©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Das neue erdwissenschaftliche Weltbild :

Die Plattentektonik und ihre Bedeutung für die

Geo- und Biowissenschaften

Veränderte Wiedergabe eines Vortrages im Rahmen des Symposiums anläßlich des 50-Jahrjubiläums der Arbeitsgemeinschaften für Geologie und Botanik am Oberösterreichischen Landesmuseum

Von Erich Thenius *

Inhalt :

Einleitung 2

Die Entwicklung des " plate tectonics " -Konzeptes 2

Die Bedeutung der Plattentektonik für die Erdwissenschaften 6

Die Bedeutung der Plattentektonik für die Biowissenschaften 21

Zusammenfassung 28

Summary 29

Literatur 29

*Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Erich Thenius, Institut für Paläontologie der Universität, Universitätsstraße 7/II, A-1010 Wien, Austria

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Einleitung

Anlaß zu dem Vortrag im Rahmen des obgenannten Symposiums war eine Einladung von Herrn Hofrat Univ.Dozent Dr. H. Kohl, Direktor des O.Ö. Landesmuseums. Da sich der Verfasser seit Jahren mit Fragen der Plattentektonik und damit der Kontinentalverschiebung als Erd- und Biowissenschaftler auseinandergesetzt hat, erschien es gerechtfertigt, ein Referat mit dem obigen Titel zu halten. Der Vortrag soll die Grundlagen der Plattentektonik darstellen und damit nicht nur ihre grundsätzliche Bedeutung für die Geo- und Biowissenschaften aufzeigen, sondern auch die Basis für die folgenden Vorträge bilden.

Die Entwicklung des "plate tectonics"-Konzeptes

Wie kam es überhaupt zur Entwicklung des "plate tectonics"-Konzeptes? Bedeutet doch die Plattentektonik für die heutigen Erdwissenschaften eine ähnliche Umwälzung in ihren Vorstellungen, wie etwa jene von Kopernikus für die Naturwissenschaften im 16. Jahrhundert. Nicht umsonst lautet der Titel eines Buches von A.HALLAM "A revolution in the Earth Sciences; from continental drift to plate tectonics" (Oxford 1973). Die Plattentektonik erklärt durch ein relativ einfaches Konzept nicht nur zahlreiche, bisher nicht oder nur schwer deutbare erdgeschichtliche Einzelvorgänge, von der Gebirgsbildung bis zum Vulkanismus und bis zu Erdbeben, sondern auch das dynamische Gesamtgeschehen und in Zusammenhang damit auch die wiederholten Gebirgsbildungen während der Erdgeschichte. Die neuen Erkenntnisse sind den Ergebnissen, wie sie durch die Raumfahrt und die Weltraumsonden erzielt wurden, durchaus ebenbürtig, sind jedoch - da nicht so spektakulär wie etwa Mondlandungen - über einen engen Kreis von Fachwissenschaftlern kaum hinausgedrungen.

Die Tektonik als Lehre vom Bau der Erdkruste und der auf sie wirkenden Kräfte hat bereits frühzeitig die Geologen, besonders die Alpengeologen, beschäftigt, die sich mit Hebungen, Faltungen, Überschiebungen, "Fenstern" und dgl. konfrontiert sahen. Dennoch hat sich die Plattentektonik nicht aus der Alpengeologie entwickelt, sondern aus der Geophysik und der Ozeanographie mit der Meeresgeologie und -paläontologie.

So formulierte der US-Ozeanograph H.H.HESS im Jahr 1960 erstmals in einem Vortrag bzw. preprint sein "sea-floor spreading"-Konzept, das soviel wie Meeresbodenverbreiterung bedeutet, als ein Essay in Geopoesie, da er den Widerstand der Erdwissenschaftler gegen seine Vorstellungen, die einer Kontinentaldrift entsprachen, voraussah (DIETZ 1961, HESS 1962). Eine Erkenntnis, zu welcher der österreichische Geologe O.AMPFERER bereits 1941 für den Atlantik gelangt war. Ampferer nahm Konvektionsströmungen im Erdmantel an, die, ausgehend vom mittelatlantischen Rücken, durch Unterströmung (Subfluenz) zu einer zweiseitig symmetrischen Verbreiterung des Ozeans geführt haben sollen. Ampferer's Vorstellungen blieben jedoch bis vor kurzem völlig unbeachtet (s. THENIUS 1980 a).

Nach H.H.HESS bildet sich im Bereich des Zentralgrabens ("rift valley") der mittelozeanischen Rücken ständig neuer Ozeanboden durch Aufdringen von Magma (Abb. 1). Dieses Magma führt nicht nur zur Entstehung neuen basaltischen Meeresbodens, sondern bewirkt nach H.H.HESS zugleich ein Verschieben der spezifisch leichteren Kontinentalschollen. D.h., es kommt zu Kontinentalverschiebungen, wie sie im Prinzip bereits A. WEGENER im Jahr 1912 angenommen hatte und durch zahlreiche Befunde zu stützen versuchte.

Bereits vorher, nämlich in der Mitte der "50-er" Jahre, konnten P.M.S.BLACKETT und S.K.RUNCORN in England, Indien und anderen Kontinenten durch den Paläomagnetismus (= remanenter oder Gesteinsmagnetismus) nachweisen, daß die Lage der einzelnen Kontinente zueinander während der Erdgeschichte nicht konstant war. Dies bedeutete, daß erstmalig von Geophysikern das mobilistische Erdbild anerkannt wurde, nachdem es seit 1912 heftig bekämpft worden war. Geophysiker waren es auch, die Wegener's Kontinentalver-

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

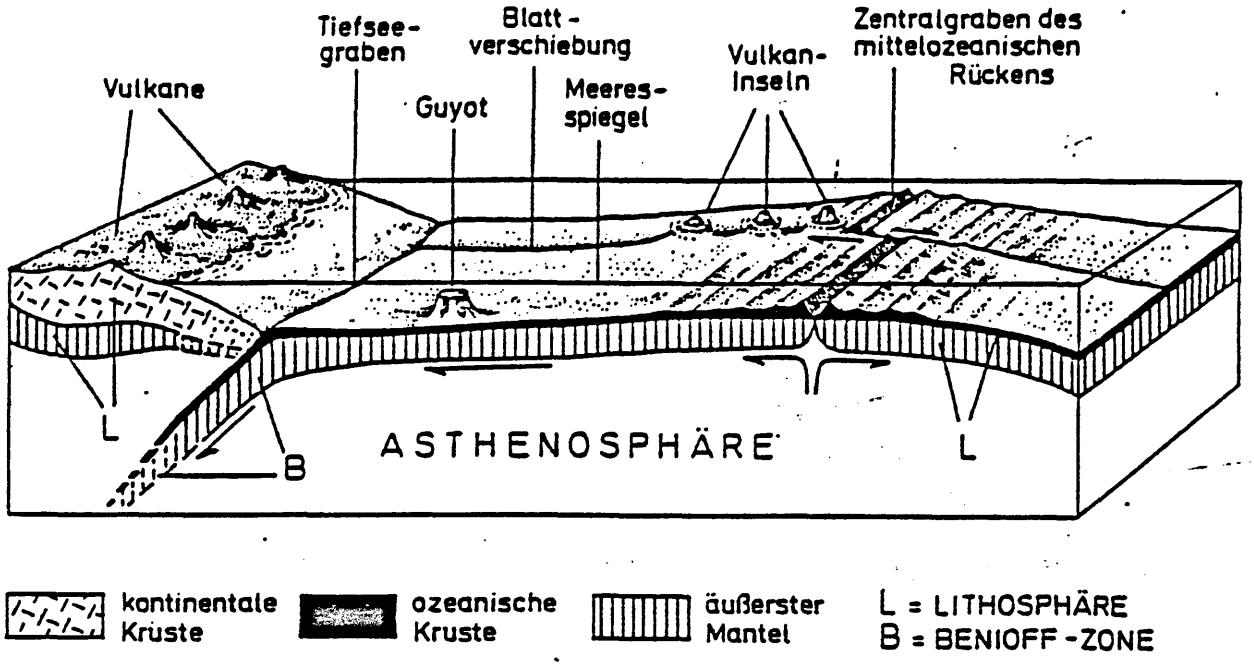

Abb. 1. Schema zum " sea - floor spreading " - Konzept. Ozeanboden mit einem von einer Blattverschiebung ("transform fault") versetzten mittelozeanischen Rücken samt Zentralgraben ("rift valley") sowie mit vulkanischen Inseln. Absinken (Subduktion) der ozeanischen Platte an einer Benioff - Zone (B) unter Bildung eines Tiefseegrabens. Guyot = abgesunkene Vulkaninsel, die einst im Meeresspiegelniveau lag. Pfeile = Aufdringen von Magma im Erdmantel bzw. Bewegungsrichtung der Lithosphäre (L), die im randlichn Bereich der Kontinentalplatte durch Auffaltung verdickt ist und zugleich durch den Vulkanismus vom pazifischen Typ charakterisiert ist. Asthenosphäre = Zone des Erdmantels unterhalb der Lithosphäre.

schiebungstheorie grundsätzlich ablehnten. Paläomagnetische Anomalien, die durch Protonenmagnetometer damals erst vereinzelt als zweiseitig vom "rift valley" angeordnetes Streifenmuster am Ozeanboden nachgewiesen worden waren, führten die Geophysiker F.J VINE & D.H.MATTHEWS aus Cambridge im Jahr 1963 zur Hypothese der wiederholten Umpolungen des erdmagnetischen Feldes während der Erdgeschichte. Mit dieser sollte zugleich das "sea-floor spreading"-Konzept bestätigt werden (Abb. 2). Damit war das Phänomen der wiederholten Umpolungen des erdmagnetischen Feldes als weltweite Erscheinung anerkannt, nachdem Umpolungen bereits im beginnenden 20. Jahrhundert lokal registriert worden waren. 1965 schuf J. Tuzo WILSON den Begriff der "transform faults" für Querfrakturen der "rift"-Zone der mittelozeanischen Rücken, also eine Art von Blattverschiebungen.

Auf Grund dieser paläomagnetischen Anomalien und der "transform faults" entwickelten die Geophysiker Dan McKENZIE & R.L.PARKER aus Cambridge sowie J.MORGAN von der Princeton-University in New Jersey in den Jahren 1967/68 das "plate tectonics"-Konzept. Nach diesem Konzept besteht die Erdkruste (Lithosphäre) aus mehreren, sphärisch gekrümmten Platten, die sowohl Kontinente als auch Ozeane umfassen können (Abb. 3) und sich um eine Rotationsachse bewegen. Damit war neuerlich im Prinzip die Kontinentalverschiebung von den Geophysikern anerkannt worden. Über die Zahl und Ausbildung der Platten der Lithosphäre bestehen Meinungsunterschiede. Sie betreffen verständlicherweise besonders die sog. Mikroplatten, die als Teilplatten größerer Schollen meist ein "Eigenleben" besitzen.

Seitherige Untersuchungen der Welt- und Nebenmeere durch das US-Tiefseebohrschiff "Glomar Challenger" im Rahmen des DSDP-Programmes (Deep Sea Drilling Project) seit 1968 haben nicht nur zu einer Bestätigung des "sea-floor spreading"- und des "plate tectonics"-Konzeptes geführt, sondern auch zu wichtigen neuen Erkenntnissen. Die jeweils

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

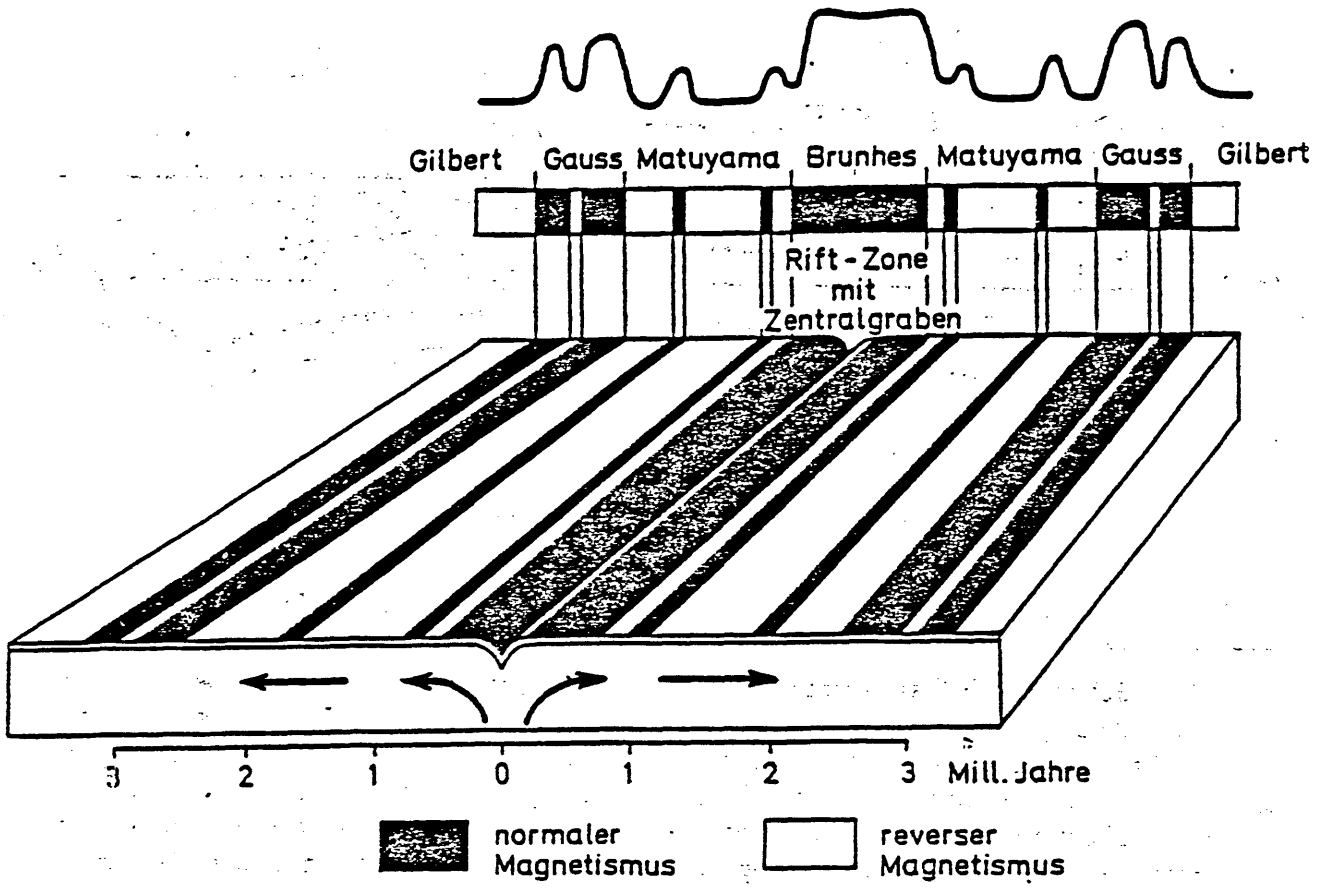

Abb. 2. Magnetische Streifenmuster am Meeresboden im Bereich eines mittelozeanischen Rückens (mit Zentralgraben), das durch wiederholte Umpolungen des erdmagnetischen Feldes bei gleichzeitiger Meeresbodenverbreiterung entstanden ist (Schema). Brunhes, Matuyama, Gauss und Gilbert = Namen der erdgeschichtlich jüngsten geomagnetischen Epochen (s. Zahlenskala). Pfeile = Bewegungsrichtung des Magmas, welches den Untergrund ("basement") des Ozeanbodens bildet, der im Zuge der Abkühlung magnetisiert wird. Oben: Magnetisierungskurve mit normalem bzw. reversem Magnetismus. (Nach VINE & MATTHEWS, 1963 bzw. ALLAN, 1969, verändert umgezeichnet)

von einem Forscherteam durchgeführten geophysikalischen, petrologischen, geologischen und paläontologischen Untersuchungen zeigten, daß mittelozeanische Rücken in sämtlichen Ozeanen in Form eines erdumspannenden Systems auftreten und daß der Ozeanboden (basaltisches "basement" und Meeressedimente) vom Zentralgraben der mittelozeanischen Rücken bis zum Kontinentalsockel an Alter zunimmt. Die ältesten Böden der heutigen Ozeane sind zur Jurazeit entstanden (Abb. 4). Dies bedeutet nicht, daß es keine vorjurassischen Ozeane gegeben hat, sondern nur, daß deren Spuren nicht in den heutigen Ozeanböden, sondern nur auf den Kontinenten erhalten geblieben sind.

Das Alter der Ozeanböden ist nicht nur durch die biostratigraphische Datierung an Hand von Mikrofossilien (Foraminiferen, Radiolarien, Kalk- und Kieselflagellaten) aus den Tiefseebohrkernen bestimmbar, sondern auch durch die radiometrische Datierung des "basements". Sie gestatten auch eine altersmäßige "Eichung" der magnetischen Anomalien, so daß man direkt von einer Magnetostratigraphie sprechen kann. Derartige Daten ermöglichen exakte Angaben über die Ausdehnungsraten des Ozeanbodens. Sie betragen 2 bis 18 cm pro Jahr und Rücken. Die größten Werte wurden für den Indik und Pazifik, die geringsten für den Atlantik festgestellt. Die Ausdehnung erfolgte weder konstant noch kontinuierlich.

