

Plattentektonik – ungeklärte Fragen können Neugier wecken

Kaum eine neue wissenschaftliche Theorie fand so schnell Eingang in die Schule wie die der Plattentektonik. Das war Anfang der 1970er Jahre. Heute ist die Plattentektonik für die Geowissenschaften eine der wichtigsten Theorien über die raum-zeitlichen Prozesse unseres Planeten. Ungeachtet enormer Erkenntnisfortschritte gibt es immer noch ungeklärte Fragen. Gerade diese wecken das Interesse der Schüler.

Plattentektonik – ein notwendiges Unterrichtsthema

Das Verständnis der Prozesse im Erdinneren ist neben dem grundlegenden geowissenschaftlichen Interesse auch von entscheidender Bedeutung im Umgang mit Naturgefahren. Mit dem Modell der Plattentektonik können Schüler leicht verstehen, warum sich Erdbeben und Vulkane in bestimmten Regionen konzentrieren. Plattentektonische Prozesse beeinflussen das Klima der Erde und die gesamte Evolution.

Die Entstehungsgeschichte der Theorie der Plattentektonik ermöglicht es, den wissenschaftlichen Erkenntnisweg nachzuvollziehen und den damit verbundenen Paradigmenwechsel zu verstehen.

Ungeklärte Fragen oder unterschiedliche Auffassungen in den Unterricht einzubeziehen, wirkt

motivierend, weckt Fragehaltungen, fördert Problembewusstsein und verdeutlicht zugleich die Notwendigkeit weiterer wissenschaftlicher Forschung.

Wie weit darf didaktische Vereinfachung gehen?

Zur schnellen Einführung der Erkenntnisse der Plattentektonik in den Geographieunterricht haben gewiss auch die einfachen, anschaulichen Voraussetzungen über die Bewegungen an Plattengrenzen beigetragen. Als Beispiel sei nur auf den Vergleich von Konvektionsströmen mit erhitztem Wasser in einem Kochtopf verwiesen. Zu den Schwierigkeiten beim Verständnis plattentektonischer Prozesse gehören die unvorstellbare Größe der Erde, die langen Zeiträume geologischer Prozesse und die Notwendigkeit dreidimensional zu denken. Die Platten bewegen sich als Sphärenfragmente horizontal auf der kugelförmigen Erde um einen Rotationspol (Abb. 1). Aufgrund der Kugelgestalt der Erde wird die

Relativgeschwindigkeit der Platten mit zunehmender Entfernung von diesem Rotationspol größer. Das Ergebnis sind unterschiedliche Driftgeschwindigkeiten sowie Transformstörungen, die besonders auf den Ozeanböden gut sichtbar sind. So öffnet sich der Mittelatlantische Rücken im Ergebnis unterschiedlicher Plattenbewegungen (Abb. 2).

Die Temperaturen, Spannungen und Drücke innerhalb der Lithosphäre unterscheiden sich von den Werten unserer Erfahrung. Die Analogie mit dem Kochtopf führt nicht zu den Ursachen für die Plattenbewegungen. Was auf der Herdplatte Sekunden dauert, verläuft im Erdinneren in Millionen Jahren! Laborexperimente zu Konvektionsströmen zeigten dagegen symmetrische, einem Bienenwabenmuster (Abb. 5) ähnelnde Strukturen, die sich mit den beobachteten Plattenbewegungen vereinbaren lassen. Die Mantelkonvektion kann auf Grund der Kugelgestalt der Erde nicht in einfachen Walzen verlaufen (Abb. 5 und 7).

