

Island: eine Insel, zwei „Kontinente“

2. Geodynamische Phänomene und Zeit

Island ist Ausgangspunkt, den geodynamischen Erscheinungen (Vulkanismus, Erdbebenzonen, Graben- und Gebirgsbildung etc.) nachzuspüren, die im Wesentlichen durch das globale Konzept der Plattentektonik interpretiert werden. Von besonderem Interesse ist, ob und inwieweit aktuelle Beobachtungen auf die Vergangenheit übertragen werden können bzw. umgekehrt, wie sich die (interpretierte) Vergangenheit zur Gegenwart verhält. Bei allen Überlegungen und Deutungen geologischer Prozesse scheint die Zeit eine wesentliche Rolle zu spielen.

Michael Kotulla

Abb. 1 (oben) Island, größte vulkanische Insel der Erde. Satellitenaufnahme der NASA.

In Teil 1 (KOTULLA 2014c, nachfolgend auch T1) ist Islands geologische Einzigartigkeit herausgestellt worden: Die quer über Island verlaufende 50 bis 150 km breite vulkano-tektonisch aktive Zone (T1-Abb. 3) markiert im Konzept der Plattentektonik den Grenzbereich der nord-amerikanischen und eurasischen Platte (T1-Abb. 10). Die Deformationszone wird als Rift-Zone (Grabenbruch) verstanden, als festländischer Anteil des Mittelatlantischen Rückens, an welchem die Lithosphärenplatten durch auf- bzw. nachströmendes Mantelmaterial anwachsen und auseinanderdriften. Diese angenommene Drift führte allerdings nicht zu einer Spaltung Islands (Abb. 1). Ein exzessiver Hotspot-Vulkanismus, so die Vorstellung nach dem Konzept des Manteldiapirismus, hat die Nahtstelle permanent verkitet und darüber hinaus überhaupt erst den Auf-

bau der mehrere Kilometer dicken isländischen Plattform ermöglicht (T1-Abb. 2).

Bei der nachfolgenden vertiefenden Betrachtung und Diskussion einzelner tektonischer und vulkanischer Phänomene kann der Eindruck entstehen, es handele sich bei den oben genannten interpretativen Konzepten (Hypothesen) um Tatsachen. Das ist aber nicht der Fall; an geeigneter Stelle wird auf den Konzept-Charakter hingewiesen.

Krustendehnung in Island: Relativbewegungen der großen tektonischen Platten?

Die Spalten in den postglazialen Lavafeldern auf Island wurden erstmals in den 1930er-

Hinweis: Die Z-Verweise beziehen sich auf das Zusatzmaterial unter www.si-journal.de/jg21/heft2/island1.pdf (Teil 1) sowie www.si-journal.de/jg22/heft1/island2.pdf (Teil 2).

Jahren vermessen. Am eindrucksvollen, 5 km breiten Thingvellir-Graben (Abb. 2) wurde eine Dehnung der Erdoberfläche von 1,25 % (SCHWARZBACH 1964, 84) ermittelt und eine Dehnungsrate von 10–15 m/1000 [Warven-]¹ Jahre (TRYGGVASON 1982, nach BERNAUER 1943) geschätzt (entspricht 10–15 mm/[Warven-] Jahr).

Seit den 1990er-Jahren erlauben Hochpräzisions-Messungen mit GPS (Global Positioning System, Abb. 3) die Überprüfung von (Krusten-) Bewegungen im Millimeter-Bereich. Kontinuierliche GPS-Messungen (CGPS) in Island begannen 1995 mit der Einrichtung der Station REYK (Reykjavik, nordamerikanische Platte, Abb. Z-1) durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, zuvor IfAG); in 2004 waren insgesamt 18 permanente GPS-Stationen aktiv, wovon 14 dem (neuen, durch isländische Einrichtungen verantworteten) ISGPS-Netzwerk angehörten (GEIRSSON et al. 2006).

LA FEMINA et al. (2005) ermittelten auf dieser Grundlage für den Zeitraum 1994 bis 2003 in Summe (westliche und östliche vulkanische Zone; WVZ, EVZ) eine relative Spreizungs- bzw. Divergenzrate von ungefähr 18–20 mm/Jahr in Richtung der Plattenbewegung (102°O). Im Detail war zu beobachten, dass die Spreizungsrate in der WVZ von Nordosten nach Südwesten von ca. 2,6 mm/Jahr auf ca. 7,0

Mit Hochpräzisions-GPS wird in Island eine Krustendehnung von aktuell etwa 2 cm/Jahr gemessen.

mm/Jahr zunimmt, währenddessen die Rate in der EVZ von Nordosten nach Südwesten von ca. 19 mm/Jahr auf ca. 11 mm/Jahr abnimmt. Insgesamt sei die Aktivität in der EVZ deutlich höher. Für den Zeitraum 1999 bis 2008 gibt EINARSSON (2008), teilweise unter Bezugnahme auf GEIRSSON et al. (2006), für die Station HOFN (Höfn, eurasische Platte) im südöstlichen Island eine Relativbewegung zur Referenz-Station REYK von 22,4 mm/Jahr in Richtung 100°O an (T1-Abb. 10, rechte Pfeil).

Zur Rekonstruktion von Plattenbewegungen und ihrer Bewegungsraten in der Vergangenheit sowie Vorhersagen für die Zukunft sind Modelle entwickelt worden, u.a. MORVEL (DE METS et al. 2010), basierend auf NUVEL-1 und NUVEL-1A (DE METS et al. 1990, 1994), und REVEL (SELLA 2002).² NUVEL-1A basiert hauptsächlich auf mittelozeanischen Spreizungsraten, die durch die magnetische Anomalie 2A stratigraphisch fixiert und datiert sind (~3 Millionen [radiometrische] Jahre). REVEL gründet primär auf weltweit gewonnenen GPS-Daten der Jahre 1993 bis 2000, aus denen aktuelle Plattengeschwindigkeiten errechnet wurden.

Kompakt

Ausgehend von der geologischen Situation in Island werden einige geodynamische Erscheinungen im Rahmen der vorherrschenden Hypothesen von Plattentektonik und Manteldiapirismus in Bezug auf ihre Dynamik und Zeitläufe in der Vergangenheit näher betrachtet und alternativ interpretiert, u.a.:

Die isländische Plattform wurde hauptsächlich von lokalen Flutbasalten, wahrscheinlich in rascher Abfolge, gebildet. Demzufolge sind nicht nur die gemessenen geomagnetischen Polaritätswechsel rapide geschehen, sondern die jeweiligen Perioden einheitlicher Polarität müssen kurz gewesen sein.

Im oberen und unteren Mantel scheinen sich, tomographischen Bildern zufolge, zahlreiche Platten bzw. Plattenfragmente angesammelt zu haben; sie sind thermisch an ihre Umgebung (noch) nicht angepasst. Dies lässt eine kurze Verweildauer im Mantel vermuten und in Verbindung mit Autocrash-ähnlichen Kontinent-Kontinent-Kollisionen auf zeitweilig hohe Plattengeschwindigkeiten schließen.



Anhand des NUVEL-1A-Modells ermittelt EINARSSON (2008) auf Basis einer relativen Rotationsgeschwindigkeit von 0,21° pro 1 Million [radiometrischer] Jahre eine durchschnittliche Plattengeschwindigkeit für die kürzere geologische Vergangenheit Islands von 18,2 mm/[radiometrischem] Jahr. Des Weiteren weist er auf die Übereinstimmung mit den Ergebnissen von SELLA et al. (2002) hin; diese Autoren errechneten für die West-Ost-Komponente der GPS-Stationen REYK und HOFN ca. 22,8 mm/Jahr (ihre Table 1). EINARSSON (2008, 38)

Abb. 2 Westliche Grabenbruchzone des Thingvellir-Grabens, 40 km NO Reykjavik. Verwerfung mit Spaltensystem und abgesunkenem Ostflügel; die spektakuläre Hauptspalte, die Allmännerschluft, entfaltet ihre Dimension erst aus der Vogelperspektive. Mit Thingvallvatn-See, im Hintergrund Armannsfell sowie das Inlandeis des Langjökull; Foto: F. SCHINDLER (freundliche Zurverfügungstellung).

stellt fest, dass die Geschwindigkeit der Platten auf Zeitskalen, die von einigen Jahren bis einige Millionen [radiometrische] Jahre reicht, übereinstimmend ist.³

Die Uniformität der Plattengeschwindigkeit, die Übereinstimmung aktuell ermittelter und für die Vergangenheit errechneter [radiometrischer] Spreizungsraten, wird nicht nur als eine Bestätigung der Theorie der Plattentektonik, sondern auch als Bestätigung der Gültigkeit einer geologischen (Lang-) Zeit angesehen. Zur weiteren Erhärtung von Bewegungen der aktuell definierten Lithosphärenplatten gilt es insbesondere, kontinuierliche Messungen für weitere Jahrzehnte fortzusetzen und den Effekt über mehrere Tausend Kilometer genau zu ermitteln, beispielsweise vom Westrand der eurasischen Platte (Station HOFN) zu ihrem Ostrand in Russland.