Die Zentralgräben sind seismisch aktive Dehnungsfugen der Erdkruste. Dies wurde einerseits durch den Nachweis von Bebenherden, andererseits durch submarine Lavaergüsse ("pillow lava") bestätigt (Tiefseefotos). Im atlantischen Zentralgraben südwestlich der

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

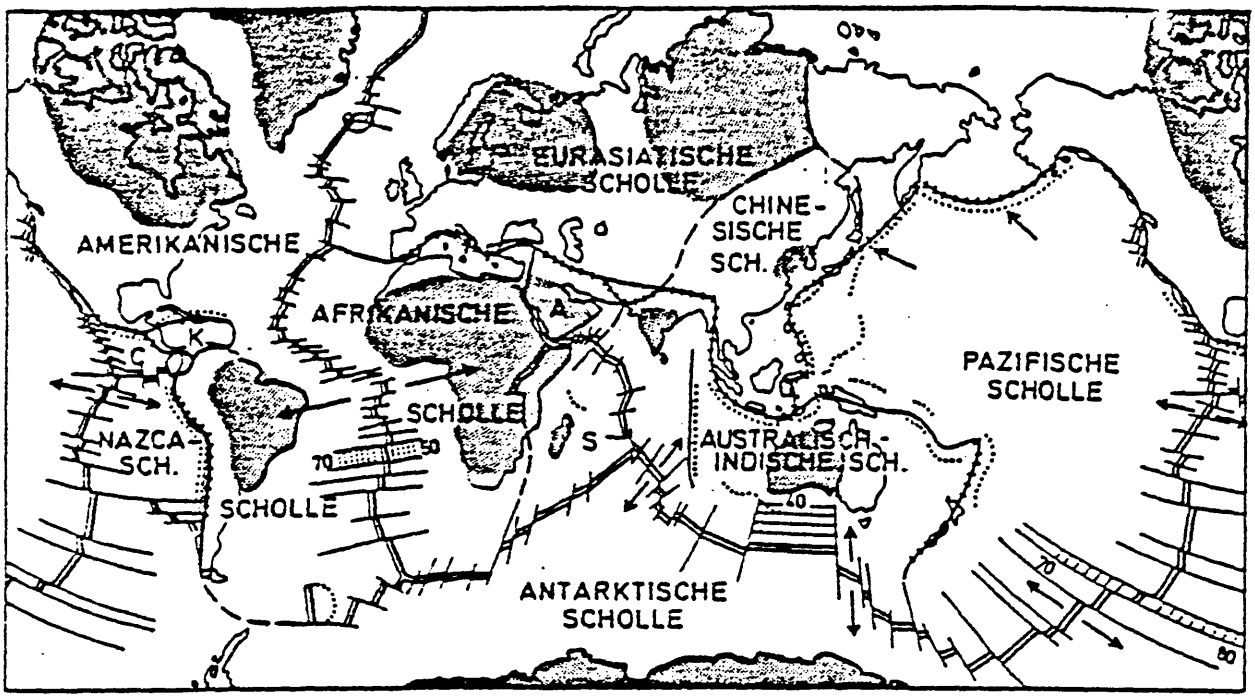

Abb. 3. Platten der Lithosphäre nach dem "sea-floor spreading"-Konzept und der Plattentektonik (Schema). Die mittelozeanischen Rücken (═══) als Dehnungsfugen, Tiefseegräben (·····) und Gebirgsketten (+ + + + +) als Verschluckungs- bzw. Einengungszonen. A Arabische Platte, C Cocos-Platte, K Karibische Platte, S Somalische Platte. ——— Blattverschiebungen, Brüche; ⟶ Bewegungsrichtung der Platten. Zahlen = Werte (Jahrmillionen) der Meeresbodenverbreiterung. Raster = präkambrische Schilde. (Nach HEIRTZLER, 1968, und LE PICHON, 1968, kombiniert und verändert umgezeichnet)

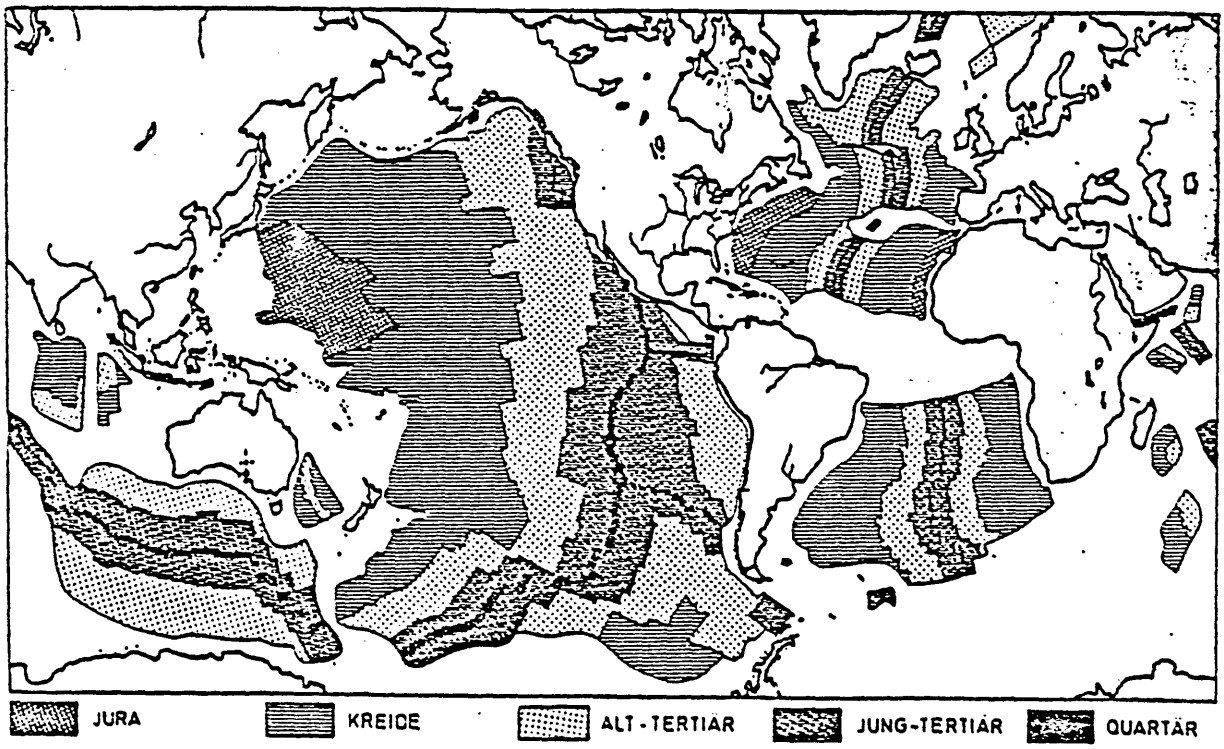

Abb. 4. Das Alter der Ozeanböden nach paläomagnetischen Daten. Älteste Ablagerungen (Jura) des Pazifik östlich des Marianengrabens, des Atlantik östlich der Bahamas bzw. vor der Westküste Afrikas. Der Großteil des heutigen Pazifik und Atlantik entstand zur Kreide- und Tertiärzeit. (Nach PITMAN & al., 1974, vereinfacht umgezeichnet)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Azoren konnte dies durch Tiefseetauchboote des amerikanisch - französischen Projektes "F a m o u s" (French - American Mid Ocean Undersea Study) dokumentiert werden (RIFFAUD & LE PICHON 1977). Dieses Tiefseetauchunternehmen führte auch zum Nachweis von Zerrungsspalten längs des Zentralgrabens im basaltischen Meeresboden, über deren Ursache diskutiert wird, indem etwa die in Tiefseegräben randlich absinkenden Ozeanplatten dafür verantwortlich gemacht werden.

Die Bereiche, an denen Ozeanplatten absinken, sind meist durch Tiefseegräben (z.B. Peru-Chilegraben, Aleuten-, Marianen- oder Tongagraben) gekennzeichnet. Die Ozeanplatten können am Rande von Kontinentalschollen oder in den Ozeanen selbst absinken. Sie bilden die sog. Benioffzonen (vgl. Abb. 1), die sich an Hand von Bebenherden bis in eine Tiefe von über 600 km verfolgen lassen. Es sind richtige Subduktions- oder Unterschiebungszonen. In größerer Tiefe kommt es zu einer Aufschmelzung der Ozeanplatten im Erdmantel und der Kreislauf kann wieder beginnen. Diese Benioffzonen sind nicht nur Einengungszonen der Lithosphäre, ohne die es zu einer Expansion der Erde kommen müßte, sondern sie führen auch zur Entstehung von vulkanischen Inselbögen (z.B. Aleuten, Japanische Inseln). Einstige Subduktionszonen sind in den Gebirgen als "melange"-Zonen seit langem bekannt oder als Ophiolithzonen ausgebildet. Bereits damit ist ein Themenkreis berührt, der die Bedeutung der Plattentektonik für die Erdwissenschaften erkennen läßt. Zahlreiche Beiträge zu diesem Thema sind in TARLING & RUNCORN (1973) enthalten. Sie betreffen paläontologische, paläoklimatologische, praktische und paläogeographische Befunde. Es ist selbstverständlich, daß in diesem Rahmen die Bedeutung der Plattentektonik nur an Hand einiger ausgewählter Beispiele erläutert werden kann.

Die Bedeutung der Plattentektonik für die Erdwissenschaften

Die Plattentektonik wird zwar nicht von allen Erdwissenschaftlern anerkannt, erklärt jedoch durch ein einfaches Konzept zahlreiche erdgeschichtliche Vorgänge bzw. hat für verschiedene Probleme eine außerordentlich befruchtende Wirkung gezeigt. Sie wird deshalb auch als "new global tectonics" bezeichnet.

Zu den am meisten diskutierten Problemen in der Geologie zählen zweifellos die Gebirgsbildungen. Spuren von Orogenesen sind wiederholt aus dem Präkambrium und dem Phanerozoikum nachgewiesen. Zu den bekanntesten Gebirgsbildungstheorien zählt die Kontraktionstheorie, nach welcher die Erde mit einem schrumpfenden Apfel verglichen wurde. Erstmals von Elie DE BEAUMONT im Jahr 1829 vertreten, fand sie viele Anhänger unter den Alpengeologen, wie etwa Eduard SUESS und Leopold KOBER. Diese Kontraktionstheorie konnte zwar die Erscheinungen der letzten, nämlich der alpidischen Gebirgsbildung einigermaßen verständlich machen, nicht jedoch die vorhergehenden, wie etwa die variszische im Jungpaläozoikum und die kaledonische im Altpaläozoikum, ganz abgesehen davon, daß damit nicht die Unterschiede in den alpidischen Gebirgsketten erklärt werden konnten.

Hier lassen sich nach J.E.DEWEY & J.M.BIRD (1970) auf Grund der Plattentektonik grundsätzlich zwei Modelle unterscheiden. Sie sind das Ergebnis von Plattenkollisionen und bestätigen damit im Prinzip die Auffassungen der Schweizer Alpengeologen R.STAUB (1924) und A.HEIM (1929), die das driftende Indien bzw. den afrikanischen Kontinent als Ursache der Entstehung der alpidischen Gebirgsketten in Eurasien ansahen.

Der etwas einfachere Anden- oder Kordilleren-Typ entsteht durch Subduktion einer ozeanischen Platte unter eine kontinentale Scholle (Abb. 5). Dabei bildet sich nicht nur ein Faltengebirge im randlichen Bereich des Kontinentes mit entsprechendem Vulkanismus, sondern auch ein Tiefseegraben, sofern dieser nicht durch rasche Sedimentation vom Festland her aufgefüllt wird. Ein derartiger Kontinentalrand wird als aktiv bezeichnet (z.B. pazifischer Typ), im Gegensatz zum passiven Kontinentalrand, wie er für den Atlantikrand charakteristisch ist, wo Subduktionszonen fehlen (atlantischer Typ).

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

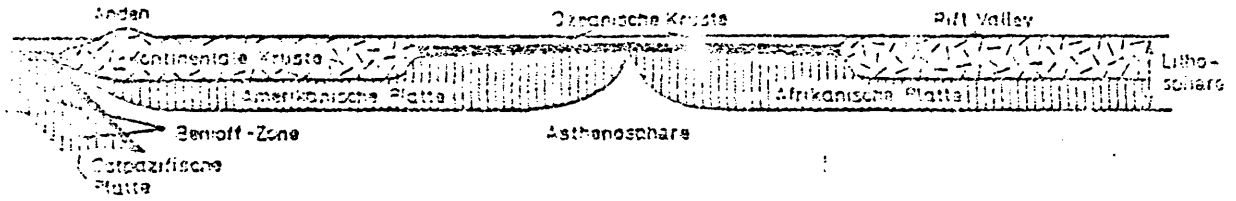

Abb. 5. Der Anden- oder Kordilleren-Typ der Gebirgsbildung am Beispiel der Anden (Schema). Subduktion der pazifischen Platte unter eine kontinentale. (Nach DEWEY & BIRD 1970, umgezeichnet)

Der kompliziertere Himalaya-Typ entsteht durch Kollision zweier Kontinentalplatten unter Subduktion des dazwischenliegenden Ozeanbodens (Abb. 6). Anzeichen für eine derartige Kollision sind Ophiolithkomplexe in sog. Melangezonen, die aus Hornsteinen, Kissenlaven, basischen und ultrabasischen Gesteinen bestehen. Diese Ophiolithe sind meist in Form von Schuppen abgerissen und an die Oberfläche gepreßt worden. Die beiden Gebirgsbildungstypen unterscheiden sich auch noch durch die Metamorphose, indem beim Himalaya-Typ mechanische Kräfte mit der niedrigtemperierten Glaukophanschieferfazies vorherrschen, beim Kordilleren-Typ hingegen thermische Kräfte auch zur Bildung von Hochtemperaturzonen (in der äußeren Zone) führen. Es sind dies die sog. "paired metamorphic belts".

Bei den Alpen ist die Situation noch etwas komplizierter, indem nicht nur die afrikanische Platte gegen die laurasische drängte und Teilkontinente (z.B. Apenninhalbinsel, Apulische Platte, Balearen) ihre eigene Geschichte erfuhren, sondern im penninischen Be-

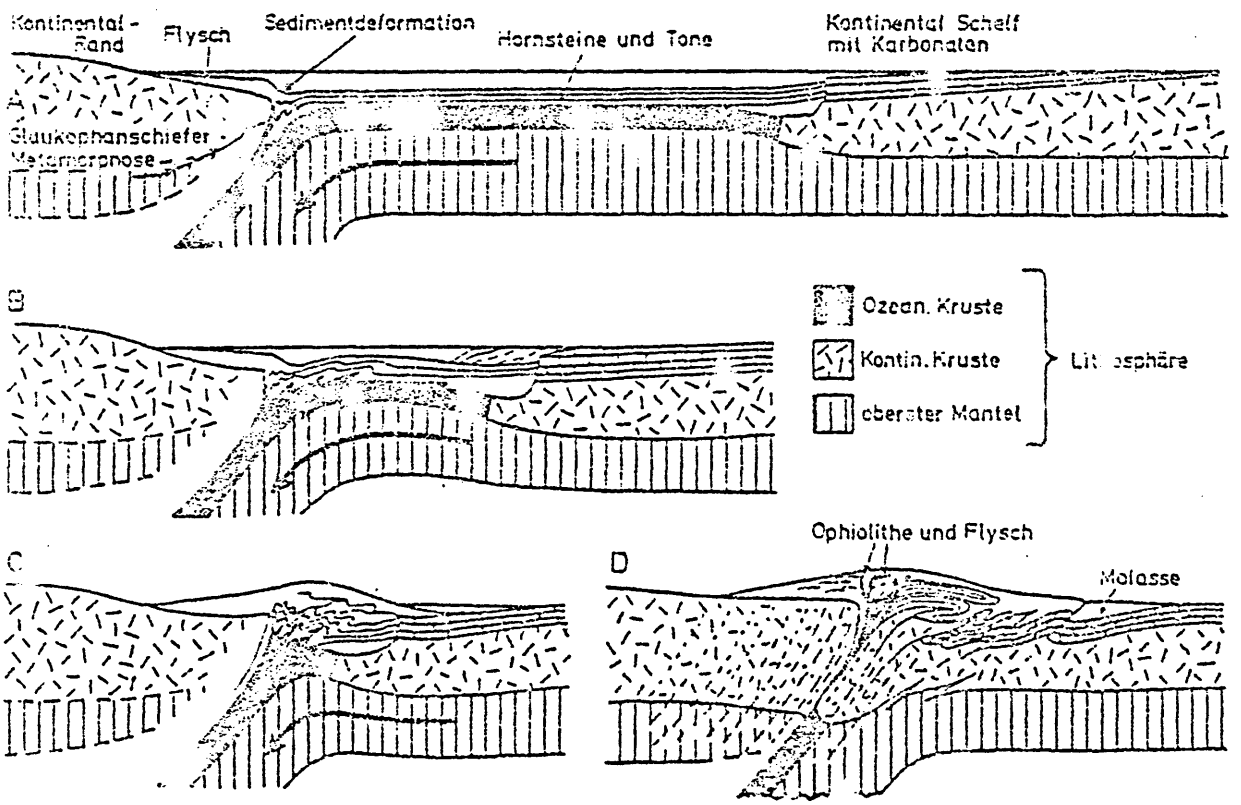

Abb. 6. Der Himalaya-Typ der Gebirgsbildung. Zusammenstoß zweier kontinentaler Platten unter (teilweiser) Subduktion einer ozeanischen Platte mit Aufpressung ophiolithischer Gesteine in sog. "melange"-Zone (Schema). (Nach DEWEY & BIRD 1970, umgezeichnet)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

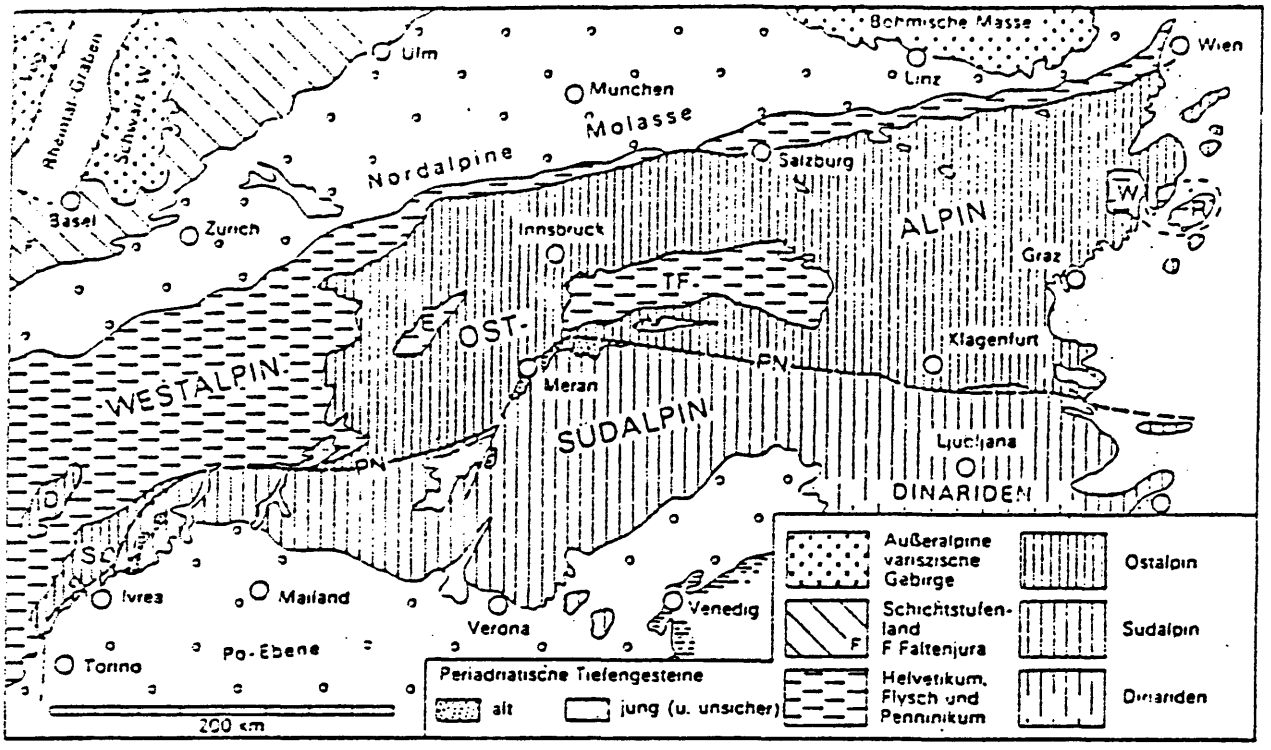

Abb. 7. Tektonische Übersichtskarte der Ost- und Südalpen sowie der östlichen Westalpen. Ostalpin als Deckensystem, das weit über das Westalpin überschoben ist und welches in mehreren tektonischen Fenstern zum Vorschein kommt (E Engadiner Fenster, TF Tauernfenster). D Dent-Blanche-Decke, F Faltenjura, PN Periadriatische Naht zwischen Ost- und Südalpin, R Rechnitzer Fenster, S Sesia-Lanzo-Zone, W Wechselfenster. (Nach BÖGEL & SCHMIDT 1976)

reich zwei getrennte Ozeane (Valais-Trog im Norden, Piemont-Trog im Süden, getrennt durch die Briançonnais-Schwelle) entstanden und durch spätere Subduktion wieder verschwanden.

Zum Verständnis des Geschehens kann man nicht vom heutigen (Abb. 7), sondern muß man vom einstigen Ausgangszustand am Beginn des Mesozoikums ausgehen, wobei hier lediglich die Ostalpen berücksichtigt sind. In den Ostalpen lassen sich gegenwärtig vom Norden nach Süden folgende Einheiten unterscheiden: Rhenodanubische Flyschzone mit den Klippenzonen = (Ultra-)Helvetikum, Nördliche Kalkalpen, Grauwackenzone, Zentralzone (samt Tauernfenster) und die Südalpen. Mit CLAR (1965), TOLLMANN (1978) u.a. ist nach Abwicklung des Deckenbaues folgende ursprüngliche Anordnung der Faziszonen vom Norden nach Süden anzunehmen (Abb. 8): (Ultra-)Helvetikum (z.B. Grestener Fazies), Penninikum (mit Nord- und Südtrog einschl. Flyschzone), Unterostalpin (z.B. Semmeringfazies), Mittelostalpin - nicht allgemein als eigene Einheit anerkannt - (z.B. Stangalm, Tattermannschuppe) und Oberostalpin (Grauwackenzone und Nördliche Kalkalpen) sowie das Südalpin (z.B. Südtiroler Dolomiten, Südkarawanken).