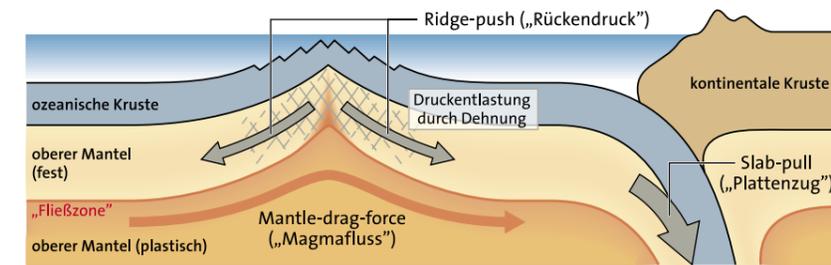


Abb. 3: Vermutete Antriebskräfte der Plattenbewegungen

Ungeklärte Fragen

Zu den ungeklärten bzw. gegenwärtig stark diskutierten Fragen gehören u.a.:

- Verlauf, Struktur und Anzahl der thermischen Konvektionen im Erdmantel.
- Die Existenz von Plumes im Erdmantel und deren Ursprungsgebiete.
- Gebirgsbildende Prozesse beim Zusammenstoß kontinentaler Lithosphäre, einschließlich der Entstehung großer Hochländer wie Tibet oder Altiplano.
- Der Aufbau der Lithosphäre im Bereich der Kontinente. Ergebnisse der Tiefbohrprogramme, wie die Entdeckung frei beweglicher Fluide in über 9 km Tiefe bei der KTB (kontinentale Tiefbohrung) in Windischeschenbach, erfordern eine Modifikation bisheriger Vorstellungen von einer dichten tieferen Kruste.

Die Antworten auf solche Fragen führen weg von einer stark vereinfachenden Betrachtung hoch komplexer geologischer Vorgänge. Sie erfordern und ermöglichen das Eindringen in ausgewählte geophysikalische oder geochemische Prozesse. Dabei ist es wichtig, dass Hypothesen nicht als wissenschaftliche Wahrheiten vermittelt werden.

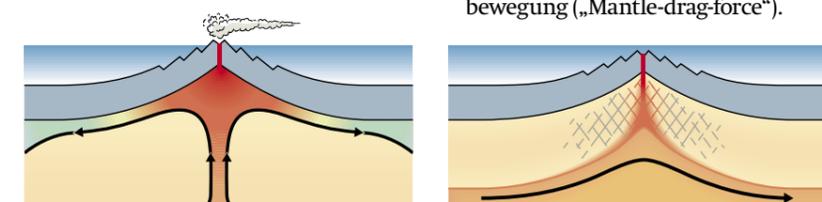


Abb. 4: Möglichkeiten von Magmafluss unter MOR. Links: Mantelplume unter Island Rechts: wie es unter den meisten mittelozeanischen Rücken der Fall ist. Quelle: Stüwe

*Abb. 5: Muster von Konvektionszellen in einer Flüssigkeitsschicht, in der eine Konvektionsströmung durch die Oberflächenspannung angetrieben wird. In Bereichen mit großer Oberflächenspannung wölbt sich die Oberfläche der Flüssigkeit auf, während sie sich im Zentrum einer jeden Zelle eindellt. Quelle: Bayrhuber/Hlawatsch

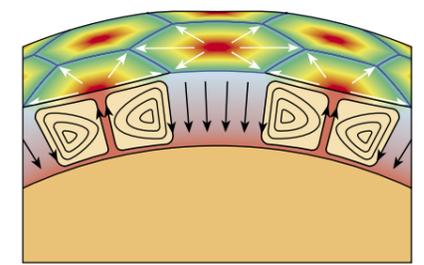


Abb. 5: Muster von Konvektionszellen*

Welche Kräfte bewegen die Platten?

Chemische und physikalische Unterschiede zwischen dem Erdinneren und der Erdoberfläche, wie Temperatur- und Dichteunterschiede, bewirken konvektive Prozesse im Erdmantel. Als Wärmequelle wären radioaktive Zerfallsprozesse oder Restwärme aus der Frühzeit denkbar. Durch die Konvektion ist der Erdmantel sowohl Quelle als auch Senke globaler geochemischer Kreisläufe: Material verschwindet in den Subduktionszonen und gelangt als Magma in den Mittelozeanischen Rücken (MOR) wieder zurück.