Theorie der Plattentektonik: Eine uniformitaristische Betrachtungsweise

Die Theorie der Plattentektonik – so AGER (1975, 28–29) – hat die Geologie revolutioniert; er schreibt von einer zweiten aufregenden „heroischen Ära“ der Geologie, die in den 1960er-Jahren begann. „Wir sind erstmals in der glücklichen Lage, eine generelle Theorie der Geologie zu besitzen, zu welcher alles andere in Beziehung gesetzt werden muss.“ Im Anfang der Geologie seien die ersten Anhaltspunkte zum Verständnis der Erde von der Doktrin des Uniformitarismus zur Verfügung gestellt worden – in Kurzform: „Die Gegenwart ist der Schlüssel zur Vergangenheit.“ Diese Doktrin lieferte die grundlegende Philosophie, die es den Geowissenschaftlern ermöglichte, die geologische Geschichte unseres Planeten auszuarbeiten.

Abb. 3 GPS-Station auf dem Vikhraun-Lavafeld (Eruption von 1961) im Nordteil der Askja-Caldera, Zentralisland. Foto: M. KOTULLA.



Zur ‚neuen‘ Geologie schreibt AGER weiter: „Nun gebrauchen wir in der ‚neuen‘ Geologie weiterhin die uniformitaristische Betrachtungsweise, aber wir wenden sie nicht nur auf die Phänomene der Oberfläche wie Sedimentation und Erosion an, sondern auch auf die internen Prozesse, die im Inneren der Erde vorgehen und die wir aufspüren.“ Mit anderen Worten: das plattentektonische Konzept mit seiner (extrem mobilistischen*) Geodynamik* wurde von Anfang an in die uniformitaristische Doktrin und in den Altersrahmen der Langzeit-Skala eingepreßt.

Was zählt? Intensität oder Zeit?

Eine uniformitaristische Betrachtungsweise wird den Befunden allerdings nicht gerecht. Die in allen Facetten heute zu beobachtenden Geoprozesse sind verglichen mit der Vorzeit extrem niedrig-dynamisch und lokal begrenzt. Für die Plattentektonik beschreibt es FRANKE so (2000, 30): „Die einzelnen Platten, aus denen sich die Kontinente zusammensetzen, sind größtenteils zur Ruhe gekommen, so dass die Plattenbewegungen innerhalb der heutigen Kontinente meist vollständig erloschen sind.“ Zur Natur der stratigraphischen Überlieferung legt AGER (1993, 70) dar, dass die Sedimentation in der Vergangenheit sehr oft rasch und sehr unregelmäßig gewesen sei (also nicht ausnahmsweise, sondern quasi im Regelfall); zum Uniformitarismus bekennt er⁴ (vgl. oben): „(...) wir haben uns erlaubt, uns einer Gehirnwäsche zu unterziehen, einer Vermeidung jeglicher Interpretation der Vergangenheit, die Extreme involviert und die als ‚katastrophisch‘ bezeichnet werden können“ (siehe auch KOTULLA 2014a, 2–21).

In unserer vergleichsweise (geologisch) ruhigen Gegenwart werden vereinzelt auch stärkere Aktivitäten beobachtet. Die Rifting-Episode des Krafla-Feuers (1975–1984) in Nordisland (siehe Teil 1) verursachte eine horizontale Dehnung der Oberfläche von bis zu 9 m (ÁRNADÓTTIR et al. 2008). Die durchschnittliche Weitung von 5 m entspricht bezogen auf die Dauer von 10 Jahren einem Faktor von 25 gegenüber der aktuellen Spreizungsrate von 2 cm/Jahr.

Das folgenschwere Tohoku-Erdbeben (11. März 2011, $M = 9,0$) bewirkte tiefgreifende und rasche Veränderungen im nahegelegenen Japan-Graben, der den konvergenten Grenzbe- reich der Pazifischen Platte (Osten, abtauchend) zur Ochotsk-Platte (Westen, mit Teilen des japanischen Vulkanbogens) markiert: 1. Eine Deformation des frontalen Keils am Ostrand der westlichen, oberen Platte mit einer horizontalen Meeresboden-Verlagerung >50 m und einer angenommenen relativen Verschiebung der Schollen zueinander um etwa 80 m entlang der



flach geneigten Plattengrenze (ITO et al. 2011). 2. Eine Verschiebung der oberflächennahen Grenze der Platten um zwei bis drei Kilometer nach Osten (STRASSER et al. 2013; siehe auch KOTULLA 2013). Wird die horizontale Verlagerung von 50 m (in max. 30 Minuten) zur aktuellen Plattengeschwindigkeit von 9,2 cm/Jahr in Beziehung gesetzt, ergibt sich eine etwa um den Faktor 10^7 höhere Rate. Zur Verschiebung der oberflächennahen Grenze äußerte sich Gerold WEFER, Co-Autor, in MARUM.de: „Als Geowissenschaftler sind wir es gewohnt, in sehr langen Zeiträumen von Jahrhunderttausenden oder gar -millionen zu denken.“ Und weiter: „Diese Expeditionen haben uns gezeigt, dass Plattengrenzen bisweilen auch von plötzlichen Ereignissen in Sekunden oder Minuten tiefgreifend verändert werden können.“

Islands älterer Vulkanismus: Ein Meer von Flutbasalten

Wird der rezente Vulkanismus in Island (Teil 1) mit dem älteren, neogenen Vulkanismus verglichen, zeigen sich deutliche Unterschiede in der Ausbildung und insbesondere in der Intensität. An der Ostküste beispielsweise können zur Inselmitte einfallende (4–7°) miozäne Lavastapel (Abb. 4) bis zu einer Mächtigkeit von >3 km (KRISTJANSSON et al. 1995) zusammengesetzt werden.

Die kürzlich von ÓSKARSSON & RIISHUUS (2013) untersuchten Basalt-Einheiten, die Hólmar- und die mittelbar überlagernde Grjóta-Gruppe, erstrecken sich in Nord-Süd-Richtung über >80 bzw. >50 km und umfassen im Durchschnitt etwa 20 bzw. 40 Lavaströme mit Dicken von <2 bis >30 m bei einer Gesamtmächtigkeit von jeweils bis zu 250 m. Einzelne Ströme erreichen eine Länge von bis zu 20 km. Es dominieren spalteninduzierte basaltische Lavaergüsse, die, verglichen mit den extrem mächtigen Ergüssen von Flutbasaltprovinzen (z.B. Columbia River

Plateau), aufgrund ihrer Architektur und ihrer Struktur (und der daraus entwickelten Genese) zu den Flutbasalten gezählt werden müssen, jedoch insgesamt von kleinerer Dimension sind. Flutbasalte zeichnen sich durch hohe Effusionsraten, geringe Viskosität und extrem rasche Ausbreitung über Zehner und Hunderte Kilometer aus; ihre Ergüsse sind Ereignisse sehr kurzer Dauer.

Die reine Bildungszeit der ca. 60 Lavaströme mit einem Gesamtvolumen von etwa 200 km³ schätzen ÓSKARSSON & RIISHUUS unter Annahme einer (moderaten) Effusionsrate* von 10³ m³/s auf etwa 7 Jahre (ihre Table 5); für die Initialphase jeder Eruption gehen sie aber von einer um eine Größenordnung höheren Effusionsrate aus. Auch wissen sie um den Umstand, dass Distanzen von 20 km bei einer moderat großen Eruption innerhalb von Stunden oder Tagen erzielt werden können. Die Zeitperiode

Abb. 4 Abfolge miozäner Flutbasalte im äußersten Osten Islands, Höhe 500–700 m; Küstenabschnitt nördlich Djúpivogur. Die Deckenergüsse mit Dicken im Meter- und Zehnermeter-Bereich halten hier über mehrere Kilometer aus und haben vermessene Reichweiten von bis >80 km. Foto: M. KOTULLA.

Glossar

Chron: Grundeinheit der → Polaritätszeitskala.

Corioliskraft: In einem rotierenden Bezugssystem (z.B. Erde) auf einen sich bewegenden Körper einwirkende Trägheitskraft; die Erdrotation bewirkt eine Ablenkung von bewegten Massen, z.B. Luft und Wasser.

Curie-Temperatur: Temperatur, unterhalb welcher ein Mineral magnetische Eigenschaften annimmt; für Magnetit 578 °C.

