

Die vereinigten Platten von Europa –

Das Puzzlespiel
der kontinentalen Erdkruste



Alfred Wegener
(1880 – 1930), der
Vater der modernen
Geowissenschaften.

von Wolfgang Franke

Wegeners Hypothese von der Wanderung der Kontinente bildet die Grundlage für das moderne Ideengebäude der Geowissenschaften. Auf dieser Basis lassen sich Aufbau und Zerfall großer Kontinentalschollen auch für immer weiter zurückliegende Abschnitte der Erdgeschichte rekonstruieren. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über das Wachstum der Erdkruste von Mitteleuropa.

Am 6. Januar 1912 stellte Alfred Wegener (siehe »Alfred Wegener – Vater der modernen Geowissenschaften«, S. 33) im Frankfurter Senckenberg-Museum seine Theorie der Kontinentalverschiebung erstmals der wissenschaftlichen Öffentlichkeit vor. Sie wurde zunächst sehr skeptisch aufgenommen, nach dem Krieg jedoch vor allem durch die Untersuchung

der Ozeane glänzend bestätigt. Heute bildet sie das Fundament der modernen Geowissenschaften.

Zur starren Kruste der Erde gehören nicht nur die dicken, spezifisch leichten Kontinentalschollen, sondern auch die schwerere Kruste der Ozeanböden, die Wegener noch nicht erkannt hatte. Diese entsteht entlang der Mittellinien der Ozeane (mittelozeanische Rücken), wo

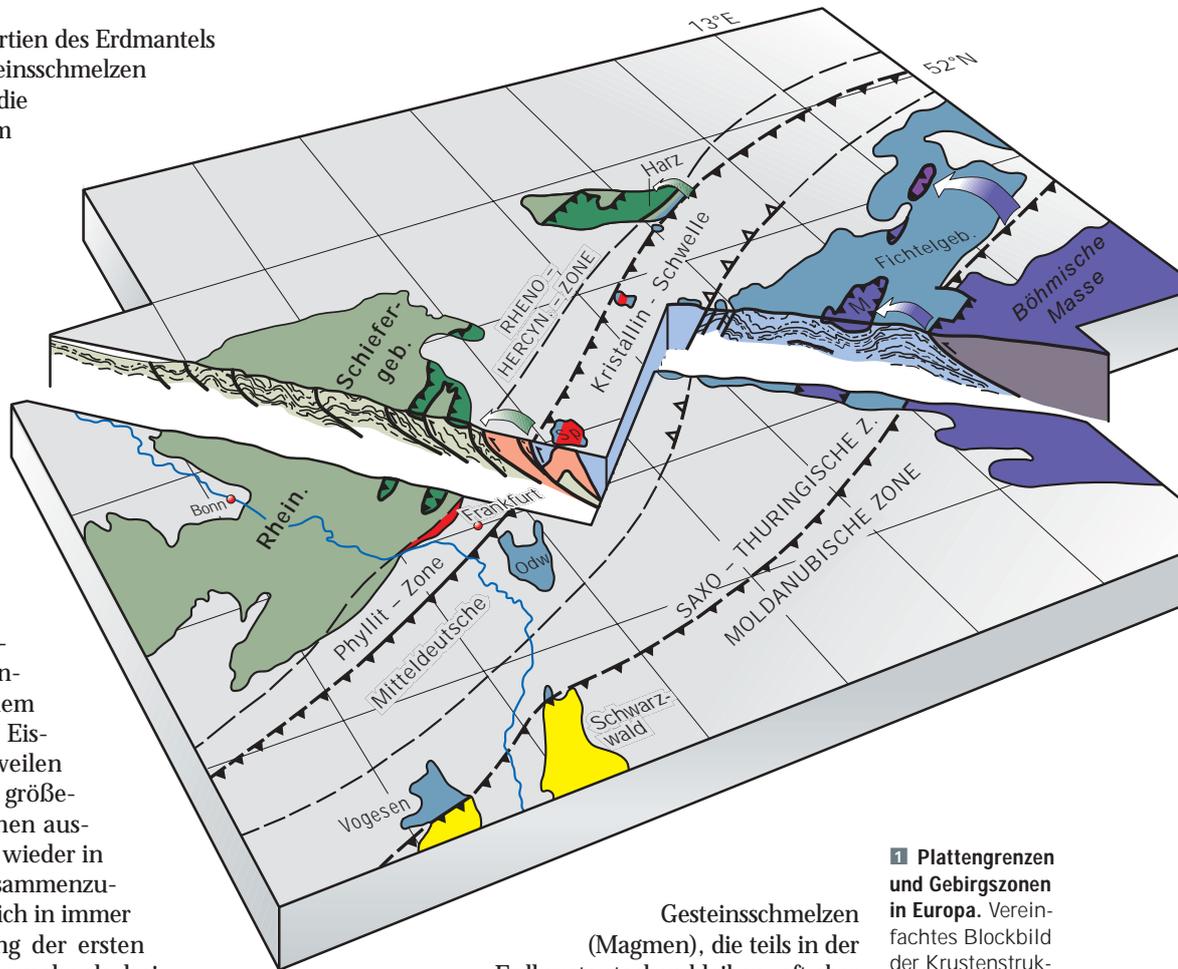
heiße (und deshalb leichtere) Partien des Erdmantels aufsteigen. Hier bilden sich Gesteinsschmelzen basaltischer Zusammensetzung, die entlang der Zentralspalte auf dem Meeresboden austreten und erstarren. Nachdrängende Schmelze verteilt sich auf die ältere Kruste links und rechts der Förderspalte. Dieser Prozess läuft mehr oder weniger kontinuierlich ab, so dass die Ozeanböden eine sehr einfache Alterszonierung zeigen: Die Ozeankruste wird nach beiden Seiten mit zunehmender Entfernung vom Rücken immer älter.

