

Wissen
auf einen Blick

Ozeane und Tiefsee

Kerstin Viering • Roland Knauer



100 Bilder • 100 Fakten

N G V

Ozeane und Tiefsee

Wissen
auf einen Blick

Kerstin Vierung • Roland Knauer



100 Bilder • 100 Fakten

N G V

© Naumann & Göbel Verlagsgesellschaft mbH
Gesamtherstellung: Naumann & Göbel Verlagsgesellschaft mbH, Köln
Realisation und Redaktion: Guido Huß, Neslihan Kilic, Michaela Salden,
Anja Schlatterer (red.sign GbR, Stuttgart)
Alle Rechte vorbehalten

ISBN (Print): 978-3-625-12033-9
ISBN (Epub): 978-3-8155-7832-2

www.naumann-goebel.de



Ozeane und Tiefsee

Kerstin Viering und Roland Knauer



Inhalt

Vorwort

Wie die Ozeane entstanden

Wasser hat einmalige Eigenschaften

Flüssiges Wasser gibt es im Sonnensystem nur auf der Erde

Wie die Weltmeere entstanden

Wie die Plattentektonik die Erde in Wasser und Land teilt

Die Ozeane verändern sich

Die Eiszeit schafft den Ärmelkanal

Meere und Klima

Der Kreislauf des Wassers

Wie maritimes Klima entsteht

Wie das Salz ins Meer kam

Die Tropensonne treibt den Meeresstrom an

Wie Strömungen Wasserspiegel und Klima verändern

Das Wetterphänomen El Niño entsteht im Meer

Der antarktische Ringstrom schafft Wüsten

Wie der Golfstrom entsteht

Der warme Golfstrom löst Eiszeiten aus

Grönland treibt den Golfstrom an

Schmelzwasser aus Kanada unterbrach den Nordatlantikstrom

Europas Klima hängt von den Meeresströmen ab

Das Leben im Wasser

Das Leben entstand im Meer

Die ersten Meeresbewohner

Die Meereswelt im Kambrium

Cyanobakterien fangen Sonnenlicht
Das Phytoplankton
Kieselalgen
Algen produzieren gefährliche Gifte
Das Zooplankton
Schwämme liefern Arzneiwirkstoffe
Korallen mit Untermietern
Korallenriffe sind komplexe Gebilde
Hurrikane renovieren Korallenriffe
Tintenfische verändern ihr Aussehen
Seepferdchen haben die Rollen getauscht
Wie Schwärme Kollisionen vermeiden
Der Weiße Hai
Wie Biologen das Leben der Orcas erforschen
Orcas machen mit vielen Tricks Beute
Krill ernährt das Leben im Südozean
Das größte Tier frisst kleine Krebse
Wale und Delfine haben eine eigene Sprache
Mit moderner Technik untersuchen Biologen das Leben auf hoher See
Die Meerestiere der Antarktis verlängern ihr Leben
Spurenelemente für den Südozean
Das Wattenmeer der Nordsee
Rastplatz auf dem Vogelzug

Geheimnisse der Tiefsee

Der Mensch erobert die Tiefsee
An den Mittelozeanischen Rücken entsteht neuer Ozeanboden
Heiße Tiefseequellen
Bakterien leben von Chemosynthese
Leben an heißen Tiefseequellen
Wie Tiefseetiere Beute anlocken

