
Harald Frater

Landschaftsformen

**Unsere Erde im Wandel -
den gestaltenden Kräften
auf der Spur**

Harald Frater

Landschaftsformen

Unsere Erde im Wandel –
den gestaltenden Kräften
auf der Spur

Mit 349 farbigen Abbildungen

 Springer

Autor
Harald Frater

Redaktion
Jens Oppermann
Nadja Podbregar
Kerstin Fels
Andreas Heitkamp

Anschrift
MMCD GmbH
interactive in science
Schadowstraße 70
40212 Düsseldorf

Grafik/Layout
Harald Frater
Silke Golembski
Julian Oehlenschläger
Christoph Kluxen

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 3-540-21958-7 Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: design & production
Herstellung: Luisa Tonarelli
Satz: Druckreife Vorlage des Autors
Druck: Druckerei Stürtz, Würzburg

Gedruckt auf säurefreiem Papier 30/3141/LT – 5 4 3 2 1 0

1. Die Erde - Ein dynamischer Planet	3
1.1 Formen, Falten, Feuerberge	4
1.2 Von der Wolke zum Erdball - Die Erde entsteht	14
1.3 Das Zwiebelprinzip - Der Aufbau der Erde	16
1.3.1 Erdkern	17
1.3.2 Erdmantel	19
1.3.3 Erdkruste	21
2. Partner im All - Die Erde im Sonnensystem	23
2.1 Ein Planet in Bewegung	24
2.2 Nachbarn im All	26
2.2.1 Der Mond - irdischen Ursprungs?	26
2.2.2 Die Venus - heiß und tödlich	28
2.2.3 Der Mars - „kleiner Bruder“ der Erde	29
2.3 Die Milchstraße	32
3. Zeitzeugen - Das Alter der Gesteine	35
3.1 Eine Frage des Alters	37
3.1.1 Altersbestimmung	37
3.1.2 Die geologische Zeitskala	41
3.2 Die Zeugen	44
3.2.1 Lebendig begraben? - Fossilien	44
3.2.2 Sprechende Steine	46
3.2.3 Böden: Die Haut der Erde	50

4.	Formen gebend - Wer bewirkt was	53
4.1	Plattentektonik - die Theorie der Theorien	56
4.1.1	Der Beweis - die Erde als Magnet	60
4.1.2	Seafloor-Spreading	63
4.1.3	Verschluckt - Subduktion	65
4.1.4	Karambolage - Kollidiert	66
4.1.5	Geschrammt - Transformstörungen	68
4.2	Wasser, Eis und Wind	70
4.3	Verwitterung und Erosion	71
4.3.1	Physikalische Verwitterung	71
4.3.2	Chemische Verwitterung	72
4.3.3	Biogene Verwitterung	73
4.4	Gravitation und Massenbewegung	74
4.5	Klima als Landschaftsgestalter	76
4.5.1	Tropen	76
4.5.2	Subtropen	80
4.5.3	Gemäßigte Zone	80
4.5.4	Kalte Zone	81
4.5.5	Klimatische Höhenstufen	81
5.	Aus dem Inneren - Vulkanismus und Erdbeben	83
5.1	Vulkanismus	84
5.1.1	Vulkanformen	86
5.1.2	Ausbruchstypen	91
5.1.3	Lava, Asche und Co.	92
5.1.4	Vulkanische Erscheinungen	96
5.2	Bebende Erde	100
5.2.1	Ursachen der Bodenbewegung	101
5.2.2	Auswirkungen	105
6.	Faltenreich - Gebirgsbildung und Tektonik	107
6.1	Die Entstehung von Gebirgen	108
6.2	Faltung	113
6.3	Bruchtektonik	116
7.	Kraft des Wassers - Flüsse und Talbildung	121
7.1	Eingebettet - Talbildung	122
7.2	Flüsse und ihre Mäander	124
7.3	Flussmündungen und Deltas	126
7.4	Sedimentation	128
7.5	Von Kalk und Karst	130
7.6	Wasserfälle	138

8.	Kraft des Meeres - Inseln und Küstenformen	141
8.1	Vielfalt der Küstenformung	143
8.2	Gezeitenküsten	148
8.3	Riffe und Atolle	151
8.4	Glaziale Küstenformen	152
9.	Kraft des Eises - Gletscher und Inlandeis	155
9.1	Der Gletscher und seine Ablagerungen	157
9.2	Formen aus den „Eiszeiten“	164
10.	Kraft des Windes – Wüsten und der letzte Schliff	169
10.1	Vom Winde verweht - Windabtragung	172
10.2	Dünen und andere Windablagerungen	174
10.3	Wüsten der Erde	177
11.	Meteoriten - Gefahr aus dem All	181
11.1	Das Risiko eines Meteoriteneinschlags	182
11.2	Deep Impact - Die Folgen eines Einschlags	186
12	Ressourcen - Was der Mensch draus macht	193
12.1	Gewässerregulierung	196
12.1.1	Begradigung von Flüssen	196
12.1.2	Stauseen	198
12.2	Rohstoffe aus der Tiefe	200
12.3	Landwirtschaft	202
	Glossar	205
	Index	243

Wer sich mit der Natur verträgt, dem tut sie nichts.