Dagegen ist die Zusammensetzung der dickeren, kontinentalen Kruste chaotisch. Kontinentale Krustenblöcke driften auf dem zähflüssigen Erdmantel wie Eisschollen auf einem Fluss. Zuweilen schließen sich diese Schollen zu größeren Einheiten zusammen, brechen auseinander, um sich anschließend wieder in einer anderen Konfiguration zusammenzufinden. Dieses Spiel wiederholt sich in immer neuer Form seit der Entstehung der ersten kontinentalen Krustenblöcke vor mehr als drei Milliarden Jahren. Auf diese Weise sind ältere und jüngere Schollen vermischt worden wie die Dominosteine auf der Tischplatte.

Die heute ablaufenden Plattenbewegungen sind relativ einfach nachzuvollziehen: Aktive Erdbebenzonen, Vulkangürtel und aufsteigende Gebirge zeigen den Zusammenstoß von Krustenplatten an. Satellitenbeobachtungen ermöglichen sogar eine exakte Messung der Plattendrift. Innerhalb der heutigen Kontinente sind die Plattenbewegungen meist vollständig erloschen. Die Rekonstruktion früherer Bewegungen, die zu den heutigen Kontinenten geführt haben, gehört zu den aufwendigsten, aber auch schwierigsten Aufgaben der Geowissenschaften. Welche Instrumente helfen bei der Rekonstruktion dieses Puzzles? Aus welchen Bausteinen besteht die Erdkruste von Europa? Welche Prozesse haben die Plattenbewegungen angetrieben?

Das geologische Europa ist genauso komplex wie das politische

Zum Ausgleich für das Wachstum der Kruste an den ozeanischen Rücken müssen andere Bereiche wieder in den Erdmantel abtauchen: Sie werden subduziert. In der Tiefe wandelt sich Ozeankruste in das Gestein Eklogit um. Wenn nach dem Verschwinden des trennenden Ozeans Kontinentalplatten zusammenstoßen, können Späne von Eklogiten und von Erdmantelmaterial wieder an die Oberfläche gelangen. Sie markieren dann die Plattengrenze (Sutur), werden allerdings oft noch über Entfernungen bis zu 300 Kilometer als tektonische Decken auf das Vorland überschoben. Ein weiteres Indiz für eine fossile Subduktions-Zone sind charakteristische