Skurrile Tiefseefische

Riesenkalmare jagen in der Tiefe

Die Biologie der Pottwale vor Neuseeland

Abgestorbene Organismen ernähren die Tiefsee

Wie Manganknollen entstehen

Korallen in der Tiefsee

Meer und Technik

Ebbe und Flut

Gezeiten als Energiequelle

Kraft aus den Ozeanen

Wellenkraftwerke

Tsunamis überrollen die Küsten

Wie Tsunamis sich zu Riesenwellen auftürmen

Europäische Systeme warnen vor asiatischen Tsunamis

Monsterwellen versenken Schiffe

Wie Schiffe Monsterwellen meistern können

Verkehrsmittel auf dem Wasser

Windenergie auf modernen Frachtern

Der Forschungseisbrecher „Polarstern“

Bohrplattformen

Chemische Tricks erhalten historische Schiffswracks

Was alte Logbücher verraten

Mensch und Meer

Der Untergang der „Prestige“

Die bisher größte Ölpest aller Zeiten traf den Persischen Golf

Ölfressende Bakterien

Schiffsanstriche schaden Wassertieren

Unterwasserwälder unter dem Ozonloch

Die Weltmeere im Klimawandel

Die Versauerung der Meere

In der Nordsee leben immer mehr südliche Arten
Die Korallenbleiche
Fischtrawler zerstören die Korallen der Tiefsee
Korallen in der Zange
Dünger aus der Landwirtschaft belastet die Meere
Quallen sind auf dem Vormarsch
Eingeschleppte Rippenquallen richten großen Schaden an
Der Mensch gestaltet die Küste
Meeresschildkröten und ihre Konkurrenz zu Touristen
Haie sehen Menschen kaum als Beute
Haie sterben aus
Gefährdeter Gigant - der Walhai
Die Meere werden überfischt
Kabeljau wird immer seltener
Überfischung greift in die Evolution ein
Fischfarmen lösen das Problem der Überfischung nicht
Die Langleinenfischerei tötet zahlreiche Albatrosse
Die Fischerei bedroht die Schweinswale der Nordsee
Wie Delfine geschützt werden
Die Riesen der Meere wurden fast ausgerottet
Strandende Meeressäuger geben Rätsel auf
Whale Watching als neue Form der Meeresnutzung

Übersichtskarte: Die Welt physisch

Übersichtskarte: Meeresströmungen und Klimazonen der Erde

Glossar



(c) mauritius images (Pacific Stock)

Vorwort

Aus dem Weltraum betrachtet schimmert die Erde in einem satten, dunklen Blau. Diese ungewöhnliche Farbe, die sie von allen anderen Planeten in unserem Sonnensystem unterscheidet, verdankt sie vor allem ihren gewaltigen Wasservorräten. Denn etwa 70 % ihrer Oberfläche sind von Meeren bedeckt.

Schon früh in ihrer Geschichte haben Menschen fasziniert auf diese scheinbar unendliche Welt aus Wellen, Gischt und spiegelndem Wasser geschaut. Was verbarg sich unter der glitzernden Oberfläche? Gab es in den Fluten Lebewesen oder andere Schätze, die man nutzen konnte? Und welche geheimnisvollen Inseln und Kontinente lagen jenseits davon? Generationen von Seeleuten haben sich im Lauf der Jahrtausende aufgemacht, um Antworten auf diese Fragen zu finden. Sie haben sich zunächst in Küstennähe auf die Planken schwankender Boote gewagt, um die Speisekarte ihrer Familien mit Fisch und Meeresfrüchten zu bereichern. Mit der Zeit wurden die Wasserfahrzeuge besser, die Seereisen weiter. Menschen erkundeten die großen Ozeane, zu denen Geografen den Atlantik, den Pazifik, den Indischen Ozean sowie das Nord- und das Südpolarmeer zählen. Doch auch deren Nebenmeere wie Mittelmeer und Nord- und Ostsee boten Herausforderungen für Seefahrer. Und als im 20. Jh. die dazu nötigen technischen Geräte erfunden wurden, wagten sich Menschen sogar hinab in die Tiefsee.

Trotz der jahrtausendelangen Anstrengungen aber hat das Meer noch längst nicht alle seine Geheimnisse preisgegeben. Noch immer verbergen sich unter der glitzernden Oberfläche zahlreiche Arten, die niemand kennt. Erst allmählich verstehen Wissenschaftler, wie das komplizierte Netzwerk aus Bakterien, Algen, kleineren und größeren Tieren so verknüpft ist, dass die einzelnen Arten ihren Anteil zum Funktionieren des Ökosystems Ozean beitragen können. Da gilt es z. B., die Leistung winziger Mikroorganismen zu

analysieren, die sämtliche Stoffkreisläufe am Laufen halten. Ohne sie würde nicht nur der Lebensraum Meer ganz anders aussehen, auch dem Leben an Land würde rasch der Sauerstoff zum Atmen fehlen. Selbst deutlich auffälliger Meeresbewohner wie Wale, Robben und Haie geben immer noch Rätsel auf. Erst mithilfe der modernen Technik tragen Biologen heute Mosaikstein um Mosaikstein zusammen, um deren Speisezettel und Liebesleben, Wanderrouten und sonstiges Leben zu verstehen. Die geheimnisvollste Region der Ozeane aber ist die Tiefsee. Nur mit Spezialausrüstung können Wissenschaftler dorthin vordringen, jede solche Expedition bringt neue Überraschungen. Da tauchen bizarre Lebewesen mit erstaunlichen Talenten auf, die bei hohem Druck und in ewiger Dunkelheit überleben und die sogar der Hitze und den ätzenden Chemikalien heißer Tiefseequellen trotzen.