Von den verschiedenen Modellen (vgl. BOCCALETTI 1975, CHANNELL & HORVATH 1976, DEWEY & al. 1973, DIETRICH 1976, FRISCH 1978, 1979, OXBURGH 1972, TOLLMANN 1978), die für die Alpen entwickelt wurden, scheint jenes von W.FRISCH den Gegebenheiten am ehesten gerecht zu werden (Abb. 9-14). FRISCH bringt die Öffnung des Penninischen Ozeans mit jener des mittleren Atlantik in Zusammenhang, der bekanntlich den ältesten Teil des Atlantik bildet. Die Öffnung des Südatlantik erfolgte erst in der Kreidezeit, jene des nördlichen Atlantik erst im Tertiär. Zur jüngeren Triaszeit reichte die Tethys in mediterraner Fazies mit ihren westlichsten Ausläufern bis in den westlichen Mittelmeerraum und bildete dort ausgedehnte Karbonatplattformen. Während des Jura begann sich nach FRISCH der Südpenninische Ozean als Teil des Atlantik (nicht der Tethys) durch "sea-floor spreading" zu bilden. Eine Entwicklung, die sich unter Dre-

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

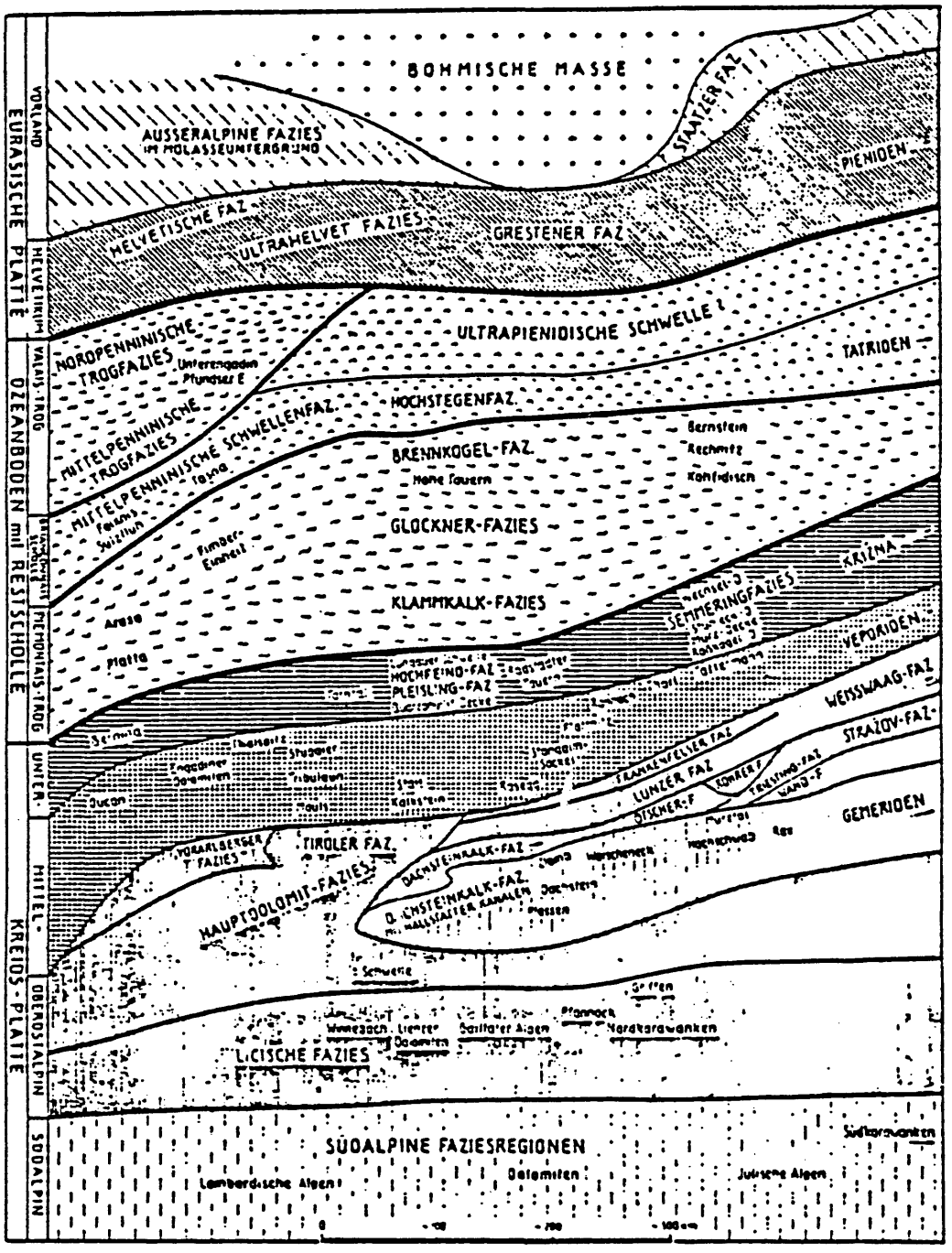

Abb. 8. Die ursprüngliche Anordnung der Fazieszonen der Ostalpen nach Abwicklung des Deckenbaues. (Nach TOLLMANN 1978)

hung der adriatischen Platte gegen den Uhrzeigersinn zur Unterkreidezeit fortsetzte, jedoch bereits zur Subduktion unter das Ostalpin führte. Mit der Bildung des nordpenninischen Ozeans zwischen der Briançonnais-Schwelle und dem Helvetikum in der Unterkreide entsteht neuer Ozeanboden, der in Form von Ophiolithen nachweisbar ist. In der Oberkreide wird der Südpenninische Ozean völlig subduziert, d.h. vom Ostalpin überfahren (intragosauische Phase; vgl. OBERHAUSER 1973). Melangestrukturen mit Ophiolithen und ozeanischen Sedimenten dokumentieren auch hier dieses Geschehen. Im nordpenninischen Trog kam es zur Ablagerung von Turbiditen (rhenodanubischer Flysch), die auch noch im Alttertiär anhielt. Im jüngeren Eozon erfolgte die Schließung des nordpenninischen Troges durch Kollision des mit dem Mittelpennin verschweißten Ostalpins mit dem Helvetikum und die Ausbildung der Molasse-Vortiefe. Weitere Einengungen führten im Jungtertiär zur Überschiebung von Flysch (samt Helvetikum) und Ostalpin über die Molasse, wie verschiedene Tiefbohrungen im Bereich der Kalkalpen (z.B. Urmannsau, Berndorf 1) dokumentieren (KRÖLL & WESSELY 1967, KRÖLL, PLÖCHINGER & WACHTEL 1980) (vgl. Abb. 14).

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

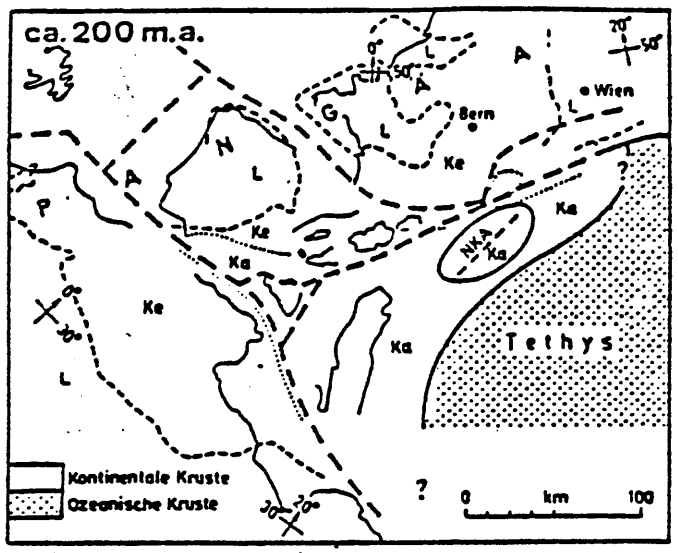

Abb. 9. Paläogeographie des westmediterranen Raumes in der späten Triaszeit (vor ca. 200 Mill. Jahren). Ka Karbonatplattform, Ke Keuperfazies, L Landgebiet, NKA Nördliche Kalkalpen. (Nach FRISCH 1978)

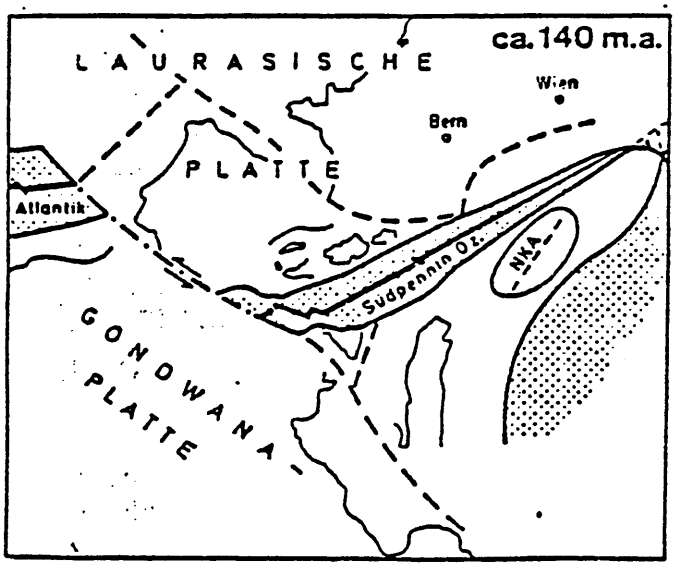

Abb. 10. Paläogeographie des westmediterranen Raumes gegen Ende der Jura-Zeit (vor ca. 140 Mill. Jahren). Beachte Öffnung des südpenninischen Ozeans durch "sea-floor spreading" in Zusammenhang mit der beginnenden Öffnung des zentralen Atlantik. NKA Nördliche Kalkalpen. (Nach FRISCH 1978)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

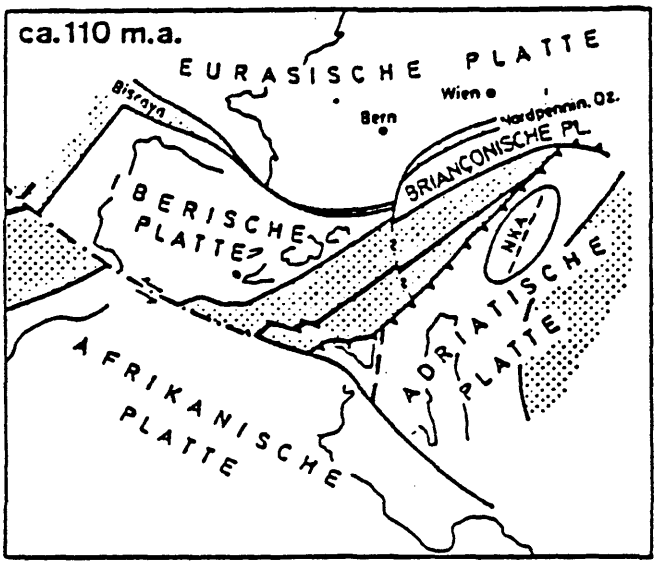

Abb. 11. Paläogeographie des westmediterranen Raumes zur mittleren Kreidezeit (vor ca. 110 Mill. Jahren). Beginnende Öffnung des nordpenninischen Ozeans, weitere Verbreiterung des südpenninischen Ozeans bei beginnender Subduktion des Südostteiles. NKA Nördliche Kalkalpen. (Nach FRISCH 1978)

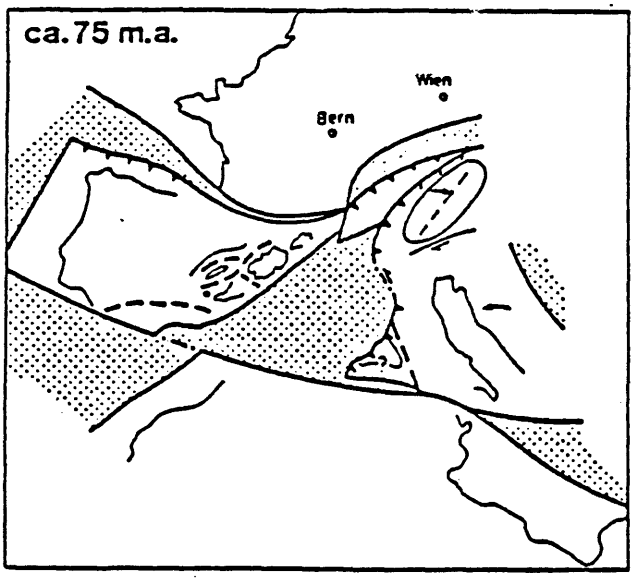

Abb. 12. Paläogeographie des westmediterranen Raumes zur Oberkreidezeit (vor ca. 75 Mill. Jahren). Völlige Subduktion des südpenninischen Ozeans unter Überschiebung der Nördlichen Kalkalpen im Bereich der Alpen bei Erweiterung des nordpenninischen Ozeans. (Nach FRISCH 1978)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

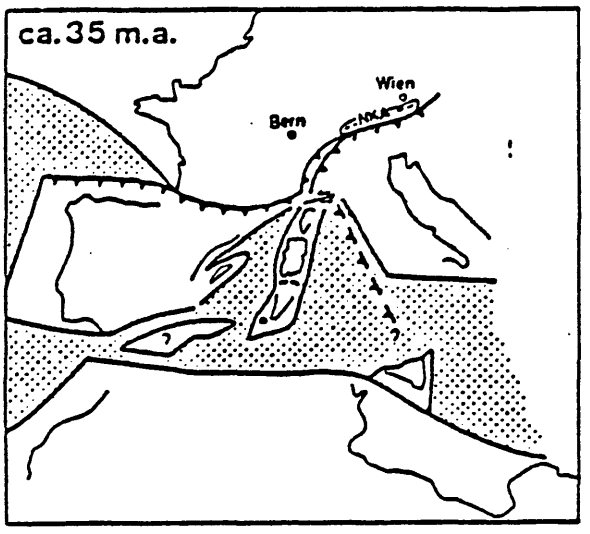

Abb. 13. Paläogeographie des westmediterranen Raumes im Alttertiär (frühes Oligozän; vor ca. 35 Mill. Jahren). Überschiebung der Nördlichen Kalkalpen (NKA) über den nunmehr gleichfalls subduzierten nordpenninischen Ozean. Beachte Rotation von Korsika-Sardinien. (Nach FRISCH 1978)

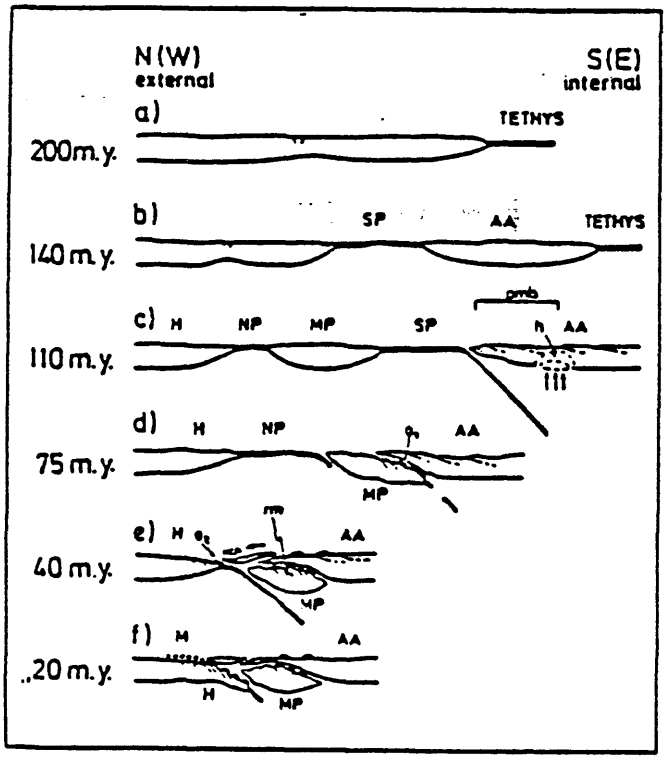

Abb. 14. Schema (Profile) zur Entstehung der Ostalpen von der Triaszeit bis ins Jungtertiär. Beachte Subduktion des Südpennins (SP) und des Nordpennins (NP). AA Ost- und Südalpin, H Helvetikum, h "heat dome", M Molassezone, MP Mittelpenninische Zone (= Brianconnais), NCA Nördliche Kalkalpen, NP Nordpenninische Zone (= Valais), O_1, O_2 Ophiolithzonen, pmb "paired metamorphic belt" (paarige metamorphe Gürtel), SP Südpenninische Zone (= Piemont). Schwarz = ozeanische Kruste, weiß = kontinentale Kruste. (Nach FRISCH 1978)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Damit sind die Grundzüge des alpidischen Geschehens im Bereich der Ostalpen aufgezeigt. Zweifellos sind noch zahlreiche Probleme offen und es werden noch weitere Detailuntersuchungen notwendig sein, um zu einem allgemein anerkannten plattentektonischen Modell auch für die Ostalpen zu führen. Dennoch bedeutet bereits der jetzige Kenntnisstand einen wesentlichen und entscheidenden Fortschritt gegenüber den noch vor einem Jahrzehnt vertretenen Ansichten.

Nach dem Plattentektonikkonzept werden nun auch die Ablagerungen der Flyschzonen, die sich über Hunderte von Kilometern verfolgen lassen, mit ihrer eintönigen lithologischen Zusammensetzung und dem weitgehenden Fehlen von Makrofossilien als Tiefwassersedimente verständlich. Allerdings spricht das Andauern der Flyschsedimentation über Jahrmillionen hinweg nach FAUPL (1980) weniger für einen aktiven als für einen passiven Kontinentalrand. Auch die seinerzeit als Geosynklinalen (z.B. Eu- und Miogeosynklinale) bezeichneten ± langgestreckten Sedimentationsräume vereinbaren sich mit dem "plate tectonics"-Konzept (vgl. DIETZ & HOLDEN 1966).