*Henry Miller, 1891-1930
amerikanischer Schriftsteller*



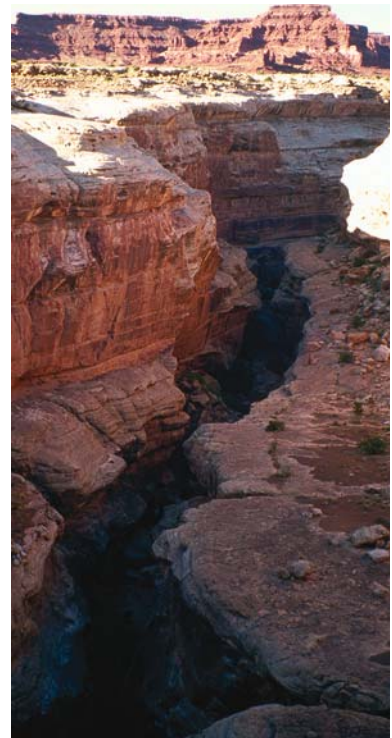
Die Erde

Ein dynamischer Planet

Der blaue Planet - nur einer der unzähligen Himmelskörper in unserem Sonnensystem, aber vielleicht der einzige, auf dem sich ein so artenreiches Leben entwickeln konnte. Die Vielfalt der irdischen Organismen ist so unüberschaubar, dass bis heute niemand genau weiß, wie viele Pflanzen- und Tierarten weltweit tatsächlich existieren. Einige Wissenschaftler schätzen ihre Anzahl auf 4,8 bis 6 Millionen, andere gehen sogar von bis zu 100 Millionen Arten aus. Und genauso vielfältig, wie sich die belebte Umwelt darstellt, bieten auch die Landschaften der Erde einen vielgestaltigen und abwechslungsreichen Formenschatz.

Auf den folgenden Seiten erhalten Sie einen Überblick über die Formenvielfalt der Oberfläche unseres Planeten. Dabei will dieses Buch kein Lehrbuch ersetzen, sondern es will vielmehr das Interesse an den Geowissenschaften wecken und damit an der Frage, warum eine Landschaft denn eigentlich so ist wie sie ist. Erkunden Sie anhand ausgewählter Landschaften und Einzelformen die Faktoren, die an der Gestaltung der Erdoberfläche maßgeblich beteiligt sind. Entdecken Sie, wie die Einzelercheinungen miteinander verknüpft sind und welchen Anteil sie an der Entwicklung und Entstehung des dynamischen Systems Erde hatten und heute noch haben. Sehen Sie die Landschaft um Sie herum aus einer anderen, bisher unbekannteren Perspektive. Dort, wo heute mächtige und schroffe Kalkfelsen in die Höhe ragen, lagen in der Vergangenheit zum Teil riesige Meere. Der Anblick eines Findlinges belegt die Existenz der schier unendlich weitläufigen Inlandgletscher vergangener Eiszeiten, die diesen Block hunderte von Kilometer von seinem Ursprungsort verfrachtet haben. Sorgfältig präparierte Fossilien, wie die Aufsehen erregenden Funde der Grube Messel bei Darmstadt, vermitteln uns ein fast realistisches Bild vergangenen Lebens - eines dennoch insgesamt recht kurzen Augenblicks in der Entwicklungsgeschichte der Erde. Dieses Buch stellt Ihnen die wesentlichen Themen aus dem vielfältigen und interessanten Spektrum der Geowissenschaften vor, die einen maßgeblichen Anteil an der Formung der Erdoberfläche haben. Darüber hin-

Der Grand Canyon (links) ist eine der bekanntesten und beeindruckendsten Landschaftsformen unseres Planeten. Ähnliche Formen (unten) bilden sich auch in sehr viel kleineren Dimensionen