Allerdings drohen viele dieser faszinierenden Meeresbewohner allmählich zu verschwinden. Denn die Ozeane der Erde haben mit einer ganzen Palette von menschengemachten Problemen zu kämpfen. Öl, Gifte und Dünger belasten das Wasser, Fangflotten plündern die Fischbestände und ziehen unabsichtlich auch zahlreiche andere Meerestiere aus dem Wasser. Mit der Zerstörung der Meeresökosysteme aber schadet der Mensch sich selbst. So entstehen durch den Zusammenbruch von Fischbeständen gewaltige wirtschaftliche Schäden, die sich ausbreitenden Quallen und Giftalgen können zum Gesundheitsrisiko werden. Und was passiert, wenn die winzigen Sauerstoffproduzenten in den Weltmeeren ihre Arbeit nicht mehr richtig erledigen, wagt sich niemand vorzustellen. Der Schutz der Wasserwelten ist also auch für uns Landbewohner eine ernste Überlebensfrage geworden.

Wie die Ozeane entstanden

Der besondere Stoff

Wasser hat einmalige Eigenschaften

Kein eigener Geruch oder Geschmack, keine dekorative Farbe - und in der Regel auch keine spektakulären Explosionen oder andere chemische Knalleffekte. Auf den ersten Blick scheint es spannendere Substanzen zu geben als Wasser. Doch wer diese Verbindung genauer unter die chemische Lupe nimmt, entdeckt ihre ungewöhnlichen Talente.

Brücken im Wasser

Jedes Wasserteilchen besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Diese Bausteine hängen aber nicht einfach wie in einer Kette aneinander. Vielmehr sind die beiden Wasserstoffatome nach einer Seite des Gebildes verschoben - wie zwei Beine mit einem Winkel von genau 105 Grad dazwischen. Durch diese Anordnung ist die Wasserstoffseite ganz leicht positiv geladen, die Sauerstoffseite negativ. Unterschiedliche elektrische Ladungen aber ziehen sich an. Also lagern sich mehrere Wasserteilchen so zusammen, dass sich jeweils ein Wasserstoff- und ein Sauerstoffende gegenüberliegen. So bildet sich eine Art lockeres Netz aus Wassermolekülen. Die schwachen Bindungen zwischen diesen Teilchen nennen Chemiker „Wasserstoffbrücken“. Im Eis verfestigen sich diese Strukturen zu Kristallen. Wenn das Eis schmilzt, bekommen die Wasserteilchen mehr Bewegungsfreiheit. Die Wasserstoffbrücken lösen sich dann immer wieder und bilden sich rasch wieder neu. Und wenn die Flüssigkeit schließlich verdampft, brechen die Wasserstoffbrücken ganz auseinander. Dafür aber ist eine ganze Menge Energie nötig, sodass Wasser erst bei der relativ hohen Temperatur von 100 °C verdampft. Chemiker haben ausgerechnet, dass der Siedepunkt von Wasser ohne Wasserstoffbrücken weit unter 0 °C läge. Nur dank dieser

schwachen Anziehungskräfte gibt es also überhaupt flüssiges Wasser auf der Erde.

Eine Lösung für alle Fälle

Wasser ist eines der besten Lösungsmittel, die es gibt. Es ist deshalb ein wichtiger Bestandteil aller Lebewesen. Die Körper der meisten Organismen bestehen zu mehr als 65 % aus Wasser. Bei Meerestieren liegt der Anteil deutlich höher, Quallen bringen es gar auf 95 %.

Schwimmendes Eis

Damit aber nicht genug der Besonderheiten. Die meisten chemischen Substanzen dehnen sich aus, wenn man sie erwärmt und ziehen sich zusammen, wenn man sie abkühlt. Bei tiefen Temperaturen hat der Stoff also eine größere Dichte. Das durch Wasserstoffbrücken zusammengehaltene Teilchennetz dagegen hat bei knapp 4 °C die größte Dichte. Bei dieser Temperatur ist das Wasser also schwerer als bei jeder anderen, es sinkt zu Boden. Gewässer frieren deshalb nie vom Grund aus zu, sodass Tiere in der Tiefe auch im Winter überleben können.

Eis dagegen bildet sich von der Oberfläche aus. Wenn Wasser gefriert, nimmt sein Volumen schlagartig um etwa 9% zu. Eis ist also leichter als flüssiges Wasser - es schwimmt. Auch das hat Konsequenzen. Ohne diese besondere Struktur würde das Eis der Polarmeere in die Tiefe sinken und sich dort nach und nach zu riesigen Eisbergen auftürmen. Die Polarmeere wären also komplett gefroren. Und das würde wohl auch die globalen Meeresströmungen verändern, die wie auf gewaltigen Transportbändern warmes Wasser aus den Tropen nach Norden und kaltes von dort nach Süden schaufeln. Das Klima auf der Erde würde deshalb ganz anders aussehen, vermutlich wären auch die mittleren Breiten weitgehend vereist.



