

ROBERT HOFRICHTER

IM BANN DES

OZEANS

Expeditionen in die Wunderwelt der Tiefe

GÜTERS
LOHER
VERLAGS
HAUS



Tektonische Verschiebungen sind aber nicht nur verantwortlich dafür, dass im Laufe der Erdgeschichte Randmeere trocken fielen und große Mengen Salz dem Meer entzogen wurden. Sie sorgten auch dafür, dass die Räume entstanden, in denen das Wasser sich zu Ozeanen sammeln konnte, und sie verändern ständig die Gestalt dieser Ozeane. Das wollen wir uns jetzt noch etwas genauer ansehen.

Wie die Tektonik Puzzle spielt

Als der deutsche Wissenschaftler Alfred Wegener (1880 – 1930) seine Theorie der Kontinentalverschiebung der Öffentlichkeit präsentierte, regte sich in Wissenschaftlerkreisen viel Widerstand. Einer seiner Gegner meinte, er würde erst dann glauben, dass die Kontinente driften, wenn der Kopf einer Fossilie auf einem Kontinent und der Schwanz auf dem anderen gefunden werden. Welcher Mechanismus sollte denn dahinter stecken, dass sich die Kontinente bewegen, fragten die Skeptiker. Tatsächlich blieb Wegener diese Erklärung schuldig. Er konnte nicht sagen, *wie* die Kontinentaldrift vonstattenging, aber er meinte beweisen zu können, *dass* sich die Kontinente tatsächlich bewegen. Setzten sich nicht Gebirge und Gesteinsformationen, die in Südafrika begannen, in Argentinien fort? Einst vergletscherte Gebiete in Afrika, Indien, Teilen Ostaustraliens und der Antarktis lagen heute größtenteils in tropischen bis subtropischen Gebieten; aufgrund der Geologie ließ sich das eindeutig belegen. Ungewöhnliche Gesteinstypen und charakteristische Gesteinssequenzen fanden sich in identischer Form auf der einen Seite wie auch auf der anderen des Atlantischen Ozeans, so z.B. deformierte Gesteine des Kap-Faltengürtels in Südafrika und jene der Provinz Buenos Aires in Argentinien.

All diese Beobachtungen Wegeners werden plausibel, wenn wir eine Karte des Urkontinents Pangäa anschauen, eine Darstellung, die die Landmassen in jener Zeitepoche darstellt, als die Kontinentalmassen einen einzigen Superkontinent bildeten. Auf einer solchen Karte sehen wir die zusammenhängenden Gesteinsgürtel, die Wegener auf zwei Kontinenten vorfand.

Auch zahlreiche Fossilien, die in Europa und im Osten von Nordamerika, nicht aber in seinem Westen zu finden sind, geben Wegener ebenfalls Recht. Und dann ist da noch die elementare Wahrnehmung, die jeder auf einer Weltkarte machen kann: Die Konturen der Kontinente passen in vielen Fällen so zueinander wie die Teile eines Puzzlespiels. Das war natürlich auch schon zuvor Menschen aufgefallen, die die Weltkarte aufmerksam betrachteten. Der englische Philosoph Francis Bacon (1561 – 1626) hat ebenso wie der große deutsche Naturforscher Alexander von Humboldt (1769 – 1859) notiert, dass die Küstenlinien auf beiden Seiten des Atlantiks erstaunlich gut zusammenpassen. Sie gingen der Frage, warum dies so sei, aber nicht weiter nach. Anders der flämische Kartograf Abraham Ortelius im Jahr 1596. Er schrieb, dass »Amerika von Europa und Afrika weggerissen wurde ... durch Erdbeben und Fluten ...«. Der deutsche Theologe Theodor Lilienthal meinte 1756 sogar, einen biblischen »Beweis« für das Auseinanderbrechen der Kontinente gefunden zu haben: »Eber wurden zwei Söhne geboren. Einer hieß Peleg, weil zu seiner Zeit die Erde zerteilt wurde ...«, steht im 1. Buch Mose 10, 25. Den Grund für die »Zerteilung« sah er in der Sintflut. Zu jener bibelgläubigen Zeit musste die biblische

Sintflut für alles Mögliche als Erklärungsmodell erhalten und auch in der Geologie dominierte der sogenannte Katastrophismus, der das Aussehen der Erde eben durch Kataklysmen biblischen Ausmaßes zu erklären versuchte. Wegener neigte da eher zu nüchterner Beobachtung und genauem Hinsehen: Er erkannte sogar, dass diese Passgenauigkeit bei den Schelfrändern, also bei den unter Wasser liegenden Teilen der Kontinente Afrika und Amerika, noch deutlicher wird als bei der sichtbaren Küstenlinie selbst. Im Laufe der Zeit setzte sich Wegeners Theorie durch. Aber trotz der offensichtlichen Wahrheit seiner Erkenntnisse verwendet heute kein Geowissenschaftler mehr den Ausdruck »Kontinentalverschiebung«. Das moderne Wort dafür heißt *Tektonik* (griechisch *tektonikós* = die Baukunst betreffend). Warum kam es zu diesem Namenswechsel?

