON, 1921, S. 126 f, 129).

6) Organische Evolution wird durch Isolation verursacht und Kontinentalwanderungen beschleunigt.

Es ist nicht möglich die Darstellungen von WING EASTON zu lesen, ohne sich an unsere heutige Terranologie zu errinnern. Ein solcher Vergleich wäre aber nur sehr oberflächlich, da die heutigen Terranologen leider zu wenig intellektuelle Originalität und Mut eines WING EASTON aufweisen. WING EASTON schlug seine Hypothesen vor, nicht als das Phänomen rettende Beschreibungen, wie die heutigen Terranologen uns empfehlen (ŞENGÖR, 1990c), sondern als sehr gewagte Herausforderungen an die Fachwelt: "This paper is a child of its age; it is in the fullest sense of the word revolutionary, and yet it is from a man who is of a critical rather [*than*] conservative mind. It contains heavy *food, which wants some time to digest. Much good may it do to the* reader" (WING EASTON, 1921, S. 133). Er hat ein Zitat aus einer Schrift des Physikers J. A. SCHOUTEN als Motto am Anfang seiner Abhandlung gestellt: "There can be no permanent dispute, at least among professionals, about what experience has taught us. A difference of opinion as to the value of some doctrine can always be settled by means of proper experiments." Er hat den Wunsch geäußert, bald mögen kritische geodätische Experimente durchgeführt werden, um die Driftkontroverse zu entscheiden.

Es ist mir nicht bekannt, ob die anderen Wegener-Argandianer, wie ARGAND selbst, oder Wilhelm SALOMON-CALVI diese bemerkenswerte Arbeit von WING EASTON gelesen haben. Viele ihrer Ideen aber, wie z. B. die früheren asiatischen Kontinentalkollisionen, die Mosaikstruktur der Kontinente von ARGAND und die Synaphie von SALOMON-CALVI, hatten ihre erste Formulierung in der Abhandlung WING EASTONS.

Den größten Einfluß auf die Holländer übte aber die Theorie der Embryonaltektonik ARGANDS. Bereits 1917 interpretierte BROUWER die tektonische Entwicklung dieses östlichsten Teiles der Tethys auf Basis der Vorstellungen von MOLENGRAAF und ARGAND. Er deutete die insulindischen Inselreihen als Geantiklinalkämme, die auf gewaltigen Überschiebungsbahnen in Richtung des Vorlandes marschieren.

BROUWERS von ARGAND entlehnte Deutung stieß aber bald auf den Widerspruch STILLES. In seiner 1919 publizierten Abhandlung über *alte und junge Saumtiefen* stellte der deutsche Meister die Realität der angeblich noch andauernden Deckenschübe in den Molukken in Frage. BROUWER konnte nämlich das für diese Interpretation nötige Beweismaterial, das nach der Auffassung von STILLE nur aus Diskordanzen bestehen konnte, nicht vorbringen. STILLE glaubte in der heutigen Tektonik der Molukken, d. h. in von BROUWER als „die jüngsten gebirgsbildenden Vorgänge" (BROUWER, 1917, S. 202) bezeichneten Ereignissen, nur epirogenetische Bewegungen, die sich lediglich in Vertikalbewegungen äußern sollten, zu sehen. BROUWER verteidigte sich in einem Antwortschreiben (BROUWER, 1920), STILLE war aber ohne kartierbare Diskordanzen, welche BROUWER nicht vorbringen konnte, weil die in Frage stehenden Gebiete untermeerisch waren, nicht zu befriedigen (STILLE, 1920):

„Den weiteren Mitteilungen von BROUWER ist mit großem Interesse entgegenzusehen, aber ich bezweifle schon heute, daß sie genügen werden, die jugendliche Vorwärtsbewegung der Molukken zu beweisen. Die ganze Frage dürfte wohl überhaupt in den Molukken selbst schwer lösbar sein, schon weil das Meer hier diejenigen Zonen verhüllt, in denen z. B. die Schichtverbände nach jugendlichen Diskordanzen, wie junge Vorwärtsbewegungen sie herbeiführen müßten, zu untersuchen wären. Die Lösung muß auf dem von mir in der Mitteilung über die alten und jungen Saumtiefen warm empfohlenen „retrospektiven" Wege, d. h. durch Vergleich mit analogen Fällen der *geologischen Vergangenheit, die unserer Untersuchung heute zugänglich* sind, erstrebt werden. Und dieser Weg führt uns zu der Erkenntnis einer von Brüchen, Falten und Vorwärtsbewegungen freien Epirogenese, die Geosynklinalen und Geantiklinalen, wie heute in den Molukken, schafft, und er lehrt uns die Beschränkung der orogenetischen Vorgänge, z. B. der Vorwärtsbewegungen nach Art alpiner Decken, auf verhältnismäßig wenige, ganz bestimmte und kurzfristige Termine. Ich weiß sehr wohl, daß mancher ausgezeichnete Alpengeologe in letzterer Hinsicht noch anders denkt, – und darauf mag BROUWER *sich vielleicht einstweilen noch berufen. Aber ich bin fest* überzeugt, daß eine strenge Kritik bei der zeitlichen Fixierung orogenetischer Ereignisse, die im allgmeinen nur die erkennbaren Diskordanzen, nicht aber allerlei theoretische Überlegungen von z. T. sehr subjektiver Färbung als Beweismaterial zulassen kann, auch in der alpinen Geologie der Vorstellung von der Episodizität aller orogenetischen Ereignisse und damit auch der Deckenschübe zur allgemeinen Anerkennung verhelfen wird" (STILLE, 1920, S. 7).

STILLES Antwort auf BROUWER dokumentiert noch einmal die Einstellung der Kober-Stilleaner gegenüber den geologischen

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Vorstellungen. STILLE, genau wie CUVIER, hatte wenig Zeit für Dinge, die er nicht unmittelbar beobachten könnte. Die Vorstellungen eines MOLENGRAAF, eines ARGAND oder eines BROUWER, die auf einem nach den aktuellen Vorgängen gebildeten Modell beruhten, waren für STILLE viel zu spekulativ um ernstgenommen zu werden. Er konnte den Marsch der Geantiklinalen auf das Vorland nicht „sehen" – es gebe also keinen solchen Marsch!

STILLES Einwände wurden auch von anderen nahmhaften, in der Insulinde tätigen Geologen sehr ernst genommen (z. B. UMBGROVE, 1934, S. 168).

In den dreißiger Jahren wechselte sich die Atmosphäre in der Insulinde, indem der Enthusiasmus für die WEGENER'SCHE Theorie zu schwinden begann. Ein Schüler von BROUWER, Reinout W. VAN BEMMELEN, der mit einer ausgesprochen mobilistischen Dissertation über die betischen Kordilleren promovierte (VAN BEMMELEN, 1927) und später als kartierender Geologe in der Insulinde tätig war, wurde von der *Oszillationstheorie* Erich HAARMANNS, einem Schüler STILLES, sehr beeindruckt.[147] HAARMANN griff in seinem gleichnamigen Buch (HAARMANN, 1930) die Lieblingstheorie seines Lehrers, d. h. der Schrumpfungstheorie, heftig an, ohne aber die von STILLE geschaffene Erscheinungswelt der Tektonik zu ändern. Auch bei HAARMANN sehen wir die Epirogenese von STILLE im Gewand der „Primärtektogenese" und die Orogenese in demjenigen der „Sekundärtektogenese". Auch bei HAARMANN ist alles fixistisch, ja noch fixistischer als bei STILLE. Nur rückte HAARMANN vom rigiden Phasenschema der Orogenesen seines Lehrers ab (HAARMANN, 1933). Einem in der Insulinde tätigen und von MOLENGRAAF und BROUWER geschulten Geologen mußte das sehr attraktiv erscheinen. Die Drifttheorie WEGENERS wurde von den meisten Geologen heftig angegriffen und es schien auch kein Mechanismus für die Drift der Kontinente vorhanden zu sein.

VAN BEMMELEN nahm das von STILLE 1919 und 1920 verteidigte Bild der Molukken als gegeben an. Er verwendete für deren Erklärung die Oszillationstheorie von HAARMANN, untermauert mit seinen eigenen Ideen über einen Mechanismus der Vertikalbewegungen (vgl. VAN BEMMELEN, 1931a, b, c; 1932, 1933a, b, 1935), der von der chemischen Differenzierung des Planeten herrührt. VAN BEMMELEN nahm an, daß die Kruste nach den chemischen Materialeigenschaften in drei Zonen, nach der Mobilität des Materials in zwei Zonen geteilt sei: Sal (heute Sial), Salsima und Sima. Salsima war eine von Ernst KRAUS 1927 (S. 224) angenommene primitive Mischung aus sialischen und simatischen Bestandteilen, deren Differenzierung nach VAN BEMMELEN die Grundursache der Oszillationen bilden sollte. VAN BEMMELEN übernahm ferner die Auffassung von VAN HISE (1904), daß die Kruste in eine obere, 10 km mächtige spröde und eine untere fließfähige Zone unbekannter Mächtigkeit geteilt werden könnte (VAN BEMMELEN, 1933b, 1935).

VAN BEMMELEN stimmte mit HAARMANNS Identifizierung STILLES Epirogenese mit seiner Primärtektogenese und STILLES Orogenese mit seiner Sekundärtektogenese völlig überein (VAN BEMMELEN, 1933a, S. 197; vgl. aber VAN BEMMELEN, 1933b, S. 797) und sah „die Ursache der Primärtektogenese in der natürlichen magmatischen Differentiation. Diese stört das hydrostatische Gleichgewicht in der Kruste, was zu periodischen Massenbewegungen in der Fließzone Anlaß gibt. An der Oberfläche äußern sich die Massenverlagerungen in Form von vertikalen Bewegungen (Primärtektogenese)." (VAN BEMMELEN, 1933a, S. 197). VAN BEMMELEN hat 1933 die durch Primärtektogenese verursachten Hebungen in drei Klassen geteilt und sie mit den Undationen von STILLE verglichen. Die folgende Tabelle III reproduziert VAN BEMMELEN'S Tabelle (VAN BEMMELEN, 1933a):

Tabelle III

STILLE	VAN BEMMELEN
Generalundationen	Undationen erster Ordnung = *Kontinentale Aufwölbungen und Geosynklinalgebiete*
Spezialundationen	Undationen zweiter Ordnung = *Geantiklinalen (Gebirgsketten, Inselbogen) und Geosynklinalen*
	Undationen dritter Ordnung = *„Tumore" und Depressionen in einer Gebirgskette mit wenigen Dutzenden km Durchmesser*

VAN BEMMELEN unterschied auch zwei Arten der Sekundärtektogenese:

a) Sekundärtektogenese nahe der Oberfläche (obere 10 km der Kruste, sekundärtektogenetische Gleitung im Sinne von HAARMANN, 1930).

b) Sekundärtektogenese in größerer Tiefe, welche hauptsächlich das Zerfließen von Anhäufungen magmatischer Differentiationsprodukte und das gleichzeitige Zuströmen des neuen Salsima umfaßt.

Obwohl VAN BEMMELEN einem Tip JEFFREYS' (1927) über die Rolle des Gewichts der Berge bei der Ausgleichung des Reliefs folgte, schrieb er ursprünglich die orogenetischen Strukturen überwiegend Schweregleitungen zu. Erst in seinem großen Buch über die Geologie von Indonesien hat VAN BEMMELEN (1949) die Rolle der Ausbreitung eines überhöhten Gebirges gewürdigt. Er hat 1955 die durch Schwere verursachte Tektogenese in drei Klassen geteilt: dermale, bathydermale und subkrustale Tektogenesen (VAN BEMMELEN, 1955).

Abb. 76a & b veranschaulichen die ursprüngliche Fassung der orogenetischen Entwicklung nach der Oszillationstheorie. Abb. 77 zeigt ihre Anwendung auf das Beispiel der mesozoischen Entwicklung der malaiischen Halbinsel und Sumatra. Die beiden Abbildungen zeigen deutlich, daß VAN BEMMELEN am Kober-Stille'schen Modell des zweiseitigen Orogens und seiner zeitlichen Entwicklung fast nichts änderte. Er hat nur seitliche Kompression mit Vertikalbewegungen ersetzt. Seine Ansichten, zusammen mit denjenigen HAARMANNS, haben nur in der Sowjetunion durch M. M. TETJAEW (1934) und seinen Schüler W. W. BELOUSSOW (1948) Anhänger gefunden. Seine eigenen Schüler versuchten die Oszillationstheorie in den Ostalpen, im Apennin und in den übrigen westmediterranen Gebirgsketten anzuwenden (vgl. z. B. ANONYM, 1969). Einige anderen wie GLANGEAUD (1957, 1968) oder sogar MAXWELL (1970) haben die Oszillationstheorie auf die perimediterranen Kettengebirgen angewendet. All diese Versuche sind aber gescheitert, weil die rein vertikalen Bewegungen heute völlig verschwundene Faziesräume nicht zu erklären imstande waren.

Nur im letzten Jahrzehnt scheinen wir nochmal zu den Ideen VAN BEMMELENS zurückzukehren. Diesmal aber im Rahmen

[147] VAN BEMMELEN war nicht der einzige Holländer, der damals von den Ideen von HAARMANN beeindruckt war. Vgl. DE WIJKERSLOOTH (1934, S. VII): „Es geht aber aus dem Bau des Apennins deutlich hervor, daß einer Abgleitungstektonik, wie E. HAARMANN sie in seiner „Oszillationstheorie" auf Grund eines reichen Beobachtungsmaterials nach der theoretischen Seite hin behandelt hat, in der Tat eine wirkliche Bedeutung im alpinen Gürtel zukommt." Das Exemplar dieses Buches in meiner Privatbibliothek trägt die Unterschrift VAN BEMMELENS!

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

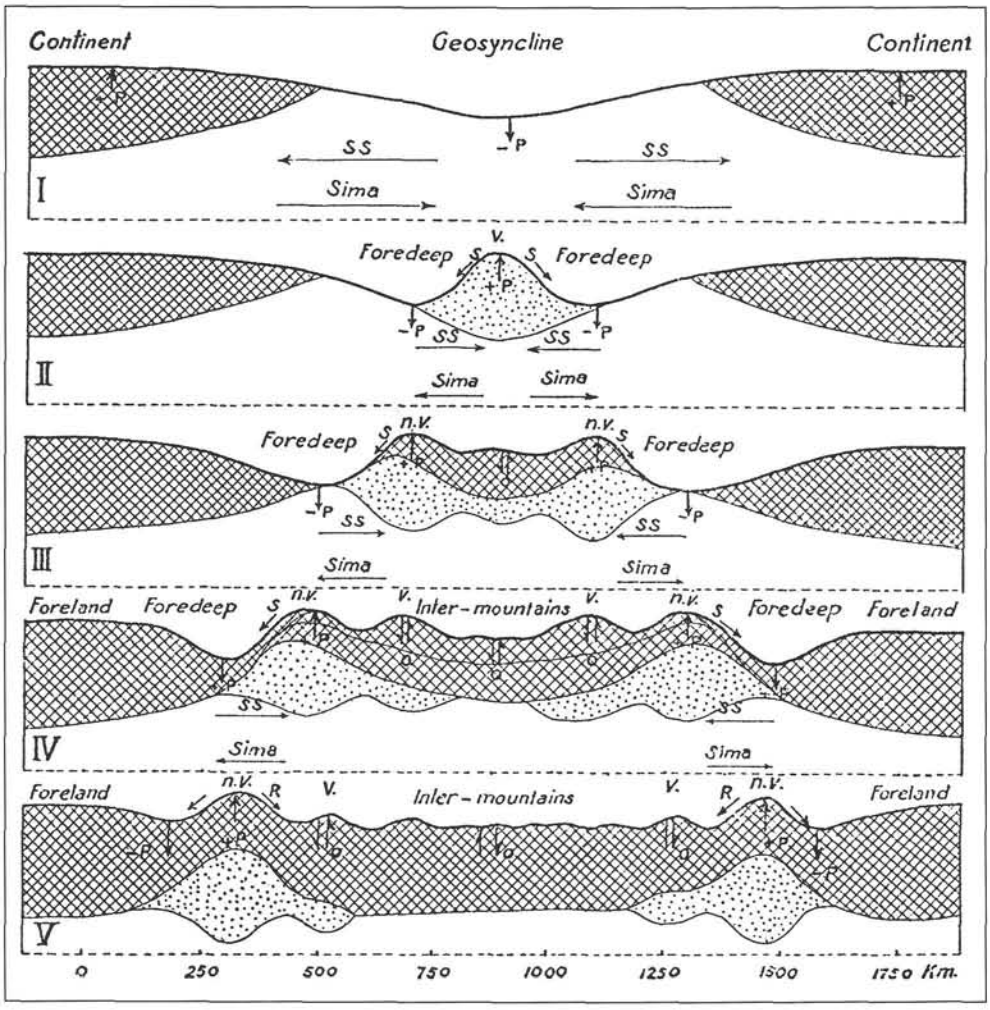


Abb. 76a
Orogenese nach der Undationstheorie van BEMMELENS (aus VAN BEMMELEN, 1949, Fig. 102). VAN BEMMELEN hatte diese Abbildung zuerst 1935 publiziert (VAN BEMMELEN, 1935, Fig. 4). Die Abkürzungen sind dieser früheren Arbeit entnommen: SS. „Salsima"; +P. Primäre orogene Hebung; – P. Primäre orogene Einsenkung; 0. Primäre tektonische Oszillation; S. Sekundäre tektonische Gleitung der Schichten; R. Rückgleitung („Rückfaltung"); I. Geosynklinale Phase (man vergleiche mit Abb. 35a!); II. Embryonische Phase: v. Aufsteigen eines Mittelrückens (man vergleiche mit Abb. 35b!); III. Jugendsphase: n. v. nichtvulkanische Rücken; IV. Phase der Vorreife; V. Phase der Reife. Man vergleiche diese Entwicklung auch mit derjenigen in Abb. 42.

Abb. 76b →
Dasselbe wie Abb. 76a mit Betonung der Symmetrie des Systems (aus VAN BEMMELEN, 1949, S. 724). Ganz unten ist die Terminologie KOBERS angeführt.

der Plattentektonik und mit ganz anderen, Krustenverkürzung nicht ausschließenden Voraussetzungen. Ich habe diesen Trend in ŞENGÖR (1993a) besprochen und kritisiert und werde ihn im 2. Teil bei der Besprechung der Alpiden wieder aussprechen.

Die Ideen von VAN BEMMELEN waren ein Merkmal der Zeit. Sowohl die Geosynklinale als auch die phasengebundene, episodische Orogenese wurden als Tatsachen betrachtet und der Geologe bemühte sich diese zu erklären. Nicht nur die Geologen, auch die Geophysiker des Intermezzos standen im Bann dieser beiden geologischen Begriffe.

Einer dieser Geophysiker war, zum großen Glück der Erdwissenschaften, mit einem seltenen Genius und Tatkraft ausgerüsteter, unsterblicher Schöpfer der Schweremessungen auf der Hochsee, Felix Andries VENING MEINESZ (Abb. 78), „der tauchende Holländer" (HOLMES, 1965, S. 958[148]). Als Bauingenieur in einer sich mit Schweremessungen beschäftigenden Vermessungsanstalt entwickelte VENING MEINESZ einen Apparat, der auf den instabilen Sumpfböden Hollands unter Ausschaltung mikroseismischer Oszillationen die Schwere messen konnte. VENING MEINESZ wußte, daß sein Apparat auch die Schwere auf der Hochsee messen könnte, solange man die Effekte der Wogen ausschalten könnte. Die königlich holländische Kriegsmarine hat sich bereit erklärt, Herrn VENING MEINESZ samt seinem Apparat an Bord eines Unterseeboots zu nehmen um diese Idee zu prüfen.

Die drei Seereisen des Ihrer Majestät Unterseebootes K XIII in der Insulinde in den Jahren 1929 und 1930 haben Geschichte gemacht: Sie haben eine 100 bis 200 km schmale aber tausende von km lange Zone des Schweredefizits entdeckt, welche längs der orogenen Zone der Insulinde lag (Abb. 79). VENING MEINESZ und seine geologischen Freunde J. H. F. UMBGROVE und P. H. KUENEN haben die Resultate ausgewertet. Sie wurden in zwei Bänden 1932 und 1934 herausgegeben. Um das erhebliche Schweredefizit erklären zu können entwickelte VENING MEINESZ (1930) die folgende Hypothese:

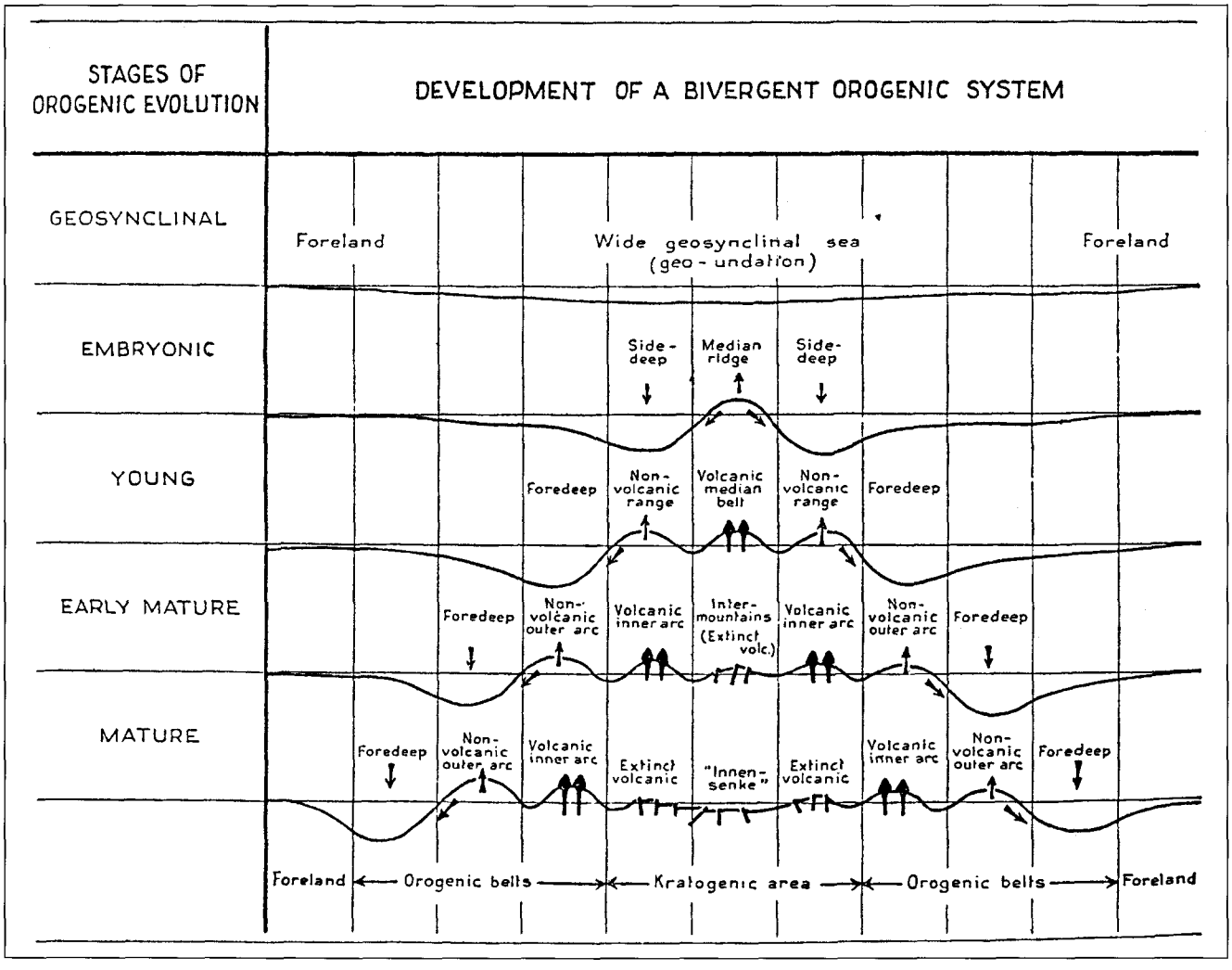
Die Erdkruste besteht aus einer oberen, leichten Sialschicht und einer unteren schweren Simaschicht. Unter seitlicher Pressung entstehen in der Sialschicht zuerst 200 bis 400 km breite Krustenwellen[149]. Wenn die Einengung fortschreitet, wird plötzlich eine dieser Wellen sich falten und die Faltenwurzel mit einem 20×60 km Querschnitt (VENING MEINESZ, 1934, S. 121) in die darunterliegende Simaschicht eintauchen (Abb. 80). VENING MEINESZ sah in der Phase der Wellenbildung die Entstehung einer Geosynklinale und in der Faltung, die (plötzliche) Orogenese. Mit dem Abtauchen der Wurzel könnte das beobachtete Schweredefizit erklärt werden. Mit der Zeit würde die Wurzel schmelzen und die postorogenen (nach STILLE „subsequenten") Granite erzeugen.

Diese Hypothese von VENING MEINESZ war eine geniale Idee, die so viele Aspekte der Gebirgsbildung sozusagen in

[148] Der Hinweis auf die Stelle im Buche HOLMES, an dem die Bezeichnung „der tauchende Holländer" steht, verdanke ich LAUDAN (1980, S. 658).

[149] VENING MEINESZ schrieb acht Jahre nach der ersten Veröffentlichung seiner Theorie, daß die Breite dieser Krustenwellen 300-400 km sei (VENING MEINESZ, 1940, S. 284).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



einem Atemzug erklären konnte. Die Holländer waren gespannt und man wollte die Beobachtungen fortsetzen. Noch einmal wurden aber die rationalen Engel der Wissenschaft von den Teufeln des menschlichen Wahnsinns zurückgewiesen: Die holländischen Pläne, die Orogene Südostasiens und damit Orogenese überhaupt besser zu verstehen, fielen den Flammen des zweiten Weltkrieges zum Opfer!

Manches wurde aber trotz des Krieges unternommen. Wenn man nicht beobachten kann, steht ja nichts im Wege, weiter über das schon Beobachtete nachzudenken. Einer der Kollegen VENING MEINESZS, J. H. F. UMBGROVE, hat die tektonischen Modelle der Inselbögen während des Krieges und danach weiter ausgebaut.

Die seismischen Studien wurden hauptsächlich von VISSER (1930, 1937a, b), BERLAGE (1937) und GUTENBERG & RICHTER (1941, 1945) unternommen. Sie zeigten, daß unter den Zonen des Schweredefizits auch schräggestellte seismische Zonen bestanden. Die Schnittlinie der Oberfläche mit der seismischen Zone fiel mit den Schweredefizitzonen und den Tiefseerinnen zusammen. Diese mit 45°-55° unter die Inselbögen einfallenden seismischen Zonen waren mit der ursprünglichen Theorie von VENING MEINESZ schwer vereinbar. VISSER (1936) erkannte in diesen seismischen Zonen gewaltige Scherzonen, entlang welcher die Kontinente bzw. die Inselbögen die Ozeanböden zu überschieben schienen. Er brachte sie mit der Theorie von HOLMES (1929) zusammen: "The only theory, which may explain the facts is HOLMES'S theory of sub-crustal convection currents. He himself... has pointed to the connection between the oceanic depths of the western margins of the Pacific and the epicentres of many deep earthquakes that have originated from foci hundreds of kilometres below the surface." (VISSER, 1936, p. 266).

Die kühnen Intrepretationen VISSERS regten BERLAGE auf: "Everybody who has followed the development of our knowledge about deep-focus earthquakes in this country and in other parts of the world and who has read the stimulating and critical remarks on deep focus earthquakes in the ISS by S. W. VISSER... will understand how urgent the work was, which is here presented" (BERLAGE, 1937, p. 7). Und was er zu präsentieren vorhatte, war nichts weniger als eine Karte der Tiefenlage der Scherzonen in Südostasien, auf welchen die Tiefbeben stattfanden (Abb. 81). Obwohl "It should... be understood that it was an impossibility for the author to go into minute calculations, so that in many cases he gives the epicentres to the next entire degrees longitude and latitude only, and in every case the focal depth in the next one hundred kilometres only" (BERLAGE, 1937, S. 7). BERLAGE glaubte nicht, daß „the results... are... likely to be invalidated by greater precision" (*ibidem*).

Der mobilistische Meister SMIT SIBINGA griff sofort die Resultate und die Interpretationen BERLAGES auf und wies darauf hin, daß die vorliegenden Daten auf eine kompliziertere Geometrie der tiefen Scherzonen hindeuteten, als BERLAGE sie angenommen hatte (SMIT SIBINGA, 1937). SMIT SIBINGA machte darauf aufmerksam, daß besonders in der nördlichen Molukka-Straße, eine Scherzone unter den Talaud- und Snellius-Rücken gegen den Ozean einzufallen schien (Abb. 82). Auch nördlich von Timor glaubte er eine ähnliche „anormale" tiefe Scherzone sehen zu können. Diese Scherzonen mit unerwarteter Einfallsrichtung sollten an der Oberfläche entlang bedeutender Strukturen mit den „normalen" in Kontakt kommen. "The two reversely inclined deep-focus planes interfere where the

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

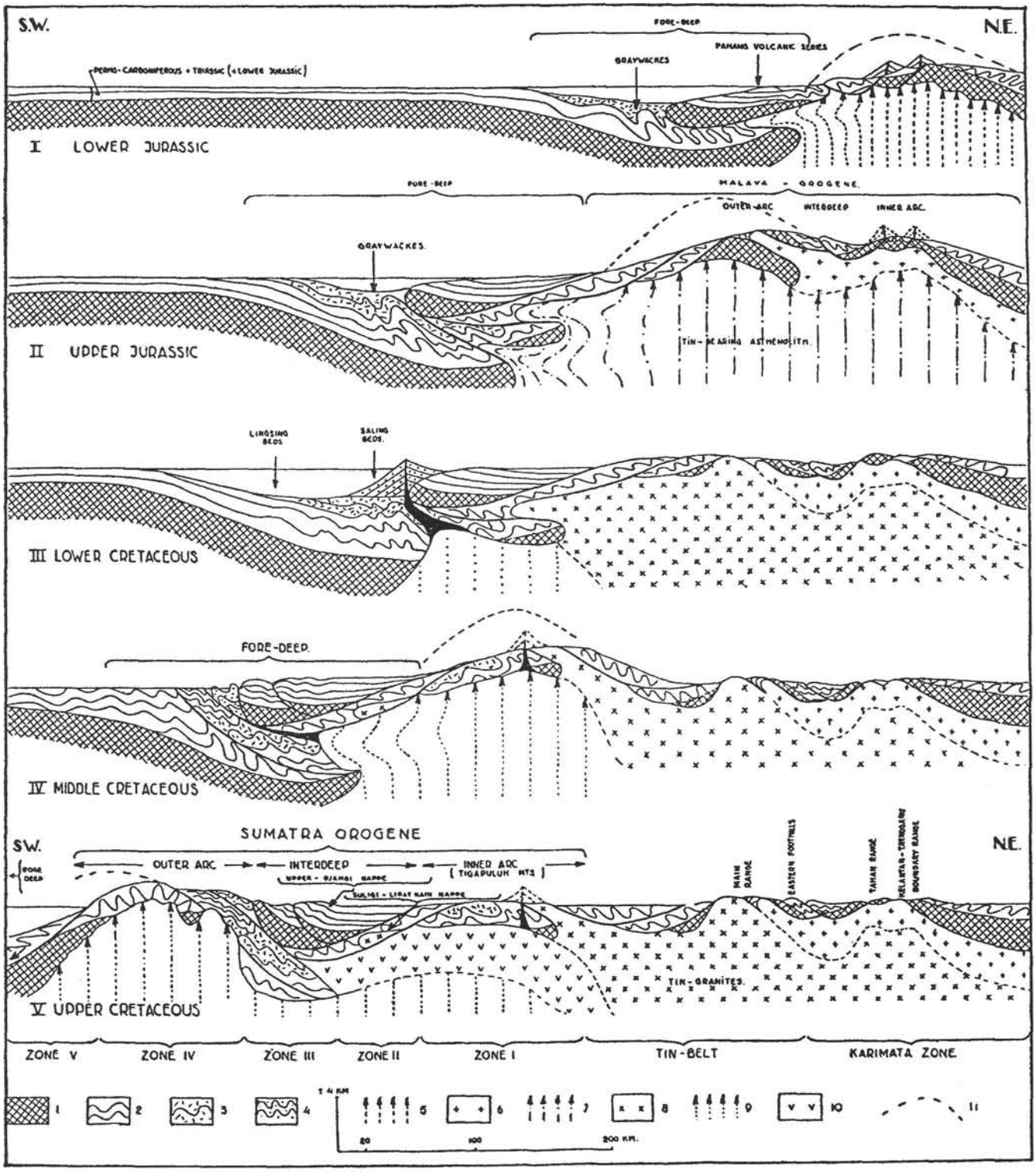


Abb. 77
Prätertiäre tektonische Entwicklung der malaiischen Halbinsel und Sumatra nach VAN BEMMELEN (1949, Abb. 351). Erklärung: 1. Prä-Permokarbonischer Sockel; 2. Sedimentäre Oberhaut (jungpaläozoisch und mesozoisch); 3. Grauwackenformation (Jura?); 4. Salingschichten (Unterkreide); 5. Asthenolithische Migma- und Magmazone der Karimata-Zone; 6. Dieselbe, konsolidiert; 7. Asthenolithische Migma- und Magmazone des Zinngürtels; 8. Dieselbe, konsolidiert; 9. Asthenolithische Migma- und Magmazone des Sumatra-Orogens; 10. Dieselbe, konsolidiert; 11. Höhen, welche die geantiklinalen Hebungen aus den Vortiefen erreicht hätten, wenn keine bathydermale Ausbreitung stattgefunden hätte. Man vergleiche diese Abbildung mit Abb. 76 und beachte die *asymmetrische* Entwicklung!

most outstanding morphologic discrepancies and the most extensive negative anomalies of the whole Archipelago occur" (SMIT SIBINGA, 1937, p. 406).

Der aufmerksame Leser hat vielleicht schon bemerkt, daß der große Holländer durch die Daten von BERLAGE auf die Existenz der nach Osten einfallenden Subduktionszone von Halmahera aufmerksam geworden war. Er wollte aber seine ausgezeichneten, weit in die Zukunft deutenden Beobachtungen im Rahmen eines phasenhaften, von den Alpen her importierten Modells der Orogenese deuten. Junge tektonische

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Abb. 78
Felix Andries VENING MEINESZ (1887-1966). Der körperliche wie geistige Riese im Gespräch mit seinem Kollegen Beno GUTENBERG, einem der Begründer der modernen Erdbebenkunde (aus MENARD, 1986, Fig. 33).

Bewegungen wollte er nur in Zonen interferierender Scherzonen erkennen. Die Interferenzzonen schienen ihm die wichtigsten Quellen tektonischer Unruhe zu sein.

Damit verpaßte SMIT SIBINGA eine Chance den Subduktionsmechanismus zu entdecken.

Eine solche „Entdeckung" würde aber, mit den damaligen geophysikalischen Daten, sowieso nicht sehr ernst genommen. Bald nach der Publikation seiner in der Retrospektive höchst interessanten Arbeit fühlte sich der aufrichtige Geophysiker VISSER gezwungen, der Fachwelt die wahre Tragweite der BERLAGE'SCHEN seismischen Daten zu vermitteln. Die Resultate von SMIT SIBINGA „haben keinen reellen Wert, im Gegenteil geben sie einen unrichtigen Eindruck von Genauigkeit. Sie wurden nicht gestützt von den Untersuchungen von GUTENBERG und RICHTER" (VISSER, 1938, S. 389). VISSER machte darauf aufmerksam, daß eine tiefe Fläche mit den vorliegenden Daten sehr schwer zu definieren war und daß sogar GUTENBERG und RICHTER es nicht wagen konnten eine solche zu zeichnen. Obwohl er kein Geologe war und deswegen die geologische Seite der Arbeit von SMIT SIBINGA nicht berühren wolle, wies VISSER auf die Kritik von KUENEN (1935, pp. 100-103) hin, welche der letztere gegen die Geologie SMIT SIBINGAS gerichtet hatte.

Somit wurde das Feld für die Alleinherrschaft der Tektogen-Theorie von VENING MEINESZ und seinen Gefährten gereinigt.

UMBGROVE hatte aber früh eingesehen, daß irgendwie die schrägen seismischen Zonen und die krustale Falte von VENING MEINESZ genetisch verknüpfte Phänomene sein müssen (UMBGROVE, 1947, S. 179, 185, 204). Er hat 1935 eine geologische Synthese der Insulinde unternommen um die vortertiäre Geschichte dieses äußerst komplexen Gebietes zu enthüllen. Er sah, daß die von VENING MEINESZ ursprünglich ausgesprochene Meinung, die krustale Falte sei wegen der bekannten Schnelligkeit des isostatischen Ausgleichs von sehr jungem Alter, falsch sein mußte. UMBGROVE hat nämlich in der Insulinde Gebirgsbildungen sogar von triadischem Alter gefunden. Die krustale Faltung mußte sich also in der Erdgeschichte wiederholt an der gleichen Stelle abgespielt haben. Die heutigen Zonen des Schweredefizits waren also alte Schwächezonen.

Diese Schlußfolgerung, kombiniert mit der Geosynklinalidee und die Hypothese phasenhafter Orogenesen wiesen sehr deutlich in Richtung einer fixistischen Interpretation der gesammelten Erfahrungen aus der Insulinde hin. Dazu kam noch die Vorstellung von GUTENBERG und RICHTER (1937, S. 288), daß "The true deep-focus schocks appear to be associated with events that took place very early in the history of the earth... it is natural to suggest that there has been motion over a long period of geological time, by which the uppermost layers surrounding the Pacific basin have been displaced towards its center relative to the lower layers, and that no new zones of faulting or weakness have developed at great depth". So hat UMBGROVE auch gefolgert: "The time of origin of the crustal buckle as well as of the deep reaching shear zone may lie in a very remote past. However, the features were rejuvenated time and again." (UMBGROVE, 1947, S. 211). Er konnte auch nicht mehr MOLENGRAAF folgen, indem er nicht glaubte, daß die malaiischen Inselbögen und Gebirge wie der Himalaya verschiedene Etappen in der Entwicklung der Gebirgsbildung repräsentieren sollten. UMBGROVE folgte der Deutung STILLES (1943, 1945), daß die Insulinde ein genausoweit entwickeltes Orogen sei wie die Alpen oder der Himalaya; die Unterschiede rühren lediglich aus lokalen Faktoren her, wie z. B. krustale Mächtigkeitsdifferenzen.

Wir sehen in der Entwicklung der Ideen in der Insulinde ein echtes Herumtappen im Dunkeln: Die Holländer haben vieles richtig gesehen und auch vieles erst entdeckt. Die Veröffentlichungen von MOLENGRAAF, WING EASTON, SMIT SIBINGA und BROUWER über die Geologie im Rahmen der Drifthypothese sowie die Arbeiten der Geophysiker waren wahrlich bahnbrechend und besonders letztere haben den Boden aufbereitet, auf dem HESS, ein späterer Freund und Mitarbeiter von VENING MEINESZ, seine Hypothese der Ozeanbodenspreizung und Subduktion aufstellen würde. An was es den Holländern mangelte, war eine genaue Kenntnis der Ozeanböden. Diese Kenntnis wurde erst in den fünfziger Jahren durch die Bemühungen Maurice EWINGS und seiner Schule im Lamont Observatorium der Columbia Universität in New York zusammengetragen.

Dieses Herumtappen im Dunkeln zeigt wieder die Rolle des Zufalls in der Entwicklung wissenschaftlicher Erkenntnis. Rückschauend könnte man viele Szenarien entwickeln: Wenn, z. B. VENING MEINESZ oder UMBGROVE die Ideen MOLENGRAAFS mit den seismischen Beobachtungen und Synthesen von VISSER, BERLAGE und SMIT SIBINGA kombiniert hätten...; oder wenn UMBGROVE die Vorstellungen MOLENGRAAFS und WING EASTONS mit den Gedanken von SCHWINNER kombiniert hätte...; oder wenn HOLMES die Arbeiten der holländischen Meister im Lichte seiner eigenen Ideen gesehen hätte (wie die letzteren ihre Arbeiten im Lichte der HOLMES'SCHEN Theorie gesehen hatten!)...; Wenn TRÜMPY die neueren Ideen in den Alpen mit den Erfahrungen der Holländer in der Insulinde gemengt hätte...

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

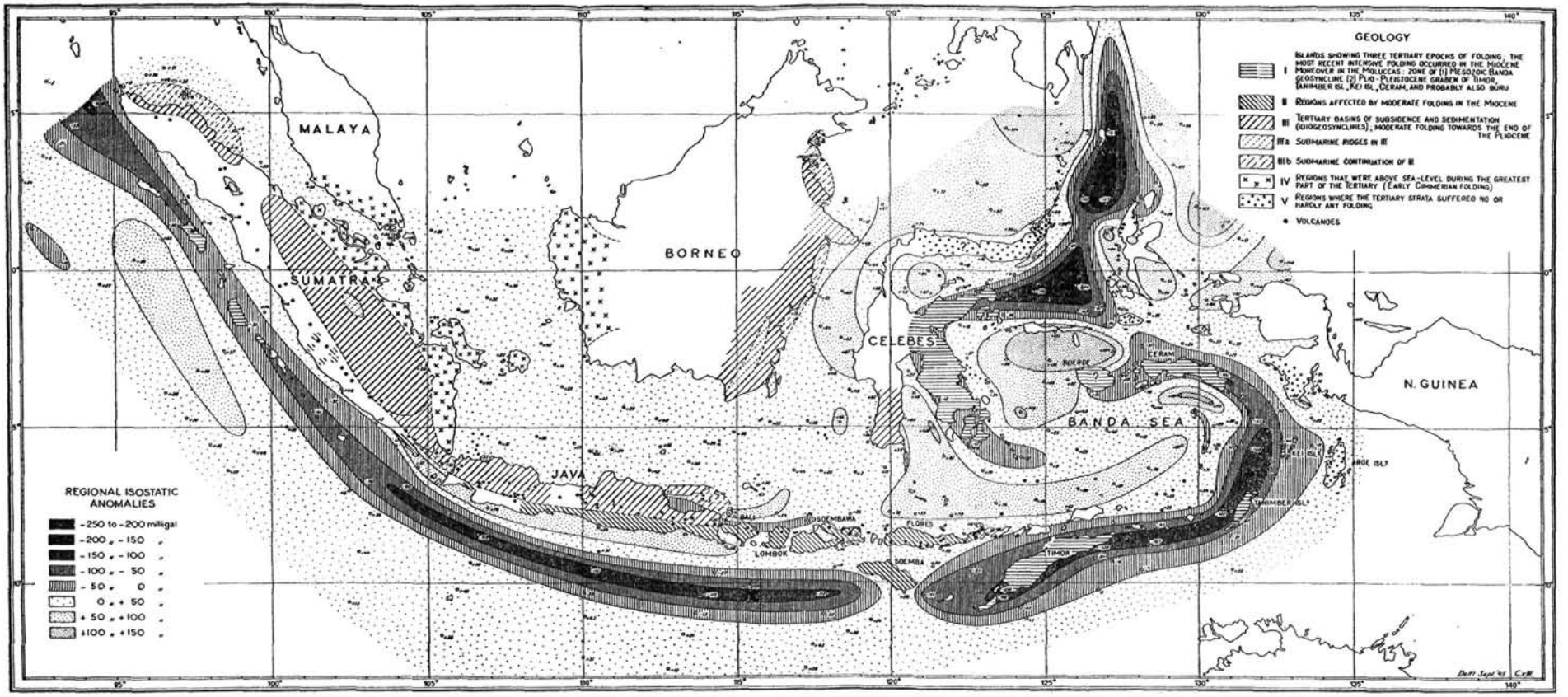


Abb. 79
VENING MEINESZS Schwere-Anomalien in der Insulinde. Die Karte zeigt die Verteilung der MEINESZ-Zonen, das heißt die schmalen Gebiete überwiegend negativer Anomalien (aus UMBGROVE, 1949, Falttafel).

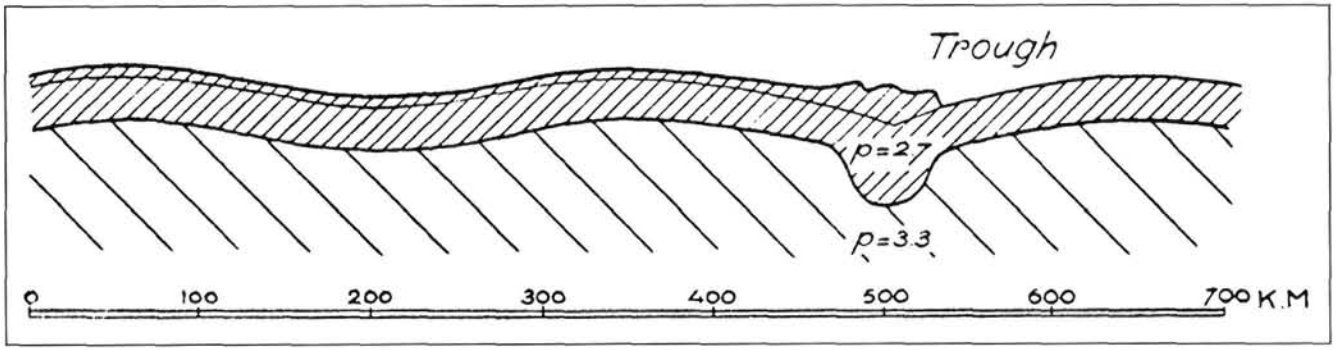
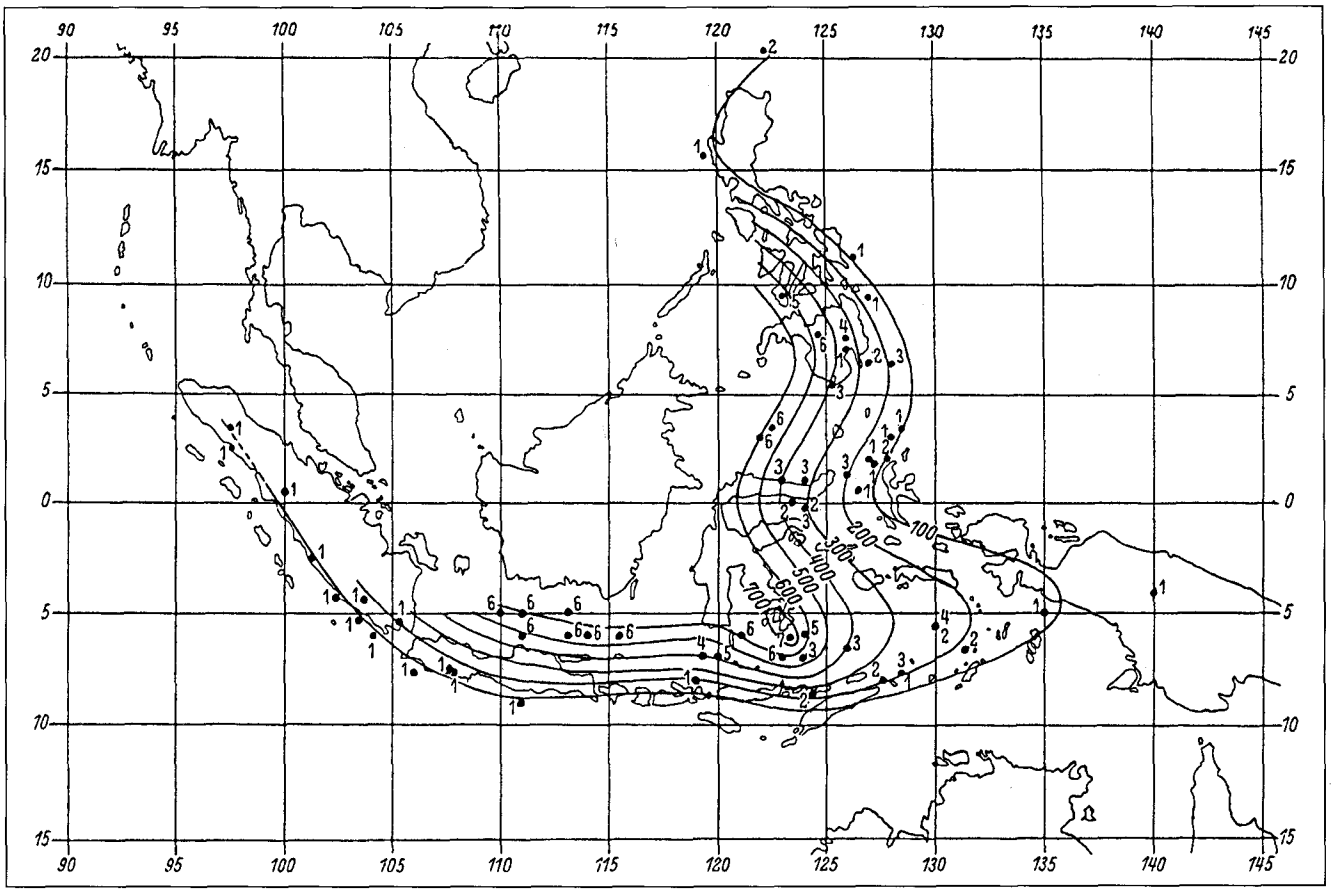


Abb. 80
Die Erklärung VENINIG MEINESZS der MEINESZ-Zonen: Eine krustale Falte (aus VENING-MEINESZ et al., 1934, Fig. 19).

Abb. 81 ↓
BERLAGES Karte der Tiefenlage der insulindischen Erdbeben (aus BERLAGE, 1937, Map. 1). Die holländischen Geologen und Geophysiker interpretierten die seismischen Ebenen als Scherzonen mit Überschiebungscharakter mehr als ein Dezennium früher als HUGO BENIOFF, nach dem diese Zonen heute benannt sind.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



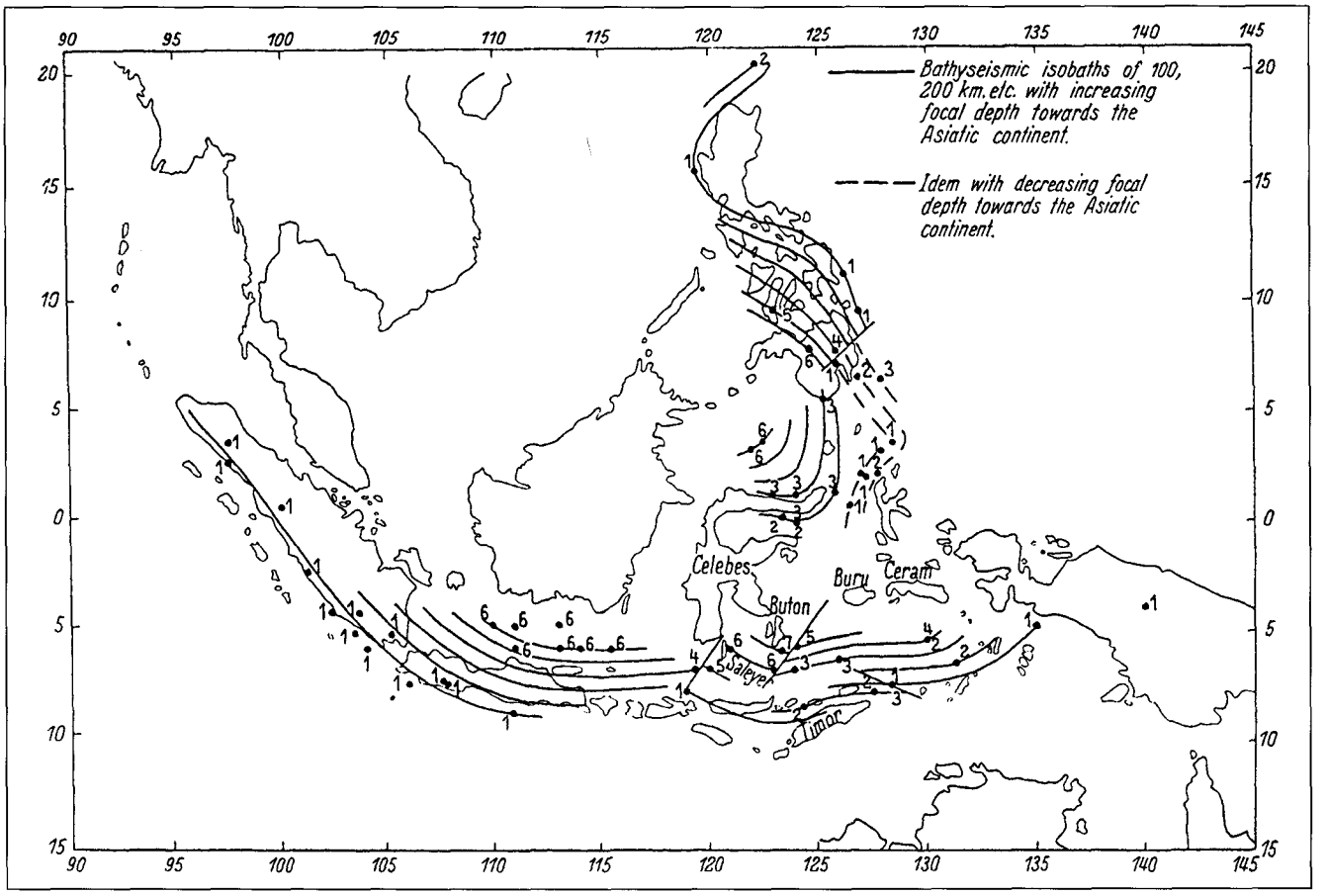


Abb. 82
SMIT SIBINGAS Umdeutung der BERLAGES Geometrie der Scherflächen unter der Insulinde (aus SMIT SIBINGA, 1937). Der holländische Meister hat auf Basis fraglicher Daten vieles richtig interpretiert. Man beachte insbesondere die von der Molukka-Straße weg einfallenden Scherflächen, die den heutigen Sengihe und Halmahera Subduktionszonen entsprechen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

All das ist aber leere Spekulation. Es gibt eine einzige Geschichte und diese Geschichte sollen wir versuchen zu rekonstruieren und zu verstehen: Wir fragen eigentlich warum die Arbeiten im östlichsten Ende der Tethys nicht zur Idee der Subduktion geführt haben? Es gibt zwei Antworten: Erstens, weil das Subduktionsmodell niemandem eingefallen ist (man hatte wahrscheinlich weder SUESS noch AMPFERER sorgfältig gelesen!). Das ist eine Spielart des Zufalls. Zweitens, wenn jemand es doch entdeckt hätte, hätte er es höchst wahrscheinlich sofort wieder aufgegeben, da andere Strukturen wie die ozeanischen Spreizungszentren, die für die Aufrechterhaltung des Subduktionsmodells nötig wären, noch nicht beschrieben waren. Die vorhandenen geophysikalischen – insbesondere die seismischen – Daten hatten auch noch nicht die erwünschte Präzision. Das ist die zweite Spielart des Zufalls. Das alte Schrumpfungsmodell war zwar veraltet, aber es konnte noch immer die meisten Beobachtungen besser erklären als alle Andere. Die meisten holländischen Geowissenschafter haben zwischen 1930 und 1960 wiederholt verschiedene Teil- oder Gesamtmodelle aufgestellt und sie mit den Erfahrungen geprüft. Eine „normale Wissenschaft" im Sinne von KUHN (1970) ist in ihren Arbeiten nirgends zu erkennen. Mit jedem Schritt waren sie bereit, alles vorher Bekannte rauszuwerfen. Nur die härtesten Positivisten unter ihnen, wie z. B. VAN BEMMELEN, beharrten bei einem einzigen Modell (was selbst aber durch die Kritik eines älteren und fast universal angenommenen Modells entstanden war!). Sie haben mit verschiedensten Kombinationen versucht die Erfahrungen zu erklären und dabei haben sie nicht nur neue Beobachtungsmethoden, sondern auch geniale Modelle entwickelt, die bei der Aufstellung der Plattentektonik entscheidenden Einfluß hatten. HESS z. B. (1962) zitiert viele ihrer Arbeiten.

Der Kampf um die östlichsten tethysischen Inselbögen, der von den großen holländischen Feldherren unserer Wissenschaft und ihren Gehilfen aus anderen europäischen Ländern geführt wurde, gewann also einige entscheidende Schlachten, obwohl ihr Sieg in der allgemeinen Dunkelheit des Intermezzos nicht sofort anerkannt werden konnte.

Die letzten Jahre des Fixismus: J. Tuzo Wilson und das Ende der Schrumpfungstheorie in tethysischen Studien

Besonders die Schriften von CAREY erweckten am Ende der fünfziger Jahre großes Interesse an großen horizontalen Bewegungen der Kontinente in der den WEGENER'SCHEN Ideen sehr ablehnend gegenüberstehenden Fachwelt Amerikas. Um die damalige Situation in Amerika verstehen zu können, brauchen wir nur eine, in der Retrospektive sehr wichtige, Arbeit von J. Tuzo WILSON näher anzusehen. Ich betrachte diese rückschauend als die wichtigste letzte Synthese der irdischen Tektonik vor dem Aufkommen der Plattentektonik[150]. Sie ist wichtiger als die Synthesen von CAREY (1955, 1958) oder von HEEZEN (1960), weil, wie ich glaube, sie ihren Autor zur Aufstellung der plattentektonischen Hypothese geführt hat, im Gegensatz zu den anderen Hypothesen, die in Sackgassen geführt haben. Bezeichnend ist, daß in ihr das Wort Geosynklinale nicht ein einziges Mal vorkommt! Auch "To suppose with Stille (1924, 1940) that periods of activity are world-wide and alternate with world-wide periods of quiescence is held to be contrary to the geological evidence and would require a cyclical cause, the nature of which has never been satisfactorily explained" (WILSON, 1954, S. 181 f.).

Sehr wichtig für WILSON war die Natur der Orogenesen. Ich zitiere ihn wörtlich, da es für unser Verständnis des Tethys-Problems im ersten Dezennium der Plattentektonik wichtig ist.

"One of the great achievements of field geology has been to show that mountain building has always been concentrated in narrow, mobile belts.[151] At the present time two belts, each roughly a great circle, are active. They contain all the world's young folded mountains, most of its volcanoes and most earthquake epicenters. One of these belts extends across the Mediterranean, southern Asia and Melanesia to New Zealand and will be referred to as the „South Eurasian-Melanesian belt." The other surrounds the Pacific Ocean from Indonesia clockwise to Antarctica and will be called the „East Asian-Cordilleran belt." In the past other belts have been active in different places.

Along the present belts there is a wide variety of volcanic, plutonic, and sedimentary ranges, of single and double island arcs[152], and of plateaus. These elements are so varied and complex that they defied simple classification until geophysical observations suggested that beneath this apparent complexity there is a simple pattern made up of a few types of features repeated many times in different guises. Chief among these are the primary elements or arcs." (WILSON, 1954, S. 152) (Abb. 83).

Warum wurden die arcs „primary elements" genannt? "Those elements which have deep-seated features associated with them will be here called *primary*, because it is generally agreed that the cause of the mountain-building process lies within the earth and not at its surface." (WILSON, 1954, S. 152; Hervorhebung durch WILSON). WILSON deutete diese Bögen als den oberflächlichen Ausdruck großer Überschiebungen, die mit den schrägen seismischen Zonen der Holländer und von BENIOFF (1949) identisch waren. WILSONS Modell dieser seismischen Zonen war anders als dasjenige der Holländer (aber ohne Zweifel von ihnen inspiriert), weil er durch EWING (1951) wußte, daß der Ozeanboden keine kontinentalen Gesteine hat. Es wäre deshalb nicht möglich, von einer sialischen Krustenfalte zu sprechen. Die Zonen des Schweredefizits wären durch die große Mächtigkeit der Sedimente, welche die Tiefseerinnen füllen, erklärbar. Abb. 84 zeigt WILSONS Modell eines Inselbogens und die ihn begleitenden Erscheinungen wie Randbekken und Tiefseerinnen. Für uns, fast drei Jahrzehnte nach der Aufstellung der Plattentektonik, erscheint dieses Bild verblüffend modern. Jeder Erstsemestrige in der Geologie wird in diesem Bild eine Subduktionszone erkennen.

Dieses „moderne" Bild und dessen Erklärung bei WILSON sind aber nichts anders, als Eduard SUESS uns vor mehr als einem Jahrhundert angeboten hat! Ich zitiere aus der *Entstehung der Alpen* und geselle zu diesem Zitat die von SUESS zwischen 1909 und 1913 gezeichnete Skizze (Abb. 85):

„*Die zweite, häufigste Gebirgsform beginnt mit der Anlage einer* quer auf die Contraction streichenden und in der Richtung der Contraction geneigten Hauptfalte; dann erst folgt in der Falte an der Linie der grössten Spannung der Riss. Hierauf wird durch das Andauern derselben Kraft wie im ersten Falle der nach vorwärts liegende Theil der Hauptfalte in der Richtung der Contraction weiter bewegt und thürmt derselbe vor sich die Sedimente in weiteren, untergeordneten Falten auf, während der nach rückwärts liegende Theil herabsinkt und

---

[150] Dieser Artikel hat einen Vorläufer (WILSON, 1950) und einen Nachfolger (WILSON, 1957). Ich zitiere die 1954er Arbeit allein, weil sie die kompletteste Synthese der vorplattentektonischen Ideen über das tektonische Verhalten unseres Planeten von WILSON darstellt. Auch in der ersten Ausgabe des Lehrbuches *Physics and Geology* (JACOBS et al., 1959) beschrieb WILSON dieselbe Synthese (mit der Ausnahme der Besprechung der mittelozeanischen Rücken als Zerrungsgebilde, ohne Erwähnung der fast identischen aber damals schon beinahe ein halbes Jahrhundert alten Vorstellungen MOLENGRAAFS!), was ich hier als WILSON (1959) zitiere. Soweit ich weiß, war dieses Buch die letzte fixistische Veröffentlichung WILSONS.

[151] WILSON wußte nicht, daß er hier auf den Schultern von ERATOSTHENES stand!