Wasser ist ein ganz besonderer Stoff.

(c) mauritius images (Dirk von Mallinckrodt)

Glücksfall im richtigen Abstand

Flüssiges Wasser gibt es im Sonnensystem nur auf der Erde

Die Erde ist etwas ganz Besonderes - spätestens als die Astronauten aus dem All Bilder vom „Blauen Planeten“ mitbrachten, die die Erde als leuchtend blaues Juwel zeigten, erloschen die letzten Zweifel an dieser Behauptung. Kein anderer Himmelskörper im Sonnensystem strahlt in einem derart intensiven Blau. Der dritte Planet aber ist in vielerlei Hinsicht ein Glücksfall. So kreist die Erde genau im richtigen Abstand um die Sonne, um in einem angenehmen Klima Leben entstehen zu lassen.

Aus Staub entstehen Meteoriten

Wie dieser Glücksfall Erde entstand, ist zwar längst bekannt, entscheidende Details aber kristallisieren sich nur langsam heraus. Völlig klar ist jedenfalls, dass die Erde ganz am Anfang keineswegs das blaue Juwel war, als das sie heute über dem Horizont des Mondes aufgeht. Vielmehr sah es in der Umgebung der Sonne erst einmal recht wüst aus, als das Zentralgestirn vor ungefähr 4,6 Mrd. Jahren im wahrsten Sinn des Wortes das Licht der Welt erblickte. Jede Menge Material war bei der Entstehung der Sonne übrig geblieben und kreiste als gigantische Scheibe aus Staub und Gas um den gerade geborenen Feuerball. Zufällig stießen immer wieder Staubteilchen zusammen, manche blieben aneinander kleben und stießen mit weiteren Körnern in der Umgebung zusammen. Einige Millionen Jahre lang kollidierten solche Körner miteinander, bildeten größere Trümmer, die wieder miteinander zusammenstießen und so kleine Meteoriten schufen. Diese Brocken zogen wie ein kleiner Magnet mit ihrer Schwerkraft den Staub und die Körner aus der Umgebung zu sich hin und wuchsen so stetig weiter.

Zone des Lebens

Ähnlich wie die Erde entstanden im Sonnensystem auch die Planeten Merkur, Venus und Mars. Für die Entstehung des Lebens wie wir es auf der Erde kennen setzen Wissenschaftler flüssiges Wasser als Grundlage voraus. Da der Merkur zu nahe an der Sonne ist, würde dort alles Wasser verdampfen, Leben könnte dort nicht entstehen. Die Venus ist mit ihrer dichten Atmosphäre und einem starken Treibhauseffekt ebenfalls viel zu heiß für flüssiges Wasser, Leben sollte auch dort nicht entstanden sein. So kommen im Sonnensystem nur die Erde und der Mars als Wiege alles Lebendigen in Frage. Der Mars ist heute allerdings zu kalt, um große Mengen flüssigen Wassers zu enthalten.

Höllischer Anfang

Je größer so ein Brocken wurde, desto stärker wurde seine Schwerkraft und desto heftiger stürzten die angezogenen Körner und Brocken auf ihn auf. Mit der Zeit erreichten sie ein solches Tempo, dass sie an der Aufschlagstelle den großen Himmelskörper zu schmelzen begannen. Gleichzeitig lieferte die Radioaktivität aus dem Inneren Hitze nach außen und der bald planetengroße neue Himmelskörper verwandelte sich von einer Steinwüste in einen Magma-Ball aus flüssigem Gestein.

Das geschah bei der Erde vor 4,56 Mrd. Jahren. Wie in jeder anderen Flüssigkeit auch sackten die schweren Stoffe wie Eisen und Nickel in der Magmakugel auf das Zentrum zu nach unten. Mit der Zeit bildete sich so der Erdkern, der noch heute vor allem aus diesen beiden Elementen besteht. Auch eine erste Atmosphäre hatte der Globus damals schon, eine Gaswolke aus Helium und Wasserstoff hüllte ihn ein - diese Gase waren bei der Bildung der Sonne übrig geblieben. Bald aber blies der heftig wehende Sonnenwind die leichten Gase davon und die junge Erde hatte ihre erste Atmosphäre wieder verloren.



Einzigartig im Sonnensystem: der „Blaue Planet“.

(c) NASA/GSFC/Reto Stöckli

40 000 Jahre Dauerregen

Wie die Weltmeere entstanden

Kurz nach Entstehung der Erde prasselten viele Meteoriten auf den jungen Himmelskörper. Erst nach vielen Millionen Jahren hatten die Planeten den Himmel mit ihrer Anziehungskraft weitgehend leer gefegt, das Dauerbombardement ließ nach und die Erdkruste konnte langsam fest werden. 3,8 Mrd. Jahre ist das älteste Gestein alt, das Geologen bisher fanden.