Für die angewandte Geologie hat die mit Kontinentalverschiebungen verbundene Plattentektonik praktische Konsequenzen vor allem bei der Suche von Erzprovinzen, die gegenwärtig durch Meere getrennt auf verschiedenen Kontinenten vorkommen. Bisher sind zahl-

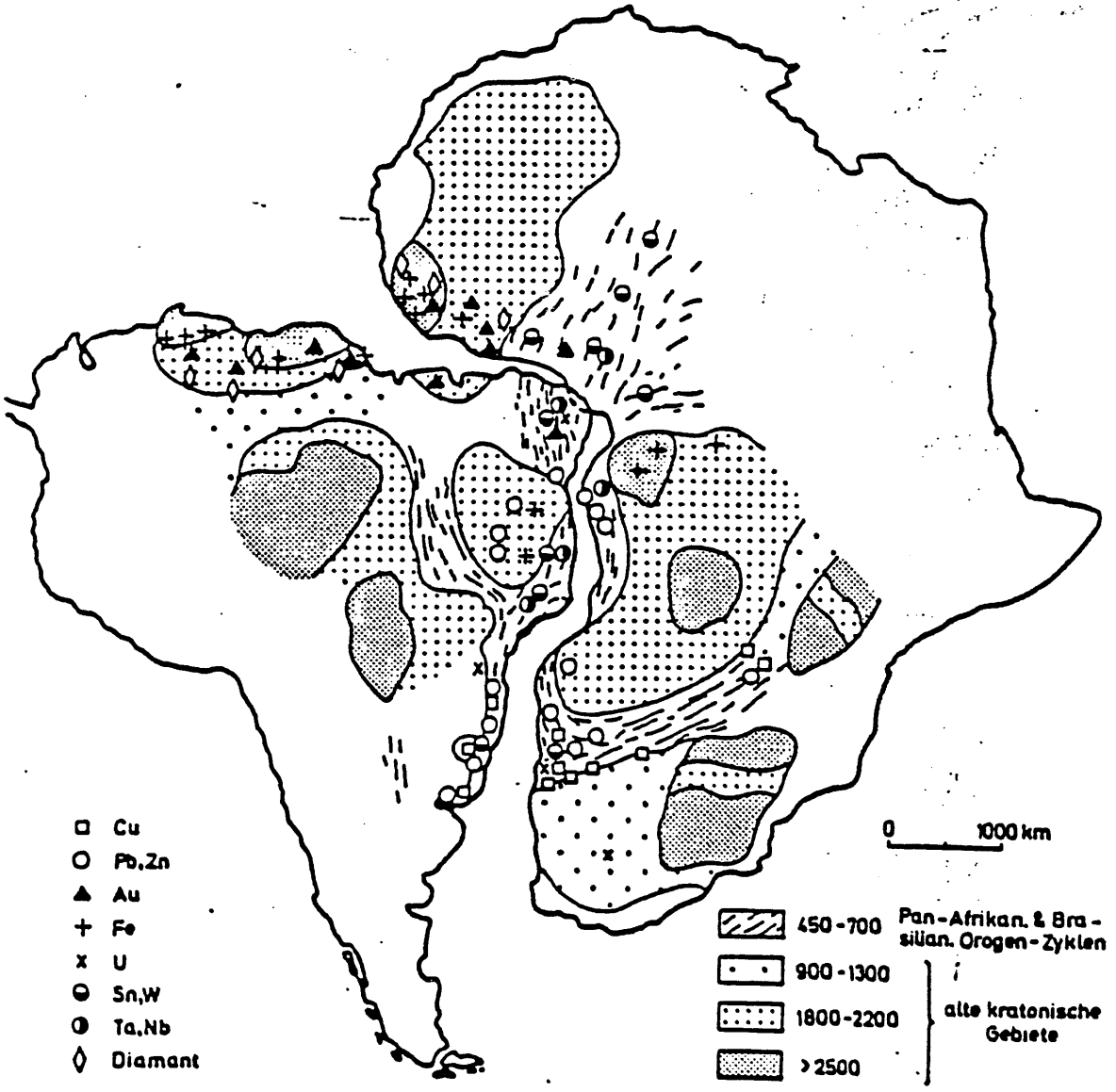

Abb. 15. Die Verteilung der Erzprovinzen im Präkambrium Afrikas und Südamerikas und der Verlauf der panafrikanischen und brasilianischen Orogenzyklen. Zahlen = Jahrmillionen. (Nach LEUBE, 1978, umgezeichnet)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

reiche Beispiele von Erz- und Mineralprovinzen bekannt geworden, die durch die Kontinentaldrift auseinandergerissen wurden (z.B. Südamerika-Afrika, Nubien - Saudi-Arabien, Indien - Australien; vgl. LEUBE 1978, PETRASCHECK 1973, SCHUILING 1967) (Abb. 15). Daß die Plattentektonik jedoch auch neue Aspekte hinsichtlich der Genese von Lagerstätten erbracht hat, sei hier nur erwähnt. So haben Untersuchungen des basalen, stark

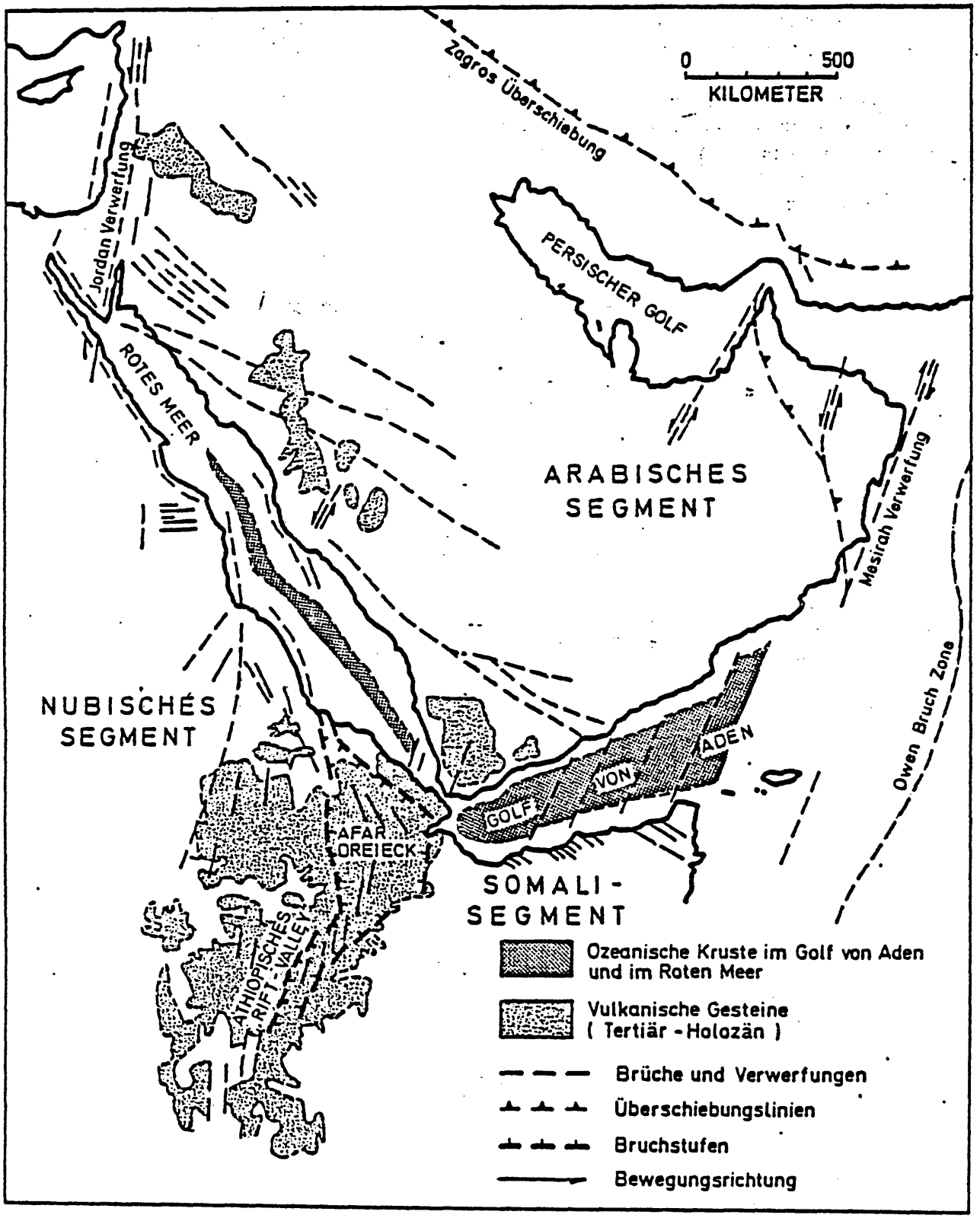

Abb. 16. Das Rote Meer als in Entstehung befindlicher Ozean durch Zerreißung des Nubisch-arabischen Blockes. Das Afar-Dreieck wurde erst in jüngster Zeit zum Festland. (Nach GASS & GIBSON 1969, umgezeichnet)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

salzhaltigen Meerwassers im Roten Meer Mineralassoziationen, wie sie für hydrothermale Lagerstätten charakteristisch sind, erbracht (DEGENS 1970, RONA 1976). Das Rote Meer ist ein in Entstehung befindlicher Ozean, der sich durch Rotation des arabischen Segmentes gegenüber dem nubischen Segment bildet (Abb. 16).

Für die Petrologie hat das "plate tectonics"-Konzept gleichfalls wichtige Erkenntnisse erbracht. Es sei hier nur an die Gesteinsbildung und -metamorphose sowie an den Vulkanismus erinnert. Auf die weitverbreiteten Gürtel mit Hochdruck-Tieftemperatur-Metamorphose in den Subduktionszonen mit Glaukophanschiefern und Eklogiten wurde bereits in Zusammenhang mit der Gebirgsbildung hingewiesen. Sie werden vielfach begleitet von Metamorphosezonen geringen Drucks und hoher Temperatur (z.B. Grünschiefer-Epidot, Amphibolitfazies) sowie von Granitintrusionen (da mit ozeanischer Kruste auch kontinentales Material subduziert), die bei partieller Aufschmelzung Granite und Tonalite (z.B. Rieserfernergruppe) ergeben (vgl. WIESENEDER 1981).

Die bereits von F.BECKE erkannten Unterschiede in den magmatischen Gesteinen und damit im Vulkanismus, wie pazifische und atlantische Sippe, finden nunmehr gleichfalls eine natürliche Erklärung. Aktiver Vulkanismus ist außerhalb aktiver ozeanischer Rücken und Subduktionszonen an Kontinentalrändern vor allem auf ozeanischen Inselketten verbreitet (z.B. Aleuten, Japanische Inseln, Sundabogen). Während letztere gleichfalls mit Subduktionszonen in Verbindung gebracht werden können, wird die Entstehung einzelner Vulkaninseln durch WILSON (1965) mit sog. "hot spots" zu erklären versucht. Ein derartiger stationärer "hot spot" im Pazifik führte nach dieser Hypothese durch die Wanderung der pazifischen Platte zur Kette der Hawaii-Inseln. Es sind Schildvulkan-Inseln, von denen Hawaii als östlichste Insel mit den noch tätigen Vulkanen Mauna Kea und Mauna Loa die jüngste ist.

Neuere Untersuchungen von Basalten im Bereich mittelozeanischer Rücken haben neue Erkenntnisse über die Basaltgenese und damit auch Hinweise auf das primäre Magma erbracht. Bis vor kurzem als Komatiite nur aus präkambrischen (archäischen) "greenstone belts" von Rhodesien, Südafrika und Kanada bekannt (CONDIE 1980), konnten derartige Gesteine mit "Spinifex-Gefüge" auch aus eozänen Ophiolithen der Pazifik-Insel Gorgona vor Kolumbien nachgewiesen werden (DIETRICH 1981). Diese Komatiite entstammen nach der Schmelztemperatur aus Magmenkammern unterhalb der Mohorovicic-Diskontinuität. Für etwas höhere Magmenkammern sind die Gabbros und für noch höhere die aus tholeitischen Basalten bestehenden "pillow lavas" (Kissenlava) der mittelozeanischen Rücken charakteristisch. Eine Abfolge, die zum Verständnis der Basaltgenese wichtig ist, jedoch zugleich zur Diskussion über die Entstehung der Gesteine der präkambrischen "greenstone belts" geführt hat (damals dünnere sialische Kruste als gegenwärtig).

Für die physische Geographie bzw. für die Ozeanographie machte die Plattentektonik nicht nur das Vorkommen von Tiefseegräben und ozeanischen Inselketten verständlich, sondern erklärte nunmehr auch die Entstehung der sog. Guyots. Als Guyots werden submarine kegelstumpfartige Erhebungen des Ozeanbodens bezeichnet, mit einer durch die Brandung eingeebneten Oberfläche, die mehrere hundert Meter unter der heutigen Meeresoberfläche liegt (vgl. Abb. 1). Schon dadurch ist eine Entstehung durch eustatisch bedingte Meeresspiegelschwankungen auszuschließen. Die Ozeane werden mit zunehmender Entfernung von den mittelozeanischen Rücken immer tiefer, was zugleich ein Hinweis auf das Alter des Ozeanbodens ist. Dies erklärt sich durch die zunehmende Schrumpfung des basaltischen Ozeanbodens durch Dehydrierung. Diese Schrumpfung führt nicht nur zur größeren Ozeantiefe, sondern auch zur Absenkung der ursprünglich in Meeresspiegelniveau befindlichen Vulkaninseln, die heute als Guyots ausgebildet sind.

Auch für die Geophysik erbrachte die Plattentektonik neue Erkenntnisse. Es sei dabei nicht nur auf die im Bereich der alpidischen Gebirge gelegenen Bebenzonen hingewiesen, sondern auch auf jene, die den Zentralgräben der mittelozeanischen Rücken entsprechen (Abb. 17) und auf die als "transform faults" bezeichneten Blattverschiebungen, welche diese Zone oft Hunderte von Kilometern horizontal versetzen. Die wohl bekannteste ist die als

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

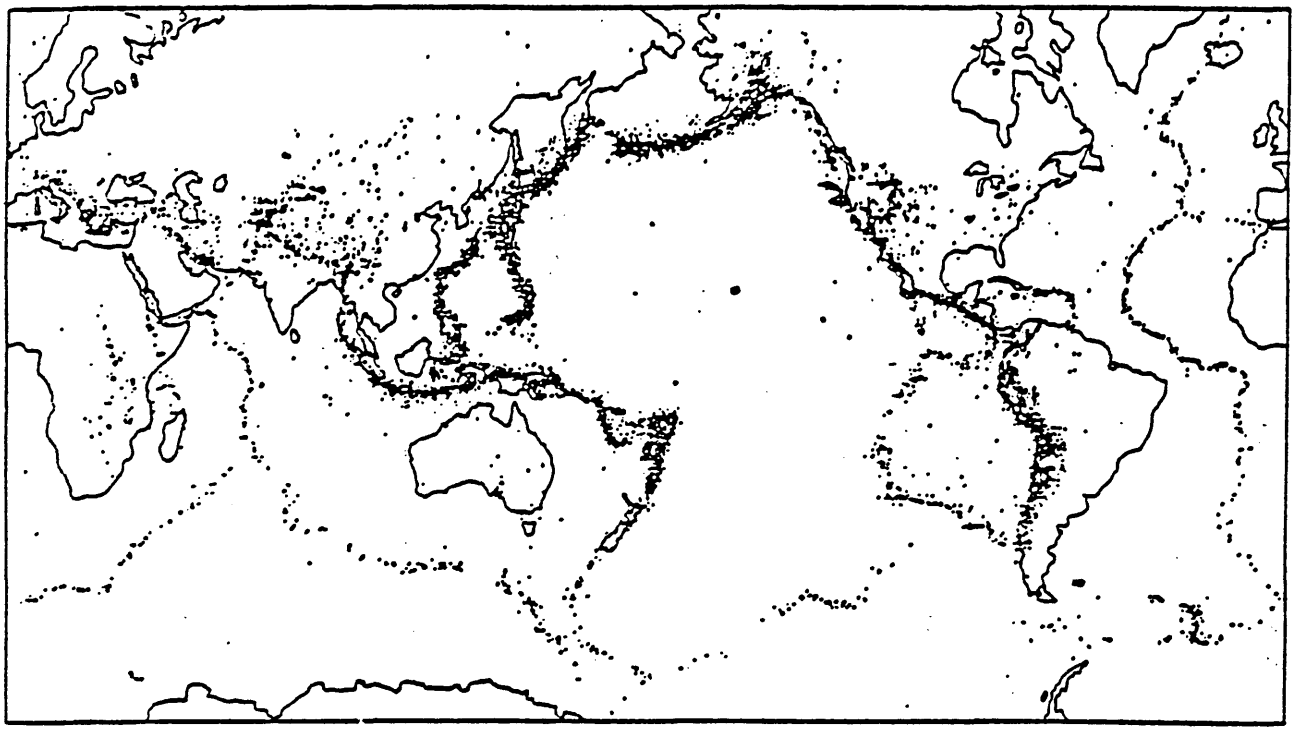

Abb. 17. Weltkarte der Bebenherde (Epizentren). Beachte Häufung im Bereich der alpidischen Gebirge, der "mittel"-ozeanischen Rücken und von Grabenbrüchen (z.B. Afrika). Alte präkambrische Schilde praktisch bebenfrei. (Nach BARAZINGI & DORMAN 1969, umgezeichnet)

Bebenlinie berüchtigte San Andreas-fault in Kalifornien, die im Laufe weniger Jahrzehnte zur Horizontalverschiebungen von mehreren Metern führte und damit auch für das Erdbeben von San Francisco im Jahr 1906 verantwortlich war. Es ist zu erwarten, daß in der Zukunft die Erdbebenvorhersage Fortschritte machen wird.

Für die (Palāo-)Klimatologie ist die Plattentektonik primär durch die Kontinentalverschiebungen von entscheidender Bedeutung. Die Kontinentalverschiebungen machen nicht nur den Wechsel von kryogenen (mit wenigstens einem Inlandeisschild im Polbereich) und akryogenen Perioden im Laufe der Erdgeschichte verständlich, sondern erleichtern über die unterschiedliche Zirkulation der Hydrosphäre (z.B. Meeresströmungen) und der Atmosphäre auch das Verständnis um das klimatische Geschehen zu Kalt- und Warmzeiten. Allerdings ist das Geschehen meist etwas komplizierter als vielfach angenommen wird (s. SARNTHEIN 1981).

Von den einstigen Eiszeiten wird die jungpaläozoische oder Gondwana-Vereisung nur durch einen einheitlichen Kontinent verständlich (Abb. 18). Eine Erkenntnis, die bereits DU TOIT (1937) bei der Rekonstruktion des Gondwana-Kontinentes berücksichtigte. Freilich sind noch manche Probleme offen, die trotz beachtlicher Fortschritte bei der Altersdatierung der Vereisungsspuren und der Erkenntnis, daß nicht alle Diamiktite eiszeitlicher Entstehung sind, nicht gelöst werden konnten. Auch die Position des afro-südamerikanischen zum antarkto-australischen Kontinent ist noch nicht geklärt. Die gegenseitige Lage der beiden Doppelkontinente ist durch den sog. "fit" (Paßform) der Kontinentalsockelränder gesichert (Abb. 19).

Auch Meeresspiegelschwankungen, die nicht eustatisch bedingt sind, lassen sich durch die Plattentektonik bzw. das "sea-floor spreading"-Konzept durch die Entstehung submariner Rücken erklären.