[152] Hier ist ein Einfluß von UMBGROVE (1945, 1947) unverkennbar. WILSON zitiert nur das zweite Werk.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

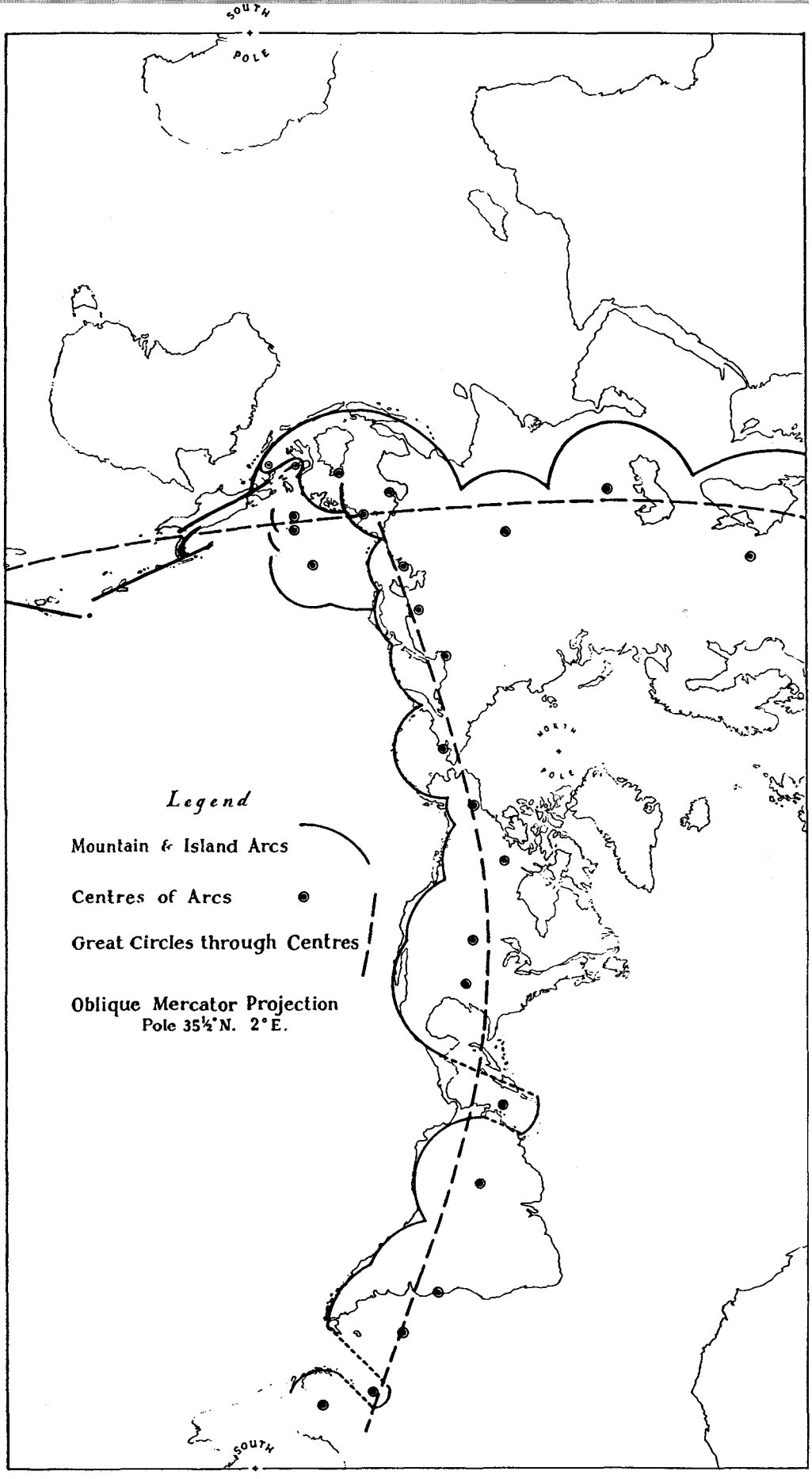


Abb. 83
Die primären Bögen der beiden Hauptorogenzonen der heutigen Erde nach WILSON (1954, Fig. 3).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

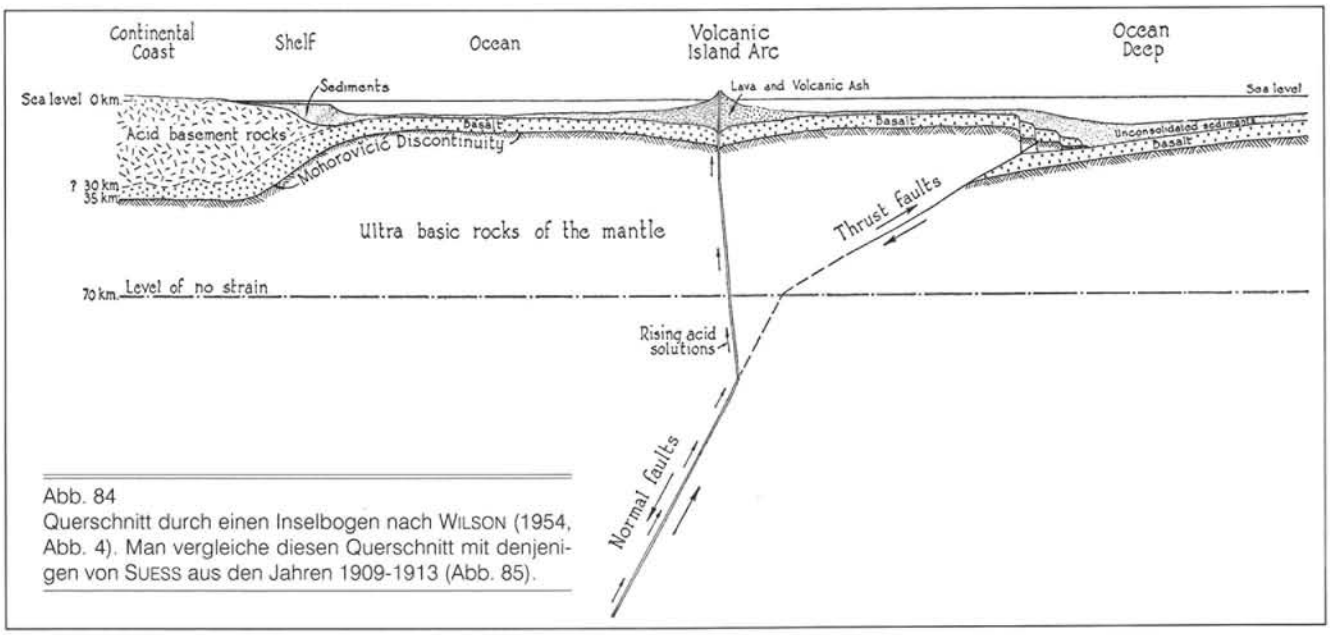


Abb. 84
Querschnitt durch einen Inselbogen nach WILSON (1954, Abb. 4). Man vergleiche diesen Querschnitt mit denjenigen von SUESS aus den Jahren 1909-1913 (Abb. 85).

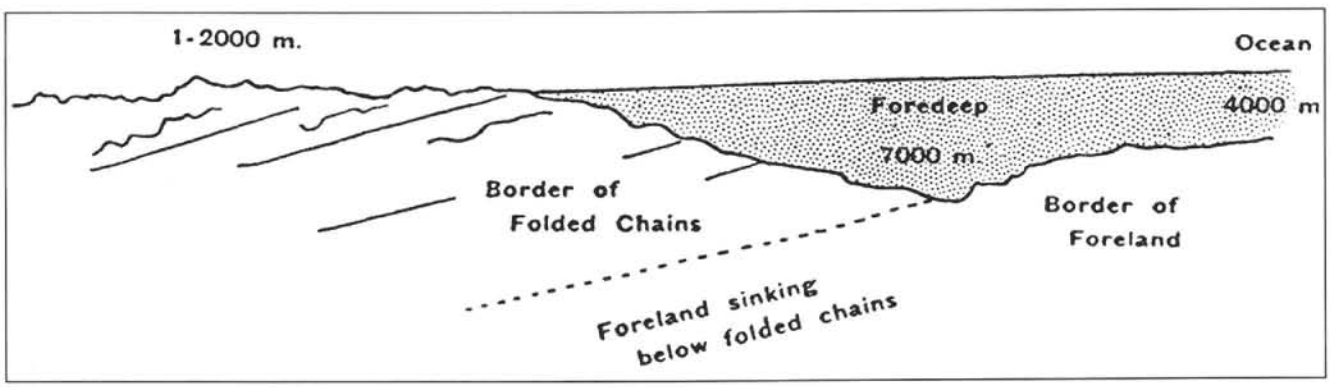


Abb. 85
Querschnitt durch einen Kontinentalrand des pazifischen Typus nach SUESS (1924).

zwischen seinen Trümmern Vulcane hervortreten. Beispiele sind der appenninische und der karpathische Zweig des Alpen-Systems." (SUESS, 1875, S. 147).

So schließt sich unser mit Eduard SUESS begonnener Kreis. Die Verwandschaften und Ähnlichkeiten zwischen den Ideen WILSONS und SUESS' enden aber hier nicht. WILSON hatte auch eine Geschichte der Gebirgsbögen entwickelt, deren Etappen aus der untenstehenden Tabelle IV ersichtlich sind (aus WILSON, 1954, Table 3, S. 161):

Tabelle IV: Cycle of stages of primary arcs and secondary arcs in orogenetic process

Stage	Primary-Arc stage	Example	Secondary-Arc stage	Example
0	Continental shelf	Atlantic Coast, United States	.....	.....
1	Single island arc	Kurile Islands	Small secondary mountain arc	Western Kamchatka
2a*	Double island arc	Aleutian Islands at Kodiak Island	Secondary mountain arc	Alaska Range
2b	Single active mountain arc	Central Andes (western ranges)	Secondary mountain arc (sedimentary)	Central Andes (eastern ranges)
3	Double active mountain arc	Coast, Cascade, and Sierra Nevada Mountains (combined)	Secondary mountain arc (sedimentary)	Rocky Mountains in Canada
4	Inactive mountain arc (metamorphic part)	Piedmont, Province of Appalachian Mountains	Inactive mountain arc (sedimentary part)	Valley and Ridge Province in New York-Pennsylvania
5	Part or whole of an Archaean province of a Pre-Cambrian shield	Grenville, Province (more than one arc)	Proterozoic basin	Mistassini Basin, Quebec

* Stages 2a and 2b are alternates

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Was in dieser Tabelle überaus wichtig ist, daß WILSON die Einwände STILLES und UMBGROVES gegen die Deutung der insulindischen Inselbögen als ein frühes Stadium in der Entwicklung der orogenen Vorgänge verwirft und damit zu den Vorstellungen von MOLENGRAAF, ARGAND und BROUWER zurückkehrt.

Er geht aber eigentlich noch weiter als diese Autoren (oder noch weiter *zurück*!) und verwirft auch die Geosynklinalidee und behauptet, daß Orogene aus Ozeanen entstehen.

Abb. 86 zeigt die Vorstellung von WILSON von einem Kontinentalrand, aus welchem eines Tages ein Inselbogen, d. h. ein Orogen entstehen könnte. Diese Identität der heute in den Orogenen deformiert vor uns liegenden vorzeitlichen Meeresbecken mit der aktuellen Ozeanbecken ist aber eine Idee von SUESS.

Mit WILSON sind wir also im wesentlichen zu dem tektonischen Weltbild von SUESS, d. h. einem Weltbild ohne Geosynklinalen und ohne tektonischen Schluckauf, zurückgekehrt. Dies noch im Jahr 1954. Dabei sind wir vom Beginn der neuen mobilistischen Revolution durch HESS (1959, publiziert 1962) noch ein halbes Dezennium entfernt.

Es waren die Entwicklungen in den fünfziger Jahren, besonders in der zweiten Hälfte, die WILSON endlich überzeugten, den Fixismus und damit auch die Schrumpfungstheorie aufzugeben und die sein Interesse für mobilistische Ideen erweckten.

Dieses Interesse fiel zeitlich mit der Erfahrung zusammen, daß in geologischer Vergangenheit entstandenen Magnetisierungen der Gesteine eine andere geographische Lage zeigen als sie jetzt besitzen. Mit der Entdeckung des erdumspannenden Charakters der mittelozeanischen Rücken fiel das Interesse ebenfalls zusammen. Der Doyen der nordamerikanischen Strukturgeologen, mein verehrter Freund Professor John RODGERS von der Yale Universität beschreibt den Hauptakt der zweiten (und wahrscheinlich wenigstens in unserem Jahrhundert der endgültigen) mobilistischen Revolution mit folgenden Worten, welche die angeblich kritische Rolle von CAREY unterstreichen:

"My own contribution to the solution of this dilemma [*d. h. dem Dilemma der Gebirgsbildung*] was negative; I left North America for a year to study the Alps. As a result, the Yale Geology Department could appoint a visiting professor for that year; we chose S. Warren Carey, and north American Geology has never been the same since. He travelled all over the continent, he lectured in his inimitable now-you-see-it-now-you-don't style, he talked to anyone who would listen, and when he was through, no one could laugh off continental drift any more. Then, like St. Paul at Damascus, the archpriest of the geophysical fixists, J. Tuzo Wilson was converted, and the revolution was on" (RODGERS, 1985, S. 3).

Ich glaube nicht, daß der hier von RODGERS geweckte Eindruck, CAREY habe die mobilistische Revolution in Nordamerika ermöglicht, der ganzen Wahrheit entspricht. Wenigstens in seinem eigenen autobiographischen Kapitel in derselben Zeitschrift erwähnt WILSON (1982) die Rolle von CAREY gar

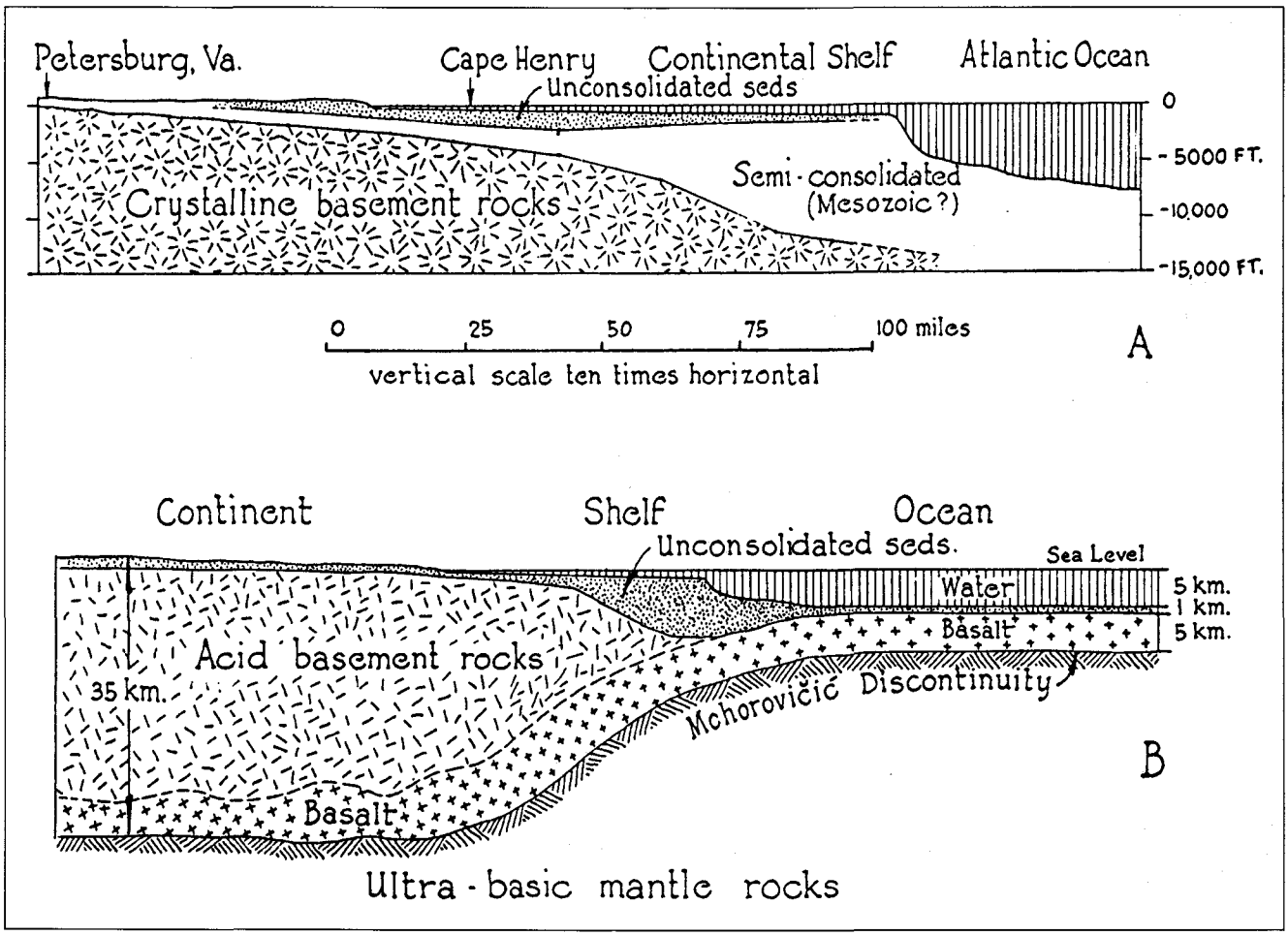


Abb. 86
Ein Kontinentalrand vom Atlantischen Typus nach WILSON (1954, Abb. 2). a. Querschnitt durch die atlantischen Küstenebene der Vereinigten Staaten nach Ewing. b. Verallgemeinerter Querschnitt eines stabilen Kontinentalrandes. Man vergleiche den Querschnitt in b mit dem Querschnitt eines Inselbogens in Abb. 84.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

nicht.[153] Vielmehr betont WILSON die Wichtigkeit der bahnbrechenden Arbeit von HESS (1962[154]) und seine eigene alte Erfahrung, daß der kanadische Schild für sehr lange Zeiten von Deformationen verschont geblieben war. Die Geologen des 19. Jahrhunderts haben das bereits erkannt und mit Nachdruck immer wieder betont. Aber vielleicht ein Aspekt in der berühmten 1958-Arbeit von CAREY, nämlich seine Rekonstruktion der Pangäa, könnte auf WILSON einen gewissen Eindruck ausgeübt haben. In Abb. 87 ist die Rekonstruktion von CAREY (gezeichnet: 1956, publiziert als „nicht annehmbar" wegen der tethysischen „Lücke": 1958) dargestellt. CAREY fand diese „Lücke" im Körper von Pangäa unannehmbar und schrieb, sogar im Jahre 1976, "Everybody who has ever assembled Pangaea has left gaps. Bullard's computer fit across the Atlantic... has already accumulated a highly improbable gape between Turkey and Arabia, and extension further towards Indonesia and Australia becomes absurd" (CAREY, 1976, S. 41). *Jeder, der selbst die kleinste Ahnung über die Geologie von der Tethys hat, hätte CAREY sagen können, daß diese Lücke gerade von der Geologie des Alpen-Himalaya-Systems verlangt wurde!* WILSON aber wußte

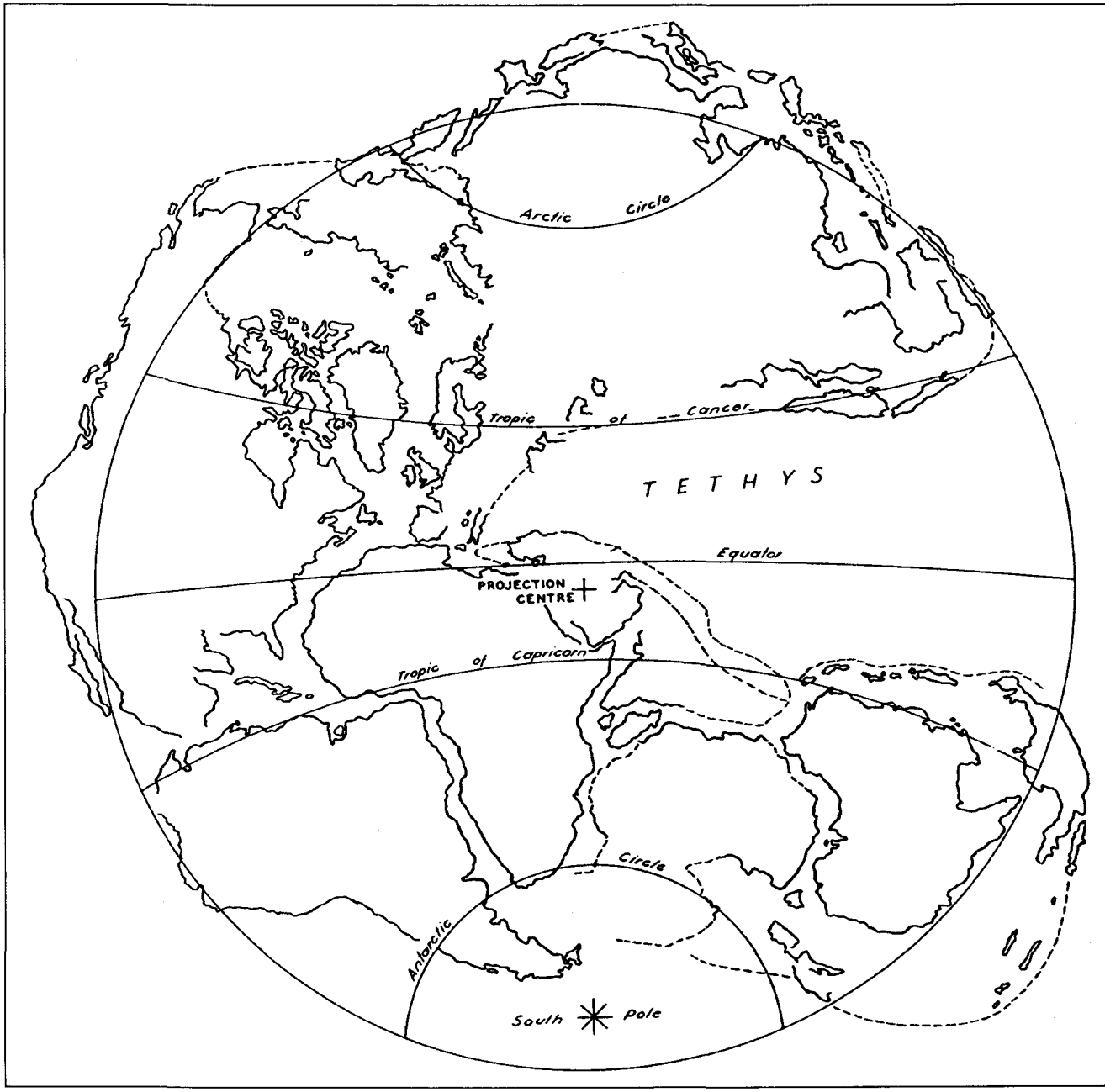


Abb. 87
Die „unannehmbare" Rekonstruktion der Pangäa von CAREY (1958, Abb. 39d). Die Rekonstruktion war unannehmbar, weil sie eine gewaltige Lücke entlang des Alpen-Himalaya-Systems zeigte. CAREY betrachtete die Tethys nicht als Ozean sondern als Geosynklinale und fand die Lücke deshalb unannehmbar.

[153] In meinem letzten Gespräch mit ihm (24. April 1987) bestätigte WILSON, daß die Ideen von und Gespräche mit CAREY seine eigenen Ideen nicht wesentlich beeinflußt hatten.

[154] CAREY wurde von HESS zitiert um, zusammen mit HEEZEN, eine mögliche Erklärung für das Wachstum der Ozeane zu erwähnen. HESS findet aber das Erdexpansionsmodell von CAREY unbefriedigend und zieht implizit das ältere von HOLMES vor. Ich möchte aber natürlich einen möglichen Einfluß von CAREY auf HESS nicht ausschließen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

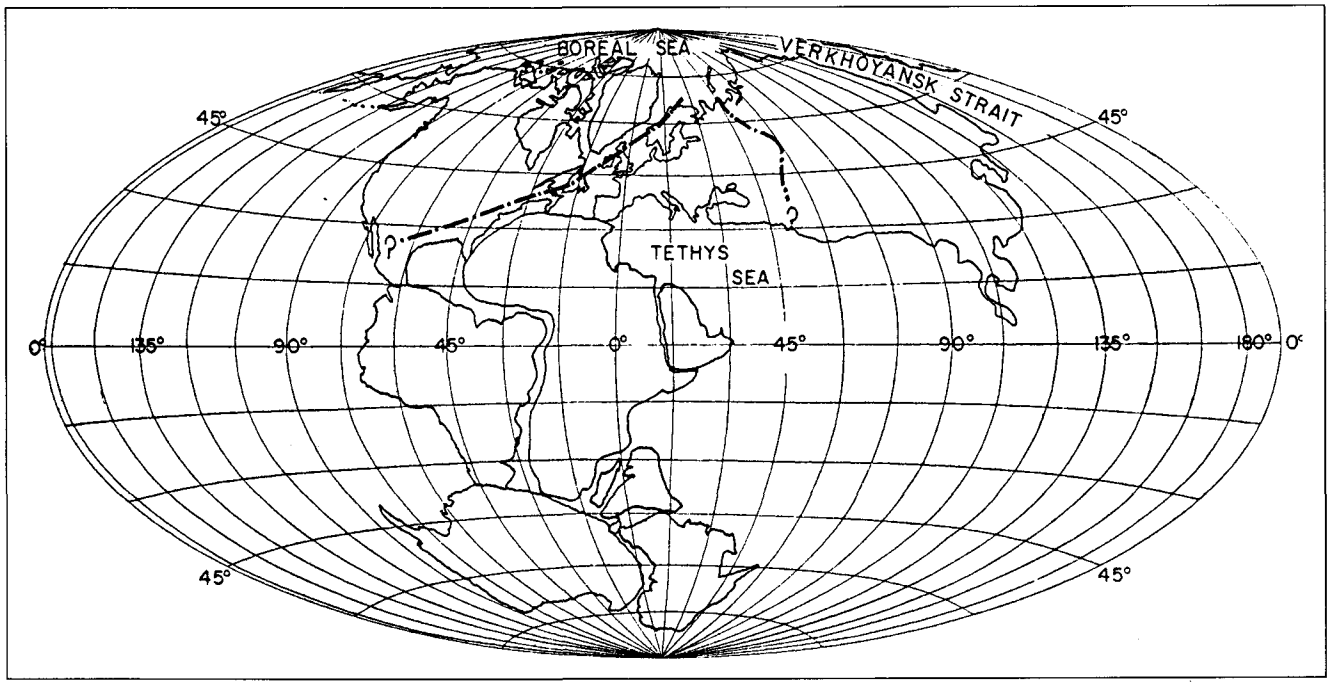


Abb. 88
Die Pangäa-Rekonstruktion von WILSON (1963, Fig. 6).

es (vgl. WILSON, 1954, 1959, auch Abb. 88) und benützte es als weitere Unterstützung seiner mobilistischen Theorie (WILSON, 1963, S. 11). Aber CAREY war der erste, der die ozeanische Lücke, die im Körper von Pangäa als eine natürliche Folge der Rückschließung der mesozoischen Ozeane entstehen muß, betonte. Seine mangelhafte Kenntnis der Geologie Eurasiens ermöglichte es ihm jedoch nicht, die kritische Bedeutung dieser Lücke zu verstehen.

Was WILSON von CAREY übernahm, war vielleicht die Idee dieser dreieckigen Lücke, die einen ozeanischen Charakter haben mußte. Warum wurde aber nur eine einzige Lücke, nur ein einziger Ozean angenommen? War dies so, weil es die einfachste Hypothese war? Ich glaube, daß ARGAND'S festhalten an der geosynklinalen Form der Tethys und die konsequente Deutung, daraus könne nur ein einziges zweiseitiges Orogen seit dem Paläozoikum gebildet worden sein, dazu führte, daß man später, als die wahre ozeanische Natur der Tethys erkannt wurde, sie selbstverständlich als einen einzelnen Ozean betrachtete! In dieser Deutung sehen wir summiert, in einer uns sehr selbstverständlich erscheinenden Annahme eines einzigen Ozeans, eine ganze Geschichte der Ideen über vorzeitliche Meere und Gebirgsbildungprozesse. Diese Entwicklung hat die Gedanken eines Genies von ARGANDS Ausmaß unter dem Einfluß der positivistischen tektonischen Schulen gehalten. Erst mit der Überwindung dieses letzten Hindernisses gelangten wir zu einer wirklich aktualistischen und unregelmäßigeren Deutung der Geschichte der Tethys.

Um diese neue Geschichte zu verstehen, müssen wir erst dem durch die Annahme eines einzigen tethysischen Ozeans entstandenen Paradoxon unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

Das Paradoxon der Tethys

In seiner einfachsten Formulierung besagt das Paradoxon der Tethys, daß die Felddaten aus dem Alpen-Himalaya-System (Abb. 89) und die kontinentalen Rekonstruktionen um den atlantischen und den indischen Ozean für das Zeitintervall Permo-Trias zu Resultaten führen, die sich gegenseitig widersprechen.

Schon die frühesten mobilistischen kontinentalen Rekonstruktionen der Pangäa von ARGAND (1924, Abb. 6 [hier Abb. 60]), CHOUBERT (1935, Tafel A), CAREY (1958, Abb. 39d [hier Abb. 87]) und WILSON (1963, Fig. 6 [hier Abb. 88]) haben ergeben, daß die Zurückschließung des atlantischen und des indischen Ozeans unter Bewahrung der torsionalen Rigidität der umliegenden Kontinente eine entsprechende Erdoberfläche zwischen dem einstigen Gondwana-Land und Laurasien notwendigerweise bloßlegen mußte. Diese „Lücke" muß in Gestalt eines groben liegenden Dreiecks gewesen sein, das seine Spitze ungefähr im heutigen zentralen Mittelmeergebiet hatte. Die viel späteren plattentektonischen Rekonstruktionen haben das zuerst von ARGAND entworfene und von CAREY betonte Bild zwar weitgehend verfeinert und einige wichtige Details verändert, aber das wesentliche, nämlich eine enorme dreieckige, sich gegen Westen öffnende „Lücke" in Pangäa, ein gewaltiger äquatorialer Golf zwischen Laurasien und Gondwana-Land, ist geblieben (z. B. WILSON, 1963; BULLARD et al., 1965; SMITH & HALLAM, 1970).

Den Fußstapfen ARGANDS und seiner Nachfolger folgend kamen die ersten Plattentektoniker zum Schluß, daß die durch die kontinentalen Rekonstruktionen um den Atlantischen und Indischen Ozean geschaffene Lücke in Pangäa ozeanischen Charakter haben mußte. Somit entsprach sie der „klassischen" Tethys, deren spätmesozoisch-känozoische Schließung eine Folge der fortschreitenden Zersplitterung von Pangäa sowie die Ursache der Entstehung des Alpen-Himalaya-Systems gewesen sein sollte. Man betrachtete diesen Pangäa-Golf sogar als wichtigen Erfolg der „neuen globalen Tektonik". Diese neue globale Tektonik hätte die Tethys, ohne die alpinen Gebirge in Betracht zu ziehen, auf Grundlage der in anderen Weltteilen gesammelten Daten „vorhergesagt" (z. B. WILSON, 1963; DIETZ & HOLDEN, 1970; SMITH, 1971; DEWEY et al., 1973).

Diese Prognose war aber nicht so erfolgreich wie man vorerst glaubte. SMITH (1971, 1973) wies früh darauf hin, daß es im alpinen System (im Sinne von SUESS, 1883, Fig. 26 und DEWEY et al., 1973) weder ein Stück Ophiolith, noch fossile Kontinentalränder gäbe, die älter wären als Trias. Er betonte

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

ferner, daß die damals bekannten „alpinen" Synaphien erst während der Trias geborene Ozeane repräsentierten. Also schien es, daß die von den Rekonstruktionen „vorhergesagte" Tethys nicht die klassische Tethys wäre. Was die Rekonstruktionen verlangten, existierte nach den Felddaten nicht!

Bald danach sind andere Forscher in Südasien zu ähnlichen Ergebnissen gelangt: Im Iran (z. B. STÖCKLIN, 1974), in Afghanistan und Pakistan (z. B. MENNESSIER, 1972) und sogar in Tibet (BASSOULLET et al., 1980) sollte sich die Tethys erst in der Trias zu öffnen begonnen haben und zwar zunächst innerhalb des Gondwana-Landes! Die Paläobiogeographen haben sich auch der Ansicht angeschlossen, die Tethys sei vor der Trias nicht vorhanden gewesen (z. B. CRAWFORD, 1974).

Dieser einfache Schluß, die Tethys sei erst am Beginn des Mesozoikums entstanden, war auch mit der damaligen Kenntnis der tektonischen Entwicklung des Alpen-Himalaya-Systems sehr gut in Einklang zu bringen. Man wußte ja schon lange, daß die „alpine Orogenese" ihre Hauptakte erst im Tertiär und die Frühphasen erst im mittleren und späten Mesozoikum erlebt haben sollte. Alles vorherige betrachtete man als verspätete Phasen der „variszischen Orogenese" und verbannte sie aus der „alpinen" Geschichte hinaus. Selbständige frühmesozoische Orogenesen von beträchtlichem Ausmaß kannte man aus dem Tethysgebiet nicht. Dies harmonisierte mit einer angeblichen triadischen Geburt der Tethys sehr gut.

Also blieb das Paradoxon. Die Daten aus den Gebirgen selbst wiesen eindeutig auf Nichtexistenz der Tethys im Perm und der Untertrias sowie auf eine Geburt während der Untertrias hin. Dagegen waren die Daten, auf deren die Pangäa-Rekonstruktionen basierten, unzweideutig und deuteten die Existenz eines enormen permo-triadischen Pangäagolfes an, der Laurasien und das Gondwana-Land entlang des heutigen Alpen-Himalaya-Systems trennen sollte.

Damit war die ganze Tethys-Forschung in eine Sackgasse geraten und es gab drei Möglichkeiten, diese unglückliche Lage zu ändern. Entweder war das Konzept der neuen globalen Tektonik falsch oder etwas stimmte mit den Rekonstruktionen nicht oder unsere Kenntnis der Geologie des Alpen-Himalaya-Systems war zu lückenhaft.

Forscher wie BELOUSSOV (1979) und MEYERHOFF (1978) nahmen ersteres an und griffen die Plattentektonik an. Es erwies sich aber bald als unfruchtbar, aus noch ungesicherten Gründen eine erfolgreiche, umfassende Theorie anzugreifen, bevor man die Einwände aufs Strengste prüfte.

Die zweite Möglichkeit, die Rekonstruktionen wären falsch, erwies sich auch nicht als stichhaltig. Die magnetischen Strei-

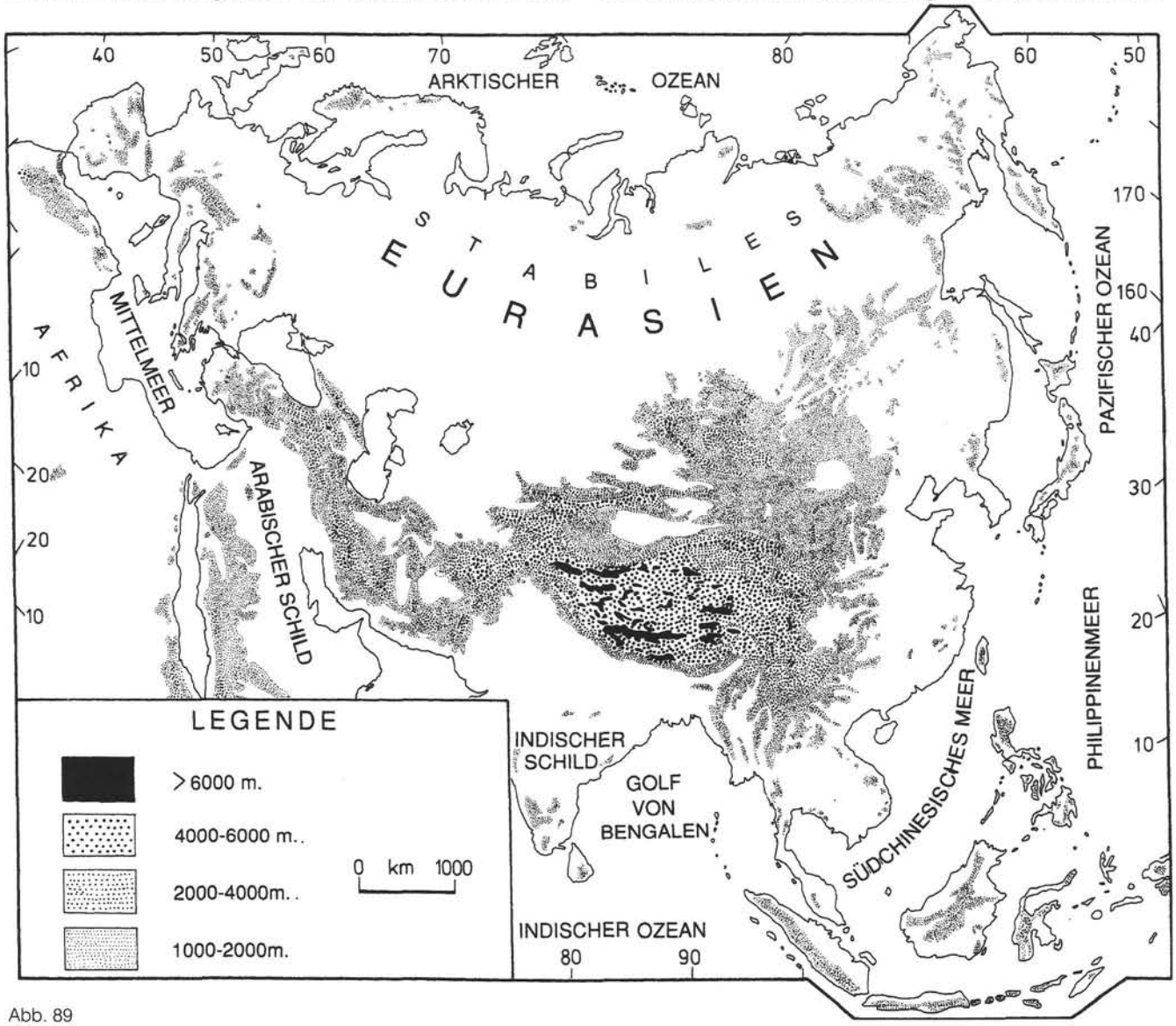


Abb. 89
Morphologische Karte Eurasiens mit Höhen über 1000 m. ü. M. Deutlich tritt der Verlauf und die Ausdehnung des Alpen-Himalaya-Systems vom Atlantischen bis zum Pazifischen Ozean hervor.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

fenmuster auf den Ozeanböden ermöglichten die Rekonstruktion genauer Öffnungsgeschichten sowie die Präzisierung der früheren Anordnungen der Kontinente mit, in bezug auf das Paradoxon der Tethys, unbedeutenden Fehlergrenzen.

Der Vorschlag von CAREY (1958, 1976) sowohl den Rekonstruktionen als auch den Felddaten mittels einer seit Ende des Paläozoikums wie ein Ballon sich ausdehnenden Erdkugel Rechnung zu tragen, konnte weder den weltweiten regionalgeologischen Daten noch der Geophysik gerecht werden. Dieses Modell versagte besonders bei seinem Erklärungsversuch der kompressiven Vorgänge in der Tektonik. Neuerdings benützten auch BELOW (1981) und STÖCKLIN (1983, 1984b) eine leicht veränderte Form der Erdexpansionshypothese als Unterlage für ihr Entwicklungsschema des zentralen Teiles der Tethys. Sie läßt echte kompressive Vorgänge zu. Das Paradoxon der Tethys können BELOW und STÖCKLIN aber nur unter Vernachlässigung verschiedener Daten, die auf die Existenz früherer Ozeane hinweisen, aufrechterhalten.

Die alternative Rekonstruktion der Pangäa für die Permo-Triaszeit von MOREL & IRVING (1981), die sog. „Pangäa B", wobei das Gondwana-Land in Bezug auf Laurasien um 3500 km nach Osten verschoben wird, ergibt eine Geometrie, die im Perm und in der unteren Trias keine Tethys im alpinen-System bis in den Iran verlangt. Man könnte diese alternative Rekonstruktion, die ausschließlich auf paläomagnetischen Daten basiert, als eine Lösung des Paradoxons der Tethys betrachten. Aber Pangäa B hat so viele geologische Widersprüche zur Folge, daß man sie nicht ernst nehmen kann. Selbst wenn sie richtig wäre, könnte sie auch nur einen Teil des Paradoxons der Tethys beseitigen. Jetzt haben selbst die meisten Paläomagnetiker diese Deutung verlassen.

Wenn wir die obengenannten zwei Möglichkeiten aus dem Weg räumen, bleibt uns nur noch die dritte übrig, nämlich unsere lückenhafte Kenntnis der Geologie des Alpen-Himalaya-Systems. Ich zeige im zweiten Teil dieses Festvortrages, im Lichte unserer vorangegangenen Diskussionen, daß nicht unbedingt die Lücken in unserer Kenntnis der regionalen Geologie des Tethysraumes, sondern die damit verbundenen Vorurteile uns in der Tat behindert haben, die augenscheinliche Fehlinterpretation im Kern des Paradoxons der Tethys zu sehen. Sie tun es teilweise immer noch.

1979 veröffentlichte ich einen ersten Versuch, die sogenannte „alpidische Faltungsära" speziell im Tethysbereich nach dem Gesichtspunkt der Plattentektonik zu untersuchen (ŞENGÖR, 1979). Insbesondere versuchte ich die einzelnen Wilson'schen Zyklen zeitlich und räumlich zu identifizieren. Den Ausgangspunkt dieser Studie bildete die einfache, aber umso wichtigere Frage nach der Anzahl der das ganze Alpen-Himalaya-System betreffenden Wilson'schen Zyklen. Gibt es einen einzigen Hauptzyklus, so würde das Paradoxon der Tethys bestehen und man hätte andere Wege für seine Erklärung beschreiten müssen. Gibt es aber mehrere Zyklen, d. h. mehr als einen einzigen tethysischen Ozean, dann würde das Paradoxon verschwinden. Im zweiten Teil dieses Festvortrages werde ich Ihnen meine Ansichten über den heutigen Stand der Tethysforschung und ihre wichtigsten Resultate vorlegen.

Wissenschaftsphilosophische Schlußbemerkungen über die geschichtliche Entwicklung des Tethysbegriffs

Die geschichtliche Entwicklung des Tethysbegriffs in tektonischer Hinsicht wurde im vorangegangenen Text in einer ungewöhnlich breiten Perspektive dargestellt. Die paläobiogeographischen Daten haben der Tethysvorstellung im 20. Jahrhundert wenig wesentliches hinzugefügt. Ausgenommen seien die Arbeiten von KAHLER und HERITSCH, die in der Aufstellung des Begriffes „Paläo-Tethys" gipfelten. Der DOUVILLÉ'SCHE Begriff *Mésogée* ist völlig im SUESS'SCHEN Tethys-Begriff eingeschlossen. Mir ist immer noch nicht klar, warum DOUVILLÉ einen neuen Namen einführte. In meinen Schriften habe ich den Terminus *Mésogée* stets vermieden. Hier möchte ich den Voschlag unterbreiten, daß dieser Terminus aus der tethysischen Nomenklatur gestrichen wird. Nicht nur, weil er überflüssig und verwirrend ist, sondern auch weil zum einen KOBER (1932, S. 18-19) ihn (als Mesogea) für die Bezeichnung der mesozoischen Welt verwendet hat und zum anderen der neuere Vorschlag von BIJU-DUVAL et al. (1977) und BIJU-DUVAL & DERCOURT (1980), mit dem Terminus *Mésogée* das östliche Mittelmeer als „einzigen Nebenast" der „Tethys" zu bezeichnen, nicht stichhaltig ist. Es gab selbst im Mittelmeerraum schon mehr als zwei Äste der Tethys!

Unser geschichtlicher Überblick zeigt uns, daß geologische Daten von zwei verschiedenen und einander ausschließenden Gesichtspunkten betrachtet werden können. Der eine Gesichtspunkt ist, daß die geologischen Daten als einziges Mittel zur Rekonstruktion der Erdgeschichte betrachtet werden können. Demnach liegen heute fast alle Produkte der Erdgeschichte den Geologen vor. Sie können natürlich von jüngeren Bildungen oder anderen Strukturen begraben, oder vom Meere oder Eis verdeckt sein. Eines Tages können wir sie aber studieren und unsere Ansichten endgültig beweisen. Manche erdgeschichtliche Dokumente können natürlich unwiderruflich durch Erosion oder Deformation und Metamophose oder sogar Aufschmelzung zerstört sein. Diese sind aber unbeträchtlich. Auf Gesteinsverbände überträgt sich die Zeit nur mit geringem Verlust und die Annahme Gestein = Zeit ist berechtigt. Deshalb soll man sich der Natur mit offenen Augen und ohne Vorurteile annähern. Die Tatsachen der Natur liegen nackt vor uns und wenn wir genügend beobachtet haben, wird sich die Wahrheit von selbst kristallisieren und unsere Bemühungen krönen.

Das ist der Gesichtspunkt, den ich oben positivistisch bezeichnet habe. Er ergibt ein statisches Bild der Erdgeschichte. Scharfe körperliche Beziehungen (z. B. Schichtflächen, Diskordanzen, Verwerfungsflächen) müssen unter diesem Gesichtspunkt als genauso scharfe zeitliche Beziehungen gedeutet werden. Der Geologe besonders vor dem 20. Jahrhundert hat keinen Anhaltspunkt, um das von der Schicht- oder Diskordanzfläche repräsentierte Zeitintervall zu messen. Man kann es nur abschätzen, und zwar basierend auf den aktuellen Erfahrungen der Sedimentationsgeschwindigkeiten, d. h. auf aktuellen Prozessen beruhend. Daß die aktuelle Welt ein gerechtes Modell der vergangenen Welten ist, ist aber eine Annahme, die (in der vor-Edwin-HUBBLE'SCHEN Welt, d. h. bevor wir die Geschichte des Universums wissenschaftlich zu untersuchen begannen) nicht auf Beobachtung gestützt werden kann. Sowohl der Thermodynamik als auch den Gesetzen der historischen Entwicklung widerspricht sie. Sieht man die Geologie unter dem Vorurteil eines jungen Erdalters (ja sogar mit einem biblischen Maßstab!) so würde fast kein Grund zu finden sein, die heutige Welt als Modell heranzuziehen. Ohne Aktualismus hätte man andere Modelle als die rezente Welt heranziehen müssen, um die Entwicklung der Erde nachzuvollziehen.

Vom positivistischen Gesichtspunkt in der Geologie können wir also einen nicht-aktualistischen Gesichtspunkt ableiten.

Aber können wir auch eine katastrophistisch-regularistische Anschauung vom Positivismus ableiten? Wir können eine solche Ansicht von der *geschichtlichen Entwicklung des positivi-*

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

stischen Gesichtspunktes herleiten. Es handelt sich dabei lediglich um die Ersetzung des *veracitas dei* mit dem *veracitas naturae*. *Veracitas dei* verlangt, daß die Erde eine kurze Geschichte hat und diese Geschichte wenigstens eine weltweite Katastrophe enthält. Als die Geologen des 17. und 18. Jahrhunderts die Bibel als ihre Kenntnisquelle aufgaben, gaben sie dennoch ihre von der Bibel abgeleiteten Hypothesen bzw. Leitbilder nicht auf. Wie die Gottesvorstellung streng anthropozentrisch ist, waren auch die geologischen Leitbilder der Proto-Geologen und der früheren Geologen anthropozentrisch. Ein Gebäude muß nach einem Plan konstruiert werden. Wenn ein Gebirge als gebautes Objekt dasteht, müßte es auch einen von der Natur (früher vom Herrgott!) vorhergezeichneten Plan haben und nach diesem von der Natur konstruiert (bzw. vom Herrgott geschaffen) sein. Existenz eines Planes setzt eine Regelmäßigkeit in der Konstruktion voraus. Diese regularistisch-deterministische Anschauung war bis in die dreißiger Jahre unseres Jahrhunderts in den gesamten Naturwissenschaften der Leitgedanke[155]. Sie gesellte sich so zu dem anti-aktualistischen Gesichtspunkt.

Nicht alle Proto-Geologen und früheren Geologen waren aber so traditionsgebunden. Manche konnten die planmäßigen Regelmäßigkeiten in der Natur nicht sehen. Ein grobes Gleichgewicht glaubten sie beobachten zu können, aber keine gezielte geschichtliche Entwicklung nach einem Meisterplan. Dieses Gleichgewicht war für die Erhaltung des Lebens auf Erden nötig und spiegelte die Weisheit des Allmächtigen wider. Die Vorstellungen dieser Gruppe erlaubten also „dem Allmächtigen" nur die Rolle eines ersten Impulses, der das *perpetuum mobile* des Universums in Bewegung setzte. In dieser Annahme glaubten viele Vertreter der positivistischen Schule einen versteckten Atheismus sehen zu können. Der Herrgott wurde aus der geologischen Diskussion ausgebremst. Der Mensch betrachtete die Natur nicht nur mit seinen Augen, sondern auch mit seiner Vorstellungskraft. Die Frage war nicht mehr „Was ist es?" sondern „Was kann es sein?" In der Frage „Was ist es?" war impliziert, daß man „es" erkennen kann, sobald enthüllt. Bei „Was kann es sein?" könnte aber „es" uns ins Gesicht schauen, ohne daß wir „es" erkennen können. Man müßte ganz rational daran denken, was „es" sein könnte. Ohne bestehende Kenntnisquelle sollte man vieles „erfinden" bis man, durch Tappen im Dunkel, das Richtige trifft. Um jede Erfindung mit Beobachtetem zu vergleichen, muß man die eigene Vernunft in streng kritischer Kapazität verwenden.

Diese kritischen Rationalisten in der Geologie zogen es vor, mit Bekanntem, also mit der rezenten Welt, zu beginnen. Sie behaupteten aber auch keine vollkommene Kenntnis der heutigen Welt zu besitzen, – lediglich daß sie die rezente Welt besser zu kennen glaubten. Also wurde die rezente Welt ihr Modell und Vergleichsobjekt für die Erdgeschichte und sie wurden zu Aktualisten. Da sie entweder keinen „Gesetzgeber" kannten oder glaubten, die Gesetze Gottes greifen in das tägliche Funktionieren des Universums nicht, setzten sie auch keine Gesetze außer ihre Hypothesen voraus.[156] Bei jedem Schritt waren sie immer bereit, ihre Hypothesen zu verwerfen und neue aufzustellen. Rigide Regelmäßigkeiten und Determinismus hatten keinen Platz in ihren Vorstellungen.

Diese beiden Gruppen von Menschen haben zusammen, oft im Streit miteinander, unsere Wissenschaft bereichert. Die Positivisten haben viele Beobachtungen gesammelt und Gesetze aufgestellt. Die kritischen Rationalisten haben diese kritisiert, die unberechtigten Annahmen herausgeschält und auf neue Beobachtungsmöglichkeiten hingewiesen. Die Positivisten waren und bleiben im allgemeinen konservativ, die kritischen Rationalisten liberal.

Die Positivisten unterstrichen die Wichtigkeit des Unterrichts und das Erlernen der Arbeitsmethoden der Disziplin. Deshalb waren sie immer bestrebt gute Lehrer zu sein. WERNER, CUVIER, ÉLIE DE BEAUMONT, DANA, HAUG, STILLE waren hervorragende Pädagogen. Die kritischen Rationalisten arbeiteten dagegen mit einer „Unmethode", die, wie EINSTEIN (1981, S. 110-111) schrieb, weder erlernbar noch lehrbar war. Sie war etwas gefühlsmäßiges, etwas, das man nur für sich selbst entwickeln konnte. Als Lehrer waren sie scheinbar nicht so erfolgreich. Weder HUTTON, noch LYELL, SUESS, WEGENER, oder ARGAND waren Kathederfürsten. Dennoch konnte SUESS, seine eigene Tätigkeit als Beispiel hinstellend, viele kreative Wissenschafter ausbilden.

Es gab aber noch einen anderen Unterschied zwischen den Positivisten und den kritischen Rationalisten: Die vielen Schüler der ersteren haben in ihrem späteren Leben, nur das weiterbetrieben, was sie von ihren Meistern gelernt hatten. Die wenigen Schüler der zweiten Gruppe wurden meist selbständige Forscher. Die Wiener Schule von SUESS ist das beste Beispiel dafür.

Die Entwicklung der Ideen über die Tethys war von unterschiedlicher Geschwindigkeit in beiden Gruppen. Originelle Ideen stammten von beiden Gruppen. Sie wurden dann von den Positivisten übernommen und sind oft zu Dogmen erstarrt, bis sie von kritischen Rationalisten zu Tode getrampelt wurden. James HUTTON entwickelte z. B. die Idee der magmatischen Hebungen, Leopold VON BUCH UND ÉLIE DE BEAUMONT verwendeten sie zum Dogma der Erhebungskrater und zu einer Erhebungstheorie der Gebirgsbildung (hauptsächlich am Beispiel der Alpen), bis SCROPE und LYELL die Theorie der Erhebungskrater und SUESS die Erhebungstheorie der Gebirgsbildung verwarfen. Die Geosynklinalidee wurde von ÉLIE DE BEAUMONT (und DUFRÉNOY?) am Beispiel der tethysischen Gebirge und ihres Vorlandes und von amerikanischen Positivisten am Beispiel der Appalachen entwickelt und von den Positivisten für mehr als ein Jahrhundert als Dogma behandelt. J. Tuzo WILSON, Harry HESS und Robert DIETZ haben die Idee getötet, obwohl SUESS, WEGENER, und F. E. SUESS schon wußten, daß die Geosynklinalhypothese nicht Stand hielt. Zweiseitiges Gebirge wurde von WERNER und ÉLIE DE BEAUMONT (hauptsächlich am Beispiel der Alpen und Pyrenäen) entwickelt, von SUESS kritisiert (am Beispiel der Apenninen, Karpathen und Alpen), von KOBER und STILLE zum Dogma erhoben (hauptsächlich am Beispiel der tethysischen Orogene), endlich von WILSON begraben (z. T. auf den Erfahrungen aus den tethysischen Gebirgen basierend). Die weltweit synchronen orogenen Phasen wurden von ÉLIE DE BEAUMONT (aus dem Erbe STENOS und WERNERS) aufgestellt, von DANA und LE CONTE ausgebaut, von STILLE und KOBER zum Dogma gemacht und endlich durch u. a. WILSON, RODGERS, HSÜ und mich selbst verworfen. Auch hier wußten SUESS, WEGENER, ARGAND, F. E. SUESS, daß die ganze Hypothese des tellurischen tektonischen Schluckaufs nicht stichhaltig war. Viele

[155] James Dwight DANA hatte noch 1880 in einem letzten Kapitel seines *Manual of Geology*, 3. Ausgabe, die Übereinstimmung zwischen der Geologie und der biblischen Schöpfungsgeschichte erörtert und keine Widersprüche finden können!

[156] RUBY (1986) hat gezeigt, daß unsere Vorstellung des Naturgesetzes nicht von einer Vorstellung des Gottesgesetzes hergeleitet wurde. Alle frühen Verwendungen des Terminus Gesetz (*Lex, Lege*) bezeichneten wiederkehrende oder verbietende Regelmäßigkeiten im Verhalten von Naturobjekten. Oft hat man aber diese Regelmäßigkeiten als von Gott geschaffene Regeln gedacht. Wenn nicht explizit, war die Hand Gottes immer implizit da.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Beispiele gäbe es noch, aber ich glaube, daß es klar geworden ist, was ich meine.

Wir haben gesehen, daß Aufstellung von Hypothesen und Kritik durch Beobachtungssätze sowohl unter den Positivisten als auch unter den kritischen Rationalisten die einzige Methode des Forschens war. Nur mit dem Unterschied, daß sie bei den Positivisten eine nicht zugegebene und deshalb viel langsamere, bei den kritischen Rationalisten aber eine offene und deswegen schnellere Methode war. Die Positivisten glaubten immer durch Induktion die Wahrheit gefunden zu haben (oder mindestens bald finden zu können). Jede spätere Falsifikation wurde entweder völlig ignoriert oder als ein weiterer Aspekt des bereits aufgestellten Modells dazugefügt. Diese Zuwächse haben aber oft die Voraussagekraft des Modells untergraben, bis eine Akkumulation miteinander nicht verknüpfbarer Beschreibungen ohne jegliche Voraussagekraft resultierte. Die Gebirgsbildungstheorien von WERNER, ÉLIE DE BEAUMONT und STILLE sind schöne Beispiele dafür (vgl. ŞENGÖR, 1991a, 1996).

Durch ihr festes Lehrgebäude repräsentierten die Positivisten oft die tektonische Orthodoxie. Sie gaben der Wissenschaft ein Rückgrat in der Flucht der Ideen. Die kritischen Rationalisten übernahmen die Rolle der wissenschaftlichen Kritiker und ihre Kritik ging bis zu den ersten Prinzipien der Geologie. Nicht selten griffen sie wesentliche Prinzipien an. Die Alternative, die sie angeboten haben, waren oft in sich nicht geschlossene Systeme, die einen nach gesichertem Wissen Suchenden kaum befriedigen konnten. Sie waren Arbeitshypothesen, die zur Diskussion angeboten wurden. Oft wurden sie von ihren eigenen Schöpfern später verworfen (vgl. oben S. 52 was DIENER über SUESS sagte)!

Die Geschichte der Tethysforschung zeigt, daß von den Positivisten verteidigte Modelle nur dann aufgegeben werden konnten, wenn ein Stück neuer Information einen der Hauptpfeiler der Theorie unhaltbar gemacht hat. So wurden die Erhebungshypothese Leopold VON BUCHS und das Reseau Pentagonal von ÉLIE DE BEAUMONT von Eduard SUESS, die Geosynklinalhypothese (in der renovierten Form der VENING MEINESZ'SCHEN krustalen Falte) von Tuzo WILSON und der Fixismus durch die Beobachtungen der Aufsteller der Plattentektonik verworfen. Es gab niemals eine allmähliche Akkumulation der Information, die von sich selbst zur Aufstellung neue Modelle führte. Es waren immer die gewagten (und oft gar nicht fundierten) Vermutungen, die, sobald ein bestehendes Modell zu verfallen begann, die neue Beobachtungsalleen geöffnet haben, die dann das vorher bestehende Modell ganz unhaltbar gemacht haben. Es gab keine Zeit, zu welcher man nicht gewagte Vermutungen aufstellte. Nicht alle waren erfolgreich und nicht alle erfolgreichen konnten sofort von der Fachwelt als solche angesehen werden. Die sog. „efficient market theory", welche besagt, daß sobald eine Entdeckung gemacht oder eine neue Idee formuliert wird, diese sofort zum Gemeingut der Wissenschaft wird, funktioniert nicht. Nicht alle Wissenschafter haben denselben Vorrat an Wissen und/oder intellektueller Kapazität. Obendrein sind wir wahrscheinlich viel dümmer als wir glauben, wie FAUST (1984) gezeigt hat, und können komplexe Informationen nicht verarbeiten.

Ab und zu kommen gute Ideen vor, die momentan alles besser erklären als die bestehenden Ideen. Diese Ideen werden von früheren ähnlichen Teilhypothesen angekündigt und wenn sie erscheinen, sind sie von der wissenschaftlichen Elite bereits als Selbstverständlichkeit angenommen. Diese Theoriewechsel sind keine Revolutionen im Sinne KUHNS. Ich betrachte sie wie einen Kaiserwechsel in einer Dynastie. Manchmal stirbt der alte Kaiser von selbt, manchmal muß er von seinem Nachfolger *auf Wunsch der Bevölkerung* getötet werden. Zu einem zufälligen *und erfolgreichen* Attentat am Kaiser kommt es aber nie. Nach dem Kaiserwechsel bleibt nicht nur das Land bestehen (vergleichbar mit der Wissenschaft im allgemeinen), sondern auch das Regime (vergleichbar mit den Leitbildern der Wissenschaft oder des Wissenschaftszweiges). Eine Demokratie in der Wissenschaft gibt es nicht (das heißt, „anything goes" à la FEYERABEND, 1978, geht nicht!). Aber da die wissenschaftliche Objektivität einen Konsens vieler Wissenschafter voraussetzt, ist zu jeder Zeit eine *vorübergehende* Vereinbarung über die Grundvorstellungen der bestehenden Theorie in gegenseitigem Einvernehmen angenommen. Oder man einigt sich temporär über Uneinigkeiten. Das alles geschieht unter der Obhut des Kaisers. Die Unzufriedenen müssen zuerst die Einwilligung ihrer Mitbürger erhalten, bevor sie einen neuen Kaiser auf dem Thron setzen können. *Ohne einen neuen Kaiser kann niemand den alten entthronen, selbst wenn der alte Kaiser von selbst stirbt*! Im Falle des Todes eines alten Kaisers ohne einen Nachfolger, bleiben die Gesetze des alten Kaisers bestehen. Z. B. war die Kontraktionstheorie schon am Anfang unseres Jahrhunderts tot – sie bestand aber solange bis eine bessere Theorie sie ersetzen konnte. In einem vergleichbaren Fall wurde die Theorie von ÉLIE DE BEAUMONT von LYELL entkräftet. Sie regierte aber weiter, bis SUESS einen besseren Vorschlag hatte. Eine Republik kann in der Welt der Wissenschaft nicht gegründet werden. Ohne eine herrschende Theorie oder ein Gerüst herrschender Theorien kann es keine Wissenschaft geben[157].

[157] Wenn es mehr als eine herrschende Theorie gibt, entsteht sofort ein Kampf zwischen beiden, der nur durch Elimination einer der beiden enden kann.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

ZWEITER TEIL:

HEUTIGER STAND DER TETHYSFORSCHUNG: BESTANDSAUFNAHME, PROBLEME UND AUSBLICK

Vieles ist noch ungewiss. Zum Teil betrifft dies Fragen, welche schon die „klassische" Alpen-Geologie stellen mußte.

Rudolf TRÜMPY
Die Plattentektonik und die Entstehung der Alpen, 1985

Schon in der kurzen Schrift vom Jahre 1979 konnte ich zeigen (ŞENGÖR, 1979), daß ein verhältnismäßig schmaler Streifen, gekennzeichnet durch sehr starke, weitgehend mit Subduktions- und Kollisionsmagmatismus und streckenweise von Ophiolithen begleitete Orogenese von triadisch-jurassischem Alter, sich entlang des nördlichen Saumes des Alpen-Himalaya-Systems befindet und von dem eigentlichen „alpidischen" Orogen der Tethyszone durch bedeutende Kontinentalschollen getrennt ist. Teile dieses nördlicheren und älteren Orogens bildeten in KOBERS zweiseitigem alpinen Orogen die Nordflanke. Besonders die iranischen Anteile dieser „Nordflanke" wurden bereits von STÖCKLIN (1974) und von HSÜ (1977) als mögliche Produkte der Destruktion der Paläo-Tethys interpretiert. Das von mir beschriebene Orogen (ŞENGÖR, 1979) erstreckte sich von der Norddobrudscha im Westen bis zur pazifischen Küste Südostasiens. Was an dieser Zone so wichtig war, ist seine scheinbar völlige Unabhängigkeit vom eigentlichen alpidischen Orogen. Ich kam zum Schluß, daß das Alpen-Himalaya-System zwar heute ein einheitliches morphologisches Gebirge darstellt (Abb. 89), jedoch aus zwei voneinander unabhängigen Orogenen besteht, welche die Abkömmlinge zweier gleichfalls voneinander unabhängiger Ozeane sind. Das ältere Orogen wuchs aus dem ursprünglichen Pangäagolf, während das jüngere als Folge der Destruktion der „klassischen", das heißt SUESS'SCHEN, Tethys entstand. Den ersten Ozean nannte ich, dem Beispiel STÖCKLINS folgend, *Paläo-Tethys,* dem jüngeren habe ich den Namen *Neo-Tethys gegeben. Zwischen diesen beiden tethysischen* Ozeanen lag der von mir so benannte kimmerische Zwischenkontinent, dessen triadisch-jurasissche Rotation um einen Pol im heutigen Karpatengebiet gleichzeitig die Destruktion der Paläo-Tethys und die Geburt und Weiterentwicklung der Neo-Tethys zur Folge haben sollte (Abb. 90 & 91).

Die beiden Orogene verlaufen parallel zueinander und sind durch einen sehr schmalen Streifen kontinentaler Blöcke voneinander getrennt. Daher sind nicht nur die Orogene selbst, *sondern auch ihre Auswirkungen in außerorogenen Gebieten* schwierig voneinander zu unterscheiden (Abb. 92). Ähnlich dem Fall, wenn man zwei beinahe identische Dinge palimpsestisch übereinander schreibt, kann die palimpsestische „Neuversion" wenn überhaupt, nur mit großer Mühe und nur, wenn man sich von der Existenz der Neuprägung bewußt ist, erkannt werden.

In den folgenden Kapiteln erörtere ich den heutigen Stand unseres Wissens über die Entwicklung der Tethys und die tektonischen Grundzüge der aus ihrer Vernichtung geborenen Gebirgszüge. Die folgenden Definitionen, die meinen früheren Arbeiten entnommen sind (vgl. ŞENGÖR, 1979, 1981, 1984, 1985a, b, 1986, 1987a, b, 1989; ŞENGÖR et al., 1984, 1988; ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a), lege ich auch hier unseren Erörterungen zugrunde (siehe Abb. 90-93):

a. *Tethys i. w. S.*: (oder *Tethys sensu lato*: vgl. ŞENGÖR, 1989, S. 11-15): Das sind die sich zwischen zwei Teilen spätpaläozoischer Pangäa, nämlich Laurasien und Gonwana-Land, befindenden spätpaläozoisch-känozoischen *Ozeane*. Man beachte hier, daß die Bezeichnung „Tethys" vor der Entstehung von Pangäa keine Bedeutung hat! Obwohl diese Definition *nur* die Ozeane (d. h. Becken mit kontinuierlich subduzierbarem Boden) einschließt, ist es unvermeidbar, daß bei tektonischen Diskussionen über diese Ozeane auch ihre Ränder bis zu den Schelfen hinauf in die Diskussion unter derselben Bezeichnung miteinbezogen werden.

b. Die *Paläo-Tethys* ist ein Teil des Weltozeans (Panthalassa), der durch die Zusammenballung der spätpaläozoischen Pangäa zwischen Laurasien und Gondwana-Land eingeklemmt wurde (Abb. 90a). Obwohl erst im Spätpaläozoikum nach der Entstehung der Pangäa definierbar, ist die Paläo-Tethys bis zur Jurazeit erhalten geblieben. Die Vorsilbe Paläo- ist also in ihrer ursprünglich griechischen Bedeutung lediglich als „alt-" zu verstehen und nicht als eine Anspielung auf das Paläozoikum!

c. Die *Neo-Tethys*: Darunter verstehe ich den überwiegend mesozoisch-känozoischen Ozean, der durch die Schließung der Paläo-Tethys, zwischen dem kimmerischen Zwischenkontinent und dem Nordrand des Gondwana-Landes entstanden ist (Abb. 90a). Auch hier ist die Vorsilbe Neo- in ihrem ursprünglichen Sinne als „neu-" zu verstehen. Sie ist nicht eine Anspielung auf das nicht mehr gebräuchliche Neozoikum[1]!

d. Der *Tethysraum*: Dieser Raum umfaßt die von den tethysischen Deformationen betroffenen Gegenden. Genau wie bei der Tethys i. w. S. ist dieser Terminus ein tektonischer. Er ist deswegen bei paläogeographisch/paläobiogeographischen Erörterungen vorsichtig zu verwenden.