Die zweite Atmosphäre

Allerdings war nur eine dünne Kruste an der Oberfläche fest, darunter war die Erde nach wie vor flüssig. Aus diesem Magma gasten ähnlich wie heute noch viele leichte Verbindungen aus. Da die Kruste inzwischen kälter war, konnte der Sonnenwind diese Gase nicht mehr so leicht wegblasen, es entstand eine zweite Atmosphäre. Vor 4 Mrd. Jahren bestand sie aus rund 80% Wasserdampf, 10% Kohlendioxid und 5-7 % Schwefelwasserstoff sowie kleineren Mengen einer Reihe anderer Gase. Langsam fielen die Temperaturen weiter, bis eines Tages der Siedepunkt des Wassers unterschritten war. In diesem Moment setzte der erste Regen ein, der erst nach rund 40 000 Jahren Dauer wieder aufhörte, als der meiste Wasserdampf aus der Luft verschwunden war. Genau dieser Dauerregen aber fand auf dem Nachbarplaneten Venus nie statt, weil die Venus erheblich enger um die Sonne kreist und die Temperaturen somit immer höher blieben. Heute ist die Venus daher eine Art überdimensionale Sauna mit Temperaturen um 500 °C und sehr hohem Luftdruck.

Die ersten Ozeane

Die Erde dagegen hat seither Ozeane, die durch Einschläge von wasserhaltigen Asteroiden immer weiter aufgefüllt wurden. In den neuen Ozeanen lösten sich auch große Mengen des Kohlendioxids aus der Atmosphäre, Kohlensäure entstand, die sich mit der Zeit in

Kalkstein verwandelte und als Gestein ablagerte. So verschwand auch das Treibhausgas aus der Luft, das in der Atmosphäre der Venus noch heute vorhanden ist und dem Schwesterplaneten der Erde wahrhaft höllische Temperaturen beschert. Methan und Ammoniak wurden vom kräftigen ultravioletten Licht der Sonne damals in Wasserstoff und Stickstoff zerlegt. Während der Wasserstoff langsam in den Weltraum entwich, blieb der Stickstoff zurück und bildet noch heute den größten Teil der Atmosphäre des „Blauen Planeten“.

Sturzgeburt des Mondes

Kaum war die Erde 30 Mio. Jahre alt, durchlebte der junge Planet die schlimmste Katastrophe seiner Geschichte. Ein anderer junger Planet, der nur wenig größer war als der heutige Mars mit seinen 6794 km Durchmesser, traf die Erde in einem Streifschuss und ließ den Globus beinahe zerbrechen.

Der Aufprall riss die Hülle der heute mit 12756 km Durchmesser viel größeren Erde praktisch bis zu ihrem Kern hinunter auf und schleuderte Teile der leichten Elemente in die Erdumlaufbahn. Der schwere Kern des Theia genannten anderen Planeten verschmolz schließlich mit dem Kern der Erde.

Ein Teil der hochgeschleuderten Hüllenpartikel fiel bald wieder auf den Globus zurück. Gigantische Mengen der hochgeschleuderten leichten Elemente aber blieben in der Umlaufbahn um die Erde. Dieses Material ballte sich schließlich zu einem neuen Himmelskörper, dem Mond, zusammen.

Erst als flüssiges Wasser vorhanden und die Temperaturen auf erträgliche Werte gefallen waren, konnte das Leben entstehen, das wir heute auf der Erde kennen.



Ein 40 000 Jahre strömender Dauerregen bescherte der Erde ihre Ozeane und machte sie zum „Blauen Planeten“.

(c) mauritius images (Michael Jostmeier)

Gleitmittel im Inneren

Wie die Plattentektonik die Erde in Wasser und Land teilt

Gemächlich - nur wenige Zentimeter im Jahr - und unaufhaltsam gleiten Platten mit ganzen Kontinenten und Ozeanen auf ihrem Rücken über die tieferen Schichten des Erdinneren. Das Schmiermittel für diesen Prozess ist Wasser, das Tief im Inneren der Erde aus dem Gestein austritt.

Wasser im Mantel

Im Erdmantel gibt es in Tiefen zwischen 40 und 2900 km erhebliche Mengen Wasser. Noch einmal rund die Hälfte der Flüssigkeitsmenge der Weltmeere ist dort unten unter gewaltigem Druck in das Gestein gepresst, welches Olivin und Orthopyroxen als wichtige Bestandteile enthält. Wenn mit der Tiefe der Druck zunimmt, kann Olivin immer mehr, Orthopyroxen dagegen aber immer weniger Wasser aufnehmen. Und da diese Zunahme und Abnahme nicht gleichmäßig erfolgt, können verschiedene Tiefen auch jeweils unterschiedliche Wassermengen aufnehmen. In einer Tiefe zwischen 60 und 220 km passt daher das vorhandene Wasser nicht mehr vollständig ins Gestein, hat Hans Keppler von der Universität Bayreuth im Jahr 2007 entdeckt.