Vulkanische Ablagerungen, ursprünglich horizontal abgelagert, unterliegen den Kräften der Erosion und der Tektonik. Sie sind Zeugen der dynamischen Entwicklung unserer Erde und damit des ewigen Wechselspiels zwischen den endogenen und exogenen Kräften

aus stellt das Buch aber auch die tiefgreifenden und oft irreversiblen Veränderungen der Landschaft vor, die der Mensch in zunehmenden Maße durch die Gewinnung von Rohstoffen verursacht. Deutlich werden diese anthropogenen Eingriffe nicht nur in den weitläufigen Tagebaubetrieben der rheinischen Braunkohlereviere, sondern auch in der zunehmenden Flächenversiegelung durch Siedlungserweiterung oder landwirtschaftliche Nutzung. Bemerkenswert ist dabei das Ausmaß menschlichen Wirkens auf der Zeitachse: Fossile Energien wie Kohle, Erdöl und Erdgas werden in absehbarer Zeit ausgebeutet sein - ihre Entstehung hat aber Millionen von Jahren in Anspruch genommen. Vom Sumpfland über die Braunkohle zur Steinkohle - nicht nur fossile Brennstoffe haben eine wechselvolle und im höchsten Maße spannende Geschichte. Auch der unauffälligste Kieselstein, ja selbst das winzigste Sandkorn am Urlaubsstrand, besitzt eine lange und interessante Geschichte - man muss sie nur zu lesen wissen.

1.1 Formen, Falten, Feuerberge

Aus dem All betrachtet zeigt sich die Erde als runder, einheitlicher Planet, der von Ozeanen und Kontinenten bedeckt wird. Rund ein Drittel seiner Oberfläche ist festes Land. Je weiter man sich der Erdoberfläche aus dem All nähert, desto mehr Details sind zu erkennen. Die auffälligsten Landschaftsformen der Erde sind die Hochgebirge, die den Meeresspiegel bis um mehrere Kilometer überragen. Demgegenüber stehen die tiefsten Orte der Erdoberfläche, die Tiefseeegräben. Die Differenz zwischen dem höchsten (Mt. Everest 8.850 m) und dem tiefsten Punkt der Erde (Marianengraben 11.034 m) beträgt nahezu 20 Kilometer. Hohe Gebirge und tiefe Meeresbecken geben der Erde ein markantes Relief und machen deutlich, dass die Erde alles andere als ein runder und einheitlicher Körper ist. Vielmehr gleicht unser Planet eher einer eingedellten und an den Polen abgeflachten kugelähnlichen Gestalt, deren Form daher als Geoid bezeichnet wird.

Allein diese Tatsachen werfen zahlreiche Fragen zur Entstehung und Entwicklung der Erde auf. Ein Großteil der Prozesse und Phänomene auf der Erdoberfläche verdankt seine Entstehung der Energie aus dem Erdinneren. Die Theorie der Plattentektonik beschreibt diese endogenen oder innenbürtigen Prozesse, die beispielsweise Vulkane hervorbringen, Erdbeben auslösen oder ganze Gebirge auffalten. Den endogenen Prozessen stehen die exogenen oder von außen wirkenden Kräfte gegenüber. Ihre Hauptakteure sind Wasser, Eis und Wind, die fortwährend auf die Erdoberfläche einwirken. Sie tragen die Erdoberfläche ab und ebnen so im Laufe der Zeit alle Erhebungen ein. Da exo- und endogene Prozesse zu jeder Zeit und an jedem Ort der Erde ablaufen, befindet sich die Erdoberfläche in einem ständigen Wandel. Die unmittelbare Beobachtung dieser Veränderungen ist allerdings

nur in seltenen Fällen möglich, da sich die meisten Verwitterungsvorgänge unvorstellbar langsam vollziehen. Rasche Veränderungen, wie Bergstürze, Sturmfluten, Vulkanausbrüche und Erdbeben treten dagegen sehr häufig auf, bleiben jedoch Einzelerscheinungen und haben trotz ihrer Dramatik nur einen relativ geringen Anteil an der allgemeinen Entwicklung der Landschaftsformen der Erde. Würden nur exogene Kräfte auf die Oberfläche wirken, wären in einigen Jahrmillionen alle Gebirge abgetragen - das Oberflächenrelief wäre flach und eintönig. Vulkanismus und tektonische Prozesse sorgen jedoch dafür, dass dieser Zustand nie erreicht wird.