Zum Abschluß dieses Kapitels noch einige Hinweise auf die Paläontologie. Das Vorkommen mancher fossiler Faunen und Floren wird nur durch eine abweichende Position der

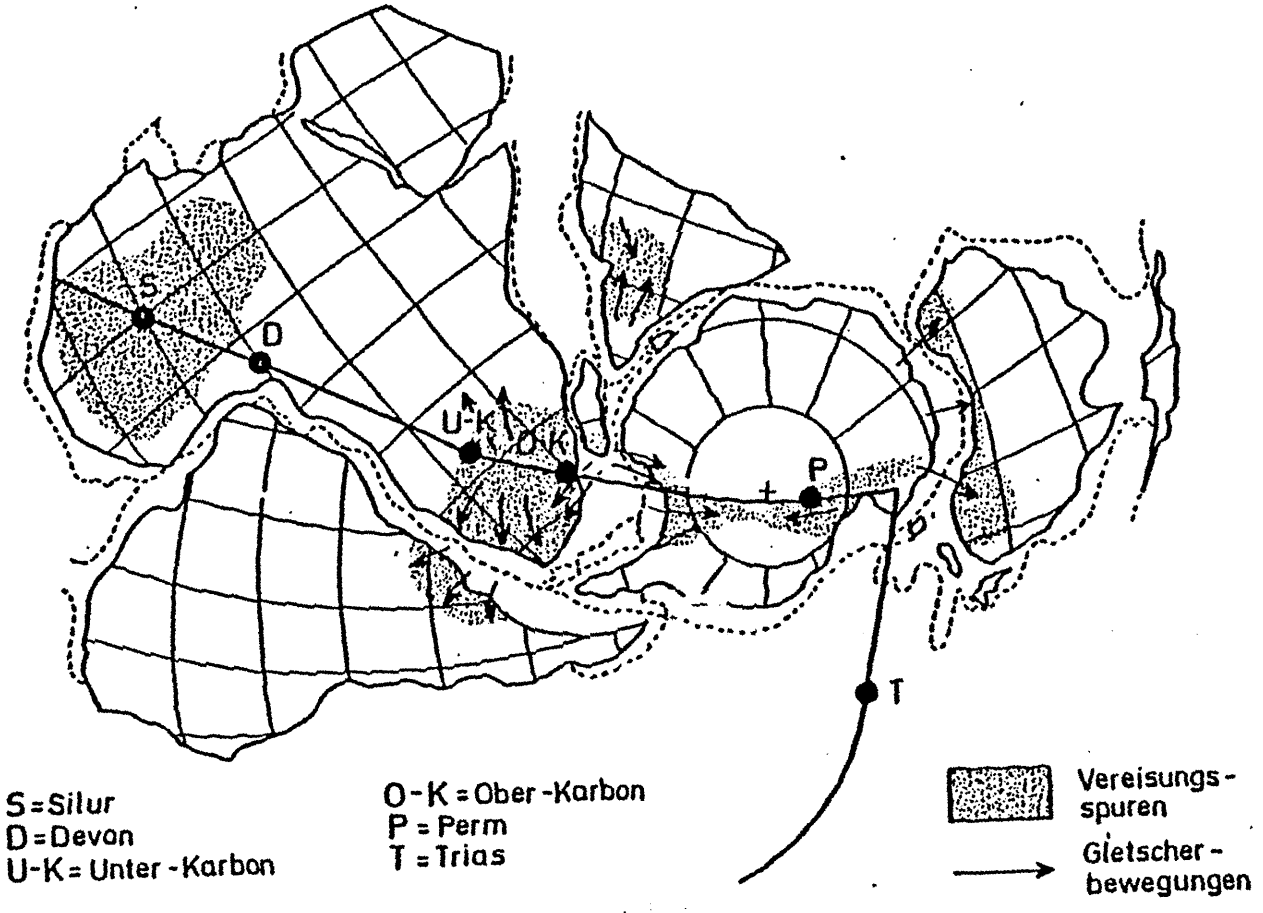

Abb. 18. Der Gondwana-Kontinent und der Wanderweg des Gondwanapols vom Silur bis zur Triaszeit. Beachte Knick des Polwanderweges zur Perm-Trias-Übergangszeit und Übergang vom Festland in den Ozean sowie Vereisungszentren im Alt- (Sahara) und im Jungpaläozoikum. Gegenseitige Position von Afro-Amerika und Antarkto-Australien nicht gesichert. (Nach McELHINNY, 1973, verändert umgezeichnet)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

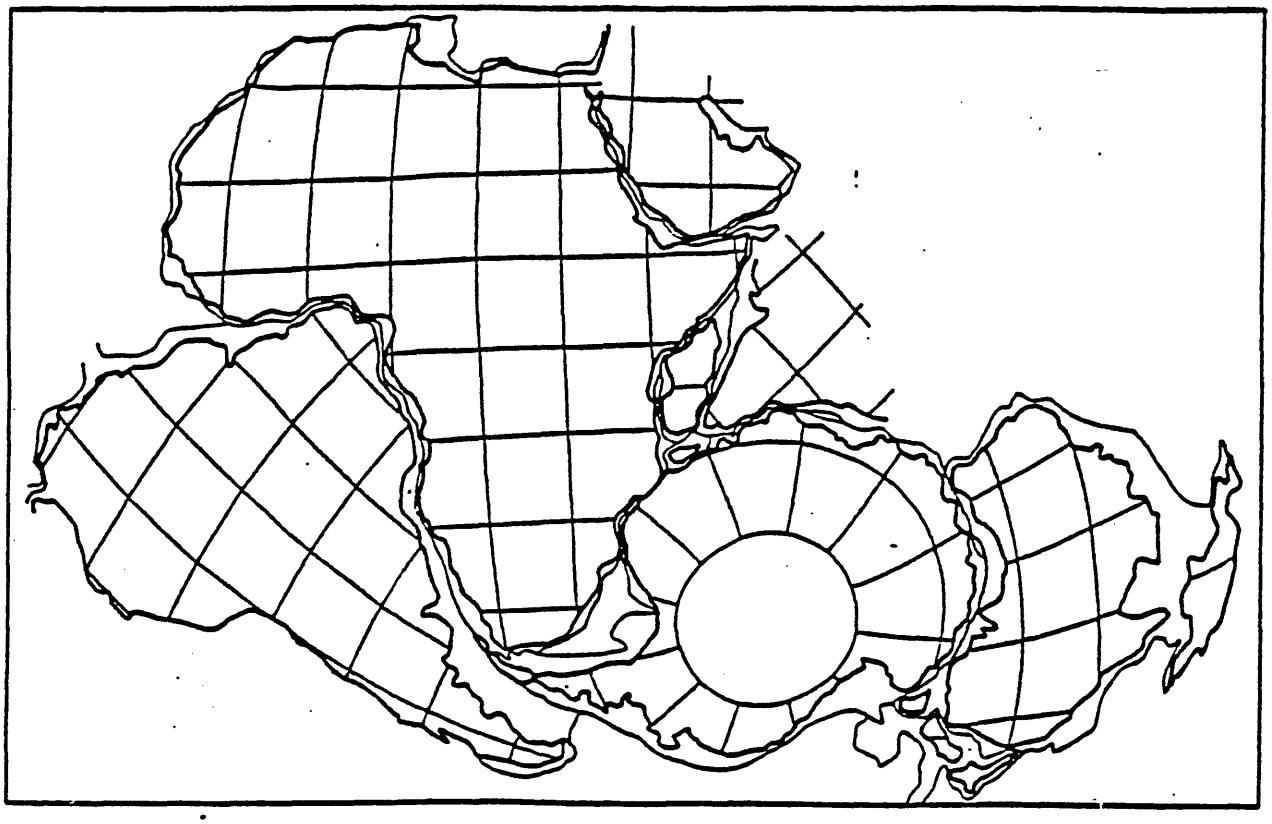

Abb. 19. Rekonstruktion des einstigen Gondwanakontinentes nach dem "fit" (Paßform) des Kontinentalsockels. Position von Madagaskar und Indien sowie jene von Afro-Amerika zu Antarkto-Australien jedoch hypothetisch. (Nach SMITH & HALLAM, 1970)

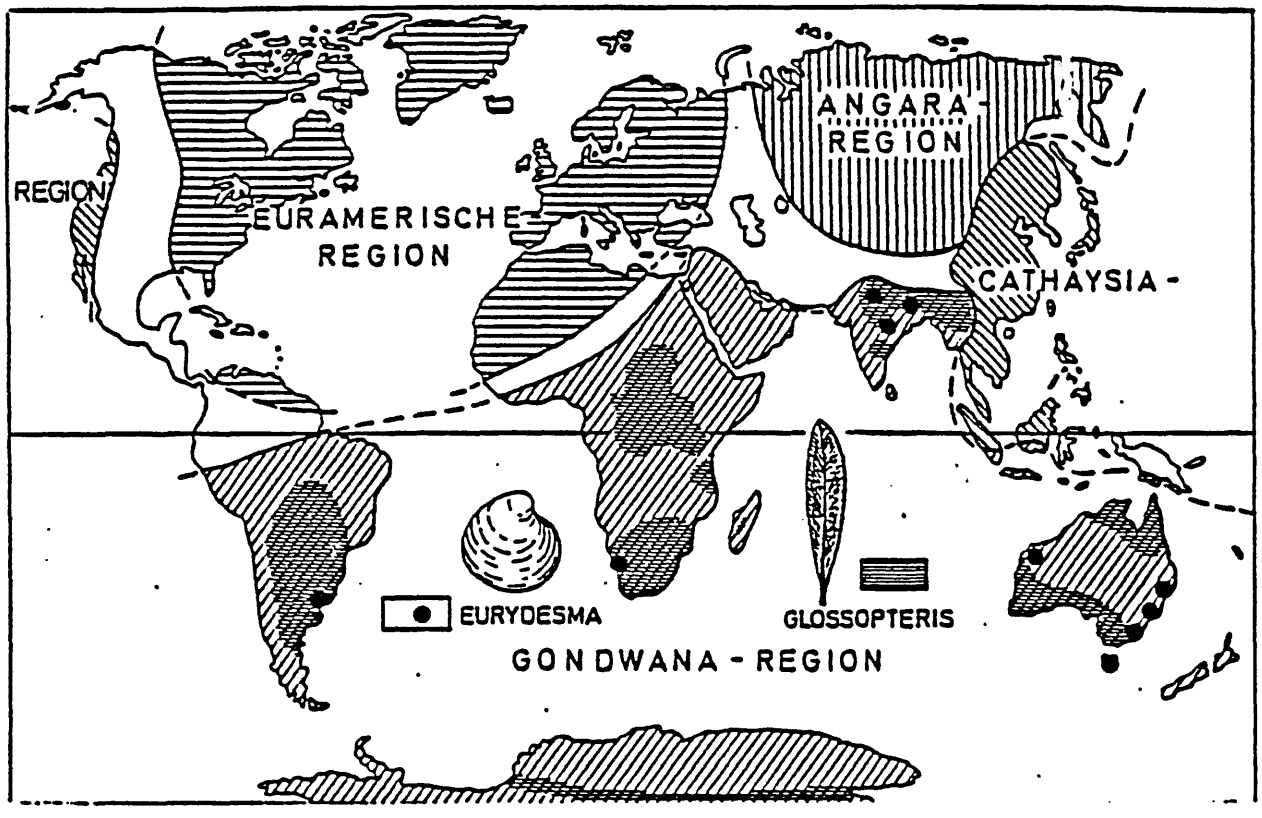

Abb. 20. Die Verbreitung der Glossopteris-Flora und der Eurydesma-Kaltwasserfauna im Unter-Perm sowie die Florenregionen zur Zeit des Ober-Karbon/Unter-Perm. Die einstige Verbreitung der Glossopteris-Flora läßt sich am einfachsten durch einen Gondwana-Kontinent erklären. (Nach PLUMSTEAD, 1973, verändert und ergänzt umgezeichnet)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Kontinente verständlich. Als bekanntestes Beispiel gilt die Verbreitung der Glossopteris-Flora, die im Unter-Perm auf den heutigen Südkontinenten (Südamerika, Afrika, Antarktis und Australien), in Indien und Madagaskar verbreitet war (PLUMSTEAD 1973) (Abb. 20). Auch wenn Glossopteris nur als Formgattung zu bezeichnen ist, so weicht die Glossopteris-Flora in ihrer Zusammensetzung von der euramerischen, der Cathaysia- und der Angara-Flora deutlich ab. Die Glossopteris-Flora war die Flora der damaligen gemäßigten Zone des Gondwana-Kontinentes. Dies wird auch durch die Verbreitung der damaligen marinen Eurydesma-Fauna bestätigt, die in den Küstengebieten des Gondwanakontinentes heimisch war. Auch die Verbreitung der jungpaläozoischen euramerischen Flora macht den damals landfesten Kontakt zwischen Europa und Nordamerika notwendig.

Der erst vor etwa einem Jahrzehnt durch COLBERT gelungene Nachweis von Lystrosaurus und anderer Reptilien (Thrinaxodon, Procolophon) aus der älteren Trias der Antarktis wird gleichfalls nur durch einen einstigen einheitlichen Südkontinent (Gondwana) verständlich (COLBERT 1970, 1972). Lystrosaurus war bis dahin nur aus Südafrika, Indien und Südwestchina, Thrinaxodon und Procolophon nur aus Südafrika bekannt (Abb. 21).

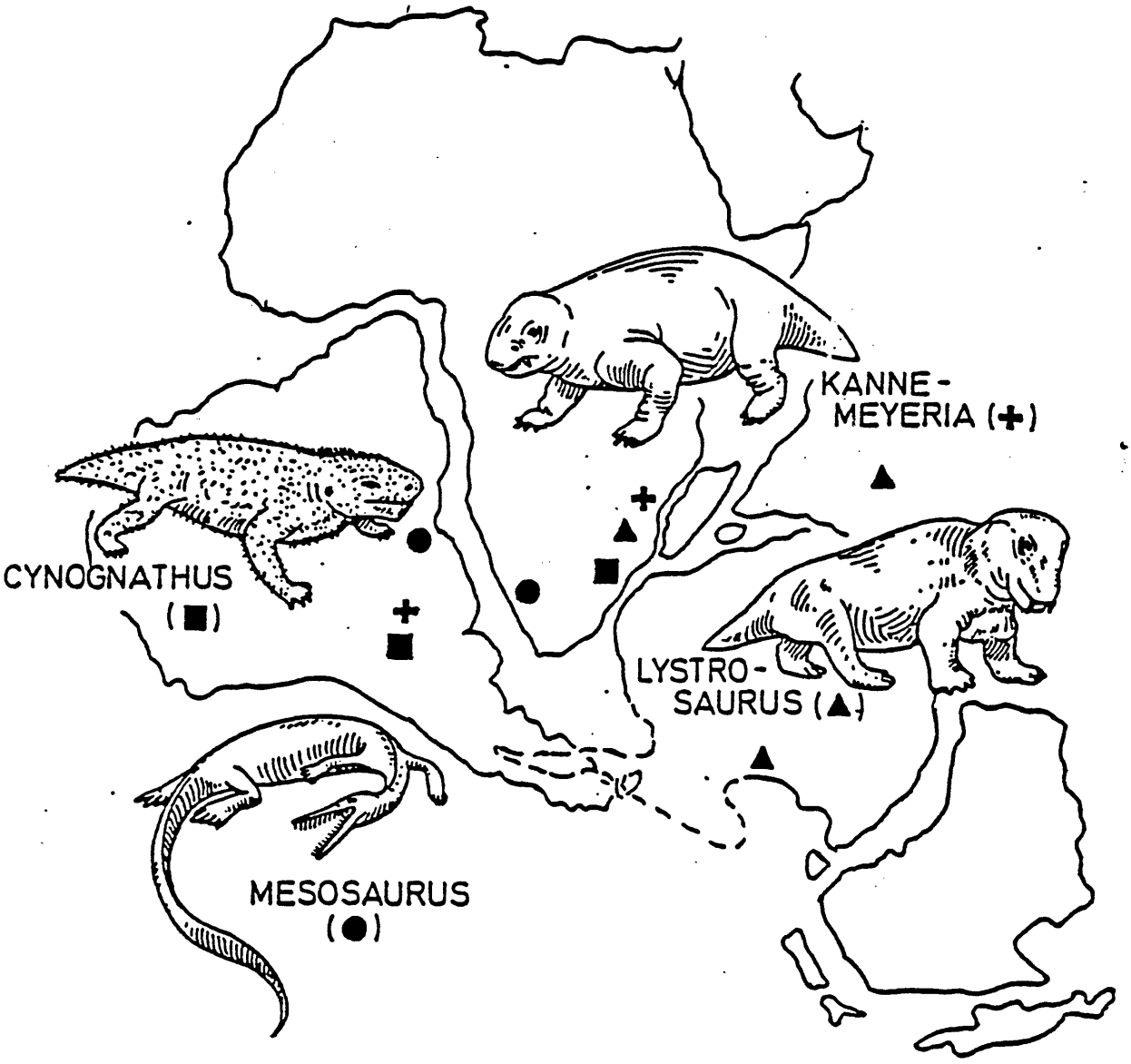

Abb. 21. Der Gondwana-Kontinent und die Verbreitung nichtmariner Reptilien im Unter-Perm (Mesosaurus) und zur älteren Triaszeit (Lystrosaurus, Kannemeyeria, Cynognathus). Mesosaurus = Seebewohner.

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die Verbreitung der Südwasserkrokodile Acaripesuchus und Sarcosuchus aus der älteren Kreidezeit von Südamerika und Westafrika (s. BUFFETAUT 1979) erklärt sich nur durch die Existenz eines einstigen Doppelkontinentes (Afro-Amerika) zur damaligen Zeit. Gleiches gilt für die aus Bohrprofilen aus der Bahia-Serie von Nordostbrasilien (Provinz Sergipe) und aus der Cocobeach-Serie von Gabun (Westafrika) nachgewiesenen nichtmarinen Ostracodenfaunen des "Wealden" (jüngster Jura - ältere Kreide) (GREKOFF 1953, KRÖMMELBEIN 1966) (Abb. 22).

Ammonitenfaunen aus der jüngsten Unterkreide (Ober-Alb) bzw. der ältesten Oberkreide (Unter-Turon) dokumentieren schließlich die erste durchgehende Meeresverbindung zwischen dem südlichen und mittleren Atlantik (FÖRSTER 1978, KENNEDY & COPE 1975, REYMENT & TAIT 1972). Diese Befunde stehen in Einklang mit den Vorstellungen der Entstehung des Atlantik nach der Meeresgeologie.

Abschließend zu diesem Kapitel sei noch auf einen Problemkreis hingewiesen, der mit der Kontinentaldrift und damit mit der Plattentektonik in ursächlichem Zusammenhang stehen dürfte. Nach VALENTINE & MOORES (1970) ist eine Korrelation zwischen der jeweiligen Zahl der Kontinente bzw. Kontinentalschollen und der Faunendiversität von Flachmeerbewohnern (unter den Evertebraten) festzustellen. Die geringe Zahl von wirbellosen Familien von Flachmeerbewohnern fällt nämlich mit der Existenz der Pangäa zur Perm-Triaszeit zusammen.

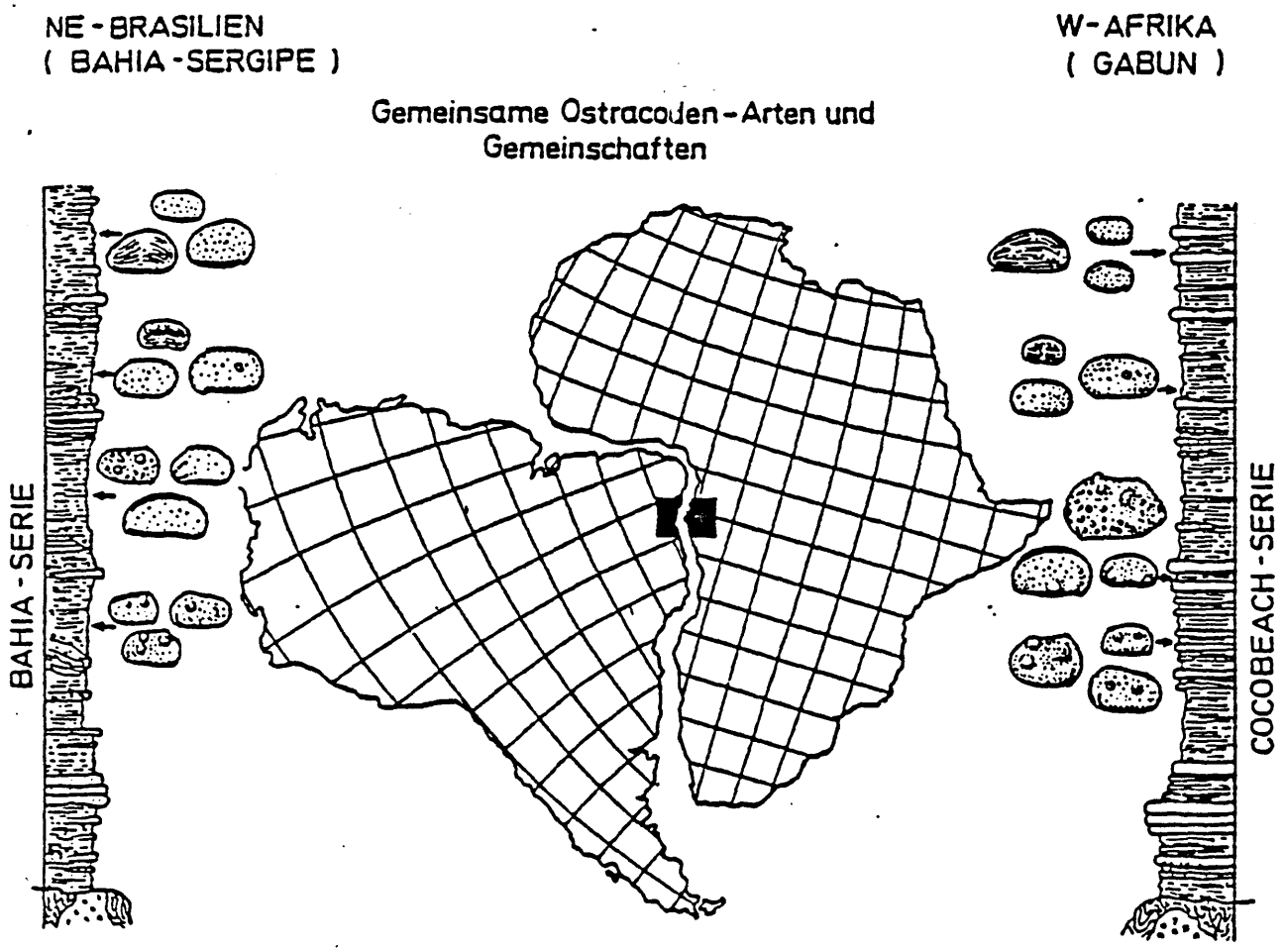

Abb. 22. Der afro-amerikanische Doppelkontinent zur älteren Kreidezeit ("Wealden") mit übereinstimmenden Profilen aus Nordost-Brasilien (Prov. Sergipe) und West-Afrika (Gabun) mit nichtmarinen Ostracodenfaunen. (Nach KRÖMMELBEIN, 1966 und 1971, kombiniert zusammengefaßt)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die Bedeutung der Plattentektonik für die Biowissenschaften

Welche Konsequenzen hat nun das "plate tectonics"-Konzept für die Biologie gebracht? Es erscheint verständlich, daß es nicht die Art der Tektonik selbst ist, sondern die Folgerungen, die sich daraus ergeben. Diese betreffen primär die Paläogeographie, indem nunmehr Kontinentalverschiebungen von der Geophysik anerkannt werden. Damit ist angedeutet, daß die Biogeographie jener Zweig der Biologie ist, der von den neuen erdwissenschaftlichen Erkenntnissen am ehesten "betroffen" ist.