Während unter und über dieser „Asthenosphäre“ genannten Schicht im Erdinneren alles vorhandene Wasser also im Gestein fest sitzt, gibt es in der Asthenosphäre selbst auch ein wenig „richtiges“ Wasser außerhalb der Mineralien. Solche Wasserspuren aber können den Schmelzpunkt von Gestein drastisch verringern. Da unter Ozeanen die Temperatur mit der Tiefe deutlich schneller wächst als unter Kontinenten, gibt es schon 60-80 km unter dem Meer kleine Bereiche, in denen ein wenig Gestein geschmolzen ist, weil dort Wasser den Schmelzpunkt verringert.

Dicke und dünne Platten

Geologen kennen auf der Erde im Prinzip zwei Plattentypen: Die sogenannte ozeanische Erdkruste entsteht an lang gestreckten Rücken neu und taucht an anderer Stelle nach spätestens 200 Mio. Jahren wieder in die Tiefe ab. Solche aus dem Blickwinkel eines Geologen sehr jungen Platten sind zwischen 5 und 8 km dick.

Erheblich älter und vor allem auch dicker ist die kontinentale Erdkruste. Diese Platten erreichen im Durchschnitt 35 km Mächtigkeit, können aber unter Gebirgen auch bis zu 80 km dick sein. Beide Plattentypen „schwimmen“ auf dem unter ihnen liegenden Erdmantel.

Genau wie ein großer Eisberg meist höher aus dem Wasser ragt als ein kleiner, liegt auch die Oberfläche der kontinentalen Platten erheblich höher als die der ozeanischen Platten. Das flüssige Wasser auf der Erde wiederum fließt nach unten. Es sammelt sich daher an den tiefsten Stellen der Erdoberfläche und damit zumeist über den ozeanischen Platten.

Auch wenn das meiste Gestein fest bleibt, genügen diese geschmolzenen Zonen, um das Gestein insgesamt erheblich weicher zu machen. Unter Kontinenten beginnt dieses teilweise Aufschmelzen dagegen erst in 150 km Tiefe.

Olivin und Plattentektonik

Egal ob unter dem Meer oder unter Kontinenten, in 220 km Tiefe wird das Gestein wieder härter. Dort kann das Olivin so viel Wasser aufnehmen, dass keine Flüssigkeit mehr übrig bleibt, die den Schmelzpunkt von Gestein verringern könnte. Die weichere Asthenosphäre in Tiefen zwischen 220 und 60 km aber spielt eine entscheidende Rolle für das Entstehen von Kontinenten und Meeren, weil auf diesem weichen Gestein die Erdplatten langsam gleiten.



Geschmolzenes Gestein wie bei diesem Vulkanausbruch bildet in 60-220 km Tiefe das Gleitmittel für die Bewegungen der Platten.

(c) Roland Knauer

Welt im Wandel

Die Ozeane verändern sich

Wenn Kontinente wandern und Ozeanboden neu entsteht, kann das nur eines bedeuten: Die Größe, Lage und Gestalt der Meere ändert sich im Lauf der Jahrmillionen. Die Erde verwandelt ihr Gesicht. Vor 225 Mio. Jahren zum Beispiel hätte der Blick aus dem All einen ganz anderen Planeten gezeigt als heutzutage.

Pangäa zerfällt

Die Erdteile hingen damals in einem gewaltigen Superkontinent zusammen, der vom Nord- bis zum Südpol reichte. Rings um diese „Pangäa“ genannte Landmasse erstreckte sich ein einziger weltumspannender Urozean namens „Panthalassa“. Eine riesige Bucht dieses Ozeans, die sich tief in die Ostküste des Kontinents schob, haben Wissenschaftler nach einer Figur aus der griechischen Mythologie auf den Namen „Tethys-Meer“ getauft.

Mit dieser übersichtlichen Anordnung von Land und Meer aber sollte es bald vorbei sein. Vor etwa 220 Mio. Jahren begann Pangäa zu zerbrechen. In den folgenden Jahrmillionen verteilten sich Wasser und Land neu. Risse zogen sich durch die Landmassen, Bruchstücke wanderten in andere Weltregionen. So trennte sich das heutige Nordamerika von Südamerika und Afrika, die zunächst noch zusammenhingen. Zwischen beiden Landmassen tat sich eine wassergefüllte Lücke auf - der Nordatlantik war geboren. Dieser Riss wurde immer größer und trennte schließlich auch das heutige Nordamerika von Eurasien. Gondwana im Süden umfasste Südamerika, Afrika, Indien, Australien und die Antarktis.