Heute geht man von unterschiedlichen Antriebskräften aus, die auch zusammenwirken können (Abb. 3):

- Rückendruck: Platten „rutschen“ infolge der potentiellen Energie der MOR (Höhenunterschied bis zu 1000 m) durch ihr Gewicht von den Aufwölbungen weg („Ridge-push“).
- Plattenzug: Die spezifisch schwerere, absinkende Platte (ozeanische Kruste) sinkt durch ihr Eigengewicht in Subduktionszonen in die Asthenosphäre und zieht die Platte mit sich und öffnet so den MOR („Slab-pull“). Diese Kräfte sind wahrscheinlich bis zu zehn Mal so groß wie die des Rückendrucks.
- Strömungen in der Asthenosphäre „schleppen“ die Platten mit sich oder „bremsen“ durch Reibung die Plattenbewegung („Mantle-drag-force“).

Geschichte der Plattentektonik auf einen Blick:

- 16. bis 19. Jh.: A. Ortelius (1596), F. Bacon (1620), A.v.Humboldt (1801/45), A. Snider-Pellegrini (1858) beschreiben die Ähnlichkeit der Küsten von Afrika und Südamerika;
- um 1900: E. Suess prägt den Namen „Gondwana-Land“ und geht von zwei ehemals zusammenhängenden Landmassen aus;
- 1912/15: A. Wegener formuliert die Hypothese der Kontinentverschiebung;
- 1928/30: A. Holmes vermutet, dass Zirkulationsbewegungen im Erdmantel die Kontinente bewegen;
- 1954: H. Benioff entdeckt, dass viele Erdbebenherde am Rande des Pazifik auf einer schräg abtauchenden Fläche angeordnet sind;
- um 1960 Entdeckung der Mittelozeanischen Rücken (MOR);
- 1961: A.D. Raff und R. G. Mason zeichnen mithilfe von Magnetmessungen im Ostpazifik ein magnetisches Streifenmuster der Ozeanböden;
- 1962/1961: H. Hess und R. S.Dietz formulieren die Seafloor Spreading Hypothese (Meeresbodenausbreitung);
- 1963: F.J.Vine und D.H.Matthews verbinden das Streifenmuster mit dem sea-floor spreading;
- 1965: J. T. Wilson entdeckt Transformstörungen an den Mittelozeanischen Rücken;
- 1968/1972: J. T. Wilson entwickelt den Zyklus des Entstehens und Vergehens von Ozeanen;
- 1971: der Geophysiker J. Morgan formuliert die Plume-Hypothese;
- 1984/85: N. Pavoni und G. Bischoff entwickeln das Modell der geotektonischen Bipolarität, welches von zwei großen Konvektionszellen ausgeht;
- 2003 die Geologin Gillian Foulger stellt die Existenz von Plumes in Frage und lehnt damit die inzwischen von den meisten Wissenschaftlern akzeptierte Plume-Hypothese ab.

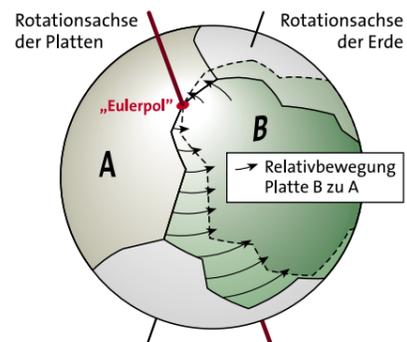


Abb. 1: Relativbewegung zwischen 2 Platten

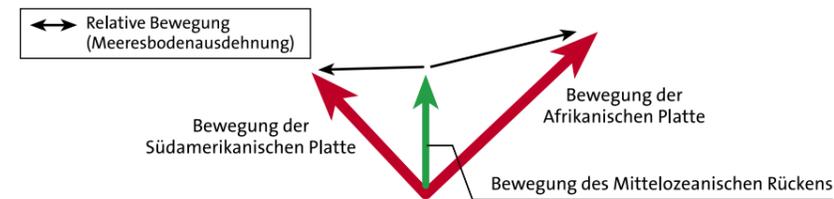


Abb. 2: Relative Bewegung (Meeresbodenausdehnung)