Einige Jahrzehnte nach Wegeners Tod begannen die Geologen und Geophysiker die Vorgänge in der Erdkruste genauer zu verstehen. Sie fanden heraus, dass nicht die Kontinente driften, sondern größere Platten, auf denen die Kontinente wie große Inseln stehen. Nehmen wir Afrika als Beispiel: Die Afrikanische tektonische Platte beginnt im Westen bereits in der Mitte des Atlantischen Ozeans an einem Mittelatlantischen Rücken und endet erst im Indischen Ozean mehr als 1.000 Kilometer von der Küste Afrikas entfernt ebenfalls an einem solchen Bergrücken im Meer. Die eigentliche Landmasse Afrikas, der Kontinent, ist nur der sichtbare Teil der Platte, der Rest ist von Meeren bedeckt. Die für die Verschiebung wesentlichen Vorgänge laufen darum in der Regel nicht an den sichtbaren Küsten der Kontinente ab, sondern an den unsichtbaren Plattengrenzen in der Tiefe der Meere: Hier entsteht aus zähflüssigem Material aus dem Erdmantel laufend neues ozeanisches Krustenmaterial, an anderen Stellen dieser Platten, meist am Rand einer kontinentalen Scholle, sinkt diese ozeanische Kruste wieder hinab – den Vorgang nennt man *Subduktion* – und wird im Erdmantel eingeschmolzen. Die vom Meer bedeckte ozeanische Kruste ist also so etwas wie ein Fließband, entstehend und wieder vergehend. Und dieser Prozess ist der eigentliche Motor dessen, was Wegener noch Kontinentaldrift nannte und dessen Ursache er nicht erklären konnte.

Diese Ursachen haben Geophysiker heute tief im Erdinneren enträtselt. Langsam ablaufende Umwälzungen zwischen der Oberfläche des etwa 5.400 Grad Celsius heißen Erdkerns und der erheblich kühleren Erdkruste viel weiter »oben«, also in der Nähe der Erdoberfläche, sind dafür verantwortlich. Solche Konvektionsströme sind eigentlich ein Wärmetransport-Mechanismus. Die Mantelkonvektion treibt die Entstehung neuer ozeanischer Krusten an den diversen mittelozeanischen Rücken an. Da Neues entsteht, die Erde aber nicht größer wird, muss an anderer Stelle ozeanische Kruste »vernichtet« werden. Eben das passiert in den genannten Subduktionszonen. Sie sind tektonisch besonders aktiv: Hier gibt es die meisten Erdbeben, und auch der Vulkanismus der Erde konzentriert sich hier entlang von ansonsten für uns unsichtbaren Linien. Nirgendwo sonst könnten wir das besser nachvollziehen als rund um den Pazifik, den größten Ozean der Erde. Seine nicht vollständig geschlossene Vulkankette wird Pazifischer Feuerring genannt und ist fast 40.000 Kilometer lang.

Die Erde ist also tektonisch gesehen in ständiger Bewegung. Für die Ozeane bedeutet das: Noch nie war irgendeiner von ihnen etwas Konstantes, Stabiles oder gar Ewiges. Ganz im Gegenteil: Ozeane sind definitionsgemäß vergänglich, auch wenn ihre Existenz viele Millionen Jahre umfasst und sie uns daher als wie für die Ewigkeit gemacht erscheinen. An der ursprünglichen Position einer Kruste im Meer hat man bisher noch nie Relikte alter Ozeankruste entdeckt. Höchstens als Fragmente an Land.

Tethys etwa, der Urozean zwischen dem nördlichen Eurasien und dem südlichen Afrika also, ist auf diese Weise allmählich gestorben. Reste dieses Urmeeres finden wir im östlichen Mittelmeerraum südlich von Kreta bis Zypern. Sie sind mit einem Alter von vielleicht 220 Millionen Jahren – wie man länger vermutete – die ältesten ozeanischen Krusten auf dem Planeten überhaupt. 220 Millionen Jahre, das klingt nach viel, aber 2016 hat Roi Granot von der Ben-Gurion-Universität in Beer-Sheva diesen Altersrekord durch seine Forschungen mithilfe von Schwerfeld- und Magnet-Messungen gebrochen. Versteckt unter kilometerdickem Sediment des östlichen Mittelmeeres liegt im Herodot-Becken zwischen Zypern und der ägyptischen Küste 340 Millionen Jahre altes Gestein – die älteste bisher entdeckte Ozeankruste der Erde. Für die meisten Leser schwer vorstellbar, für Geowissenschaftler eine Sensation: Das verborgene Urzeit-Relikt hat die bisher bekannte Altersgrenze für ozeanische Krusten um mehr als 100 Millionen Jahre nach hinten verschoben.