Trockenes Mittelmeer

Bevor das Mittelmeer vor etwa 5 - 6 Mio. Jahren teilweise oder sogar vollständig austrocknete, hatte es zumindest im Westen zwischen Afrika und der heutigen Iberischen Halbinsel eine Verbindung zum Atlantik. Während sich Afrika langsam nach Norden Richtung Europa schob, begann sich der Untergrund ganz im Westen des heutigen Mittelmeers stark zu heben. Dabei entstand zwischen der Iberischen

Halbinsel und Afrika ein gigantischer Damm, der Atlantik und Mittelmeer voneinander trennte. Da aus dem Mittelmeer mehr Wasser verdunstet als die Flüsse nachliefern, trocknete es wohl im Lauf von mehr als 10 000 Jahren aus, an seinem Grund lagerten sich mächtige Gips- und Salzsichten ab. Lange hielt der Damm dem gigantischen Wasserdruck des einige Tausend Meter höher stehenden Atlantik wohl nicht stand und der Atlantik füllte durch die Straße von Gibraltar das Mittelmeer wieder auf.

Die Geburt der Meere

Auch Südamerika und Afrika brachen schließlich auseinander, ein Wassergraben öffnete sich zwischen ihnen. Daraus entstand der heutige Südatlantik, der mit dem Nordatlantik zu einem gemeinsamen Ozean verschmolz. Dieses neue Meer weitete sich immer mehr aus und von dem einst weltumspannenden Panthalassa-Meer blieb nur noch der Pazifik übrig. Auch Indien, Australien und die Antarktis lösten sich von Afrika. Indien wanderte Richtung Asien, Australien schob sich ebenfalls nach Norden, während die Antarktis nach Süden driftete. Zwischen diesen Bruchstücken erstreckt sich heute der Indische Ozean. Auch das Tethys-Meer hat seine Spuren hinterlassen. Ein Rest der Riesenbucht wurde zwischen Afrika, Südeuropa und dem Nahen Osten eingeschlossen und bildete das Mittelmeer.

Doch auch die heutige Verteilung von Meeren und Landmassen ist nur eine Momentaufnahme. Da sich Europa und Afrika immer mehr annähern, wird z. B. das Mittelmeer irgendwann ganz verschwunden sein.



Wenn große Wasserflächen austrocknen, bleibt eine Salzschrift zurück. Aus solchen Ablagerungen können Forscher z. B. die Geschichte des Mittelmeers rekonstruieren.

(c) Roland Knauer

Megaflut isoliert Großbritannien

Die Eiszeit schafft den Ärmelkanal

Als britische Forscher im Kalkgestein des heutigen Meeresgrunds die Spuren einer gewaltigen Flut fanden, wussten sie auch, wie sich vor etwa 450 000 - 200 000 Jahren die Britischen Inseln von Frankreich trennten.

Eispanzer über Nordeuropa

Damals war es erheblich kälter als heute und der Schnee hatte sich über dem Norden Europas zu einem Eispanzer verformt, der an einigen Stellen 3000 m dick war. Auch über den Norden Englands und Irlands sowie über das heutige Wales und Schottland hatte sich ein Eispanzer gelegt. Wo heute die Wellen der mittleren Nordsee schwappen, versperrte ein gigantischer Eiswall zwischen Großbritannien und Skandinavien dem Schmelzwasser der Gletscher den Weg nach Norden.

Kreidefelsen als Symbol

Seit dem Dambruch ist Großbritannien vom Kontinent getrennt: In den Eiszeiten schoss ein gewaltiger Wasserstrom aus den Schmelzwässern von Themse, Elbe und Rhein zwischen Frankreich und England nach Südwesten. Und wenn in wärmeren Perioden die Eismassen schmolzen, stiegen die Spiegel der Weltmeere und fluteten die neue Schlucht - so entstand der Ärmelkanal. Die Kreidefelsen von Dover sind also ein gutes Symbol für die Isolation der Inseln: Sie sind die Reste des Naturdamms aus Kalkgestein, der wohl genau an dieser Stelle brach und so erst den Kanalfluss und später den Ärmelkanal entstehen ließ, der Großbritannien vom Rest Europas trennt.