[1] KAYSER (1893, S. 9, Fußnote 1) hat daran erinnert, daß Neozoikum manchmal sowohl das Känozoikum als auch das Mesozoikum miteinschließt. In diesem Sinne wäre die Neo-Tethys ein ausschließlich neozoischer Ozean.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

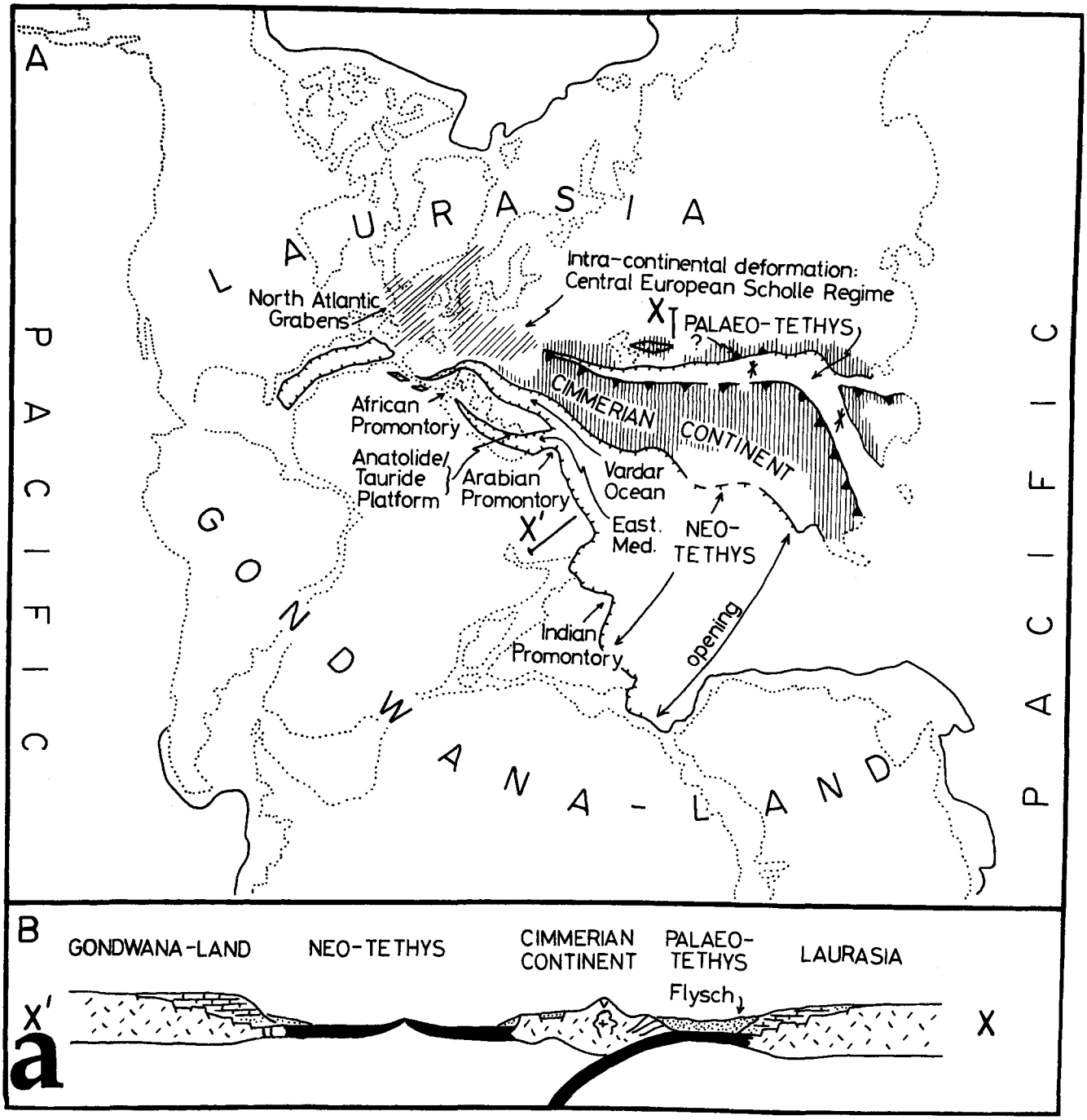


Abb. 90a
A) Mein erster Versuch aus dem Jahre 1979 den ganzen Tethysraum tektonisch zu deuten (aus ŞENGÖR, 1979, Fig. 2). Diese Deutung hat sich in seinen Grundzügen (d. h. Paläo-Tethys, Kimmerischer-Kontinent oder -Archipel, Neo-Tethys) bis heute bewahrt. X-X' Lage des Querschnittes in B. B) Querschnitt durch den Tethysraum zwischen X-X'

f. Das *Alpen-Himalaya-System*[2] ist der morphologische Gebirgszug, der sich von Gibraltar und vom Golf von Biskaya bis nach Indonesien erstreckt (Abb. 89). Die ihm vorgelagerten und sich unmittelbar an ihn anschließenden Mittelgebirge sind, im engeren Sinne, vom Alpen-Himalaya-System abzutrennen. Sie sind mit ihm in dem Sinne verbunden, daß die beiden ihre heutige Topographie der gleichen Ursache verdanken.

g. Die *Tethysiden*[3] bezeichnen den gesamten im Lauf des Intervalls (?) Unterkarbon – Heute aus der Tethys i. w. S. geborenen Großorogenkomplex (Abb. 92). Er besteht aus den Kimmeriden und den Alpiden.

[2] DE LAUNAY (1905, S. 396, Fußnote) schrieb, daß „Le nom d'*alp-himalayenne* a été proposé par G.-F. BECKER (Hervorhebung durch DE LAUNAY)". BECKERS Arbeit behandelte die Quecksilber-Absätze des pazifischen Abhanges der Vereinigten Staaten. In dem Kapitel *Foreign Occurrences of Quicksilver* schrieb er: "A glance at the map (Plate LXIII) shows that the quicksilver deposits occur along the great axes of disturbance of the world. One of these is on the line of the principal mountain system of Eurasia, for which I suggest the name of Alpimalayan chain, because it includes the Alps and the Himalayas." (BECKER, 1889, S. 966).

[3] Aus dem altgriechischen Tethys + eidos. Eidos (εἶδος) bedeutet Klasse, Art entweder Genus oder Spezies und deutet auf genetische, verwandschaftliche Beziehungen hin.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

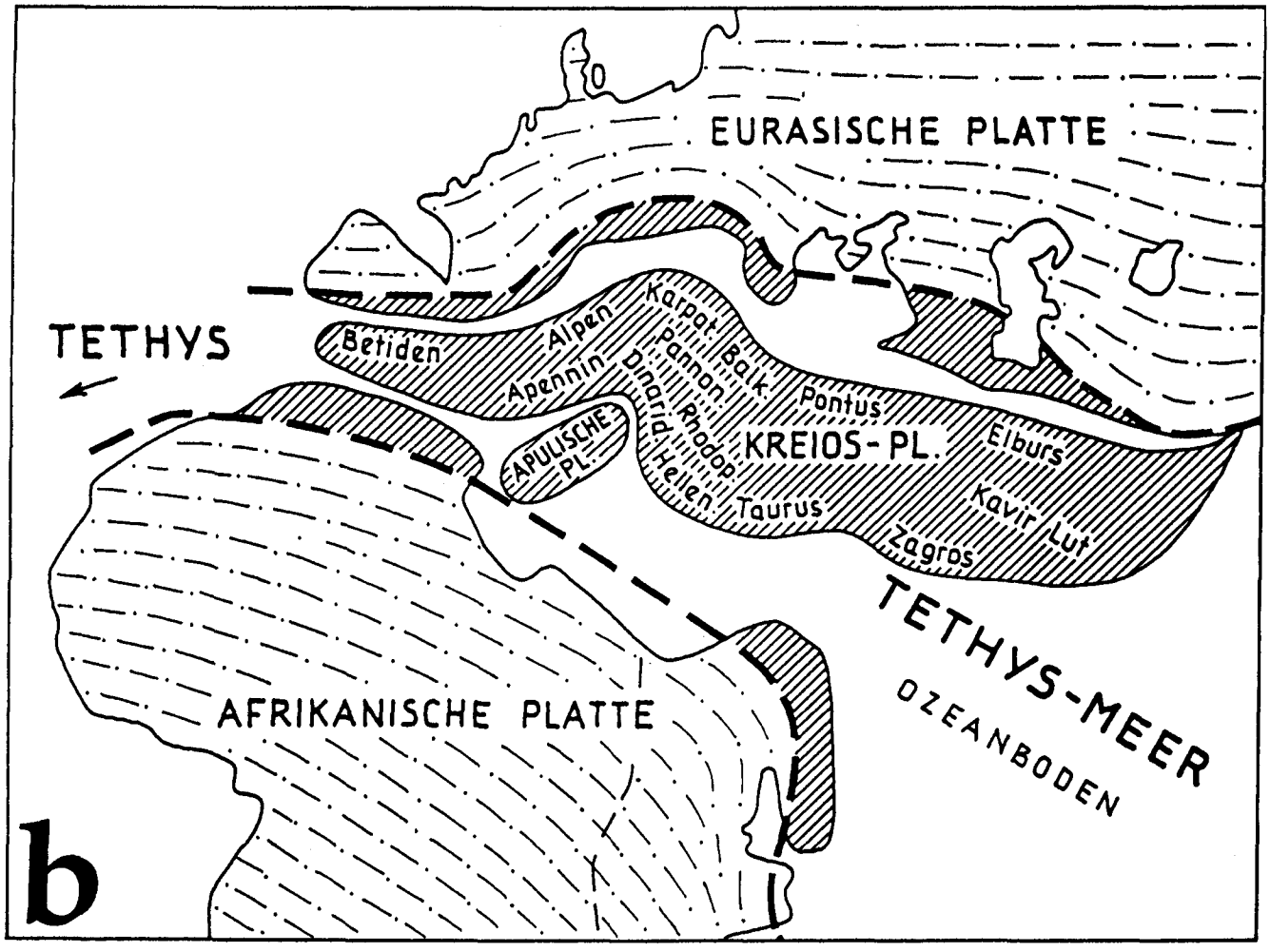


Abb. 90b
TOLLMANNS Kreios-Platte zum Vergleich mit meinem Kimmerischen Kontinent (aus TOLLMANN, 1978, Abb. 10). Die Kreios-Platte kann höchstens mit meinem Tauride/Anatolide-Plattform verglichen werden. Sie hat mit meinem Kimmerischen Kontinent sehr wenig zu tun.

h. Die *Kimmeriden* sind der Orogenkomplex, der aus der Paläo-Tethys und ihren Nebenmeeren gewachsen ist (Abb. 92 & 93). Die Kimmeriden bestehen aus:

h.1. Den *alpinotypen Kimmeriden*, die das eigentliche kimmeridische (nicht „kimmerische"!)[4] Orogen darstellen;

h.2. Den *germanotypen*[5]*-Kimmeriden*, die durch die orogene Entwicklung der alpinotypen Kimmeriden ins Leben gerufene kratonische Deformationsfelder sind. Sie charakterisieren die Vor- und Rückländer der alpinotypen Orogenzone.

i. Die *Alpiden* bezeichnen den Orogenkomplex, der aus der Neo-Tethys und ihren Nebenmeeren entstanden ist (Abb. 92 & 93). Wie die Kimmeriden bestehen auch die Alpiden aus:

i.1. Den *alpinotypen Alpiden* und

i.2. Den *germanotypen Alpiden.*

j. Der *Kimmerische Kontinent* ist der ehemalige Kontinentalstreifen, der zwischen Paläo- und Neo-Tethys lag[6] (Abb. 90 & 91). *Innerhalb dieses Zwischenkontinents ist nur in Nordtibet*, in Afghanistan und im Ostiran nachgewiesen, daß eine Narbenzone einen Ozeanteil, der Paläo- und Neo-Tethys einst verband, repräsentiert. Mit anderen Worten, der kimmerische Kontinent war nur an drei Stellen mit Sicherheit von Ästen der Tethys unterbrochen.

[4] „Kimmerisch" ist zum einen ein altertümlicher geographischer und zum anderen ein nun längst überholter tektonischer Begriff. Um jegliche Mißverständnisse zu vermeiden, möchte ich hier nachdrücklich betonen, daß weder mein „Kimmerischer" Kontinent noch meine „Kimmeriden" mit dem STILLE'SCHEN Begriff „kimmerische Phase" zeitlich oder räumlich etwas zu tun haben. Auch wenn zufällige Übereinstimmungen in dem einen oder anderen oder in beiden Bereichen gelegentlich auftreten. Meine Bezeichnung stammt vielmehr aus der ursprünglichen MRAZEC-SUESS'SCHEN Definition (vgl. SUESS, 1909, S. 22). Vgl. oben S. 68.

[5] Die Verteidigung meiner Anwendung dieser STILLE'SCHEN Termini befindet sich in ŞENGÖR (1984, S. 11).

[6] Mit Nachdruck möchte ich hier betonen, daß mein Begriff des kimmerischen Kontinents mit der Kreios-Platte TOLLMANNS (1978) überhaupt nichts zu tun und auch fast nichts gemeinsames hat. Abb. 90 veranschaulicht diese Sachlage. Erstens beginnt die Kreios-Platte fast dort wo mein kimmerischer Kontinent aufhört. Zweitens hat TOLLMANN Synaphien mit einander parallelisiert und korreliert, die miteinander nichts zu tun haben, wie z. B. die nördlichen neo-tethysischen Synaphien in der Türkei mit dem „Elburs" (ich nehme an, daß er damit die Sevan-Akera-Karatag-Synaphie meint), oder die Bitlis-Synaphie mit einer hypothetischen Synaphie zwischen den Süd- und Ostalpen (Meliata/Hallstatt Zone: vgl. auch NEUBAUER, 1994; siehe auch z. T. TOLLMANN, 1978, widersprechend TOLLMANN, 1987). Nur ein äußerst oberflächlicher und unvorsichtiger Vergleich kann meinen Begriff mit dem TOLLMANN'SCHEN verwechseln!
RICOUS (1994a, b) „transit plate" ist nichts anderes als eine Revision meines Kimmerischen Kontinents. M. E. ist sein Terminus unbrauchbar, weil wir heute noch nicht wissen, wie viele lithosphärische „Platten" in der gesamten tethydischen Geschichte subduziert worden sind, oder ob der Kimmerische Kontinent wirklich aus *einer* Platte bestand. Was wir heute beobachten können sind Reststücke eines ehemaligen, wahrscheinlich geographisch einst zusammenhängenden Kontinents. Deshalb nannte ich diese Reststücke gemeinsam den Kimmerischen Kontinent. *Für Zeiten, in welchen „der kimmerische Kontinent" aus mehr als* einem Kontinent besteht, könnte man von einem „kimmerischen Achipel" sprechen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

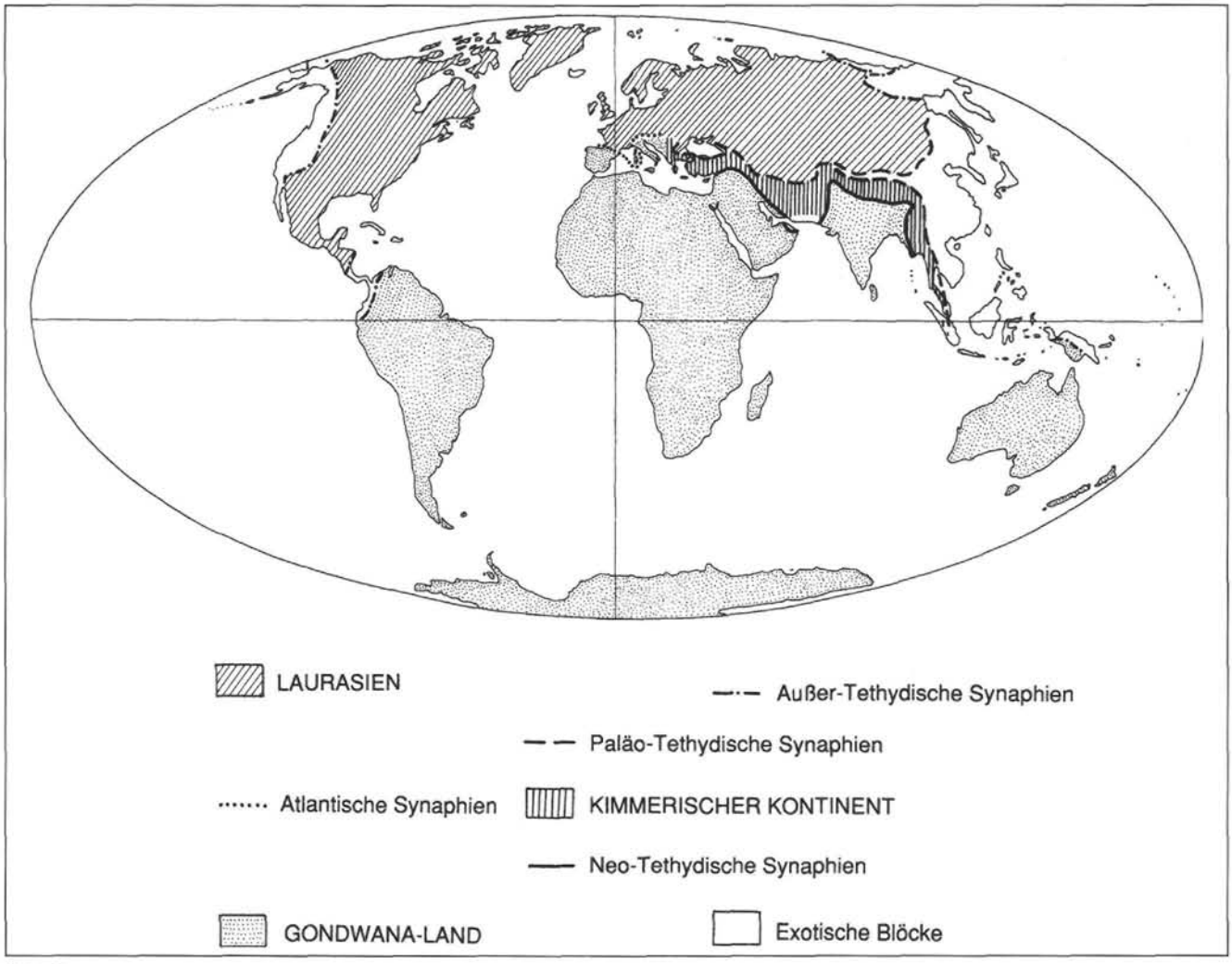


Abb. 91a
Die paläogeographischen Hauptelemente des Tethysraumes und die damit zusammenhängenden Großstrukturen unserer Erde.

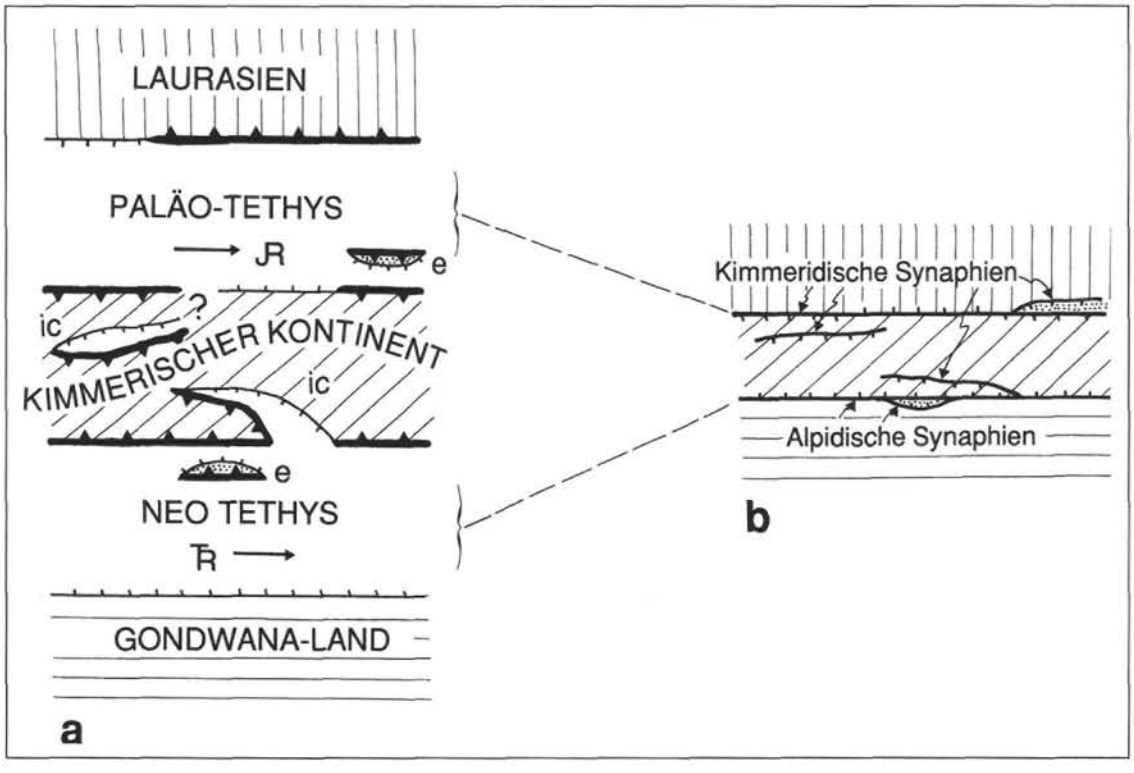


Abb. 91b
Schematische Darstellung der paläogeographischen Hauptelemente des Tethysraumes und ihre tektonischen Rollen. e = exotische Fragmente; ic = interkimmerische Ozeanbecken.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Ich möchte noch einiges über die Schreibweise der tethysischen Termini einfügen:

Die Termini Paläo-Tethys und Neo-Tethys schreibe ich immer mit Bindestrich. Das ist erstens, um *meine* Paläo- und Neo-Tethys von den STILLE'SCHEN (siehe oben im ersten Teil dieses Vortrages) zu unterscheiden. Zweitens möchte ich den Namen „Tethys" hervortreten lassen und ihn nicht hinter einer Vorsilbe verstecken. Die Bezeichnungen Paläo- und Neo- können eines Tages aufgegeben werden, um sie mit noch präziseren Vorsilben zu ersetzen. Der Begriff Tethys selbst scheint mir aber bereits zu einem Permanentgut der Geologie geworden zu sein.

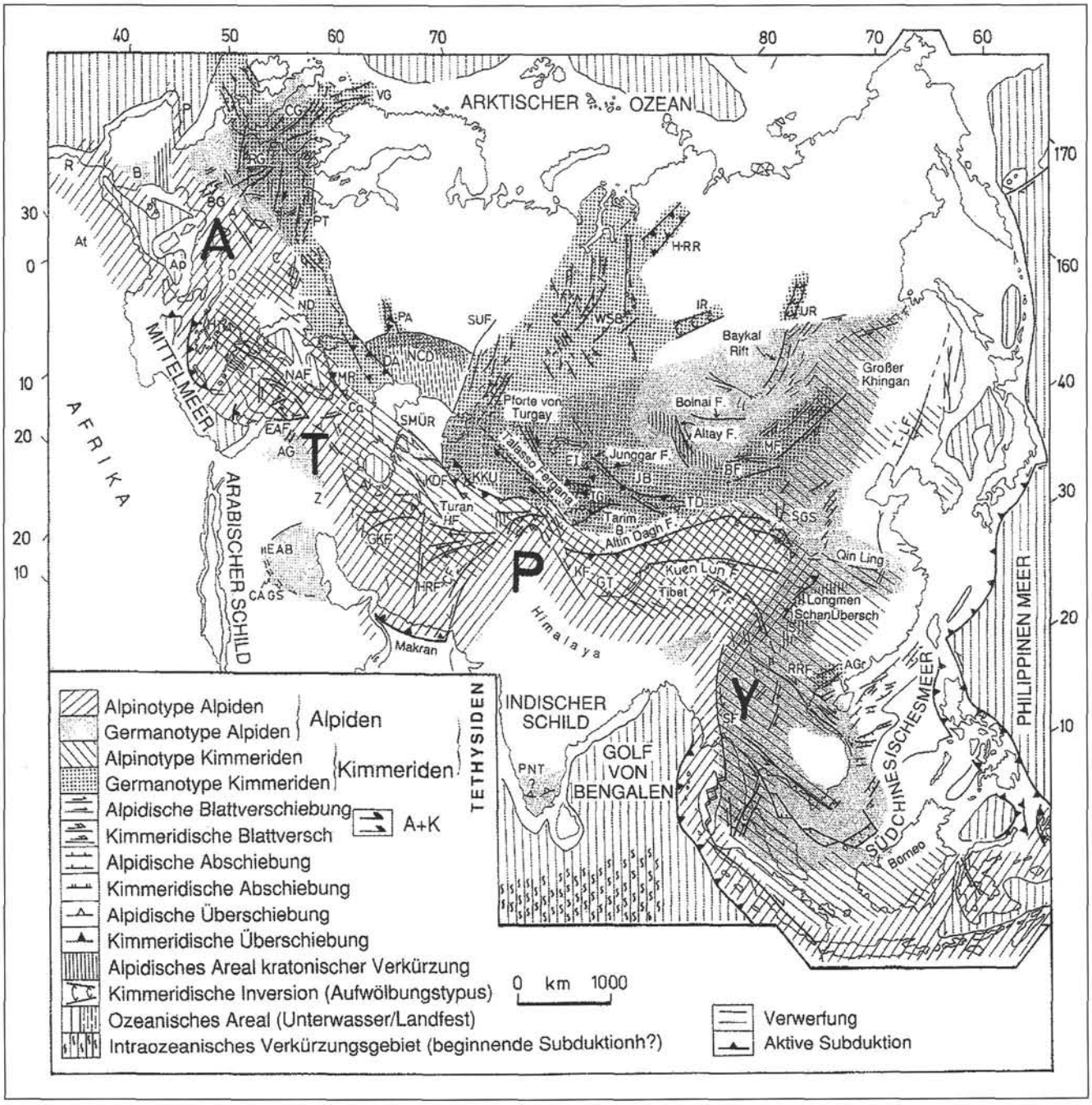


Abb. 92

Das tethysidische Großorogen nach heutiger Auffassung. Abkürzungen: *Kleinere Buchstaben:* A. Alpen; AG. Akçakale-Graben; AGr. An Chau Graben; Al. Alborz; Ap. Apennin; At. Atlas Gebirge *(sensu lato);* B. Betische Kordilleren; BF. Bogdo-Blattverschiebung; BG. Bresse-Graben; C. Karpaten; Ca. Kaukasus; CAGS Zentralarabisches Grabensystem; CF. Chaman Blattverschiebung; CG. Central Graben; d. Dinariden; DA. Dnyepr-Donetz-Aulakogen; EAB. Ostarabischer Block; EAF. Ostanatolische Blattverschiebung; EI. Ost-Ili-Becken; GKF. Groß-Kavir Blattverschiebung; GT. Gerze Aufschiebung; H. Helleniden; HF. Herat Blattverschiebung; HRF. Harirud Blattverschiebung; H-RR. Hantaj-Rybninsk-Graben; IG. Issyk Kol Becken; IR. Irkineev-Graben; KDF. Kopet Dagh Blattverschiebung; KF. Karakorum Blattverschiebung; KKU. Kyzyl-Kum-Hebung; KTF. Kang Ding Blattverschiebung; MF. Mongolische Blattverschiebungen; MR. Hauptkamm des Großen Kaukasus; NAF. Nordanatolische Blattverschiebung; NCD. Nordkaspisches Becken; ND. Norddobrudja; PA. Pachelma-Aulakogen; PNT. Palni-Nilgiri-Rücken-Aufschiebung; PT. Polischer Trog; RG. Oberrheingraben; RRF. Roter Fluß Blattverschiebung; S. Sichuan Becken; SF. Sagain Blattverschiebung; SGS. Shanxi Grabensystem; SMÜR. Südmangyschlak-Ust Yurt-Rücken; SUF. Verwerfungen des südlichen Ural; T. Türkische Gebirgsketten; TD. Turfan Trog; T-LF. Tan-Lu Blattverschiebung; UR. Ura Graben; VG. Viking-Graben; WSB. Westsibirisches Becken; Z. Zagriden. *Größere Buchstaben:* A. Alpine Scharung; B. Türkische Scharung; C. Pamirscharung; Y. Yünnanscharung.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

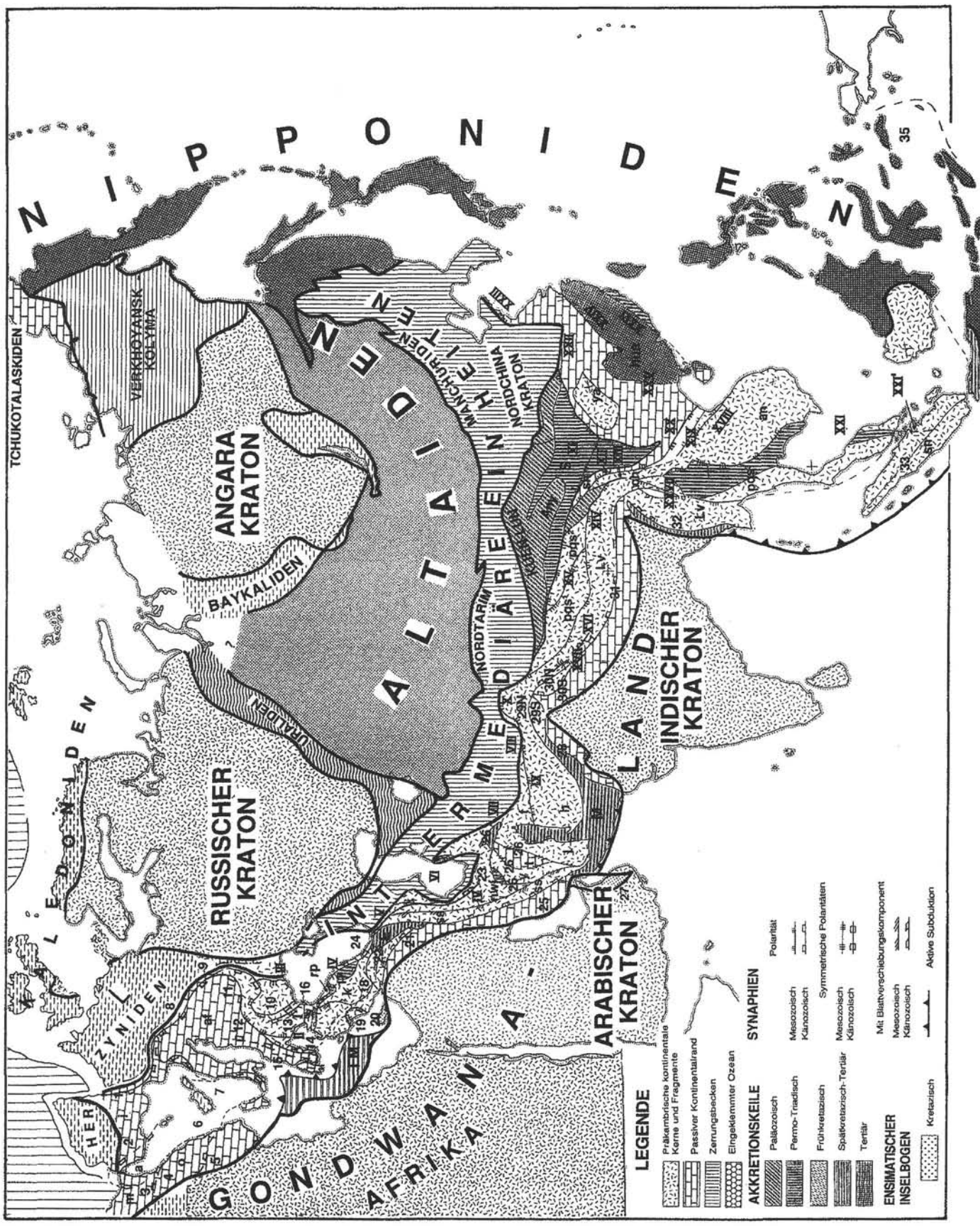


Abb. 93
Tektonische Karte Eurasiens. Diese Karte zeigt sowohl die Grundzüge der Struktur der die Tethysiden umrahmenden Kontinente, als auch die Verteilung der tethysidischen Synaphien und die von ihnen umgebenen Blöcke. Abkürzungen: *Kimmeridische Synaphien:* I. Strandja (Bulgarien); II. Karakaya; III. Luncavita-Consul, IV. Küre (Nordtürkisch); IV'. Sanandaj-Sirjan; V. Dizi (Svanetia); V'. Chorchana-Utslevi (Dzirula); VI. Talesch; VII. Rascht/Meschhed; VIII. Paropamisus/Hindu-Kusch/Nordpamir; IX. Wašer (Farah-Rud der französischen Literatur); X. Ruschan-Pschart; XI. Kang-Ding (Inner-Songpan-Ganzi); XII. Maniganggo; XIII. Jinscha-Jiang; XIV. Banggong Co-Nu Jiang; XV. Chasa; XVI. Schiquan He; →

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

XVII. SW-Karakorum; XVIII. Tamky-Phueson; XIX. Song Ma; XX. Song Da; XXI. Mid-Malaya (Bentong-Raub); XXI'. Mid-Sumatra; XXII. Qin-Ling/Dabie Shan; XXIII. N. Jianyang-Korea; XXIV. Shaoxing-Pinxiang; XXV. Tianyang (XXIV+XXV=Xiangganzhe); XXVI. Lishui-Haifeng; XXVII. Mandalay. *Alpidische Synaphien:* 1. Pyrenäisch; 2. Betisch; 3. Rif; 4. Hochatlas; 5. Saharischer Atlas; 6. Kabylisch; 7. Apenninisch; 8. Alpen; 9. Pienidische Klippenzone; 10. Zirkummoesisch; 11. Mures; 12. Vardar; 13. Peonias/Inner Pontid; 14. Almopias/ Izmir; 15. Izmir-Ankara-Zone; 16. Srednogorie; 17. Yozgat-Erzincan; 18. Innertaurisch; 19. Antalya; 20. Zypern (Troodos/Kyrenia); 21. Bitlis; 22. Maden; 23. Sevan-Akera Karadagh; 24. Schiefer-Diabas-Zone; 25. Zagros Hauptsynaphie; 26. Zirkum- und Innerzentraliranische Synaphien; 27. Seistan; 28. Wasiristan; 29N. Chalt; 29S. Main Mantle; 30N. Shyok; 30S. Indus; 31. Himalayische Hauptsynaphie (Indus/Yarlung Zangbo); 32. Burma. *Tethydische Blöcke: m.* Marokkanische Meseta; *o.* Oranische Meseta; *a.* Alboran-Fragment; *i.* Iberische Meseta; *af.* Afrikanischer Vorsprung (= „Apulien" oder „Adria"); *rp.* Rhodop-Pontid Fragment; *s.* Sakarya; *k.* Kirşehir; *ss.* Sanandaj-Sirjan; *nwi.* Nordwest-Iran; *y.* Yazd; *t.* Tabas; 1. Lut; *f.* Farah; *h.* Helmand; *pqs.* Zentralpamir[1] – Qangtang[2] – Sibumasu[3]; *lv.* Lhasa-Mt. Victoria Land; *sh.* Shaluli Shan; *ch.* Chola Shan; *ya.* Yangtze; *an.* Annamia; *sn.* Sikuleh-Natal.

Zwei andere Vorsilben, die in den tethysischen Diskussionen vorkommen, möchte ich hier besprechen:

FLÜGEL (1972; siehe auch 1981; FLÜGEL & HUBMANN, 1993[7]) und WHITTINGTON & HUGHES (1972) haben den Namen *Proto-Tethys* für alle paläozoischen Meere und Ozeane innerhalb des Tethysraumes verwendet.[8] Der Begriff Tethys hat aber, wie ich hier schon früher und auch an anderer Stelle gesagt habe, für die Zeit vor der Entstehung der Pangäa keine Bedeutung, weder im ursprünglichen Sinne von SUESS noch im modernen Sinne der Plattentektonik. Ich habe diese Sachlage an anderen Stellen eingehend erörtert (ŞENGÖR, 1990d, 1992c) und verweise den Leser auf jene Publikationen. Deshalb habe ich niemals den Terminus Proto-Tethys verwendet.

LASKAREV'S (1924, S. 1) *Paratethys* ist dagegen ein sehr nützlicher Name, da er für ein Meer verwendet wurde, das erst durch orogene Ereignisse im Känozoikum von der eigentlichen Tethys abgeschnitten wurde. Dieses Meer lag in weiten Teilen auf kontinentaler Lithosphäre mit den Ausnahmen der Schwarzen und Kaspischen Meere und verschwand beinahe gleichzeitig mit der Neo-Tethys. LASKAREV beschrieb und definierte es mit den folgenden Worten:

«Une des conséquences les plus importantes, qui suivirent en Europe l'élévation du système alpin fut la formation a commencement du miocéne d'une vaste mer qui fut séparée de la Téthys par des procédés tectoniques alpins. Cete mer, en se tortillant parmi les diverses parties du Système alpin, s'étendait parallelement à Téthys, du bassin du Rhône jusqu'aux régions transcaspiennes, en passant par la Suisse, la Bavière, par les bassins de Vienne et Pannonien, par la serbie, la Roumanie et la Russie méridionale. On peut proposer le nom de Paratéthys pour cette mer.»

Wie STEVANOVIC (1975) gezeigt hat, betrachtete LASKAREV drei Becken, Pannonisches, Pontisches und Euxinisches als das Hauptverbreitungsareal der Paratethys. Nach ihm beginnt die Paratethys am Ostrand der Alpen und endet in Turkmenistan. Deren Gebiete, die westlich und östlich dieser Grenzen liegen, waren nach LASKAREV nur „voie de communications" zwischen den Hauptbecken der Paratethys bzw. zwischen Tethys und Paratethys. Auch heute benützt man den Begriff Paratethys im Sinne ihres ursprünglichen Urhebers.

Tektonik und Magmatismus in den Tethysiden: Identifikation der Synaphien

Das tethysidische (nicht „tethysische" oder „tethydische"!) Großorogen ist größtenteils das Produkt kontinentaler Kollisionen entlang der kimmeridischen und der alpidischen Synaphien. Die Tethys i. w. S. ist mit einigen unbedeutenden Ausnahmen wie das östliche Mittelmeer, entlang dieser völlig verschwunden (Abb. 91 & 93). Um die Geschichte der Tethysiden, und dabei die der tethysischen Ozeane (Tethys i. w. S.) selbst, entziffern zu können, müssen wir vorerst die Stellen aufsuchen, welche die Reste ehemaliger Ozeanteile repräsentieren. Mit der Plattentektonik haben die Geologen lernen müssen, daß ehemalige Ozeane völlig verschwinden können. Die Spuren, die sie hinterlassen, sind unterschiedlicher Natur und verschiedener Häufigkeit (vgl. besonders DEWEY, 1977, 1987; ŞENGÖR & HSÜ, 1984; ŞENGÖR, 1987a; ŞENGÖR et al., 1988; ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a, S. 486-493). An manchen Stellen der Tethysiden sind zum einen ganze Ozeanböden samt den Kontinentalrändern in Form von „Restozeanen" (z. B. das östliche Mittelmeer: MAKRIS & STOBBE, 1984; KEMPLER & GARFUNKEL, 1991; KEMPLER, 1994; LE MEUR, 1997) zum anderen nicht geschlossene Randmeere (z. B. das Schwarze Meer: GÖRÜR, 1988, 1997; OKAY et al., 1994) oder kleine, durch Blattverschiebungen geschaffene ozeanische Becken (z. B. die südkaspische Depression: ŞENGÖR, 1990b, 1991c) heute noch intakt. An anderen Stellen sind beträchtliche Teile der ehemaligen Ozeanböden als weitverfrachtete Ophiolithdecken auf Kontinentalrändern erhalten geblieben (z. B. die eohellenischen Decken in weiten Teilen des ehemaligen Jugoslawiens und Griechenlands: JACOBSHAGEN et al., 1976; SMITH & SPRAY, 1984; SMITH, 1993; die gewaltigen Ophiolithdecken in der Türkei: ŞENGÖR & YILMAZ, 1981; WHITECHURCH et al., 1984, Irak und Iran: RICOU, 1971; weiter in Pakistan: ALLEMANN,1979; ZAKI AHMAD & S. GAZANFAR ABBAS, 1979, Himalaya: GANSSER, 1964; SEARLE, 1983 und Tibet: MONTENAT et al., 1986; TANG & WANG, 1986). Selbst wenn keine weitverfrachtete Decken vorliegen, finden sich oft abgeschürfte ozeanische Sedimente samt ihren basaltischen Unterlagen und mitgeschleppten Kontinentalrandsedimenten entlang Kollisionsfronten, wobei sie die Synaphien kennzeichnen (z. B. die Diabas-Phyllitoid-Formation in Südbulgarien: YILMAZ & ŞENGÖR, 1985). In manchen Gebieten sind die Akkretionskeile entlang der Kollisionsfronten eingeklemmt (GANSSER, 1974). In manchen Fällen können diese Akkretionskeile so groß gewesen sein, daß sie dort sehr breite Synaphien hervorrufen (z. B. im Songpan-Ganzi System in China: ŞENGÖR, 1981; 1984; ŞENGÖR & HSÜ, 1984; für extra-tethysische Beispiele siehe ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a). In manch anderen aber können jegliche ozeanische Materialien entlang einer Synaphie ausbleiben und die beiden kollidierenden Kontinente sich unmittelbar berühren (z. B. östlich der Quxu-Brücke im Himalaya südlich von Lhasa, wo die Plutone des Kangdese-Bogens die triadischen Turbidite der indischen Seite unmittelbar berühren: ANONYM, 1980, Karte in der Beilage). In solchen Stellen kann es schwierig sein, die genaue Kollisionslinie im

[7] In dieser Publikation kommen die Termini Proto- und Paläo-Tethys nur im Titel, Paläo-Tethys auch in der Abb. 8 vor. Es ist aber nach dem Inhalt und nach den früheren Publikationen FLÜGELS klar, daß mit Proto-Tethys die im Tethysraum gefundenen Reste ehemaliger Meeresräume, mit Paläo-Tethys, die Paläo-Tethys in meinem Sinne verstanden wird.

[8] TOLLMANN & KRISTAN-TOLLMANN (1985, S. 6) behaupten, daß DEWEY & BIRD den Terminus Proto-Tethys eingeführt haben. In jener Arbeit kommt aber dieser Terminus, soweit ich sehen kann, nicht vor. In BIRD & DEWEY (1970), wo von einem „Proto-Atlantic" die Rede ist, konnte ich ihn auch nicht finden.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Gelände zu finden, besonders wenn die vorzeitliche Umweltindikatoren tragenden suprakrustalen Serien irgendwie entfernt sind (z. B. entlang des Granulitgürtels in Mosambik: STERN, 1994).

Wichtige zusätzliche Anzeiger der Synaphien sind verschiedene, Plattengrenzen kennzeichnende magmatische Signaturen. Abb. 94 zeigt die heutige Verteilung der terrestrischen Vulkane unseres Planeten. Die Übereinstimmung mit der Verteilung der Plattengrenzen ist auffallend. ŞENGÖR et al. (1993; siehe auch 1991) haben die geometrisch-tektonischen Charakteristika des Plattengrenzenmagmatismus, die für schnelle Aufsuchung vorzeitlicher Plattengrenzen wichtig sind, in tabellarischer Form zusammengefaßt. Im Folgenden gebe ich diese als Tabelle V wieder:

Tabelle V: Räumlich-zeitliche Charakteristika des Magmatismus entlang Plattengrenzen:

Plattengrenze	Augenblickliches Charakteristikum	Charakteristikum in einem endlichen Zeitintervall (~ 65Ma)
Rift	Diskontinuierlich entlang des Streichens; im allgemeinen spärlich (kann aber lokal häufig auftreten, z. B. in Äthiopien heute); kommt sowohl innerhalb des Rifttroges, als auch auf seinen Schultern vor. Im allgemeinen bleibt der Magmatismus auf eine schmale Zone beschränkt.	Sehr diskontinuierlich entlang des Streichens; spärlich; kommt auf beiden Seiten einer Synaphie vor.
Subduktionszone	Im allgemeinen kontinuierlich entlang des Streichens, kann segmentiert sein (z. B. Anden, Tonga-Kermadec, östliches Mittelmeer); beschränkt auf schmale Gürtel entlang magmatischer Bögen.	Δ Kontinuierlich entlang des Streichens; häufig aber beschränkt auf sehr schmale Gürtel (höchstens 200 km breit). Normalerweise erscheint er nur auf einer Seite alpidischer Synaphien und mancher kimmeridischen Synaphien.
Kollisionszone	Sehr diskontinuierlich entlang des Streichens; spärlich und fleckig. Üblicherweise kommt auf der Hangendplatte Magmatismus vor (postkollisionaler Magmatismus auf Liegendplatte: SW-Deutschland, SO-Türkei und N-Syrien)	Δ Diskontinuierlich entlang des Streichens, fleckig, kann lokal reichlich auftreten, meistens auf beiden Seiten einer Synaphie.
Transform-Verschiebung	Spärlich, entlang der Verschiebungslinie	Äußerst spärlich

Δ Diagnostisches Charakteristikum

Die ozeanischen Spreizungszentren wurden, wegen ihrer seltenen Erhaltung in fossilem Zustand, hier nicht berücksichtigt.

Wie aus dieser Tabelle ersichtlich ist, ist der Subduktionsmagmatismus einer der besten Anzeiger für die Verteilung der Synaphien. Die magmatischen Gürtel entlang Subduktionszonen allein können aber die Lokation einer Synaphie nicht verraten, denn in Gebieten wachsender Akkretionskeile wandern auch die magmatischen Fronten ozeanwärts hinter der Stirn eines wachsenden Akkretionskeiles. In einem solchen Fall bleiben die früheren, deaktivierten magmatischen Fronten wie die deaktivierten Moränenwälle bei einem rückziehenden Gletscher (vgl. ŞENGÖR & OKUROĞULLARI, 1991; ŞENGÖR, 1993b; ŞENGÖR et al., 1993; ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a, b). Um die Verteilung magmatischer Gesteine beim Aufsuchen von Synaphien besser verwenden zu können, müssen wir zuerst die Beziehungen zwischen ehemaliger Breite eines geschlossenen Ozeans und der daraus resultierenden orogenen Architektur eines Kollisionsgebirges besprechen.

Arten der Kollisionsgebirge in den Tethysiden. Wir unterscheiden hier vier Haupttypen der Orogene (ŞENGÖR, 1990a, 1991b).

1) Transpressionale
2) Subduktionale
3) Obduktionale
4) Kollisionale

Ein großer Reichtum an Formen in jeder Klasse ruft eine fast unendliche Mannigfaltigkeit in der Erscheinungswelt der Orogenese hervor. In der Klasse der Kollisionsgebirge kann eine weitere Unterteilung dadurch entstehen, daß man Kollisionsorogene nach der Beschaffenheit ihrer höchsten tektonischen Einheit klassifiziert. So entstehen zwei Unterklassen der Kollisionsorogene (ŞENGÖR, 1990a, 1991b, 1991c, 1992a), u. Z.,

1) Kollisionsorogene mit kontinentalem Walzschlitten („traîneau écraseur")

2) Kollisionsorogene mit ozeanischem Walzschlitten („traîneau écraseur") (Abb. 95)

In der ersten Gruppe überschiebt ein Kontinent einen anderen über beträchtliche Distanzen (>100 km). Bei der zweiten Gruppe ist fast überhaupt keine Überschiebung des einen Kontinents durch einen anderen zu sehen, wenigstens in den oberen Stockwerken (<15 km). Diese sehr einfach und oberflächlich erscheinende Unterscheidung stellt eigentlich den Ausdruck eines fundamentalen genetischen Unterschieds zwischen den beiden Gruppen dar. Dieser wird auch durch andere Merkmale noch untermauert. ŞENGÖR (1990a, 1991b, 1991c, 1992c) bezeichnete sie als Alpen-Typus und Himalaya-Typus nach den besten Beispielen dieser beiden Gruppen. Ich beschreibe nun kurz die charakteristischen Merkmale der beiden Typen.

1) Die Kollisionsorogene des Alpen-Typus: In diesen Gebirgen führt die weitausholende flache Überschiebung des einen Kontinents über den anderen zu einer sehr unregelmäßigen Kartenspur der Synaphie (Abb. 96a), Ophiolithscherben treten nur spärlich auf. Diese Synaphien sind meist durch reichliche Entwicklung von Flyschdecken gekennzeichnet (z. B. der Rhenodanubische und Prätigau Flysch in den Alpen, entlang der Synaphie Nr. 8 in Abb. 93: HOMEWOOD, 1983; OBERHAUSER, 1983, 1995; TOLLMANN, 1987; FAUPL & WAGREICH, 1992;

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

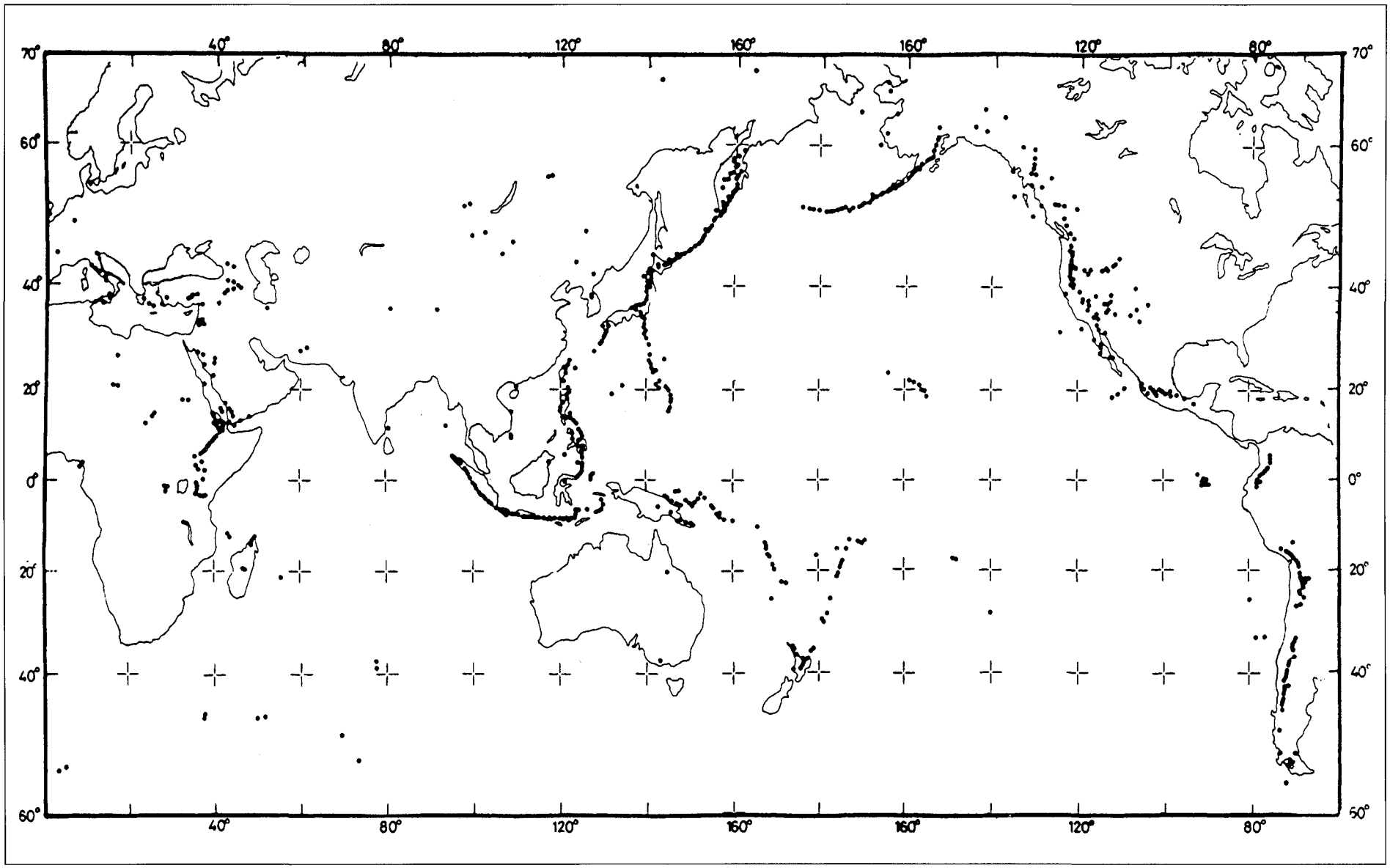


Abb. 94
Die heute aktiven Vulkane der Erde (aus SIMKIN et al., 1981). Sie zeigen die derzeitigen Beziehungen zwischen den Plattengrenzen und dem Magmatismus. Die schmalen, ununterbrochenen, linearen / bogenförmigen Gürtel der Subduktionsgrenzen (Anden, Aleuten, Kamtschatka-Kurilen-Japan-Isu/Bonin-System, Indonesien) heben sich von den breiten Feldern spärlicheren Vulkanismus (Tibet/Mongolei, Osttürkei/Nordwestiran) deutlich ab! Transformverschiebungen sind in der Regel amagmatisch (z. Bsp. Nordtürkei, Nordtibet). Die San-Andreas-Störung hat jedoch viele Zentren entlang ihres Streichens. Der Rift-Vulkanismus ist entlang einiger Riftzonen (z. B. Äthiopien) reichlich, entlang anderen (z. Bsp. Tanganyika, Oberrheingraben) jedoch spärlich.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

TRÜMPY, 1992; Die „Flyschdecken" in den betischen und den Rif-Kordilleren, entlang der Synaphien 2 und 3 in Abb. 93: TORRES-ROLDÁN, 1979; Mauretanische und Massylische Flyschdecken des Küsten-Atlas, entlang der Synaphie nördlich des Blocks *o* : WILDI, 1983; Frido und Cilento Flyschdekken im sizilisch-calabrischen Deckengebiet, entlang der Synaphie Nr. 7-Süd: AMODIO-MORELLI et al., 1979; der Gavrovo-Flysch im Pindosorogen, entlang der Synaphie Nr. 15: RICHTER et al., 1978; Der Maastricht-tertiäre Teil der Inasar-Formation unter den Antalyadecken in der Südwest-Türkei, entlang der Synaphie Nr. 19: ÖZGÜL, 1985). Die wenigen Ophiolithscherben sind meist vom MORB-Typ (LEWIS & SMEWING, 1980; HÖCK, 1983; ISHIWATARI, 1985/86; DÜRR et al., 1993) oder Intraplattentyp (HÖCK, 1983; FRISCH et al., 1994), es sei denn, daß das in Frage stehende Orogen nur ein Teilorogen einer größeren Einheit ist (z. B. die Pindos-„Ophiolithe" sind Hangendplatten-Ophiolithe, d. h. sie sind über einer Subduktionszone entstanden, weil das Pindosbecken ursprünglich als ein Randmeer sich zu öffnen begann: PE-PIPER, 1982). Größere, zusammenhängende Ophiolithdecken, besonders diejenigen aus einer ehemaligen Hangendplatte einer Subduktionszone, kommen in solchen Orogenen nicht vor (MICHARD et al., 1996; siehe aber auch RICOU, 1977). Die Mélangekeile in Orogenen vom Alpen-Typus (z. B. SCHMIDT, 1952; MILNES, 1977; STAMPFLI & MARTHALER, 1990) werden normalerweise von einer Barrow Metamorphose, der von Grünschieferfazies bis zu Eklogitfazies steigen kann, betroffen. Das geschieht unterhalb des überfahrenden Walzschlittens (DIETRICH, 1969; BRADBURY & NOLEN-HOEKSEMA, 1985; FRANK et al., 1987; STECK & HUNZIKER, 1994; BOUSQUET et al., 1997). Die ozeanischen Sedimente sind im allgemeinen in solchen Orogenen so hoch deformiert und metamorphosiert, daß es generell nicht möglich ist, sie hinsichtlich der Klimazonen, in welchen sie ursprünglich gebildet wurden, zu untersuchen (z. B. die Nevado-Filabriden in der betischen Kordillere: TORRES-ROLDÁN, 1979; oder die Schistes lustrés und die Bündnerschiefer in den Alpen: TRÜMPY, 1960; PANTIÇ & GANSSER, 1977; PANTIÇ & ISLER, 1978; KLEBERGER et al., 1981 und die darin angegebene Literatur). Wo aber solche Informationen ausnahmsweise doch zu finden sind, zeigt sich, daß die ozeanischen Sedimente eines Orogens von alpinem Typus innerhalb einer klimatischen Zone abgelagert wurden (vgl., z. B. PANTIÇ et al., 1983).

Die hochgradigen metamorphen Kernzonen von Orogenen des Alpen-Typus (z. B. die Ticino-Aufwölbung in den Zentralalpen: BRADBURY & NOLEN-HOEKSEMA, 1985; STECK & HUNZIKER, 1994; BOUSQUET et al., 1997; das Tauernfenster in den Ostalpen: FRANK et al., 1987; das Nevado-Filabride-Fenster in der Betischen Kordillere: TORRES-ROLDÁN, 1979; VISSERS, 1981 aber auch DOBLAS & OYARZUN, 1989; PLATT & VISSERS, 1989[9]) bestehen gewöhnlich aus ozeanischen und Kontinentalabhangprotolithen (z. B. die Schistes lustrés und die Bündnerschiefer der Alpen, samt ihrem gezerrten kontinentalen und auch ozeanischen Sockel, wie z. B. die Margnadecke). Die Kontinentalschelfbildungen werden dagegen normalerweise von ihrem Sockel abgeschert und als nicht- bzw. niedrig metamorphosierte externidische Decken vorlandwärts vor und z. T. unter der Stirnregion des Walzschlittens verfrachtet (vgl. TRÜMPY, 1969; MILNES & PFIFFNER, 1977; MASSON et al., 1980; WYSSLING, 1985; BURKHARD, 1986, 1988, 1990; DIETRICH & CASEY, 1989; RAMSAY, 1989 für die Alpen; TORRES-ROLDÁN, 1979 für die betischen Kordillere; WILDI, 1983 für die Rif-Kordillere und den Küsten-Atlas; HSÜ, 1980, für das Xiangganze Orogen in Südchina).

In Orogenen alpinen Typus kann unter Umständen der Subduktionsmagmatismus vollkommen unterbleiben (z. B. die betischen und die Rif-Kordilleren: PLATT & VISSERS, 1989; WILDI, 1983, aber auch RIOS, 1978; oder das Alanya-Antalya Kleinorogen: ÖZGÜL, 1983) oder er erscheint spät und sehr spärlich in der orogenen Entwicklung (z. B. entlang der Shaoxing-Pingxiang- und Tianyang-Synaphien des Xiangganzhe Orogens in Südchina, d. h. die Synaphien XXIV und XXV in Abb. 93: HSÜ et al., 1990; oder in den Alpen, d. h. Synaphie-Nr. 8: TRÜMPY, 1980, 1985).

Nachkollisionaler Magmatismus entwickelt sich in diesen Orogenen auch spärlich. In den Alpen beschränkt er sich auf wenige post-orogene Intrusiva (z. B. Novate, Bergell, Adamello: BIANCHI et al., 1970; CALLEGARI & DAL PIAZ, 1973; GULSEN & KROGH, 1973; TROMMSDORF & NIEVERGELT, 1983; SPRENGER, 1996) und weiter westlich, in der Peripherie des westlichen Mediterrans ist es schwierig zu sagen, ob ein magmatischer Komplex nachkollisional, taphrogenetisch oder randmeerisch ist. Kein nachkollisionaler Magmatismus ist aus dem in der Abb. 93 dargestellten türkischen Fall bekannt (Synaphie-Nr. 19). In Südchina scheint der nachkollisionale Magmatismus reichlich entwickelt zu sein (z. B. ŞENGÖR et al., 1991, 1993b). Diese scheinbare Ausnahme ist aber der Tätigkeit einer Subduktionszone entlang der Lishui-Haifeng-Synaphie zuzuschreiben (Synaphie-Nr. XXVI: HSÜ et al., 1990).

Die weitverbreitete Rückfaltung ist in den Orogenen vom Alpen-Typus mit Bestimmtheit eine nachkollisionale Entwicklung (ŞENGÖR & DEWEY, 1978). Es können aber frühe vorkollisionale lokale Rückfaltungen durch die kompressionale Reaktivierung der früheren Abschiebungen doch hie und da vorkommen (z. B. die kretazischen Rückfaltungen in den Ela- und Ortler-Einheiten im Ostalpin: ŞENGÖR, 1982d; Rückfaltungen in den westlichen Südalpen und transpressionale Verwerfungsbündel im judikarischen Gebiet: DOGLIONI & BOSSELINI, 1987). Die Hauptrückfaltung in den Alpen begann jedoch erst im Neogen (DOGLIONI, 1985, 1987; ROEDER, 1989, 1992; für lokale Kompilationen vgl. BERNOULLI et al., 1989; Komplikationen wegen der Kreuzung der Dinariden mit den Alpen: DOGLIONI, 1990) mit der Heraushebung des metamorphen Kerns im Oligo-Miozän, was auch der Synaphie ihre heutige Z-Form gegeben haben muß (was schon ARGAND 1924 wußte! Vgl. Abb. 57-13, 59 und 61-16).