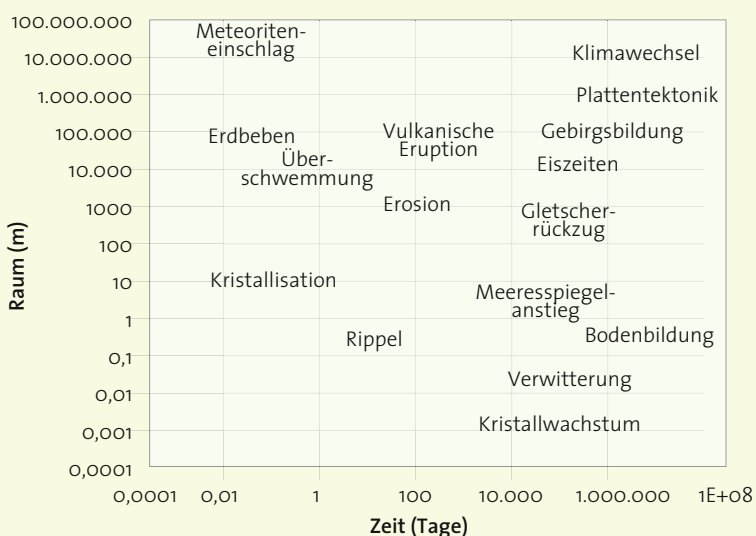
Erosionsformen zeigen sich oft im Zentimeter- bis Meterbereich, wie hier in den von der Korrosion betroffenen Kalkplatten am Ufer des Lake Michigan im US-Bundesstaat Wisconsin

Das Ergebnis dieses Wechselspiels zeigt sich in einer schier unendlichen Vielzahl von Oberflächenformen in allen Maßstabsebenen, angefangen bei den imposanten Gebirgszügen des Himalayas, dem tiefgreifenden Talsystem des Grand Canyon und den abwechslungsreichen Küstenformen von Nord- und Ostsee bis hin zu den Klein- und Kleinstformen, wie den Findlingen im Bereich ehemaliger Vergletscherungen, kuriosen Gesteinsoberflächen in Kalkgebieten oder Mikrofallen in Gesteinsbruchstücken. In vielen Fällen lassen sich aus einzelnen Oberflächenformen Rückschlüsse auf ihre Entstehungsgeschichte ziehen. Oftmals sind es dabei mehrere Faktoren, die in unterschiedlich starken Anteilen an der Ausgestaltung der jeweiligen Oberfläche beteiligt waren.

Doch was sind interessanteste Landschaftsformen und welche Regionen der Erde sollte man unbedingt gesehen haben? Diese Frage lässt sich natürlich nicht pauschal beantworten. So denken die meisten - je nach Interessenlage - sicherlich zuerst an den Besuch berühmter Formationen wie den Grand Canyon im Westen der USA, den Ayers Rock im Outback des australischen Kontinents, das Matterhorn in den Schweizer Alpen oder den Tafelberg am Rand von Kapstadt. Auch in Deutschland gibt es eindrucksvolle Oberflächenformen. Im Unterschied zu den genannten internationalen Landschaften sind die meisten Formen bei uns stark bewachsen und präsentieren sich daher dem Betrachter weniger eindrucksvoll als in den vegetationsarmen Gebieten. Die in der Übersicht aufgeführten Landschaften zählen zu den Großformen auf der Erde.

Die Prozesse, die das Gesicht der Erde verändern, wirken in ganz unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Größenordnungen