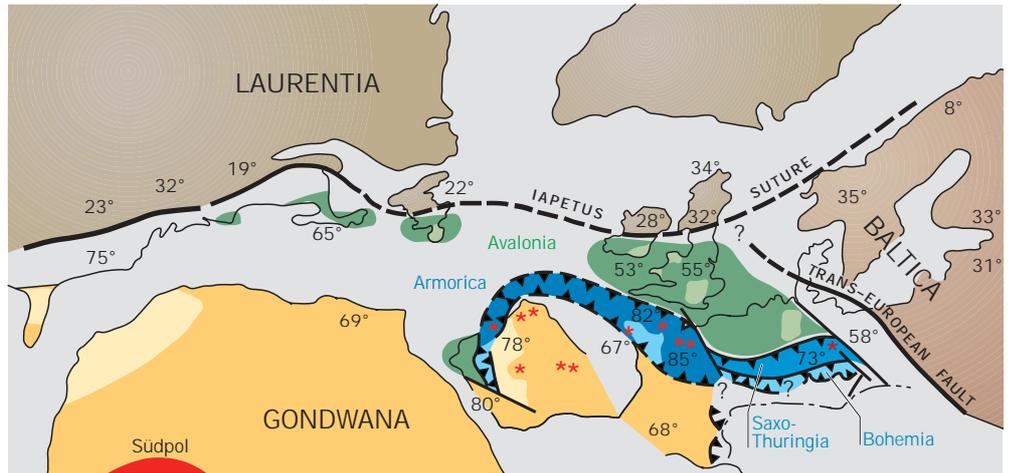
1 Plattengrenzen und Gebirgszonen in Europa. Vereinfachtes Blockbild der Krustenstruktur in Mitteleuropa, mit Farbkodierung der ursprünglichen Platten und den bei der Kollision entstandenen Zonen des »variscischen« Gebirges.

Gesteinsschmelzen (Magmen), die teils in der Erdkruste stecken bleiben, oft aber – wie zum Beispiel in den Anden – an der Erdoberfläche Vulkane aufbauen.

Späne von Mantelmaterial und hochmetamorphen Gesteinen finden sich zum Beispiel in einer Südwest/Nordost-verlaufenden Zone im nördlichen Böhmen, die das Fichtelgebirge und das Erzgebirge begleitet. Nach Nordwesten überschobene Ausläufer sind auch in den metamorphen Deckenresten bei Münchberg in Nordost-Bayern sowie Wildenfels und Frankenberg in Sachsen erhalten **1**. Hier im nördlichen Böhmen hat sich ein saxo-thüringischer (sächsisch-thüringischer) Ozean geschlossen, der vor etwa 500 bis 400 Millionen Jahren die Kontinentalplatten Bohemia (Umgebung von Pilsen und Prag) und Saxo-Thuringia (Frankenwald, Fichtelgebirge, Thüringer Wald, Vogtland) voneinander getrennt hat. Im Süden war Bohemia durch eine weitere Meeresstraße von Moldanubia getrennt (vermutlich ein Teil der Großplatte Gondwana: Afrika, Südamerika, Australien, Indien, Antarktis). Metamorphe Reste des moldanubischen Ozeanes sind bis in das österreichische Waldviertel überschoben worden. Bei der Kollision von Bohemia mit Saxo-Thuringia im Norden und Moldanubia im Süden sind zwei selbstständige Gebirgszüge entstanden, die Saxo-Thüringische und die Moldanubische Zone.

Saxo-Thuringia und Bohemia haben zusammen mit Armorica (Bretagne) eine Inselgruppe gebildet, die man zusammenfassend als Armorica bezeichnet. Nördlich von Armorica lag eine weitere kleine Kontinentalplatte, zu der auch östliche Teile des heutigen Nordamerika gehörten (Avalonia, benannt nach der Avalon-Halbinsel im östlichen Neufundland). Diese Vielfalt von Namen ist erforderlich, weil man zwischen den ursprünglichen

2 Große und kleine Kontinentalplatten in Europa und Nord-Amerika. Die Platten waren Bestandteil der Großplatte Pangaea, wie sie nach der variscischen Gebirgsbildung und vor der Öffnung des heutigen Atlantik bestand. Zahlen: paläomagnetische Inklination aus Gesteinen des Ordoviziums. Sterne: Fundpunkte von gekritzten Geschieben der Sahara-Vereisung im spätesten Ordovizium (etwa 440 Millionen Jahre). Gepunktet: Aufschlüsse einer älteren (»cadomischen«) Gebirgsbildung, die typisch für den Nordrand von Gondwana und davon abstammende Mikroplatten ist.