In Orogenen des Himalaya-Typus (Abb. 95b) ist alles anders als in solchen von alpinen Typus. Erstens sind ihre Synaphien geradliniger als diejenigen des Alpen-Typus (Abb. 96b). Sie haben oft große vorkollisionale Ophiolithdecken und auch sehr große Akkretionskeile (MALPAS & TALKINGTON, 1979; WOODCOCK & ROBERTSON, 1984; SMITH, 1993). Die hochgradigen metamorphen Kernzonen von Orogenen des Himalaya-Typus bestehen gewöhnlich aus Schelfbildungen oder Schelfsockel (SAKLANI, 1981; BURG, 1983; GANSSER, 1983; HONEGGER, 1983; ŞENGÖR et al., 1984; TRELOAR et al., 1989), die nur zum Teil von ihrem Sockel abgeschert und als nicht- bzw. niedrig metamorphosierte externidische Decken vorlandwärts verfrachtet werden (z. B. die Lykischen Decken im westlichen und Zentraltaurus: ŞENGÖR & YILMAZ, 1981 und die dortige Literatur; Zagros im Südwest Iran: RICOU, 1976; BRAUD, 1987). Subduktionsmagmatismus ist immer gut entwickelt und dauert für eine lange Zeit verglichen mit demjeni-

[9] Ich kann mit DOBLAS & OYARZUN und PLATT & VISSERS, die das Nevado-Filabride-Fenster als ein unter eine gewölbte und in süd-nördliche Transportrichtung zeigende *Ab*schiebung deuten, kaum übereinstimmen. Vgl. meine Gegenargumente in ŞENGÖR (1993a). Wie ein Abschiebungssystem, das gleichzeitig mit einem aktiven Orogen fungiert, aussieht, zeigen BURCHFIEL et al. (1992).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

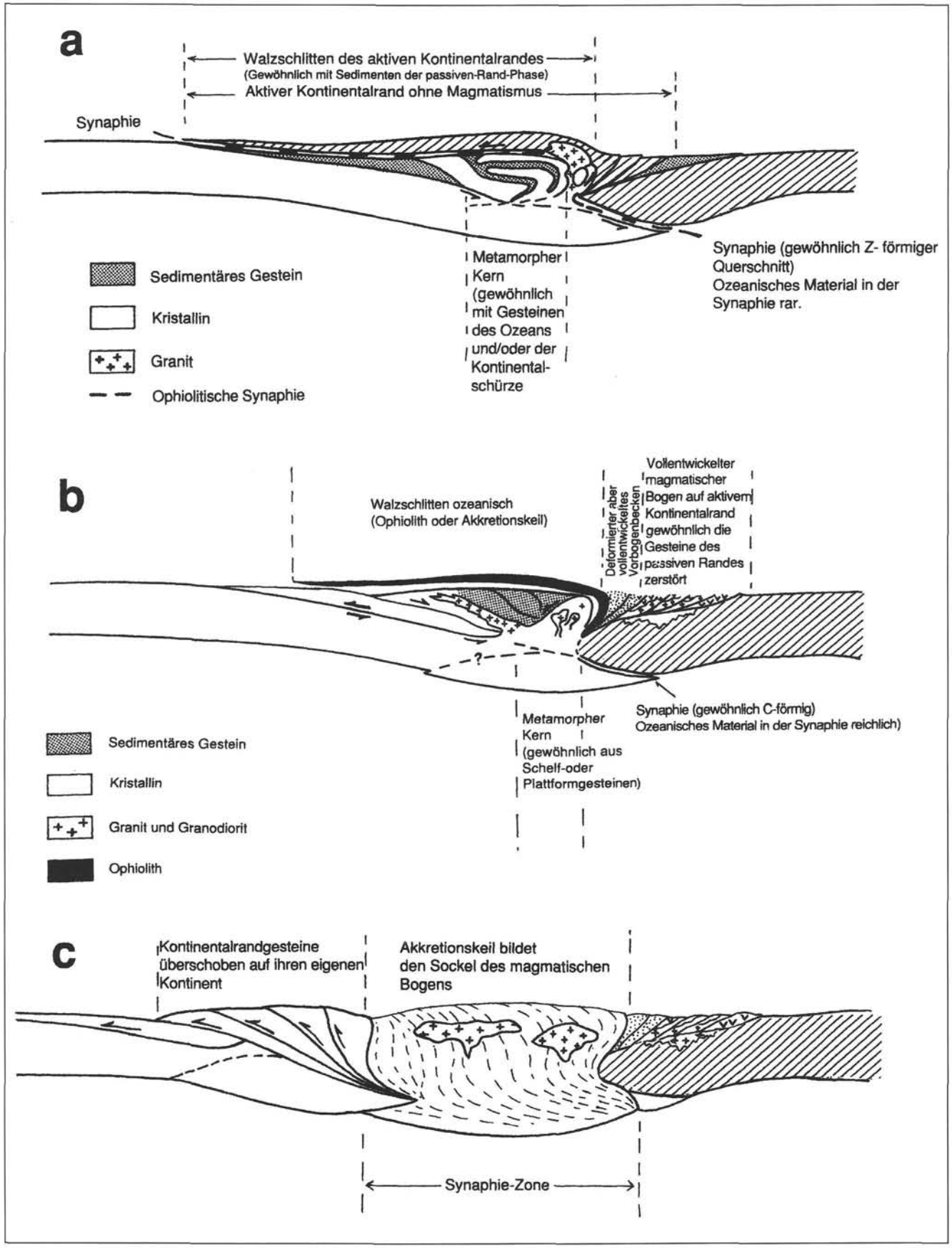


Abb. 95
Drei Typen der asymmetrischen Kollisionsorogene:
a Alpen-Typus
b Himalaya-Typus
c Türkischer-Typus

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

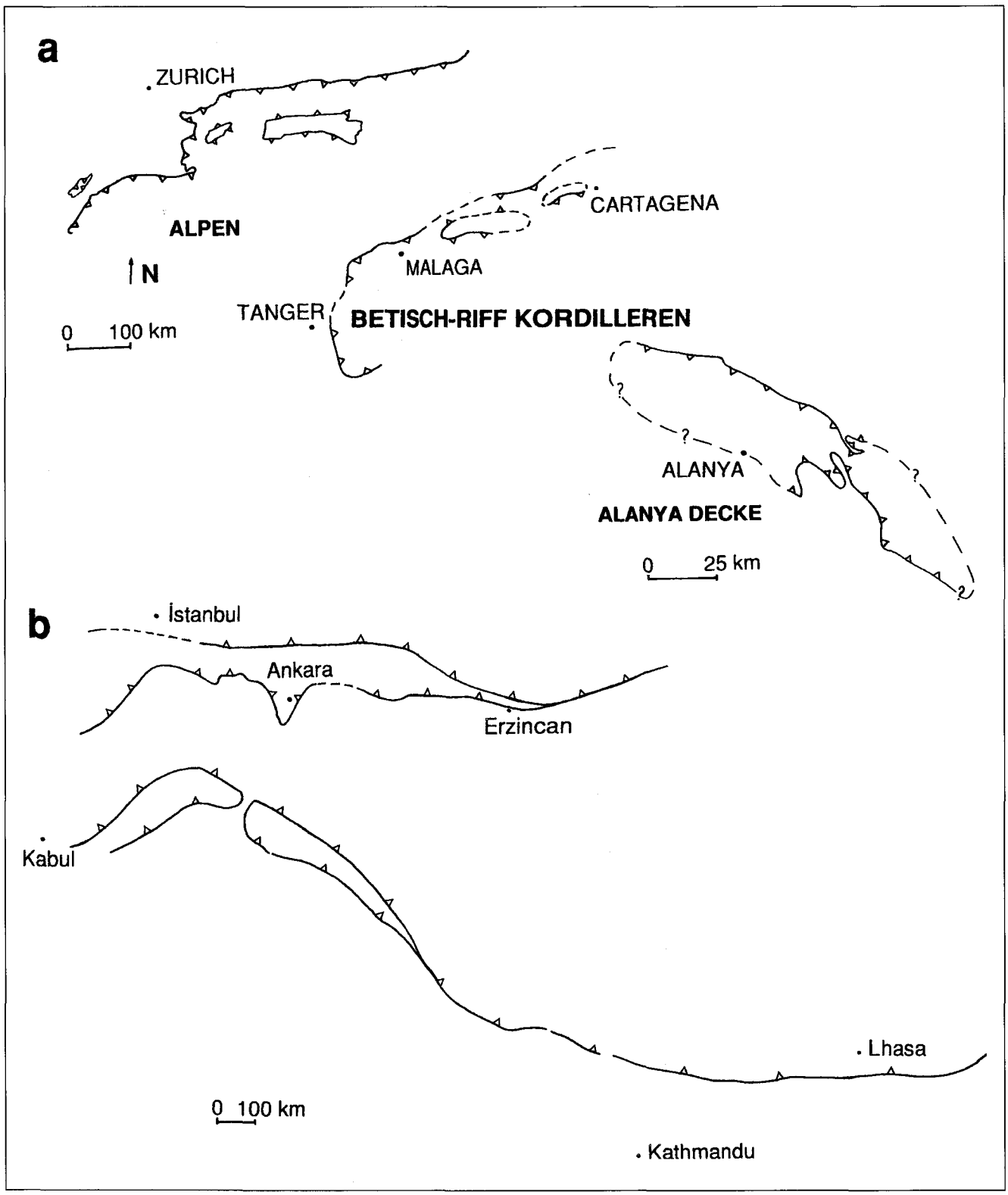


Abb. 96
Synaphien-Charakteristika der Kollisionsorogene:
a Synaphien der Orogene vom Alpen-Typus.
b Synaphien der Orogene vom Himalaya-Typus.

gen des alpinen Typus. Postkollisionaler Magmatismus ist in der Regel auch reichlich vertreten, wie das heutige Tibet uns vor Augen führt (DEWEY & BURKE, 1973; ŞENGÖR & KIDD, 1979; PEARCE & MEI, 1988).

Wenn der Akkretionskeil breiter als ungefähr 600 km wird, beginnt die magmatische Achse des dazugehörigen Bogens ozeanwärts zu springen (ŞENGÖR & OKUROĞULLARI, 1991; ŞENGÖR, 1993; ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a, b). Durch derartige sprunghafte Migration der magmatischen Achse kann ein sehr breites Areal konsolidiert und an den Kontinent angegliedert werden. Die besten Beispiele dieses kontinentalen Wachstums durch Wachstum akkretionaler Keile kennt man aus den Altaiden (ŞENGÖR & OKUROĞULLARI, 1991; ŞENGÖR, 1993b, ŞENGÖR et al., 1993a; ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a, b) *und aus den Nipponiden* (ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a, b). In den Tethysiden sind große Akkretionskeile nur spärlich entwik-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

kelt. Das Songpan-Ganzi-System in China ist das beste tethysische Beispiel (ŞENGÖR, 1981, 1984; ŞENGÖR & HSÜ, 1984). Kollisionsorogene, die durch Kollision solcher großer Akkretionskeile miteinander oder mit einem anderen kontinentalen Objekt entstehen, werden wegen ihres häufigen Auftretens im Gebiet türkischer Völker Türken-Typus genannt (Abb. 95c).

Abb. 97a-e zeigen die Verteilung magmatischer Gesteine in den Tethysiden für die folgenden Zeitintervalle: Spätkarbon-Perm (320-248 Ma), Trias-Frühjura (247-188 Ma), Mitteljura-frühere Spätkreide (187-98 Ma), Spätkreide-Frühkänozoikum (97-25 Ma) und Spätkänozoikum (24-0 Ma). Diese Karten bestätigen unseren auf Basis des rezenten Vulkanismus (Abb. 94) gezogenen Schluß, daß Magmatismus der konvergenten Plattengrenzen einen sehr zuverlässigen Führer zur Identifikation und Verfolgung der Synaphien im Gelände bildet. Wo sich große (~1000 km) und zeitlich persistente (>50 Ma) Lücken im konvergenten Magmatismus befinden, bedeutet dies entweder ursprüngliche Nichtexistenz einer Synaphie oder spätere Verformung meist durch Blattverschiebungen. Zu Zeiten der dominanten Subduktionstätigkeit (Spätkarbon-Perm und Spätkreide-Frühkänozoikum; Abb. 97a und d) beschränkt sich der konvergente Magmatismus auf lange, durchgehende, schmale (<200 km) Gürtel, die die Synaphien nicht überschneiden. Im Gegensatz ist die Verteilung der Magmatite zu Zeiten der Kollision immer fleckenartig (Abb. 97 b, c, e). Die Kollisionsmagmatite befinden sich in großen, elliptischen, voneinander durch amagmatische Regionen getrennten Arealen, die sich häufig beiderseits einer Synaphie erstrecken. Konvergenter Magmatismus nimmt von Westen nach Osten zu allen Zeiten während der tethysischen Geschichte zu. Ganz im Westen, westlich von den Dinariden, waren alle tethysischen Orogene vom Alpen-Typus und deswegen unterblieb hier der konvergente Magmatismus während der ganzen tethysischen Entwicklung beinahe völlig. Vom Paläozoikum bis heute ist der konvergente Magmatismus der Tethysiden immer von Norden nach Süden mit Bocksprüngen nach jeder Episode der Akkretion tethysischer Blökke an Eurasien gewandert (Abb. 98). Selbst der kleinste dieser Blöcke hatte magmatische Bögen an wenigstens einer Seite.

Magmatismus verbunden mit Taphrogenese ist immer viel spärlicher gewesen als der Konvergenzmagmatismus in den Tethysiden, ähnlich dem Magmatismus im heutigen Riftgürtel

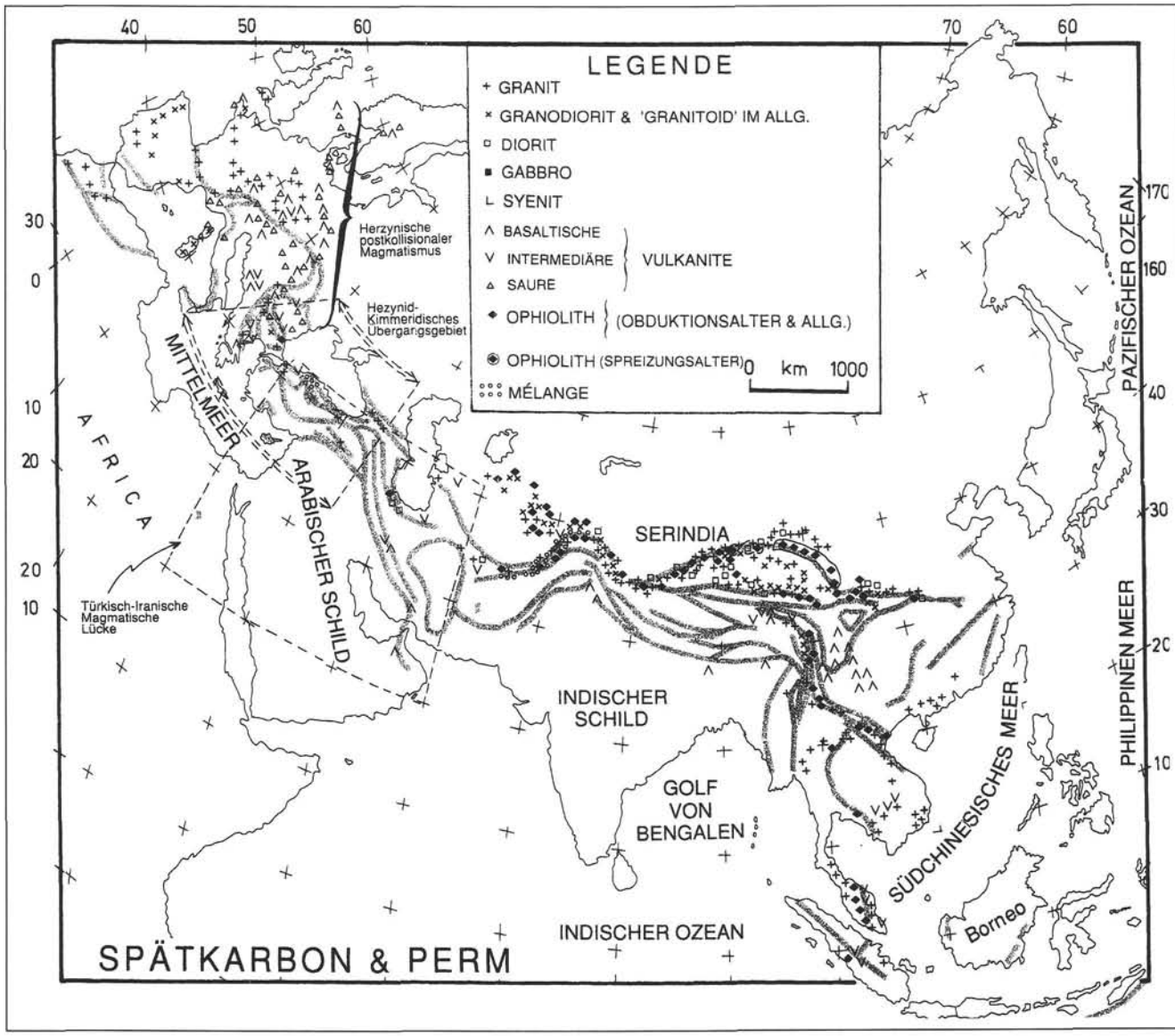


Abb. 97
Verteilung der magmatischen Gesteine der Tethysiden (verbessert nach ŞENGÖR et al., 1991, 1993b). Die grauen Linien sind Synaphien.
a Spätkarbon-Perm (320-248 Ma).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

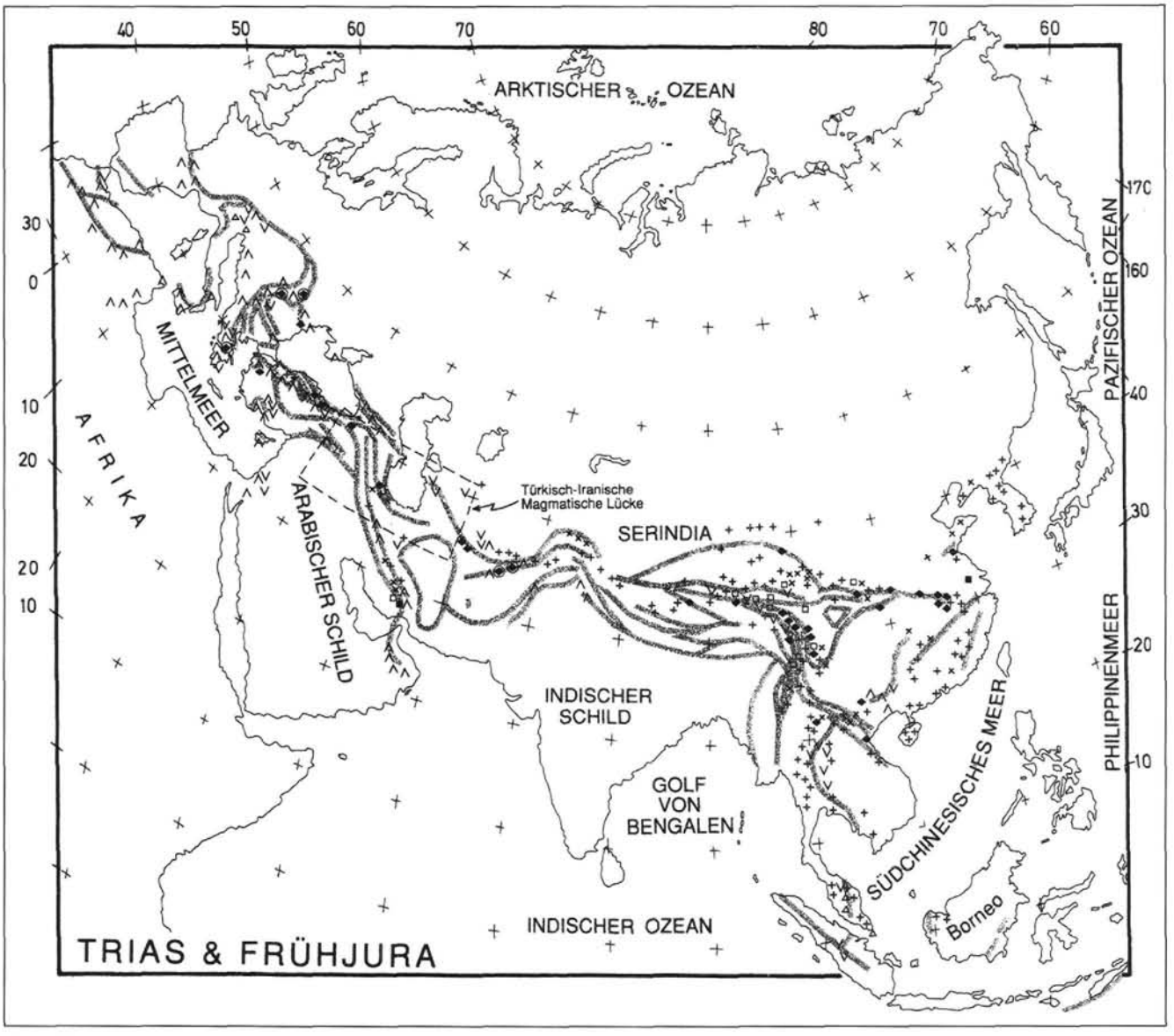


Abb. 97b
Trias und Frühjura (248-188 Ma).

in Ostafrika (Abb. 94) und um den atlantischen Ozean (für einen schönen Überblick des gesamten Rahmens des Ozeans: EMERY & UCHUPI, 1984, SS. 263-367). Diese Rarität ist wahrscheinlich ein ursprüngliches Charakteristikum auch in den Tethysiden. Ophiolithe sind dagegen häufiger entlang der Synaphien. Die großen Transformverschiebungen haben in den Tethysiden fast gar keine magmatische Signatur (natürlich mit Ausnahme der Transtensionalen: z. B. der Schiefer-Diabas Ozean im Kaukasus, BERIDZE, 1984).

Die Abbildungen 97a-e zeigen wie die Verteilung der magmatischen Gesteine uns bei der Identifikation der Synaphien und bei deren Verfolgung im Gelände beihilflich ist. In der nächsten Abteilung bespreche ich die Synaphien- und Blockverteilung in den Tethysiden.

Synaphien der Tethysiden

Die folgenden Darstellungen beschränken sich fast ausschließlich auf die Aufzählung der Synaphien, auf ihr Alter, und falls bekannt, auf ihre orogene Polarität (d. h. vorkollisionale Subduktionspolarität). Die Literatur über die Tethysiden ist heute wahrlich unüberschaubar geworden. Literaturangaben, das hier in betracht kommende Gebiet betreffend, sind in ŞENGÖR (1979, 1981, 1984, 1985a, 1985b, 1986, 1987a, b, 1989, 1990a, b; 1991c, 1992), ŞENGÖR et al. (1984, 1988, 1991, 1993b), ŞENGÖR & HSÜ (1984), ŞENGÖR & KIDD (1979) und ŞENGÖR & NATAL'IN (1996a) sowie in den unten beim Literaturverzeichnis unter „allgemeine Regionalbeschriebungen" zusammengetragenen Publikationen reichlich enthalten. So mag es mir nicht verargt werden, wenn ich in den nachfolgenden Ausführungen von einzelnen Literaturhinweisen fast ganz absehe.

Ich beschreibe zuerst die Synaphien der Kimmeriden und dann die der Alpiden.

Die Synaphien der Kimmeriden. Bei der Besprechung der Synaphien der Kimmeriden beginne ich im Westen mit den mediterranen Kimmeriden. Abb. 93 dient als Unterlage der folgenden Ausführungen.

Die Synaphien der mediterranen Kimmeriden

Im Strandscha-Gebirge in der NW-Türkei und in SO-Bulgarien ist der westlichste, sicher bekannte Teil der paläo-tethysischen Hauptsynaphie zu finden (I in Abb 93; für mögliche Kandidaten weiter westlich liegender Synaphie-Segmente der Paläo-Tethys vgl. ŞENGÖR, 1984, 1985b; ŞENGÖR et al., 1988).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

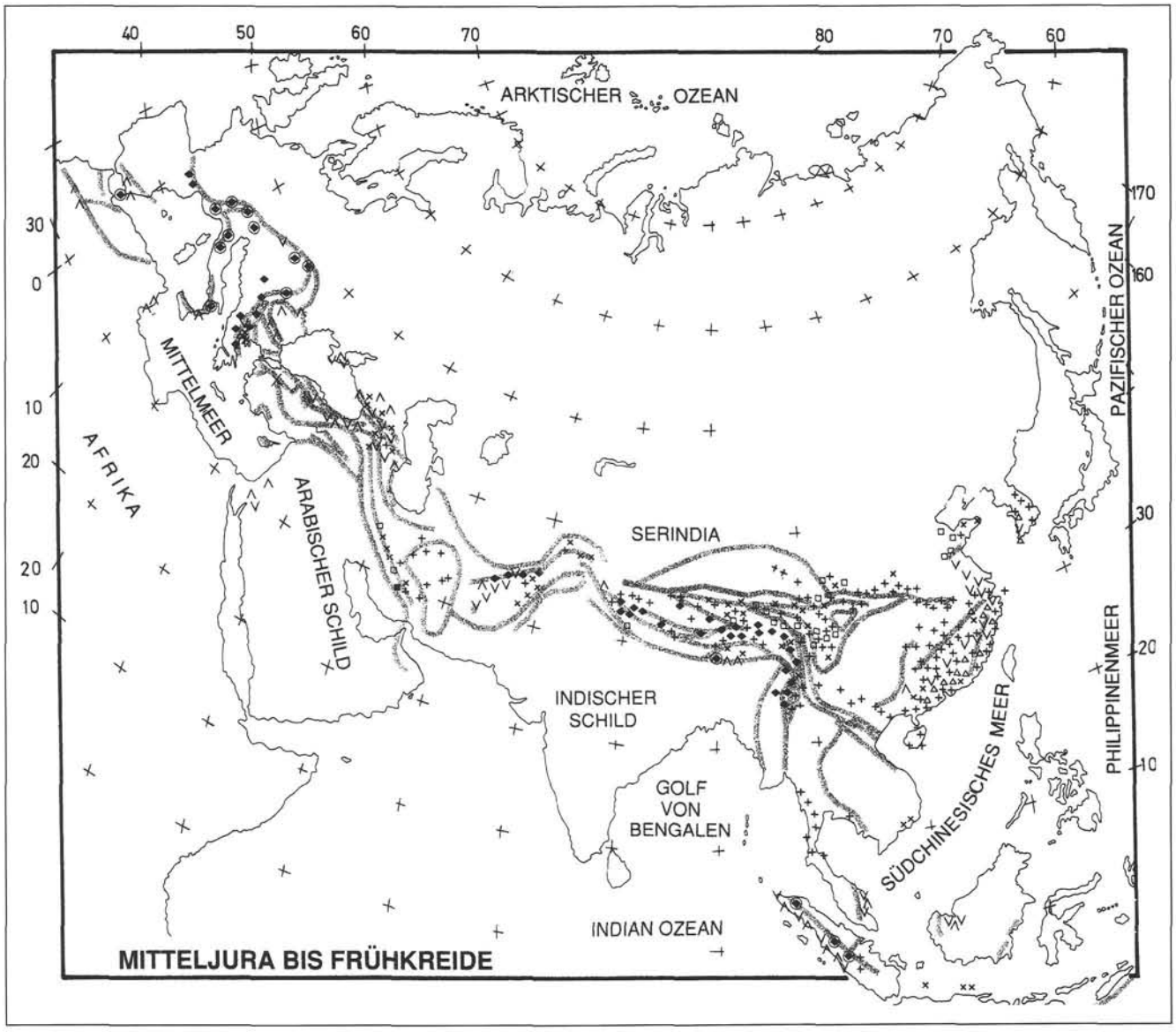


Abb. 97c
Mitteljura bis Frühkreide (188-97.5 Ma).

In diesem Teil kommen die ozeanischen Gesteine der Paläo-Tethys in der Strandscha-Decke vor. Sie enthält zwei lithologische Hauptgruppen: ein metamorpher Diabas-Phyllitoid-Komplex, dessen Alter vom höchst fraglichem Devon bis in sichere Trias reichen soll. Dieser Komplex befindet sich tektonisch über der mittel- bis spättriadischen Lipacka-Formation, die flyschoide Gesteinsarten aufweist. Der Diabas-Phyllitoid-Komplex bildete, nach Deutung von ŞENGÖR et al. (1984), einen „accretionary complex" wie man ihn heute von Subduktionszonen kennt. Die Strandscha-Decke überschob wahrscheinlich in der späteren Trias (oder im früheren Jura) die Altkristallindecke von Kirklareli. Die beiden sind dann, im späteren Jura, auf die damals noch einheitliche Rhodope-Moesische-Plattform gewandert. Diese Überschiebung war die Ursache der Entstehung und Weiterentwicklung des Nisch-Trojanischen Sedimenttroges, welcher früher irrtümlich als eine Grabenversenkung gedeutet wurde, als eine Vortiefe (siehe ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a, S. 579).

Das Strandscha-Gebirge gehört z. T. bereits zur Hauptsynaphie der Anatolischen Kimmeriden, die in der Abb. 93 mit IV bezeichnet ist. In der gesamten Nordtürkei (im Rhodop-Pontid-Fragment von ŞENGÖR & YILMAZ, 1981; im nördlichen oder „äußeren" Teil der Pontiden im Sinne von KETIN, 1966) sind die Kimmeriden durch zwei große Deckensysteme vertreten. Das untere umfaßt eine komplizierte ozeanische Mélange, die mit reichlich Ophiolithdetritus, Ophiolithfragmenten und eigentlichen ophiolithischen Teildecken gefüllt ist und noch Tiefseeabsätze und Flysch enthält. Dieser Flysch ähnelt sehr demjenigen der Lipacka-Formation und stellt wahrscheinlich dessen östliches Äquivalent dar. Diese sehr stark deformierten ozeanischen Lithologien sind auch unterschiedlich metamorphosiert und, nach dem, seit der Zeit der Römer, wegen der reichen Kupferlagerstätten bekannten pontischen Ort Küre, unter der gemeinsamen Bezeichnung „Küre-Decke" zusammengefaßt (ŞENGÖR, 1984). Auf der Küre-Decke liegen zwei große Decken „kontinentaler" Natur, die als Istanbul- und Bayburt-Decken benannt sind (ŞENGÖR, 1984). Diese beiden „Decken" sind eigentlich selbst höchstwahrscheinlich Deckensysteme, die aus mehreren Teildecken bestehen. Die Bayburt-Decke bildete einen Teil des nördlichen aktiven Kontinentalrandes vom Gondwana-Land in der Türkei während des oberen Paläozoikums und untersten Mesozoikums und enthält Reste vorzeitlicher magmatischen Bögen. Sie hat erst im Spätlias oder gar im Dogger die Küre-Decke bedeckt. Das kann als eine Folge der Kollision zwischen dem von ihnen repräsentierten Kontinent (dem damals bereits vom Gondwana-Land losgelösten

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

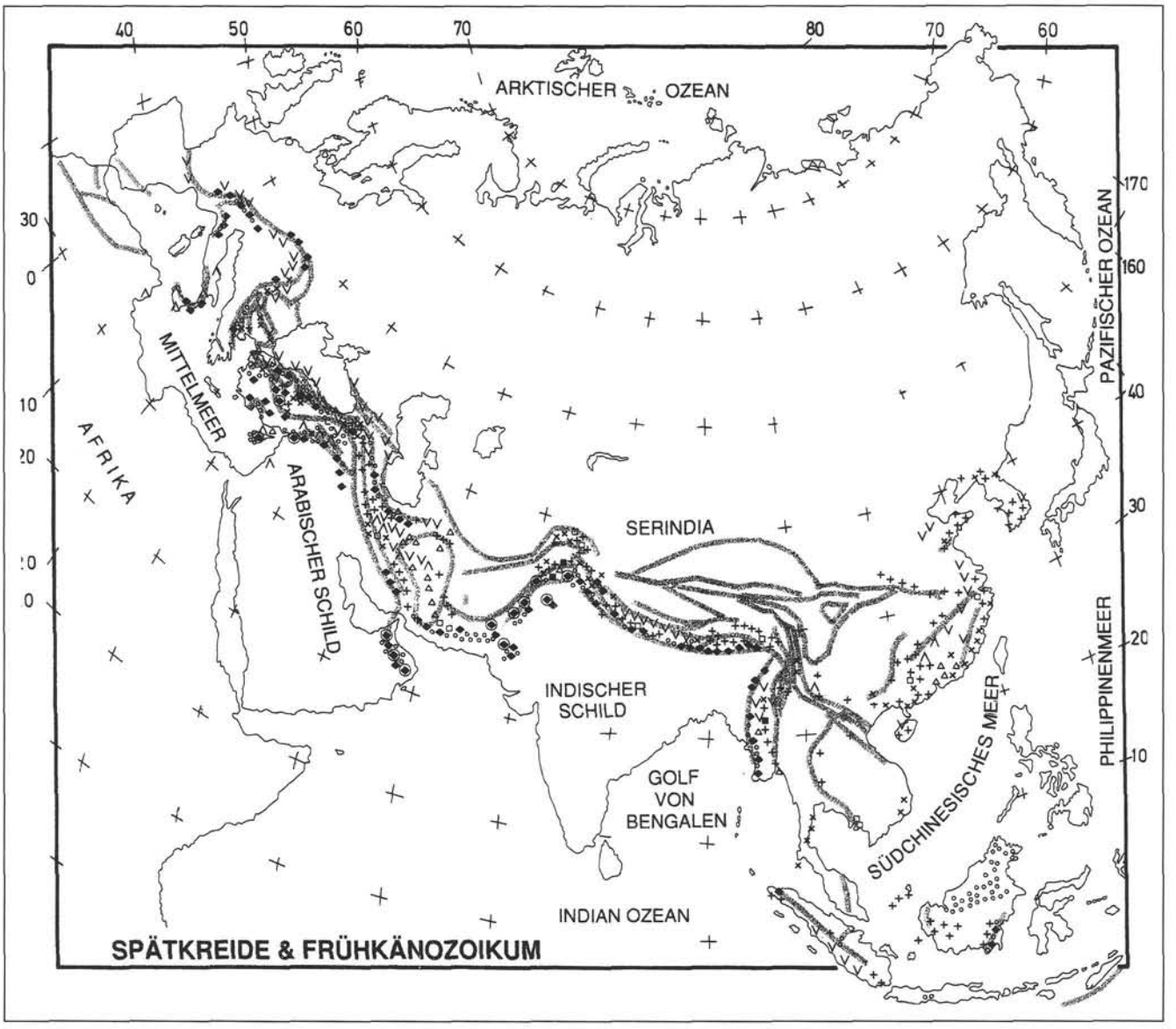


Abb. 97d
Spätkreide und Frühkänozoikum (97.5-25 Ma).

Kimmerischen Kontinent) und Laurasien (Skythische Plattform) angesehen werden. Die Istanbul-Decke ist nur in ihrem östlichen Ende als allochthone Einheit bewiesen. Ursprünglich war sie ein Teil Laurasiens. Sie kollidierte mit der Küre-Decke im Mitteljura und war auf die letztere überschoben. Die Details dieser Überschiebungsgeschichte sind noch unbekannt. Einige meiner Kollegen (A. I. OKAY und O. TÜYSÜZ, pers. Mitt., 1997) glauben sogar, daß der Kontakt zwischen der Küre-Decke und der „Istanbul-Einheit" eine N-S-streichende Blattverschiebung eozänen Alters ist und die Klippen die östlich als dieser Grenze liegen nicht zur Istanbul-„Decke" gehören. Auf allen Decken, wie auch auf dem skythischen Vorland, liegt lokal der Dogger, aber hauptsächlich der Malm mit einer scharfen Diskordanz, und zwar mit Molassefazies in unteren Teilen und hangend zunehmend karbonatischer werdend.

Abb. 93, Synaphie III zeigt die Luncavita-Consul-Linie, die eine Narbe von liassischem Alter in der Norddobrudscha darstellt und die Macinzone von der Tulçeazone trennt. Die Synaphie ist durch eine nordvergente Überschiebungszone charakterisiert, und enthält den unvollständigen Niculitel-Ophiolith. Aufgrund der Korrelationen paläozoischer und triadischer Gesteine und Ereignisse ist das Norddobrudscha-Fragment als ein Kleinorogen zu interpretieren. Es entstand aus der Schließung eines lokalen ozeanischen Beckens spätpermisch-triadischen Alters und ist damit nicht direkt ein Teil der Paläo-Tethys. Mit dieser Interpretation gebe ich meine frühere Deutung der Luncavita-Consul-Linie als ein Teil der paläotethysischer Hauptsynaphie auf und akzeptiere die frühere Interpretation von SANDULESCU (1980). Wie die Entstehung und Weiterentwicklung des Niculitel-Beckens im Rahmen tethysischer Tektonik zu deuten ist, ist jetzt wegen der Unsicherheiten in der paläogeographischen und paläotektonischen Entwicklung des zirkumschwarzmeerischen Raumes schwierig zu sagen. Eine vorläufige Interpretation ist unten bei der Besprechung der tektonischen Entwicklung des Tethysraumes gegeben.

Die Hauptsynaphie der mediterranen Kimmeriden verschwindet unter der tertiären Sedimentfüllung der Riousenke am Ostrand des Schwarzen Meeres. Man begegnet dem Rest des paläo-tethysischen Ozeanbodens erst wieder im Nordwestiran, im Talesch-Gebirge (Synaphie Nr. VI in der Abb. 93). Zwischen der Nordosttürkei und den im Nordwestiran liegenden kaukasischen Kimmeriden ist bisher noch kein Stück paläo-tethysischen Ophioliths bekannt geworden. Ausnahmen sind die ganz isoliert auftretenden präliassischen Ophiolithe der Chorchana-Utslevi-Scherzone des Dzirula-Massivs

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

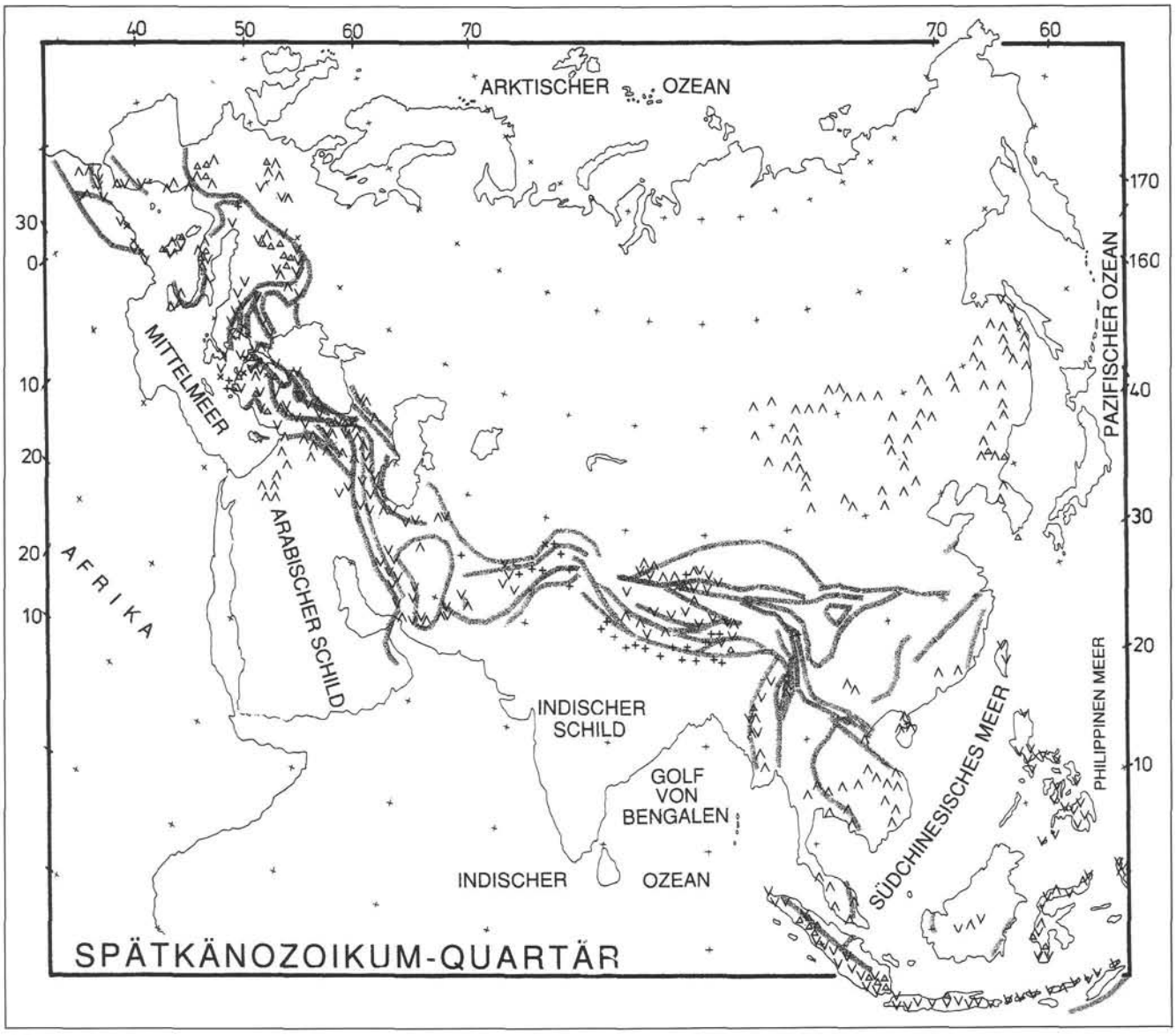


Abb. 97e
Spätkänozoikum bis Quartär (25-0 Ma).

(V') und die Serpentinite des Khrami-Massivs in der Tschotschiani-Schlucht. Die erstere ist auch von möglichen Subduktionsmagmatiten ± gleichen Alters begleitet. Die in der Chorchana-Utslevi-Zone vorkommenden Sedimente haben große Ähnlichkeit zu denen des Diabas-Phyllitoid-Komplexes der Strandscha-Decke. Die paläozoische und frühtriadische Stratigraphie zeigt eindeutig, daß der Hauptkamm des Großen Kaukasus bis nach Svanetia hinab zu Laurasien, die Gegenden südlich davon, einschließlich Svanetia, zum Gondwana-Land gehören. Die klastischen Ablagerungen des Lias bedecken in gleicher Weise sowohl die nördlichen „laurasischen" als auch die südlichen „gondwanischen" Terrains. Die Synaphie muß also zwischen diesen beiden Regionen laufen (Synaphie V in der Abb. 93). Im Detail ist aber diese Synaphie durch subparallele sinistrale Blattverschiebungen mittel- und spätmesozoischen Alters vervielfacht. Darum begegnet man „Narbenstücken" in verschiedenen Längszonen des Großen Kaukasus und Transkaukasiens wie z. B. in Svanetia, in Dzirula und in Khrami (siehe auch ŞENGÖR 1990b, 1991c).

Die Karakaya-Narbe (in Abb. 93 Nr. II), die zu einem einstigen Nebenmeer der Paläo-Tethys gehört, befindet sich innerhalb des ehemaligen Sakarya-Kleinkontinents. Sie erstreckt sich zwischen der Westküste der Türkei und dem Knoten von Ankara. Seine vermutliche Verlängerung gegen Osten befindet sich jenseits des Knoten, im Tokat-Massiv. Noch weiter östlich, im Erzincangebiet, gibt es zwar Andeutungen ihrer Existenz. Sie bedürfen aber immer noch der näheren Prüfung. Nach den vorliegenden Erfahrungen scheint es, daß sich das Karakaya-Nebenmeer gegen Ende des Perm zu öffnen begonnen hat. Es war am Ende der Trias schon wieder geschlossen; Lias und streckenweise auch noch späte Trias liegen mit schärfster Diskordanz auf den nordvergenten Strukturen des Karakaya-Kleinorogens.

Die Synaphien der ghaznischen Kimmeriden

Im Iran, an der Südgrenze des Khoura-Beckens, beginnen die ghaznischen oder die südwestasiatischen Kimmeriden. In diesem Abschnitt scheint die endgültige Schließung der Paläo-Tethys durch die Anschweißung des Kimmerischen-Kontinents an Laurasien etwas früher als in den Mediterranen-Kimmeriden, also bereits in der Zeitspanne zwischen früherer Spättrias und dem Lias erfolgt zu sein. Auch die orogene Polarität der ghaznischen Kimmeriden ist in meisten Stellen nach Süden gerichtet.

Die in Abb. 93 mit VII angegebene Hauptsynaphie der Paläo-Tethys im Iran weist zwei Ophiolithvorkommen auf. Das

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

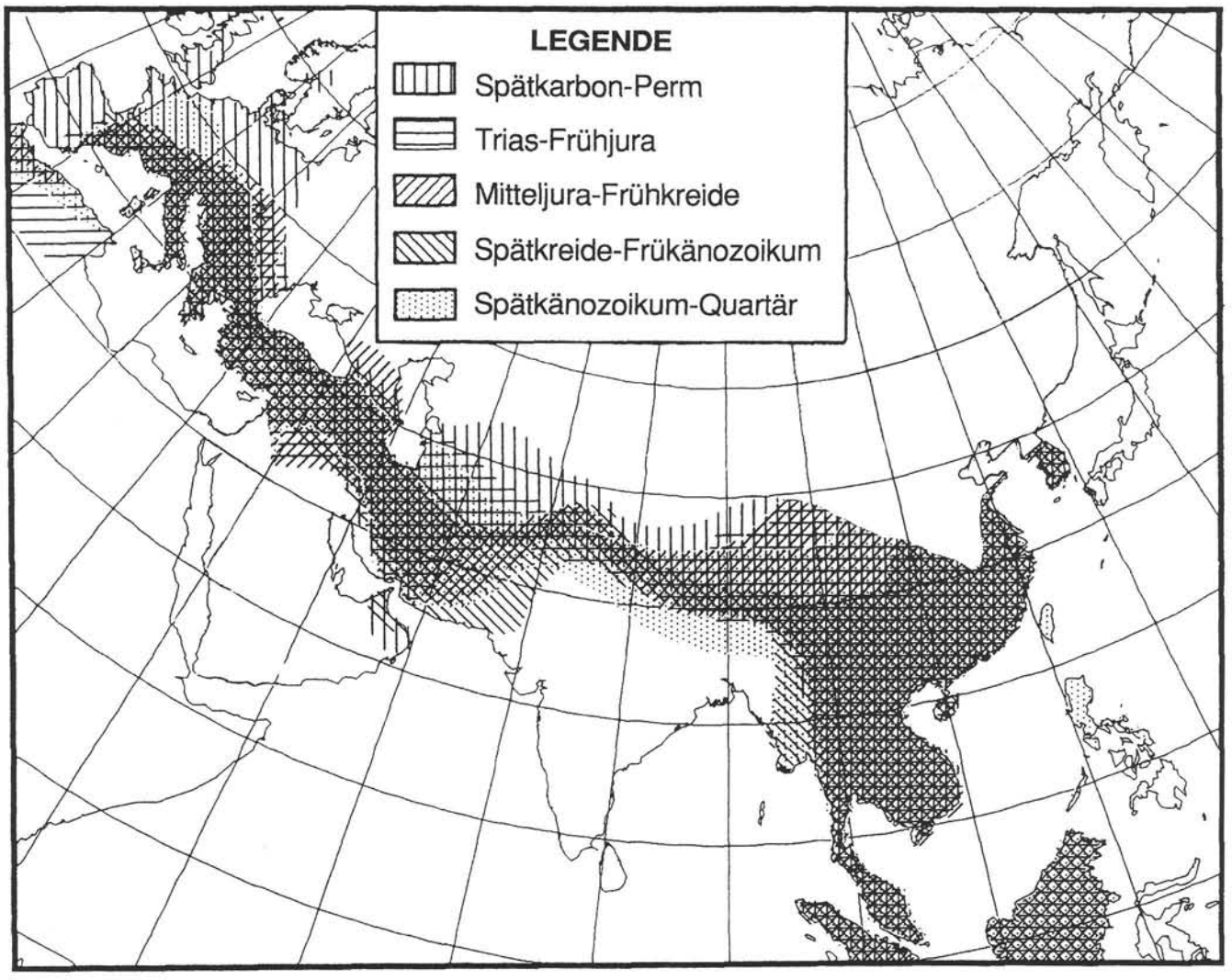


Abb. 98
Das Wandern des Magmatismus in den Tethysiden (verbessert nach ŞENGÖR et al., 1993).

eine im Talesch-Gebirge im Nordwesten des Landes bei der Stadt Rascht und das andere im Meschhed, dem Nordosten. Die beiden Ophiolithdeckengruppen sind nach Süden bzw. Südwesten auf eine mitteltriadische Plattform gewandert. Auf ihnen wie auch auf der Plattform liegt diskordant die liassische Schemschak-Formation. Das südkaspische Ozeanbekken repräsentiert daher keinen „Rest" der Paläo-Tethys, sondern ein Neubecken spätmesozoischen Alters.

Synaphie Nr. IV' ist ein verstellter Teil der Hauptsynaphie der Paläo-Tethys im Iran. Die Verstellung war eine Folge der postkollisionalen Blattverschiebungsepisode in den türkischen, kaukasischen und iranischen Kimmeriden (ŞENGÖR, 1990b, 1991c) wie dies unten in Abb. 99b, c, d dargestellt wird.

Nummer VIII (Abb. 93) stellt die Hauptsynaphie der Paläo-Tethys in Afghanistan dar. Sie verläuft entlang des sogenannten Herat-Wantch-Akbaytal Lineaments und ist durch eine gegen Osten hin immer komplizierter werdende „orogenic Collage" gekennzeichnet. Diese besteht aus spätpaläozoisch-triadischem Flysch, einigen wenigen „exotischen" Kristallinschollen und Ophiolithkeilen von karbonischem Alter (auch jünger?) und bildet die westlichsten Ausläufer des in den chinesischen Kimmeriden ganz gewaltigen Dimensionen erreichenden „Songpan-Ganzi Accretionary Complex". Orogene Deformation in Nordafghanistan, im Paropamisus und im westlichen Hindu Kusch fand beinahe kontinuierlich zwischen dem Mittel- (Früh-?)Karbon und dem Jura statt und war anscheinend das Ergebnis der Entwicklung eines am südlichen Saum Laurasiens verbundenen Orogens vom andinen Typus. Im frühesten Jura verwandelte es sich in ein Kollisionsorogen.

Die ältesten auf der Synaphie des Hauptzweiges der Paläo-Tethys diskordant liegenden Schichtserien in Afghanistan werden durch die „Red Grit Series" vertreten. Diese Serie gehört der frühen Kreide an, ist also erheblich jünger als die entsprechenden Schichten der Schemschak.

Die Farah-Rud-Zone der französischen Literatur Zentralafghanistans (Nr. IX in Abb. 93) gehört einem Ozean an, der in der Frühtrias die Farah-Scholle (*f* in Abb. 93) von der Helmand-Scholle sensu lato (*h* in Abb. 93) zu trennen begann. Diese Öffnung war der westlichste Vertreter einer langen Zone der Ozeanbildung innerhalb des Kimmerischen Kontinents, die sich von Afghanistan durch Tibet (XIV in Abb. 93), bis nach Burma (XXVII in Abb. 93), und vielleicht noch weiter bis zum südöstlichen Ende von Sumatra erstreckte. Das Alter des Riftings scheint nach Osten immer höher zu werden. Die Schließung dieses Wašer-Ozeans entlang einer nach Süden einfallenden Subduktionszone erfolgte wahrscheinlich in der frühen Kreide, da die *Orbitolina*-führenden Schichten die nordvergenten Strukturen seiner Synaphie diskordant bedekken. Dies sieht man auch weiter östlich in Tibet und in Burma.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

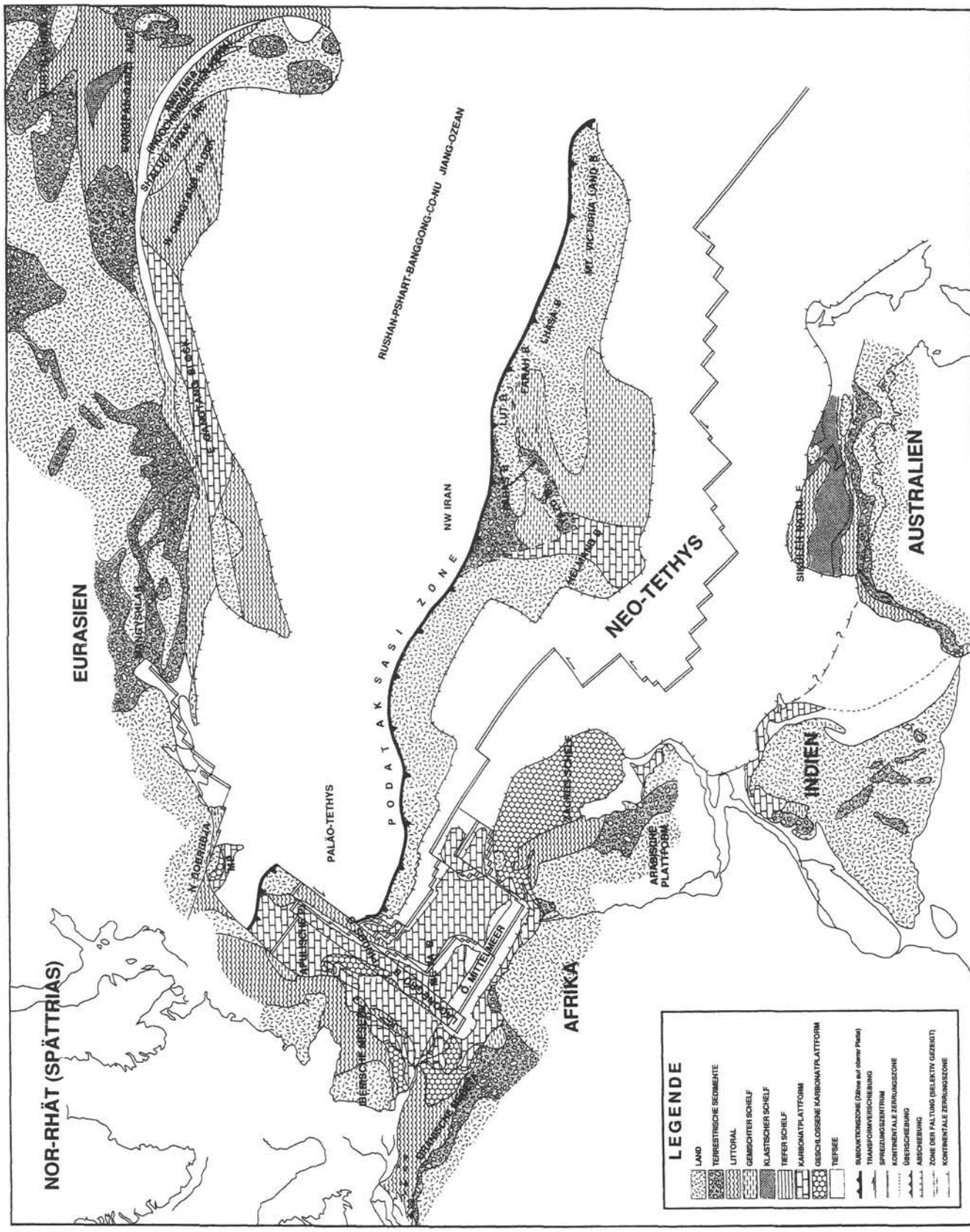


Abb. 99

Die tektonische Entwicklung des Tethysraumes zwischen Spättrias und Frühmiozän. Abkürzungen: ACC-Akkretionskeil; APB-Algero-Provencalisches Becken; BON-Bozkir Ophiolithdecke; DB-Dongxiao Becken; DON-Dongxiao Ophiolithdecke; EAAC-Ostanatolischer Akkretionskeil; EBSB-Ostschwarzmeer Becken; EON-Eohellenische Ophiolithdecke; HS-Helvetischer Schelf; KB-Kirşehir Block; LAG-Lagonegro Becken; LB-Ligurisches Becken; MBSH-Mittelschwarzmeer Rücken; ME-MAT-Messalisch-Mauritanischer Flyschtrog; ME-TA-B-Menderes-Taurus Block; MP-Moesische Plattform; NTF-Nisch-Trojan-Trog; PB-Pamphylisches Becken; PIN-Pindos Ozean; PR-Paikon Rücken; SDZ-Schiefer-Diabas-Zone; SSA-Schaluli Schan Bogen; WBSB-Westschwarzmeer Becken.

a Spättriadische (Nor-Rhät) Geometrie des Tethysraumes.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Die Synaphien der chinesischen und südostasiatischen Kimmeriden

Mit der Pamirscharung (Abb. 92 & 93) beginnen die chinesischen Kimmeriden. Ihr gesamter Körper liegt mit wenigen Ausnahmen innerhalb des chinesischen Territoriums.

Die Nordpamirzone im Norden von Badakhschan und in Tadschikistan stellt die östliche Verlängerung der Hauptsynaphie der Paläo-Tethys dar. Ihre Geschichte ähnelt zwischen Karbon und Jura einerseits der des westlichen Hindu-Kusch und andererseits der des westlichen Kuen-Lun. Im nördlichen Pamir begann die kimmeridische orogene Entwicklung spätestens im späteren Frühkarbon mit der nach Norden unter Laurasien einfallenden Subduktion der Paläo-Tethys. Flyschabsatz hat sich bis ins Ladin bewahrt. Da sollten sich nur wenige und kleine „exotische" Fragmente den wachsenden Melangekeilen beigemengt haben. Solche Fragmente im Nordpamir weisen oft den Charakter metamorpher Blöcke auf.

Nach Osten hin, im westlichen Ausläufer des Kuen-Lun-Gebirges, scheint die Hauptsynaphie der Paläo-Tethys sich in zwei Äste zu spalten. Diese sind in der sowjetischen Literatur als die „nördlichen" und „südlichen Synklinoria des westlichen Kuen-Lun" bekannt (BELYAEVSKY, 1976). ŞENGÖR & OKUROĞULLARI (1991) haben gezeigt, daß diese Spaltung der Hauptsynaphie nur eine scheinbare ist und daß der gesamte Körper des Kuen-Lun, einschließlich seiner östlichen Ausläufer im Qilian Schan (=Richthofen-Gebirge der älteren Literatur) und im Qinghai Nan-Schan (z. T. Humboldt-, Suess-, Ritter- und Muschketov-Gebirge der älteren Literatur), aus einem gewaltigen, südvergenten Akkretionskeil besteht. Das Alter dieses Akkretionskeiles steigt von Kambrium im Norden bis zur Trias oder vielleicht zum ältesten Jura im Süden an. WNW-OSO-streichende granitische Plutone mesozoischen Alters überschneiden die 35. Breitenlinie und teilen den Akkretionskeil in zwei Hälften. Teile dieser Plutone haben Gneisgefüge und wurden von den früheren Arbeitern als alter Kristallinsockel gedeutet. BELYAEVSKY (1976) hat diese Gneis-Granit-Zone in der Mitte steilstehender Schiefer als ein Ankilinorium alten Sockels angesehen und die Schieferzone auf beiden Seiten als Synklinoria aufgefaßt. In der Tat gibt es eine große Anzahl von Aufschlüssen mit granitischen und gneisigen Gesteinen im Kuen-Lun-Gebirge. Sie sind alle Subduktionsmagmatite und ihr Alter nimmt, genau wie das Alter des Akkretionskeiles selbst, von Norden nach Süden ab, und zwar vom Kambrium bis in den Jura.

Nördlich des Hauptgranitzuges subparallel mit der 35. Breitenlinie (ehemaliges „nördliches Antiklinorium") ist das Alter der Subduktionsgesteine (Akkretionskeil + Plutone) höher als Devon, welches auf älteren dislozierten Gesteinen diskordant liegt. Südlich des Hauptgranitzuges (im ehemaligen „südlichen Synklinorium") ist die Hauptentwicklung Spätpaläozoikum-Trias mit einem möglichen, schmalen Streifen von jurassischem Alter im Süden, neben der Kollisionslinie des Kuen-Luns mit Nordtibet entlang der Ak Tagh-Qisil Jilga-Lake Lighten-Synaphie. Der Akkretionskeil schließt hier eine Mélange mit exotischen Blöcken permischen Alters und spätpaläozoische und triadische Ophiolithstücke, die in permo-triadischen Sandsteinen und Shales eingeschlossen sind, ein. Nördlich des Hauptgranitzuges entspricht die Metamorphose der Gesteine, die den Akkretionskeil ausmachen, der Amphibolitfazies. Ein solch hoher Grad der Metamorphose ist in den oberen Teilen eines Akkretionskeiles ungewöhnlich. ŞENGÖR & OKUROĞULLARI (1991) deuteten diese Metamorphose als Folge der Subduktion eines Spreizungszentrums im mittleren Devon.

Im zentralen Kuen-Lun scheint der Akkretionskeil breiter zu sein. Er wird noch breiter im Osten, wo das Qilian-Schan- und das Qinghai-Nan-Schan-Gebirge gleichfalls aus Akkretionskeilen bestehen. In diesen östlichsten Teilen des Kuen-Lun Gebirges im weiteren Sinne ist der paläozoisch-mesozoische Akkretionskeil durch eine linkssinnige Blattverschiebung vermutlich jurassischen Alters verdoppelt, deswegen ist der östlichste Teil des Kuen-Lun doppelt so breit als seine anderen Teile. Auch hier ist die orogene Entwicklung mit einer ausgesprochen südlichen Vergenz vor sich gegangen. Nach dem Devon ist der orogene Stil in den frühpaläozoischen Teilen des Akkretionskeiles vom alpinotypen zum germanotypen umgeschlagen und damit wurde auch die dortige Vergenz inkonsistent. Im ganzen östlichen Kuen-Lun sind durch Winkeldiskordanzen die folgenden orogenen Deformationen belegt: 1) prädevonisch, 2) präkarbonisch, 3) intrakarbonisch, 4) prä-Angara (diese Deformation dürfte eine Dauer zwischen Perm und Jura haben) und 5) post-Angara (kimmeridische postkollisionale Konvergenz). Diese Zahl der Deformationen ist natürlich ein absolutes Minimum. Ich betrachte die Deformation zwischen Frühpaläozoikum und Jura als kontinuierlich. Die Diskordanzen belegen nur die markantesten Wenden in der Geschichte der Deformation (vgl. besonders ŞENGÖR & OKUROĞULLARI, 1991).

Obwohl Autoren wie ARGAND im Kuen-Lun ein spätpaläozoisches Orogen erblicken wollten, wies LEUCHS schon 1916 darauf hin, daß entlang seines südlichen Saumes das Alter der Gebirgsbildung wohl triadisch-jüngstjurassisch sein dürfte. Von jüngeren Arbeiten der chinesischen Geologen wird dies bestätigt. In diesen Gebieten ist das Alter der ersten postorogenen Ablagerungen jurassisch.