Geowissenschaftler: Experten für Raum und Zeit





Malaspina-Gletscher



Yosemite



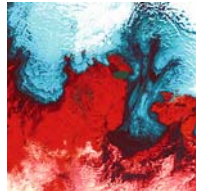
Death Valley



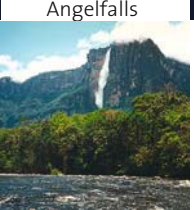
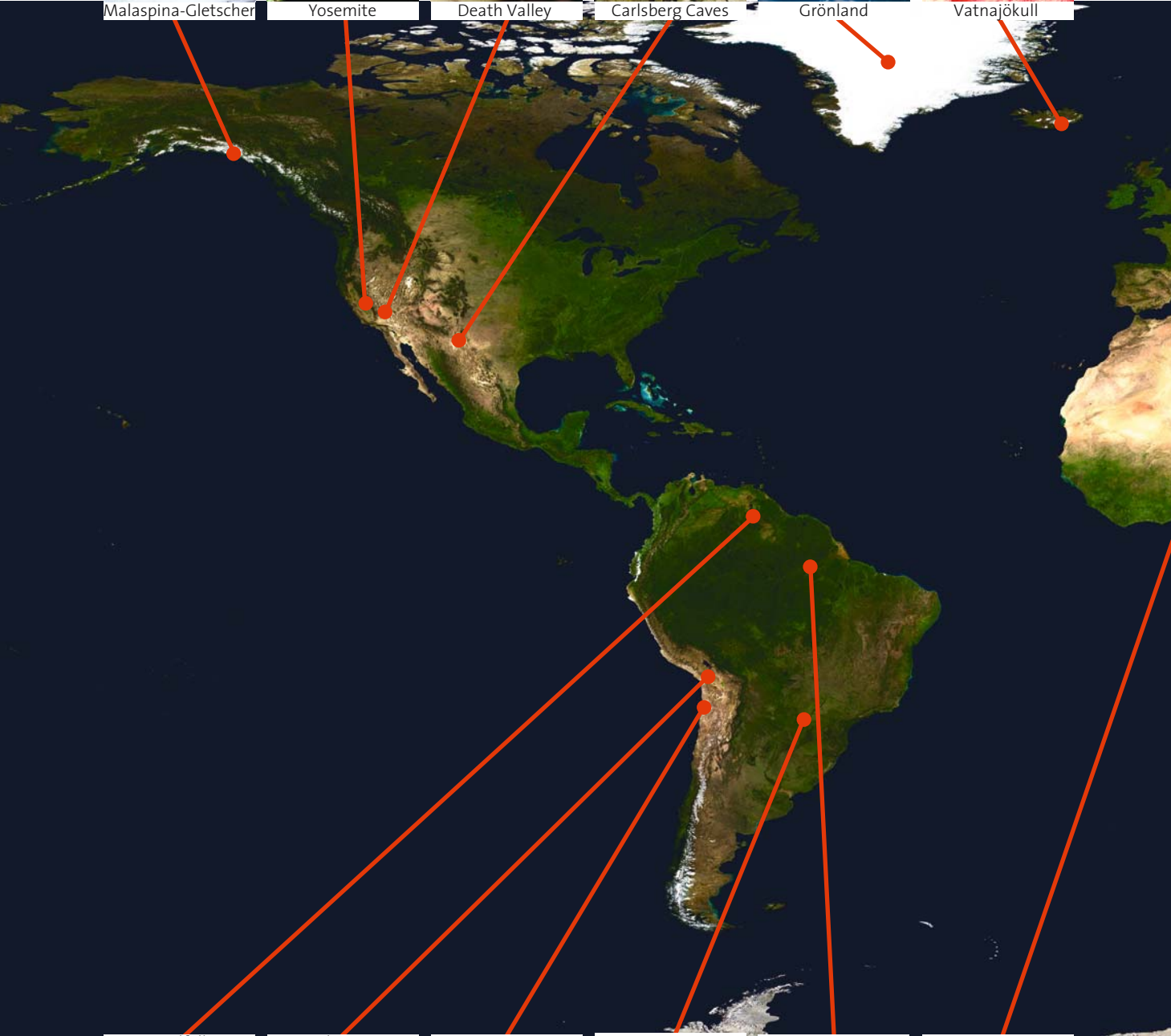
Carlsberg Caves