3 Gekritztes Quarzit-Geschiebe. Das gekritzte Geschiebe zeugt von der »Sahara-Vergletscherung« vor 440 Millionen Jahren. Fundort: Gebersdorf (Thüringen). Größter Durchmesser: 5,5 Zentimeter.

paläo-geographischen Einheiten (Kontinente, Inseln, Ozeane) sowohl von den durch Kollision entstandenen Gebirgszonen als auch von den heutigen geographischen Begriffen unterscheiden muss.

Weite Wanderwege

Herkunft und Wanderwege der heute vereinten Krustenplatten lässt sich in groben Zügen rekonstruieren. Eine der wichtigsten Methoden ist die Paläo-Magnetik. Unter günstigen Umständen wird die Orientierung der

magnetischen Feldlinien fossil überliefert. Aus der sogenannten Paläo-Inklination, d.h. der Neigung der magnetischen Feldlinien gegen die Schichtung des Gesteins, lässt sich die Paläo-Breite ableiten: An den Polen ist die Inklination steil, am Äquator horizontal.

Gesteine des Ordoviziums (500 bis 440 Millionen Jahre) aus Gondwana und der armorikanischen Inselgruppe zeigen steile Inklinationen von etwa 65 bis 82 Grad, also Pol-Nähe, während Avalonia und die im Norden angrenzenden Großplatten Laurentia (Nordamerika-Grönland) und Baltica (Skandinavien und Russland bis zum Ural) niedrige Inklinationen (Äquator-Nähe) aufweisen **2**.

Die paläomagnetischen Befunde werden durch fossile Klimazeugen bestätigt. Eine Vereisungsperiode vor etwa 440 Millionen Jahren, die nach der Lage des damaligen Südpols als Sahara-Vereisung bezeichnet wird, hat auf dem alten Felsgrund von Westafrika Gletscherschrammen hinterlassen. Eisberge haben Gerölle (gekritzte Geschiebe) bis ins heutige Thüringen verfrachtet, also in den nördlichen Teil der armorikanischen Inselgruppe **3**. Das passt gut zu den steilen Paläo-Inklinationen in Gondwana und Armorika, die ebenfalls auf eine Lage dieser Gebiete nahe dem Südpol deuten. Avalonia, Laurentia und Baltica zeigen demgegenüber flachere Inklinationen (also größere Nähe zum Äquator), und wenig später auch tropische Korallenriffe.