Ungefähr bis zum 92. Längengrad ist die orogene Collage asymmetrisch und an den Südrand Laurasiens gebunden. Weiter östlich kann man zwei solcher Collagen unterscheiden. Die eine bleibt an Laurasien gebunden (Anyemaqen Shan: Any in Abb. 93). Die andere scheint sich entlang des Nordostsaumes des Kimmerischen Kontinents (hier der Nordosttibet- oder der östliche Qangtang-Block: pqs^2 in Abb. 93) entwickelt zu haben und mindestens drei Synaphien (XI, XII, XIII in Abb. 93) umgeben seine verschiedenen Komponenten. Zwei Synaphien (XII und XIII) trennen die Bogenfragmente des Chola Shan (*ch*) und Shaluli Shan (*sh*) vom östlichen Qangtangblock. Die Mélangekeile dieser Suturen enthalten Blöcke verschiedenen Ursprungs, deren Alter vom Silur bis in das Perm reichen. Die chinesischen Autoren haben die Synaphien nach den auf ihnen fließenden Strömen und ŞENGÖR & HSÜ (1984) und ŞENGÖR (1984) die von den Synaphien getrennten Bogenfragmente nach den Gebirgen benannt. Folgende Terminologie hat sich dadurch ergeben (von Westen nach Osten; siehe Abb. 93):

Nordosttibet- oder Ost-Qangtang-Block (pqs^2) (mit Hoh Xil Shan Kontinentalbogen)
Jinscha-Jiang-Synaphie (XIII)
Chola Shan Bogen (*ch*)
Maniganggo-Synaphie (XII)
Shaluli Shan Bogen (*sh*)
Litang Mélangezone (Westsaum des Songpan-Ganzi-Systems)
Songpan-Ganzi Flysch-/Mélangefüllung (S)

Zwischen den beiden, an Laurasien und den Kimmerischen Kontinent gebundenen Collagen befindet sich die Kang-Ding-Synaphie (XI). An deren beiden Seiten sind mächtige Flysch- und Molasseablagerungen (im Norden: Xikang Flysch; im Süden: Ya-Jiang Flysch), die die ozeanische Mélange bedecken und mit dieser stark verschuppt und z. T. vermengt sind.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

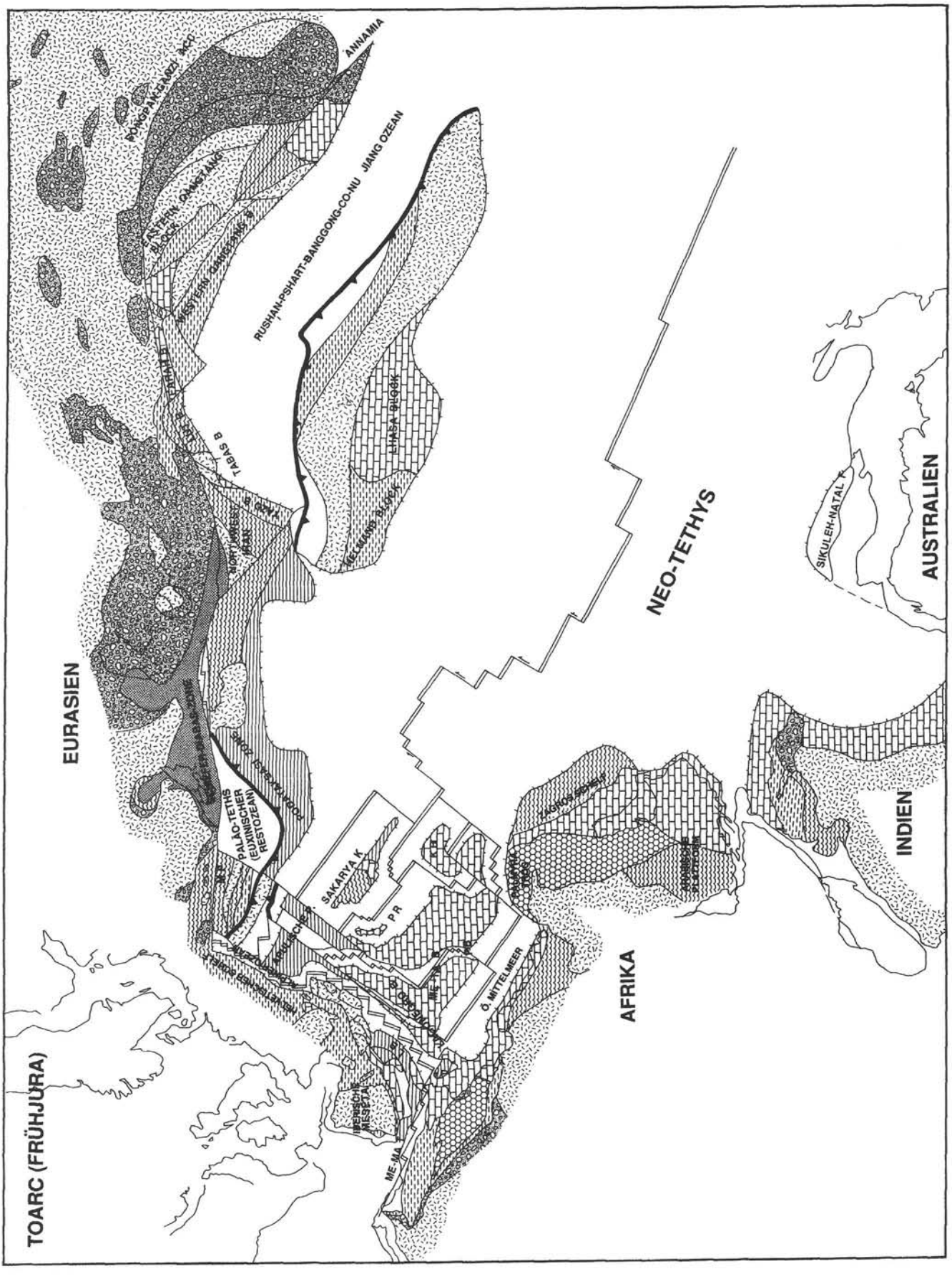


Abb. 99b
Frühjurassische (Toarc) Geometrie des Tethysraumes. *(Legende siehe Abb. 99a)*

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Diese Gesteine haben größtenteils triadisches Alter mit sehr unbedeutenden permischen Tiefseeabsätzen. Die norischen und jüngeren Sedimente sind ausschließlich terrestrisch und repräsentieren den mitteltriadischen Rückzug des Meeres aus dem von den soeben genannten Flysch-Molasse- und Mélangeanhäufungen zusammengesetzten Songpan-Ganzi-System.

Eines der wichtigsten Charakteristika des Songpan-Ganzi-Systems ist die Tatsache, daß nirgends ein sialisches Fundament nachgewiesen ist und seine Flysch-/Molassefüllung direkt auf ozeanischem Material (hauptsächlich Mélange) akkumuliert zu sein scheint. Ausgenommen davon ist das Songpan-Massiv, welches neritische Karbonatgesteine von karbonem Alter und dünne permo-triadische klastische Schichtfolgen aufweist (WANG HONGZHEN, pers. Mitt., 1984). Entlang des Anyemaqen Shan (*Any*) und des Shaluli Shan (d. h. entlang der Litang-Mélangezone) grenzt das Songpan-Ganzi-Flyschfüllung unmittelbar an fossile Tiefseerinnen, d. h. an ehemalige aktive Kontinentalränder. Nur entlang seines östlichen Randes (nordwestlich des Yangtze-Kratons in Abb. 93) ist sein Sedimentinhalt entlang gewaltiger Überschiebungen auf den passiven Kontinentalrand des Yangtze-Kratons übergequollen. Also könnte man nur von dieser Seite her an eine Verlängerung der kontinentalen Kruste unterhalb des Songpan-Ganzi-Systems denken. Daß jedoch eine derartige Verlängerung den gesamten Untergrund dieser Region ausmachen könnte, wäre schwer vorstellbar. Zum einen aus rein geometrischen Gründen und zum anderen auch, weil nirgends im Songpan-Ganzi-System die magmatische Entwicklung Anhaltspunkte für eine solche Interpretation liefert.

Die an den Kimmerischen Kontinent gebundene orogene Collage scheint also mindestens aus zwei fossilen Inselbögen zu bestehen, welche an einen magmatischen Rand vom Sumatra-Typus im Hoh Xil Shan-Gebirge angegliedert wurden. Die magmatische Tätigkeit in diesen Bögen dauerte vom Perm bis in die früheste Kreide. Alle marinen Areale um sie waren schon im Nor teilweise sogar im späten Karn verschwunden. Obwohl die ozeanischen Gewässer sich aus dem Gebiet des Songpan-Ganzi-Systems infolge fortschreitender Zusammenpressung und Heraushebung seiner Sedimentfüllung zurückgezogen hatten, bestand unter den sich deformierenden Sedimenten noch ozeanische Kruste! Das Gegeneinanderrücken der jetzt das System umgebenden Kontinentalblöcke hat gleichzeitig die dazwischenliegende Sedimentfüllung zusammengepreßt. Dadurch wurde die sich darunter befindende ozeanische Lithosphäre entlang der bereits bestehenden Subduktionszonen einfach weiter abgeführt. Diese unter einem sehr mächtigen Sedimentpaket erfolgende Subduktion führt zu solch seltsamen Erscheinungen wie landfeste „Insel"bögen. Diese kommen im Jura im Shaluli Shan und im Chola Shan vor (ŞENGÖR, 1984). Diesen Vorgang bezeichne ich „verhüllte Subduktion" (vgl. ŞENGÖR, 1984).

Die neuesten paläomagnetischen Daten zeigen deutlich, daß im Jura Südchina und Indochina sich um 1650 ± 750 km gegen Eurasien bewegten. Dieser Betrag könnte der zunehmenden Verkleinerung des Songpan-Ganzi-Systems durch eine derartige Subduktion während dieser Zeit gut entsprechen.

Das Songpan-Ganzi-System ist der Scheitel der chinesischen Kimmeriden, aus welchem mehrere kimmeridische Synaphien ausstrahlen (Abb. 92 & 93). Diese sich im Songpan-Ganzi-System vereinigenden Suturen umgeben intra-paläo-tethysische Kontinentalblöcke verschiedener Größe, die zu verschiedenen Zeiten an das asiatische Gebäude angegliedert worden sind.

Die Jinscha-Jiang-Synaphie (XIII) setzt sich nach Süden fort, durch die Yünnan-Scharung (Y in Abb. 92) und spaltet sich in zwei Äste bei der großen Kurve des Lancan-Jiang in der Nähe von 25°N und 100°E. Die zwei Äste umgeben den großen Pluton von Lincang von paläozoisch-triadischem Alter. Dieser mehrphasige Pluton besteht hauptsächlich aus Granodiorit und Monzonit. Der Synaphie-Ast auf der östlichen Seite des Plutons ist Jinghong genannt und besteht aus einem Mélangegürtel. Auf der westlichen Seite sieht man ein kompliziertes Mélangegebiet, das aus drei Mélangegürteln zusammengesetzt ist: ein ostvergenter Menhong Mélangegürtel (grüne und schwarze Schiefer mit Kalksteinexotika permischen Alters), ein steiler bis vertikaler Xiaoheijiang Mélangegürtel (Ophiolith-, Radiolarit- und Kalksteinblöcke in Schiefern; Glaukophanschiefer mit Alter zwischen 400 und 200 Ma) und ein westvergenter Lanchang Mélangegürtel (hauptsächlich Schiefer). Die drei Gürtel zusammen weisen somit eine Fächerstruktur auf.

In Thailand ist diese komplexe Synaphiezone vom westthailändischen Akkretionskeil vertreten (Abb. 93), der sich weiter nach Süden, in die Mittelmalayazone (XXI in Abb. 93) verfolgen läßt. Diese Suturen erzeugten ein bivergentes Orogen von karbon-mitteltriadischem Alter, dessen nachkollisionale Molasse aus der Khoratgruppe in Thailand und der Tembeling-Formation auf der malaiischen Halbinsel besteht. Daß die spätpaläozoisch-jungmesozoische Geschichte entlang dieser Narbenzone viel komplizierter ist als hier angedeutet, haben in jüngster Zeit verschiedene Autoren betont. Die gewaltigen triadischen Intrusionen granitischer und adamellitischer Zusammensetzung von Westmalaya weisen auch eine gleichaltrige Kollision auf.

Ob die triadische westthailändisch-mittelmalaiische Synaphie sich noch weiter als Mittelmalaya-Zone verfolgen läßt, ist aufgrund des Mangels an Aufschlüssen in Gebieten ausgedehnter Meeres- und Urwaldbedeckung eine Sache reiner Spekulation. Selbst die neuesten Untersuchungen in der Kleininselwelt zwischen der malaiischen Halbinsel und Borneo haben uns der Lösung dieses Problems nicht nähergebracht als die Untersuchungen von BOTHÉ aus dem Jahre 1925! Eine den wenigen Tatsachen soweit wie möglich Rechnung tragende Lösung ist in Abb. 93 mit XXI' angegeben.

Die Synaphien XIX und XX (Abb. 93) sind diejenigen des Song Ma (Roter Fluß) und Song Da (Schwarzer Fluß), deren Schließung die endgültige Anschweißung von Annamia (*An*) an Südchina bedeutete. Die Song Ma-Synaphie dürfte durch die Kollision eines heute unter mächtiger Sedimentbedekkung verhüllten simatischen Inselbogens (mögliches Äquivalent des Chola Shan?) mit Annamia entlang einer nach Nordosten (heutiger Lage!) einfallenden Subduktionszone im Mittelkarbon (Tournai-Visé) entstanden sein. Gleich danach begann eine südwestgerichtete Abführung ozeanischer Lithosphäre jenseits des mit Annamia bereits vereinigten Inselbogens. Diese dauerte bis in das Karn an und endete mit der Kollision entlang der Song Da-Synaphie (XX) in der oberen Trias. Diese endgültige Vereinigung Annamias mit Südchina erzeugte ein typisches Kollisionsorogen mit sämtlichen Begleiterscheinungen wie dem An-Chau Impaktogen oder dem reaktivierten Viet Bac-Sockel.

In der älteren Literatur wurde das ganze chinesische Territorium östlich des Songpan-Ganzi-Systems und des Großen-Khingan-Gebirges als einheitliches Stück oft unter der Bezeichnung „Sinia" dargestellt. Die neueren Untersuchungen zeigten aber, daß der Qin-Ling Shan eine Synaphie triadisch-jüngstjurassichen Alters darstellt. Die paläomagnetischen Untersuchungen beiderseits dieses Gebirges haben dies bestätigt. Die Qin-Ling Shan-Synaphie (XXII in Abb. 93) könnte

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

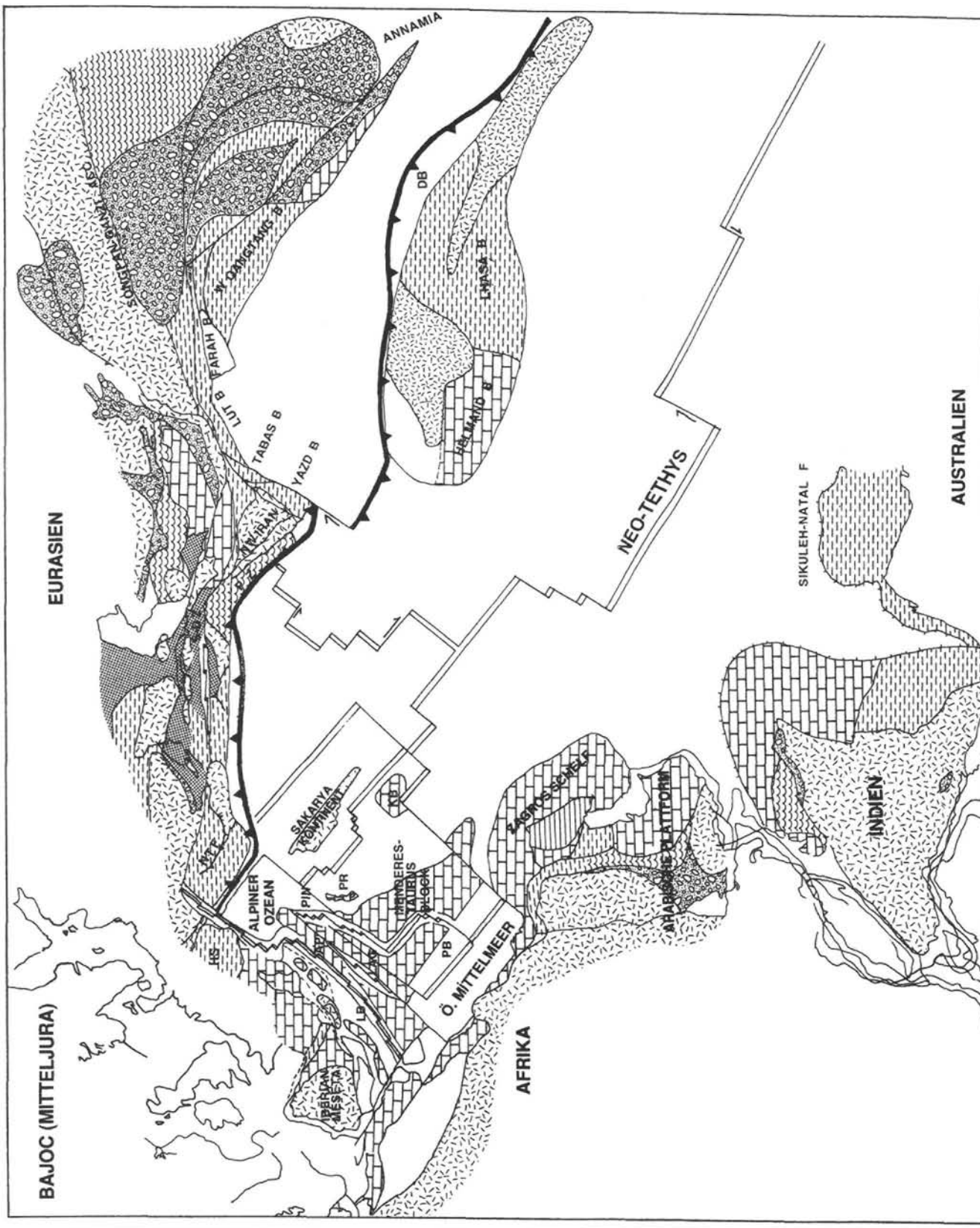


Abb. 99c
Mitteljurassische (Bajoc) Geometrie des Tethysraumes. *(Legende siehe Abb. 99a)*

eventuell auch aus zwei parallel zueinander verlaufenden Suturen bestehen, von denen die eine eine Arc-collision repräsentieren dürfte.

Die südchinesische Plattform dürfte auch aus zwei Kontinentalschollen bestehen, die entlang einer Synaphiezone kollidiert sind (XXIV-XXV). Eine weitere mögliche intrasüdchinesische Synaphie zeigt Nr. XXVI an. Die Kollision entlang dieser Synaphien dürfte im Jura erfolgt sein.

Die Nummern X und XIV zeigen die Synaphie der östlichen Fortsetzung des Wašer-Ozeans. Diese Fortsetzung zieht erst

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

durch die Ruschan-Pschart-Zone (X), die an die Grenze zwischen Zentral- und Südost-Pamir liegt. Die geologische Entwicklung dieser Zone hat man als Folge permo-triadischer Taphrogenese, spättriadisch-jurassische Ozeanbodenspreizung und kretazische Kollision gedeutet. Am Hochplateau von Tibet trennt eine von den chinesischen Autoren Banggong-Co Nu Jiang genannte Synaphie (Nr. XIV) zwei nordtibetische Blöcke von einem südtibetischen Lhasa-Block. Entlang dieser Narbe haben sich die nord- (*pqs*^{1}: Ost- und *pqs*^{2}: Westqangtang-) und südtibetische (*Lv*: Lhasa-) Blöcke in der früheren Kreide entlang einer wahrscheinlich nach Süden einfallenden Subduktionszone vereinigt. Im Spätjura ist eine große Ophiolithdecke auf den Lhasa-Block gewandert und weist auf eine ursprünglich nach Norden einfallende Subduktionszone im Bangong Co-Nu Jiang-Ozean. Genau wie in Afghanistan bedecken auch hier die *Orbitolina*-führenden Schichten diskordant die Synaphie, die durch die jüngsten tektonischen Ereignisse immer wieder als Aufschiebungszone wiederbelebt zu sein scheint.

Der Öffnungszeitraum des Banggong Co-Nu Jiang-Ozeans ist nach den vorhandenen Erfahrungen noch nicht genauer festzulegen als zwischen Oberkarbon und Mitteltrias.

Die Banggong Co-Nu Jiang-Synaphie biegt am Ostende des tibetischen Hochlandes ziemlich abrupt nach Süden um und geht, durch die Yünnan-Scharung, ins Mandalay-Gebiet in Burma. Dort wird die Synaphie von der dextralen Sagaing-Blattverschiebung abgeschnitten und um 400 km nach Norden verstellt. Damit wird im Mandalay-Gebiet ein Teil der Synaphie von Banggong Co-Nu Jiang nicht nur verdoppelt, sondern auch in den Westen der südlichen Verlängerung der Indus-Yarlung-Zangbo-Synaphie gebracht (Abb. 93). In Burma erfolgte die Kollision entlang dieser Synaphie (Nr. XXVII) vor der Ablagerung der *Orbitolina*-führenden Schichten. Südlich von Rangun geht diese Synaphie in das Meer hinein und ihre weitere Verfolgung ist aufgrund des Aufschlußmangels äußerst schwierig. Ich vermute jedoch, daß die spätjurassische Deformation im Sockel des Ostsumatrabeckens mit der Zerstörung des Wašer-Ruschan-Pschart-Banggong Co-Nu Jiang-Mandalay-Ozeans in Verbindung stehen dürfte.

Somit haben wir die bekannten hauptsächlichen „kimmeridischen" Synaphien behandelt. Es hat sich herausgestellt, wie uns auch Abb. 93 vor Augen führt, daß eine nicht unbedeutende Anzahl davon im Alpen-Himalaya-System vorhanden ist. Im nächsten Kapitel behandle ich kurz die „alpidischen" Synaphien, um die kimmeridischen mit ihnen vergleichen zu können und um die Geschichte der Tethysiden zu vervollständigen.

Die Synaphien der Alpiden. Die alpidischen Synaphien sind, verglichen mit denjenigen der Kimmeriden, besser bekannt und in der leicht zugänglichen Literatur von verschiedensten Seiten sowohl im Detail als auch zusammenfassend behandelt worden. Ich verzichte hier auf ihre Aufzählung und Beschreibung und verweise den Leser auf Abb. 93 und den Bildtext dazu. Hier bespreche ich nur einige besondere Eigenschaften der alpidischen Synaphien.

Zuerst sei erwähnt, daß im westlichen Mittelmeergebiet zwischen Sizilien und Gibraltar „echte" Ozeane mit ophiolithischer Kruste während des Mesozoikums nicht vorhanden waren. Die einzige mögliche jedoch unbedeutende Ausnahme sind die „ophiolites bétiques (?)" von WILDI (1983). Ich habe deshalb die Synaphien 2 bis 6 (Abb. 93) als solche quasi-ozeanischer Bereiche angezeigt. Alle aus diesen Synaphien bisher publizierten „Ophiolithe" haben sich als nichts anders denn Basalte und einige Gabbrovorkommen erwiesen. Die Ultramafitdecken von Ronda und Beni-Bouchera sind nicht ozeanischen Ursprungs. Sie stammen aus dem durch extreme Krustenzerrung zutagegetretenen subkontinentalen Mantel. An anderer Stelle habe ich (ŞENGÖR & MONOD, 1980) die Tiefseebecken mit kontinentalem Sockel als „sialische Ozeane" bezeichnet. Eine weitgehende aber sich sehr langsam zutragende Zerrung der kontinentalen Kruste ist für die Entstehung solcher sialischen Ozeane verantwortlich. Die kollisionale Destruktion solcher „Ozeane" erzeugt Orogene mit einigen leicht zu erkennenden Charakterzügen wie weitgehendes Fehlen eines Subduktionsmagmatismus, oder sehr geringer Entwicklung eines Mélangekeiles oder einer weitausholenden Überschiebung von einem Kontinentalrand auf den anderen und schließlich das völlige Fehlen der Ophiolithe. Aus den Kimmeriden sind bisher keine den westmediterranen Fällen ähnliche „sialische Ozeane" bekanntgeworden.

Synaphie Nr. 15 vertritt das Pindos-Budva-Becken, das sich als „back arc basin" der Paläo-Tethys, genauso wie das Karakaya-Becken, geöffnet hat. Es ist allem Anschein nach auch ein „sialischer Ozean", der seine Entstehung der kimmeridischen Tektonik verdankt und mit dem Karakayabecken vielleicht in ursprünglichem Zusammenhang stand. Seine Schließung wurde aber im Gegensatz zum Karakayabecken nicht von der kimmeridischen, sondern von der viel späteren alpidischen Tektonik verursacht. Also haben wir hier eine Struktur, deren erste Anlagen als Teile des kimmeridischen Gebäudes entstanden waren, deren Hauptprägung aber ein alpidisches Phänomen war. Mit anderen Worten, die kimmeridische Tektonik hatte das Becken geöffnet und die alpidische hat sie wieder geschlossen. Ein Parallelfall liegt in der Geschichte der zirkumzentraliranischen Synaphien vor (26 in Abb. 93). Die durch sie vertretenen Ozeane wurden zum Teil in der Permo-Trias als Folge der Zersplitterung des Kimmerischen Kontinents wegen der Biegung desselben um den turanischen Vorsprung, zum Teil durch die „küstenparallele Bewegung" der Sanandaj-Sirjan-Zone in der Frühkreide geöffnet. Während des Oligozäns wurden sie durch die westliche Bewegung der Helmand-Scholle geschlossen. Auch hier haben wir es mit einer ursprünglich zum Teil kimmeridischen Struktur zu tun, die durch die alpidischen Ereignisse ihre Hauptprägung erfahren hat. Jetzt erhebt sich die Frage, wie solche Strukturen hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit zu größeren tektonischen Gebilden zu klassifizieren sind. Weil wir hier mit Synaphien zu tun haben, reihe ich die Pindos-Budva-Synaphie wie auch die Synaphie Nr. 26 einfach in die alpidischen Synaphien ein, denn die Synaphie selbst ist eben ein alpidisches Erzeugnis, das mit der zur Zeit ihrer Entstehung längst erloschenen kimmeridischen Tektonik nichts zu tun hat.

Es ist oft in der Fachwelt der Einspruch erhoben worden, daß ich in der Türkei und in ihren angrenzenden Gebieten eine unnötig große Anzahl von Synaphien annehme. Rezente gleichzeitig und parallel sich öffnende Ozeane seien nicht beobachtbar und deshalb könnten die Verhältnisse im Mesozoikum nicht anders gewesen sein und die Mehrzahl der Synaphien, die ich in der Türkei und in Griechenland annehme, sollen nur „Scheinsynaphien" oder „Pseudosynaphien" sein, die entweder durch Horizontalverschiebungen „vervielfacht" worden wären, oder die Reststücke eingeklemmter Ophiolithdecken darstellen. Gegenüber solchen Einwänden verweise ich auf die paläotektonische Entwicklung der in Frage stehenden Synaphien. Diese weisen oft eine vollständige Reihe von Begleiterscheinungen „echter" Synaphien auf. Das sind fossile magmatische Bögen, metamorphe Komplexe vom Gurla-Mandata oder Menderes-Typus und von der Synaphie fortwandernde Flysch- und Molassetröge. Zweitens möchte ich auf diejenigen Gebiete der Erde verweisen, die heute noch die angeblich nicht existierenden zueinander parallel laufenden, ± gleichalt-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

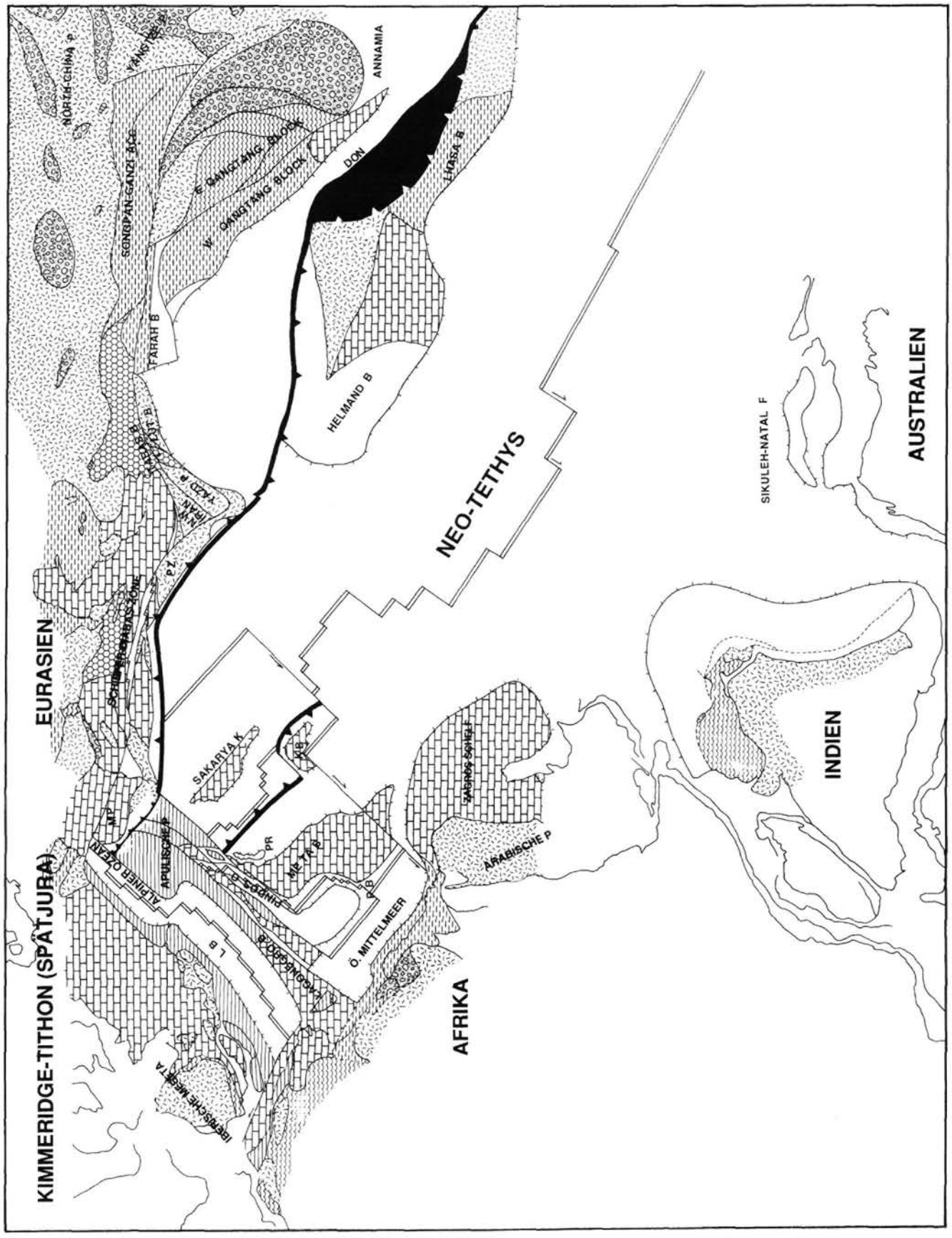


Abb. 99d
Spätjurassische (Kimmeridge-Tithon) Geometrie des Tethysraumes. *(Legende siehe Abb. 99a)*

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

rigen Miniozeane doch beherbergen. Das klassische Beispiel wäre die Insulinde, wo z. B. das Bone-Becken und die Südmakassar-Straße sich innerhalb einer Breite von weniger als 500 km (also weniger als die heutige Breite der Türkei!) gleichzeitig und parallel zueinander zu öffnen begonnen haben. Alastair H. F. ROBERTSON (pers. Mitt., 1983) hat aber mir gegenüber denselben Einspruch erhoben wie seinerzeit STILLE (1943) ARGAND (1916) gegenüber. Er hat hingewiesen, daß wir es heute in der Insulinde mit vielen Inselbögen und Intra-, Hinter-, und Vorbogenbecken zu tun haben, während die ozeanischen Becken der triadisch-frühkretazischen Neo-Tethys in der Türkei von Rändern des atlantischen Typs umgebene Depressionen repräsentierten. Deshalb wären die beiden nicht streng vergleichbar. ROBERTSON hat in einem gewissen Sinne recht, und um seiner Kritik zu entsprechen, lasse ich die Insulinde außer Betracht und nehme ein anderes aktuelles Beispiel. In der Tasmansee ist eine große Anzahl von durch schmale ozeanische Kanäle voneinander getrennten und von Kontinentalrändern „atlantischen" Typus umsäumten Kontinentalschollen vorhanden. Das Blatt 20 des Geological World Atlas (HEEZEN & FORNARI, 1976) zeigt die heutige Geometrie und die Altersverhältnisse in diesem Becken. Australien, den Lord Howe Rise und den Norfolk Ridge sehen wir nebeneinander und durch ganz schmale Kanäle frühkänozoischen Alters getrennt. HOWELL (1980, Abb. 1) hat die Situation vor der Öffnung rekonstruiert. Ein flüchtiger Blick auf diese Karten zeigt uns, daß wir vor einer Vermehrung der neo-tethysischen Synaphien in der Türkei von einem aktualistischen Standpunkt aus nichts zu fürchten haben, solange die geologischen und paläomagnetischen Daten uns nicht widersprechen.

Große Anhäufungen von ozeanischen Sedimenten und Flysch, wie sie in den Kimmeriden Chinas uns entgegentreten, finden wir auch in den Alpiden. Der East Anatolian Accretionary Compex (in Abb. 93 mit E angegeben) ist beinahe eine kleinere Kopie des Songpan-Ganzi-Systems (ŞENGÖR & YILMAZ, 1981, Abb. 7). Der ostmediterrane Rücken (EM in Abb. 93) und Makran (M in Abb. 93) sind Stellen, an denen sich beträchtliche Anhäufungen von Flysch auf ozeanischem Boden befinden. Beide Regionen stellen das „Embryonalstadium" der durch Flysch ausgefüllten „Kontinentallöcher" vom Songpan-Ganzi-Typus dar.

Einige alpidischen Synaphien gehen im Streichen in die heute noch aktiven Subduktionszonen über. Die Zagros-Synaphie (in Abb. 93 Nr. 25) und die Waziristan-Synaphie (28) gehen in die aktive Subduktionszone von Makran (in Abb. 93 mit M gezeigt) über. Die känozoische Synaphie in Burma (in Abb. 93, XXVII) geht in die Nikobar-Sumatra-Subduktionszone über und die Bitlis-Synaphie (Nr. 21 in Abb. 93) geht in die zyprische Subduktionszone über usw. Im letzten Fall ist die aktiv abgeführte ozeanische Lithosphäre ein Rest der Neo-Tethys.

Kleinere „Neuozeane" sind auch während der alpidischen Entwicklung entstanden, entweder als „back arc basins" wie das westliche Schwarze Meer, oder als mit großen Horizontalverschiebungen verbundene „pull-apart basins", wie die südkaspische Depression, oder durch Schollenrotationen hervorgerufene „Sphenochasms", wie das Algero-Provençal-Bekken, oder als Folge einer komplizierten „escape"-Tektonik, wie z. B. der Sarosgraben in der Nordägäis. Alle diese ozeanischen oder „quasiozeanischen" Becken gehören der Kategorie der „episutural depressions" von BALLY (1975) an.

Keine der kimmeridischen Synaphien setzt sich in eine heute noch bestehende Subduktionszone fort und nirgends in den Kimmeriden findet man entweder einen einwandfreien Rest der ehemaligen Paläo-Tethys oder ein noch bestehendes ozeanisches „epi-sutural basin" im Sinne von BALLY (1975). ŞENGÖR et al. (1996) haben vorgeschlagen, daß der Sockel des Tarim-Beckens ein ozeanisches Plateau spätproterozoischen Alters sei. Auch wenn diese Deutung sich als richtig erweist, ist der angebliche ozeanische Sockel nicht ein Produkt der kimmeridischen Entwicklung. Mit anderen Worten, er ist nicht ein Teil eines paläo-tethysischen Ozeans, sondern ein überdicktes Stück präkambrischer ozeanischer Kruste, die sich während der kimmeridischen Entwicklung tektonisch wie ein Kleinkontinent verhielt. All das zeigt, daß die Kimmeriden ein totes Orogen darstellen, während die Alpiden ihre Entwicklung heute noch fortsetzen. Beide repräsentieren voneinander trotz enger räumlicher Beziehungen ganz unabhängige Systeme.

Germanotype Tethysiden

Nachdem wir die orogene Zone der Tethysiden in die Kimmeriden und die Alpiden aufgeteilt und ihre „alpinotypen" Areale hinsichtlich der Verteilung der Synaphien und Blöcke kurz besprochen haben, können wir jetzt ihre Auswirkungen auf das sogenannte „stabile" oder „konsolidierte" Eurasien erörtern. Die kimmeridischen und alpidischen Kollisionen haben innerhalb des kratonischen Eurasiens sehr ausgedehnte Deformationsfelder geschaffen. Größtenteils sind die Strukturen sehr brüchig. Die Gesamtheit dieser Deformationsfelder nenne ich „germanotype Tethysiden", die sich wiederum in die „germanotypen Kimmeriden" und „germanotypen Alpiden" aufteilen. Die Geschichte dieser beiden Systeme von kratonischen Strukturen ist von großer Bedeutung für das Verständnis der nachpaläozoischen Tektonik des außertethysidischen Eurasiens. Eine logische Deutung solcher bisher sehr problematisch erscheinender Vorgänge wie diejenige der „Inversion" oder die wiederholten „posthumen" Bewegungen an einzelnen Strukturen wird unter Berücksichtigung dieser Geschichte möglich.

Abb. 92 zeigt das Verteilungsbild der germanotypen Kimmeriden und Alpiden. Die innerhalb der germanotypen Alpiden liegenden germanotypen Kimmeriden wurden von den ersteren wiederbelebt. Umgekehrt ist die Platznahme der ersteren durch die letzteren stark beeinflußt. In den folgenden Darstellungen möchte ich die germanotypen Alpiden nicht besprechen, weil sie in der jüngeren Literatur häufig von amerikanischer, französischer, englischer und sowjetischer Seite behandelt worden sind. Ich verweise den Leser auf die Publikationen von MOLNAR & TAPPONNIER (1975, 1978), TAPPONNIER & MOLNAR (1977, 1979), DEWEY (1977), ZONENSHAIN & SAVOSTIN (1981), ENGLAND & HOUSEMAN (1988), SADIBAKASOV (1989), AVOUAC (1992), LELOUP et al. (1993), ALLEN et al. (1995), RANGIN et al. (1995a, b) und die Kapitel I, II, III und IV in YIN & HARRISON (1996), BADER (1997), BARKA & AKYÜZ (1997), NGUYEN (1997), ŞENGÖR (1997), WALPERSDORF (1997)[10] und die darin enthaltene Literatur. Auf europäischer Seite ist die Literatur über die germanotypen Alpiden ungemein reich. Für eine neue Synthese und Literatur siehe ŞENGÖR (1995). Der paläogeographische Atlas von ZIEGLER (1990) ist wegen der farbigen bildlichen Darstellungen trotz seines kleinen Maßstabes empfehlenswert. Für die Seismizität Westeuropas siehe MELCHIOR (1985); für die Synthese der europäischen Geotraverse BLUNDELL et al. (1992).

[10] Die tektonische Arbeiten aus den neunziger Jahren, die in Zentralasien das Deformationsmuster zu etablieren versuchen und die ausschließlich auf Erdbeben basiert sind, sind schon veraltert. Jetzt versucht man die Information aus den Erdbeben mit GPS (Global Positioning System) zu integrieren. Nicht viel wurde in dieser Richtung bis jetzt publiziert.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

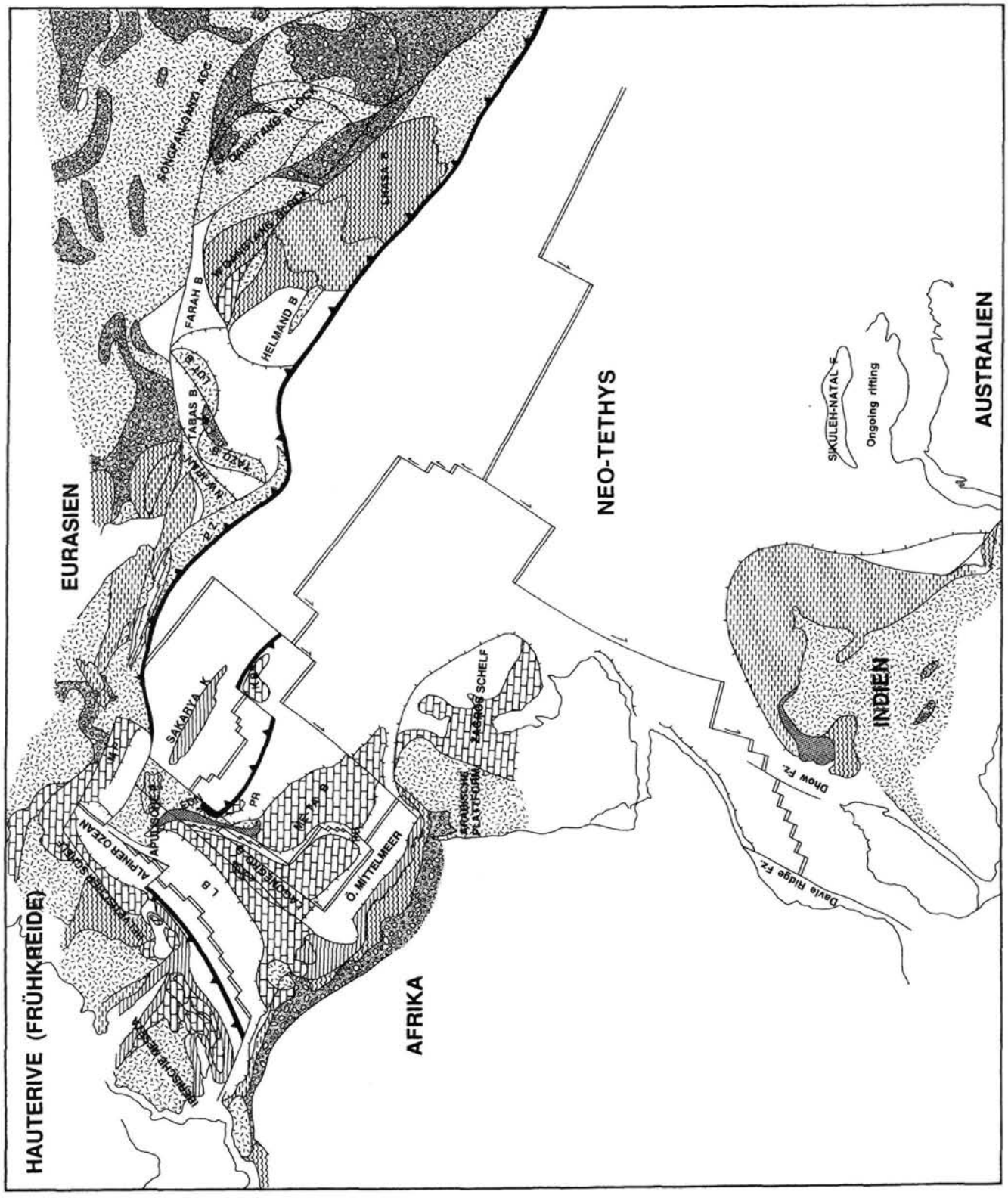


Abb. 99e
Frühkretazische (Hauterive) Geometrie des Tethysraumes. *(Legende siehe Abb. 99a)*

In der folgenden Diskussion behandle ich die germanotypen Kimmeriden in den, den alpinotypen Kimmeriden entsprechenden, vier Abschnitten.

Germanotype Mediterrane Kimmeriden. Wie aus Abb. 92 ersichtlich ist, stellt die osteuropäische Plattform das Hauptverbreitungsgebiet der germanotypen mediterranen Kimmeriden dar. Aber sie greifen auch auf die skythische Plattform über, besonders in der Krim. Die spättriadisch-, früh- und mitteljurassische Komprimierung des Donetzaulakogens (DG in Abb. 92) (Inversion!), die starke Südfaltung des Yayla-Gebirges in der Krim und die als mesozoisch angegebene Faltung des Pachelma Aulakogens (PG in Abb. 92) waren die Hauptereignisse in der Entwicklungsgeschichte der germanotypen mediterranen Kimmeriden. Die Entstehung der kompli-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

zierten Plakantiklinalen, Anteklisen und Syneklisen der nordkaspischen Depression (NKB in Abb. 92) dürfte zum Teil den germanotypen mediterranen Kimmeriden zuzuschreiben sein.

Germanotype Ghaznische Kimmeriden. Die germanotypen ghaznischen Kimmeriden verbreiten sich auf ein viel ausgedehnteres Areal als die germanotypen mediterranen Kimmeriden (Abb. 92). In Turan sind der Mangyschlak-Üst Yurt und der Kizilkum-Rücken durch Kompression aufgepreßte Hebungen (wie diejenigen der Rocky Mountains in den USA), deren Entstehung mit der des Amudarya-Beckens zusammenhängt. Dieses begann sich unter dem Gewicht sowohl dieser Rücken als auch des Kopet Dagh während der oberen Trias und des frühen Jura einzusenken.

Nördlich des Mangyschlak-Üst Yurt-Kizilkum-Rückens hat sich die Pforte von Turgai zur gleichen Zeit aufgespalten. Diese Aufspaltung war mit großen basaltischen Deckenergüssen verknüpft. Von der Pforte von Turgai aus propagierte die O-W gerichtete Zerrung nach Norden in das künftige westsibirische Becken. Die Blattverschiebung von Talasso-Ferghana fand zwar früher, im Paläozoikum, statt, wurde aber von der kimmerischen Kollision wiederbelebt und knüpfte vielleicht an die Abschiebungen der Pforte von Turgai an.

Germanotype Chinesische Kimmeriden. Die bisher nachgewiesenen germanotypen chinesischen Kimmeriden scheinen lediglich aus einer Reihe von Pressungsbecken entlang des Nordrandes der alpinotypen chinesischen Kimmeriden vom Issyk-Göl bis zu den Angara-Gräben zu bestehen (Abb. 92). Vielleicht das am besten bekannte von diesen Becken ist das erdölführende Dschunggar-Becken Nordchinas. Erst im Perm als Zerrungsstruktur entlang der gewaltigen Gornostaev-Blattverschiebungszone angelegt, hatte es seine Hauptsenkungsetappen während der Trias und des Jura erfahren und zwar, bis in die späte Trias als Zerrungsbecken aber dann, nach den ersten kimmeridischen Kollisionen entlang des Kuen-Lun-Gebirges, als Kompressionsbecken. Im Känozoikum ist es erneut komprimiert worden und gesunken. Hier sehen wir also die kratonische Wirkung der spätpaläozoischen Altaiden, der mesozoischen Kimmeriden und der känozoischen Alpiden auf dieselbe Struktur und in gleicher Weise!

Die Aulakogene des Ura, Irkineev und Hantaj-Rybninsk (UG, IG und H-RG in Abb. 92) haben sich gleichzeitig mit der endgültigen Schließung der Paläo-Tethys komprimiert (Inversion). Einige Zerrungsstrukturen im östlichen Teil des westsibirischen Beckens können eventuell auch als Teile der germanotypen chinesischen Kimmeriden angesehen werden.

Horizontalverschiebungen in den chinesischen Kimmeriden wurden bisher nur aus der Mongolei beschrieben. Diese weisen teilweise Verstellungen in horizontaler Richtung in der Größenordnung von 400 km auf. Ohne Zweifel bestehen auch viele andere, die aber noch nicht als solche anerkannt worden sind.

Germanotype Südostasiatische Kimmeriden. Da in Südchina und Indochina die alpinotypen Kimmeriden fast das gesamte Festland einnehmen, sind die germanotypen indochinesischen Kimmeriden nach den bisherigen Erfahrungen nur sehr spärlich entwickelt worden und auch nicht leicht als solche zu erkennen. Der An-Chau-Graben, der senkrecht zu der Song Da-Synaphie streicht, scheint sich als ein mit dieser Struktur verbundener Impaktogen entwickelt zu haben. Auch HAHN (1983) hat neuerdings auf den früheren konsolidierten Teilen der alpinotypen indochinesischen Kimmeriden germanotype Gebilde erkannt und sie zeitlich und räumlich von den alpinotypen abzutrennen versucht.

Nachdem wir die Besprechung der einzelnen Strukturen, die sich als Teile des großen kimmeridischen Superorogenkomplexes entwickelt haben, abgeschlossen und auch Strukturen der Alpiden kurz erwähnt haben, können wir jetzt die Gesamtentwicklung des Tethysraumes kurz beschreiben.

Die Geschichte der Tethys

Abbildungen 99a bis 99i zeigen meine Interpretation der geologischen Entwicklung des Tethysraumes zwischen Spättrias (Nor-Rhät) und Frühmiozän (Aquitan). Dieser Zeitraum schließt die finalen Etappen der Entwicklung der Kimmeriden und die gesamte Entwicklung der Alpiden ein. Die paläozoische Geschichte der Paläo-Tethys weist immer noch zu viele Lücken auf, um in einer paläogeographisch/paläotektonischen Karte veranschaulicht zu werden. An anderen Stellen habe ich verschiedene Skizzen zur paläozoischen Geschichte der Tethysiden veröffentlicht und verweise die Leser auch hier auf diese früheren Publikationen. In dem großen und schönen Tethys-Atlas unserer französichen Kollegen ist die Geschichte der Paläo-Tethys m. E. zu wenig gewürdigt. Meine folgenden Darlegungen sind vollkommen unabhängig von diesem Atlas und basieren auf meine Arbeit gemeinsam mit meinen Istanbuler Kollegen Naci Görür, Aral Okay, Fazlı Y. Oktay, Mehmet Sakınç, Okan Tüysüz, Yücel Yılmaz und Walter C. Pitman, III der Columbia-Universität in New York (vgl. ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a).

Abb. 99a zeigt die spättriadische Geometrie des Tethysraumes zwischen dem heutigen atlantischen und dem pazifischen Ozean. Wir sehen, daß verschiedene kontinentale Blökke, die Teile des heutigen Alpen-Systems östlich des westlichen Mediterranraumes bilden, sich zu dieser Zeit von Afrika abspalten. Der Menderes-Taurus-Block bewegt sich nordostwärts entlang zweier Transformverschiebungen. Während dieser Bewegung zerfällt er in zwei Teile entlang einer Riftzone, die im Pindos- und Pamphylienbecken schräge und im Kizilcatrog reine Zerrung aufweist. Sowohl das künftige Kırşehir-Massiv als auch das Bitlis-Massiv bewegen sich auch weg von Afrika entlang Spreizungszentren im südlichen Ast der Neo-Tethys. Nördlich vom Menderes-Taurus-Block, der künftige Sakarya-Kontinent und die Ostpontiden spalten sich als ein aktiver Inselbogen, als Teile der Podotaksasi-Zone, vom Rest des Kimmerischen Kontinents. Mein Kollege aus Paris, Herr Professor Jean Marcoux, hat mir kürzlich mitgeteilt, daß das Alter der Schamschak-Formation in Iran jetzt als Lias und nicht mehr als Spättrias-Lias angesehen wird. Deshalb zeige ich hier den Kimmerischen Kontinent als mit Laurasien noch nicht kollidiert.

Ein sinistrales Schersystem, zusammengesetzt von kurzen Transformverschiebungs- und Zerrungssegmenten, verbindet die Tornquist-Teisseyre'sche Linie mit dem Mangyschlak-Rift in Turkmenistan. Der Mangyschlak-Rift selbst, die triadischen Zerrungsbecken diesseits des Kaukasus, und der Niculitel-Ozean haben sich wahrscheinlich entlang dieses Systems geöffnet.

Als Folge der baldigen Kollision in Iran, schrumpfte die Paläo-Tethys im Norden der Türkei und in Afghanistan zu einem Restozean, wie derjenige des östlichen Mittelmeeres heute. In Abb. 99a habe ich jedoch die Paläo-Tethys in Afghanistan als völlig geschlossen gezeigt. Es ist auch möglich (aber in Abb. 99a nicht angegeben), daß zwischen dem Kaukasus und Afghanistan Paläo-Tethys entlang zweier Subduktionszonen mit entgegengesetzten Fallrichtungen abgeführt werden dürfte. Bis zur Spättrias waren alle chinesichen und indochinesischen Blöcke mit Laurasien in der in Abb. 99a gezeigten Weise kollidiert. Der post-indosinische Kohlenabsatz hatte in den durch die Kollisionen erzeugten Becken begonnen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

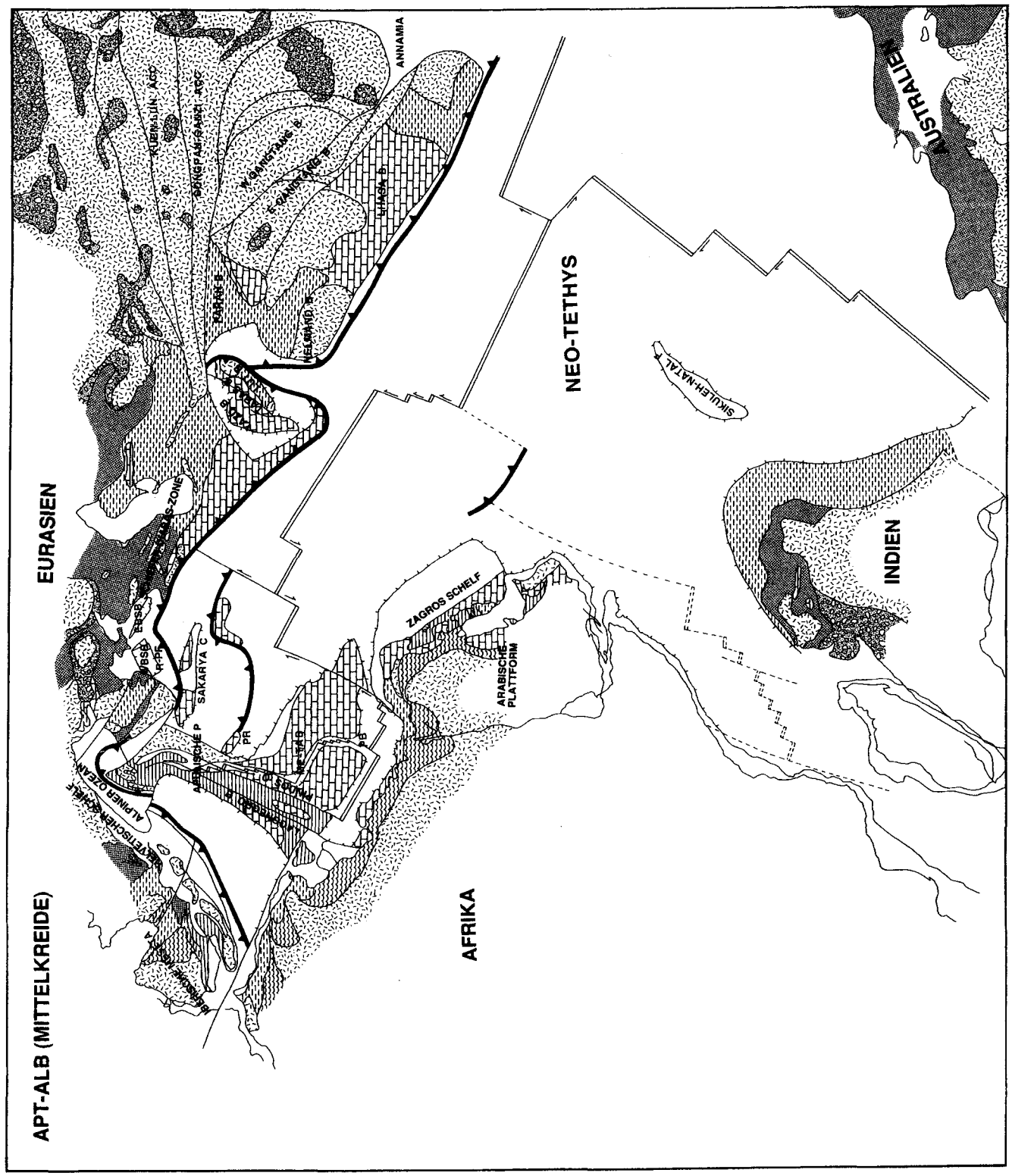


Abb. 99f
Mittelkretazische (Apt-Alb) Geometrie des Tethysraumes. *(Legende siehe Abb. 99a)*

Im Toarc sehen wir den Teil des Kimmerischen Kontinents, der die Podotaksasi-Zone und den Großblock Helmand-Lhasa-Mount Victoria Land einschließt, mit Laurasien im Bereich des heutigen Irans kollidieren. Diese Kollision hat den östlichen Teil des Kimmerischen Kontinents von seinem westlichen Teil abgeschert, wie dies Abb. 99b zeigt. Konvergenz begann auch in der Vardar-Zone, innerhalb der ozeanischen Lithosphäre der Neo-Tethys, wie die mit den eohellenischen Ophiolithdecken zusammengeschuppten ozeanischen metamorphen Gesteine es belegen. Das Rifting des alpinen Ozeans begann im Toarc, aber bisher liegen keine Erfahrungen vor, die das Vorhandensein ozeanischer Kruste dieses Alters im westlichen oder zentralen Alpen-System beweisen können. Die anderen neo-tethysischen Ozeane im Alpen-System wurden größer und ich vermute, daß zu dieser Zeit sich der Sakarya-Kontinent von den Ostpontiden zu trennen begann.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Wie diese Trennung zustandekommt, ist nach den bisherigen Erfahrungen nicht mitzuteilen. Wie ich oben gesagt habe, einige türkische Kollegen leugnen diese Trennung total. Ich vermute dagegen, daß die Trennung vielleicht durch eine Blattverschiebung stattgefunden haben dürfte.

Die Podotaksasi-Zone bewegt sich parallel zur neo-tethysischen Nordküste entlang einer Blattverschiebung, die von der paläo-tethysischer Synaphie lokalisiert wurde. Nur im Iran schneidet die Blattverschiebung den Körper des Kimmerischen Kontinents in der hier abgebildeten Weise durch (Abb. 99b, c, d). Die Zerrungsvorgänge im Kaukasus (Rifting in der Sevan-Akera-Karatagh-Zone), im Sockel des Khoura-Beckens (Vulkanite getroffen von der Saatly-Tiefbohrung) und im Nordiran (Schemschak-Becken und die Basalte vor der Schemschak-Zeit) dürften sekundäre Zerrungserscheinungen sein, die mit der Bewegung der Podataksasi-Zone zusammenhingen.

Weiter östlich, in Afghanistan und China, hat die Kollision im Iran den früheren Großblock Farah-West-Qangtang-Ost-Qangtang in kleinere Blöcke zerteilt und diese nebeneinander gegen die früher kollidierten cathaysischen Blöcke (heutiges China und Indochina) geschoben. Dies dürfte eine mögliche Erklärung für die andauernde tektonische Aktivität entlang der früher geschlossenen Synaphien zwischen den cathaysischen Blöcken sein.

Zu dieser Zeit setzte der Großblock Helmand-Lhasa-Mt. Victoria Block seine Nordbewegung fort. Was die sedimentären Umwelten betrifft, sehen wir im Toarc dieselbe Asymmetrie zwischen der nördlichen und der südlichen Küsten der Neo-Tethys: Klastika im Norden, Karbonatgesteine im Süden. Diese Asymmetrie behauptet sich bis in die Spätkreide, das heißt bis in die Zeit der ersten großen Ophiolithobduktionen am Nordrand des Gondwana-Landes.

Alle Zweige des Hauptastes der Paläo-Tethys wurden bis Bajoc völlig abgeführt (Abb. 99c). Unter den Nebenästen war nur der Banggong Co-Nu Jiang-Ozean noch offen jedoch bereits erheblich verschmälert. Die westlichste Zone der kimmeridischen Kompression war in Bulgarien noch aktiv. Sie erzeugte die Vortiefe von Nisch-Trojan, früher irrtümlich als ein Riftbecken gedeutet (für die Umdeutung siehe ŞENGÖR & NATAL'IN, 1996a, S. 579). Im Kaukasus, südlich des heutigen Hauptkammes, verlängerte sich das pull-apart-Becken von der „Schiefer-Diabas-Zone" entlang des Blattverschiebungssystems nördlich der Podataksasi-Zone.

Weiter östlich in den asiatischen Tethysiden hatte das allgemeine Bild sich seit dem Toarc nicht grundsätzlich geändert.

Im Spätjura (Kimmeridge-Tithon: Abb. 99d) sehen wir die beginnende Abführung der Neo-Tethys östlich von der Vardar-Zone, da vollentwickelte magmatische Bögen damals im Kırşehir-Massiv und auch in der Nähe von Divriği in der Südosttürkei bestanden. Die eohellenischen Ophiolithdecken in der Balkanhalbinsel waren bereits in Bewegung. Weiter östlich war die Kollision des Helmand-Lhasa-Mt. Victoria Land-Großblocks mit Laurasien imminent. Im Spätjura bewegte sich die gewaltige Ophiolithdecke von Dongxiao gegen den nördlichen Kontinentalrand des Lhasa-Blocks. Es ist möglich, daß diese große Ophiolithdecke sich in einem Randbecken über einer südfallenden Subduktionszone gebildet hatte und als Folge der beginnenden Kollision des Lhasa-Blocks mit dem westlichen Qangtang-Blocks obduziert wurde, wie dies Abb. 99d darstellt. Nach dieser Kollision dürfte die neuentstandene Banggong Co-Nu Jiang-Synaphie als eine dextrale Blattverschiebungszone fungiert haben bis der Helmand-Teil des Helmand-Lhasa-Mt. Victoria Land Großblocks mit dem Farahblock kollidiert hat. Eine blattverschiebungsdominierte postkollisionale Geschichte könnte auch den spärlichen post-kollisionalen Magmatismus entlang dieser Synaphie erklären.

Spätjurassische Konvergenz wird auch durch einen langen und breiten Gürtel der kompressionalen Strukturen und persistenten Höhen nördlich des Alpen-Himalaya-Systems belegt. Diese setzen die germanotypen Kimmeriden zusammen. HALLAM (1984) hat darauf hingewiesen, daß die „anormale" spätjurassische aride Zone nördlich des Alpen-Himalaya-Systems in Zentralasien sich im Regenschatten der Kimmeriden zu einer Zeit stärkerer Monsunwinde entwickelt haben dürfte.

Im Hauterive (Abb. 99e) war die Konvergenz zwischen Eurasien und den Kontinentalblöcken des ehemaligen Gondwana-Landes beinahe orthogonal. Eine Folge dieser orthogonalen Konvergenz war verstärkte kompressionale Deformation in den orogenen Gürteln entlang der neo-tethysischen Nordküste. Zu dieser Zeit sehen wir eine beinahe ununterbrochene Subduktionsfront vom atlantischen bis zum pazifischen Ozean in der Neo-Tethys. Die eo-hellenischen Ophiolithdecken haben zu dieser Zeit ihre endgültige Position erreicht. Die Subduktionszone, entlang welcher Ophiolithobduktion stattfand, war möglicherweise die westliche Verlängerung derselben, die den magmatischen Bogen des Kırşehir-Massivs erzeugte. Im Iran setzte die Podataksasi-Zone seine Seitenverschiebung fort. Sie trieb den Yazd-Tabas-Lut-Block nach Westen und öffnete damit den Nain-Baft-Ozean im Zentraliran (Abb. 99e). Diese Bewegung verkürzt den Yazd-Tabas-Lut Block longitudinal und zerteilte ihn in drei Teilblöcke entlang der Blattverschiebungen von Poscht-e Badam, Kuh-e Kalsaneh und Nayband. Diese Blattverschiebungen reaktivieren ältere, paläozoische Strukturen. Die gesamte Deformation im Iran war eine Rotation im Gegenuhrzeigersinn, wie in Abbildungen 99e und f veranschaulicht wird. Diese mit Blattverschiebungen verbundene Rotation hat auch im Nordosten vom Iran den ozeanischen Raum von Sabzevar geöffnet. Das östliche Ende der Podataksasi-Zone hat mit den zentraliranischen Fragmenten mitrotiert und begegnet uns heute als die Metamorphite von Deh Salm im Osten des Lut-Blocks.

In der Frühkreide vervollständigte der Helmand-Lhasa-Mt. Victoria Land-Großblock seine Kollision mit Eurasien und erzeugte das Tanggula-Gebirge in Zentraltibet. Im Nordwesten von Australien spaltete sich das Sikuleh-Natal-Fragment vom australischen Schelf ab und driftete nordwärts. Es befindet sich jetzt im Südwesten von Sumatra, südwestlich der Woyla-Synaphie (Nr. 33 in Abb. 93).