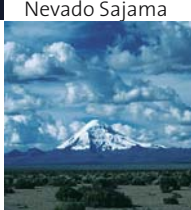
Grönland



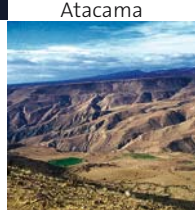
Vatnajökull



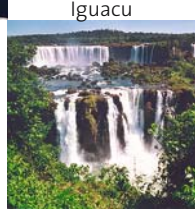
Angelfalls



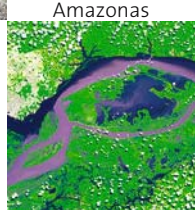
Nevado Sajama



Atacama



Iguacu



Amazonas



Sahara



Matterhorn



Ätna



Nil



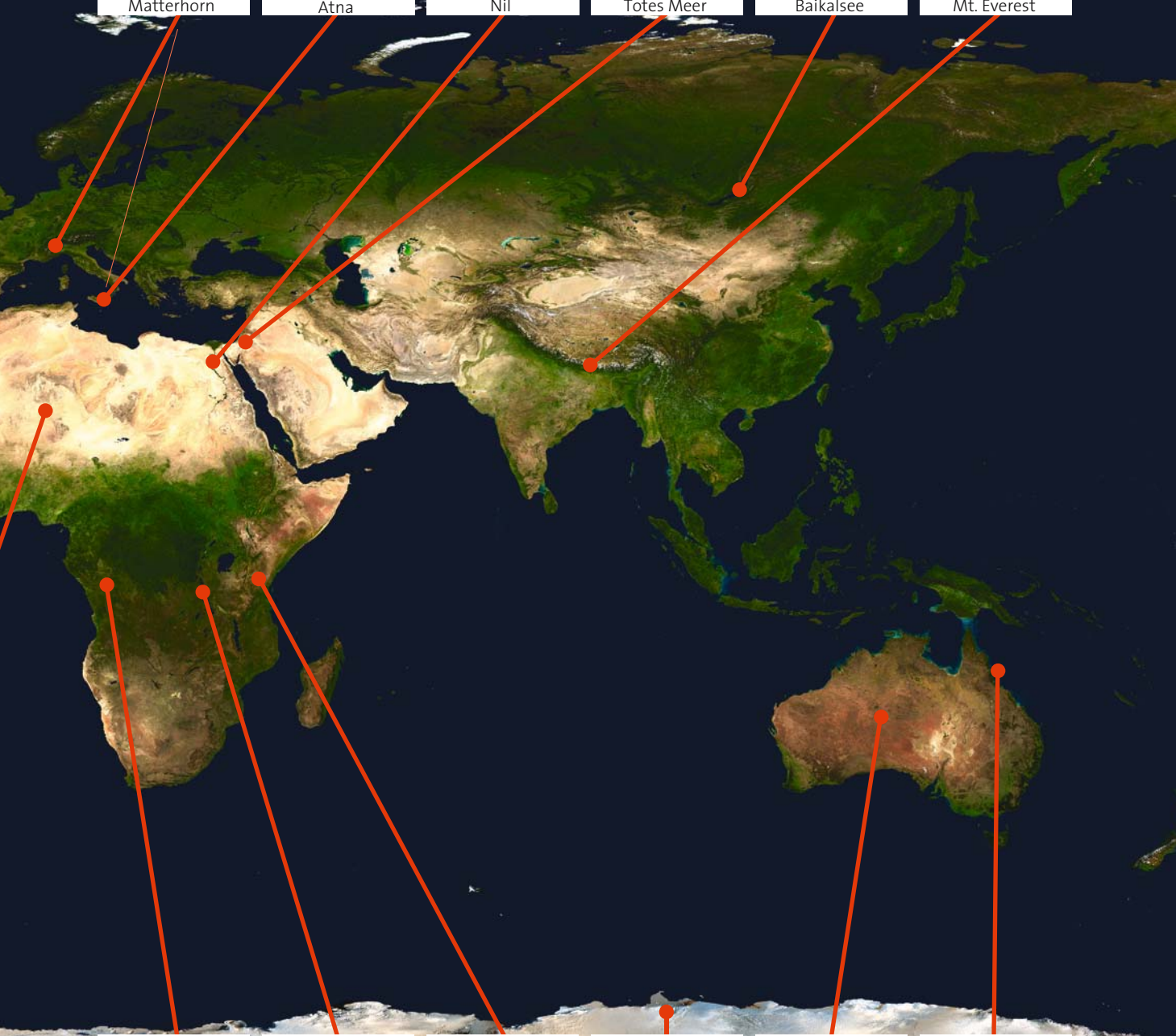
Totes Meer



Baikalsee



Mt. Everest



Kongo



Tanganjikasee



Kilimandscharo



Antarktis



Uluru

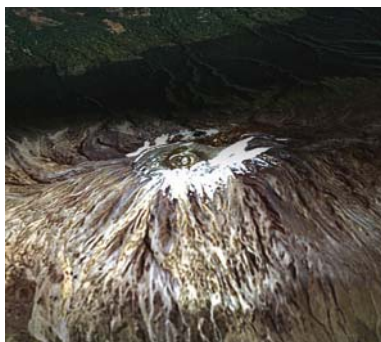


Great Barrier Reef



Mt. Everest

Der mit 8.846 Metern höchste Berg der Welt liegt an der Ostflanke des Himalaya über der Hochebene von Tibet. Der Mount Everest und mit ihm der gesamte Gebirgszug des Himalaya sind rund 50 Millionen Jahre alt. Der Himalaya entstand bei der Kollision der Indischen Kontinentalplatte mit der eurasischen Platte. Dabei wurden enorme Kräfte frei, die im Laufe der Zeit die Erdoberfläche aufwölbten und falteten. Da sich die beiden Erdplatten auch heute noch aufeinander zu bewegen, wächst auch der Himalaya langsam aber stetig weiter in die Höhe, wird aber gleichzeitig durch Erosion ständig abgetragen.