Erst ab 1990 setzte sich die Auffassung durch, dass nicht das aufsteigende Magma innerhalb der Rücken die Platten aktiv auseinanderdrückt, sondern die Rifts sich im Ergebnis von Rückendruck und Plattenzug passiv öffnen. Weil dadurch die Kruste gedehnt wird, kommt es zur Druckentlastung und einem partiellen Aufschmelzen (A 2). Hier an den MOR werden die größten Magma-produktionsraten erreicht.

Meerwasser spielt bei der Abkühlung der neuen ozeanischen Kruste und der Entstehung von Magma eine große Rolle. Die Wasserzufuhr sorgt für eine Herabsetzung der Schmelztemperatur, wodurch Magma mit geringer Dichte, aber hohem Gasgehalt gebildet wird. Das Aufbrechen eines Kontinents führt zur Bildung von Grabenbrüchen. Zwei Arten sind möglich.

- a) Durch Hotspots kommt es zur Aufwölbung und Verbiegung der Lithosphäre. (aktiver Mechanismus);
- b) Dehnung der Lithosphäre durch tektonische Bewegungen (passiver Modus).

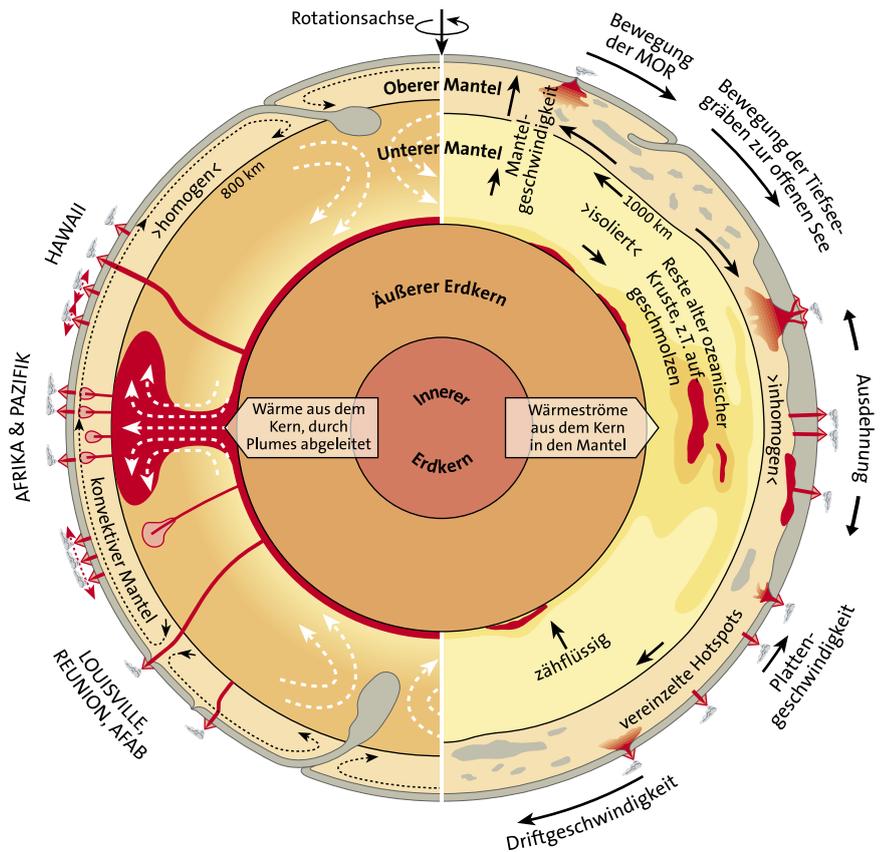


Abb. 6: Plattentektonisches Modell mit Plumes (links) und ohne Plumes (rechts)
Quelle: Anderson (2004); erscheint 2007 in TERRA GWG 5/6