In Apt-Alb kam die kimmeridische Konvergenz in Eurasien zu Ende. *Orbitolina*-führende Kalksteine wurden auf den Ruinen der Kimmeriden zwischen der Türkei und Borneo abgelagert. Nördlich der Türkei begann das Schwarze Meer sich als ein sehr komplexes Randbecken der Neo-Tethys hinter dem Rhodop-Ponti-Fragment zu öffnen. Abb. 99f zeigt dieses Fragment in Kollision mit dem Sakarya-Kontinent. Das ist nicht ganz richtig. Der Sakarya-Kontinent hat mit dem Rhodop-Pontid-Fragment erst im Früheozän kollidiert. Abb. 99f wurde aber, wie alle Rekonstruktionen in dieser Arbeit, unter der Voraussetzung produziert, den Forderungen der Plattenkinematik und den anfänglichen Annahmen treu zu bleiben. Ich wollte keine ad-hoc-Korrekturen in den Rekonstruktionen. Alle Korrekturen müssen mit allen Randbedingungen, das heißt mit der Geologie, der Plattenkinematik und den initialen Annahmen im Einklang stehen. In diesem Fall führte die Rekonstruktion zu einem Widerspruch mit der lokalen Geologie. Um diesen Widerspruch aufzuheben, müßte ich die gesamte Entwicklung im Mediterranraum umdenken und umzeichnen. Da der Widerspruch begrifflich leicht zu beseitigen war, aber wegen der nötigen Umzeichnungen viel Zeit und Mühe forderte, habe ich ihn gelassen, aber weise hier darauf nachdrücklich hin.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

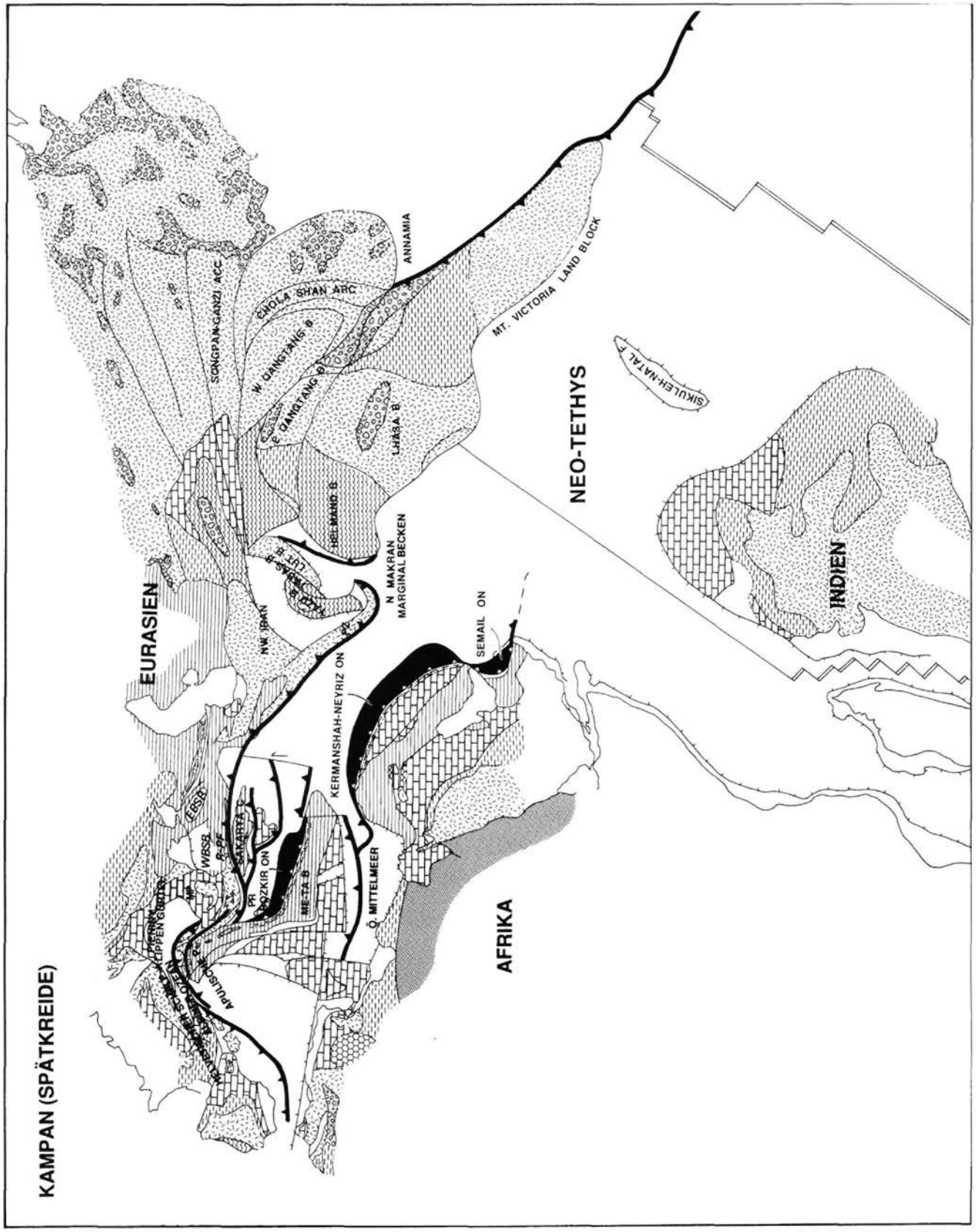


Abb. 99g
Spätkretazische (Campan) Geometrie des Tethysraumes. *(Legende siehe Abb. 99a)*

Die sinistrale Bewegung der Podataksasi-Zone hatte zu dieser Zeit aufgehört. Die Subduktionszone im Ostiran wurde dadurch ausgeschaltet und die *Orbitolina*-führenden Kalksteine bedecken ihre Produkte diskordant. Um den Seistan Ozean begann die Subduktion klastische Sedimente zu einem gewaltigen Akkretionskeil anzuhäufen. Diese Akkretionsprodukte wurden zu den Neh- und Ratuk-Komplexen des Seistan-Orogens im Ostiran.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Intra-tethydische Subduktion begann in der Nähe des Zagros-Oman-Kontinentalrandes, vielleicht als Folge der verstärkten Konvergenz zwischen Eurasien und den Südkontinenten (Abb. 99f). Diese neue Subduktionszone propagierte rasch nordwestwärts und führte zur Obduktion der periarabischen Ophiolithdecken in der Spätkreide (Abb. 99g).

Obwohl eine durchgehende Subduktionsfront zwischen atlantischem und pazifischem Ozean bereits in Hauterive bestand, sehen wir ihre Produkte in vollständiger Entwicklung erst in Apt-Alb. Es dürfte die Entstehung dieser langen Subduktionszone gewesen sein, die zu einer Beschleunigung der globalen Plattenbewegungen führte und damit zu einer positiven Bewegung der Strandlinie. Am Ende der Kreide führten die vielen tethysischen Ophiolithobduktionen und die wenigen beginnenden kontinentalen Kollisionen zum Verlust langer Segmente der tethysischer Subduktionszone. Dies hat wahrscheinlich die Geschwindigkeit der Plattenbewegungen vermindert und zu einer negativen Bewegung der Strandlinie geführt, die wir als die Endkretazische Regression kennen.

Campan ist die Zeit der Obduktion der großen tethysischen Ophiolithdecken in der Türkei und in periarabischen Gebieten (Abb. 99g). Zu dieser Zeit wurde der nördliche Ast der Neo-Tethys in der Türkei zu einem schmalen Kanal. Viele Subduktionszonen waren im Gebiet des heutigen Griechenland und der Türkei tätig und deren Gesamtbild sah ähnlich dem heutigen Südostasien aus. Im Iran und Afghanistan war der Seistan-Ozean im Schließen entlang einer nach Helmand einfallende Subduktionszone begriffen. Der asiatische Teil der Neo-Tethys verkleinerte sich sehr schnell.

Im Priabon waren die meisten neo-tethysischen Ozeane in der Türkei bereits geschlossen, mit der einzigen Ausnahme des Bitlis-Ozeans. Auch hier haben HEMPTON (1985) und YILMAZ (1993) gewichtige Argumente hervorgebracht, um eine initiale Kollision zwischen Eurasien und Arabien bereits im Eozän stattfinden zu lassen. Wenn aber eine derartige Kollision tatsächlich stattgefunden hätte, müssen ihre Effekte sehr schwach gewesen sein. Das gesamte Ostanatolien blieb bis zum Miozän unter dem Meeresspiegel und die eigentliche Vorlandsfaltung in der Südosttürkei und im Zagros-Gebirge begann erst im Mio-Pliozän. Deswegen habe ich die angenommene eozäne Kollision in der Südosttürkei in Abb. 99h nicht eingetragen. Der Zentraliran hat seine Rotation beendet und der Seistan-Ozean war seiner endgültigen Schließung nahe. Indien kollidierte bereits mit Eurasien und begann den Helmand-Block nach Westen zu treiben. Im Großen Kaukasus war der Scheifer-Diabas-Ozean geschlossen, die Konvergenz setzte sich aber fort.

Im Aquitan (Abb. 99i) begann die Schließung des Bitlis-Zagros-Ozeans durch die Kollision Arabiens mit Eurasien. In Asien trieb der Norddrang Indiens große Stücke der asiatischen Lithosphäre weg vom maximalen Einengungsbereich in Tibet und dadurch wurde das heutige Bild der Neotektonik Asiens geschaffen. Dieses Ausweichen geschieht zuerst entlang der alten kimmeridischen Synaphien. Dann, mit fortschreitender Nordwanderung Indiens, wurden diese früheren Ausweichschienen deformiert und neuere Blattverschiebungen übernahmen die Führung der Blöcke aus der Zone der maximalen Kompression. Dies ist der Grund des sehr jungen Alters aller großer aktiver Blattverschiebungen Zentral- und Ostasiens.

Im Spätmiozän erhalten die Tethysiden ihr heutiges Gesicht. Zu dieser Zeit verschwanden endgültig die neo-tethysischen Ozeane des westlichen Mittelmeeres und des periarabischen Gebietes. Bald danach begann die Insel Timor auf den Kontinentalrand des Sahul-Schelfes zu klettern und erzeugte die Synaphie Nr. 35 (Abb. 93). Nur im östlichen Mittelmeer, im arabischen Meer, im Somalibecken, im Golf von Bengalen und im Vorland der sumatrischen Subduktionszone sind noch Überbleibsel der tethysischen ozeanischen Lithosphäre zu finden. Bald wird nichts von den tethysischen Ozeanen übrig bleiben. WIENS (1985/86) hat gezeigt, daß zwischen der Tschagos-Bank und dem östlichen indischen Rücken eine neue Subduktionszone sich bereits zu entwickeln begann. Neue Gebirge werden hier auf Kosten des indischen Ozeans entstehen, die aber nichts mehr mit der Tethys zu tun haben werden.

Schlußbetrachtungen

Wir haben gesehen, daß das Alpen-Himalaya-System einem superorogenen Komplex entspricht, der aus zwei voneinander weitgehend unabhängigen orogenen Systemen besteht. Diese können als Produkte der Schließung zweier Ozeankomplexe betrachtet werden. Das erste orogene System sind die Kimmeriden. Sie sind zwischen Karbon und Frühkreide infolge der fortschreitenden Abführung der Paläo-Tethys entstanden. Das Verschwinden der Paläo-Tethys wurde zum Großteil durch Rotation des Kimmerischen Kontinents hervorgerufen (Abb. 90a & 99). Diese Rotation hat gleichzeitig die Paläo-Tethys eliminiert und die Neo-Tethys ins Leben gerufen. Da der Kimmerische Kontinent sich um einen Pol in den westlichen Karpaten bewegt hat (Abb. 90a & 99), war die maximale Gestalt und Größe der Neo-Tethys sehr ähnlich jener der Paläo-Tethys. Wenn nun die Zerstörung der Neo-Tethys im Spätjura infolge des Auseinanderbrechens des Gondwana-Landes begann, mußten sich dieselben Ereignisse wie bei der Schließung der Paläo-Tethys wiederholen.

Aspekte der Synaphie- und Blöckeverteilung in den Tethysiden. Abb. 93 zeigt die äußerst komplizierte Synaphiennetzgeometrie der Tethysiden. Neben den größeren Kontinentalblöcken schließt sie auch viele kleinere „Fragmente" ein, die wir oben nicht erwähnt haben, weil ihre Geologie nicht ausreichend bekannt ist. Zusammen mit den Inselbögen des Songpan-Ganzi-Systems sind solche „Fragmente" die besten Kandidaten für echte „exotische" Blöcke („Terranes" in der neuen westamerikanischen Terminologie[11]). Die Geologie der einigermaßen ähnlichen kleinen, von den Narben 29 und 30 umgebenen Fragmente ist durch die neuen Arbeiten österreichischer, schweizer (FRANK et al., 1977; HONEGGER et al., 1982), englischer (BROOKFIELD, 1981; COWARD et al., 1982) und französischer Geologen (TAHIRKELI et al., 1979) bekanntgeworden. Sie zeigt die Existenz eines (oder zweier) im Jura sich entwickelnden intraozeanischen Inselbogens, der damals von keinem „Kontinentalblock" abzuleiten war und deshalb als „exotisch" angesehen werden mußte. Schon die Existenz dieser beiden Stücke ozeanischer Herkunft zeigt uns, daß noch andere nicht nur im Bau der Alpiden sondern auch im Bau der Kimmeriden stecken dürften.

Sowohl am Westende als auch am Ostende der Tethysiden ist aber die Anzahl der Synaphien viel größer als man aus der vereinfachten Schilderung der Bewegung des Kimmerischen Kontinents vermuten würde. Ein Grund dafür scheint, wie oben gesagt, das einstige Vorhandensein mehrerer Äste der Paläo- und Neo-Tethys gewesen zu sein. Es könnte aber auch

[11] Den Terminus „Terrane" habe ich in den hiesigen Ausführungen total vermieden, weil er nichts aussagt, als daß eine mit dem Wort „Terrane" bezeichnete Einheit mit Verwerfungen umgeben ist, und eine abweichende geologische Geschichte von den geologischen Geschichten ihrer Nachbareinheiten hat. Meine Einwände gegen die ganze „Terranologie" habe ich an anderen Stellen ausführlich besprochen (ŞENGÖR, 1990c, 1991b; ŞENGÖR & DEWEY, 1991).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

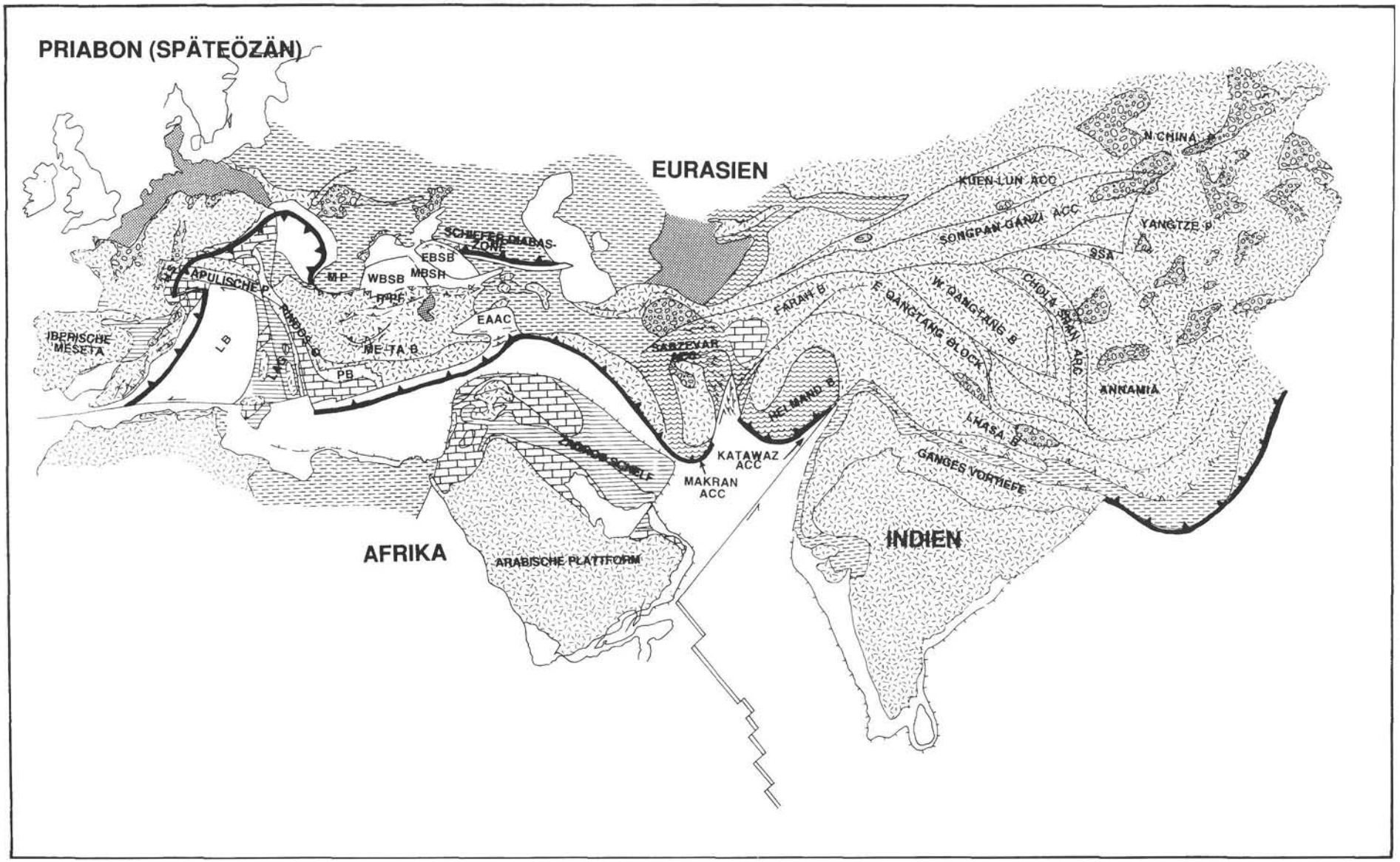


Abb. 99h
Späteozäne (Priabon) Geometrie des Tethysraumes. *(Legende siehe Abb. 99a)*

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

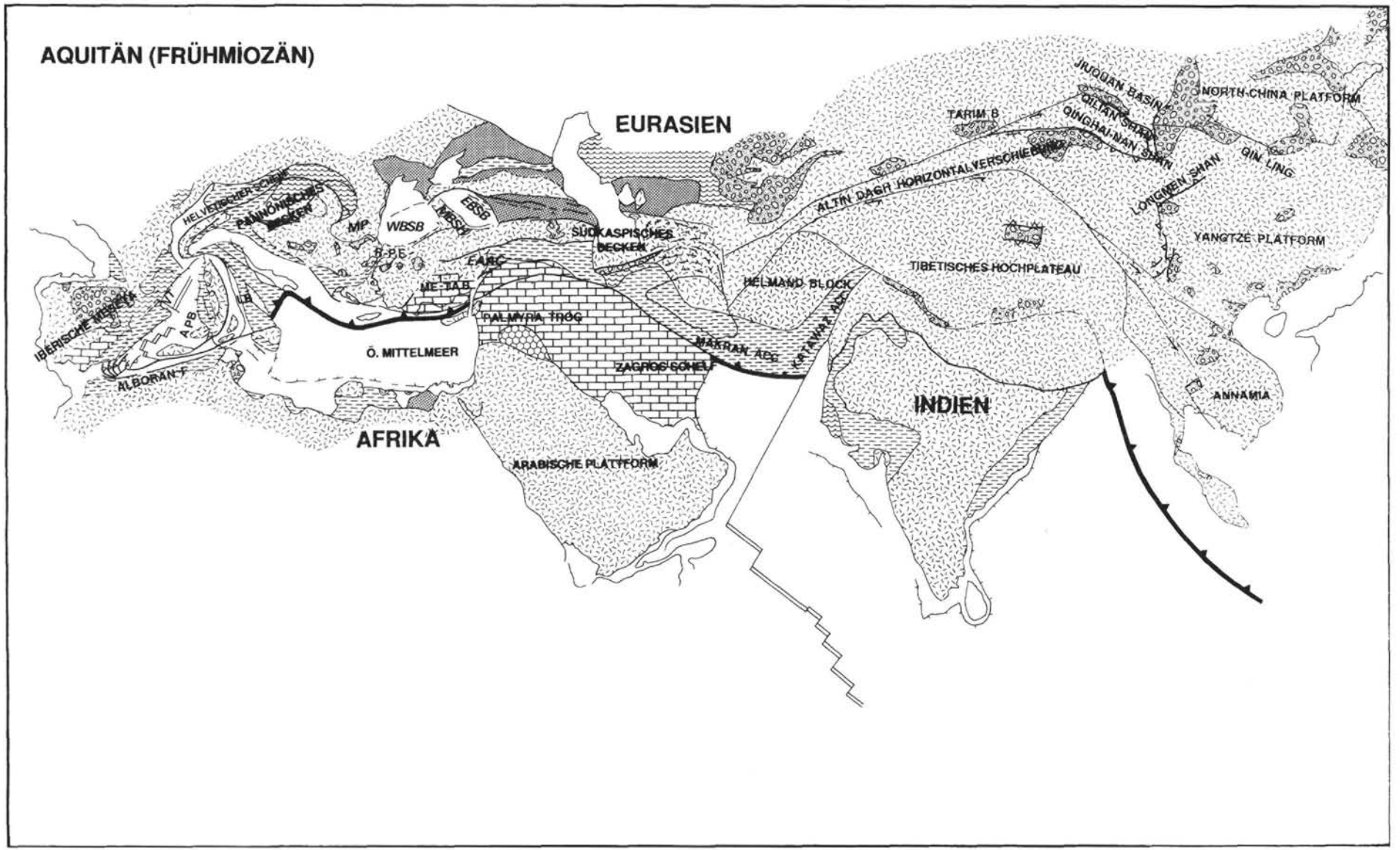


Abb. 99i
Frühmiozäne (Aquitan) Geometrie des Tethysraumes. *(Legende siehe Abb. 99a)*

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

andere Mechanismen gegeben haben. Horizontalverschiebungen können auch ein Bild parallel zueinander verlaufender Synaphien erzeugen, welche ursprünglich aus einer einzigen Synaphie oder einem einfachen Ozeans entstanden. Außer Suturvervielfachung könnten solche Mechanismen auch Narbenstücke mit „falscher", d. h. verkehrter Polarität erzeugen, die Schollenrotationen entlang der Blattverschiebungen zur Folge haben. Es könnten mehrere solcher, bisher noch nicht anerkannte Fälle in den Tethysiden vorhanden sein.

Eine andere Folgeerscheinung der aufgezeigten Synaphievervielfachungsmechanismen sind die abrupt innerhalb der kontinentalen Kruste endenden Suturen, von denen uns vielleicht die Maden-Synaphie (Abb. 93, Nr. 21) oder die Sevan-Akera-Qaratagh-Synaphie (Abb. 93, Nr. 22) Beispiele bieten.

Man fragt sich, ob die mit Blattverschiebungen verbundenen Synaphievervielfachungsmechanismen auch in viel größeren Maßstäben als bisher besprochen operiert und damit die Hauptsynaphieverteilung in den Tethysiden beeinflußt haben könnten. Um diese Frage zu beantworten, fehlen uns heute noch die ausreichenden Felddaten. Immerhin gibt es Andeutungen, daß im Tethysbereich bedeutende Bewegungen nicht nur quer zum Streichen, sondern auch entlang des Streichens stattgefunden haben müssen, ganz ähnlich zu den jeden Tag sich durch neue Beobachtungen vermehrenden Fällen aus den nordamerikanischen Kordilleren.

Solche Bewegungen müssen wir rückgängig machen, um aus der bestehenden Fossilverteilung in den Tethysiden ein verständliches Bild herzustellen. Daher muß der erste Schritt in dieser Richtung die Identifizierung der Synaphien und der sie verstellenden, bedeutenden Blattverschiebungen sein. Die letzteren sind sehr schwierig zu erkennen, besonders wenn sie von den späteren kompressiven Deformationen betroffen sind.

Abb. 100 zeigt die vereinfachten Hauptzüge der fossilen Pflanzenverteilung in der Zeitspanne vom Spätkarbon bis in das Perm hinein. Auffallend ist die sehr gute Übereinstimmung der Reichsgrenzen mit den Synaphien. Die Gondwanaflora scheint sich fast ausschließlich auf die südlich der Neo-Tethys liegenden Kontinentalstücke beschränkt zu haben. Die cathaysische Flora scheint sich auch auf bestimmte Blöcke beschränkt zu haben, und zwar auf die chinesischen und die indochinesischen Kleinkontinente und auf den östlichen Qangtang-Block. Schließlich scheint die Angaraflora lediglich Laurasien als Wohnsitz bevorzugt zu haben, zu dem damals eine vielleicht auch mit dieser Flora gekennzeichnete Manchuriden-Collage bereits z. T. angehört haben dürfte. Selbst innerhalb des cathaysischen Reiches sehen wir eine nördliche Gruppe von einer südlichen durch die Qin-Ling-Synaphie (XXII in Abb. 93) getrennt. Die isoliert auftretende Flora des Qilian Shan gibt uns zu bedenken, ob dieser ebenfalls tektonisch isoliert aussehende Block seine heutige Lage nicht durch Losreißen vom nordchinesischen Block entlang einer Blattverschiebung erhalten haben könnte. Obwohl der augenscheinlich sehr bedeutende Einfluß der Synaphien auf die Pflanzenverteilung aus Abb. 100 ersichtlich ist, möchte ich nicht behaupten, daß andere, vielleicht noch wichtigere Faktoren nicht dabei auch im Spiel waren. Ich verweise in diesem Zusammenhang auf die von WAGNER (1962) beschriebene Lokalität Hazro in der Südosttürkei, wo, gleich wie in Sudneuguinea, in der Arabischen Halbinsel und auch vielleicht in Tibet, Gondwana- und Cathaysiafloren innerhalb desselben Gebietes vorkommen, also eine „gemischte Flora" darstellen. Auch ZIEGLER (1990) hat gezeigt, daß cathaysische Floren-Biome sogar in Arabien vorkommen und deshalb Florenreiche nicht immer auf kontinentale Separationen hinweisen! Solche Beobachtungen müssen aufs strengste geprüft werden, um die eigentlichen Wechselbeziehungen zwischen den Florenreichen und der Tektonik und auch den Klimabedingungen erörtern zu können. Die Gondwanaflora kommt nach den heutigen Erfahrungen in solchen Gebieten vor, wo eigentliche Vergletscherungsspuren sichtbar sind; die Cathaysiaflora tritt dagegen in tropischen Gebieten auf.

Ich möchte zur Frage der Synaphien- und Blöckeverteilung innerhalb der Tethysiden noch ein letztes Wort hinsichtlich der Nomenklatur der Blöcke hinzufügen. In Abb. 93 zeigt das Gebiet zwischen den Ziffern 9 und 22 vielleicht am besten die sich an die Gewinnung einer brauchbaren Blöcketerminologie anhaftenden Probleme. Z. B. hat Block *s* (der Sakaryakontinent) lediglich bei der alpidischen Entwicklung eine Bedeutung, während früher seine verschiedenen Teile zu verschiedenen kimmeridischen Blöcken gehört hatten. Dasselbe gilt für Block *rp* (das Rhodop-Pontid-Fragment). Selbst innerhalb der alpidischen oder kimmeridischen Entwicklung gab es zahlreiche sehr kurzfristige kontinentale Vereinigungen und Wiederzersplitterungen, was eine für die ganze Entwicklungsgeschichte beider Systeme gültige Blöckenomenklatur unmöglich macht und uns dazu zwingt, ein sehr reiches Namensverzeichnis für die verschiedenen Blöcke zu verschiedenen Zeiten zu verwenden. Das macht auch die Terranologie total unbrauchbar. DEWEY & HORSFIELD (1970) haben längst in bezug auf größere kontinentale Vereinigungen der Vorzeit wie Pangäa, Gondwana-Land und Laurasien auf dieses Problem hingewiesen.

Das Problem der „Posthumität" bei den Tethysidischen Strukturen. Da der Kimmerische Kontinent ein verhältnismäßig enger Streifen gewesen ist (Abb. 90a, 91 und 99), haben sich die kollisionalen Deformationen sowohl in den alpinotypen als auch in den germanotypen Tethysiden nahezu koaxial vollzogen; sehr ähnliche, von den gleichen tektonischen Grundprozessen erzeugte Strukturen sind einander sehr nahe oder sogar übereinander entstanden. Es scheint, als ob ganz Eurasien die gleiche Geschichte zweimal durchgemacht hätte, was tatsächlich beinahe der Fall war und was auf die besonderen geometrischen Eigenschaften der Tethys i. w. S. und die Bewegung des kimmerischen Zwischenkontinents zurückzuführen ist.

Die germanotypen Areale der beiden orogenen Systeme haben sehr ähnliche, oft die gleichen Strukturen betreffende Geschichten. Besonders das sog. „Inversionsphänomen" zeigt uns, daß eine weitgehende Posthumität zwischen den Strukturen der germanotypen Kimmeriden und jenen der germanotypen Alpiden besteht. Die alpidischen Ereignisse haben vielfach die älteren Strukturen in ihren älteren Rollen wiederbelebt. Die Blattverschiebungen von Talasso-Ferghana, oder die Pressungsbecken Innerasiens bieten uns Beispiele solcher Fälle, die ich als vollständige Posthumität bezeichne. Anderswo habe ich solche vollständige posthume Strukturen als wiedererwachte Strukturen bezeichnet (ŞENGÖR, 1982e, 1987). Eine unvollständige Posthumität kann dadurch zustande kommen, daß die neuere Struktur zwar örtlich mit der älteren zusammenfällt, aber einen anderen, ja nicht selten dem der älteren Struktur entgegengesetzten Charakter aufweist. Das Inversionsphänomen stellt einen gut bekannten Typus der unvollständigen Posthumität in dem Sinne dar, daß ein ursprünglicher Graben, also eine Zerrungsstruktur, sich durch Inversion in eine Pressungsstruktur verwandelt; solche unvollständige posthume Strukturen, die die älteren „ersetzen", nenne ich Ersatzstrukturen.

Wir haben oben gesehen, daß die germanotypen Strukturen Asiens überhaupt meistens wiedererwachte und auch zum nicht geringen Teil Ersatzstrukturen sind. Wir haben ferner erkannt, daß die beiden Arten der Posthumität mit den Eigen-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

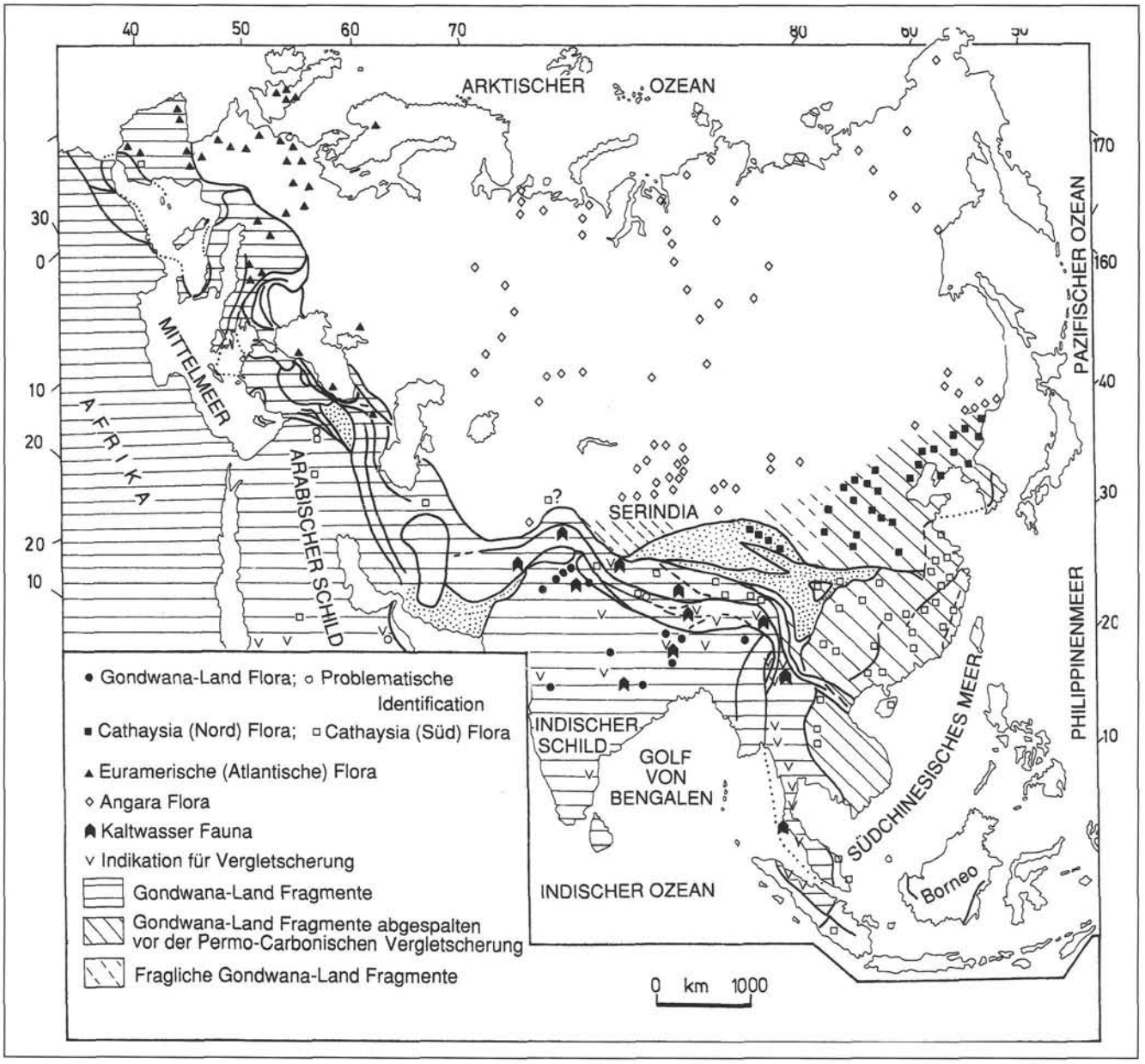


Abb. 100
Vereinfachte, schematische Darstellung jungpaläozoischer (Spätkarbon-Perm) Florenreiche Eurasiens und die Verteilung der Kaltwasserorganismen und Vergletscherungsspuren (nach ŞENGÖR et al., 1988, Fig. 14). Man beachte die überraschend gute Übereinstimmung der Bereichsgrenzen mit den Synaphien. Die Kaltwasserorganismen und die *Glossopteris* (Gondwana-Land)-Flora kennzeichnen das jungpaläozoische Gondwana-Land.

schaften der in Frage kommenden Strukturen viel weniger zu tun haben, als mit dem Verformungsfeld, in welchem die Struktur zu fungieren hat. Paßt eine gegebene Struktur in die Voraussetzungen des Deformationsfeldes, so kann sie als wiedererwachte Struktur ihr Leben unverändert fortsetzen; paßt nur deren Anlage, so kann sie in der selben Anlage aber als eine veränderte, die alte Struktur ersetzende Struktur fungieren; paßt sie überhaupt nicht in das neue Verformungsfeld, so muß sie einfach aufhören zu leben (fossilisiert werden) und von den reneganten Strukturen überlagert werden. Dieser Prozeß wirkt wie eine natürliche Selektion in der Erscheinungswelt der Tektonik und bestimmt, welche Strukturen am längsten zu leben haben, wobei die „Anpassungsfähigkeit" einzelner Strukturen der jeweiligen tektonischen Umwelt lediglich durch Zufall bestimmbar zu sein scheint.

Die weitgehende Posthumität, und insbesondere ihre vollständige Varietät hat in Asien zu fixistischen Theorien Anlaß gegeben, wobei behauptet wurde, daß die intrakratonischen Strukturen sehr lange Lebensdauer besitzen und sich durch beträchtliche Zeitintervalle hindurch durch wiederholte Tätigkeit bewahren. Man hat der Plattentektonik vorgeworfen, daß sie solche Strukturen nicht berücksichtige und besonders bei deren Erklärung versage. In diesem Vortrag haben wir aber gesehen, daß dies nicht der Fall ist. Die Plattentektonik erweist sich im Gegenteil vielleicht als die bisher erfolgreichste Theorie auch für die Erklärung der wiederholten posthumen Bewegungen Innerasiens, da sie solche Bewegungen ohne auf ad hoc Hilfshypothesen zurückgreifen zu müssen verständlich macht.

Man hat in Eurasien vier Typen von Wechselbeziehungen zwischen den kimmeridischen und alpidischen Strukturen beobachtet. Der erste Typus besteht aus der Überlagerung der alpinotypen kimmeridischen Strukturen von den alpinotypen alpidischen. In einem solchen Fall wird die Erkennung der

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

früheren Struktur und die Entzifferung ihrer Geschichte sehr schwierig, ja sogar nicht selten unmöglich; unter günstigen Bedingungen können nur unvollständige Spuren der älteren Struktur erkannt werden, die dann oft als Anzeichen der früheren alpidischen Entwicklung gedeutet zu werden pflegen oder ohne weiteres einem variszischen Zyklus zugeschrieben werden. Die Kimmeriden des balkanisch-anatolischen Raumes bieten uns für einen solchen Fall ein gutes Beispiel.

Der zweite Typus entsteht durch die Überlagerung einer alpinotypen kimmeridischen Struktur von einer germanotypen alpidischen. Eine solche Überlagerung läßt die ältere Struktur leicht erkennen, solange sie nicht unter der Sedimentfüllung der jüngeren verborgen liegt. Weite Gebiete der chinesischen Kimmeriden bieten uns für solche Fälle Beispiele.

Der dritte Typus kommt dadurch zustande, daß eine germanotype kimmeridische Struktur von einer alpinotypen alpidischen überlagert wird. Solche Fälle sind im Gelände auch oft schwer erkennbar und in wenigen bereits entzifferten Beispielen werden die früheren germanotypen Entwicklungsetappen der Kimmeriden oft zu der „rifting phase" der späteren alpinotypen Entwicklung der alpiden zugeschrieben, wie z. B. im Fall der zirkum-zentraliranischen Synaphien (Nr. 26, Abb. 93).

Schließlich haben wir die Übereinanderlagerung der germanotypen Strukturen. Dieses Phänomen erzeugt den Anschein langlebiger Strukturen, besonders wenn eine weitgehende Posthumität zwischen den jüngeren und den älteren Strukturen besteht. Daß dies bei den germanotypen Kimmeriden und Alpiden sehr oft der Fall war, erklärt sich daraus, daß ihre alpinotypen Anteile zum größten Teil koaxial waren. Übereinanderlagerung germanotyper Strukturen wird am besten im Dschunggar-Becken illustriert.

Somit wirkt diese sozusagen „verdoppelte" Geschichte der Tethys auch sehr irreführend, indem die frappanten Ähnlichkeiten zwischen der älteren und der jüngeren Geschichte den Anschein geben, es seien die früheren und die späteren Stadien eines einzigen durchlaufenden Zyklus. In diesem Lichte sehen wir nun, wie Forscher wie STILLE von dieser Sachlage zum falschen Schluß verführt worden sind, „daß die kimmerische... Tektonik nur den Anfang eines geotektonischen Ablaufes bedeutet, der sich mit wenig verändertem Grundplan in den nachfolgenden ‚alpidischen' Phasen fortsetzt und durch diese schließlich nur ergänzt wird" (STILLE, 1954, S. 5).

Aus demselben Grund ist auch das Paradoxon der Tethys entstanden, das wir durch die Anerkennung der „verdoppelten Geschichte der Tethys", also durch die Identifizierung innerhalb des Alpen-Himalaya-Systems zweier einander in erstaunlicher Weise ähnlichen WILSON'SCHEN Zyklen, endlich beseitigt haben.

Bei der Untersuchung der gewiß seltsamen verdoppelten Geschichte der Tethys sind wir zu einigen Resultaten gekommen, die auch für allgemeine Tektonik von beträchtlicher Bedeutung sein können. Sie seien im folgenden kurz erwähnt:

Erstens haben wir die verführerische Rolle der Dreiteilung der phanerozoischen orogenen Ereignisse in kaledonische, variszische und alpine gesehen, wie SUESS es schon 1909 geahnt hatte (SUESS, 1909, S. 40). Man spricht heute vielfach in der Literatur von den Voraussetzungen der Plattentektonik in Form einer kontinuierlichen orogenen Entwicklung der Lithosphäre, trägt aber diesem Folgesatz der Plattentektonik in der Praxis nicht genügend Rechnung und redet weiterhin von den kaledonischen oder herzynischen bzw. variszischen Ereignissen in der ganzen Welt. Wir haben es oben gesehen, wie schädlich diese Gewohnheit für unser Verständnis der Entwicklung des Alpen-Himalaya-Systems und der Tethys überhaupt gewesen ist. Wir müssen uns darum bemühen, uns endlich von dieser Gewohnheit zu befreien. Das Alter tektonischer Ereignisse gebe man lediglich mit der objektiven Terminologie der Stratigraphie an, und nicht mit hypothetischen Phasen. Die Hypothesen (besonders diejenigen der Gleichzeitigkeit der Gebirgsbildung auf der ganzen Erde), worauf sich die Phasenterminologie beruht, sind längst überholt. Termini wie Kimmeriden und Alpiden, die in diesem Vortrag benützt sind, wie auch die SUESS'SCHEN Kaledoniden oder Alpiden oder Altaiden, haben mit Alter nichts zu tun und weisen lediglich auf strukturelle und genetische Beziehungen hin (vgl. SUESS, 1909, S. 40, Anm. 1). Solche Termini sind also von Anfang an mit hypothetischen Modellen verbunden und dürfen diejenigen der Stratigraphie niemals ersetzen. In der Ära der Plattentektonik brauchen der Feldgeologe und der theoretische Tektoniker eine ganz präzise Stratigraphie und eine gleichfalls präzise stratigraphische Terminologie vielleicht viel mehr als früher.

Zweitens haben wir festgestellt, daß die Strukturen, die angeblich ihre Entstehung und Wiederbelebung den primären Vertikalbewegungen verdanken und mit verschiedenen hypothetischen „endogenen" Regimen verbunden und deren oberflächliche Ausdrücke sein sollen, eigentlich als Folge horizontaler Bewegungen der Lithosphäre entstehen. Solche Strukturen beeinflussen den unmittelbar unter ihnen liegenden Erdmantel und nicht umgekehrt. Die Entstehung wiedererwachter Strukturen ist die Folge der Übereinanderlagerung zweier gleichgerichteter und gleichsinniger Deformationsfelder, während die Ersatzstrukturen durch das örtliche Zusammenfallen gleichorientierter aber anderssinniger Deformationsfelder produziert werden. Aus sehr langlebigen Strukturen darf man also nicht auf ihren Fixismus bis in den Erdmantel hinab schließen.

Drittens haben wir anerkannt, daß dem Streichen ± parallel verlaufende große Horizontalverschiebungen vor- oder nachkollisionen Alters die Zahl und das endgültige Verteilungsbild der Suturen stark beeinflussen und bei der Entzifferung paläotektonischer und/oder paläogeographischer Beziehungen sehr verwirrend und verführend wirken können, was das Beispiel der nordamerikanischen Kordilleren auch bestätigt.

Viertens hat uns eingeleuchtet, daß die Entstehung großer Akkretionskomplexe (accretionary complexes) ozeanischen Mélangematerials und Flysches vom Songpan-Ganzi-Typus die Kontinente auch in den Kollisionsorogenen vom Himalaya-Typus erheblich erweitern können.

Zeigt das alles nicht, wie der große Eduard SUESS in seinem monumentalen *Antlitz der Erde* niederschrieb, daß im Namen *Tethys* tatsächlich eine ganze Vorstellungsweise der Vergangenheit und des Verhaltens unseres Planeten steckt? Mag der Seherblick des großen Meisters unsere Wege in der Erforschung unseres geliebten Planeten auch im dritten Jahrtausend weiter beleuchten.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

EINIGE NEUERE ALLGEMEINE REGIONALBESCHREIBUNGEN

BAUMGARTNER, P. O., O'DOGHERTY, L., GORICAN, S., URQUHART, E., PILLEVUIT, A. & DE WEVER, P., Hrsg., Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: Occurences, Systematics, Biochronology. – Mém. Géol. (Lausanne), 23, i-xxix+1-1073, Lausanne, 1995.

BEYDOUN, Z. R.: Arabian Plate Hydrocarbon Geology and Potential – A Plate Tectonic Approach. – AAPG Studies in Geology #33, i-ix+1-77, Tulsa, 1991.

BOSCHI, E., MANTOVANI, E. & MORELLI, A., Hrsg.: Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranan Region. – NATO ASI Series C, **402,** i-xix+1-422, (Kluwer), Dordrecht, 1993.

BURKE, K.: The African Plate, Alex. L. du Toit Memorial Lectures, No. 24. – S. Afr. J. Geol., **99,** 339-409, Pretoria, 1996.

CHANNELL, J. E. T., WINTERER, E. L. & JANSA, L. F., Hrsg.: Paleogeography and Paleoceanography of Tethys. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **87,** I-VII+1-501, (Elsevier), Amsterdam, 1991.

DERCOURT, J., RICOU, L.-E. & VRIELYNCK, B., Hrsg.: Atlas Tethys Palaeoenvironmental Maps. – 1-307+14 Karten + 1 Tafel, (Gauthier-Villars), Paris, 1993.

EMBRY, A. F., BEAUCHAMP, B., & GLASS, D. J., Hrsg.: Pangaea: Global Environments and Resources. – Canadian Soc. Petrol. Geol. Mem., 17, i-xii+1-982, Calgary, 1994.

ERLER, A., ERCAN, T., BINGÖL, E. & ÖRÇEN, S.: Geology of the Black Sea Region. – [I-V]+1-334, (General Directorate of Mineral Research and Exploration and Chamber of Geological Engineers), Ankara, 1995.

EXON, N. F., Hrsg., Thematic Issue: Geology of the Outer North West Shelf, Australia. – AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, **15,** 1-190, Canberra, 1994.

FINDLAY, R. H., UNRUG, R., BANKS, M. R. & VEEVERS, J. J., Hrsg.: Gondwana Eight, Assembly, Evolution and Dispersal. – I-XIII+1-623, (A. A. Balkema), Rotterdam, 1993.

HSÜ, K. J.: The Geology of Switzerland – An Introduction to Tectonic Facies. – i-xxv+1-250, Princeton (Princeton University Press), 1995. (Etwas kürzere deutsche Originalfassung: HSÜ, K. J. & BRIEGEL, U.: Geologie der Schweiz – Ein Lehrbuch für den Einstieg, und eine Auseinandersetzung mit den Experten. – [I-II]+1-219, Basel (Birkhäuser), 1991).

KARJAKIN, JU. W., Hrsg., Tektonika Azii: Programma i Tesissi Soweschanija. – 1-270 (Rossiskaja Akameija Nauk, GEOS), Moskwa, 1997.

KHAIN, V. E. & SESLAVINSKI, K. B.: Istoritscheskaja Geotektonika – Paläozoi. – 1-398, (Nedra), Moskwa, 1991.

KHAIN, V. E. & BALUCHOVSKI, A. N.: Istoritscheskaja Geotektonika – Mezozoi i Kainozoi. – 1-451, (Nedra), Moskwa, 1993.

LEVEN, E. J.: Permian Stratigraphy and Fusulinida of Afghanistan with Their Paleogeographic and Paleotectonic Implications. – Geol. Soc. America Spec. Pap., **316,** i-iv+1-134, 1997, Boulder.

MOORES, E. M. & FAIRBRIDGE, R. W., Hrsg.: Encyclopedia of European and Asian Regional Geology. – i-xxi+1-804, (Chapman & Hall), London, 1997.

NAIRN, A. E. M., RICOU, L.-E., VRIELYNCK, B. & DERCOURT, J., Hrsg.: The Ocean basins and Margins, v. 8, The Tethys Ocean. – i-xxii+1-530, (Plenum), New York, 1996.

LE PICHON, X.: La Géodynamique de la Méditerranée Orientale. – 1-113, (Cours du Xavier Le Pichon, Collège de France), Paris, 1996.

PILLEVUIT, A.: Les Blocs Exotiques du Sultanat d'Oman – Evolution Paléogéographique d'une marge passive flexurale. – Mém. Géol. (Lausanne), **17,** I-VI+1-249, 1993, Lausanne.

PURCELL, P. G. & PURCELL, R. R., Hrsg.: The Sedimentary Basins of Western Australia. – i-x+1-864, (Proceedings of Petroleum Exploration Society of Australia Symposium), Perth, 1994.

RAKUŞ, M., DERCOURT, J. & NAIRN, A. E. M., Hrsg., Evolution of the Northern Margin of Tethys, I. – Mém. Soc. géol. France, N. S., **154,** 1-244, Paris, 1988.

RAKUŞ, M., DERCOURT, J. & NAIRN, A. E. M., Hrsg., Evolution of the Northern Margin of Tethys, II. – Mém. Soc. géol. France, N. S., **154 (II),** 1-214, Paris, 1988.

RAKUŞ, M., DERCOURT, J. & NAIRN, A. E. M., Hrsg., Evolution of the Northern Margin of Tethys, III. – Mém. Soc. géol. France, N. S., **154 (III, pt. 1),** 1-220+13 Karten, Paris, 1990.

ROBINSON, A. G., Hrsg.: Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. – Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. **68,** i-vi+1-385, Tulsa, 1997.

RÖGL, F.: Palaeogeographic considerations for Mediterranean and Paratethys Seaways (Oligocene to Miocene). – Ann. Naturhist. Mus. Wien, **99A,** 279-310, 1998, Wien.

ROURE, F., HEITZMANN, P. & POLINO, R., Hrsg., Deep Structure of the Alps. – 1-350, Mém. Soc. géol. Fr., Paris, 156; Mém. Soc. géol. suisse, Zürich, 1; Vol. spec. Soc. Geol. It., Roma, 1., 1990.

SCHOLLE, P. A., PERYT, T. M. & ULMER-SCHOLLE, D. S., Hrsg.: The Permian of Northern Pangaea. – I (Paleogeography, Paleoclimates, Stratigraphy), I-VII+1-261, II (Sedimentary Basins and Economic Resources), I-VII+1-312, (Springer-Verlag), Berlin, 1995.

SIMMONS, M. D., Hrsg.: Micropalaeontology and Hydrocarbon Exploration in the Middle East. – British Micropalaeontological Society Publication Series, i-xii+1-418, (Chapman & Hall, London), 1994.

SINHA. A. K., SASSI, F. P. & PAPANIKOLAOU, D., Hrsg.: Geodynamic Domains in Alpine-Himalayan Tethys – A Publication of ICGP Project 276. – i-xv+1-441, Rotterdam (A. A. Balkema), 1997.

SMITH, A. G., SMITH, D. G. & FUNNELL, B. M.: Atlas of Mesozoic and Cenozoic Coastlines. – i-ix+1-99, (Cambridge University Press), Cambridge, 1994.

SOMMARUGA, A.: Geology of the Central Jura and the Molasse Basin: New Insight into an Evaporite-Based Foreland Fold and Thrust Belt. – Mém. Soc. Neuchâtel. Sci. Nat., XII, 1-176+9 Tafeln, Neuchâtel, 1997.

STEPHENSON, R. A., M. WILSON, DE BOORDER, H. & STAROSTENKO, V. I.: EUROPROBE: Intraplate Tectonics and Basin Dynamics of the Eastern European Platform. – Tectonophysics, **268,** I-X+1-309, (Elsevier), Amsterdam, 1996.

THÉVENIAUT, H.: Evolution de la Téthys Occidentale et de la Pangée au Trias. – 1-264, Unveröff. Diss. Univ. Paris VII, Paris, 1993.

TRELOAR, P. J. & SEARLE, M. P., Hrsg.: Himalayan Tectonics. – Geol. Soc. London Spec. Pub., 74, i-vii+[viii-ix]+1-630, London, 1993.

WESTERMANN, G. E. G., Hrsg.: The Jurassic of the Circum Pacific. – i-x+1-676, (Cambridge University Press), Cambridge, 1992.

WIEDMANN, J.: Cretaceous of the Western Tethys – Proceedings of the 3rd International Cretaceous Symposium Tübingen 1987. – I-XIV+1-1005, (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 1989.

YIN, A. & HARRISON, T. M. (Hrsg.): The Tectonic Evolution of Asia. – i-xii+1-666 (Cambridge University Press), Cambridge, 1996.

ZIEGLER, P. A.: Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Tethys. – Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 43, i-viii+1-198+30 Tafeln, Tulsa, 1988.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

ZITIERTE LITERATUR

ABENDANON, E. C.: Celebes en Halmahera. – Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen., 2, **27,** 1149-1172, Leiden, 1910.

ABENDANON, E. C.: Die Grossfalten der Erdrinde. – I-X+1-183, (E. J. Brill), Leiden, 1914.

ADAMS, F. D.: The Birth and Development of the Geological Sciences. – 1-506 (The Williams & Wilkins Company), Baltimore, 1938.

AGASSIZ, L.: Geological Sketches, v. 1. – i-iv+[v]+1-311, Boston (Ticknor and Fields) 1866.

AGRICOLA, G.: De Ortu et Causis Subterraneorum Libri V (Die Entstehung der Stoffe im Erdinnern). – In: FRAUSTADT, G. & PRESCHER, H., Georgius AGRICOLA Schriften zur Geologie und Mineralogie I, 83-187, Georgius AGRICOLA – Ausgewählte Werke. Gedenkausgabe des Staatlichen Museum für Mineralogie und Geologie zu Dresden, PRESCHER, H., Hrsg., (VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften), Berlin, 1544 [1956].

AGRICOLA, G.: De Natura Eorum quae Effluunt ex Terra Libri IV (Die Natur der aus dem Erdinneren Hervorquellenden Dinge). – In: FRAUSTADT, G. & PRESCHER, H., Georgius AGRICOLA Schriften zur Geologie und Mineralogie I, 226-319, Georgius AGRICOLA – Ausgewählte Werke. Gedenkausgabe des Staatlichen Museum für Mineralogie und Geologie zu Dresden, PRESCHER, H., Hrsg., (VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften), Berlin, 1545 [1956].

AGRIPPA, C.: Sopra la generatione de Venti, Baleni, Tuoni, Fulgori, Fiumi, Laghi, Valli & Montagne. – 1-47 (Bartholomeo Bonfadino & Tito Diani), Roma, 1584.

ALLEN, M. B., ŞENGÖR, A. M. C. & NATAL'IN, B.: Junggar, Turfan, and Alakol basins as Late Permian to ?Early Triassic sinistral shear structures in the Altaid orogenic collage, Central Asia. – Jour. Geol. Soc. London, **152,** 327-338, London, 1995.

ALLEMANN, F.: Time of emplacement of the Zhob Valley ophiolites and Bela ophiolites, Baluchistan (preliminary report). – In: DE JONG, K. A. & ABDUL FARAH, Hrsg., Geodynamics of Pakistan, 215-242 (Geological Survey of Pakistan) Quetta, 1979.

AMODIO-MORELLI, L., BONARDI, G., COLONNA, V., DIETRICH, D., GIUNTA, G., IPPOLITO, F., LIGUORI, V., LORENZONI, S., PAGLIONICO, A., PERRONE, V. PICCARRETA, G., RUSSO, M., SCANDONE, P. ZANETTIN, LORENZONI, E. & ZUPPETTA, A.: L'Arco Calabro-Peloritano nell'orogene Appenninico-Magrebide. – Mem. Soc. Geol. It., **17**, 1-60, Roma, 1979.

AMPFERER, O.: Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. – Jb. Geol. R.-A., **56,** 539-622, Wien, 1906.

AMPFERER, O.: Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen (1. Fortsetzung). – Jb. Geol. B.-A., **74,** 35-73, Wien, 1924.

AMPFERER, O.: Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen (2. Fortsetzung). – Jb. Geol. B.-A., **76,** 125-151, Wien, 1926.

AMPFERER, O.: Beiträge zur Auflösung der Mechanik der Alpen (3. Fortsetzung). – Jb. Geol. B.-A., **78,** 327-355, Wien, 1928.

AMPFERER, O. & HAMMER, W.: Geologischer Querschnitt durch die Ostalpen vom Allgäu zum Gardasee. – Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst., **61,** 531-710, Wien, 1911.

ANONYM: Symposium on the problem of oceanization in the western Mediterranean. – Verh. Konink. Nederlands geol. mijnbouw. Gen., **26,** 1-165, 1969.

ANONYM: Guidebook to South Tibet. – i-vi+1-104, Beijing (Academia Sinica), 1980.

ARGAND, E.: Sur la tectonique du massif de la Dent Blanche. – C. R. hébd. Acad. Sci. Paris. **142,** 527-529, 1906a.

ARGAND, E.: Sur la tectonique de la zone d'Ivrée et de la zone de Strona. – C. R. hébd. Acad. Sci. Paris. **142,** 666-668, 1906b.

ARGAND, E.: Contribution à l'histoire du géosynclinal piémontais. – C. R. hébd. Acad. Sci. Paris. **142,** 809-811, 1906c.

ARGAND, E.: L'exploration géologique des Alpes Pennines centrales. Dissertation présentée a la Faculté des Sciences de l'Université de Lausanne pour obtenir le grade de Docteur ès -sciences. – Bull. Soc. vaud. Sci. Natur., **45,** 217-276, 1909.

ARGAND, E.: Sur la répartition des roches vertes mesozoiques dans les Alpes Pennines avant la formation des plis couchés. – Arch. Sci. phys. natur. Genève, **31,** 575, 1911a.

ARGAND, E.: Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux. – Mat. Carte géol. Suisse, nouvelle série, **31,** 1-26, 1911b.

ARGAND, E.: Coupes géologiques dans les Alpes occidentales interprétées par Émile Argand, 1902-1911. Pl I: Les Nappes de recouvrement dans les Alpes occidentales et les territoires environnants. Essai de carte structurale, 1:500,000; Pl. II: Neuf coupes à travers les Alpes occidentales, 1:400,000; Pl. III: dasselbe ; Pl. IV: Les grands plis couchés dans les Alpes pennines, 1:500,000. Mat. Carte géol. Suisse, nouvelle série, **27,** 1912a.

ARGAND, E.: Phases de déformation des grands plis couchés de la zone pennique. – Bull. Soc. vaud. Sci. Natur. **48,** Procès-verbaux, 80-81, 1912b.

ARGAND, E.: Encore sur les phases de déformation des plis couchées de la zone pennique. – Bull. Soc. vaud. Sci. Natur. **48,** Procès-verbaux, 85-86, 1912c.

ARGAND, E.: Le rhytme de proplissement pennique et le retour cyclique des encapuchonnements. – Bull. Soc. vaud. Sci. Natur. **48,** Procès-verbaux, 87-88, 1912d.

ARGAND, E.: Sur la segmentation tectonique des Alpes occidentales. – Bull. Soc. vaud. Sci. Natur. **48,** 345-356, 1912e.

ARGAND, E.: Sur l'arc des Alpes ocidentales. – Eclog. Geol. Helvet., **14,** 145-191, 1916.

ARGAND, E.: Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagnes. – Actes Soc. helv. Sci. nat., **101,** 13-39, 1920.

ARGAND, E.: La tectonique de l'Asie. – Congr. géol. internat. 13e Sess. Belgique, 1re Fasc., 171-372, 1924.

ARGAND, E.: La zone pennique. – In: Guide géologique de la Suisse publié par la Société Géologique Suisse à l'occasion de son Cinquantenaire, Fasc. III Introductions générales, 149-189, Basel (Wepf & Cie.) 1934.

ARGYRIADIS, I.: Mésogée Permienne, Chaîne Hercynienne et Cassure Téthysienne. – Bull. Soc. géol. France, sér. 7, **17,** 56-67, Paris, 1975.

ARGYRIADIS, I.: Le Permien Alpino-Méditerranéen à la Charnière entre l'Hercynien et l'Alpin. – Unveröff. Diss. Univ. Paris-XI (Orsay), **I** (1,302), **II** (1-190), Paris, 1978.

ARKHANGELSKIJ, A. D.: Geologitscheskoje Stroennie SSSR, zapadnaja Tschast, Wipusk 2. – 427 Moskwa und Leningrad (ONTI NKTP) 1934.

ARLDT, T.: Handbuch der Palaeogeographie, **I:** Palaeaktologie. – 679, Leipzig (Gebrüder Borntraeger) 1919.

ARLDT, T.: Handbuch der Palaeogeographie, **II:** Palaeogeographie. – XIX + 681-1647, Leipzig (Gebrüder Borntraeger) 1922.

ASSMANN, J. Schöpfung. – In: HELCK, W. & E. OTTO (Hrsg.) Lexikon der Ägyptologie V, 678-690, Wiesbaden (Otto Harrassowitz) 1984.

AUTORENKOLLEKTIV: Die Schöpfungsmythen, 2. Ausgabe. – 267, Zürich (Benziger) 1991.

AVOUAC, J. P.: Application des Méthodes de Morphologie Quantitative à la Néotectonique. Modèle Cinématique des Déformations Actives en Asie Centrale. – Thèse d'Habilitation, Univ. Paris VII, nicht durchlaufend paginiert, Paris, 1992.

BADER, A.-G.: Déformation de la croûte océanique lors de la fermeture d'un bassin marginal. Exemple de la Mer des Moluques (Philippines-Indonésie). – 1-151+Annexes, Unveröff. Diss. Univ Paris VI, Paris, 1997.

BAGROW, L. (herausgegeben von R. A. SKELTON): History of Cartography. – 312, Cambridge (Harvard University Press) 1964.

BALL, V.: Memoir of the life and work of Ferdinand Stoliczka, Ph. D. – Scientific Results of the Second Yarkand Mission, 1-36, London (Eyre and Spottiswoode) 1886.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

BALLY, A. W: A geodynamic scenario for hydrocarbon occurrences. – Proc. World Petrol. Congr., **9,** 33-44, 1975.

BARKA, A. & AKYÜZ, S.: Guide Book International Field Trip to the North Anatolian Fault, 1-15 august, 1997. – 1-86+Appendices, (Eurasia Earth Science Institute, Istanbul Technical University), Istanbul, 1997.

BASSUOLET, J.-P., BOULIN, J., COLCHEN, M., MARCOUX, J., MASCLE, G. & MONTENAT, C.: L'évolution des domaines téthysiennes au pourtour du Bouclier indien du Carbonifère au Crétace. – Colloque C. 5, 26e Congr. géol. int., France, 180-197, Paris, 1980.

BECKER, G. F.: Summary of the geology of the Quicksilver deposits of the Pacific slope. – In: POWELL, J. W., Eighth Annual Report of the United States Geological Survey to the Secretary of the Interior 1886-'87, 965-985, Washington (Government Printing Office) 1889.

BELOUSSOV, V. V.: Why do I not accept plate tectonics? – EOS, **60,** 207-210, Washington, D. C., 1979.

BELOUSSOW, W. W.: Obschaja Geotektonika. – 599, Moskwa u. Leningrad (Gosudarstwennoe Isdatelstwo Geologtscheskoi Literaturi, Ministerstwa Geologii SSSR) 1948.

BELOW, A. A.: Tektonitscheskoie Raswitie Alpinskoi Skladtschatoi Oblassti v Paleozoe. – 211, Moskwa (Nauka), 1981.

BELYAEVSKY, N. A.: Tectonics of the northern part of the Pamir-Himalayan Syntaxis. – In: International Colloquium on Geotectonics of the Kashmir-Himalaya, Karakorum-Hindu Kush-Pamir Orogenic Belts, 29-42, Roma (Accademia dei Lincei), 1976.

VAN BEMMELEN, R. W.: Bidrage tot de Geologie der Betische Ketens in de Provincie Granada. – I-XII+1-176+5 Tafeln, (Technische Boekhandel en Drukkerij J. Waltman), Delft, 1927.

VAN BEMMELEN, R. W.: Kritische beschouwingen over geotektonische hypothesen: Natuurkundig Tijdschrift voor Nederlandsch Indië, **91,** 93-117, Bandoeng, 1931a.

VAN BEMMELEN, R. W.: De bicausaliteit der bodembewegingen: Natuurkundig Tijdschrift voor Nederlandsch Indië, **91,** 363-413, Bandoeng, 1931b.

VAN BEMMELEN, R. W.: Magma- und Krustenundationen (eine Ergänzung von Haarman's Oszillations-Theorie). Hand. 6e Ned. Ind. Natuurwet. Congr. Bandoeng, 1931, Geogr.-geol. sect., 645-653, Bandoeng, 1931c.

VAN BEMMELEN, R. W.: Ueber die möglichen Ursachen der Undationen der Erdkruste: Proc., kon. Akad. Wetensch., **35,** 392-399, Amsterdam, 1932.

VAN BEMMELEN, R. W.: Das Kräfteproblem in der Tektonik. – Proc. kon. Akad. Wetensch., **36,** 197-202, Amsterdam, 1933a.

VAN BEMMELEN, R. W.: Die Undationstheorie und ihre Anwendung auf die mittelatlantische Schwelle. – Zt. deutsch. geol. Ges., **85,** 762-780, Berlin, 1933b.

VAN BEMMELEN, R. W.: The undation theory of the development of the Earth's crust. – Report of XVI International Geological Congress **II,** 965-982, Washington, D. C., 1935.

VAN BEMMELEN, R. W.: The Geology of Indonesia, **IA** (General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagos) I+XXIV + 1+732, (Government Printing Office), The Hague, 1949.

VAN BEMMELEN, R. W.: Tectogenèse par gravité. – Bull. Soc. belge de Géol. Paléont. Hydrol., **64,** 95-123, 1955.

BENIOFF, H.: Seismic evidence for the fault origin of oceanic deeps. – Geol. Soc. America Bull., **60,** 1837-1856, New York, 1949.

BERIDZE, M. A.: Geosynklinalny Vulkanogenno-ossadotchny Litogenes. – 1-182, (Akad. Nauk, Grusinsky SSR) Tbilisi, 1984.

BERGER, H.: Die Geographischen Fragmente des Eratosthenes. – 393, Leipzig (Veit & Co.) 1880 (Nachdruck 1964 durch Meridian Publishing Co. Amsterdam).

BERLAGE, H. P., jun.: A provisional catalogue of deep-focus earthquakes in the Netherlands East Indies 1918-1936. – Gerlands Beitr. Geophy., **50,** 7-17, Leipzig, 1937.