Wie die historische Entwicklung zeigt, kam praktisch keinem biogeographischen Befund, soweit er zu paläogeographischen Rekonstruktionen führte, eine definitive Aussagekraft zu. Es sei hier nur an hypothetische Brückenkontinente wie Lemuria und Archhelenis, die einst Madagaskar und Indien bzw. Südamerika und Afrika verbunden haben sollen (VON IHERING 1907, SCLATER 1874) oder an die fünf transpazifischen Landbrücken erinnert, die VAN STEENIS (1963) nach der heutigen Verbreitung von Landpflanzen angenommen hat. Nicht ohne Berechtigung hat HANDLIRSCH (1913) darauf hingewiesen, daß für die heutigen Ozeane wegen der vielen, von den Biogeographen angenommenen Landbrücken kein Platz mehr vorhanden sei. Damit haben sich die Biogeographen ihre Glaubwürdigkeit selbst genommen und es ist schon aus diesem Grund sehr zu begrüßen, daß nunmehr die Geowissenschaften und da vor allem die Geophysik nicht nur grundsätzlich Kontinentalverschiebungen anerkennen, sondern auch zahlreiche stichhaltige Befunde dafür liefern konnten.

Dennoch wäre es falsch, biogeographischen Befunden jede Bedeutung abzusprechen. Ihre Auswertung ist jedoch nur unter verschiedenen Voraussetzungen möglich. Grundsätzlich eignen sich für derartige Aussagen nur jene Organismen, bei denen eine aktive oder passive Verbreitung über Ozeane und Meeresstraßen ausgeschlossen werden kann (z.B. Amphibien, Süßwasserfische, Süßwassermuscheln). Die Fauna und Flora ozeanischer Inseln dokumentiert, welche Rolle die Fernverbreitung nicht nur bei Insekten und Landpflanzen, sondern etwa auch bei Reptilien und Spinnen spielt, sei es durch den Wind, sei es durch Meeresströmungen (Bauminseln u. dgl.). Schon aus diesem Grund sind diese Organismengruppen weitgehend bei paläogeographischen Rekonstruktionen auszuschließen. Ähnliches gilt für Landschnecken und Kleinsäugetiere. Es sei hier nur an das seit Jahrzehnten diskutierte Problem der Abgrenzung der orientalischen und australischen Region und damit nicht nur an die Wallacea als faunistisches Übergangsgebiet erinnert. Während Neuguinea und die östlich angrenzenden Inseln nach der Verbreitung der Säugetiere zur australischen Region zu zählen sind, gehören diese Inseln nach Landpflanzen und Landschnecken zur orientalischen Region. Diese unterschiedlichen Auffassungen widerspiegeln die Ausbreitungsmöglichkeiten der genannten Tier- und Pflanzengruppen. Die Wallace'sche Linie als markante faunistische Grenze bzw. Wallacea als zoogeographisches Übergangsgebiet wären ohne die paläogeographische Entwicklung unverständlich. Nach den Vorstellungen der Geophysiker und Meeresgeologen war Australien (samt Neuguinea) noch bis ins Alt-Eozän mit der (Ost-) Antarktis landfest verbunden. Seither driftete Australien nordwärts und näherte sich im späten Jungtertiär Südostasien, so daß ein Faunen- und Florenaustausch-der jedoch entsprechend den Meeresströmungen ein sehr einseitiger war - möglich wurde. Dieser seit einigen Millionen Jahren andauernde Austausch führte nicht nur zur Einwanderung von Chiropteren und Nagetieren (Muriden), sondern auch von Landpflanzen aus der orientalischen Region. Die wenigen gegenwärtig von Neuguinea westwärts vorgedrungenen Beuteltiere (z.B. **Phalanger ursinus** und **Ph. celebensis** auf Celebes, **Phalanger orientalis** auf Timor) sind Inselhüpfer, die sich bestenfalls artlich von ihren Verwandten in Neuguinea unterscheiden. Placentale Großsäugetiere, wie **Macaca**, **Babyrousa** und **Cervus**, sind nach Osten über Halmahera-Ceram nicht hinausgelangt.

Ein wesentliches Argument für einstige Landverbindungen bildeten stets die disjunkten Verbreitungsareale verschiedener taxonomischer Kategorien. Wie SIMPSON (1965) ausgeführt hat, ist die Verbreitung der placentalen Säugetiere mit ihren zahlreichen Disjunktionen (z.B. Tapire in Südostasien, Zentral- und Südamerika, Cameliden in Zentralasien und Süd-

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreich/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

amerika, Traguliden, Rhinocerotiden und Elephantiden in Afrika und Südasien) auch ohne Annahme von Kontinentalverschiebungen möglich. Lediglich die Beringbrücke und der Panama-Isthmus müssen einst vorhanden und der Weg von Afrika nach Asien über die arabische Halbinsel auch für Waldformen gangbar gewesen sein. Die oben erwähnten Disjunktionen sind lediglich Schrumpfareale einst weit verbreiteter Säugetiergruppen.

Wie O.KRAUS (1978) unter Hinweis auf P.MÜLLER (1974) betont, ist bei Disjunktionen die Unterscheidung von plesiochoren und apochoren Verbreitungsarealen notwendig, analog zu plesiomorph und apomorph im Sinne der phyletischen Systematik von HENNIG (HENNIG 1966). Nur ein apochores Verbreitungsbild ist ein Beweis für einen direkten Zusammenhang. Es setzt die genaue Kenntnis der verwandtschaftlichen Beziehungen voraus. Dies sei an einem konkreten Beispiel erläutert. Die gegenwärtige Verbreitung der Lungenfische (Dipnoi) ist disjunkt. Sie entspricht einer sog. Gondwana-Verbreitung, indem Lepidosiren in Südamerika, Protopterus in Afrika und Neoceratodus in Australien als Süßwasserfische heimisch sind (Abb. 23). Nach der Fossildokumentation waren Lungenfische im Paläozoikum bzw. älteren Mesozoikum weltweit verbreitet, also auch auf den Nordkontinenten (Nordamerika, Eurasien) und auf der Antarktis nachgewiesen. Das Verbreitungsgebiet der Dipnoi ist demnach ein plesiochores Schrumpfareal, jenes der Lepidosireniden (mit Lepidosiren und Protopterus als Schwestergattungen) hingegen ein apochores Areal, das einen einstigen landfesten Kontakt zwischen Südamerika und Afrika domumentiert. Allerdings sind keine konkreten Angaben über den Zeitpunkt dieses Kontaktes möglich.

Ein analoges Beispiel bietet die Verbreitung der Knochenzüngler (Osteoglossidae) unter den Knochenfischen. Auch sie zeigen gegenwärtig eine Gondwana-Verbreitung (mit Ausnahme von Scleropages in Südostasien), waren jedoch einst weit verbreitet. Aber auch hier stehen die südamerikanischen (Arapaima) und afrikanischen ("Heterotis" = Clupisudis) Gattungen einander verwandtschaftlich am nächsten und bilden Schwestergattungen

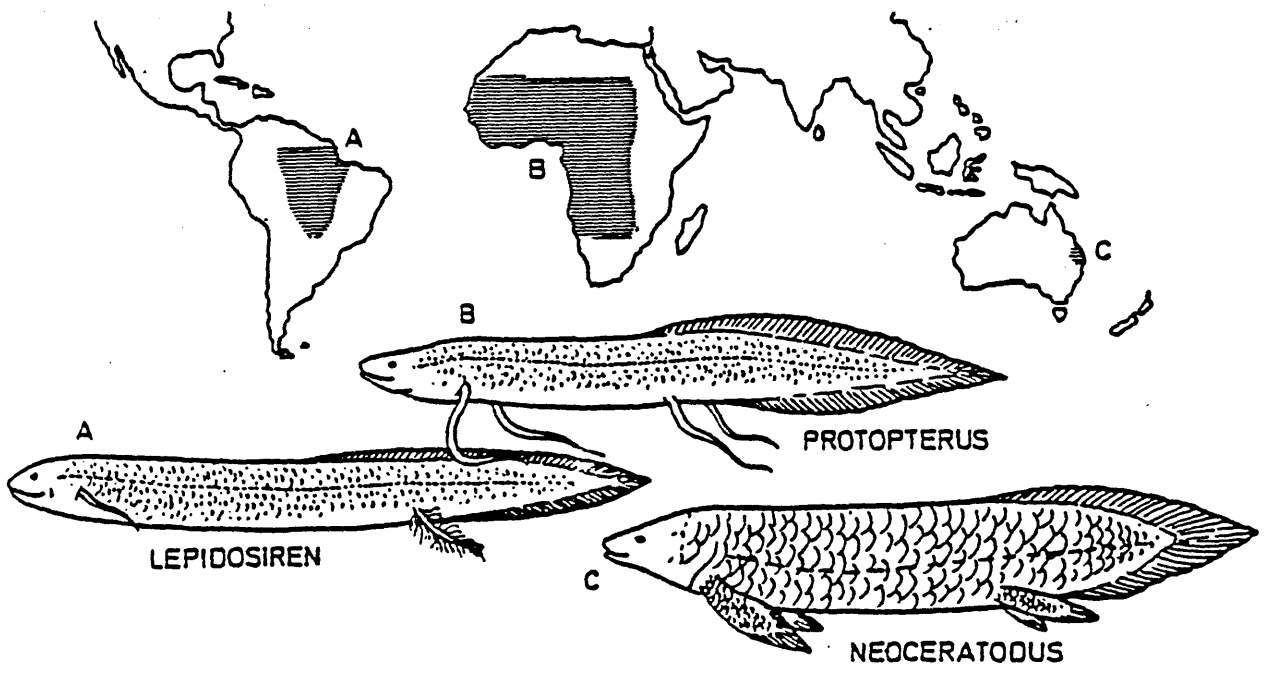

Abb. 23. Die gegenwärtige Verbreitung der Lungenfische (Dipnoi) als Beispiel für ein plesiochores Gesamtareal. Verbreitungsgebiet der Lepisosireniden mit Lepidosiren (Südamerika) und Protopterus (Afrika) als Schwestergruppen hingegen als apochor zu bezeichnen und damit als Hinweis auf den einstigen Doppelkontinent. (Nach KEAST, 1973, umgezeichnet)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

(NELSON 1969). Knochenzüngler und Lungenfische sind altertümliche Elemente, die ähnlich Regenwürmern (Acanthodrilidae: Benhaminae) unter den Oligochaeten, Süßwassermuscheln (Unionaceen), Spirostreptiden als Myriopoden, Salmlern (Characoidei) unter den Fischen, Zungenlosen (Pipidae mit Pipa in Südamerika und Xenopus in Afrika) unter den Amphibien, Pelomedusiden-Schildröten (Podocnemis in Südamerika, Pelomedusa in Afrika) unter den Reptilien und Straußartigen (Struthioniformes mit Rhea in Südamerika und Struthio in Afrika) unter den Vögeln nahe verwandtschaftliche Beziehungen zeigen, während die erdgeschichtlich jungen Elemente verschieden sind und die Ähnlichkeiten auf Konvergenzerscheinungen (z.B. Kolibris: Nektarvögel; Leguane: Agamen) bzw. Parallelerscheinungen (z.B. Neu- und Altweltaffen; Caviomorpha und Hystricomorpha unter den Nagetieren) zurückzuführen sind (Abb. 24). Allerdings sind bei den beiden letztgenannten Gruppen gemeinsame altweltliche Stammgruppen nicht auszuschließen, von denen die Ahnenformen der neuweltlichen Affen und Nager erst im frühen Alttertiär (Eozän) per Drift nach Südamerika gelangten. Diese Art der Ausbreitung wäre auch mit der einstigen paläogeographischen Situation und den damals herrschenden Meeresströmungen bei Kleinsäugern durchaus vereinbar (vgl. THENIUS 1980 b).

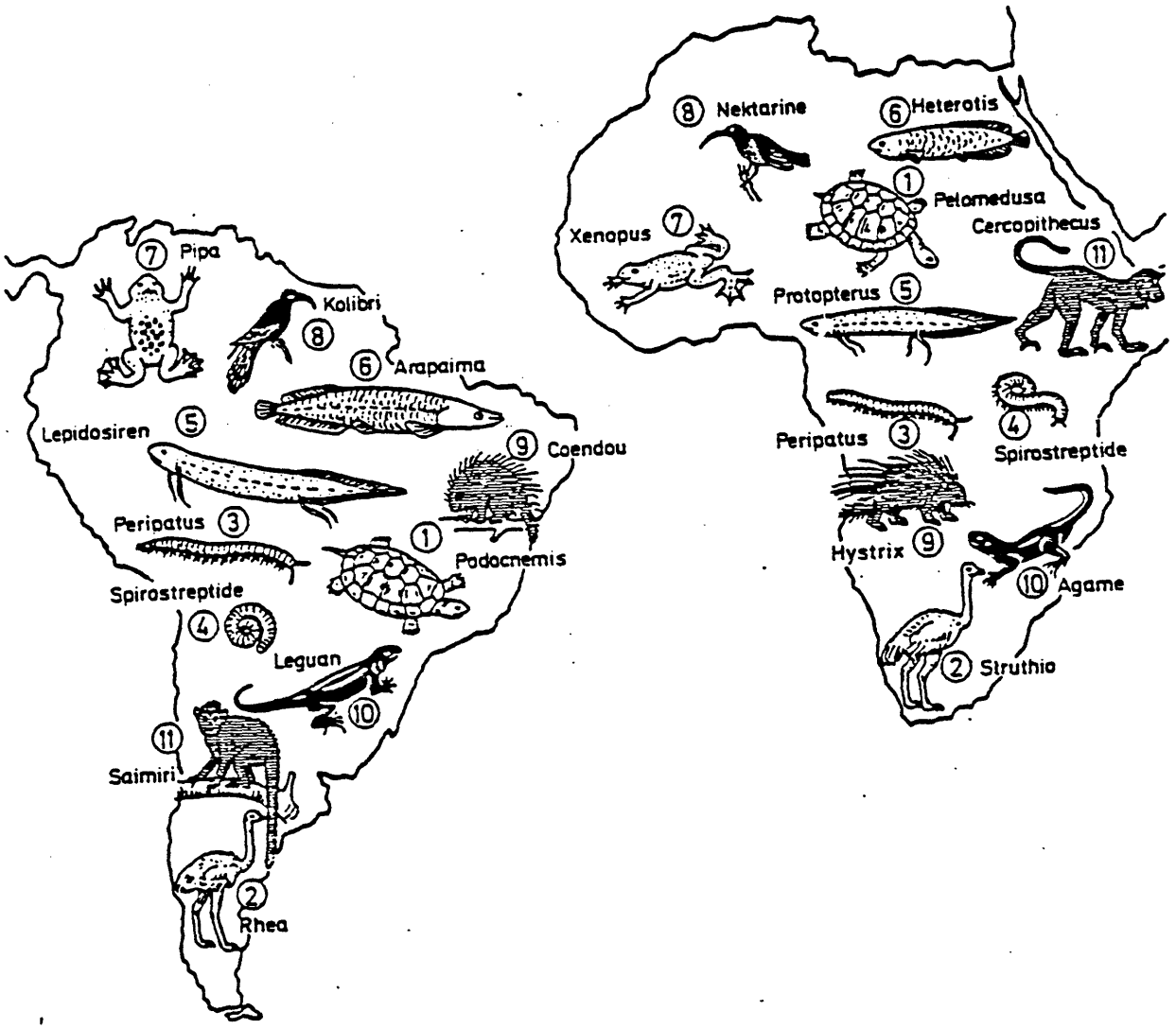

Abb. 24. Kontinentaldrift und Tiergeographie. Erdgeschichtlich alte Tiergruppen (weiß) meist durch nah verwandte Formen (meist als Schwestergruppen, wie etwa Lepidosiren: Protopterus, Arapaima: Heterotis [= Clupisudis], Pipa: Xenopus, Podocnemis: Pelomedusa, Rhea: Struthio), geologisch junge Stämme (schwarz) in Südamerika und Afrika durch konvergent entstandene Elemente (z.B. Kolibris: Nektarvögel, Leguane: Agamen) vertreten. Für die Nagetiere (Coendu: Hystrix) und die Affen (Saimiri: Cercopithecus) Diskussion noch nicht abgeschlossen (vgl. Text).

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Eines der ältesten Probleme der Biogeographie ist die Existenz sog. AS-Gruppen (benannt nach der disjunkten Verbreitung in Australien und Südamerika) und damit die Frage der transantarktischen Verbreitung. Auch hier sind plesio- und apochore Verbreitungsbilder zu unterscheiden. Zu den bekanntesten Beispielen zählen die Beuteltiere (Marsupialia) und die Südbuchen (Nothofagus).

Die Beuteltiere sind gegenwärtig auf die Neotropis (nur Didelphis besiedelt als junger [eiszeitlicher] Einwanderer auch weite Teile der Nearktis) und die australische Region (sowie Celebes) beschränkt (Abb. 25). Beuteltiere waren einst auch in Nordamerika und Europa heimisch, konnten fossil jedoch weder aus Asien noch Afrika nachgewiesen werden. Die australischen Beutler lassen sich durchwegs von neuweltlichen Formen aus der Verwandtschaft der Beutelrattenartigen (Didelphoidea) ableiten, wenn man vom Beutelwolf (Thylacinus) absieht, der möglicherweise direkt von Borhyaeniden des südamerikanischen Tertiärs abstammt. Demnach sind im Prinzip zwei Deutungen zur Herkunft der australischen Beutler herangezogen worden. Die Ostasienroute, wie sie etwa G.G.SIMPSON vertritt oder die Antarktisroute, zu deren Anhängern u.a. C.B.COX, R.HOFFSTETTER und E.THENIUS zählen. Das Fehlen jeglicher Fossilfunde in Asien und das bereits oben erwähnte rezente Verbreitungsmuster der Beuteltiere in der orientalisch-australischen Übergangsregion schließen praktisch die Ostasienroute aus. Die paläogeographische und paläoklimatologische Situation zur Ober-Kreide und im älteren Tertiär läßt die Antarktis-Route als durchaus real erscheinen (Abb. 26). Nimmt man an, daß die nach den Fossilfunden (Didelphoidea) vermutlich in Nordamerika entstandenen Beuteltiere erst zur Ober-Kreidezeit nach Südamerika und von dort über Inselketten auf die damals eisfreie Antarktis und schließlich nach Australien gelangten, so wird auch ihr Fehlen in Afrika (vermeintliche fossile Beutler haben sich als Angehörige der Macroscelididae erwiesen) verständlich. Mit Wynyardia (Wynyardiidae) ist eine Beutlergattung aus dem jüngsten Alttertiär bzw. ältesten Miozän Australiens bzw. Tasmaniens nachgewiesen, die Merkmale von Didelphiden und Phalangeriden vereint und der Stammgruppe der Phalangeroidea nahesteht (RIDE 1964). Die australischen Raubbeutler (Dasyuridae) sind zwar keine Abkömmlinge der südamerikanischen Raubbeutler (Borhyaenidae), wie dies möglicherweise für Thylacinus als Vertreter der Thylacinidae gilt, sondern der Didelphoidea und sind daher nur als Beispiele einer Parallelentwicklung anzusehen (siehe auch Nachtrag).