Effusionsrate: Ausfließen (Ausgießen) von Lava (z.B. aus Krater oder Spalte) gemessen in m³/s oder km³/s.

Eötvös-Kraft: Vertikale Komponente der → Corioliskraft.

Geodynamik: Kräfte, Bewegungen und Veränderungen, denen die Erde insbesondere an der Oberfläche ausgesetzt ist.

Mobilistisch, Mobilismus: Beweglich; Anschauung, die Bewegungen von

Krusten- oder Lithosphärenteilern über den Untergrund vorsieht (z.B. Plattentektonik); Gegensatz: Fixismus.

Polaritätszeitskala: Abstrahierte Skala, die in Gesteinen „aufgezeichnete“ magnetische Richtungsschwankungen (Anomalien), geomagnetische Polaritätsänderungen in ihrer Nacheinanderfolge ausweist; durch radiometrische Eichung der Folge entsteht die Geomagnetische Polaritätszeitskala. Grundeinheit der Skala ist das → Chron, ein definierter Zeitabschnitt einheitlicher Polarität.

Subduktion: Im Kontext des Konzeptes der Plattentektonik das Ab- oder Unterführen von Lithosphärenteilern in die Tiefe des Oberen Mantels.

Westwärtsdrift: Angenommene Westdrift der Lithosphäre, die auf eine angenommene Verlangsamung der Erdrotation zurückgeführt wird.

Abb. 5 Hengifoss, 118 m hoher Wasserfall mit scharfer Fallkante in hufeisenförmigen Kessel. Die Abfolge besteht aus mio-pliozänen Flutbasalten mit eingeschalteten Rotschichten (weiße Pfeile). Etwa 30 km SO Egilsstaðir, Ostisland; Foto: M. KOTULLA.



zwischen den Eruptionen allerdings errechnen sie aus der radiometrisch vorgegebenen Zeitspanne von $220\,000 \pm 190\,000$ [radiometrischen] Jahren und ermitteln auf Basis von insgesamt 72 Lavaströmen (deren Bildungszeit vernachlässigend) eine durchschnittliche Eruptionspause von gerundet 400 – 5 700 bzw. $3100 \pm 2\,600$ [radiometrische] Jahre.

Gleichmaßen hatten KRISTJANSSON et al. (1995) zuvor aus einer vorgegebenen Zeitspanne von etwa 3 Millionen [radiometrischen] Jahren, ebenfalls unter Zugrundelegung einer Vernachlässigung der Bildungszeit der Laven, Eruptionspausen in der Größenordnung von 10 000 [radiometrischen] Jahren ermittelt. Ihre zusammengesetzten, >3 km mächtigen Profile aus der Umgebung der Fjorde Mjóifjörður und Seyðisfjörður bestehen aus bis zu 240 Ergusseinheiten mit teilweise zwischenliegendem „rötlichem äolischem Sediment“ (s. u.); innerhalb der Abfolgen werden mindestens 19 geomagnetische Polaritätswechsel gemessen und einem konkreten Abschnitt der Polaritätszeitskala* (Chrono* C5ABn bis C5n.2n) zugewiesen (aktuelle Skala siehe GRADSTEIN et al. 2012, 950).

Im Kontext einer in der Vergangenheit extrem erhöhten Krustenproduktion (Teil 1) scheinen die Effusionsraten sehr moderat gewählt (ÓSKARSSON & RIIISHUUS 2013) und die in beiden Artikeln angegebenen Eruptionspausen unplausibel; gerade die (vermeintlichen) Eruptionspausen sind im Verhältnis eher als zu vernachlässigen zu betrachten. Demzufolge wären nicht nur die Polaritätswechsel (KRISTJANSSON et al. 1995)

selbst kurzzeitige Ereignisse, auch die jeweiligen Perioden einheitlicher Polarität wären nur von sehr kurzer Dauer gewesen.

Die Rotschichten

Rote, den Lavaströmen teilweise zwischengeschaltete Lagen (Abb. 5) bzw. ihre Oberflächen wurden bisher als Indizien für längere Eruptionsunterbrechungen interpretiert, u. a. weil ihnen eine intensive Verwitterung und Bodenbildung zugesprochen wurde.

Die bereits oben erwähnten Lavaströme der Hólmar- und der Grjóta-Gruppe zeigen einen rötlich gebrannten Horizont, der von dünnen Rotschichten und ab und zu von dickeren Tuffablagerungen überdeckt ist. Die Rotschichten sind Vulkanoklastika, die eine Dicke von 1 cm bis etwa 2 m erreichen können, üblicherweise aber im Bereich von 5–10 cm liegen. Die Tuffschichten können bis über 30 m mächtig werden.

Bei den Flutbasalten in Island kann hauptsächlich von raschen Ergussfolgen ohne längere Unterbrechungen ausgegangen werden.

Die Rotschichten liegen unabhängig von ihren Dicken gut erhaltenen Lavastrom-Oberflächen auf, ohne jeglichen graduellen Übergang; so ist evident, dass sie nicht durch Verwitterung der Lavakrusten entstanden sein können. ÓSKARSSON

& RIISHUUS (2013) interpretieren sie als direkte Ablagerungen basaltischer Tuffe oder als äolisch remobilisierten vulkanischen Staub. Die Zunahme der Dicke der Rotschichten in der Umgebung von Zentralvulkanen unterstützt zusätzlich die Vorstellung, dass die Ablagerung bzw. Remobilisierung vulkanoklastischen Materials auf diese Gebiete konzentriert war. Eine Rotschicht war sogar mit der Kruste eines sich überrollenden Lavaflusses verfaltet; dies legt eine gleichzeitige Bildung nahe.

Aus der Vollständigkeit der internen Struktur der Lavaströme am Top, dem Fehlen einer Verwitterung und der hohen direkten Kontaktrate von Lavastrom zu Lavastrom (30–50 %) schließen ÓSKARSSON & RIISHUUS auf eine kurze Zeitperiode zwischen den Eruptionen.⁵ Diese Beobachtung und Schlussfolgerung gilt es für andere Lokalitäten zu prüfen und ggf. zu übertragen. Dass Rotschichten mit längeren Eruptionsunterbrechungen gleichzusetzen sind, ist nach diesen Befunden nicht gegeben. Es scheint vielmehr der Fall vorzuliegen, dass die Oberflächenphänomene bisher fehlinterpretiert wurden.

Mittelozeanische Rücken: Rätselhafte Frakturzonen

Die ozeanischen Rücken unterschiedlicher Ausprägung nehmen etwa ein Drittel der Fläche der Tiefsee ein. Die langgestreckten, zusammenhängenden Erhebungen (Schwellen) überragen die Tiefseebecken deutlich; ihre Kammregionen bestehen aus einem 20 bis 50 Kilometer breiten, teilweise seismisch aktiven Zentral- bzw. Scheitelgraben von 1000 bis 3000 m Tiefe. Untergeordnet sind auch Horst-Strukturen ausgebildet

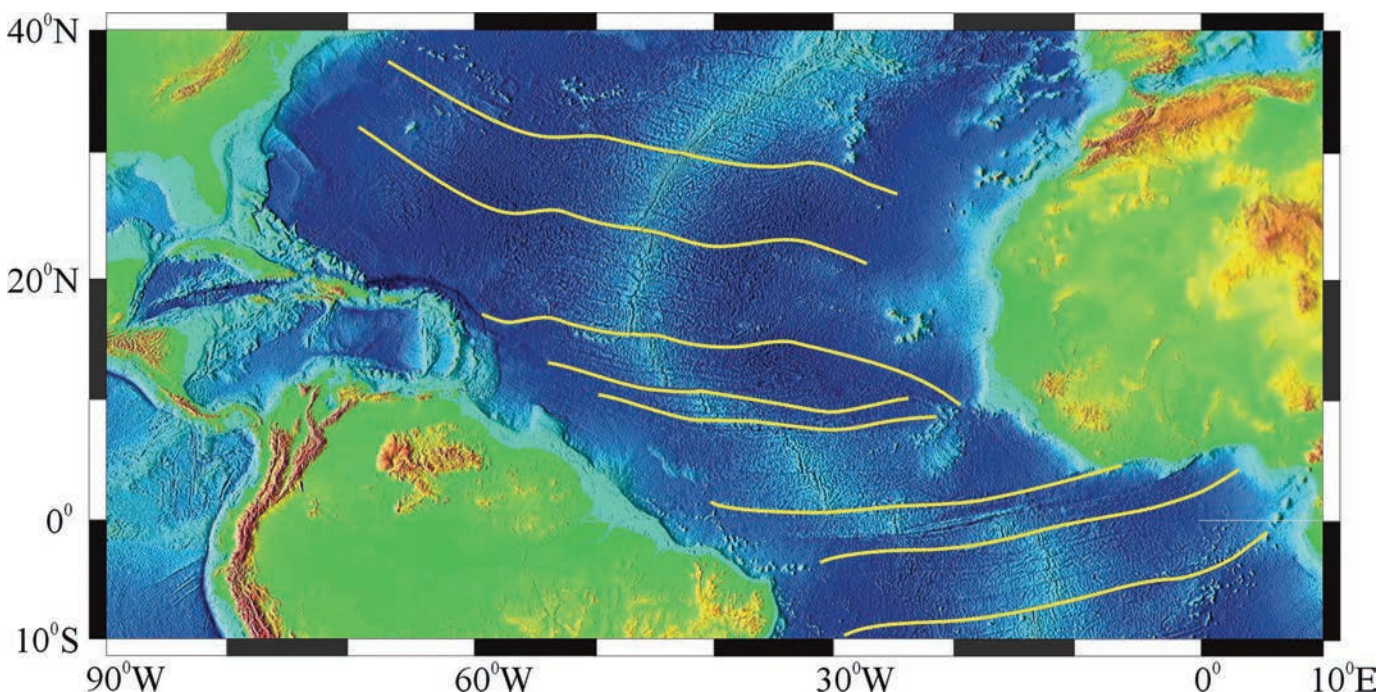
(ostpazifischer Rücken z.T., Reykjanes-Rücken). In unregelmäßigen Abständen werden die Rücken von etwa rechtwinklig zur Kammregion verlaufenden Querelementen unterbrochen, die die Schwellen in zahlreiche (vermeintlich) gegeneinander versetzte Teilstücke gliedern.