BERNOULLI, D., BERTOTTI, G. & ZINGG, A.: Northward thrusting of the Gonfolite Lombarda („South Alpine Molasse") onto the Mesozoic sequence of the Lombardian Alps: Implications for the deformation history of the Southern Alps. – Eclog. Geol. Helvet., **82,** 841-856, Basel, 1989.

BERRY, W. B. N.: Growth of A Prehistoric Time Scale Based on Organic evolution, revised edition. – 202, Palo Alto (Blackwell Scientific Publications) 1987.

BERTRAND, M.: La chaîne des Alpes et la formation du continent Européen. – Bull. Soc. géol. France, série 3, **15,** 423-447, Paris, 1887.

BERTRAND, M.: Déformation tétraédrique de la Terre et déplacement du pole. – C. R. hébd. Acad. Sci. Paris., **130,** 449-464, Paris, 1900.

BIANCHI, A., CALLEGARI, E. & JOBSTRAIBIZER, P. G.: I Tipi Petrografici Fondamentali del Plutone dell'Adamello – Tonaliti-Quarzodioriti-Granodioriti e loro varietà leucocrate. – Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova, **27,** 148+13 Tav., Padova, 1970.

BIGNEL, H.: Abraham Gottlob Werner und seine Theorie der Gebirgsbildung. – Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Hohen Philosophischen Fakultät der Philipps-Universität zu Marburg, 126, Marburg (R. Friedrich's Universitäts-Buchdruckerei) 1934.

BIJU-DUVAL, B. & DERCOURT, J.: Les bassins de la Méditerranée orientale représentant-ils les restes d'un domaine océanique, la Mesogée, ouvert au Mésozoique et distinct de la Téthys? – Bull. Soc. géol. France, sér. 7, **22,** 43-60, Paris, 1980.

BIJU-DUVAL, B., DERCOURT, J. & LE PICHON, X.: From the Tethys ocean to the Mediterranean seas: A plate tectonic model of the evolution of the western Alpine System. – In: BIJU-DUVAL, B. & MONTADERT, L., Hrsg., Structural History of the Mediterranean Basins, 143-164, (Editions Technip), Paris, 1977.

BIRD, J. M. & DEWEY, J. F.: Lithosphere plate-continental margin tectonics and the evolution of the Appalachian orogen. – Geol. Soc. America Bull., **81,** 1031-1060, Boulder, 1970.

BITTNER, A.: Die neuesten Wandlungen in den modernsten Ansichten über Gebirgsbildung. – Verh. k.k. Geol. Reichsanst., **Jg. 1886,** 374-380, Wien, 1886.

BITTNER, A.: Über einige geotektonische Begriffe und deren Anwendung. – Jb. k.k. Geol. Reichsanst., **37,** 397-422, Wien, 1887.

BLEAU, J.: Onziéme Volvme de la Géographie Blaviane Contenant L'Asie, qvi est la IV. Partie de la Terre. – 1-243+1-211+j-xvj +1-44+[j-ji], Amsterdam, 1663, (nachgedruckt von Theatrvm Orbis Terrarum Ltd.), Amsteradm, 1963.

BLEICHER, G.: Essai de Géologie Comparée des Pyrénées, du Plateau Central et des Vosges – Thèse de Géologie présentée à la Faculté des Sciences de Strasbourg. – 106 + 4 Taf., Colmar (Camille Decker) 1870.

BLUNDELL, D., FREEMAN, R. & MUELLER, S. (Hrsg.): A Continent Revealed – The European Geotraverse, i-viii+1-275 (Cambridge University Press) Cambridge, 1992.

BORN, A.: Über Werden und Zerfall von Kontinentalschollen, In: SOERGEL, W. (Hrsg.) Fortschritte der Geologie und Paläontologie, **X (32),** 347-422, Berlin (Gebrüder Borntraeger) 1933.

BOTTONI, D.: Pyrologia Topographica, id est, de igne dissertatio juxta loca cum eorum descriptionibus. – 247, Napoli (D. A. Parrino & M. A. Mutius) 1692.

BOUÉ, A.: On the theory of the elevation of mountain chains, as advocated by M. Élie de Beaumont. – The Edinburgh New Phil. Jour., **21,** 123-150, 1836.

BOUSQUET, R., GOFFÉ, B., HENRY, P., LE PICHON, X. & CHOPIN, C.: Kinematic, thermal and petrological model of the Central Alps: Lepontine metamorphism in the upper crust and eclogitisation of the lower crust. – Tectonophysics, **273,** 105-127, Amsterdam, 1997.

BRADBURY, H. J. & NOLEN-HOEKSEMA, M. C.: The Lepontine Alps as an evolving metamorphic core complex during A-Type subduction: evidence from heat flow, mineral cooling ages and tectonic model. – Tectonics, **4,** 187-211, Washington, D. C., 1985.

BRAUD, J.: La Suture du Zagros au Niveau de Kermanshah (Kurdistan Iranien): Reconstitution paléogéographique, évolution géodynamique, magmatique et structurale. – Diss. Univ. Paris-Sud centre d'Orsay, 1-489, Paris, 1987.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

BROUWER, H. A.: Über Gebirgsbildung und Vulkanismus in den Molukken: Geol. Rundsch., **8,** 197-209, Leipzig, 1917.

BROUWER, H. A., Über die horizontale Bewegung der Inselreihen in den Molukken: Nachr. k. Gesell.Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., **Jg. 1920,** 172-173 Göttingen, 1920.

BRUNO, L. C.: The Tradition of Science. – 351, Washington D. C. (The Library of Congress) 1987.

VON BUCH, L.: Brief an A. von Pfaundler. – v. Leonhard's Mineral. Taschenb. **Jg. 1824,** 272-287, 1822a.

VON BUCH, L.: Ueber Dolomit als Gebirgsart. – Abh. phys. Kl. Akad. Wiss. **1822-1823 (1825),** 83-112, 1822b.

VON BUCH, L.: Ueber geognostische Erscheinungen im Fassathal. – v. Leonhard's Mineral. Taschenb. **Jg. 1824,** 343-396, 1824a.

VON BUCH, L.: Ueber die geognostischen Systeme von Deutschland. Ein Schreiben an den Geheimrath von Leonhard. – v. Leonhard's Mineral. Taschenb., **Jg. 1824,** 501-506 + 1 Taf., 1824b.

VON BUCH, L.: *Ueber die Verbreitung großer Alpengeschiebe.* – Pogg. Ann. Phys. Chem., **9,** 575-588, 1827.

BUCHER, W. H.: The pattern of the earth's mobile belts. – Jour. Geol., **32,** 265-290, Chicago, 1924.

BUCHER, W. H.: The Deformation of the Earth's Crust. – 1-518, Princeton (Princeton University Press) 1933.

DE BUFFON, [G.-L. L.] Comte: Histoire Naturelle Générale et Particulière, Supplément. – 5, i-viij+1-615+j-xxviij, (Paris), 1778.

BULL, A. J.: A hypothesis of mountain-building. – Geol. Mag., **58,** 364-367, Cambridge, 1921.

BULL, A. J.: *Some aspects of the mountain-building problem.* – Proc. Geol. Assoc., **38,** 146-156, London, 1927.

BULLARD, E. C., EVERETT, J. E., AND SMITH, A. G.: The fit of the continents around the Atlantic: Phil. Trans. R. Soc. London, **258A,** 41-51, London,1965.

BURCHFIEL, B. C.: Zwischengebirge. – In: SEYFERT, C. K. (Hrsg.), Encyclopedia of Structural Geology and Plate Tectonics, 846-848, New York (Van Nostrand Reinhold Company) 1987.

BURCHFIEL, B. C., CHEN, Z. L., HODGES, K. V., LIU, Y. P., ROYDEN, L. H., DENG, C. R. & XU, J. N.: The South Tibetan Detachment System, Himalayan Orogen: Extension Contemporaneous With and Parallel to Shortening in a Collisional Mountain Belt. – Geol. Soc. America, Spec. Pap., **269,** i-v+1-41, Boulder, 1992.

BURG, J.-P.: Tectogenèse comparée de Deux Segments de Chaîne de Collision: Le Sud du Tibet (Suture du Tsangpo), la Chaîne hercynienne en Europe (Sutures du Massif Central). – Diss. Univ. Sci. Tech. Languedoc, 280+annexes, Montpellier, 1983.

BURKHARD, M.: Déformation des calcaires de l'Helvétique de la Suisse occidentale (Phénomènes, mécanismes et interprétations tectoniques). – Rev. Géol. dyn. Géogr. phys., **27,** 281-301, Paris, 1986.

BURKHARD, M.: Horizontalschnitt des Helvetikums der Westschweiz auf 2500 m zwischen Mt. Blanc- und Aar-Massiv (Rawil-Depression). – Landeshydrogeologie und-geologie, Geologische Berichte **4,** 34 (Bundesamt für Umweltschutz), Bern, 1988.

BURKHARD, M.: Aspects of large-scale Miocene deformation in the most external part of the Swiss Alps (Subalpine Molasse to Jura fold belt). – Eclog. geol. Helvet., **83,** 559-583, Basel, 1990.

BURKHARDT, F. & S. SMITH: The Correspondance of Charles Darwin, Bd. 2 (1837-1843). – xxxiii + 603, Cambridge (Cambridge University Press) 1986.

BURNET, T.: The Theory of the Earth: Containing an Account of the Original Earth, and All the General Changes Which it hath already undergone, or is to undergo, till the Consummation of all Things. – [i-xiii]+1-224, (Walter Kettilby), London, 1684.

CAILLEUX, A.: Histoire de la Géologie. – 128, Paris (Presses Universitaires de France) 1968.

CALLEGARI, E. & DAL PIAZ, G.: Field Relationships Between the Main Igneous Masses of the Adamello Intrusive Massif. – Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova, **29,** 38+5 plates, Padova, 1973.

CAMPBELL, J.: The Mythic Image. – 552, Princeton (Bollingen Series C, Princeton University Press) 1974.

CARANDELL, J.: Las ideas tectonicas de Argand. – Conferencias y Reseñas Cientificas, Real Soc. Esp. Hist. Nat., **II** (2 & 3), 1-15 (Sonderabdruck Seiten repaginiert!), 1928.

CAREY, S. W.: The orocline concept in geotectonics – part I: The Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania, **89,** 255-288, 1955.

CAREY, S. W.: *The tectonic approach to continental drift.* – In: CAREY, S. W., convener, Continental Drift A Symposium, 177-358, Geology Department, University of Tasmania, Hobart, 1958.

CAREY, S. W.: The Expanding Earth: Developments in Geotectonics **10,** 1-488, Elsevier, Amsterdam, 1976.

CARLÉ, W. E. H.: WERNER, BEYRICH, VON KOENEN, STILLE. Ein Geistiger Stammbaum Wegweisender Geologen. – Geol. Jb., **A108,** 3-499, *Stuttgart,* 1988.

CAROZZI, A. V. (Übersetzer und Herausgeber): Telliamed or Conversations Between an Indian Philosopher and a French Missionary on the Diminution of the Sea by Benoît de Maillet. – i-x+[i-iv]+1-465, Urbana (University of Illinois Press), 1968.

CAROZZI, A. V.: Editor's Introduction. – in Tectonics of Asia by Emile Argand translated and edited by A. V. Carozzi, xiii+xxvi (Hafner), New York, 1977.

CHAMBERLIN, T. C. & SALISBURY, R. D.: Geology. – **1,** i-xix+1-654 (Henry Holt and Company), New York, 1904.

CHAMBERLIN, T. C. & SALISBURY, R. D.: Geology, second edition, revised. – **1,** i-xix+1-684 (Henry Holt and Company), New York, 1909.

CHOUBERT, B.: Recherches sur la gènese des chaînes paléozoiques et antécambriennes. – Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., **8,** 5-50, Paris, 1935.

CLARKE, J. M.: James Hall of Albany, Geologist and Palaeontologist. – 1-563, (Verlag nicht angegeben) Albany, 1921.

CLOOS, H.: Einführung in die Geologie. – I-XII+1-503, Berlin (Gebrüder Borntraeger), 1936.

COLEMAN, W.: Georges Cuvier, Zoologist. – 212, Cambridge (Harvard University Press) 1964.

CORNELIUS, H.-P.: Otto Ampferer. – Mitt. geol. Ges. Wien, **39-41,** 195-213, 1946-1948.

VON COTTA, B.: Der Innere Bau der Gebirge. – 76, Freiberg (J. G. Engelhardt) 1851.

COWARD, M. P., JAN, M. Q., REX, D., TARNEY, J., THIRLWALL, M. & WINDLEY, B.: Geo-tectonic framework of the Himalaya of N Pakistan. – Jour. Geol. Soc. London, **139,** 299-308, London, 1982.

CREDNER, H.: Elemente der Geologie, sechste Auflage. – I-XX+1-808, (Wilhelm Engelmann), Leipzig, 1887.

CRAWFORD, A. R.: The Indus suture line, the Himalaya, Tibet and Gondwanaland. – Geol. Mag., **111,** 369-383, Cambridge, 1974.

CUVIER, G.: Mémoire sur les espèces d'Eléphans tant vivantes que fossiles, lu à la séance publique de l'Institut national le 15 germinal, an IV. – Magasin encyclopédique, **2. année,** no.3, 440-445., *Paris,* 1796.

CUVIER, G.: Rapport de l'Institut National. Classe des Sciences Physiques et Mathématiques. – In: ANDRÉ (ohne Vorname), Théorie de la Surface Actuelle de la Terre, ou plutôt recherches impartiales sur le temps et l'agent de l'arrangement actuel de la surface de la terre, fondées, uniquement, sur les faits, sans systême et sans hypothèse, 315-336, Paris (Société Typographique) 1806.

CUVIER, G.: Recherches sur les Ossemens fossiles de Quadrupèdes, où l'on rétablit les Caractères de plusieurs Espèces d'Animaux que les Révolutions du Globe paroissent avoir détruites, Tome Premier. – Nicht durchgehend paginiert, Paris (Deterville) 1812.

CUVIER, G.: Discours sur les Révolutions de la Surface du Globe et sur les Changemens Qu'elles ont produits dans le Régne animal. – 400, Paris (Dufour et Ed. Ocagne) 1925.

CUVIER, G. & BROGNIART, A.: Essai sur la Géographie Minéralogique des Environs de Paris. – Jour. Mines, **23,** 421-458, Paris, 1808.

CUVIER, G. & BROGNIART, A.: Essai sur la Géographie Minéralogique des Environs de Paris, avec une carte géognostique et des coupes *de terrain.* – *i-viij* + 1-278, *2 Tafeln und Karte,* (Baudouin, Imprimeur de l'Institut Impérial de France), Paris, 1811.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

CUVIER, G. & BROGNIART, A.: Description Géologique des Environs de Paris, nouvelle édition, dans laquelle on a inserée la description d'un grand nombre de lieux de l'Allemagne, de la Suisse, de l'Italie, etc., qui présentent des terrains analogues a ceux du bassin de Paris. – I-VIII + [1 S. Errata] 1-428, 11 Tafeln, Karte, (G. Dufour et E. D'Ocagne), Paris, 1822.

CUVIER, G. and GEOFFROY [SAINT-HILAIRE, E.]: Sur les espèces d'Eléphans, par CC. Cuvier et Geoffroy. – Bull. Sci., Soc. Philomatique de Paris, série 1, **1,** 90, Paris, 1795 (1791-1799: April/Juli-Heft von 1795).

DACQUÉ, E.: Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. – 499, Jena (Gustav Fischer) 1915.

DANA, J. D. : Volcanoes of the Moon. – Am. Jour. Sci., Ser. 2, **2,** 335-355, New Haven, 1846.

DANA, J. D. : Observations on the origin of some of the earth's features. – Am. Jour. Sci., ser. 2, **42,** 205-253, New Haven, 1866.

DANA, J. D. : On some results of the Earth's contraction from cooling, including a discussion of the origin of mountains and the nature of the Earth's interior. – Am. Jour. Sci., Ser. 3, **5,** 423-443, **6,** 6-14, 104, 115, 171-171, New Haven, 1873.

DANA, J. D.: Manual of Geology Treating the Principles of the Science with special reference to American Geological History, third edition. – i-xiv+1-914+11plates+map, (Ivison, Blakeman, Taylor, and Co., Publishers), New York, 1880.

DANA, J. D.: Manual of Geology Treating the Principles of the Science with special reference to American Geological History, fourth edition. – 1-1087 + 1. American Book Co., New York, 1894.

DAVIS, G. A., BURCHFIEL, B. C., CASE, J. E. & VIELE, G. W.: A defense of an „old global tectonics". – In: KAHLE, C. F., Hrsg., Plate Tectonics – Assessments and Reassessments, Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. **23,** 16-23, Tulsa, 1974.

DEWEY, J. F.: Suture zone complexities: a review. – Tectonophysics, **40,** 54-67, Amsterdam, 1977.

DEWEY, J. F.: Suture. – In: SEYFERT, K. C., Hrsg., Encyclopedia of Structural Geology and Plate Tectonics, 775-783 (Van Nostrand Reinhold), New York, 1987.

DEWEY, J. F.: Extensional collapse of orogens. – Tectonics, **7,** 1123-1139, 1988, Washington, D. C.

DEWEY, J. F. & BIRD, J. M.: Mountain belts and the new global tectonics. – Jour. Geophys. Res., **75,** 2625-2647, Washington, D. C., 1970.

DEWEY, J. F. & BURKE, K. C. A.: Tibetan, Variscan and Precambrian basement reactivation: products of continental collision. – Jour. Geol., **81,** 683-692, Chicago, 1973.

DEWEY, J. F., PITMAN, W. C., III, RYAN, W. B. F. & BONNIN, J.: Plate tectonics and the evolution of the Alpine System. – Geol. Soc. America Bull., **84,** 3137-3180, Boulder, 1973.

DIENER, C.: Gedächtnisrede. – In: Gedenkfeier für Eduard Sueß. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **7,** 9-24, 26-32, Wien 1914.

DIENER, C.: Die Marinen Reiche der Triasperiode. – Denkschr. k. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., **92,** 405-549+Karte, Wien, 1916.

DIENER C.: Bau und Bild der Ostalpen und des Karstgebietes. – In: DIENER, C., R. HOERNES, F. E. SUESS, v. UHLIG, Bau und Bild Österreichs, 325-646, Wien (F. Tempsky) und Leipzig (G. Freytag), 1903.

DIETRICH, D. & CASEY, M.: A new tectonic model for the Helvetic nappes. – In: COWARD, M. P., DIETRICH, D. & PARK, R. G., Hrsg., Alpine Tectonics, Geol. Soc. London, Spec. Pub., **45,** 47-63, London, 1989.

DIETRICH, V.: Die Ophiolithe des Oberhalbsteins (Graubünden) und das Ophiolithmaterial der ostschweizerischen Molasseablagerungen, ein petrographischer Vergleich. – Dissertation, Europäische Hochschulschriften, **1,** 1-180, Bern, 1969.

DIETZ, R. S. & HOLDEN, J. C.: Reconstruction of Pangea: Breakup and dispersion of continents, Permian to present. – Jour. Geophys. Res., **75,** 4939-4955, Washington, D. C., 1970.

DILKE, O. A. W.: Greek and Roman Maps. – 224, London (Thames and Hudson) 1985.

DOBLAS, M. & OYARZUN, R.: Neogene extensional collapse in the western Mediterranean (Betic-Rif Alpine orogenic belt): Implications for the genesis of the Gibraltar arc and magmatic activity. – Geology, **17,** 430-433, Boulder, 1989.

DOGLIONI, C.: The overthrusts in the dolomites: ramp-flat systems. – Eclog. Geol. Helvet., **78,** 335-350, Basel, 1985.

DOGLIONI, C.: Tectonics of the Dolomites (Southern Alps, Northern Italy). – Jour. Struc. Geol., **9,** 181-193, Oxford, 1987.

DOGLIONI, C.: Anatomy of an overthrust. – Annales Tectonicæ, **4,** 68-82, Firenze, 1990.

DOGLIONI, C. & BOSSELINI, A.: Eoalpine and mesoalpine tectonics in the Southern Alps. – Geol. Rundsch., **76,** 735-754, Stuttgart, 1987.

DOTT, R. H., Jr.: The Geosyncline – First major geological concept „made in America". – In: SCHNEER, C. J. (ed.), Two Hundred Years of Geology in America, 239-264, Hanover (University Press of New England) 1979.

DOVILLÉ, H.: Sur la distribution géographique des rudistes, des orbitolines et des orbitoïdes. – Bull. Soc. géol. France, sér. 3, **28,** 222-235, Paris, 1900.

DUBOIS, G.: Emile Argand. – In: Naturalistes Neuchâtelois du XX Siècle, 99-100, (Cahiers de l'Institut Neuchâtelois, Ed. de la Baconnière), Neuchâtel, 1976.

DUFRÉNOY, A.: Mémoires sur les caractères particuliers que présente le terrain de craie dans le sud de la France, et principalement sur les pentes des Pyrénées. – In: DUFRÉNOY, [P.-A.] & L. ÉLIE DE BEAUMOT, Mémoires pour servir a une description géologique de la France, rédigé par ordre de M. le Directeur Général des Ponts et Chaussées et des Mines, sous la direction de M. BROCHANT DE VILLIERS, **2,** 1-151, 1834.

DUFRÉNOY, A.: Des formations crétacées dans le bassin sud-ouest. – In: DUFRÉNOY, A. & L. ÉLIE DE BEAUMOT, Explication de la carte Géologique de la France, Tome Troisième. – 1-22, Paris (Imprimerie Nationale) 1873.

DUFRÉNOY, A. & L. ÉLIE DE BEAUMONT: Explication de la Carte Géologique de la France, Tome Deuxieme. – XII + 813, Paris (Imprimerie Nationale) 1848.

DUHEM, P.: Le Système du Monde – Histoire des Doctrines cosmologiques de Platon à Copernic. – 1-442, Paris (Hermann), 1958.

DÜRR, S., RING, U. & FRISCH, W.: Geochemistry and geodynamic significance of North Penninic ophiolites from the Central Alps. – Schweiz. mineral. petrog. Mitt., **73,** 407-419, Zürich, 1993.

EINSTEIN, A.: Mein Weltbild – 210, Frankfurt a. M. (Ullstein) 1981.

EISBACHER, G. H.: Einführung in die Tektonik. – I-VIII+1-310, (Ferdinand Enke), Stuttgart, 1991.

ÉLIE DE BEAUMONT, L.: Faits pour servir a l'histoire des Montagnes de l'Oisans: Mémoires de la Société d'Histoire naturelle de Paris, V, 1-32 + 2 Tafeln, (Paris) 1829.

ÉLIE DE BEAUMONT, L.: Recherches sur quelques-unes des Révolutions de la surface du globe, présentant différens exemples de coïncidence entre le redressement des couches de certains systèmes de montagnes, et les changemens soudains qui ont produit les lignes de démarcation qu'on observe entre certains étages consécutifs des terrains de sédiment: Annales des Sciences Naturelles, **18,** 5-25, 284-417, **19,** 5-99, 177-240, Paris, 1829-1830.

ÉLIE DE BEAUMONT, L.: Recherches sur quelques-unes des Révolutions de la surface du globe, présentant différens exemples de coïncidence entre le redressement des couches de certains systèmes de montagnes, et les changemens soudains qui ont produit les lignes de démarcation qu'on observe entre certains étages consécutifs des terrains de sédiment: Revue Française, **15,** 1-58, Paris, 1830.

ÉLIE DE BEAUMONT, L.: Researches on some of the Revolutions which have taken place on the Surface of the Globe; presenting various Examples of the coincidence between the Elevation of Beds in certain Systems of Mountains, and the sudden Changes which have produced the Lines of Demarcation observable in certain Stages of the Sedimentary Deposits: Phil. Mag. Ann. Phil. [N. S.], **10,** 241-264, Edinburgh, 1831.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

ÉLIE DE BEAUMONT, L.: Observations sur l'étendue du système Tertiaire inférieur dans le nord de la France et sur les dépots de lignite qui s'y trouvent. – Mém. Soc. géol. France, **1** (Mém. n° 5), 107-121, Paris, 1833.

ÉLIE DE BEAUMONT, L.: Faits pour servir à l'histoire des Montagnes de l'Oisans. – In: DUFRÉNOY, [P-A.] & ÉLIE DE BEAUMONT, L., Mémoires pour Servir à une Description Géologique de la France, rédigé par ordre de M. le Directeur Général des Ponts et Chaussé et des Mines sous la direction de M. BROCHANT DE VILLIERS, **2,** 339-414, Paris (F. G. Levrault), 1834.

ÉLIE DE BEAUMONT, L.: Rapport sur un mémoire de M. Alcide d'Orbigny intitulé Considérations Générale sur la Géologie de l'Amerique Méridionale. – C. R. hébd. Acad. Sci., **17,** 1-39 (Separatabdruck repaginiert!), Paris, 1843.

ÉLIE DE BEAUMONT, L.: Systèmes de Montagnes. – In: D'ORBIGNY, C., Hrsg., Dictionnaire Universelle d'Histoire Naturelle, **12(I),** 167-311 (Renard, Martinet, Langlois et Leclerc, Victor Masson), Paris, 1848.

ÉLIE DE BEAUMONT, L.: Notice sur les Systèmes des Montagnes, **I** (1-528), **II** (529-1068), **III** (1069-1543), (P. Bertrand), Paris, 1852.

ELLENBERGER, F.: Quelques remarques historiques sur le concept de géosynclinal: C. R. hébd. Acad. Sci. Paris, **271,** 469-472, (Paris) 1970.

ELLENBERGER, F.: Histoire de la Géologie, **1,** 1-352, (Technique et Documentation – Lavoisier), Paris, 1988.

EMERSON, B. K.: The tetrahedral earth and zone of the intercontinental seas. – Bull. Geol. Soc. America, **11,** 61-96, New York 1900.

EMERY, K. O. & UCHUPI, E.: The Geology of the Atlantic Ocean. – i-xix+1-1050 (Springer Verlag) Berlin, 1984.

ENGLAND, P. & HOUSEMAN, G. A.: The mechanics of the Tibetan Plateau. – Phil. Trans. R. Soc. London **A 326,** 301-320, London, 1988.

EWING, M.: Papers read at International Union of Geodesy and Geophysics, ninth General Assembly, Brussels, 1951.

FALLOT, P.: Élie de Beaumont et l'évolution des sciences géologiques au Collège de France. – Annales des Mines, livraison d'Avril, 1939, 1-35 (Separatdruck), Paris, 1939.

FAUPL, P. & WAGREICH, M.: Cretaceous flysch and pelagic sequences of the Eastern Alps: correlations, heavy minerals, and palaeogeographic implications. – Cretaceous Research, **13,** 387-403, London, 1992.

FAUST, D.: The Limits of Scientific Reasoning. – 199, Minneapolis (University of Minnesota Press) 1984.

FENTON C. L. & FENTON, M. A.: Giants of Geology. – 333, Garden City (Doubleday) 1952.

FEYERABEND, P.: Against Method, revised edition. – i-viii+1-296, Verso, London, 1988.

FISCHER, J.: Clavdii Ptolemaei Geographiae Codex Vrbinas Graecvs 82 Phototypice Depictvs Consilio et Opera Cvratorvm Bibliothecae Vaticanae. – Codices e Vaticanis Selecti, **XVIIII, E.,** (Tomvs Prodromvs (de Cl.Ptolemaei Vita Operibvs Geographia Praesertim Eisvsque Fatis Pars Prior Commentatio) i-xvi+1-605 + [1], (Pars Prior Textvs [Facsimile des Manuskriptes] cvm appendice critica Pii Franchi de Cavalieri) 1-37 + [2] + 76 Tafeln, (Part Altera {Tabvlae Geographicae LXXXIII Graecae – Arabicae – Latinae e Codicivs LIII Selectae}) (J. Brill) Leiden und Otto Harrasowitz (Leipzig) 1932a.

FISCHER, J.: Introduction: in Geography of Claudius Ptolemy, 3-15, (New York Public Library), New York, (nachgedruckt 1991 von Dover Publications), New York, 1932b[1991].

FLÜGEL, H. W.: Zur Entwicklung der „Prototethys" im Paläozoikum Vorderasiens. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **10,** 602-610, Stuttgart, 1972.

FLÜGEL, H. W.: Die paläozoische Tethys: Fakten, Fiktionen, Fragen. – Mitt. österr. geol. Ges., **74/75,** 83-100, Wien, 1981.

FLÜGEL, H. W. & HUBMANN, B.: Paläontologie und Plattentektonik am Beispiel proto- und paläotethyder Korallenfaunen. – Jb. Geol. B. A., **136,** 27-37, Wien, 1993.

FORBES, E. & GODWIN-AUSTEN, R. A. C.: Natural History of European Seas. – London, 1859.

FRANK, W., GANSSER, A., TROMMSDORFF, V.: Geological Observations in the Ladakh Area (Himalayas). A preliminary Report. – Schweiz. Min. Pet. Mitt. **57,** 89-113, 1977.

FRANK, W., HÖCK, V. & MILLER, C.: Metamorphic and tectonic history of the central Tauern Fenster. – In: FLÜGEL, H. W. & FAUPL, P. (editors), Geodynamics of the Eastern Alps, 34-54, Deuticke, Wien, 1987.

FRECH, F. (Bearbeiter): Lethaea Geognostica, I. Theil. Lethaea palaeozoica. 2. Band. – 788, Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Nägele) 1897-1902.

FRECH, F. (Redaktor): Lethaea Geognostica (Handbuch der Erdgeschichte), II. Teil. Das Mesozoicum. 1. Band. Trias. – 623, Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (E. Nägele) 1903-1908.

FRISCH, W., RING, U., DÜRR, S., BORCHERT, S. & BIEHLER, D.: The Arosa Zone and Platta Nappe ophiolites (Eastern Swiss Alps): Geochemical characteristics and their meaning for the evolution of the Penninic Ocean. – Jb. Geol. B.-A., **137,** 19-33, Wien, 1994.

GANSSER, A.: Geology of the Himalayas. – 1-289 (Wiley), New York, 1964.

GANSSER, A.: The ophiolitic mélange: a world-wide problem on Tethyan examples. – Ecol. geol. Helvet., **67,** 479-507, Basel, 1974.

GANSSER, A.: Geology of the Bhutan Himalaya. – Denkschr. schweizer. naturforsch. Ges., **96,** 181, Basel, 1983.

GEIKIE, A.: The Founders of Geology, 2nd edition. – 486, London (Macmillan and Co.) 1905.

GIGNOUX, M.: Géologie Stratigraphique. – 588, Paris (Masson & Cie) 1926.

GIGNOUX, M.: Géologie Stratigraphique, quatrième édition, entièrement refondue. – 735, Paris (Masson & Cie) 1950.

GLANGEAUD, L.: Essai de classification géodynamique des chaînes et des phénomènes orogéniques (1re partie). – Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., (2)**1,** 200-220, Paris, 1957.

GLANGEAUD, L.: Les méthodes de la géodynamique et leurs applications aux structures de la Méditerranée occidentale. – Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., (2)**10,** 83-135, Paris, 1968.

GOHAU, G.: A History of Geology. – 259, New Brunswick and London (Rutgers University Press) 1990.

GOMPERZ, T.: Greek Thinkers. A History of Ancient Philosophy, v. 1. – 610, London (John Murray) 1901(1964).

GÖRÜR, N.: Timing of opening of the Black Sea basin. – Tectonophysics, **147,** 247-262, Amsterdam, 1988.

GÖRÜR, N.: Cretaceous syn- to postrift sedimentation on the southern continental margin of the western Black Sea. – In: ROBINSON, A. G. (Hrsg.), Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, Amer. Assoc. Petrol Geol. Mem. **68,** 227-240, Tulsa, 1997.

GÖTZINGER, G.: Otto Ampferer zur Erinnerung. – Verh. Geol. B.-A., **Jg. 1947,** 1-3, 1947.

GOULD, S. J.: Agassiz's marginalia in Lyell's *Principles*, or the perils of uniformity and the ambiguity of heroes. – In: COLEMAN, W. & LIMOGES, C., Hrsg., Studies in the History of Biology, Festschrift dedicated to Ernst Mayr on his 75th birthday,119-138, (The Johns Hopkins University Press), Baltimore, 1979.

GRABAU, A. W.: The Rythm of the Ages. – 561, Peking (H. Wetch) 1940 (unveränderter Nachdruck mit einer neuen Einführung von A. V. CAROZZI durch Krieger Publishing Co., Huntington, New York).

GRATZL, K. (Hrsg.): Die Heiligsten Berge der Welt. – 160, Graz (Verlag für Sammler) 1990.

GREEN, W. L.: Vestiges of the Molten Globe, as Exhibited in the Figure of the Earth, Volcanic Action and Physiography. – i-viii+1-5+ III Faltkarten, (Edward Stanford), London, 1875.

GREEN, W. L.: Vestiges of the Molten Globe – Part II. – The Earth's Surface Features and Volcanic Phenomena:, i-x+1-337+[1]+ 2 Falttafeln, (Hawaiian Gazette Publishing Co.), Honolulu, 1887.

GREENE, M. T.: Geology in the Ninetenth Century – Changing Views of a Changing World. – 1-324, Ithaca (Cornell University Press), 1982.

GREENE, M. T.: Alfred Wegener. – *Social Research*, **51,** 739-761, 1984.

© Österreichische
Geologische.Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

GREENE, M. T.: Natural Knowledge in Preclassical Antiquity. – 182, Baltimore & London (The Johns Hopkins University Press) 1992.

GREENLY, E.: The Geology of Anglesey. – Mem. Geol. Surv. Great Britain, **I,** i-xl+1-388, **II,** 389-980, London, 1919.

GRIGGS, D.: A theory of mountain building. – Am. Jour. Sci., **237,** 611-650, New Haven, 1939.

GRIGGS, D.: Discussion, Verhoogen. – Am. Geophys. Un. Trans., **35,** 93-96, Washington, D. C., 1954.

DE GUIGNES, [J.]: Allgemeine Geschichte der Hunnen und Türken, der Mogols und anderer occidentalischen Tartarn, vor und nach Christi Geburt bis auf jetzige Zeiten, ...übersetzt von J. C. DÄHNERT. – I, 40+616, (Anton Ferdinand Röse), Greifswald, 1768.

GULSEN, B. L. & KROGH, T. E.: Old lead components in the young Bergell Massif, Southeast Swiss Alps. – Contrib. Mineral. Petrol., **40,** 239-252, Berlin, 1973.

GUTENBERG, B. & RICHTER, C. F.: Depth and geographical distribution of deep-focus earthquakes. – Bull. Seism. Soc. America, **49,** 249-288, 1937.

GUTENBERG, B. & RICHTER, C. F.: Seismicity of the Earth. – Geol. Soc. America Spec. Pap., **34,** 1-131, New York, 1941.

GUTENBERG, B. & RICHTER, C. F.: Seismicity of the Earth II (Supplementary paper). – Geol. Soc. America Bull., **56,** 603-668, New York, 1945.

GUTHRIE, W. K. C.: A History of Greek Philosophy, **1** (The Earlier Presocratics and the Pythagoreans). – 539, Cambridge (Cambridge University Press) 1962.

GUYERDET, A.: Liste des travaux scientifiques de M. Élie de Beaumont. – Ann. Min., sér. 7, **8,** 298-317, Paris, 1875.

HAARMANN, E.: Die Oszillationstheorie – Eine Erklärung der Krustenbewegungen von Erde und Mond. – I-XII+1-260, Ferdinand Enke, Stuttgart, 1930.

HAARMANN, E.: Die Zeitlichkeit der Erdkrustenbewegungen. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Beilage-Bd. **71,** Abt. B, 48-87, Stuttgart, 1933.

HAHN, L.: The Indosinian orogeny in Thailand and adjacent areas. – Table Ronde „Paléogéographie de l'Inde, du Tibet et du Sud-Est asiatique: confrontation des données paléontologiques (faunes et flores continentales) avec les modèles géodynamiques", keine Seitenzahl, Paris, 1983.

HALL, J.: Direction of the currents of deposition and source of the materials of the older Palaeozoic rocks. – The Canadian Naturalist and Geologist and Proceedings of the Natural History Society of Montreal, **2,** 284-286 Montreal 1857a.

HALL, J. : On the direction of ancient currents of deposition and the source of materials in the older palaeozoic rocks,with remarks on the origin of the Appalachian chain of Mountains. – The Edinburgh New Philosophical Jour., **6** (New Series), 348-349, Edinburgh 1857b.

HALL, J.: General Geology. – In: HALL J. & J. D. WHITNEY, Report of the Geological Survey of the State of Iowa, **v. I,** part I: Geology, 35-44 published by the authority of the Legislature of Iowa 1858.

HALL, J.: Introduction. – In: HALL, J., Geological Survey of New York. Palæontology: volume III. ...Part I: Text., 1-96 (C. van Benthuysen), Albany, 1859.

HALL, J.: Contributions to the geological history of the American continent. – Proc. Am. Assoc. Adv. Sci., Thirty-first Meeting, 29-71 (Published by the Permanent Secretary, AAAS), Salem, 1883.

HALLAM, A.: Continental humid and arid zones during the Jurassic and Cretaceous. – Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., **47,** 195-223, Amsterdam, 1984.

HALLAM, A.: Great Geological Controversies, second edition. – i-ix+[ii]+1-244, (Oxford University Press), Oxford, 1989.

HANSEN, S. (Hrsg.): Mythen vom Anfang der Welt. – 447, Augsburg (Pattloch Verlag) 1991.

VON HAUER, F.: Die Geologie und Ihre Anwendung auf die Kenntniss der Bodenbeschaffenheit der Österr.-Ungar. Monarchie, zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. – (Alfred Hölder), Wien, 1878.

HAUG, E.: Les Chaînes Subalpines entre Gap et Digne. Contribution à l'Histoire géologique des Alpes françaises (Thèse). – Bull. Serv. Carte géol. France, **3(21),** 1-197, 1891.

HAUG, E.: L'origine des Préalpes Romandes et les zones de sédimentation des Alpes de Suisse et de Savoie. – Arch. d. Sc. phys. et nat., 3e pér., **32,** 154-173, 1894.

HAUG, E.: Les Géosynclinaux et les aïres continentales. Contribution à l'étude des transgressions et regressions marines. – Bull. Soc. géol. France, **(3)28,** 617-711, 1900.

HAUG, E.: Les géosynclinaux de la chaîne des Alpes pendant les temps secondaires. – C. R. hébd. Acad. Sci. Paris, **148,** 1637-1639, 1909.

HAUG, E.: Traité de Géologie, **1** (Les Phénomènes géologiques). – 538, Paris (Librairie Armand Colin) 1907.

HAUG, E.: Traité de Géologie, **2** (Les Periodes géologiques). – I (539-928), II (929-1396), III (1397-2024), Paris (Armand Colin) 1911.

HAUG, E.: Contribution à une synthèse stratigraphique des Alpes occidentales. – Bull. Soc. géol. France, **(4)25,** 97-243, 1925.

HEEZEN, B. C.: The rift in the ocean floor. – Sci. Am., **203,** 98-110, 1960.

HEEZEN, B. C. & FORNARI, D. J.: Océan Pacifique/Pacific Ocean. – In: Atlas Géologique de Monde/Geological World Atlas, Blatt 20 (1/36 000 000), Paris (C. G. M. W. – UNESCO), 1976.

HEIM, A.: Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die Geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe. – **I,** I-XIV+1-346, **II,** [I]+1-246, Atlas, I-XVII Tafeln, Basel (Benno Schwabe), 1878.

HEIM, A.: Geologie der Schweiz, Bd. 2, erste Hälfte. – 476, Leipzig (Hermann Tauchnitz) 1921[1].

HEMPTON, M. R.: Structure and deformation history of the Bitlis suture near Lake Hazar, southeastern Turkey. – Geol. Soc. America Bull., **96,** 233-243, Boulder, 1985.

HERITSCH, F.: Das Mittelmeer und die Krustenbewegungen des Perm. – Wissenschaftliches Jahrbuch der Universität Graz, **1,** 305-338, 1940.

HESS, H. H.: History of ocean basins. – In: ENGEL, A. E. J., JAMES, H. L. & LEONARD, B. F., Hrsg., Petrologic Studies: A Volume in Honor of A. F. Buddington, 599-629, (Geol. Soc. America), 1962.

VAN HISE, C. R.: A Treatise on Metamorphism: Monographs of the United States Geological Survey, **47** 1-1286, (58th Congress, *2nd Session*, House of Representatives, Document No. 753), Washington, D. C., 1904.

VON HOCHSTÄTTER, F.: Die Erde nach Ihrer Zusammensetzung, ihrem Bau und Ihrer Bildung. – I-VIII+1-195, (F. Tempsky), Prag, 1875.

HÖCK, V.: Mesozoic ophiolites and non-ophiolitic metabasites in the central part of the Tauern Window (Eastern Alps, Austria). – Ofioliti, **8,** 103-126, Firenze, 1983.

HÖLDER, H.: Geologie und Paläontologie in Texten und ihrer Geschichte. – 566, Freiburg/München (Karl Alber) 1960.

HOLMES, A.: The Age of the Earth. – 1-196, London and New York (Harper & Brothers), 1913.

HOLMES, A.: Contributions to the theory of magmatic cycles. – Geol. Mag., **63,** 306-329, 1926.

HOLMES, A.: Some problems of physical geology and the Earth's thermal history. – Geol. Mag., **64,** 263-278, London, 1927.

HOLMES, A.: Radioactivity and Earth movements. – Trans. Geol. Soc. Glasgow, **18,** 559-606, 1928.

HOLMES, A.: A review of the continental drift hypothesis. – The Mining Mag., **40,** 205-209, London, 1929.

[1] HEIMS Geologie der Schweiz wurde in getrennten Lieferungen herausgegeben. Die hier zitierte Lieferung ist Nr. 5 und trägt das Datum 1920.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

HOLMES, A.: Principles of Physical Geology, 2nd edition, completely revised. – I-XV+1-1288 (Nelson), London, 1965.

HOMEWOOD, P.: Palaeogeography of Alpine Flysch. – Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol., **44,** 169-184, Amsterdam, 1983.

HONEGGER, K.: Strukturen und Metamorphose im Zanskar Kristallin (Ladakh-Kashmir, INDIEN). – Diss. ETH Nr. **7456,** 117, Zürich, 1983.

HONEGGER, K., DIETRICH, V., FRANK, W., GANSSER, A., THÖNI, M. & TROMMSDORF, V.: Magmatism and metamorphism in the Ladakh Himalayas (the Indus-Tsangpo suture zone). – Earth Planet. Sci. Lett., **60,** 253-292, Amsterdam, 1982.

HOWELL, D.: Mesozoic accretion of exotic terranes along the New Zealand segment of Gondwanaland. – Geology, **8,** 487-491, Boulder, 1980.

HSÜ, K. J.: Tectonic evolution of the Mediterranean basins. – In: NAIRN, A. E. M., KANES, W. H. & STEHLI, F. G., Hrsg., The Ocean Basins and Margins, 4A, The Eastern Mediterranean, 29-75, (Plenum), New York, 1977.

HSÜ, K. J.: Thin-skinned plate tectonic model for collision-type orogenesis. – Scientia Sinica, **24,** 100-110, Beijing, 1980.

HSÜ, K. J., LI J. L., CHEN H. H., WANG Q. C., SUN S., ŞENGÖR, A. M. C.: Tectonics of South China: Key to understanding of west Pacific geology. Tectonophysics, **183,** 9-39, Amsterdam, 1990.

DE HUMBOLDT, A.: Essai Géognostique sur le Gisement des Roches dans les Deux Hémisphères. – j-viij+1-379, (F. G. Levrault), Paris, 1823.

VON HUMBOLDT, A.: A. v. Humboldt's Fragmente einer Geologie und Klimatologie Asiens aus dem Französischen mit Anmerkungen, einer Karte und einer Tabelle vermehrt von Julius Loewenberg. – 1-272, (J. A. List), Berlin, 1831[1832].

DE HUMBOLDT, A.: Asie Centrale – Recherches sur les Chaînes des Montagnes et la Climatologie Comparée. – **1,** 1-571, (Gide), Paris, 1843a.

DE HUMBOLDT, A.: Asie Centrale – Recherches sur les Chaînes des Montagnes et la Climatologie Comparée. – **2,** 1-558, (Gide), Paris, 1843b.

DE HUMBOLDT, A.: Asie Centrale – Recherches sur les Chaînes des Montagnes et la Climatologie Comparée. – **3,** 1-614+[2]+Karten, (Gide), Paris, 1843c.

IANCHIN, A. & GARETSKI, R.: The Turan plate. – In: BOGDANOFF, A. A., MOURATOV, M. V. & SCHATSKY, N. S., Hrsg., Tectonics of Europe. Expl. Note to Int. Tectonic Map of Europe, scale 1:2,500,000, 132-137, (Nauka), Moscow, 1964.

ISHIWATARI, A.: Alpine ophiolites: product of low-degree mantle melting in a Mesozoic transcurrent rift zone. – Earth Planet Sci. Lett., **76,** 93-108, Amsterdam, 1985/86.

JACOBS, J. A., RUSSEL, R. D. & WILSON, J. T.: Physics and Geology. – i-xii+1-424, New York (McGraw-Hill Book Company) 1959.

JACOBSHAGEN, V., RISCH, H. & ROEDER, D.: Die eohellenische Phase, Definition und Interpretation. – Zeitschr. deutsch. Geol. Ges., **127,** 133-145, Hannover, 1976.

JEFFREYS, H.: The Earth – Its Origin, History and Physical Constitution. – i-ix+[i]+1-278, (At the University Press), Cambridge, 1924.

JEFFREYS, H.: On Professor Joly's theory of earth history. – Phil. Mag., **i,** 923-931, Cambridge, 1926.

JEFFREYS, H.: On the Earth's thermal history and some related geological phenomena. – Gerlands Beitr. Geophy., **18,** 1-29, 1927.

JEFFREYS, H. Earthquakes and Mountains. – 183, London (Methuen) 1935.

JOLY, J.: Radioactivity and Geology. An Account of the Influence of Radioactive Energy on Terrestrial History. – 287, London (Archibald Constable & Co., Ltd.) 1909.

JOLY, J.: The Surface-History of the earth. – 192, Oxford (at the Clarendon Press), 1925.

KAHLER, F.: Verbreitung und Lebensdauer der Fusuliniden-Gattungen *Pseudoschwagerina* und *Paraschwagerina* und deren Bedeutung für die Grenze Karbon/Perm. – Senckenbergiana, **21,** 169-215, Frankfurt am Main, 1939.

KAHN, C. H.: Anaximander and the Origins of Greek Cosmology. – 250, New York (Columbia University Press) 1960.

DE KARAMYSCHEW, A., Dissertatio Academica Demonstrans Necessitatem Promovendae Historiae Naturalis in Rossia, cujus Partem Primam Cons. Experient. 1-34+1-10, (Fac. Med. ad Acad. Upsal. Præside ...D:no Doct. Carolo v. Linne): Upsaliae, 1764.

KAYSER, E.: Text Book of Comparative Geology, translated and edited by Philip Lake. – i-xii+1-426, London (Swan Sonnenschein & Co.), 1893.

KAYSER, E.: Lehrbuch der Allgemeinen Geologie, zweite Auflage. – I-XII+1-725, Stuttgart (Ferdinand Enke), 1905.

KEMPLER, D.: Tectonic Patterns in the Easternmost Mediterranean. – Unveröff. Diss. Hebrew Universität, 137+11, Jerusalem 1994.

KEMPLER, D. & GARFUNKEL, Z.: The northeast Mediterranean triple junction from a plate kinematic point of view. – Bull. Tech. Univ. Istanbul (Ketin-Festschrift), **44,** 425-454, Istanbul, 1991.

KETIN, I.: Tectonic units of Anatolia. – Bull. Min. Res. Expl. Inst. Turkey, **66,** 23-34, Ankara, 1966.

KIRCHER, A., S. J.: Mundus Subterraneus in XII Libros digestus; etc. – **I,** [I-XXX]+1-340+[1-6], (Joann Janssonius & Elizeus Weyerstraten), Amstelodami, 1665.

KIRK, G. S.: The Nature of Greek Myths. – 332, London (Penguin Books) 1974.

VON KLEBELSBERG, R.: Otto Ampferer 1875-1947. – Berge und Heimat. – **3. Jg.,** 85-87, Wien, 1948.

KLEBERGER, J., SÄGMÜLLER, J. J. & TICHY, G.: Neue Fossilfunde aus der mesozoischen Schieferhülle der Hohen Tauern zwischen Fuschertal und Wolfbachtal (Unterpinzgau/Salzburg). – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **10,** 275-288, Innsbruck, 1981.

KOBER, L.: Die Bewegungsphänomene der festen Erdrinde. – Mitt. naturw. Ver. Univ. Wien., **9,** 67-68, Wien, 1911.

KOBER, L.: Die Bewegungsrichtung der alpinen Deckengebirge des Mittelmeeres: Petermann's Geographische Mitteilungen, **60,** 1. Halbband, 250-256, Tafeln 36 and 37, Leipzig, 1914a.

KOBER, L.: Alpen und Dinariden. – Geol. Rundsch. **5,** 175-204, Leipzig, 1914b.

KOBER, L.: Der Bau der Erde: I-II+1-324+Tafel (Gebrüder Borntraeger), Berlin, 1921.

KOBER, L: Das Werden der Alpen. – [II]+1-86+Tafeln (G. Braun), Karlsruhe, 1927.

KOBER, L.: Der Bau der Erde, zweite neubearbeitete und vermehre Auflage. – I-II+1-500+Tafel (Gebrüder Borntraeger), Berlin, 1928.

KOBER, L.: Das Alpine Europa und sein Rahmen – Ein geologisches Gestaltungsbild. – 1-310, Berlin (Gebrüder Borntraeger), 1931.

KOBER, L.: Das Weltbild der Erdgeschichte. – I-VIII+1-160, Karte, (Gustav Fischer), Jena, 1932.

KOBER, L.: Tektonische Geologie. – I-VIII+1-492+4 Tafeln, (Gebrüder Borntraeger), Berlin, 1942.

KOSSMAT, F.: Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtszustande der Erdrinde. – Abh. math.-phys. Kl. Sächs. Akad. Wiss., **38,** 1-62, 1920.

KRAUS, E.: Der orogene Zyklus und seine Stadien. – Centralblatt f. Min. Geol. Paläont., **Jg. 1927,** Abt. B, 6, 216-233, Stuttgart, 1927.

KRAUS, E.: Der Abbau der Gebirge. **I:** Der alpine Bauplan. – 352, Berlin (Gebrüder Borntraeger) 1936 (alles Erschienene).

KRAUS, E.: Vergleichende Baugeschichte der Gebirge. – XVI+587, Berlin (Akademie-Verlag) 1951a.

KRAUS, E.: Die Baugeschichte der Alpen. I. Teil: Vom Archaikum bis zum Ende der Kreide. II. Teil: Neozoikum. – XII+552 (I), VIII+489 (II), Berlin (Akademie-Verlag) 1951b.

KRAUS, E.: Die Entwicklungsgeschichte der Kontinente und Ozeane, 2., ergänzte und verbesserte Auflage. – XIII+429, Berlin (Akademie-Verlag) 1971.

KROPOTKIN, P.: Gegenseitige Hilfe in der Tier- und Menschenwelt. – 318, Leipzig (Theodor Thomas Verlag) 1920.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

KUENEN, P. H.: The Snellius Expedition in the Eastern Part of the Netherlands East-Indies 1929-1930 under the Leadership df P. M. van Riel ...**5,** Geological Results, part I, Geological Interpretation of the Bathymetric Results. – 1-124, Utrecht (Kemink en Zoon N. V.), 1935.

KÜHN, O.: Melchior Neumayr. Der größte Paläontologe seiner Zeit. – In: F. KNOLL (Hrsg.), Österreichische Naturforscher, Ärzte und Techniker, 75-77, Wien (Verlag der Gesellschaft für Natur und Technik) 1957.

KUHN, T. S.: The Structure of Scientific Revolutions, second edition, enlarged. – i+xii+1-210, (The University of Chicago Press), 1970.

KUHN, T. S.: The Essential Tension. – i-xxiii+1-366, (The University of Chicago Press), 1977.

KUMMEL, B.: History of the Earth, 2nd edition. – 707, San Francisco (W. H. Freeman and Company) 1970.

LAKATOS, I.: Falsification and the methodology of scientific research programmes. – In: LAKATOS, I. & A. MUSGRAVE (eds.), Criticism and the Growth of Knowledge, 91-196, Cambridge (Cambridge University Press), 1974.

DE LAPPARENT, A.: Traité de Géologie. – I-XVI+1-1280 (F. Savy), Paris, 1883.

DE LAPPARENT, A.: Traité de Géologie, cinquième édition, refondue et considérablement augmentée. – **III,** 1289-2014+1, (Masson et Cie.), Paris, 1906.

LASKAREV, V. D.: Sur les équivalents du Sarmatien Supérieur en Servie. – 73-85, Recueil des Travaux Offert à M. Cvijic, Belgrade, 1924.

LAUDAN, R.: Oceanography and geophysical theory in the first half of the Twentieth Century: The Dutch School. – In: SEARS, M. & D. MERRIMAN (eds.) Oceanography: The Past, 656-666, New York (Springer Verlag) 1980.

LAUDAN, R.: From Mineralogy to Geology. Foundations of A Science, 1650-1830. – 278, Chicago and London (The University of Chicago Press) 1987.

DE LAUNAY, L.: La Science Géologique. Ses méthodes, ses résultats – ses problèmes, son histoire: 1-751, (Armand Colin), Paris, 1905.

LELOUP, P. H., HARRISON, T. M., RYERSON, F. J., CHEN W. J., LI, Q., TAPPONNIER, P. & LACASSIN, R.: structural, petrological and thermal evolution of a Tertiary ductile strike-slip shear zone, Diancang Shan, Yunnan. – Jour. Geophy. Res., **98,** 6715-6743, Washington, D. C., 1993.

LEWIS, A. D. & SMEWING, J. D.: The Montgenevre ophiolite (Hautes Alpes, France): Metamorphism and trace-element geochemistry of the volcanic sequence: Chemical Geology, **28**, 291-306, Amsterdam, 1980.

LINDEMANN, B.: Die Erde – Geologische Kräfte. – I-XI+1-408+26 Fossiltafeln, (Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde), Stuttgart, 1912.

LONGWELL, C. R. : Herschel's view of isostatic adjustment. – Am. Jour. Sci., **16,** 451-454, New Haven, 1928.

LORENZ, K.: Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens. – 1-318, (Deutscher Taschenbuch Verlag), München, 1987.

LÖWL, F.: Geologie: In: KLAR, M. (Hrsg.), Die Erdkunde, Eine Darstellung ihrer Wissensgebiete, ihrer Hilfswissenschaften und der Methode ihres Unterrichtes, XI. Teil, 1-332 (Franz Deuticke), Leipzig und Wien, 1906.

LUGEON, M.: Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. – Bull. Soc. géol. France, sér. 4, **1,** 723-825, 1902.

LUGEON, M.: Emile Argand. – Bull. Soc. neuchâtel. Sci. Nat., **65,** 25-53+Portrait, Neuchatel, 1940.

LUGEON, M. & ARGAND, E.: Sur les homologies dans les nappes de recouvrement de la Zone du Piémont. – C. R. hébd. Acad. Sci., **140,** 1491-1493, Paris, 1905a.

LUGEON, M. & ARGAND, E.: Sur les grandes nappes de recouvrement de la Zone du Piémont. – C. R. hébd. Acad. Sci., **140,** 1364-1367, Paris, 1905b.

LUGEON, M. & ARGAND, E.: Sur les grandes phénomènes de charriage en Sicile. – C. R. hébd. Acad. Sci., **142,** 966-968, Paris, 1906a.

LUGEON, M. & ARGAND, E.: Sur la nappe de recouvrement de la Sicile. – C. R. hébd. Acad. Sci., **142,** 1001-1003, Paris, 1906b.

LUGEON, M. & ARGAND, E.: La racine de la nappe sicilienne et l'arc de charriage de la Calabre. – C. R. hébd. Acad. Sci., **142,** 1107-1109, Paris, 1906c.

LUTAUD, L.: Émile Haug. – Bull. Soc. géol. France, sér. 6, **8,** 377-396, Paris 1958.

LYELL, Sir C.: Principles of Geology. – **1,** i-xv+1-511, (John Murray) London, 1830.

LYELL, Sir C.: Principles of Geology. – **2,** i-xii+1-330, (John Murray), London 1832.

DE MAILLET, B.: Telliamed or Conversations Between an Indian Philosopher and a French Missionary on the Diminution of the Sea. – 465, Urbana (translated and edited by A. V. CAROZZI; University of Illinois Press) 1968 (französiche Originalausgabe 1740).

MAKRIS, J. & STOBBE, C.: Physical properties and state of the crust and upper mantle of the Eastern Mediterranean sea deduced from geophysical data. – Marine Geology, **55,** 347-363, Amsterdam, 1984.

MALPAS, J. & TALKINGTON, R. W. (Hrsg.): Ophiolites of the Canadian Appalachians and Soviet Urals. – Memorial University of Newfoundland Department of Geology Report No. **8,** Contribution to I. G. C. P. Project 39, 161, St. John's, 1979.

MANN, U.: Überall ist Sainai. Die heiligen Berge der Menschheit. – 245, Freiburg i. Br. (Aurum Verlag), 1988.

MANNERT, C.: Tabula Itineraria Peutingeriana primum aeri incisa et edita a Franc. Christoph. de Scheyb MDCCLLII denuo cum codice vindoboni collata, emendata et nova Conradi Mannerti introductioni instructa, studio et opera Academiae Literarum Regiae Monacensis. – 63+XII Tabulae, Lipsiae (Hahn) 1824.

MARCOU, J.: Lettres sur les Roches du Jura et leur Distribution Géographique dans les Deux Hémispheres. – 364+63+2 Taf., Paris (Friedrich Klincksieck) 1857-1860.

DE MARGERIE, E.: La Géologie. – In: La Science Française, 68, Paris (Librairie Larousse) 1915.

MASSON, H., HERB, R. & STECK, A.: Helvetic Alps of Western Switzerland. – Geology of Switzerland, A Guide-Book, 109-153 (Wepf & Co.) Basel, 1980.

MATHER, K. F. & S. H. MASON: A Source Book in Geology. – 702, New York und London (McGraw-Hill Book Company) 1939.

MAXWELL, J. C.: The Mediterranean, Ophiolites, and Continental Drift. – In: JOHNSON, H. & B. L. SMITH (eds.) The Megatectonics of Continents and Oceans, 167-193, New Brunswick (Rutgers University Press) 1970.

MELCHIOR, P. (Hrsg.): Seismic Activity in Western Europe with Particular Consideration to the Liège Earthquake of November 8, 1983. – NATO ASI Series, C144, i-xi+1-448 (D. Reidel), Dordrecht, 1985.

MELLAART, J.: Çatal Hüyük. Stadt aus der Steinzeit, 2. Auflage. – 296, Bergisch Gladbach (Gustav Lübbe Verlag) 1967.

MENARD, H. W.: The Ocean of Truth – A Personal History of Global Tectonics. – i-xiv+1-353, Princeton (Princeton University Press), 1986.

MENNESSIER, G.: Géologie de la chaîne d'Altimour. – Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., **14,** 345-355, Paris, 1972.

MERCATOR, G. UND HONDIUS, J.: Atlas or A Geographicke Description of the Regions, Countries and Kingdomes of the World, through Europe, Asia, Africa, and America represented by new & exact Maps, The second Volume. – 115 nicht numerierte Karten u. SS. 217-462 Amsterodami (Henrici Hondij et John Janssonius) 1636 (Nachdruck 1968 von Theatrum Orbis Terrarum Ltd., Amsterdam mit einer Introduction von R. A. SKELTON).

MERRILL, G. P: The First One Hundred Years of American Geology. – 773, New Haven (Yale University Press) 1924.

LE MEUR, D.: Étude géophysique de la structure profonde et de la tectonique active de la partie occidentale de la Ride Méditerranéene. – Unveröff. Diss. Universität Paris XI, 223 SS.+Annexes.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

MEYERHOFF, A. A.: Petroleum in Tibet and the India-Asia suture (?) zone. – Jour. Petrol. Geol., **1,** 107-112, 1978.

MICHARD, A., GOFFÉ, B., CHOPIN, C. & HENRY, C.: Did the Western Alps develop through an Oman-type stage? The geotectonic setting of high pressure metamorphism in two contrasting Tethyan transects. – Eclog. geol. Helvet., **89,** 43-80, Basel, 1996.

MICHEL-LÉVY, A.: Sur la coordination et la répartition de fractures et des effrondrements de l'écorce terrestre en relation avec les épanchements volcaniques. – Bull. Soc. géol. France, série 3, **26,** 105-121, Paris, 1898.

MILNES, A. G.: Structural zones and continental collision, Central Alps. – Tectonophysics, **47,** 369-392, Amsterdam, 1977.

MILNES, A. G. & PFIFFNER, O. A.: Structural development of the Infrahelvetic complex, eastern Switzerland. – Eclog. geol. Helvet., **70,** 83-95, Basel, 1977.

MOHR, F.: Geschichte der Erde. Eine Geologie auf neuer Grundlage. – I-XIV+1-524+[1], Max Cohen & Sohn, Bonn, 1866.

MOLENGRAAF, G. A. F.: Borneo-Expedition – Geological Explorations in Central Borneo (1893-1894). English revised edition with an Appendix on fossil Radiolaria of Central Borneo by G. J. Hinde: 1-529+1-56+Folioatlas mit 22 Karten, Society for the Promotion of the Scientific Exploration of the Dutch Colonies, (E. J. Brill), Leiden and (H. Gerlings), Amsterdam, 1902.[2]

MOLENGRAAF, G. A. F.: On recent crustal movements in the island of Timor and their bearing on the geological history of he East-Indian Archipelago. – Proceedings of the Royal acad. Amsterdam, **15,** 224-235, 1912.

MOLENGRAAF, G. A. F.: Folded mountain chains, overthrust sheets, and block-faulted mountains in the East Indian Archipelago. – Congrès Géologique Internationale, Compte-Rendu de la 12e Sess., Canada, 689-702, Ottowa (Imprimérie du Gouvernement) 1913.

MOLENGRAAF, G. A. F.: *Nederlandsche Timor-Expeditie 1910-1912,* **I,** De Geologie van het Eiland Letti. – I-VIII+1-832, (E. J. Brill), Leiden, 1915.

MOLENGRAAF, G. A. F.: The coral reef problem and isostasy. – Proceedings of the Royal Academy at Amsterdam, **19,** 610-627 Amsterdam, 1916.

MOLENGRAAF, G. A. F.: Wegener's continental drift: In: Theory of Continental Drift. A Symposium on the Origin and movement of Land Masses both Inter-Continental and Intra-Continental, as proposed by Alfred Wegener, 90-92, (The American asociation of Petroleum Geologists), Tulsa, 1928.

MOLENGRAAF, G. A. F., BROUWER, H. A. & SPRINGER, F.: Nederlandsche Timor-Expeditie 1910-1912, **II,** I-VIII+1-260+12 Tafeln (E. J. Brill), Leiden, 1918.

MOLENGRAAF, G. A. F., GERTH, H., BROUWER, H. A., KRUMBECK, L. & BROILI, F.: Nederlandsche Timor-Expeditie 1910-1912, **III,** I-X+1-227, (E. J. Brill), Leiden, 1922.

MOLNAR, P. & TAPPONNIER, P.: Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. – Science, **189,** 419-426, Washington, D. C., 1975.

MOLNAR, P. & TAPPONNIER, P.: Active tectonics of Tibet. – Jour. Geophys. Res., **83,** 5361-5375, Washington, D. C., 1978.

MONGER, J. W. H.: Canadian Cordilleran tectonics: from geosynclines to crustal collage. – Can. J. Earth Sci., **30,** 209-231, 1993.

MONTENAT, C, GIRARDEAU, J. & MARCOUX, J.: La ceinture ophiolitique néo-cimmérienne au Tibet, dans les Pamirs et en Afghanistan, évolution géodynamique comparative. – In: LE FORT, P., COLCHEN, M. & MONTENAT, C., Hrsg., Evolution des domaines orogéniques d'Asie méridionale (de la Turquie à l'Indonesie), Mém. Sci. de la Terre, **47,** 229-252, Nancy, 1986.