Im Osten reichten die Eismassen bis in die Gegend der heutigen Millionenstädte Hamburg und Berlin, bedeckten Teile des heutigen Polen. Bereits auf dem Höhepunkt der Eiszeit aber taute die Sommersonne vor allem im Süden diesen Eispanzer kräftig ab. In der Norddeutschen Tiefebene sammelte sich dieses Schmelzwasser der Gletscher Skandinaviens, gigantische Wassermassen wälzten

sich damals in einem riesigen Tal auf die heutige Nordsee zu nach Westen. Auch im Süden Englands folgte das Schmelzwasser dem Tal der heutigen Themse und erreichte das gleiche Gebiet. Als dritter Strom trug damals auch noch der Rhein einen Teil der Schmelzwasser vom riesigen Eisfeld über den Alpen in diese Region. Dort entstand ein riesiger See, dessen Ufer im Westen, Norden und Osten von den Eismassen zwischen Skandinavien und den heutigen Britischen Inseln gebildet wurden. Im Süden lag die eisfreie Norddeutsche Tiefebene. Und im Südwesten blockierte dem Süßwasser ein lang gestreckter Rücken aus Kalkgestein den Weg. Dieser flache Bergrücken zieht sich noch heute von Dover in Richtung London, auf der anderen Seite des Ärmelkanals verläuft der gleiche Kalkrücken südlich von Calais nach Südosten.

Von der Halbinsel zur Insel

Hinter diesem damals noch durchgehenden Kalkrücken aber bildeten die heutigen Britischen Inseln eine große Halbinsel im Nordwesten Europas. Auf diesem Kalkrücken aber lastete der gewaltige Wasserdruck des Schmelzwassersees, der damals die heutige Deutsche Bucht bedeckte. Als während einer wärmeren Phase immer mehr Schmelzwasser in diesen See floss, stieg der Wasserspiegel und damit auch der Druck auf den Kalkrücken, bis die Wassermassen mit einem Schlag durchbrachen. Jede Sekunde schoss damals mit vermutlich 1 Mio. m³ fünf Mal mehr Wasser durch den geborstenen Kalkrücken, als der Amazonas heute zum Atlantik trägt. Die Wassermassen gruben auf einer Breite von 10 km 50 m tiefe Schluchten in den Untergrund, teilten sich in verschiedene Ströme, um wenige Kilometer weiter wieder zusammenzufließen.



Die „White Cliffs“, die Kreidefelsen im südenglischen Dover, sind die Reste eines gigantischen Dammes. Als er vor Urzeiten brach, entstand der Ärmelkanal.

(c) mauritius images (Steve Vidler)

Meere und Klima

Das Meer lässt Regen fallen

Der Kreislauf des Wassers

„Panta rhei“, „alles fließt“ behauptete bereits am Anfang des 5. Jh. v. Chr. der griechische Philosoph Heraklit. „Wer in denselben Fluss steigt, dem fließt anderes und wieder anderes Wasser zu“, erklärte Heraklit weiter. Damit meinte er nichts anderes als den „Kreislauf des Wassers“, den moderne Naturwissenschaftler beschreiben.

Verdampfende Ozeane

Wenn aber ständig Wasser vom Land ins Meer fließt, sollte entweder der Meeresspiegel steigen oder die Ozeane sollten einen Abfluss haben. Ein solcher Abfluss existiert tatsächlich: Tagsüber wärmt die Sonne das über die Erde verteilte Wasser auf. Je wärmer Wasser aber ist, desto leichter verdunstet es. Unter der heißen Tropensonne verdunstet also erheblich mehr Wasser als aus den eisigen Gewässern um die Antarktis.

Aus den rund 360 Mio. km² Meeresoberfläche - was etwa dem Tausendfachen der Fläche Deutschlands entspricht - verdunstet im Lauf eines Jahres genug Wasser, um den Meeresspiegel um mehr als einen Meter sinken zu lassen. Das ist der unsichtbare Abfluss aus den Ozeanen, den bereits die Griechen vor 2500 Jahren kannten.

Wasser auf der Erde

In den Ozeanen und Meeren der Erde stecken mit 1,35 Mrd. km³ gut 97% des an der Erdoberfläche und in seiner unmittelbaren Nähe vorhandenen Wassers. Die restlichen knapp 3 % verteilen sich damit auf die gut 41 Mio. km³ umfassenden Süßwasservorräte der Erde.

Fast drei Viertel des Süßwassers stecken mit rund 30 Mio. km³ im Eis der Antarktis, mehr als 6 % der Süßwasservorräte der Erde sind dagegen in den 2,6 Mio. km³ Eis auf Grönland fest gefroren. Deutlich größer sind die Grundwasservorräte der Erde, die mit 8,4 Mio. km³ mehr als ein Fünftel des gesamten Süßwassers umfassen. Die