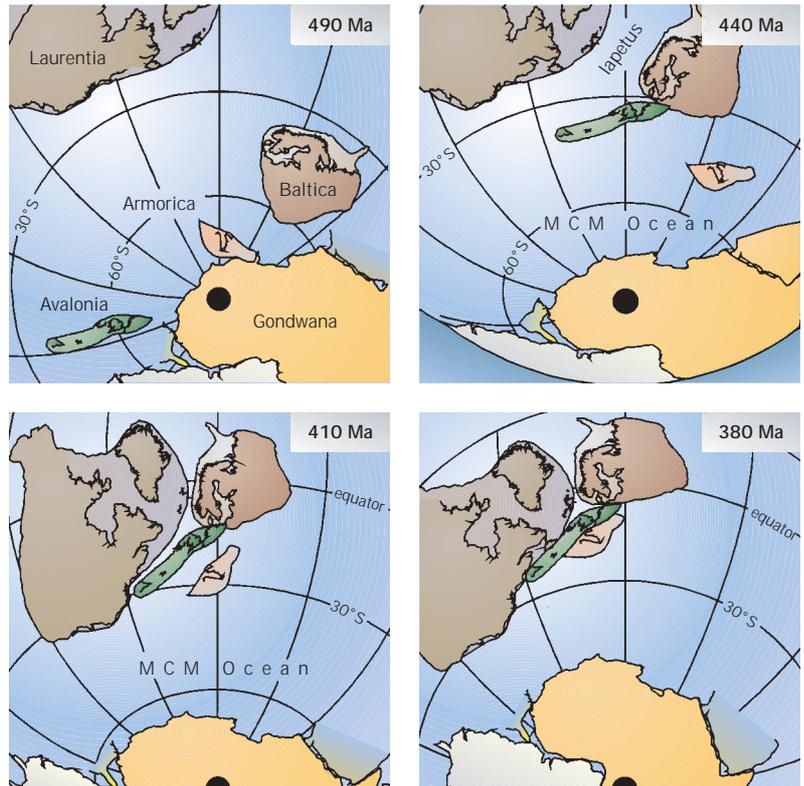
Im Unterdevon, 40 bis 50 Millionen Jahre nach der Sahara-Eiszeit, sind Teile der armorikanischen Inseln von Korallenriffen umsäumt gewesen. Die »schwimmenden Inseln« müssen also aus Südpol-nahen in äquatoriale Breiten und von dort nach Norden gedriftet sein. Ob die Plattendrift genau nach Norden gerichtet war, wissen wir nicht: Leider gibt es keine Möglichkeit, die Längenposition eines Kontinentes zu einem gegebenen Zeitpunkt festzustellen. Hier hilft in vielen Fällen die Bio-Geographie: Von weiten Ozeanen umgebene Inseln entwickeln eine eigene Tier- und Pflanzenwelt, wie zum Beispiel die Beuteltiere in Australien. Erst wenn sich Kontinente einander annähern, gleichen sich schrittweise auch die Faunen an (am Boden festgewachsene Meeresbewohner und Landwirbeltiere naturgemäß zuletzt). Die Abbildung **2** zeigt die Wanderbewegung der kleinen und großen Kontinentalplatten, die heute in der europäischen Kruste miteinander verschweißt sind.

Kontinente im Crash-Test: Avalonia war erster

Avalonia und die armorikanischen Inseln haben ursprünglich am Nordrand von Gondwana gelegen. Dann haben sich zunächst Avalonia, später auch die armorikanischen Inseln vom Mutterland gelöst und sind nacheinander nach Norden gedriftet. Avalonia ist als erstes im Norden angekommen und hat an Baltica »angedockt«. Kurze Zeit später hat sich von Nordwesten her Laurentia genähert, wobei der Iapetus-Ozean geschlossen wurde. Bei der Kollision mit Avalonia/Baltica ist das kaledonische Gebirge des schottischen Hochlandes und Norwegens entstanden. Schließlich sind Armorica und Gondwana nachgerückt und haben sich mit den nördlichen Partnern zum Super-Kontinent Pangaea vereinigt. Diese Phase der Subduktion/Kollision vor etwa 400 bis 300 Millionen Jahren, die das Fundament der europäischen Kruste entscheidend geprägt hat, wird als »variscische« Gebirgsbildung bezeichnet (nach dem legendären germanischen Volksstamm der Varisker).

Eine ähnliche Situation existiert heute im Indischen Ozean: Dort hat sich eine Reihe von Mikroplatten vom afrikanischen Mutterland abgespalten, wie vor 500 Millionen Jahren Avalonia und die armorikanischen Inseln. Die modernen Äquivalente sind Indien, das Seychellen-Plateau und Madagaskar. Indien ist (wie damals Avalonia) vorausgeeilt, und bereits mit Asien kollidiert. Wenn die anderen Mikroplatten und das afrikanische Mutterland eines fernen Tages nachkommen, wird es eine »äthiopische Orogenese« geben.

Die Rekonstruktion früherer Krustenschollen ist deshalb so schwierig, weil sie bei der abschließenden Kollision stark verändert worden sind. Die genaue Analyse der Krustenstruktur hat ergeben, dass die europäischen Kontinentalschollen – wie Autos bei einer Massenkarambolage – durch die Kollision zusammengestaucht und am Rand übereinander geschoben wurden, und



4 »Plattentektonik«. Die Wanderungsgeschichte der kleinen und großen Platten auf beiden Seiten des heutigen Nordatlantik in einer vereinfachten Darstellung.