MOORE, R. C.: *Historical Geology.* – 673, (McGraw-Hill) Ne w York and London, 1933.

MOORE, R. C.: Late Paleozoic crustal movements of Europe and North America. – Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., **19,** 1253-1309, Tulsa, 1935.

MOORE, R. C.: Stratigraphic evidence bearing on problems of continental tectonics. – Bull. Geol. Soc. America, **47,** 1785-1808, New York, 1936.

MOREL, P. & IRVING, E.: Paleomagnetism and the evolution of Pangea. – Jour. Geophys. Res., **86,** 1858-1872, Washington D. C., 1981.

MORO, A. L.: Neue Untersuchung der Veränderungen des Erdbodens, nach Anleitung der Spuren von, N Meerthieren und Meergewächsen, die auf Bergen, und in trockener Erde gefunden werden. – 464+IX Taf., Leipzig (Bernhard Christoph Breitkopf) 1751 (Italienische Originalausgabe 1740).

MÜLLER, C.: Strabonis Geographicorum Tabulae XV. – (Firmin Didot), Paris, 1880).

MURCHISON, R. I.: The Silurian System. – 1-768 (J. Murray), London, 1839.

NAUMANN, C. F.: Lehrbuch der Geognosie, zweite verbesserte und vermehrte Auflage, **1,** I-XVI+1-960, (Wilhelm Engelmann), Leipzig, 1858.

NAUMANN, C. F.: Lehrbuch der Geognosie, zweite verbesserte und vermehrte Auflage, **2,** I-XII+1-1093, (Wilhelm Engelmann), Leipzig, 1862.

NAUMANN, C. F.: Lehrbuch der Geognosie, zweite verbesserte und vermehrte Auflage, **3,** 1-576, (Wilhelm Engelmann), Leipzig, 1872.

NEUBAUER, F.: Kontinentkollision in den Ostalpen. – Geowissenschaften, **12,** 136-140, 1994.

NEUMAYR, M.: Klimatische Zonen während der Jura- und Kreidezeit. – Denkschr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Cl., **47,** 277-310, Wien 1883.

NEUMAYR, M.: Die geographische Verbreitung der Juraformation. – Denkschr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Cl., **50,** 57-86, Wien 1885.

NEUMAYR, M: Erdgeschichte, **1.** – I-XII+1-653, Leipzig (Verlag des Bibliographischen Instituts) 1887a.

NEUMAYR, M.: Erdgeschichte, **2.** – I-XII+1-880, Leipzig (Verlag des Bibliographischen Instituts) 1887b.

NEUMAYR, M.: Erdgeschichte, 2. Auflage bearbeitet von Prof. Dr. Viktor Uhlig, **2.** – 700, Leipzig und Wien (Bibliographisches Institut) 1895a.

NEUMAYR, M.: Erdgeschichte, 2. Auflage bearbeitet von Prof. Dr. Viktor Uhlig, **1.** – 693, Leipzig und Wien (Bibliographisches Institut) 1895b.

NEUMAYR, M. & C. M. PAUL: Congerien und Paludinenschichten Slavoniens und deren Faunen. Ein Beitrag zur Descendenz-Theorie. – Abh. k. k. geol. Reichsanst., **7(3)** 111S+10 Taf., Wien 1875.

NGUYEN T. N. H.: Structure et Cinematique de l'extrémité de la Mer de l'Est (Mer de Chine méridionale) et des Bassins du Sud Viet Nam. – 1-248, Unveröff. Diss. Univ. Paris VI, Paris, 1997.

OBERHAUSER, R.: Mikrofossilfunde im Nordwestteil des Unterengadiner Fensters sowie im Verspalaflysch des Rätikon. – Jb. Geol. B. A., **126,** 71-93, Wien 1983.

OBERHAUSER, R.: Zur Kenntnis der Tektonik und der Paläogeographie des Ostalpenraumes zur Kreide-, Paleozän- und Eozänzeit. – Jb. Geol. B.-A., **138,** 369-432, Wien, 1995.

OKAY, A. I., GÖRÜR, N. & ŞENGÖR, A. M. C.: The Black Sea: Kinematic history of its opening and its effect on the surrounding regions. – Geology, **22,** 267-270, Boulder, 1994.

D'ORBIGNY, A.: Cours élémantaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphique, premiere volume. – 299, Paris (Victor Masson) 1849.

[2] Die holländische Version dieses Berichtes, mit einem getrennten Atlas, wurde 1900 unter dem Titel *Verkenningstochten in Centraal-Borneo* (1893-1894) in Amsterdam publiziert.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

D'ORBIGNY, A.: Cours élémantaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphique, second volume. – 848, Paris (Victor Masson) 1852.

ORTELIUS, A.: Theatrvm Orbis Terrarvm. – 53 Karten u. unregelmäßige Paginierung, Anwerp (Gillis Coppens van Diest) 1570 (Nachdruck 1964 von Theatrum Orbis Terrarum Ltd., Amsterdam mit einer Introduction von R. A. SKELTON).

OSPOVAT, A. M.: Abraham Gottlob Werner. Short Classification and Description of the Various Rocks, translated with an introduction and notes by Alexander M. Ospovat. – 194, New York (Hafner) 1971.

ÖZGÜL, N.: Alanya tektonik penceresi ve batı kesiminin jeolojisi. – In: Ketin Simpozyumu Kitabı, 97-120, Ankara (Türkiye Jeoloji Kurumu), 1985.

PANTIÇ, N. & GANSSER, A.: Palynologische Untersuchungen in Bündnerschiefern (vorläufige Mitteilung). – Eclog. Geol. Helvet., **70,** 59-81, Basel, 1977.

PANTIÇ, N. & ISLER, A.: Palynologische Untersuchungen in Bündnerschiefern (II). – Eclog. Geol. Helvet., **71,** 447-465, Basel, 1978.

PANTIÇ, N., GRUBIÇ, A. & SLADIÇ-TRIFUNOVIÇ, M.: The importance of Mesozoic floras and faunas from intraoceanic carbonate platforms for interpretation of palaeogeographic and geodynamic events in the Tethys. – Boll. Soc. Paleont. It., 22, 5-14, Modena, 1983.

PEARCE, J. & MEI, H. J.: Volcanic rocks of the 1985 Tibet Geotraverse: Lhasa to Golmud. – Phil. Trans. R. Soc. London, **A327,** 169-201, London, 1988.

PE-PIPER, G.: Geochemistry, tectonic setting, and metamorphism of Mid-Triassic volcanic rocks of Greece. – Tectonophysics, **85,** 253-272, Amsterdam, 1982.

PFAFF, F.: Allgemeine Geologie als Exacte Wissenschaft mit einem Anhange: Geologische Versuche. – I-X+1-318, (Wilhelm Engelmann), Leipzig, 1873.

PFAFF, F.: Grundriss der Geologie. – 1-398, (Wilhelm Engelmann), Leipzig, 1876.

PFANNENSTIEL, M.: Die Entstehung einiger tektonischer Grundbegriffe. Ein Beitrag zur Geschichte der Geologie. – Geol. Rundsch., **59,** 1-36, Stuttgart, 1970.

PFIFFNER, O. A., LEHNER, P., HEITZMANN, P., MUELLER, S. UND STECK, A. (Hrsg.): Deep Structure of the Swiss Alps – Results of NRP 20. – I-XII+1-380, (Birkhäuser), Basel, 1997.

PHILLIPS, J.: Memoirs of William Smith, LL. D., Author of the „Map of the Strata of England and Wales". – ix+150, (John Murray), London, 1844.

PLATT, J. P. & VISSERS, R. L. M.: Extensional collapse of a thickened continental lithosphere: a working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar Arc. – Geology, **17,** 540-543, Boulder, 1989.

POPOWITSCH, J. S. V. (Anonym): Untersuchungen vom Meere, die auf Veranlassung einer Schrift de Colvmnis Hercvlis, welche der hochberühmte Professor in Altdorf, Herr Christ. Gottl. Schwarz herausgegeben, nebst andern zu derselben gehörigen Anmerkungen von einem Liebhaber der Naturlehre und der Philologie vorgetragen werden. – 432 + einem unpaginierten *Schreiben des Verfassers vorhergehender Abhandlung an Einige vornehme Gelehrten in Leipzig* und einem Register, Frankfurt und Leipzig (keinen Verleger angegeben) 1750.

POPPER, K. R.: Logik der Forschung, achte, weiter verbesserte und vermehrte Auflage. – I-XXIX+1-477, J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen.

POPPER, K. R.: On the sources of knowledge and ignorance. – In: POPPER, K. R., Conjectures and Refutations, 3-30, (Routledge), London, 1989.

POTIER: Exposé des travaux de M. Élie de Beaumont. – Ann. Min., sér. 7, **8,** 259-297, Paris, 1875.

PRITCHARD, J. B. (Ed.): Ancient Near Eastern Texts Relating to the Old Testament, Third Edition with Supplement. – 710, Princeton (Princeton University Press) 1969.

RADNITZKY, G. & BARTLEY, W. W., III, Hrsg.: Evolutionary Epistemology, Rationality, and the Sociology of Knowledge. – i-xiv+1-475, (Open Court), La Salle, 1987.

RAMSAY, J. G.: Fold and fault geometry in the western Helvetic nappes of Switzerland and France and its implication for the evolution of the arc of the western Alps. – In: COWARD, M. P., DIETRICH, D. & PARK, R. G., Hrsg., Alpine Tectonics, Geol. Soc. London, Spec. Pub., **45,** 33-45, London, 1989.

RANGIN, C., HUCHON, P., LE PICHON, X., BELLON, H., LEPVRIER, C., ROQUES, D., NGUYÊN, D. H. & PHAN, V. Q.: Cenozoic deformation of central and south Vietnam. – Tectonophysics, **251,** 179-196, Amsterdam, 1995a.

RANGIN, C., KLEIN, M., ROQUES, D., LE PICHON, X. & LE, V. T.: The Red River fault system in the Tonkin Gulf, Vietnam. – Tectonophysics, **243,** 209-222, Amsterdam, 1995b.

VOM RATH, G.: Ein Ausflug nach Calabrien. – I-VII+1-157, (Adolph Marcus), Bonn, 1871.

RICHTER, D., MARIOLAKOS, I. & RISCH, H.: The main flysch stages of the Hellenides. – In: CLOSS, H., D. ROEDER & K. SCHMIDT (Hrsg.), Alps, Apennines, Hellenides, 434-438, Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung), 1978.

RICHTER, G.: Die Rolle der epirogenen Schwelle im Faltengebirge. – Geol. Rundsch., **28,** 425-437, 1937.

RICOU, L.-E.: Le croissant ophiolitique péri-arabe, une ceinture de nappes mises en place au Crétace supérieur. – Rev. Géogr. phys. Géol. dyn., **18,** 327-349, Paris, 1971.

Ricou, L.-E.: Évolution Structurale des Zagrides la Région Clef de Neyriz (Zagros Iranides). – Mém. Soc. géol. France, N. S., **55,** 1-140, Paris, 1976.

RICOU, L.-E.: Réflexions sur la mise en place des ophiolites des Alpes occidentales à la lumière de l'expérience orientale. – Bull. Soc. géol. France, sér. 7, **19,** 1103-1107, Paris, 1977.

RICOU, L.-E.: Tethys reconstructed: plates, continental fragments and their boundaries since 260 Ma from Central America to Southeastern Asia. – Geodin. Acta, **7,** 169-218, Paris, 1994a.

RICOU, L.-E.: Tethys and transit plate patterns viewed against long-term periodicity of magnetic field reversals. – Tectonophysics, **87,** 255-265, Amsterdam, 1994b.

RIEDL-DORN, C.: Ignaz von Born als Geologe. – In: Ignaz von Born. Der forschende Sarastro, **10,** Wien (Naturhistorisches Museum Wien) 1991.

RIOS, J. M.: The Mediterranean coast of Spain and the Alboran Sea. – In: NAIRN, A. E. M., W. H. KANES & STEHLI, F. G. (Hrsg.), The Ocean basins and Margins, **4B,** The Western Mediterranean, 1-65, New York (Plenum), 1978.

RITTER, C.: Die Erdkunde von Asien, I (Der Norden und Nord-Osten von Hoch-Asien): 1-1143, (G. Reimer), Berlin, 1832.

RODGERS, J.: Witnessing revolutions in the earth sciences. – Ann. Rev. Earth Planet. Sci., **13,** 1-4, 1985.

ROGERS, W. B. AND ROGERS, H. D., 1843 [1884], On the physical structure of the Appalachian chain, as exemplifying the laws which have regulated the elevation of great mountain chains generally: Transactions of the Association of American Geologists and Naturalists, Reports of the 1st and 3rd Meetings (1840-1842) 474-531 (nachgedruckt in Rogers, W. B., 1884, A Reprint of Annual Reports and Other Papers, on the Geology of the Virginias: D. Appleton and Company, New York, pp. 599-642).

ROEDER, D.: South-Alpine thrusting and trans-Alpine convergence. – In: COWARD, M. P., DIETRICH, D. & PARK, R. G., Hrsg., Alpine Tectonics, Geol. Soc. London, Spec. Pub., **45,** 211-227, London, 1989.

ROEDER, D.: Thrusting and wedge growth, Southern Alps of Lombardia (Italy). – Tectonophysics, **207,** 199-243, Amsterdam, 1992.

ROEMER, F.: Die Kreidebildungen von Texas und Ihre Organischen Einschlüsse. – I-VI+1-100+11 Tafeln, (Adolph Marcus), Bonn, 1852.

ROTHPLETZ, A.: Über die Möglichkeit den Gegensatz zwischen Contractions- und Expansionstheorie aufzuheben. – Sitzber. k. bay. Akad. Wiss., math.-phys. Kl., **32,** 311-325, München, 1903.

RUBY, J. E.: The origins of scientific „law". – Jour. Hist. Ideas, **47,** 341-359, Philadelphia, 1986.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

RUDWICK, M. J. S.: The Meaning of Fossils, 2nd edition. – 287, Chicago (Chicago University Press) 1976.

RUDWICK, M. J. S.: The Great Devonian Controversy. – 494, Chicago und London (University of Chicago Press) 1985.

RUPKE, N. A.: The Great Chain of History. William Buckland and the English School of Geology (1814-1849). – i-xii+[1]+1-322, (Clarendon Press), Oxford, 1983a.

RUPKE, N. A.: The apocalyptic denominator in English culture of the early nineteenth century: In: POLLOCK, M., Hrsg., Common Denominators in Art and Science, 30-41, (Aberdeen University Press), Aberdeen, 1983b.

SADIBAKASOV, I.: Noweischaja Tektonitscheskaja Struktura Wisokoi Azii (Analiz Vergentnosti) – Avtoreferat. – 1-39 (Univ. Moskau, Inst. Geologie), Moskwa, 1989.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE, C.: Coup-d'Œil Historique sur la Géologie et sur les Travaux d'Élie de Beaumont. – I-VII+1-597+[1], (G. Masson), Paris, 1878.

SAKLANI, P. S. (Hrsg.): Metamorphic Tectonites of the Himalaya. – xiii+370, (Today and Tomorrow's Printers & Publishers) 1981.

SALOMON-CALVI, W.: Epeirophorese, I. Teil: Sitzungsb. Heidelberg. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., 1930, 1-26, Heidelberg, 1930.

SANDULESCU, M.: Analyse géotectonique des chaînes alpines situées autour de la Mer Noire occidentale. – Ann. Inst. Geol. Geof., **56,** 5-54, *Bucuresti*, 1980.

SARJEANT, W. A. S.: From Mineralogy to Geology. The Foundations of a Science (Rezension). – Geoscience Canada, **15,** 307-308, 1988.

SARJEANT, W. A. S.: A History of Geology (Rezension). – Geoscience Canada, **18,** 180-181, 1991.

SARJEANT, W. A. S.: Great Geological Controversies, Second Edition (Rezension). – Geoscience Canada, **19,** 91, 1992.

SCHAER, J.-P.: Emile ARGAND 1879-1940. Life and portrait of an inspired geologist. – Eclog. geol. Helvet., **84,** 511-534, Basel, 1991.

SCHMALER, M.: Die Entwicklung der Ansichten über den Gebirgsbau Zentralasiens von der Wiedergeburt der Erdkunde bis zum Beginne der wissenschaftlichen Exploration dieses Gebietes. Inaugural Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Philosophischen Fakultät der Universität Leipzig. – 125, Königsee i. Thür. (Selmar von Ende) 1904.

SCHMIDT, C.: Bild und Bau der Schweizeralpen. – 1-91, Basel (Emil Birkhäuser) 1907 (Beilage zum Jahrbuch S.A.C. Jahrgang XLII. 1906/07).

SCHMIDT, W. J.: Die Matreier Zone in Österreich. – Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., Mathem.-naturwiss. Kl., Abt. I, **161,** 343-371, Wien, 1952.

SCHMIDT-THOMÉ, P.: Zur Titeltafel. – Geol. Rdsch., 50, II, Stuttgart, 1960.

SCHMITZ, H.: Anaximander und die Anfänge der Griechischen Philosophie. – 79, Bonn (Bouvier Verlag) 1988.

SCHWARZ, B.: Die Erschliessung der Gebirge von den ältesten Zeiten bis auf Saussure (1787). – 475, Leipzig (Verlag von Eduard Baldamus) 1888.

SCHWINNER, R.: Vulkanismus und Gebirgsbildung. Ein Versuch. – Z. Vulkanologie, **5,** 175-230, Berlin, 1920.

SEARLE, M. P.: Stratigraphy, structure and evolution of the Tibetan-Tethys zone in Zanskar and the Indus suture zone in the Ladakh Himalaya. – Trans. Royal Soc. Edinburg: Earth Scie., **73,** 205-219, Edinburgh, 1983.

SECORD, J. A.: Controversy in Victorian Geology: The Cambrian-Silurian Dispute. – 364, Princeton (Princeton University Press) 1986.

SEDERHOLM, J. J.: Om granit och gneis deras uppkomst, uppträdande och utbredning inom urberget i Fennoskandia. – Bull. Comm. Géol. Finnland, **23,** 1-110, Helsinki, 1907.

SEMPER, M.: Die Geologischen Studien Goethes – Beiträge zur Biographie Goethes und zur Geschichte und Methodenlehre der Geologie. – I-XII+1-389 (Veit & Comp.), Leipzig, 1914.

ŞENGÖR, A. M. C.: Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications: Nature, **279,** 590-593, London, 1979.

ŞENGÖR A. M. C.: The evolution of Palaeo-Tethys in the Tibetan segment of the Alpides. – In: Proc. Symp. Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau **1,** 51-6, (Science Press), Beijing, 1981.

ŞENGÖR, A. M. C.: Eduard Suess' relations to the pre – 1950 schools of thought in global tectonics. – Geol. Rundsch., **71,** 381-420, Stuttgart, 1982a.

ŞENGÖR, A. M. C.: Classical theories of orogenesis. – In: MIYASHIRO, A., AKI, K. & ŞENGÖR, A. M. C., Orogeny, 1-48, (John Wiley & Sons), Chichester, 1982b.

ŞENGÖR, A. M. C.: A note on a late revision of the theory of embryotectonics by Argand himself. – Eclog. Geol. Helvet., **75,** 177-188, Basel, 1982c.

ŞENGÖR, A. M. C.: The Geology of the Albula Pass Area, Eastern Switzerland in its Tethyan Setting: Palaeo-Tethyan Factor in Neo-Tethyan Opening. – Unveröff. Diss., State University of New York at Albany, 1-405, Albany, 1982d.

ŞENGÖR, A. M. C.: Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. – In: *EROL, O. & OYGÜR, V. (Hrsg.), Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve* Volkanizması Paneli, 59-71, Ankara (Türk. Jeol. Kur.), 1982e.

ŞENGÖR, A. M. C.: The Cimmeride Orogenic System and the Tectonics of Eurasia. – Geol. Soc. Am., Spec. Pap. **195,** 1-82, Boulder, 1984.

ŞENGÖR, A. M. C.: The story of Tethys: how many wives did Okeanos have? – Episodes **8,** 3-12., Ottawa, 1985a.

ŞENGÖR, A. M. C.: Die Alpiden und die Kimmeriden: die verdoppelte Geschichte der Tethys. – Geol. Rundsch., **74,** 181-213, Stuttgart, 1985b.

ŞENGÖR, A. M. C.: The dual nature of the Alpine-Himalayan System: progress, problems and prospects. – Tectonophysics, **127,** 177-95, Amsterdam, 1986.

ŞENGÖR, A. M. C.: *Tectonic subdivisions and evolution of Asia.* – Bull. Tech. Univ. Istanbul, **40,** 355-435, Istanbul, 1987a.

ŞENGÖR, A. M. C.: Tectonics of the Tethysides: orogenic collage development in a collisional setting. – Ann. Rev. Earth Planet. Sci., **15,** 21-44, Palo Alto, 1987b.

ŞENGÖR, A. M. C.: The Tethyside Orogenic System: An Introduction. – In: ŞENGÖR, A.M.C., Hrsg., Tectonic Evolution of the Tethyan Region, 1-22, (Kluwer), Dondrecht, 1989.

ŞENGÖR, A. M. C.: Plate tectonics and orogenic research after 25 years: A Tethyan perspective. – Earth Sci. Rev., **27,** 1-201, Amsterdam, 1990a.

ŞENGÖR, A. M. C.: A new model for the late Palaeozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman. – In: ROBERTSON, A. H. F., SEARLE, M. P. & RIES, A. S., Hrsg., The Geology of the Oman Region, Geol Soc. London, Spec. Pub., 49, 797-831, London, 1990b.

ŞENGÖR, A. M. C.: Lithotectonic terranes and the plate tectonic theory of orogeny: a critique of the principles of terrane analysis. – In: T. J. WILEY, D. G. HOWELL and F. L. WONG, Hrsg., Terrane Analysis of China and the Pacific Rim: Houston, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, **13,** 9-44, Houston, 1990c.

ŞENGÖR, A. M. C.: Tethys, Thetis, Thethys or Thetys? What, where and when was it? Comment. – Geology, **18,** 575, 1990d, Boulder.

ŞENGÖR, A. M. C.: Timing of orogenic events: A persistent geological controversy. – In: MÜLLER, D. W., J. A. MCKENZIE & H. WEISSERT (Eds.), Controversies in Modern Geology (Hsü-Festschrift), 405-473, (Academic Press) London 1991a.

ŞENGÖR, A. M. C.: Plate tectonics and orogenic research after 25 years: synopsis of a Tethyan perspective. – Tectonophysics, **187,** 315-344, Amstardam, 1991b.

ŞENGÖR, A. M. C.: Orogenic architecture as a guide to size of ocean lost in collisional mountain belts. – Bull. Tech. Univ. Istanbul (Ketin Festschrift), **44,** pp. 43-74, Istanbul, 1991c.

ŞENGÖR, A. M. C.: Late Palaeozoic and Mesozoic tectonic evolution of the Middle Eastern Tethysides: Implications for the Palaeozoic geodynamics of the Tethyan realm. – In: BAUD, A., THÉLIN, P. & STAMPFLI, G. Hrsg, Newsletter No. 2 of IGCP Project No. 276, Mém. Géol. (Lausanne), **10,** pp.111-149, Lausanne, 1991d.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

ŞENGÖR, A. M. C.: The mountain and the bull: The origin of the word „Taurus" as part of the earliest tectonic hypothesis. – In: BAŞGELEN, N., ÇELGIN, G. & ÇELGIN, V., Hrsg., Festschrift für Taşlikliogluı, 1-48 (Arkeoloji ve Sanat Yayinlari), Istanbul, 1992a.

ŞENGÖR, A. M. C.: Onsekizinci yüzyil sonunda jeolojide Neptünist-Volkanist tartişmasinin felsefi temelleri. – Bilim Tarihi, Nisan 1992, **6,** 16-24, Istanbul, 1992b.

ŞENGÖR, A. M. C.: How to view the evolution of the Tethys: as a slide show or as a movie? Am. Jour. Sci., **292,** p. 274-286, 1992c, New Haven.

ŞENGÖR, A. M. C.: The Palaeo-Tethyan suture: A line of demarcation between two fundamentally different architectural styles in the structure of Asia. – The Island Arc, **1,** 78-91, 1992d, Sydney.

ŞENGÖR, A. M. C. : Some current problems on the tectonic evolution of the Mediterranean during the Cainozoic. – In BOSCHI, E., MANTOVANI, E. and MORELLI, A. (Hrsg.), Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranean Region, NATO ASI Series, Series C: Mathematical and Physical Sciences, **402,** 1-51, Dordrecht (Kluwer Academic Publishers), 1993a.

ŞENGÖR, A. M. C.: Turkic-type orogeny in the Altaids: Implications for the evolution of continental crust and methodology of regional tectonic analysis (The 34th Bennett Lecture). – Trans. Leicester Lit. Phil. Soc. **87,** 37-54, Leicester, 1993b.

ŞENGÖR, A. M. C.: Sedimentation and tectonics of fossil rifts. – In: BUSBY, C. J. & INGERSOLL, R. V. , Hrsg., Tectonics of Sedimentary Basins, 53-117, (Blackwell), Oxford, 1995.

ŞENGÖR, A. M. C.: Eine Ergänzung der Carlé'schen Liste der Veröffentlichungen von Hans Stille und einige Schlüsse: Ein Beitrag zur Geschichte und Philosophie der tektonischen Forschung. – Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, **9/10 (1994),** 1051-1106 Stuttgart, 1996.

ŞENGÖR, A. M. C.: Asia. – In: MOORES, E. & FAIRBRIDGE, E., Hrsg., Encyclopedia of European and Asian Regional Geology, 34-51, (Chapman and Hall), London, 1997.

ŞENGÖR, A. M. C., ALTINER, D., CIN, A., USTAÖMER, T. AND HSÜ, K. J.: Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of GondwanaLand. – In: AUDLEY-CHARLES, M. & HALLAM, A., Hrsg., Gondwana and Tethys, Geol. Soc. London Spec. Publ., **37,** 119-181 London, 1988.

ŞENGÖR, A. M. C., CIN, A., ROWLEY, D. B. & NIE, S. Y.: Magmatic evolution of the Tethysides: a guide to reconstruction of collage history. – Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol, **87,** 411-440, Amsterdam, 1991.

ŞENGÖR, A. M. C., CIN, A., ROWLEY, D. B. & NIE, S. Y.: Space-time patterns of magmatism along the Tethysides: a preliminary study. – Jour. Geology, **101,** 51-84, Chicago, 1993b.

ŞENGÖR, A. M. C. & DEWEY, J. F.: Post-collisional structural evolution of sutures: Geol. Soc. America, Absts. Progs., **10,** 85, Boulder, 1978.

ŞENGÖR, A. M. C. & DEWEY, J. F.: Terranology: Vice or virtue? – Phil. Trans. R. Soc. London, **A331,** 457-477, London, 1991.

ŞENGÖR, A. M. C., GRAHAM, S. A. & BIDDLE, K. T.: Is the Tarim Basin underlain by a Neoproterozoic oceanic plateau? – Geol. Soc. America Absts. Progs., 28/7, A-67, Boulder, 1996.

ŞENGÖR, A. M. C. & HSÜ, K. J.: The Cimmerides of Eastern Asia: History of the eastern end of Palaeo-Tethys: Mém. Soc. Géol. France, N. S., **147,** p. 139-167, Paris, 1984.

ŞENGÖR, A. M. C. & KIDD, W. S. F.: The post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet: Tectonophysics, **55,** 361-376, Amsterdam, 1979.

ŞENGÖR, A. M. C. & MONOD, O.: Océans sialiques et collisions continentales. – C. R. hébd. Acad. Sci. Paris, **290,** 375-386, Paris, 1980.

ŞENGÖR, A. M. C. & NATAL'IN, B. A.: Palaeotectonics of Asia: Fragments of A Synthesis. – In: YIN, A. AND HARRISON, M. (Hrsg.), The Tectonic Evolution of Asia, Rubey Colloquium, 486-640 (Cambridge University Press), Cambridge, 1996a.

ŞENGÖR, A. M. C. & NATAL'IN, B. A.: Turkic-type orogeny and its rôle in the making of the continental crust. – Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 24, 263-337, Palo Alto, 1996b.

ŞENGÖR, A. M. C., NATAL'IN, B. A. & BURTMAN, V. S.: Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. – Nature, **364,** 299-307, London, 1993a.

ŞENGÖR, A. M. C. & OKUROĞULLARI, A. H.: The rôle of accretionary wedges in the growth of continents: Asiatic examples from Argand to plate tectonics. Eclog. Geol. Helvet. 84, 535-597, Basel, 1991.

ŞENGÖR, A. M. C., SATIR, M. & AKKÖK, R.: Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey: Tectonics, **3,** p. 693-707, Washington, D. C., 1984.

ŞENGÖR, A. M. C. & YILMAZ, Y.: Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. – Tectonophysics, **75,** 181-241, Amsterdam, 1981.

ŞENGÖR, A. M. C., YILMAZ, Y. & SUNGURLU, O.: Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: nature and evolution of the western termination of Palaeo-Tethys: In: DIXON, J. E. AND ROBERTSON, A. H. F., Hrsg., Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geol. Soc. London Spec. Pub., **17,** p. 77-112, London, 1984.

SEZGIN, F.: The Contribution of the Arabic-Islamic Geographers to the Formation of the World Map: Veröffentlichungen des Institutes für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, Rheide D Kartographie, **2,** 50 pp. + 48 Karten, Frankfurt am Main, 1987.

SIMKIN, T., SIEBERT, L., MCCLELLAND, L., BRIDGE, D., NEWHALL, C. & LATTER, J. H.: Volcanoes of the World. – 1-viii+1-232+1 (Hutchinson Ross Publishing Company) Stroudsburg, 1981.

SMITH, A. G.: Alpine deformation and the oceanic areas of the Tethys, mediterranean and Atlantic. – Geol. Soc. America Bull., **82,** 2039-2070, Boulder, 1971.

SMITH, A. G.: The so-called Tethyan ophiolites. – In: TARLING, D. H. & RUNCORN, S. K., Hrsg., Implications of Continental Drift to the Earth Sciences, **2,** 977-986, (Academic Press), London, 1973.

SMITH, A. G.: Tectonic significance of the Hellenic-Dinaric ophiolites. – In: PRICHARD, H. M., ALABASTER, T., HARRIS, N. B. W. & NEARY, C. R., Hrsg., Magmatic Processes and Plate Tectonics, Geol. Soc. London, Spec. Pub. **76,** 213-243, London, 1993.

SMITH, A. G. & HALLAM, A.: The fit of the southern continents. – Nature, **225,** 139-144, London, 1970.

SMITH, A. G. & SPRAY, J. G.: A half-ridge transform model for the Hellenic-Dinaric ophiolites. – In: DIXON, J. E. & A. H. F. ROBERTSON, Hrsg., The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geol. Soc. London, Spec. Publ. **17,** 629-644, London, 1984.

SMITH, W.: A Memoir to the Map and Delineation of the Strata of England and Wales, with Part of Scotland. – i-x +1- 51 + 1, (John Carey), London, 1815.

SMITH, W.: Strata Identified by Organized Fossils Containing Prints on Colored Paper of the Most Characteristic Specimens in Each Stratum. – 1-32 London (W. Arding) 1816.

SMITH, W.: Stratigraphical System of Organized Fossils with Reference to the Specimens of The Original Geological Collection in the British Museum Explaining Their State of Preservation and Their Use in Identifying the British Strata: i-xi+1-121+2 Falttafeln, (E. Williams), London, 1817.

SMIT SIBINGA, G. L.: On the relation between deep-focus earthquakes, gravity and morphology in the Netherlands East Indies. – Gerlands Beitr. Geophy., **51,** 402-409, Leipzig, 1937.

SPEED, J.: A Prospect of the Most Famous Parts of the World. – 22 Karten u. 44+5-8S., London (gedruckt von John Dawson für George Humble) 1627 (Nachdruck 1966 von Theatrum Orbis Terrarum Ltd., Amsterdam mit einer Introduction von R. A. SKELTON; hinzugefügt beim Nachdruck 7 Karten und SS. 43-56 aus der Ausgabe vom Jahre 1676).

SPRENGER, W.: Das Periadriatische Lineament Südlich der Lienzer Dolomiten – Strukturgeologie-Fernerkundung-Geochemie. – Abh. geol. B.-A., **52,** 1-220, Wien, 1996.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

STAMPFLI, G. M. & MARTHALER, M.: Divergent and convergent margins in the North-Western Alps confrontation to actualistic models. – Geodinamica Acta, **4,** 159-184, Paris, 1990.

STAUB, W.: Neue Forschungen über die Tektonik Asiens. – Zt. Ges. Erdkunde Berlin, **9/10,** 1-6 (Separatabdruck Seiten), Berlin, 1926.

STECK, A. & HUNZIKER, J.: The Tertiary structural and thermal evolution of the Central Alps – compressional and extensional structures in an orogenic belt. – Tectonophysics, **238,** 229-254, Amsterdam, 1994.

STEINMANN, G.: Rapport de la Commission du Prix Spendiaroff. – In: Congrès Géologique International – Compte-Rendu de la XII[e] Session, Canada, 128, Ottawa (Imprimerie du Gouvernement), 1913.

STEINMANN, G.: Ernst Wilhelm Benecke. – Geol. Rdsch., **8,** 271-277, Leipzig 1917.

STENO(NIS), N.: Elementorvm Myologiæ Specimen, sev Musculi descriptio Geometrica, cvi accedvnt Canis Carchariae Dissectvm Capvt et Dissectvs Piscis ex Canvm Genere... – [I-VI]+1-123 (Stellae), Florentiae, 1667.

STENO(NIS), N.: De Solido intra Solidum Naturaliter Contento Dissertationais Prodromus. – 1-78 (Stellae) Florentiae, 1669.

STENO, N.: Vorläufer einer Dissertation über feste Körper, die innerhalb anderer fester Körper von Natur aus eingeschlossen sind. Übersetzung von Karl MIELEITNER. – 1-92 (Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H.), Leipzig, 1923.

STERN, R. J.: Arc assembly and continental collision in the Neoproterozoic east African Orogen: Implications for the consolidation of Gondwanaland. – Ann. Rev. Earth Planet. Sci., **22,** 319-351, Palo Alto, 1994.

STEVANOVIC, P.: 50 Jahre seit der Proklamation der Paratethys. – Geol. Zborník (Geol. Carpathica Slowak. Akad. Wiss.), **26,** 170-171, Bratislava, 1975.

STILLE, H.: Der Gebirgsbau des Teutoburger Waldes zwischen Altenbeken und Detmold. – Inaugural Dissertation zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde der Hohen Philosophischen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen, 1-42+3 Tafeln, (A. W. Schade), Berlin, 1900.

STILLE, H.: Zur Tektonik des südlichen Teutoburgerwaldes. – Z. dt. geol. Ges., **53,** Mon.-ber., 7-12, Berlin 1901.

STILLE, H.: Über precretaceische Schichtenverschiebungen im älteren Mesozoikum des Egge-Gebirges. – Jb. kgl. preuß. geol. Landesanst. (f. 1902), **23,** 296-322, Berlin 1903.

STILLE, H.: Die mitteldeutsche Rahmenfaltung. – Jber. niedersächs. geol. Ver., **3,** 141-170, Hannover 1910.

STILLE, H.: Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde. – 1-32, Leipzig (Veit & Comp.), 1913.

STILLE, H.: Die Begriffe Orogenese und Epirogenese. – Z. dt. geol. Ges., Abh., **71,** 164-208, Berlin 1919.

STILLE, H.:, Die angebliche junge Vorwärtsbewegung im Timor-Ceram-Bogen: Nachr. k. Gesell. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., **Jg. 1920,** 174-180, Göttingen, 1920.

STILLE, H.: Studien über Meeres- und Bodenschwankungen. – Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., **Jahrgang 1922,** 83-95, Göttingen, 1922.

STILLE, H.: Grundfragen der Vergleichenden Tektonik. – VIII + 443, Berlin (Gebrüder Borntraeger) 1924.

STILLE, H.: Über westmediterrane Gebirgszusammenhänge. – Abh. Ges. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., N. F., 12, (3), I-IV+1-62, Göttingen, 1927a.

STILLE, H.: Die sogenannte Rückfaltung des Apennin. – Nachr. Gesell. der Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., **Jahrgang 1927,** 292-312, Göttingen, 1927b.

STILLE, H.: Der Stammbaum der Gebirge und Vorlaender: XIVe Congrés Géologique International (1926, Espagne), 4. Fscl., 6. Partie, Sujet XI (Divers), 1749-1770, (Graficas Reunida S. A.), Madrid, 1928a.

STILLE, H., Über europäisch-zentralasiatische Gebirgszusammenhänge: Nachr. Gesell. Wiss. zu Göttingen, math.-phys. Kl., **Jahrgang 1928,** 173-201, Göttingen, 1928b.

STILLE, H.: Tektonische Beziehungen zwischen Nordamerika und Europa. – Report of XVI International Geological Congress, **II,** 829-838, Washington, D. C., 1935.

STILLE, H.: Der derzeitige tektonische Erdzustand. – Sitz. ber. preuß. Akad. Wiss., math.-phys. Kl., **13,** 179-219, Berlin 1936a.

STILLE, H.: Wege und Ergebnisse der geologisch-tektonischen Forschung. – In: 25 Jahre Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaft, **2,** 77-97, (Julius Springer), Berlin, 1936b.

STILLE, H.: Einführung in den Bau Amerikas. – I-XX+1-717, (Gebrüder Borntraeger), Berlin, 1940.

STILLE, H.: Malaiischer Archipel und Alpen. – Abh. preuß. Akad. Wiss., math.-phys. Kl., **1,** 3-16, Berlin, 1943.

STILLE, H.: Geotektonische Gliederung der Erdgeschichte. – Abh. preuß. Akad. Wiss. Berlin, math.-naturw. Kl. **Jg. 1944 (3),** 5-80, Berlin 1944a.

STILLE, H.: Geotektonische Probleme des pazifischen Erdraumes. – Abh. preuß. Akad. Wiss. Berlin, math.-naturw. Kl. **Jg. 1944 (11),** 77 S., Berlin 1944b.

STILLE, H.: Die tektonische Entwicklung der hinterindischen Festlands- und Inselgebiete. – Geotekt. Forsch., **7/8,** 34-153, Berlin, 1945.

STILLE, H.: Die jungalkonkische Regeneration im Raume Amerikas. – Abh. dt. Akad. Wiss. Berlin, math.-naturw. Kl. **Jg. 1948 (3),** 38 S., Berlin 1949a.

STILLE, H.: Werden und Vergehen der Kontinente und Meere. – Die Erde, **50,** 12-37, Berlin 1949b.

STILLE, H.: Das mitteleuropäische variszische Grundgebirge im Bilde des gesampteuropäischen. – Beih. geol. Jb., **2,** 138 S. Hannover, 1951.

STILLE, H.: Der geotektonische Werdegang der Karpaten. – Beih. geol. Jb., **8,** 239 S. Hannover, 1953.

STILLE, H.: Zur Ökologie der kimmerischen Faltungen. – Roemeriana, **1,** 1-22, 1954.

STILLE, H.: *Die assyntische Tektonik im geologischen Erdbild.* – Beih. geol. Jb., **22,** 255 S. Hannover, 1958.

STILLE, H.: Die zirkumpazifische Serotektonik als derzeitiger Schlußakt im Entwicklungsgange des Zirkumpazifikums. – Abh. deutsch. Akad. Wiss. Berlin, Kl. III, **1** (Kraus-Festschrift), 121-146, Berlin, 1960.

STOLICZKA, F.: Geological sections across the Himalayan Mountains from Wangtu Bridge on the River Sutlej to Sungdo on the Indus; with an account of the formations in Spiti; accompanied by a revision of all known fossils from that district. – Mem. Geol. Survey of India, **5,** 1-152, Calcutta 1865.

STÖCKLIN, J.: Possible ancient continental margins in Iran. – In: BURK, C. A. & DRAKE, C. A., Hrsg., The Geology of Continental Margins, 873-887 (Springer-Verlag), Berlin, 1974.

STÖCKLIN, J.: Himalayan orogeny and Earth expansion. – In: CAREY, S. W. (Hrsg.), Expanding Earth Symposium, 119-130, Hobart (University of Tasmania), 1983.

STÖCKLIN, J.: The Tethys paradox in plate tectonics. – In: Plate Reconstruction from Paleozoic Paleomagnetism, geodynamics series, **12,** 27-28, Washington, D. C., 1984a.

STÖCKLIN, J.: Orogeny and Tethys evolution in the Middle East, an appraisal of current concepts. – Int. Geol. Congr., 27[th] Sess., Colloq. 05 Tectonics of Asia 65-84, (Nauka) Moscow, 1984b.

STRACHEY, R.: *On the geology of part of the Himalaya Mountains and* Tibet. – Quart. Jour. Geol. Soc., **7,** 292-310 London 1851.

VON STRAHLENBERG, J. P. [TABBET]: Das Nord und Östliche Theil von Europa und Asia, In so weit solches Das gantze Rußische Reich mit Siberien und der grossen Tatarey in sich begreiffet, In einer Historisch-Geographischen Beschreibung der alten und neuern Zeiten, und vielen andern unbekannten Nachrichten vorgestellt, Nebst einer noch niemahls ans Licht gegebenen Tabula Polyglotta

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

von zwey und dreyßigerley Arten Tatarischer Völcker Sprachen und einem Kalmuckischen Vocabulario, Sonderlich aber Einer groſſen richtigen Land-Charte von den benannten Ländern und andern verschiedenen Kupfferstichen, so die Asiatisch-Scythische Antiqvität betreffen; Bey Gelegenheit der Schwedischen Kriegs-Gefangenschafft in Rußland, aus eigener sorgfältigen Erkundung, auf denen verstatten weiten Reisen zusammen gebracht und ausgefertigt. – 1- 438 (in Verlegung des auctoris), Stockholm, 1730.

STUDER, B.: Geologie der Schweiz. – **I,** I-IV+1-485+Karte, (Stämpflische Verlagshandlung), Bern, (Friedrich Schulthess), Zürich, 1851.

STUDER, B.: Geologie der Schweiz. – **II,** I-V+1-497, (Stämpflische Verlagshandlung), Bern, (Friedrich Schulthess), Zürich, 1853.

SUESS, E.: Über die Wohnsitze der Brachiopoden. – Sitzber. k. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Cl., **37,** 185-248; **39,** 181-206, Wien 1859/60.

SUESS, E.: Remarks on the distribution of the Brachiopoda. – Geologist, **3,** 285-293, London 1960.

SUESS, E.: Hofrat BRONN'S Ansichten von der Entwicklung des Tierreichs. – Schr. d. Ver. Verbr. naturwiss. Kenntnisse, **1,** 113-148, Wien 1861.

SUESS, E.: *in* Verhandlungen der k. k. geologischen Reichsanstalt. Bericht vom 31. Juli 1862, S. 258. – Jahrb. k. k. geol. Reichsanst., **12,** 251-260, Wien 1861/62.

SUESS, E.: Über den Bau der italienischen Halbinsel. – Sitz.-ber. math. naturwiss. Cl. k. Akad. Wiss. Wien, **65,** 217-221, Wien 1872.

SUESS, E.: Die Entstehung der Alpen. – I-IV+1-168, Wien (Wilhelm Braumüller) 1875.

SUESS, E.: Ueber die vermeintlichen säcularen Schwankungen einzelner Theile der Erdoberfläche. – Verhandlungen der k. k. geol. Reichsanst. **11,** 171-180, Wien 1880.

SUESS, E: Das Antlitz der Erde, **Ia.** – 1-310, Prag (F. Tempsky), Leipzig (G. Freytag) 1883.

SUESS, E: Das Antlitz der Erde, **Ib.** – IV+311-779, Prag (F. Tempsky), Leipzig (G. Freytag) 1885.

SUESS, E.: Über unterbrochene Gebirgsfaltung. – Sitzber. k. Akad. Wiss. **94,** Abt. I, 111-117, Wien, 1886.

SUESS, E.: Das Antlitz der Erde, **II.** – IV+704, Prag und Wien (F. Tempsky), Leipzig (G. Freytag) 1888a.

SUESS, E.: Die Entstehung der Meere. – Deutsche Zeitung vom 4. Januar 1888, Nr. **5751,** Beilage 1888b.

SUESS, E.: Melchior Neumayr. – Almanach der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 193-196, Wien 1890.

SUESS, E.: Are great ocean depths permanent? – Natural Science, **2,** pp. 180-187, London, 1893a.

SUESS, E.: Ueber neuere Ziele der Geologie. – Abh. naturforsch. Gess. Görlitz, **20,** 2-21, Görlitz, 1893.

SUESS, E.: Note sur l'histoire des océans. – C. R. hébd. Acad. Sci. Paris, **121,** 1113-1116, Paris, 1895.

SUESS, E.: La Face de la Terre. – **1,** I-XV+1-833, (Armand Colin et C^{ie}), Paris, 1897.

SUESS, E.: La Face de la Terre. – **2,** 1-878 (Armand Colin et C^{ie}), Paris, 1900.

SUESS, E.: Das Antlitz der Erde **III. 1.** – I-IV+1-508, (F. Tempsky) Prag und Wien, (G. Freytag) Leipzig 1901a.

SUESS, E.: Abschieds-Vorlesung. – Beitr. Pal. Geol. Öster.-Ung. und Orient., **14,** 2-8 Wien 1901b.

SUESS, E.: Sur la nature des charriages. – C. R. hébd. Acad. Sci. Paris, **139,** 714-717, Paris, 1904.

SUESS, E.: Das Antlitz der Erde **III. 2.** – IV + 789, Wien (F. Tempsky), Leipzig (G. Freytag) 1909.

SUESS, E.: Über die Donau-Vortrag gehalten in der ausserordentlichen Festversammlung der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften am 9. März 1911. – 27, Wien (Alfred Hölder) 1911.

SUESS, E.: Erinnerungen. – I-IX+1-451, Leipzig (S. Hirzel) 1916.

SUESS, F. E.: Bausteine zu einem System der Tektogenese, I. Periplutonische und enorogene Regionalmetamorphose in ihrer tektogenetischen Bedeutung: In: SOERGEL, W., Hrsg., Fortschritte der Geologie und Paläontologie, **XIII,** Heft 42, 1-86, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1937.

TAHIRKELI, R. A. K., MATTAUER, M., PROUST, F. & TAPPONNIER, P.: The India-Eurasia suture zone in northern Pakistan: Some new data for an interpretation at plate scale. – In: FARAH, A. & K. A. DE JONG (Hrsg.), Geodynamics of Pakistan, 125-130, Quetta (Geological Survey of Pakistan), 1979.

TANG, Y. Q. & WANG, F. G.: Plate tectonic significance of the ophiolites in Northern Xizang (Tibet) Lake District. – Bull. Inst. Geol. Chinese Acad. Sci. **13,** 50-65, Beijing, 1986.

TAPPONNIER, P. & MOLNAR, P.: Active faulting and tectonics in China. – Jour. Geophys. Res., **82,** 2905-2930, Washington D. C., 1977.

TAPPONNIER, P. & MOLNAR, P.: Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia and Baykal Regions. – Jour. Geophys. Res., **84,** 3425-3459, Washington D. C., 1979.

TERMIER, P.: Les nappes des Alpes orientales et la Synthèse des Alpes. – Bull. Soc. géol. France, sér. 4, **3,** 711-765, Tafeln XXII-XXIII, Paris, 1903.

TERMIER, P.: Les problèmes de la géologie tectonique de la Mediterranée occidentale. – Rev. gén. Sci., **30 Mars 1911,** 3-33, Paris, 1911.

TERMIER, H. & G. TERMIER: L'Évolution de la Lithosphère, II Orogénèse (premier fascicule). – 498, Paris (Masson & C^{ie}) 1956.

TETJAEW, M. M.: Osnowi Geotektoniki. – 288, Leningrad (Krasni Petschatnik) 1934.

THALMANN, H.: Memorial to Émile Argand. – Proc. Geol. Soc. America, Annual Report for 1942, 153-165, New York, 1943.

THENIUS, E.: Der Beitrag österreichischer Geowissenschaftler zum „sea-floor spreading" und „plate tectonics"-Konzept. – Verh. Geol. B. A., **Jg. 1979** (Heft 3), 407-414, 1980.

THENIUS, E.: Otto Ampferer, Begründer der Theorie der Ozeanbodenspreizung. – Die Geowissenschaften, **6,** 103-105, 1988.

TIETZE, E.: Einige Seiten über Eduard Suess – Ein Beitrag zur Geschichte der Geologie. – Jb. k. k. Geol. Reichsanst., **66,** 333-556, Wien, 1917.

DU TOIT, A. L.: Our Wandering Continents – An Hypothesis of Continental Drifting. – i-xiii+1-366, Ediburgh (Oliver and Boyd), 1937.

TOLLMANN, A.: Plattentektonische Fragen in den Ostalpen und der plattentektonische Mechanismus des mediterranen Orogens. – Mitt. österr. geol. Ges., **69,** 291-351, Wien, 1978.

TOLLMANN, A.: Neue Wege in der Ostalpengeologie und die Beziehungen zum Ostmediterran. – Mitt. österr. geol. Ges., **80,** 47-113, Wien, 1987.

TOLLMANN, A.: Entstehung und früher Werdegang der Tethys mit besonderer Berücksichtigung des mediterranen Raumes. – Mitt. österr. geol. Ges., **77,** 93-113, Wien, 1984.

TOLLMANN, A. & KRISTAN-TOLLMANN, E.: Paleogeography of the European Tethys from Paleozoic to Mesozoic and the Triassic relations of the eastern part of Tethys and Panthalassa. – In: NAKAZAWA, K. & DICKINS, J. M., Hrsg., The Tethys, Her Paleogeography and Paleobiogeography from Paleozoic to Mesozoic, 3-22, (Tokai University Press), Tokyo, 1985.

TORRES-ROLDÁN, R. L.: The tectonic subdivision of the Betic zone (Betic Cordilleras, southern Spain): Its significance and one possible geotectonic scenario for the westernmost Alpine belt. – Am. Jour. Sci., **279,** 19-51, New Haven, 1979.

TOZER, E. T.: The Triassic and its Ammonoids: The Evolution of a time Scale. – Geological Survey of Canada, Misc. Report **35,** 171, Ottawa 1984.

TOZER, E. T.: Tethys, Thetis, Thethys, or Thetys? What, where, and when was it? – Geology, **17,** 882-884, Boulder, 1989.

TOZER, E. T.: Reply on "Tethys, Thetis, Thethys, or Thetys? What, where, and when was it?" – Geology, **18,** 575-576, Boulder, 1990.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

TRELOAR, P. J., COWARD, M. J., WILLIAMS, M. P. & ASIF KHAN, M.: Basement-cover imbrication south of the Main Mantle Thrust, north Pakistan. – Geol. Soc. America, Spec. Pap., **232,** 137-152, Boulder, 1989.

TROMMSDORF, V. & NIEVERGELT, P.: The Bregaglia (Bergell) Iorio intrusive and its field relations. – Mem. Soc. geol. It., **26,** 55-68.

TRÜMPY, R.: Wechselbeziehungen zwischen Palaeogographie und Deckenbau. – Vierteljahrsschr. Naturforsch. ges. Zürich, **100,** 217-231, Zürich, 1955.

TRÜMPY, R.: Paleotectonic evolution of the Central and Western Alps. – Geol. Soc. America Bull., **71,** 843-908, New York 1960.

TRÜMPY, R.: Die helvetischen Decken der Ostschweiz: Versuch einer palinspastischen Korrelation und Ansätze zu einer kinematischen Analyse. – Ecolg. geol. Helvet., **62,** 105-142, Basel, 1969.

TRÜMPY, R.: Geology of Switzerland. A Guide-Book, Part A. An Outline of the Geology of Switzerland. – 1-104, Basel (Wepf and Co.), 1980.

TRÜMPY, R.: Die Plattentektonik und die Entstehung der Alpen. – Neujahrsblatt, Naturforschende Gesellschaft in Zürich, **187.** Stück, 47 (Orell Füssli), Zürich, 1985.

TRÜMPY, R.: Ostalpen und Westalpen – Verbindendes und Trennendes. – Jb. Geol. B.-A., **135,** 875-882, Wien, 1992.

UHLIG, V.: Melchior Neumayr. – Jb. k. k. geol. Reichsanst., **40,** 1-20, 1890.

UMBGROVE, J. H. F.: A short survey of theories on the origin of the East Indian Archipelago. – In: VENING MEINESZ, F. A., J. H. F. UMBGROVE & PH. H. KUENEN, Gravity Expeditions at sea 1923-1932. **II.** Report of the Gravity Expedition in the Atlantic of 1932 and the Interpretation of the Results, 163-182, Delft (J. Waltman Jr.), 1934.

UMBGROVE, J. H. F.: Island arcs in the Western Pacific. – Geogr. Jour., **106,** 189-209, London, 1945.

UMBGROVE, J. H. F.: The Pulse of the Earth. – I-XX+1-358+8 Tafeln (Martinus Nijhoff), The Hague, 1947.

UMBGROVE, J. H. F.: Structural History of the East Indies. – i-xi+1-63, (Cambridge Unive. Press)., Cambridge, 1949.

VENING MEINESZ, F. A.: Maritime gravity survey in the Netherlands East Indies: tentative interpretation of the provisional results: Proc., Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam, **33,** 566-577, Amsterdam, 1930.

VENING MEINESZ, F. A.: The earth's crust deformation in the East Indies. – Proc. Kon. Akad. Wetensch., Amsterdam, **43,** 278-293, 1940.

VENING MEINESZ, F. A., UMBGROVE, J. H. F. & KUENEN, P. H.: Gravity Expeditions at Sea 1923-1932, II (Report of the Gravity Expedition in the Atlantic of 1932 and the Interpretation of the Results), 1-208 (N. V. Technische Boekhandel en Drukkerij J. Waltman Jr.), Delft, 1934.

VENING MEINESZ, F. A.: The origin of continents and oceans. – Geol. Mijn., n. s., **14,** 373-384, 1952.

VERBEEK, R. D. M.: Opgave van Geschriften over Geologie en Mijnbouw van Nederlandsch Oost-Indie. – Verh. Geol, Mijnbouwkund. Gen. Nederland en Kolonien, **1,** I-XXIV+1-197+[1], 's-Gravenhage (Mouton & Co.), 1912.

VERBEEK, R. D. M.: Opgave van Geschriften over Geologie en Mijnbouw van Nederlandsch Oost-Indie. – Verh. Geol, Mijnbouwkund. Gen. Nederland en Kolonien, **3**, eerste Vervolg: 293-318; tweede Verfolg: 361-376; derde Vervolg: 145-163; vierde Vervolg: 165-182; vijvde Vervolg: 333-344; zesde Vervolg: 273-288; zevende Vervolg: 1-20; achtste Vervolg. – 53-68; negende Vervolg: 289-303; tiende Vervolg: 57-90, 's-Gravenhage, 1914.

VERHOOGEN, J.: Petrologic evidence on temperature distribution in the mantle of the Earth. – Em. Geophys. Un. Trans., 35, 50-59, Washington, D. C., 1954.

VISSER, S. W.: On the distribution of earthquakes in the Netherlands East Indian Archipelago II 1920-1926 with a discussion of time tables. – Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium te Batavia, Verhandelingen, **22,** 116 S.+3 Tafeln, Weltevreden, 1930.

VISSER, S. W.: Aardbevingen met zeer diepen haard. – Tijdschrift Kon. Ned. Aardr. Gen., **54,** 313-335, 1937a.

VISSER, S. W.: A connection between deep-focus earthquakes and anomalies of terrestrial magnetism and gravity. – Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, **42,** 361-362, 1937b.

VISSER, S. W.: Some remarks on the deep-focus earthquakes in the Intirnational Seismological Summary, second paper. – Gerlands Beitr. Geophy., **48,** 254-267, Leipzig, 1938.

VISSER, S. W.: Seismic isobaths in the east Indian Archipelago. – Gerlands Beitr. Geophy., **53,** 389-391, Leipzig, 1938.

VISSER, S. W.: Seismologie. – (Noorduyn), Groningen, 1943.

VISSERS, R. L. M.: A Structural Study of the Central Sierra de los Filabrides (Betic Zone, SE Spain), with Emphasis on Deformational Processes and Their Relation to the Alpine Metamorphism. – GUA Papers of Geology, seires 1, **15,** 154, Utrecht, 1981.

WAGENBRETH, O.: Abraham Gottlob Werners System der Geologie, Petrographie und Lagerstättenlehre. – In: Abraham Gottlob Werner Genedkschrift aus Anlaß der Wiederkehr seines Todestages nach 150 Jahren am 30. Juni 1967. Freiberger Forschungshefte, **C 223** (Mineralogie-Lagerstättenlehre), 83-148, Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustie) 1967.

WAGNER, R. H.: *On a mixed Cathaysia and Gondwana flora from* southeastern Anatolia (Turkey). – C. R. Congr. Avan. Etud. Stratigr. Carbon., 4e, **3,** 745-752, 1962.

WALLER, R. (Hrsg.): The Posthumous Works of Dr. Robert Hooke. – [ii]i-xxviii+1-572+XIII Tafeln+[1-11] (Sam. Smith and Benj. Walford)- London, 1705 (*nachgedruckt* 1970 von Georg Olms Verlag, Hildesheim, als Bd. III der Collected Works of Robert Hooke FABIAN, B., Hrsg.).

WALPERSDORF, A.: L'Observation de la Tectonique Active en Asie du Sud-Est par Géodésie Spatiale: Un Projet GPS. – 1-295, Unveröff. Diss. Institut de Physique du Globe, Paris, Paris, 1997.

WEBER, E.: Tabula Peutingeriana Codex Vindobonensis 324, Kommentar. – 1-68 (Akademische Druck- u. Verlagsanstalt), Graz, 1976.

WEGENER, A.: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. – I-IV+[V]+1-94, Braunschweig (Friedr. Vieweg & Sohn), 1915.

WEGENER, A.: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, dritte gänzlich umgearbeitete Auflage. – Die Wissenschaft, Einzeldarstellungen aus der Naturwissenschaft und der Technik, **66,** 1-144, (Friedrich Vieweg & Sohn), Braunschweig 1922.

WEGENER, A.: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, vierte umgearbeitete Auflage. – Die Wissenschaft, Einzeldarstellungen aus der Naturwissenschaft und der Technik, **66,** 1-231, (Friedrich Vieweg & Sohn), Braunschweig 1929.

WEGMANN, E.: Das Erbe WERNERS und HUTTONS-Geologie, **7** (von BUBNOFF-Festschrift), 531-559, Berlin (Ost) 1958.

WEHRLI, F.: Dikaiarchos. – In: WEHRLI, F. (Hrsg.): Die Schule des Aristoteles. Texte und Kommentar. Heft **I,** 80, Stuttgart (Schwabe & Co.) 1967.

WEISHAMPEL, D. B. & REIF, W.-E.: The work of Franz Baron NOPCSA (1877-1933): Dinosaurs, evolution and theoretical tectonics. – Jb. Geol. B.-A., **127,** 187-203, 1984, Wien.

WERNER, A. G.: Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten. – Abh. Böhmisch. Ges. Wiss., **Jg. 1786,** 272-297, Prag und Dresden, 1786.

WERNER, A. G.: Kurze Klassifikation und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten. – 1-28, Dresden (Waltherische Hofbuchhandlung), 1787.

WHITECHURCH, H., JUTEAU, T. & MONTIGNY, R.: Role of the Eastern Mediterranean ophiolites (Turkey, Syria, Cyprus) in the history of the Neo-Tethys. – In: DIXON, J. E. & A. H. F. ROBERTSON, Hrsg., The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Geol. Soc. London, Spec. Publ, **17,** 301-317, London, 1984.

WHITTINGTON, H. B. & HUGHES, C. P.: Ordovician geography and faunal provinces deduced from trilobite distribution. – Philos. Trans. Roy. Soc. London, Ser. B, **263,** 235-278, London, 1972.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

WIENS, D. A.: Historical seismicity near Chagos: a complex formation zone in the equatorial Indian Ocean. – Earth Planet. Sci. Lett., **76,** 350-360, Amsterdam, 1985/86.

DE WIJKERSLOOTH, P.: Bau und Entwicklung des Apennins besonders der Gebirge Toskanas. – XX+426, Amsterdam (Selbstverlage des Autors) 1934.

WILDI, W.: La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. – Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys., **24,** 201-297, Paris, 1983.

WILSON, J. T.: An analysis of the pattern and possible cause of young mountain ranges and island arcs. – Proc. Geol. Assoc. Canada, **3,** 141-166, 1950.

WILSON, J. T.: The development and structure of the crust. – In: KUIPER, G. P. (ed.) The Earth As A Planet, 138-214, Chicago (University of Chicago Press) 1954.

WILSON, J. T.: The crust. – In: BATES, D. R. (ed.) The Planet Earth, 48-73, New York (Pergamon Press) 1957.

WILSON, J. T.: Die Kapitel 10-16 – In: JACOBS et al. (1959).

WILSON, J. T.: Hypothesis of Earth's behaviour. – Nature, **198,** 925-929, London, 1963.

WILSON, J. T.: Some rules for continental dirft. – R. Soc. Canada Spec. Pub., 9, 3-17, 1966.

WING EASTON, N.: On some extensions of Wegener's hypotheses and their bearing upon the meaning of the terms geosynclines and isostasy. – Verh. Geol. – Mijnbouwk. Genoot. Nederland en Koloniën, Geol. Ser., **5,** 113-133, 1921.

WOODCOCK, N. H. & ROBERTSON, A. H. F.: The structural variety in Tethyan ophiolite terrains. – In: GASS, I., LIPPARD, S. J. & SHELTON, A. W. (Hrsg.), Ophiolites and Oceanic Lithosphere, Geol. Soc. london, Spec. Pub. **13,** 321-330, London, 1984.

WOODWARD, H.: History of Geology. – 1-154, London (Watts & Co.)[1911].

WOODWARD, J.: An Essay towards a Natural History of the earth, and Terrestrial Bodyes, Especially Minerals: Also of the Sea, Rivers, and Springs. With an Account of the Universal Deluge: And of the Effects that it had upon the Earth, 3rd edition. – 304, London (A Bettesworth and Taylor, A. W. R. Gosling, J. Clarke) 1723.

WOOLNOUGH, W. G.: Distribution of oceans and continents – a suggestion. – Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., **30,** 1981-2012, 1946.

WYSSLING, G.: Palinspastische Abwicklung der helvetischen Decken von Vorarlberg und Allgäu. – Jb. Geol. B.-A., **127,** 701-706, Wien, 1985.

YILMAZ, Y.: New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. – Geol. Soc. America Bull., **105,** 251-271, Boulder, 1993.

YILMAZ, Y. & ŞENGÖR, A. M. C.: Paleo-Tethyan ophiolites in northern Turkey: Petrology and tectonic setting. – Ofioliti, **10,** 485-504, Firenze, 1985.

YIN, A. & HARRISON, M. (Hrsg.): The Tectonic Evolution of Asia. – i-xii+1-666, Cambridge (Cambridge University Press), 1996.

ZAFIROPULO, J.: Empédocle d'Agrigente. – 1-307, (Société d'Édition »Les Belles Lettres«), Paris, 1953.

ZAKI AHMAD & S. GAZANFAR ABBAS: The Muslim Bagh ophiolites. – In: DE JONG, K. A. & ABDUL FARAH, Hrsg., Geodynamics of Pakistan, 243-249, (Geological Survey of Pakistan) Quetta, 1979.

ZIEGLER, P. A.: Geological Atlas of Western and Central Europe, second and completely revised edition. – 1-239+56 Tafeln in der Beilage (Shell Internationale Petroleum Maatschappij B. V.), Den Haag, 1990.

VON ZITTEL, K. A.: Geschichte der Geologie und Paläontologie bis Ende des 19. Jahrhunderts. – I-XI+1-868, (R. Oldenbourg), München und Leipzig, 1899.

ZONENSHAIN, L. P. & SAVOSTIN, A.: Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia. – Tectonophysics, **76,** 1-45, Amsterdam, 1981.

Manuskript eingelangt am: 25. 01. 1995 ●
Revidierte Fassung eingelangt am: 24. 08. 1998 ●
Manuskript akzeptiert am: 28. 09. 1998 ●