Die Querelemente werden als Fraktur- oder Bruchzonen (fracture zone) bezeichnet. Sie werden als Transformstörungen interpretiert (transform faults, WILSON 1965), „Umformungsverwerfungen“, mit einer entgegengesetzten Bewegungsrichtung wie bei normalen Horizontalverschiebungen (FRISCH & LOESCHKE schreiben von einer „Theorie der Transformstörung“). Die Interpretation allerdings ist umstritten. Bei den Frakturzonen Islands (Tjörnes Fracture Zone, TFZ, im Norden und die Südisländische Seismische Zone, SISZ, auch Reykjanes Fracture Zone, im Süden; siehe Teil 1) handelt es sich jedenfalls nicht um Blattverschiebungen; ein erkennbarer Versatz geologischer Baueinheiten ist hier nicht festzustellen.

Katastrophische Entstehung der Frakturzonen?

FRIEDRICH & LEDUC (2004) haben anhand einer Stichprobe von 214 Frakturzonen ihre Geometrie beschrieben und ausgewertet. Der Großteil (etwa 90 %) folgt einem gleichen geometrischen Verhalten, welches sie einfach als Kurven-Muster („curve pattern“) bezeichnen: Ausgehend von einem festgelegten Startpunkt (Achse des mittelozeanischen Rückens) zeigen die Frakturzonen (Verlauf jeweils nach rechts zu ihrem Endpunkt, beim Mittelatlantischen Rücken östlich) der nördlichen Hemisphäre in der Regel eine erste

Abb. 6 Kurvenförmige Frakturzonen im Atlantik, Nachzeichnungen in Gelb. Westlich des afrikanischen Festlandes, bei etwa 10° N, stoßen die Zonen aufeinander. Grafik: FRIEDRICH & LEDUC (2004, ihre Abb. 3, hier in Farbe), freundliche Zurverfügungstellung G. LEDUC; Basis: Reliefkarte der NOAA (NGDC)⁶.



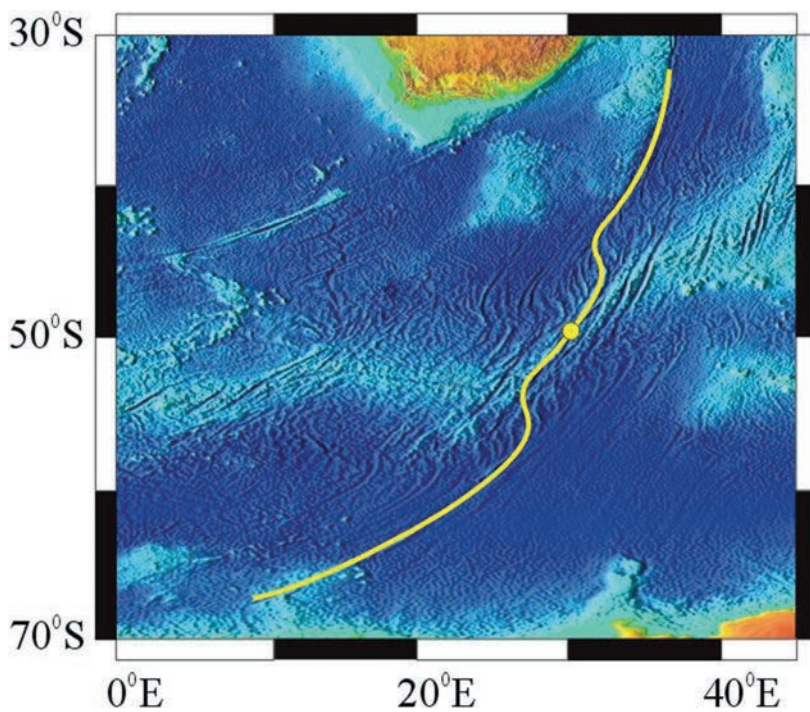


Abb. 7 Kurvenförmige Frakturzonen am Atlantisch-Indischen Rücken, eine Nachzeichnung in Gelb. Grafik: FRIEDRICH & LEDUC (2004, ihre Abb. 4, hier in Farbe), freundliche Zurverfügungstellung G. LEDUC; Basis: Reliefkarte der NOAA (NGDC)⁶.

rechtsgeneigte Kurve, die der südlichen Hemisphäre dagegen in der Regel eine erste linksgeneigte Kurve (siehe Abb. 6 und 7). Hat eine Frakturzone mehr als eine Kurve, verhält sich die 2. Kurve jeweils invers zur ersten. Ausnahmen zu dem hemisphärisch-spiegelbildlichen Verhalten sind vorwiegend in einem Breitenbereich von $\pm 10^\circ$ zum Äquator anzutreffen; ein Anomalie-Typ ist ein Aufeinander-Zulaufen von Frakturzonen (Abb. 6).

Es scheint, als hätten die Frakturzonen bei ihrer Entstehung der Corioliskraft gehorcht.

Die Autoren stellen sich die Frage, welche Kräfte die Entstehung dieses regelhaften Kurven-Musters bewirkt haben könnten. Sie schließen die lokalen Primärkräfte des plattentektonischen Konzeptes wie Plattenzug („slab pull“) und Plattenschub („ridge push“) aus und lenken die Aufmerksamkeit auf global wirksame Kräfte wie Westwärtsdrift* und Eötvös-Kraft*. Erstere erachten sie als alleinwirksame Kraft aber als zu schwach; GASPERINI (1993) habe aber unter gewissen Voraussetzungen für das Paläozoikum und Mesozoikum demonstriert, dass beide Kräfte einen Einfluss auf die Konfiguration der Kontinente gehabt haben könnten.

Werden diese Vorstellungen weiter entwickelt, scheint es, als hätten die Frakturzonen bei ihrer Entstehung der Corioliskraft* gehorcht. Demnach hätten sich die Frakturen im Körper wie Körper selbst verhalten; sie wären mit hoher Geschwindigkeit und möglicherweise gleichzeitig entstanden, davon zeugt ihre Ablenkung, ihr kurvenförmiger („curvilinear“) Verlauf.

Auch FRIEDRICH & LEDUC (2004) äußern die Vermutung, dass das spiegelbildliche Kurven-Muster gesamthaft entstanden und zu einem globalen Ereignis im Känozoikum in Beziehung gesetzt werden könnte.⁷

Des Weiteren ist festzuhalten, dass einige Frakturzonen, insbesondere am Äquator (z.B. St. Paul, Romanche, Chain), eine Fortsetzung in Lineamenten der Festlandsschollen (Südamerika, Afrika) erfahren, die teilweise präkambrischen Alters sind; strukturgeologisch sind also „neu“ und „alt“ miteinander verwoben. Der genetische Zusammenhang allerdings ist unklar.

Magnetische Signaturen des Meeresbodens

Die magnetische Vermessung des Untergrundes der Ozeane erfolgt mit Magnetometern im Schlepptau von Schiffen (Seemagnetik) oder aus der Luft (Aeromagnetik). Die ausgewiesene magnetische Anomalie ergibt sich aus der gemessenen Totalintensität abzüglich eines Referenzfeldes. Die magnetische Anomaliesignatur über den ozeanischen Rücken ist häufig auffällig streifenförmig; die Streifen verlaufen parallelsymmetrisch zur Achse der Rücken.