Kilimandscharo

Der Kilimandscharo ist mit 5.895 Metern der höchste Berg Afrikas und zugleich einer der mächtigsten Vulkane der Erde. Er bedeckt ein Gebiet von 100 Kilometern Länge und 65 Kilometern Breite. Der aus drei Einzelvulkanen bestehende Bergkomplex ist Teil einer Ost-West-Kette von rund 20 Vulkanen, die am südlichen Ende des Ostafrikanischen Grabens beginnt. Den Hauptgipfel des Kilimandscharo bildet der Kibo, der jüngste und gleichzeitig höchste der drei Kilimandscharovulkane. Obwohl er - wie die anderen beiden Gipfel auch - heute als erloschen gilt, stößt er noch immer Rauch und Schwefelgase aus.



Matterhorn

Das Matterhorn ist einer der populärsten Berge der Alpen. Dies verdankt er zum einen seiner geographischen Lage direkt oberhalb des Ortes Zermatt zum anderen seiner klassischen Bergform: Wie eine gewaltige Felspyramide ragt der Berg mit seinen steilen Graten isoliert aus den umgebenden Gletschern auf. Als einer der am häufigsten bestiegenen Berge der Welt ist inzwischen jede Spalte und Erhebung seiner Oberfläche kartiert und beschrieben. Trotzdem wird die Gefahr des Aufstiegs häufig unterschätzt und die Anzahl der Bergsteiger, die beim Klettern den Tod fanden, ist eine der höchsten der Welt.



Uluru (Ayers Rock)

Für die Australier ist das trockene heiße Innere ihres Kontinents einfach der „Outback“. Einsam ragt dort – im Herzen Australiens – der Ayers Rock mitten aus der Wüste auf. Er ist ein Überbleibsel einer ehemaligen Gebirgskette, die im Laufe von Jahrmillionen von Flüssen abgetragen wurde. Die heutigen senkrechten Rinnen lassen noch den Weg des Wassers erahnen. Südöstlich der Stadt Alice Springs liegen zahlreiche Salzseen. Die meisten von ihnen fallen im Sommer trocken, aber in einigen von ihnen wie dem Lake Eyre bleibt immer ein Rest des stark salzhaltigen Wassers zurück.

Nevado Sajama

Der Nevado Sajama ist mit 6.542 Metern der höchste Berg Boliviens und gilt zugleich wegen seiner perfekten Form als einer der schönsten Gipfel der Anden. Der frei stehende Stratovulkan erhebt sich auf der Hochebene des Altiplano, einer ungefähr 4.000 Meter hoch gelegenen Beckenlandschaft inmitten der Anden. Trotz dieser enormen Höhe ist aufgrund geringer Niederschläge lediglich der Gipfel des Berges vergletschert. Das gesamte Gebiet gehört zur zentralen vulkanischen Zone der Anden. Rund um den Sajama sind als Zeugen seiner ehemaligen vulkanischen Aktivität mächtige Tuffdecken zu finden.



Ätna

Der Ätna ist mit 3.350 Metern Höhe der höchste und einer der populärsten Vulkane Europas. Seine seit Jahrhunderten andauende, meist nur von kurzen Ruhephasen unterbrochene Tätigkeit verdankt er seiner Lage im Bereich einer Plattengrenze zwischen Europa und Afrika. In den Störungszonen des Untergrundes findet heißes Magma aus dem Erdinnern seinen Weg zur Oberfläche. Während des Aufstiegs des Magmas lösen sich bereits enthaltene Gase, so dass explosive Ausbrüche am Ätna eher selten sind. Trotz einer latenten Bedrohung leben in der näheren Umgebung des Ätnas viele Menschen.



Totes Meer

Das Tote Meer ist mit 392 Metern unter dem Meeresspiegel nicht nur der tiefste Punkt der Erde, sondern auch der salzigste, auf natürliche Weise entstandene See. Sein Wasser hat einen Salzgehalt von 25 Prozent, so dass auf seiner Oberfläche sogar kleine Salzschollen treiben. Das Tote Meer ist Teil eines Grabens, der sich in Nord-Südrichtung durch den gesamten Nahen Osten verfolgen lässt. Er ist die nördliche Fortsetzung des Ostafrikanischen Grabenbruchsystems, einer Verwerfungslinie, die durch das Auseinanderdriften der Afrikanischen und der Somalischen Erdplatte entsteht.