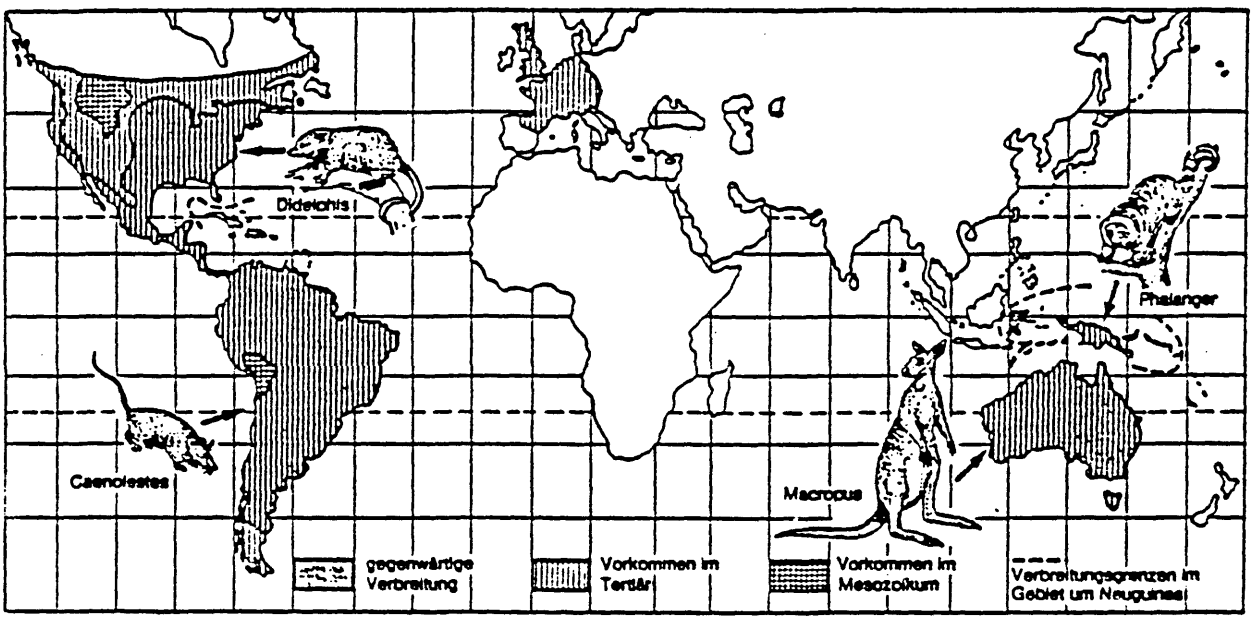

Abb. 25. Gegenwärtige und einstige Verbreitung der Beuteltiere (Marsupialia) als Beispiel einer AS-Disjunktion (Neue Welt: Australische Region + Celebes). Älteste Formen (Didelphoidea) aus Nordamerika bekannt. Während des Tertiärs mit Beutelratten auch in Europa vorübergehend heimisch. Ausbreitung über die Antarktis-Route nach Australien anzunehmen (vgl. Abb. 26)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

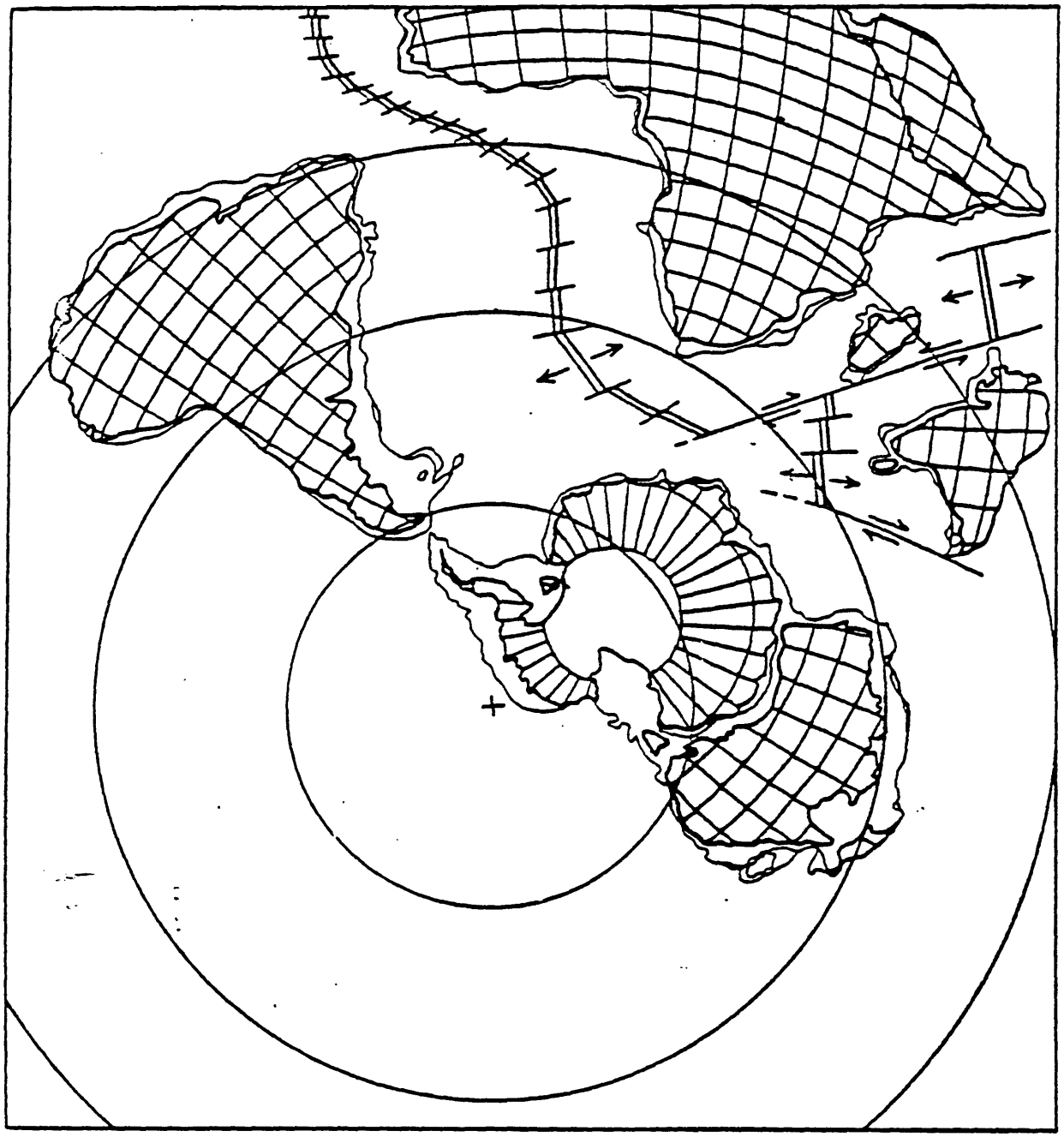

Abb. 26. Paläogeographie von Gondwana zur jüngsten Kreidezeit. Beachte Trennung von Afrika und Südamerika und die Möglichkeit der Antarktis-Route, da die Antarktis damals nicht vereist war. Vermutlich Inselkette zwischen Südamerika und der Westantarktis. Zeichenerklärung: ═══ mittelozeanischer Rücken, ——— Blattverschiebungen, ⟶ Bewegungsrichtung der Platten. (Nach McKENZIE & SCLATER, 1971, verändert umgezeichnet)

Die heutige Verbreitung der Südbuchen (**Nothofagus**) ist eine ähnliche. Sie sind in mehreren Artengruppen auf die australische Region (Neuguinea, Neukaledonien, Australien, Tasmanien und Neuseeland) und das südliche Südamerika (Chile, Argentinien) beschränkt (Abb. 27). Nach der Fossildokumentation waren Südbuchen im Tertiär auch in der Antarktis heimisch. Die von der Nordhemisphäre gemeldeten Fossilfunde (Pollenkörner) haben sich nicht bestätigt. Die ältesten Fossilfunde stammen aus der Ober-Kreide (Senon) von Neuseeland (COUPER 1960, FLEMING 1962). Bemerkenswert ist die heutige Verbreitung von

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

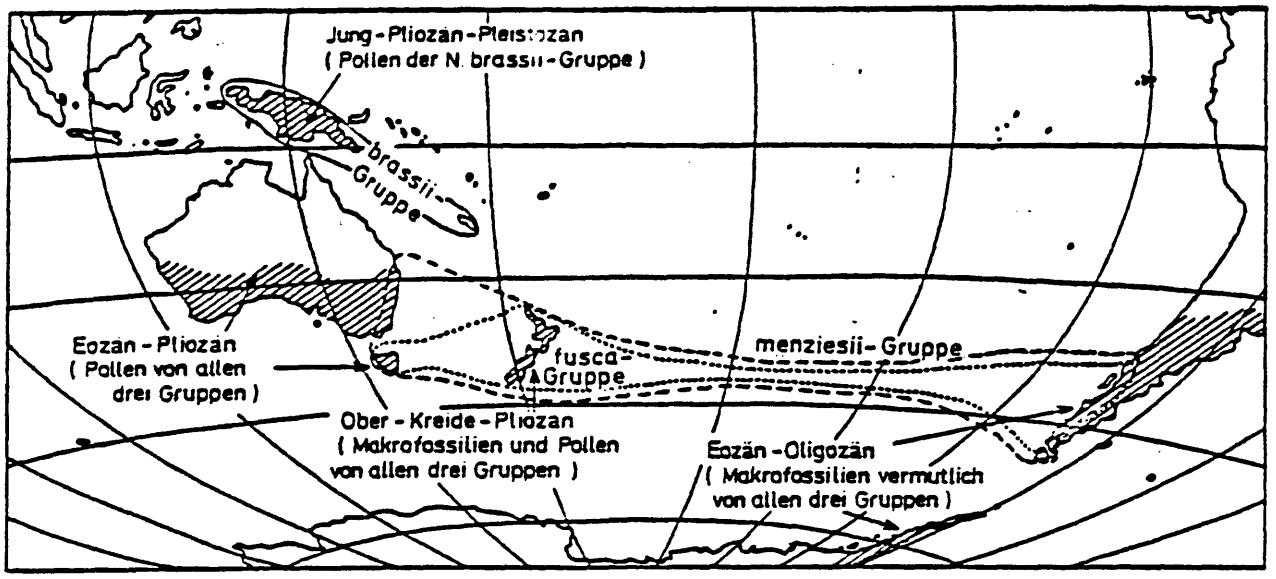

Abb. 27. Gegenwärtige und einstige Verbreitung der Südbuchen (Nothofagus). Beachte disjunkte Verbreitung der menziesii- und der fusca-Gruppe in der australischen Region und im südlichen Südamerika. Älteste Nothofagus-Reste (Pollen und Makrofossilien) aus der Oberkreide Neuseelands bekannt. (Nach MÜLLER, 1974, ergänzt umgezeichnet)

Nothofagus mit der Nothofagus fusca-Gruppe in Neuseeland, Tasmanien und Südamerika, mit der N. menziesii-Gruppe in Ostaustralien, Tasmanien, Neuseeland und Südamerika und mit der N. brassii-Gruppe in Neuguinea und Neukaledonien. Letztere dominiert in den Tertiärwäldern Australiens, Neuseelands, Südamerikas und der Antarktis, verschwindet jedoch mit der ersten pleistozänen Vereisung. Arten der N. fusca- und die N. menziesii-Gruppe sind im Tertiär selten und treten erst im Quartär häufiger auf. Das rezente Verbreitungsgebiet der N. brassii-Gruppe ist somit ein plesiochores Schrumpfareal, das durch die Klimaverschlechterung erklärt werden kann. Für die beiden übrigen Artengruppen ist zwar auch eine Arealverkleinerung festzustellen, doch ist das Verbreitungsbild mangels entsprechender Ausbreitungsmöglichkeiten über derart weite Ozeangebiete nur durch die einstige Transantarktisroute zu erklären. Diese ist nach den paläogeographischen Befunden durchaus möglich.

Noch eine weitere, nach modernen Methoden untersuchte Tiergruppe sei hier angeführt, nämlich die Podonominae als Angehörige der Zuckmücken (Chironomidae). Diese von BRUNDIN (1972, 1975) unter Berücksichtigung der verwandtschaftlichen Beziehungen (auf Grund apomorpher Merkmale) untersuchten Zuckmücken sind gegenwärtig mit den beiden Schwestergruppen Boreochlini (Südafrika) und Podonomini (Australien, Tasmanien, Neuseeland und südliches Südamerika) zirkumantarktisch verbreitet. Unter den Podonomini bilden die südamerikanischen und die australisch-tasmanischen Arten echte Schwestergruppen, während direkte Beziehungen zu den neuseeländischen Arten nicht vorhanden sind (Abb. 28). Nach BRUNDIN ist die Annahme von zwei getrennten Antarktis-Routen, eine zwischen Neuseeland und Südamerika (über die Westantarktis), die andere zwischen Südamerika und Australien (über die Ostantarktis) notwendig. Ein Ausbreitungsmuster, das vor Annahme einer Kontinentalverschiebung und damit der Antarktisroute einfach nicht erklärt werden konnte. Allerdings - und hier sind noch weitere paläogeographische Untersuchungen notwendig - erhellt dieses Beispiel die besondere Rolle von Neuseeland bzw. auch der Antarktis (erdgeschichtlich jüngere West- und geologisch alte Ostantarktis).

Zum Abschluß noch ein Fragenkreis, der gleichfalls erst durch die Vorstellungen von der Plattentektonik gelöst werden konnte, nämlich der Prozentsatz von Endemismen auf (ozeanischen) Inseln. Auch hier nur eine in jüngster Zeit näher untersuchte Tiergruppe. Nach R. ZUR STRASSEN (1981) nimmt nicht nur die Zahl der Arten der Fransenflügler (Thysanoptera) unter den Insekten auf den faunistisch gut untersuchten atlantischen Inseln,

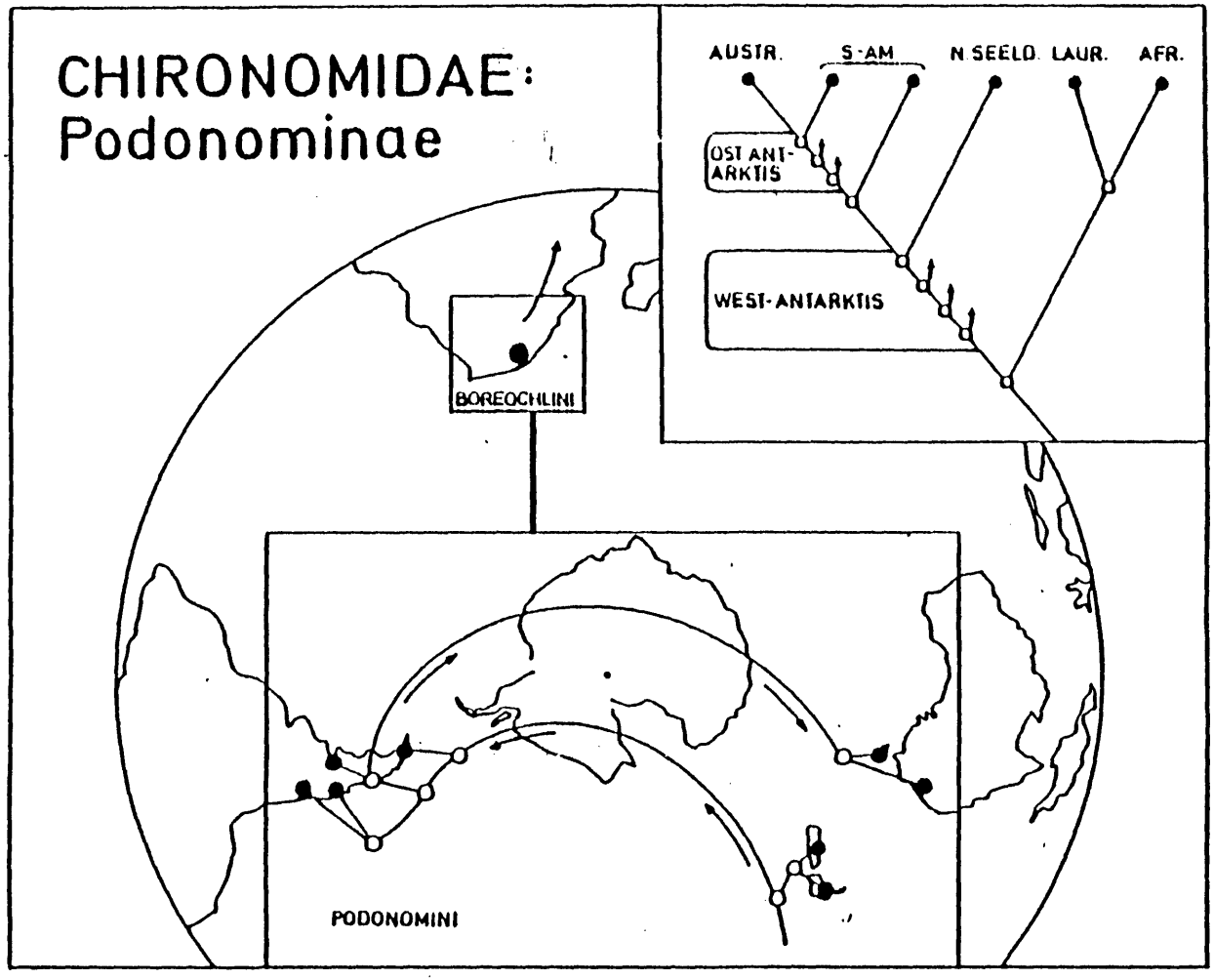

Abb. 28. Gegenwärtige Verbreitung der kühl-adaptierten Podonominae (Chironomiden) auf der südlichen Hemisphäre mit den Podonomini als Beispiel einer AS-Gruppe. Nach den stammesgeschichtlichen Zusammenhängen (s. Kladogramm mit Schwestergruppen) Annahme einer transantarktischen Verbreitung der Podonomini notwendig. Austr. = Australien, S.-Am. = Südamerika, N-Seeld. = Neuseeland, Laur. = Laurasia, Afr. = Afrika. (Nach BRUNDIN, 1972, kombiniert umgezeichnet)

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

wie den Azoren, Madeira und den Kanaren mit der zunehmenden Entfernung vom Festland ab, wie es nach der Ausbreitungsmöglichkeit dieser Insekten zu erwarten war, sondern auch der Prozentsatz der Endemismen (vgl. Tabelle 1). Wie ZUR STRASSEN mit Recht betont, hängt der jeweilige Prozentsatz der Endemismen vom erdgeschichtlichen Alter ab. Da das Alter der genannten Inseln mit der Nähe zum mittelatlantischen Rücken abnimmt, wird der geringe Prozentsatz (2,3 %) auf den Azoren gegenüber 15 % auf Madeira und 26 % auf den Kanaren verständlich.

Tabelle 1

	Entfernung vom Festland	Zahl der Arten	endemische Arten	Endemismen in %
Azoren	1450 km	43	1	2,3
Madeira	610 km	60	9	15
Kanaren	100 km	92	24	26

Artenzahl und Endemismus der Thysanoptera auf den Atlantik-Inseln: Azoren, Madeira und Kanarische Inseln. Beachte abnehmende Arten mit zunehmender Entfernung vom Festland bzw. Abhängigkeit des Endemismus vom erdgeschichtlichen Alter. (Nach R. ZUR STRASSEN 1981).