VINE & MATTHEWS (1963) hatten diese Streifenmuster mit Ideen einer Ozeanbodenspreizung („Sea Floor Spreading“) in Verbindung gebracht und als Aufzeichnung und Überlieferung der Polaritätswechsel des irdischen Magnetfeldes mit der Zeit interpretiert. „Demnach, wenn Spreizung des Ozeanbodens geschieht“, so die Autoren, „würden Schollen von normal und revers wechselnden, magnetisierten Materials vom Zentrum der Rücken und parallel zu ihrem Scheitel wegdriften.“ Infolgedessen ist das jüngste Material im Zentrum, das älteste Material am äußersten Rand anzutreffen. Das häufig dargestellte Streifenmuster des Reykjanes-Rücken südwestlich Islands basiert auf aeromagnetischen Messungen (HEIRTZLER et al. 1966).

In der Folge hatten HEIRTZLER et al. (1968) unter Zugrundelegung einer Korrelation der Muster der magnetischen Anomalien (Pazifik, Atlantik, Indik) erstmals eine geomagnetische Zeitskala aufgestellt und den Versuch unternommen, ihre absoluten Alter über paläontologische und paläomagnetische (d. h. radiometrisch geeichte) Ereignisse zu bestimmen (aktuelle Polaritätszeitskala siehe GRADSTEIN et al. 2012).

Nach FRISCH & MESCHEDÉ (2011, 17) war es „die Auffindung dieser zu den ozeanischen Rücken symmetrischen Streifenmuster, die Anfang der 1960er-Jahre den Beweis für die Bildung und das Auseinanderdriften ozeanischer Kruste brachte und damit den Grundstein für das Konzept der Plattentektonik legte.“

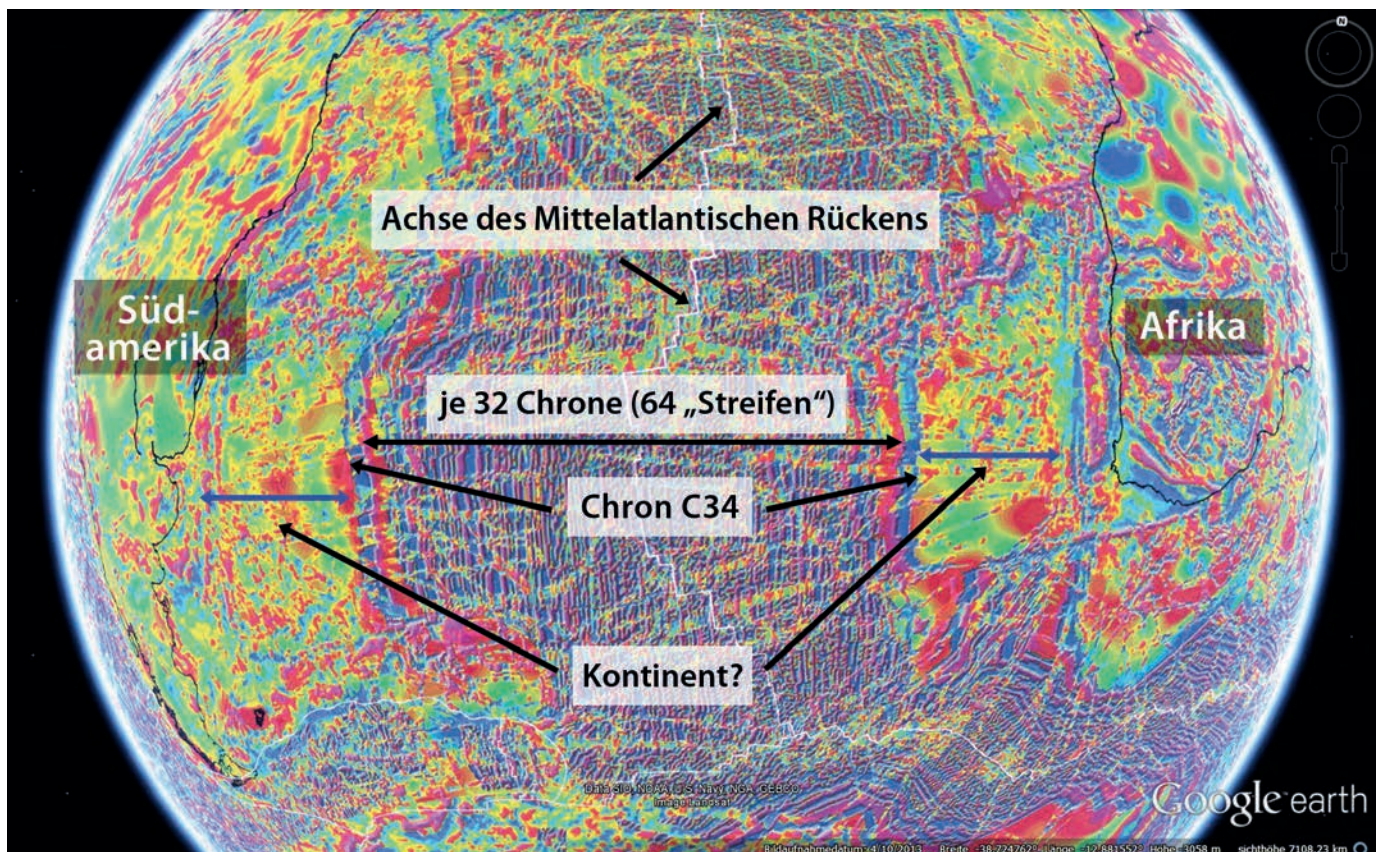
Kontinent unter den Ozeanen? Ein bisschen weniger Plattentektonik?

JAMES (2010) unterscheidet auf der magnetischen Anomaliekarte (Magnetic Anomaly Map, KORHONEN et al. 2007) zwischen zwei unterschiedlichen magnetischen Signaturen, einer „kontinentalen“ und einer „stark gestreiften“ (s.o.). Der Kartenausschnitt der südlichen Hemisphäre zwischen Südamerika und Afrika (Abb. 8) weist für den Atlantik die höchste Anzahl magnetischer Streifen beidseits des Atlantischen Rückens aus (weiße Linie markiert die Achse). Auf Grundlage eines einzigen südatlantischen Messprofils (und unter Einbeziehung einzelner Daten pazifischer und indischer Profile) ist von CANDE & KENT (1992, 1995) ein synthetisches südatlantisches magnetisches Anomaliemodell mit 33 definierten Chronen (C-Serie, C1-C34; Chron 14 entfällt) für den stratigraphischen Abschnitt von der Campanium-Stufe (Oberkreide, die Basis bildet die Grenze C33 zu C34; ca. 84 Mio. [radiometrische] Jahre) bis heute erstellt worden. Die N-S-gerichtete Streifenzone endet in W-O-Orientierung etwa auf halber Strecke beidseits in Richtung der Kontinente. Angrenzend beginnt eine magnetische Signatur, die der der Kontinente gleicht. Diese Beobachtung veranlasst JAMES – neben weiteren Indizien⁸ – für diese untermeerischen Krustenteile auch kontinentale bzw. (Kontinent-) Kruste anzunehmen, im Gegensatz zur plattentektonischen Interpretation einer ozeanischen Kruste. Wird

der mittlere Teil mit der Streifen-Signatur (siehe Fig. 4) entfernt, verringert sich die Distanz zwischen Südamerika und Afrika etwa um die Hälfte. Das verbleibende „Dazwischen“ wären die (ursprünglichen) kontinentalen Krustenbereiche, die wahrscheinlich ab bzw. im Eozän einer gewaltigen und raschen Absenkung unterworfen waren. Nach diesem Szenario wäre das „anomale“ C34-(Super)-Chron (den kretazischen Stufen Aptium bis Santonium zugewiesen), das bislang als eine lange geomagnetische Ruheperiode interpretiert wird (40 Mio. [radiometrische] Jahre), fiktiv. Es existierte nicht, es fehlte schlichtweg die geologische Überlieferung, denn die submarine Kruste wäre kontinentaler und nicht ozeanischer Natur.

Ist JAMES' Rekonstruktion korrekt, würde sich die Spreizungsdistanz – aufgrund der größeren Ausdehnung der Kontinente, hier Südamerika und Afrika – um etwa die Hälfte verringern. Darüber hinaus hätte sie wichtige Implikationen für Paläogeographie, Paläoozeanographie sowie die Verteilung von Flora und Fauna. Zur weiteren Erhärtung und Überprüfung wären u.a. Tiefbohrungen in der Tiefsee notwendig; bis zu einer Wassertiefe von 4 000 m sind sie bereits technisch möglich. JAMES (2011) hofft insbesondere auf weitere Erkenntnisgewinne durch die Erdölindustrie. Die riesigen Gebiete mit abgesunkenen Kontinentteilen bergen möglicherweise ein großes Potential an Kohlenwasserstoffen, und die Prospektion sei nicht modellgetrieben.