Das Rote Meer ist im Gegensatz dazu ein junger, gerade entstehender Ozean. Entlang einer langen Störung in der Erdkruste, die sich vom Nahen Osten aus über Tausende Kilometer bis zum Ostafrikanischen Grabenbruch erstreckt, bricht die Erdkruste auf, neues Material steigt auf und lässt kontinentale Landmassen auseinanderdriften: Ein neuer Ozean entsteht! Geowissenschaftler können beim Wachsen des Grabens förmlich zuschauen und der Graben zu Afrika wird im Afar-Dreieck in etwa zehn Millionen Jahren so breit sein wie das Rote Meer heute.

Das ewige Auf und Ab des Meeresspiegels

Die Ozeane sind also rastlose, sich ständig verändernde Gebilde. Und das nicht nur, weil sie breiter oder schmaler werden, neu entstehen oder verschwinden. Ihre Existenz ist obendrein von einem ständigen Auf und Ab gekennzeichnet.

Vor 20.000 Jahren – erdgeschichtlich gesehen also gestern – sah Europa ganz anders aus, als wir es heute kennen. Von der spanischen Atlantikküste aus zog sich das Land nach Nordwesten entlang des Kontinentalschelfs bis westlich der »Britischen Inseln« und darüber hinaus weit nach Norden, wo ein riesiger Gletscher alles bis zur Arktis hin bedeckte. »Britische Inseln« stehen hier absichtlich in Anführungszeichen – denn diese hat es ebenso wenig gegeben wie die Nord- oder Ostsee. Der Norden Europas war eine einzige riesige, teilweise vereiste Landfläche. Und auch am Mittelmeer sah es ganz anders aus: Die Straße von Gibraltar konnte man beinahe trockenen Fußes begehen, Korsika, Sardinien, Sizilien und der italienische Stiefel bildeten eine Landmasse. Die Inselwelt der Ägäis gab es nicht und die Nordadria hätte bestenfalls für einen Wander-, nicht aber für einen Strandurlaub getaugt. Bis nach Mitteldalmatien hinunter erstreckte sich trockenes Land, durch das ein großer Fluss mäandrierte: der Po.

Vor 20.000 Jahren, gegen Ende des »Pleistozäns« oder des Eiszeitalters, lag der Meeresspiegel eben um etwa 100 Meter tiefer als heute. Und mehr. Solche Schwankungen sind erdgeschichtlich gar nicht ungewöhnlich. In den letzten 600.000 Jahren passierte es vier Mal, dass der Meeresspiegel mehr als 100 Meter tiefer lag, als er heute ist. Um diese Schwankungen zu erklären, müssen wir mehrere Phänomene bedenken. Erstens verändert sich durch die eben beschriebenen tektonischen Abläufe und die Ozeanbodenspreizung die Größe des Weltmeerbeckens, also das zur Verfügung stehende Gesamtvolumen sämtlicher Meeresbecken. Die Badewanne ist sozusagen manchmal größer und manchmal kleiner – bei gleicher Wassermenge. Allerdings bleibt auch diese nicht immer gleich, denn Klimaschwankungen bewirken, dass mal mehr, mal weniger flüssiges Wasser auf der Erde vorhanden ist. In Kaltzeiten sind unvorstellbare Mengen Wasser in Schnee, Eis und Gletschern gebunden, in warmen Perioden waren die Polkappen komplett abgeschmolzen und der Meeresspiegel viel höher als heute. Würden heute die Polkappen abschmelzen, läge der Meeresspiegel weltweit um 73 Meter höher! Hinzu kommt noch ein weiteres Phänomen. Die kontinentalen Landmassen verhalten sich wie Flöße: Beladen liegen diese tiefer im Wasser als unbeladen. In den Kaltzeiten sinken also die Kontinentalplatten unter der schweren Last der Eismassen tiefer in das zähflüssige Erdinnere ein. Wenn aber das Eis abschmilzt und die Platten dadurch leichter werden, hebt sich das Land wieder im Verlauf von einigen Jahrhunderten oder auch Jahrtausenden. Geowissenschaftler nennen diesen Vorgang elastischer Rückprall oder postglaziale Hebung. So wird etwa Schweden seit dem Ende der letzten Kaltzeit stets gehoben, wodurch der Meeresspiegel in der Wahrnehmung der Bewohner Schwedens scheinbar sinkt.