Daß aber dennoch noch zahlreiche Probleme in der Biogeographie ungelöst sind, sei nicht verschwiegen. Es sei hier nur an Madagaskar und seine Fauna und Flora erinnert. Hier und auch in anderen Fällen können erst weitere Untersuchungen Klarheit schaffen. Aufgabe dieser Zeilen ist jedenfalls, den beachtlichen Fortschritt, den die modernen erdwissenschaftlichen Vorstellungen über den Bau und die Geschichte der Erdkruste erbracht haben, in seiner Bedeutung für die Bio- und Erdwissenschaften aufzuzeigen.

Zusammenfassung

Nach einer kurzen historischen Übersicht über die Entstehung des "sea-floor spreading"- und des "plate tectonics"-Konzeptes wird an Hand konkreter Beispiele die Bedeutung der Plattentektonik für die Geo- und für die Biowissenschaften aufgezeigt.

Wichtig ist, daß die Geophysik mit der Plattentektonik Kontinentalverschiebungen grundsätzlich anerkennt, auch wenn über die Ursachen der Kontinentaldrift noch diskutiert wird (Konvektionsströmungen im Erdmantel, absinkende Ozeanplatten im Bereich der Benioff-Zonen).

Als Beispiele für die Bedeutung der Plattentektonik für die Erdwissenschaften werden die Gebirgsbildungen (am Beispiel der Alpen mit Überschiebungen, Ophiolith- und Flyschzonen), der Vulkanismus (z.B. pazifischer und atlantischer Typ, Vulkaninseln und vulkanische Inselketten), Erzprovinzen und Lagerstättengenese (z.B. hydrothermale Lagerstätten), ferner Petrogenese (z.B. Basaltgenese) und Metamorphose von Gesteinen, Erklärung von

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Tiefseegraben und Guyots, Bebenzonen (z.B. "rift-valleys", "transform faults"), "Polwanderungen", einstige Meeresströmungen und kryogene Perioden (mit Eiszeiten) in Zusammenhang mit der Kontinentaldrift, Meeresspiegelschwankungen sowie paläobiogeographische Provinzen (z.B. Glossopteris-Flora) und die Verbreitung mariner (z.B. Ammoniten) und nichtmariner Organismen (z.B. Ostracoden, Landwirbeltiere) im Mesozoikum angeführt.

Für die Biowissenschaften liegt die Bedeutung der Plattentektonik (durch die zwangsläufig damit verbundenen Kontinentalverschiebungen) v.a. auf dem Sektor der Biogeographie (z.B. disjunkte Areale). Bei der Beurteilung gegenwärtiger disjunkter Verbreitungsareale sind - abgesehen von den Verbreitungsmöglichkeiten der einzelnen Organismengruppen - plesiochore (Schrumpf-) und apochore Areale zu unterscheiden. Nur letztere haben Beweiskraft in paläogeographischer Hinsicht, da nur sie auf direkten verwandtschaftlichen Beziehungen beruhen (z.B. afro-amerikanische Verbreitungsareale; AS-Gruppen in Australien und Südamerika wie etwa Beuteltiere, Südbuchen und die Podonomini unter den Chironomiden). Letztere belegen die einstige Transantarktis-Route. Auch für den unterschiedlichen Prozentsatz von Insel-Endemismen bietet das Plattentektonikmodell entsprechend des verschiedenen erdgeschichtlichen Alters von ozeanischen (Vulkan-)Inseln eine Erklärung.

Summary

In an introduction a short synopsis of the historical development of the "sea-floor spreading"- and the "plate tectonics"-concept is given. In the following chapters the importance and the implications of these concepts for the geo- and biosciences are demonstrated. Many examples from the geophysics, petrology, geology and paleontology to the physical geography (e.g. volcanism, petrogenesis, rock-metamorphism, mountain-building, hydrothermal mineral deposits, paleoclimatology [kryogene periods etc.], paleobiogeography [Glossopteris flora etc.]) and from the zoology to the botany (disjunct areals of limnic [e.g. lungfishes, Characoidei] and land animals [e.g. marsupials, chironomids] and plants [e.g. Nothofagus], percentage of endemism in oceanic islands etc.) are discussed.

Literatur

ALLAN, T.D., 1969: A review of marine geomagnetism. - Earth-Sci. Rev. 5, 217-254, Amsterdam.

AMPFERER, O., 1941: Gedanken über das Bewegungsbild des atlantischen Raumes. - Sitz.-Ber.Akad.Wiss., math.-naturw.Kl. I, 150, 19-35, Wien.

BARAZINGI, M. & J.DORMAN, 1969: World seismicity maps compiled from ESSA, Coast and Geodetic survey, epicenter data, 1961-1969. - Bull. seismol.Soc. Amer. 59, 369-380.

BEAUMONT, L.E.de, 1834: Recherches quelques-unes des revolutions de la surface du globe. - Paris.

BLACKETT, P.M.S., 1965: E.BULLARD & S.K.RUNCORN (eds.): A symposium on continental drift. - Philos.Trans.roy.Soc. (A) 258 (1088), X + 323 S., London.

BOCCALETTI, M., 1975: Plate tectonics model for the evolution of the Western Mediterranean. - Geologica Balcanica 5, 19-28, Sofia.

BÖGEL H. & K.SCHMIDT, 1976: Kleine Geologie der Ostalpen. - 1-231 S., Thun (Ott-Verlag).

BRUNDIN, L., 1972: Phylogenetics and biogeography. - System.Zool. 21, 69-79, New York.

BRUNDIN, L., 1975: Circum-Antarctic distribution patterns and continental drift. - Mém. Mus.Nation.Hist.natur. (A) 88, 19-27, Paris.

BUFFETAUT, E., 1979: The evolution of the Crocodilians. - Scientific American 241, 124-132.

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

CHANNELL, J.E.T. & F.HORVATH, 1976: The African/Adriatic promontory as a paleogeographical premise for the Alpine orogeny and plate movements in the Carpatho-Balkan region. - Tectonophysics 35, 71-101, Amsterdam.

CLAR, E., 1965: Zum Bewegungsbild des Gebirgsbaues der Ostalpen. - Z.dtsch.geol.Ges. 116, 267-291, Hannover.

COLBERT, E.H., 1970: Antarctic Gondwana tetrapods. - 2nd Gondwana Symp., 659-664, Pretoria.

COLBERT, E.H., 1972: Early Triassic tetrapods and Gondwanaland. - XVIIe Congr. international Zool., Thème 1, 1-27, Monte Carlo.

CONDIE, K.C., 1980: Archean greenstone belts. - Developm. in Precambr.Geol. 3, 1-550 S., Amsterdam.

COUPER, R.A., 1960: Southern hemisphere Mesozoic and Tertiary Podocarpaceae and Fagaceae and their palaeogeographic significance. - Proc.roy.Soc.London (B) 152, 491-500, London.

COX, C.B., 1974: Vertebrate palaeodistributional patterns and continental drift. - J.Biogeography 1, 75-94, Oxford.

DEGENS, E.T., 1970: Sea Floor Spreading: Lagerstättenkundliche Untersuchungen im Roten und im Schwarzen Meer. - Die Umschau 70, 268-274, Frankfurt/M.

DEWEY, J.F. & J.M.BIRD, 1970: Mountain belts and new global tectonics. - J.geophys. Res. 75 (14), 2625-2647, Richmond.

DEWEY, J.G., W.C PITMAN, W.B.F.RYAN & J.BONNIN, 1973: Plate tectonics and the evolution of the Alpine system. - Bull.geol.Soc.Amer. 84, 3137-3180, Boulder.

DIETRICH, V.J., 1976: Plattentektonik in den Ostalpen. Eine Arbeitshypothese. - Geotekton.Forschg. 50, 1-84, Stuttgart.

DIETRICH, V.J., 1981: Basaltgenese unter mittelozeanischen Rücken. - Vortrag österr. geol.Ges. 9.4.1981, Wien.

DIETZ, R.S., 1961: Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. - Nature 190, 854-857, London.

DIETZ, R.S. & J.C.HOLDEN, 1966: Miogeoclines (Miogeosynclines) in space and time. - J.Geol. 74, 566-583, Chicago.

EHRENDORFER, F., 1981: Gibt es Zusammenhänge zwischen der Verbreitung tropischer Holzpflanzen und der Kontinentaldrift? - Vortrag Sympos.Geol. & Botan., 4. April 1981, Linz.

FAUPL, P., 1980: Die Entstehung der Flysche im Lichte der Kontinentalrandforschung. - Schr.Ver.Verbr.naturw.Kenntn. 119/120, 39-73, Wien.

FLEMING C.A., 1962: New Zealand biogeography. A paleontologist's approach. - Tuatara 10 (2), 53-108, Wellington.

FÖRSTER, R., 1978: Evidence for an open seaway between northern and southern Proto-Atlantic in Albian times. - Nature 272 (5649), 158-159, London.

FRISCH, W., 1977 (1978): Die Alpen im westmediterranen Orogen - eine plattentektonische Rekonstruktion. - Mitt.Ges.Geol.Bergbaustud.Österr. 24, 263-275, Wien.

FRISCH, W., 1979: Tectonic progradation and plate tectonic evolution of the Alps. - Tectonophysics 60, 121-139, Amsterdam.

GASS, I.G. & I.L.GIBSON, 1969: Structural evolution of the Rift zones in the Middle East. - Nature 221, 926-930, London.

GREKOFF, N., 1953: Sur l'utilisation des microfaunes d'Ostracodes dans la stratigraphie precise du passage Jurassique - Cretace (facies continentaux). - Rev.Inst.franc.Petrol. 8, 362-379, Paris.

HALLAM, A., 1973: A revolution in the Earth Sciences. From Continental Drift to plate tectonics. - IX + 127 S., Oxford (Clarendon Press).

HANDLIRSCH, A., 1913: Beiträge zur exakten Biologie. - Sitz.-Ber.Akad.Wiss., math.-naturw.Kl. I, 122, 361, 481, Wien.

HEIM, A., 1929: An der Erkenntniswurzel alpiner Tektonik. - Vjschr.naturforsch.Ges. 74, Nachlese No. 29, 212-223, Zürich.

HEIRTZLER, J.R., 1968: Sea-floor spreading. - Scientific American 219, 68-78, USA.

HEIRTZLER, J.R. & al., 1968: Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals and motions of the ocean floor and continents. - J.geophys.Res. 73, 2119-2136, Richmond.

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

HENNIG, W., 1966: Phylogenetic systematics. - Urbana (Illinois Press).
HESS, H.H., 1962: History of ocean basins. - In: ENGEL, A.E.J. & al. (eds.): Petrologic studies: a volume in honor of A.F.Buddington. Geol.Soc.Amer.Boulder.
HOFFSTETTER, R., 1970: L'histoire biogéographique des marsupiaux et la dichotomie marsupiaux-placentaires. - C.R.Acad.Sci. (D) 271, 388-391, Paris.
IHERING, H.v., 1907: Archhelenis und Archinotis. - 1-350 S., Leipzig (Engelmann).
KEAST, A., 1973: Contemporary biotas and the separation sequence of the Southern continents. - In: TARLING, D.H. & S.K.RUNCORN (eds.): Implications of continental drift to the Earth Sciences I. 309-343, London (Acad.Press).
KENNEDY, W.J. & M.COOPER, 1975: Cretaceous ammonite distributions and the opening of the South Atlantic. - J.geol.Soc. 131, 283-288, London.
KRAUS, O., 1978: Zoogeography and plate tectonics. Introduction to a general discussion. - Abh.Verh.naturw.Ver.Hamburg n.F. 21/22, 33-41, Hamburg.
KRÖLL, A. & G.WESSELY, 1967: Neuere Erkenntnisse über Molasse, Flysch und Kalkalpen auf Grund der Ergebnisse der Bohrung Urmannsau 1. - Erdöl-Z. 83, 342-353, Hamburg.
KRÖLL A., B.PLÖCHINGER & G.WACHTEL, 1980: Exkursion in den Raum Hernstein-Hohe Wand und zur ÖMV-Bohrung Berndorf 1 am 29. September 1979. - Mitt.österr. Geol.Ges. 73, S.328, Wien.
KRÖMMELBEIN, K., 1966: Probleme des Gondwanalandes. - Zool.Anz. 177, 1-39, Leipzig.
KRÖMMELBEIN, K. & R.WEBER, 1971: Ostracoden des "Nordostbrasilianischen Wealden". - Beih.z.Geol.Jb. 115, 1-93, Hannover.
LE PICHON, X., 1968: Sea-floor spreading and continental drift. - J.geophys.Res. 73, 3661-3697, Richmond.
LEUBE, A., 1978: A review of African and South American ore provinces separated by continetal drift. - Schr.R.erdwiss.Kommiss.Österr. Akad.Wiss. 3, 9-23, Wien.
McELHINNY, M.W., 1973: Palaeomagnetism and plate tectonics. - X + 358 S., Cambridge (Univ.Press).
McKENZIE, D.P. & R.L.PARKER, 1967: The North Pacific: an example of tectonics on a sphere. - Nature 216, 1276-1280, London.
McKENZIE D.P. & J.G.SCLATER, 1971: The evolution of the Indian ocean since the late Cretaceous. - Geophys.J.Roy.Astron.Soc. 24, 437-528, Oxford.
MORGAN, W.J., 1968: Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. - J.geophys.Res. 73, 1959-1982, Richmond.
MÜLLER, P., 1974: Aspects of Zoogeography. - VII + 208 S., The Hague (Junk Publ.).
NELSON, G.J., 1969: Infraorbital bones and their bearing on the phylogeny and geography of osteoglossomorph fishes. - Amer.Mus.Novit. 2394, 1-37, New York.
OBERHAUSER, R., 1973: Stratigraphisch-paläontologische Hinweise zum Ablauf tektonischer Ereignisse in den Ostalpen während der Kreidezeit. - Geol.Rundschau 62, 96-106, Stuttgart.
OLIVER, J, 1972: Contributions of seismology to plate tectonics. - Amer.Assoc.Petrol. geol.Bull. 56, 214-225, Tulsa.
OXBURGH E.R., 1972: Plate tectonics and continental collision. - Nature 239, 201-204, London.
PETRASCHECK, W.E., 1973: Some aspects of the relation between continental drift and metallogenic provinces. - In: TARLING, D.H. & S.K.RUNCORN (eds.): Implications of continental drift to the Earth Sciences 1, 567-573, London (Acad.Press).
PITMAN, W.C., R.J.LARSON & E.M.HERRON, 1974: Ocean-floor map. - Lamont-Doherty geol.Observatory.
PLUMSTEAD, E.P., 1973: The late Palaeozoic Glossopteris Flora. - In: HALLAM, A. (ed.): Atlas of Palaeobiogeography. 187-205, Amsterdam (Elsevier).
REYMENT, R.A. & E.A.TAIT, 1972: Biostratigraphical dating of the early history of the South Atlantic ocean. - Philos.Trans.R.Soc.London (B) 264 (858), 55-95, London.
RIDE, D.W.L., 1964: A review of Australian fossil Marsupials. - J.roy.Soc.W.-Austr. 47, 97-131, Perth.
RIFFAUD, Cl. & X.LE PICHON, 1977: Expedition "Famous". 3000 Meter unter dem Atlantik. - 1-304 S., Köln (Kiepenheuer & Witsch).

©Mineralien- u. Fossiliensammler Oberösterreichs, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

RONA, P.A., 1976: Plate tectonics and mineral Resources. - In: WILSON, J.T. (ed.): Continents adrift and continents aground. 207-216, San Francisco (Freeman & Co.).
RUNCORN, S.K., 1956: Palaeomagnetic comparisons between Europe and North America. - Proc.geol.Assoc.Canada 8, 77-85, Ottawa.
SARNTHEIN, M., 1981: Die atmosphärische und ozeanische Zirkulation im Spiegel von Tiefwassersedimenten. - Vortrag österr.Geol.Ges. 6. April 1981, Wien.
SCHUILING, R.D., 1967: Tin belts on the continents around the Atlantic ocean. - Econom. Geol. 62, 540-550.
SCLATER, P.L., 1874: The geographical distribution of mammals. - Manchester Sci.Lect. 5 & 6, 202-219, Manchester.
SIMPSON, G.G., 1965: The geography of Evolution. - XI + 249 S., New York (Chilton Books).
SMITH, A.G. & A.HALLAM, 1970: The fit of the Southern Continents. - Nature 225 (5228), 139-144, London.
STAUB, R., 1924: Der Bau der Alpen. - Beitr.Geol.Karte Schweiz 52 (n.F. 82), 1-272 S., Bern.
STEENIS, C.G.G.J. van, 1963: Transpacific floristic affinities, particularly in the tropical zone. - In: GRESSITT, J.L. (ed.): Pacific Basin Biogeography. 219-231, Honolulu (Bishop Mus. Press).
TARLING, D.H. & S.K.RUNCORN (eds.), 1973: Implications of continental drift to the Earth sciences I & II. XVI + XI u. 1184 S., London & New York (Acad.Press).
THENIUS, E., 1971: Zum gegenwärtigen Verbreitungsbild der Säugetiere und seiner Deutung in erdgeschichtlicher Sicht. - Natur & Mus. 101, 185-196, Frankfurt/M.
THENIUS, E., 1980 (1980 a): Der Beitrag österreichischer Wissenschaftler zum "sea-floor spreading" - und "plate tectonics" -Konzept. - Verh.geol.B.-Anst., Jg. 1980, 407-414, Wien.
THENIUS, E., 1980 (1980 b): Grundzüge der Faunen- und Verbreitungsgeschichte der Säugetiere. - 2. Aufl. - 1-375 S. Stuttgart (Fischer).
TOIT, A.L. du, 1937: Our wandering continents. An hypothesis on continental drifting. - XIII + 366 S. Edinburgh & London (Oliver & Boyd).
TOLLMANN, A., 1978: Plattentektonische Fragen in den Ostalpen und der plattentektonische Mechanismus des mediterranen Orogens. - Mitt.Österr.Geol.Ges. 69, 291-351, Wien.
VALENTINE, J.W. & E.M.MOORES, 1970: Plate tectonics regulation of faunal diversity and sea level: a model. - Nature 228, 657-659, London.
VINE, F.J. & D.H.MATTHEWS, 1963: Magnetic anomalies over oceanic ridges. - Nature 199, 947-949, London.
WEGENER, A., 1912: Die Entstehung der Kontinente. - Petermanns Mitt. 58, 185-195, 253-256 u. 305-309, Gotha.
WIESENEDER, H., 1981: Vulkanismus und Gesteinsbildung im Lichte neuer geowissenschaftlicher Hypothesen. - Naturwiss.Rundschau 34 (1), 10-16, Stuttgart.
WILSON, J.T., 1965: A new class of faults and their bearing on continental drift. - Nature 207, 343-347, London.
ZUR STRASSEN, R., 1981: Einige Aspekte zur Biogeographie der Fransenflügler-Fauna der mittelatlantischen Inseln. - Natur & Museum 111 (3), 79-89, Frankfurt/M.

Nachtrag. Während der Drucklegung gelang einem US - Forschungsteam unter der Leitung von W.ZINSMEISTER von der Universität Ohio der Nachweis von alttertiären Beuteltieren (Polydolopidae) in der Antarktis. Diese Polydolopiden, die bisher nur aus Südamerika bekannt waren, dokumentieren die Einwanderung der Beuteltiere von Südamerika und geben zugleich einen Hinweis auf die oben vertretene Antarktisroute dieser Säugetiergruppe.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Oberösterreichische GEO-Nachrichten. Beiträge zur Geologie, Mineralogie und Paläontologie von Oberösterreich

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: 1

Autor(en)/Author(s): Thenius Erich

Artikel/Article: Das neue erdwissenschaftliche Weltbild : Die Plattentektonik und ihre Bedeutung für die Geo- und Biowissenschaften. 1-32