Abb. 8 Ausschnitt aus der magnetischen Anomaliekarte, südliche Hemisphäre zwischen Südamerika und Afrika. Das magnetische, N-S-verlaufende Streifenmuster längs der Achse des Mittelatlantischen Rückens (weiße Linie) endet abrupt beidseits in Richtung der Kontinente etwa auf halber Distanz mit Beginn des Chrons C34 der magnetischen Polaritätszeitskala; der blaumarkierte Teil wird von JAMES (2010) als „Kontinent unter den Ozeanen“ interpretiert (siehe Textteil). Distanzen durch Krümmung verzerrt. Karte von KORHONEN et al. (2007); Abb.: Übertragung der Karte durch <http://www.geology.sdsu.edu> nach Google Earth, Eintragungen durch den Verfasser in Anlehnung an JAMES (2010).



Die Ursache der magnetischen Streifensignatur des Meeresbodens ist bis heute nicht bekannt.

Die geomagnetischen Polaritätswechsel der C-Serie sind nicht durch entsprechende Beprobungen (Beprobungen, flach und tief) der magmatischen Gesteine des Untergrundes verifiziert bzw. abgesichert worden; dies gilt gleichermaßen für die radiometrisch begründete Zeitskala. WUNDERLICH (1975, 319f) hat schon früh darauf hingewiesen, dass das paläomagnetische Streifenmuster letztlich nur besagen kann, dass innerhalb einer bestimmten paläomagnetischen Phase (mit normaler oder inverser Orientierung des Erdfeldes) ein bestimmter Krustenabschnitt (Streifen) unter Curie-Temperatur* abgekühlt ist. Dies könne bei konstanter Anordnung der Temperatur-Isograden durch Verlagerung der Lithosphäre erfolgen [Ozeanspreizung], jedoch auch bei konstanter Lage der Lithosphärenmassen [keine Spreizung] durch Verschiebung der Temperatur-Isograden [beidseits des Zentrums von außen nach innen] erzielt werden. Auch könnten Krustenverlagerung und Verschiebung der Temperatur-Isograden gleichzeitig auftreten; man dürfe mit Sicherheit das paläomagnetische Streifenmuster nicht allein auf die Öffnung der Ozeane zurückführen.

FRISCH & LOESCHKE (1990, 62) zufolge ist unklar, wodurch überhaupt das Streifenmuster hervorgerufen wird. Die Vermessung der magnetischen Inklination in den Basalten des Zentralgrabens jedenfalls zeige kaum eine Übereinstimmung mit den von der Wasseroberfläche aus gemessenen magnetischen Anomalien. Diese Situation des Nichtwissens hat sich nach rund 50 Jahren nicht geändert (FRISCH & MESCHÉDE 2011, 77); es wird „(...) allgemein angenommen, dass der streng parallel zur Plattengrenze ausgerichtete Gangkomplex [Bereich unter der bis >1 km mächtigen obersten basaltischen Lage aus Kissenlaven, M.K.; Lagenbau nach seismischer Interpretation] das lineare Muster hervorruft.“ Das heißt, dass der ursprüngliche Beweis für das Auseinanderdriften ozeanischer Kruste (s.o.) zwar auf Beobachtungsdaten basiert, aber deren kausaler Zusammenhang bis heute nicht festgestellt ist, also der Beweis bei genauer Betrachtung kein Beweis ist.

Subduktion, Kollision, Stillstand

Nach dem Konzept der Plattentektonik muss es zum Ausgleich für das Krustenwachstum an den ozeanischen Rücken (divergierende Platten) – unter der Annahme, dass die Erde nicht größer werden (expandieren) kann bzw. konnte – Be-

reiche geben, wo Kruste „vernichtet“ wird: die Subduktionszonen* („Unterführungszonen“). Schiebt sich eine ozeanische Platte unter eine stationäre kontinentale Platte, bilden sich vor dem Kontinentalrand Inselbögen (z.B. indonesischer Inselbogen), im umgekehrten Fall dagegen Gebirge wie die Anden in Südamerika. Treffen zwei kontinentale Platten aufeinander, ist mit gewaltigen Stauchungen sowie Unter- und Überschiebungen zu rechnen.

Seismische Tomographie: Ein Plattenfriedhof im Erdmantel?

Mit der seismischen Tomographie als bildgebendes Verfahren werden die großskaligen Strukturelemente des Erdinneren durchleuchtet und sichtbar gemacht (KOTULLA 2014d). Ist die Interpretation der seismischen Daten mitsamt ihrer Transformation in Temperaturunterschiede korrekt, zeigen diese dreidimensionalen und hochauflösenden Bilder (im Dekakilometer-Bereich) Strukturen, die zum Beispiel als Manteldiapire oder (subduzierte) Platten bzw. Subduktionszungen („slab“) sowie Fragmenten davon gedeutet werden können. Die Slabs scheinen sich an der Übergangszone vom oberen zum unteren Mantel teilweise zu „sammeln“ (in 410 bis 660 km Tiefe), weil sie dort Widerstand erfahren haben, oder sie haben diese Grenzzone durchstoßen und durchdringen den unteren Mantel bis an seine Basis (in 2 700 bis 2 900 km Tiefe), teils „zusammengestaucht“ (HUTKO et al. 2006), zu ihrem möglicherweise „letzten Bestimmungsort“. So betrachtet ist der Mantel der Erde zu einem Plattenfriedhof geworden.

Auffallend ist, dass die Slabs über mehrere Tausend Kilometer überhaupt sichtbar sind. Es müsste erwartet werden können, so SCHMID et al. (2002, 17), dass sich die [„kältere“] subduzierte Farallon-Platte thermisch weitestgehend an das umgebende [„wärmere“] Mantelmaterial unterhalb Nordamerikas angeglichen hat. Stattdessen zeige die Tomographie, so die Autoren weiter, positive seismische Geschwindigkeitsanomalien, die einer Wärmeanomalie von 200° C bis 400° C entspreche. Die Erwartungshaltung bezieht sich auf die lange Zeitskala und ist nicht nur auf die Farallon-Platte beschränkt. Hat also keine signifikante thermische Angleichung stattgefunden, lässt dies auf eine ehemals extrem hohe Platten- bzw. Subduktionsgeschwindigkeit und eine kurze Zeitskala schließen.

Sind aber die Verbindungen zwischen der Oberfläche und den Tiefen des Erdmantels einst fahrradartiger Natur gewesen, so ist dies auch für den umgekehrten Weg anzunehmen. BORTNIKOV et al. (2008) zum Beispiel berichten von ungewöhnlich alten (etwa 100 bis 330 und

sogar etwa 2 230 Millionen [radiometrische] Jahre) und jungen (etwa 1,2 bis 1,4 Millionen [radiometrische] Jahre) Zirkonen in denselben gabbroiden (basaltischen) Gesteinsproben aus der Markov-Tiefe des Mittelatlantischen Rückens. Das plattentektonische Konzept aber, so die Autoren, erwarte in der Spreizungszone nur die Bildung neuer ozeanischer Kruste, also nicht das Vorkommen unterschiedlich alter Zirkon-Populationen dieser Streuung. Unter der Annahme, dass die alten Zirkone artfremd sind, schlagen BORTNIKOV et al. (2008) zur Lösung des vermeintlichen Widerspruchs einen aus dem Kern-Mantel-Grenzbereich aufströmenden Plume (Manteldiapir) vor, der partiell Material unterschiedlichen Alters vom Friedhof („graveyard“) subduzierter Krusten-Fragmente aufnahm (siehe auch KOTULLA 2014e).

Megastauchungen und -überschiebungen: Kontinente im Crash-Test?

Für die Kollision von Platten (Schollen) im Konzept der Plattentektonik gebraucht FRANKE (2002, 35) für die europäischen Kontinentalschollen das Bild einer Auto-Karambolage: „Die europäischen Kontinentalschollen sind bei ihrem Zusammenstoß wie Autos bei einer Massenkarambolage zusammengestaucht worden, die damit einhergehenden Veränderungen machen es schwer die ehemaligen Schollen zu rekonstruieren. Zudem haben sie sich teilweise auch um 700 km übereinander geschoben.“

Nicht umsonst wird FRANKE dieses eindrückliche Bild gewählt haben. Eine Auto-Karambolage (im übertragenen Sinne) dieses Ausmaßes erfordert mindestens eine Geschwindigkeit von 80 km/h oder mehr. Bei einer Geschwindigkeit von 0,8 km/h wäre es zwar zu einem Zusammenstoß, aber nicht zu einer nennenswerten Stauchung gekommen. Bei einer angenommenen Kollisionsgeschwindigkeit von Schollen von 2 cm/Jahr (= 0,00023 cm/h) ist ein Zusammenstauchen höchst unwahrscheinlich. Es bedurfte vermutlich zeitweise um etliche Größenordnungen höherer Geschwindigkeiten.