Das alles macht es ziemlich kompliziert, die Schwankungen des Meeresspiegels an einem bestimmten Ort genau zu verstehen. Denn all die genannten Prozesse laufen gleichzeitig ab. Eis wird gebildet oder schmilzt ab, gleichzeitig laufen tektonische Prozesse und Landmassen versinken tiefer in den darunterliegenden Schichten oder umgekehrt werden einige gehoben. Jede Menge Verstärkungs- und Abschwächungseffekte also. Der Eintrag von Sedimenten in die Meeresbecken und die daraus resultierende Wasserverdrängung spielen auch eine kleine Rolle und selbst die Änderung der Wassertemperatur in den Weltmeeren führt zu gewissen Volumenausdehnungen bzw. -schrumpfungen des Wasserkörpers. Nehmen wir an, der gesamte Wasserkörper der Weltmeere würde sich um ein Grad Celsius erwärmen, dann hätte das einen Anstieg des Meeresspiegels um 70 Zentimeter zur Folge. Und regional spielt ein weiteres Phänomen eine Rolle, das wir bereits im nächsten Kapitel genauer unter die Lupe nehmen wollen, nämlich die Schwereanomalien des Erdkörpers, das in Gebieten mit einer positiven Schwereanomalie zu höheren Meeresspiegeln führt, in jenen mit einer negativen zu niedrigeren.

Nichts auf der Erde bleibt für immer so, wie es gerade ist. So ist er, unser Heimatplanet! In ständiger Veränderung und dann auch noch verbeult, wie wir jetzt sehen werden.

VERBEULTE OZEANE, ERDKARTOFFEL UND WELLENBERGE

Himmliche Kräfte und irdische Massen zerren am Blauen Planeten

Kann jemand so närrisch sein zu glauben, dass es Menschen gibt, deren Fußsohlen nach oben und deren Köpfe nach abwärts gerichtet sind?

Kirchenvater Laktanz (um 250 – um 320 n. Chr.)

Dass die Erde einer Kugel gleicht, gehört heute zum Allgemeinwissen und regt niemanden auf. Das war früher ganz anders. Der christliche Apologet Lucius Caecilius Firmianus beispielsweise, auch Laktanz genannt, war über die Ansichten »heidnischer« Philosophen und Denker in Bezug auf die Form unseres Planeten mächtig erbost. Wie könne man nur annehmen, »dass es Gegenden gibt, wo Bäume und Sträucher abwärts wachsen oder der Regen und Hagel aufwärts fallen?«, polemisierte der Apologet. »Absurd und lügenhaft sind solche Behauptungen«, meinte er.

Was die alten Griechen bereits wussten

Dabei war die Vorstellung von der Kugelgestalt der Erde gerade im Mittelmeerraum und im Orient unter Gelehrten bereits seit dem 1. Jahrhundert so etwas wie allgemeines Wissensgut. Und schon ein halbes Jahrtausend davor hatte der berühmte Vorsokratiker Pythagoras (um 570 – nach 510 v. Chr.) behauptet, die Erde sei eine Kugel. Eratosthenes von Kyrene (zwischen 276 und 273 – um 194 v. Chr.), einer der vielseitigsten griechischen Gelehrten in der Blütezeit der hellenistischen Wissenschaften und Leiter der bedeutendsten Bibliothek der Antike in Alexandria, bestimmte sogar den Erdumfang verblüffend genau. Auch Aristoteles, der Vater der Meeresbiologie, erklärte schon 600 Jahre vor Laktanz in seinem Werk *Peri uranú* – »Über den Himmel« –, warum die Erde kugelförmig sein müsse. In der Österreichischen Nationalbibliothek in Wien findet sich eine spätere Handschrift des Werks. Es enthält den »Beweis für die Kugelgestalt der Wasseroberfläche«. Aristoteles hält daran fest, dass sich an auf das Meer hinausfahrenden Schiffen unschwer erkennen lasse, dass die Wasseroberfläche die Form einer glatten Kugel habe, denn zuerst verschwinde vom Schiff allmählich der Rumpf und erst später der Mast mit dem Segel.

Nicht leicht zu verstehen: die Schwere

Wie aber kommt diese »Kugelgestalt der Wasseroberfläche« zustande? Aristoteles liefert auch dafür die Erklärung. Er hatte beobachtet, dass »alle Körper von allen Seiten her gleichmäßig zum Mittelpunkt der Erde strebten«. Richtig: Das ist in schönen Worten ausgedrückt unsere schlichte Alltagserfahrung, dass alles, was schwer ist, runterfällt, wenn man es anhebt und loslässt. Weil Wasser auch schwer ist und darum gleichmäßig zum Mittelpunkt der Erde strebt, muss also, weil ja die Erde auch noch eine Kugel ist, eine schöne, symmetrische, glatte und kugelförmige Wasseroberfläche die natürlichste Sache