Alfred Wegener – Vater der modernen Geowissenschaften

Alfred Wegener (1880–1930) war ein äußerst vielseitiger Naturwissenschaftler. Er entwickelte die Theorie der Kontinentalverschiebung, eine der wichtigsten Theorien des 20. Jahrhunderts. Er interpretierte die heutigen Kontinente als auseinandergedriftete Bruchstücke eines Urkontinentes Pangäa auf Grund der übereinstimmenden atlantischen Küstenlinien von Südamerika und Afrika. Darüber hinaus hatte Wegener fossile Reste identischer Arten von Land-Lebewesen in heute auseinanderliegenden Kontinenten gefunden, die seine Theorie bestätigten.

Wegener untermauerte seine kühne, heftig umstrittene These auch geophysikalisch. Die Häufigkeitsverteilung der topographi-

schen Höhe zeigt ein Maximum dicht über dem Meeresspiegel, ein weiteres 5000 Meter unter dem Meeresspiegel. Wegener schloss daraus, dass die höherliegenden Gebiete (Kontinente) aus leichtem Material bestehen, das auf einer schwereren Schicht schwimmt, so wie ein Floh auf dem Wasser. Die Fließfähigkeit der tieferen Schicht (die Asthenosphäre des modernen Erdbildes) ergab sich zwingend aus Vertikalbewegungen der Erdkruste: Die Hebung von Skandinavien nach dem Abtauen der eiszeitlichen Gletscherlast erfordert einen Massenausgleich im Untergrund durch langsames Nachfließen von Material über Zeiträume von mehr als 10 000 Jahren. Erst die Erforschung des Meeresbodens in den Nach-

kriegs-Jahrzehnten verhalf Wegeners These zum Durchbruch. Sie bildet das Fundament für das Ideengebäude der modernen »Plattentektonik«, die eine zusammenhängende, schlüssige Theorie für die allermeisten geologischen Prozesse liefert.

Neben der »Grand Unification« der Geowissenschaften verdanken wir Alfred Wegener aber auch bahnbrechende Thesen zur zeitlichen Gliederung der Eiszeiten, eine Fülle meteorologischer Beobachtungen und eine geophysikalische Bestimmung der Dicke des grönländischen Inlandeises.

Wegener starb 1930 auf dem Marsch von der Station Eismitte zur Grönländischen Westküste. Sein Grab liegt im ewigen Eis.

zwar um einen Betrag von mindestens 700 Kilometer (in Nordsüd-Richtung). Die subduzierten Ozeane sind hier nicht eingerechnet. Außerdem sind geologische Kollisionen nur selten frontal: Es haben an den Kollisionsrändern (Suturen) auch bedeutende Seitenverschiebungen (»entlang der Leitplanke«) stattgefunden. Diese sind aber nur schwer rekonstruierbar. Es fehlt an geeigneten Markierungen beiderseits der Suturen, an denen sich der Versatz ablesen ließe. Schließlich sind die Kollisionsstrukturen auch noch bogenförmig eingekrümmt worden. Die rhenohercynische Zone in Südwest-England und Portugal definiert einen großen Bogen, und eine ähnliche Bogenstruktur verbindet das Steinkohlebecken des Ruhrgebietes mit dem von Oberschlesien. Die Westalpen und die Karpathen zeigen ganz ähnliche Bögen.

Schließlich sind diejenigen Gesteine, die von anderen »überfahren« worden sind, in der Tiefe metamorph verändert worden: Aus Tonschiefern, Sandsteinen und Grauwacken wurden Glimmerschiefer und Gneise. Ablagerungsbedingungen und Alter der früheren Sedimente sind dann nur noch in Ausnahmefällen rekonstruierbar. Wo die Markierung durch Eklogite und Mantelgesteine fehlt, lässt sich oft nicht mehr feststellen, zu welcher Kontinentalplatte das Gestein einmal gehört hat.

Wie geht es weiter?