Hotspots und Plumes

Zur Erklärung des Intraplattenvulkanismus dienen seit den 1970er Jahren Vorstellungen von Manteldiapiren („mantle plumes“), in denen heißes Material aus großen Tiefen (zum Teil von der Mantel-Kruste Grenze) in schlauchförmigen Zonen nach oben steigt. Über solchen Plumes können sich Hotspots als kleinere Vulkanzentren bilden. Der Vulkanismus in Island wird ebenfalls im Zusammenhang mit einem Plume gesehen, der Teil der Mittelatlantischen Rücken ist.

Andere Forscher sind der Ansicht, dass zwischen oberem und unterem Mantel kein Materialaustausch stattfindet oder dass eventuell jeweils zwei voneinander getrennte Konvektionsmuster existieren (Abb. 6).

Es war ein Paukenschlag als 2003 die britische Geologin G. Foulger die Existenz von Plumes in Frage stellte. Sie wurde fast genauso belächelt wie A. Wegener, als er das erste Mal seine Vorstellung der Kontinentverschiebung erläuterte. Im Moment sind

die meisten Geowissenschaftler Anhänger der Plume-Hypothese. Es ist allerdings noch nicht gelungen, die Existenz eines „Plume“ nachzuweisen, genauso wie es noch nicht gelungen ist seine Nichtexistenz zu beweisen. Die Erforschung des Erdinneren bleibt also weiter spannend. Lassen wir doch unsere Schüler daran teilhaben.

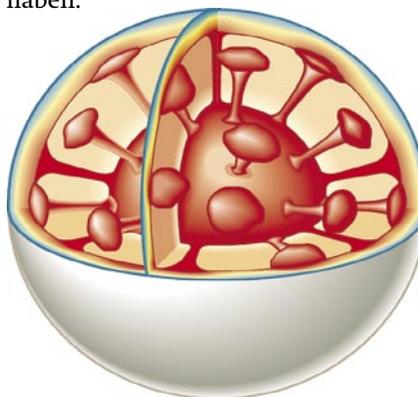


Abb. 7: Numerische Modellierung von Strömungen in der Kugelschale
Quelle: stemmer@uni-muenster.de

Literatur:

- Anderson, Don L., Scoring Hotspots; the Plume & Plate paradigms, in: *Melting Anomalies: Their Nature and Origin*, G.R. Foulger, D.L. Anderson, J.H. Natland and D.C. Prenal, eds. Special Paper, Geological Society of America, in preparation, 2004.
- Bayrhuber/Hlawatsch (Hrsg.): *System Erde. Interaktive CD-ROM.*
- Burg, J-P.: *Einführung in die Struktur-geologie.* Zürich: Geologisches Institut, ETH, 2001 (<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=lehr&nr=11>)
- Meibom, A.; Anderson D.L.: The statistical upper mantle assemblage. In: *Earth and Planetary Science Letters* 217 (2003) 123-139
- Stemmer, K.: *Numerische Simulation von Mantelkonvektion.* Geodynamik Workshop Hamburg, 2004 (www.geo.uni-potsdam.de/akgeodynamik/Workshop.2004/Abstracts/stemmer.ppt)
- Stüwe, K.: *Skriptum für die Lehrveranstaltung Geodynamik.* Graz, Skriptversion 2005/06 (<http://wegener.uni-graz.at>)
- Weitere Internetlinks finden Sie unter www.klett.de/extra. Passende Materialien zum Bestellen finden Sie auch auf Seite 20 in diesem Heft oder im Internet unter www.klett.de

Egbert Brodengoier ◀