Stillstand: Zielkonfiguration erreicht?

Die aktuelle globalgeologische Situation wird mit Stillstand oder Quasi-Stillstand beschrieben, neben FRANKE (s.o.) zum Beispiel auch von MARTHALER (2005): „Aus der Luft ist dieses fast zum Stillstand gekommene Abtauchen der europäischen Platte unter die Alpen noch sichtbar (...).“ Unter anderem aus dem Verständnis einer Langzeitskala vertreten nicht wenige Geowissenschaftler für die erdgeschichtliche Vergangenheit

geotektonische Großzyklen; eine neue, zukünftige Phase in Europa soll nach FRANKE (2000, 35) wie folgt verlaufen: „(...) 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 (...). Die Drift der Kontinente ist eine (fast) unendliche Geschichte.“

Die globaltektonischen Ereignisse der erdgeschichtlichen Vergangenheit können in ihrer relativen Folge auch als eine gerichtete und verkettete Abfolge betrachtet werden, also nicht als Zyklus bzw. eine Folge von Zyklen, sondern als Zeitpfeil. Ausgehend von einem heutigen Quasi-Stillstand (s.o.) ist bemerkenswert, dass eine Konfiguration vorliegt, die sich u.a. in der Besonderheit ausdrückt, dass weltweit alle (modernen) Faltengebirge quasi gleichzeitig einen Hochgebirgs-„Reifegrad“ erreicht haben, und dies nach dem Konzept der Plattentektonik durch drei ganz unterschiedliche Mechanismen: Inselbogentyp, Andine Typ, Alpine Typ. Grenzüberschreitend könnte dies als Erreichung einer Zielkonfiguration aufgefasst werden.

Ähnlich geo-prophetisch wie FRANKE äußert sich auch ZSCHAU zur Zukunft der Erde (Planet Wissen, WDR-Sendung vom 20. Mai 2009; ZE-2): Was in einigen hundert Millionen Jahren passiert, werde den Menschen nicht mehr betreffen; man könne dem Menschen noch einmal 2 Millionen Jahre geben, obwohl das natürlich keiner wissen könne. Solcher Art evolutions- und Langzeitskalen-bedingter Aussagen sind wahrscheinlich nicht nur einem methodischen Atheismus geschuldet. Nochmals grenzüberschreitend: Nach der biblischen Offenbarung sind die Himmel und die Erde und alles Leben von Gott erschaffen (Genesis 1). Die Erde ist für den Menschen gemacht – und folglich nicht der Mensch für die Erde. Hier verweise ich auch auf meine Ausführung in KOTULLA (2014b, 10).

Zusammenfassung und ergänzende Bemerkung

Es gibt zahlreiche Indizien für schnell ablaufende (geodynamische) Prozesse in der erdgeschichtlichen Vergangenheit, insbesondere auch im Vergleich zur Gegenwart: Extrem hohe vulkanische Intensität (ozeanische Rücken, Island), daraus abgeleitet rapide geomagnetische Polaritätswechsel und kurze Perioden einheitlicher Polarität; tomographische Momentaufnahmen des Untergrundes mit „sichtbaren“ Platten im Mantel, die (noch) nicht thermisch an ihre Umgebung

angeglichen (assimiliert) sind; recycelte „alte“ Krustenfragmente in „jungen“ Gesteinen (ozeanische Rücken); unter extremsten Bedingungen (Kräfte) zusammengestauchte und über- und untereinander geschobene Kontinentalschollen; sowie parallel dazu, nur am Rande erwähnt, im Wesentlichen rasche Sedimentation über die gesamte stratigraphische Überlieferung hinweg.

Diese Indizien können – übertragen auf das Konzept der Plattentektonik – als indirekte Indikatoren für eine rasche Spreizung (Krustenproduktion) und rasche Subduktion (Krustenvernichtung) und Kollision (Krustenstauchung) und folglich einer hohen Plattengeschwindigkeit angesehen werden.

Trotz aller Erkenntnisfortschritte sollte insbesondere die Plattentektonik, die bereits Schulbuch- und Tatsachen-Status erreicht hat, weiterhin – und insbesondere unter dem Aspekt der Zeitläufe – nur als ein geotektonisches Konzept (Hypothese) verstanden werden. Der Charme der Plattentektonik besteht, so bereits WUNDERLICH (1973), in der „Klarheit der Darstellung und Einfachheit des mechanischen Konzeptes bei weltweiter Anwendung“. Es ist aber in der Breite weniger bekannt, dass noch alternative, teils ältere, teils auch ergänzende Vorstellungen bestehen (z.B. BELOUSOV 1980, „Ozeanisierung“; RITTMANN 1981, „Unterströmung“, und CAREY 1976, „Expansion“). Auch wurden „Alternative Theorien zur Plattentektonik“ auf dem Symposium beim 30. Internationalen Geologischen Kongress 1996 in Peking diskutiert. Es entstand daraus eine Bewegung zu alternativen Konzepten, die seitdem im Journal „New Concepts in Global Tectonics“ ihren Niederschlag finden (<http://www.ncgt.org/>).

Zur Globaltektonik, zum Verständnis der Mechanismen und den Ursachen der Entstehung der Großstrukturen der Erdkruste haben die „währenden“ Worte von HOHL (1980, 234f) nicht an Gültigkeit verloren; denn der direkte Zugang in die Tiefen der Erde ist (und bleibt) dem Menschen verschlossen: „Alle geotektonischen Hypothesen sind Gleichungen mit mehreren Unbekannten (RÜGER).“ Und: „Geotektonische Hypothesen wollen und können keine letzten Wahrheiten sein, sie bilden zeit- und kenntnisbedingte ‚Rastvorstellungen des Denkens‘ (v. BUBNOFF) (...).“

Dank

Dr. Reinhard JUNKER und Dr. Martin ERNST danke ich für die Durchsicht des Manuskripts und wertvolle Hinweise, Dr. Jürgen FRIEDRICH und Guy LEDUC für anregende Diskussionen sowie Fritz SCHINDLER für die Zurverfügungstellung von Abb. 2.

Anmerkungen

- 1 Die Dauer der nacheiszeitlichen Periode (Postglazial) wurde zu BERNAUERS Zeit von DE GEER's Warvenchronologie abgeleitet. Es gibt keine fundierte Grundlage dafür, dass diese „Warven“-Jahre mit Real-Jahren gleichgesetzt werden können (vgl. KOTULLA 2014a).
- 2 MORVEL (Mid-Ocean Ridge Velocity, Geschwindigkeit mittelozeanischer Rücken); REVEL (recent plate velocities, aktuelle Plattengeschwindigkeiten); NUVEL (Northwestern University velocity modell; Geschwindigkeitsmodell der Northwestern Universität in Evanston, Ill.).
- 3 „This demonstrates that the plate movements are consistent on time scales ranging between years and million years“ (EINARSSON 2008, 38).
- 4 Derek V. AGER (1923–1993) bekannte sich im gleichen Buch zu einer „uneingeschränkten Akzeptanz der Evolution durch natürliche Selektion als ausreichende Erklärung für das, was er in der fossilen Überlieferung gesehen hatte“ und zur geologischen Langzeit; für AGER lag die [restliche] Zeit [Differenz zwischen radiometrischen Altersrahmen und einer dazu nahezu zu vernachlässigenden Sedimentationszeit] zwischen den raschen Sedimentationsereignissen. Eine Begründung nannte er allerdings nicht.
- 5 „The completeness of the internal structure of the lava flows, lack of weathering, high frequency of direct contacts (with 30 for GOB [Grjóta-Gruppe, M.K.] and 50 % for HOB [Hólmar -Gruppe, M.K.], respectively, Tables 1–2) are collectively suggesting of short periods between eruptions“ (ÓSKARSSON & RISHUUS 2013, 113).
- 6 <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html>; NGDC und NOAA sind Organisationen der US-Administration: National Geophysical Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- 7 „It is noteworthy that the mirror-like curve pattern (Fig. 2 a,b) could have been related to a global event within the Cenozoic period“ (FRIEDRICH & LEDUC 2004, 176).
- 8 Die ozeanischen Rücken, nach dem plattentektonischen Konzept nur aus neugebildeter ozeanischer Kruste bestehend, enthalten alte und kontinentale Krustenrelikte, z.B. Granitoide, Gneise, Schiefer, Granulite und grobkörnige terrigene Klastika. YANO et al. (2009) interpretieren die gegenwärtig verfügbaren Daten dahingehend, dass die Entstehung des Atlantischen Ozeans im mittleren Mesozoikum ein Resultat aus einer komplexen Interaktion tektonisch-thermaler, magmatischer und Rifting-Prozesse darstelle, die die alte kontinentale Kruste weitestgehend zerstört und ozeanisiert habe.