Die Erforschungsgeschichte der Vereinigten Platten von Europa ist noch keineswegs abgeschlossen. Alter und Herkunft vieler metamorpher Gesteinskomplexe sind noch unbekannt. Dabei hoffen wir vor allem auf die Aussagen neuer isotopischer Altersbestimmungen. So hat man zum Beispiel auch die Datierung von einzelnen Zirkon-Körnchen und Glimmer-Plättchen aus Sandsteinen in Angriff genommen: Ihr Alter dokumentiert geologische Prozesse in ihrem Herkunftsgebiet. Solche Me-

tamorphose-Ereignisse oder vulkanische Förderphasen erlauben es, bestimmte Krustenschollen zu charakterisieren: Am roten Sand unter der Profilsohle erkennt der Detektiv, dass der Täter auf dem Sportplatz war.

Während Sie dies lesen, schreitet die geologische Entwicklung von Europa weiter fort. In geologisch kurzer Zeit wird die Subduktion des Atlantischen Ozeanbodens unter Westafrika, Iberien und die Britischen Inseln beginnen. Entlang einer Zone ausgedünnter Kruste, die von der Nordsee über Rhein und Rhône bis zum Mittelmeer reicht, wird sich wahrscheinlich ein Meeresarm öffnen. Dann driftet Westeuropa nach Westen, und Avalonia kehrt heim. Die Drift der Kontinente ist eine (fast) unendliche Geschichte.

Literatur

- | | | |
|--|--|---|
| <p>Franke, W. (1998): Geotektonischer Überblick. In: Kirnbauer, Th. & Schneider, J., Hrsg.: Geologie und hydrothermale Mineralisationen im rechtsrheinischen Schiefergebirge. Tagungsband zur VFMG-Sommertagung 1998 in Herborn. Jahrbuch des Nassauischen Vereins für Naturkunde, Sonderband 1, S. 15–28.</p> | <p>Franke, W., Haak, V., Oncken, O. & Tanner, D. (Hrsg.) (2000): Orogenic Processes: Quantification and Modeling in the Variscan Belt. Geological Society Special Publication No. 179, Geological Society Publishing House, Bath, 456 S.</p> | <p>Katzung, G. (1999): Records of the Late Ordovician glaciation from Thuringia, Germany. Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, 150/3, S. 595–617.</p> <p>Tait, J.A., Bachtadse, V., Franke, W., & Soffel, H.C. (1997): Geodynamic evolution of the European Variscan fold belt: palaeomagnetic and geological constraints. Geologische Rundschau, 86, S. 585–598.</p> |
|--|--|---|

Der Autor



Prof. Dr. Wolfgang Franke, 54, studierte von 1966 bis 1970 Geologie und Paläontologie an den Universitäten Bonn und Göttingen. Nach seiner Promotion 1972 war er zunächst als wissen-

schaftlicher Angestellter und Teilprojektleiter im Sonderforschungsbereich »Entwicklung, Bestand und Eigenschaften der Erdkruste ...« an der Universität Göttingen tätig, den er später für die Bereiche der Paläogeographie und Tektonik im Variscikum koordinierte. Zwischen 1982 und 1984 war er an der Vorbereitung des Deutschen Kontinentalen Tiefbohrprogrammes (KTB) in der Oberpfalz beteiligt. Nach seiner Habilitation 1984 – finanziert mit einem Stipendium der Deutschen Forschungsgemeinschaft – wurde er 1985 als Professor für Geologie an die Universität Gießen berufen. Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit sind gebirgsbil-

dende Prozesse mit Fallstudien im Grundgebirge von Europa. Im Zuge der Reorganisation der Geowissenschaften in Hessen (siehe »Mekka der Geowissenschaften«, S. 82) wird Wolfgang Franke in den nächsten Jahren seine Arbeitsgruppe nach Frankfurt verlagern und ist bereits seit dem Sommersemester 2000 in Frankfurt kooptiert. Wolfgang Franke war Fachgutachter der Deutschen Forschungsgemeinschaft und Vorsitzender des Fachausschusses für die Wissenschaften der Festen Erde sowie Vorsitzender der Geologischen Vereinigung. Derzeit ist er Sprecher der Konferenz der Vorsitzenden der Wissenschaftlichen Gesellschaften der Festen Erde und Vizepräsident der Alfred-Wegener-Stiftung. Er ist unter anderem Mitglied der American Geophysical Union (AGU), der Geological Society of London, der Europäischen Akademie der Wissenschaften (Academia Europaea) und der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina.

WERBUNG