Literatur

- AGER DV (1975) *Introducing Geology. The earth's crust considered as history.* London.
- AGER DV (1993) *The nature of the stratigraphical record.* 3rd ed., Chichester.
- ÁRNADÓTTIR T, GEIRSSON H & JIANG W (2008) Crustal deformation in Iceland: Plate spreading and earthquake deformation. *Jökull* 58, 59–74.
- BELOUSOV VV (1980) *Geotectonics.* Berlin.
- BERNAUER F (1943) Junge Tektonik auf Island und ihre Ursachen. In: NIEMCZYK O (Ed.) *Spalten auf Island.* Stuttgart, S. 14–64.

- CAREY SW (1976) The expanding Earth. Amsterdam.
- DEMETS C, GORDON RG & ARGUS DF (2010) Geologically current plate motions. *Geophys. J. Int.* 181, 1–80.
- DEMETS C, GORDON RG, ARGUS DF & STEIN S (1990) Current plate motions. *Geophys. J. Int.* 101, 425–478.
- DEMETS C, GORDON RG, ARGUS DF & STEIN S (1994) Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. *Geophys. Res. Lett.* 21, 2191–2194.
- EINARSSON P (2008) Plate boundaries, rifts and transforms in Iceland. *Jökull* 58, 35–58.
- FRANKE W (2002) Die vereinigten Platten von Europa. In: WEFER G (Ed.) *Expedition Erde*. Berlin, S. 30–34.
- FRIEDRICH J & LEDUC G (2004) Curvilinear patterns of oceanic fracture zones. *Journal of Geodynamics* 37, 169–179.
- FRISCH W & LOESCHKE J (1990) *Plattentektonik*. 2., unveränd. Aufl., Darmstadt.
- FRISCH W & MESCHKE M (2011) *Plattentektonik. Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung*. 4., durchgesehene und aktualisierte Auflage, Darmstadt.
- GASPERINI M (1993) Global forces on the lithosphere. *J. Geodynamics* 17, 121–132.
- GEIRSSON H, ÁRNADÓTTIR T, VÖLKSEN C, JIANG W, STURKELL E, VILLEMIN T, EINARSSON P, SIGMUNDSSON F & STEFÁNSSON R (2006) Current plate movements across the Mid-Atlantic Ridge determined from 5 years of continuous GPS measurements in Iceland. *J. Geophys. Res.* 111, doi: 10.1029/2005JB003717.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (2012) *The Geologic Time Scale 2012*. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- HEIRTZLER JR, DICKSON GO, HERRON EM, PITMAN III WC & LE PICHON X (1968) Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals, and motions of the ocean floor and continents. *Journal of Geophysical Research* 73, 2119–2136.
- HEIRTZLER JR, LE PICHON X & BARON G (1966) Magnetic anomalies over the Reykjanes Ridge. *Deep-Sea Research* 13, 427–443.
- HOHL R (1980) (Hrsg.) *Die Entwicklungsgeschichte der Erde*. Leipzig.
- ITO Y, TSUJI T, OSADA Y, KIDO M, INAZU D, HAYASHI Y, TSUSHIMA H, HINO R & FUJIMOTO H (2011) Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geophys. Res. Lett.* 38, doi: 10.1029/2011GL048355.
- JAMES KH (2010) Observations on new magnetic map from the Commission of the Geological Map of the World. *New Concepts in Global Tectonics* 53, 14–37.
- JAMES KH (2011) Continent below oceans: how much and how far? The future for deepwater exploration (and geopolitics). *Oil and Gas Journal* 109/10, 44–53.
- KORHONEN JV, FAIRHEAD JD, HAMOUDI M, HEMANT K, LESUR V, MANDEA M, MAUS S, PURUCKER M, RAVAT D, SAZONOVA T & THÉBAULT (2007) Magnetic Anomaly Map of the World. 1:50 000 000. Commission for the Geological Map of the World. Paris. [siehe auch: <http://projects.gtk.fi/WDMAM/general/Preliminary/>].
- KOTULLA M (2013) Tiefgreifende Veränderung von Plattengrenzen in Sekunden oder Minuten – Folge des verheerenden Erdbebens vom 11. März 2011. *Stud. Integr. J.* 20, 121–122.
- KOTULLA M (2014a) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. Online-Loseblattsammlung, Stand: 1. Ergänzungslieferung 03/2014, <http://www.wort-und-wissen.de/loseblattsammlung.html>.
- KOTULLA M (2014b) Megafluten. *Stud. Integr. J.* 21, 4–11.
- KOTULLA M (2014c) Island: Eine Insel, zwei „Kontinente“. 1. Was Island einzigartig macht. *Stud. Integr. J.* 21, 81–90.
- KOTULLA M (2014d) Seismische Tomographie gewinnt an Schärfe. *Stud. Integr. J.* 21, 110–113.
- KOTULLA M (2014e) Zirkon-Populationen unterschiedlichen Alters fordern geodynamische Modelle heraus. *Stud. Integr. J.* 21, 123.
- KRISTJANSSON L, GUDMUNDSSON A & HARALDSSON (1995) Stratigraphy and paleomagnetism of a 3-km-thick lava pile in the Mjoiðfjörður area, eastern Iceland. *Geol. Rundschau* 84, 813–830.
- MARUM.de: http://www.marum.de/Turbulenzen_in_der_Tiefe.html, Zugriff 19. 8. 2013.
- LA FEMINA PC, DIXON TH, MALSERVISI R, ÁRNADÓTTIR T, STURKELL E, SIGMUNDSSON F & EINARSSON P (2005) Geodetic GPS measurements in south Iceland: Strain accumulation and partitioning in a propagating ridge system. *J. Geophys. Res.* 110, doi: 10.1029/2005JB003675.
- ÓSKARSSON BV & RIISHUUS MS (2013) The mode of emplacement of Neogene flood basalts in Eastern Iceland: Facies architecture and structure of the Hólmar and Grjóta olivine basalt groups. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 267, 92–118.
- RITTMANN A (1981) *Vulkane und ihre Tätigkeit*. 3., völlig umgearbeitete Aufl., Stuttgart.
- SCHMID C, GOES S, VAN DER LEE S & GIARDINI D (2002) Fate of the Cenozoic Farallon slab from a comparison of kinematic thermal modeling with tomographic images. *Earth and Planetary Science Letters* 204, 17–32.
- SCHWARZBACH M (1964) *Geologenfahrten in Island*. 2. erweiterte Auflage, Ludwigsburg.
- SELLA GF, DIXON TH & MAO A (2002) REVEL: A model for recent plate velocities from space geodesy. *J. Geophys. Res.* 107, doi: 10.1029/2000JB000033.
- STRASSER M, KÖLLING M, SANTOS FERREIRA C DOS, FINK HG, FUJIWARA T, HENKEL S, IKEHARA K, KANAMATSU T, KAWAMURA K, KODAIRA S, RÖMER M, WEFER G & the R/V Sonne Cruise SO219A & JAMSTEC Cruise MR12-E01 scientists (2013) A slump in the trench: Tracking the impact of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geology* 41, 935–938.
- TRYGGVASON E (1982) Recent Ground Deformation in Continental and Oceanic Rift Zones. In: PÁLMASSON G (Ed.) *Continental and Oceanic Rifts*. Washington, 17–30.
- VINE FJ & MATHEWS DH (1963) Magnetic Anomalies over Oceanic Ridges. *Nature* 199, 947–949.
- WILSON JT (1965) A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature* 207, 343–347.
- WUNDERLICH H-G (1973) *Plattentektonik in kritischer Sicht*. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 124, 309–328.
- WUNDERLICH H-G (1975) *Das neue Bild der Erde. Faszinierende Entdeckungen der modernen Geologie*. Hamburg.
- YANO T, CHOI DR, GAVRILOV AA, MIYAGI S & VASILEV BI (2009) Ancient and Continental Rocks in the Atlantic Ocean. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter* 53, 4–35.

Anschrift des Verfassers:

*Michael Kotulla, SG Wort und Wissen,
Rosenbergweg 29, 72270 Baiersbronn;
email: m.kotulla@wort-und-wissen.de*