Death Valley

Am tiefsten und gleichzeitig heißesten Punkt Amerikas haben Wind, Sonne und Vulkanismus im Laufe der Jahrtausende massive Salzablagerungen und bizarr geformte Berge hinterlassen. Das Tal des Todes ist ein abgeschlossenes Becken, das heißt Niederschläge und Zuflüsse aus den umgebenden Bergen können nicht abfließen. Während die große Hitze heute fast alles Wasser sofort verdunsten lässt, zeigen die abgelagerten Sedimente, dass sich noch vor 2.000 Jahren ein neun Meter tiefer See im Zentrum des Beckens befand. Die Ablagerungen des Lake Manley reichen heute bis in eine Tiefe von 2.700 Metern.





Sahara

Die Sahara ist mit einer Fläche von 9,1 Millionen Quadratkilometern nicht nur die größte, sondern auch eine der trockensten und heißesten Wüsten der Erde. Dennoch treten unterirdische Wasservorkommen im Bereich der Oasen an die Oberfläche. Nur 15 Prozent der Sahara sind Sandwüste oder Erg, der größere Teil besteht aus felsigem Hochland und weiten Geröllflächen. Im Zentrum der Sahara liegen Gebirgszüge, die Höhen bis zu 3.000 Metern erreichen können. Die größte Sanddüne der Erde liegt im Grand-Erg-Zentral der Sahara in Algerien. Sie ist 430 Meter hoch und mehr als fünf Kilometer lang.



Atacama

Die Atacama in den chilenischen Anden gilt als die trockenste Wüste der Erde. Obwohl sie auf über 1.000 Kilometern Länge unmittelbar an den Pazifik grenzt, fallen hier im Jahr nur äußerst selten oder sogar keine Niederschläge. Dieses extreme Wüstenklima erklärt sich aus dem Zusammentreffen mehrerer atmosphärischer Zirkulationssysteme, dem kühlen Humboldtstrom und den Anden als Klimascheide. Man geht davon heute aus, dass in der Atacama bis auf Ausnahmen wie quartäre Klimaschwankungen seit mindestens fünf Millionen Jahren Trockenheit herrscht.



Antarktis

Die Antarktis ist der kälteste und mit einer Fläche von 13,5 Mio. Quadratkilometern eisreichste Kontinent der Erde. Heute bedeckt eine bis zu 2.000 Metern dicke Eisschicht den gesamten Kontinent. Dem Festland vorgelagert sind fast vier Millionen Quadratkilometer Schelfeis. Das Ross-Schelfeis mit seinen über 60 Metern hohen Eisklippen ist der Ursprung vieler Eisberge. Einige von ihnen können bis zu 160 Kilometer lang werden. Mit Ausnahme einiger hundert Wissenschaftler in den Forschungsstationen ist die Antarktis unbesiedelt.

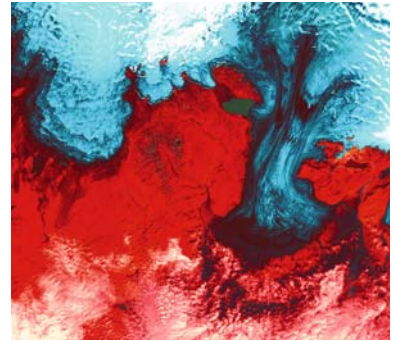


Grönland

Grönland ist zu sieben Achteln mit Eis bedeckt. Seine Fläche umfasst gut 1,7 Mio. Quadratkilometer. In dieser Eismasse sind elf Prozent der gesamten Süßwasservorräte der Erde gebunden. Sie stellt den einzigen noch erhaltenen Kontinentalgletscher der nördlichen Hemisphäre dar. Die Eiskappe ist im Inneren der Insel bis zu 3.200 Meter dick, in den Randbereichen wird sie dünner. Seit einiger Zeit beobachtet man das zunehmende Abschmelzen des Eises. Im Süden und Osten der Insel hat der Schwund bereits dramatische Formen angenommen. Von 1993 bis heute nahm die Eisdicke dort bis zu 1,80 Meter ab.

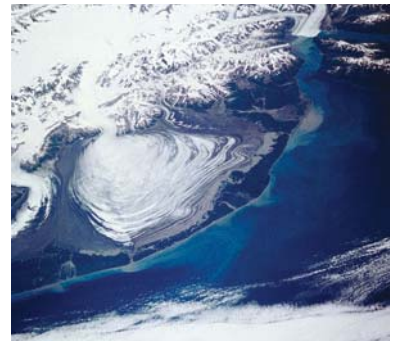
Vatnajökull

Die rund 8.800 Quadratkilometer große Eiskappe des Vatnajökull ist größer als alle anderen Gletscher Europas zusammen. Mit einer durchschnittlichen Dicke von 400 Metern überdeckt sie acht Prozent Islands mit einer Eisschicht. Island liegt direkt auf dem Mittelatlantischen Rücken, einer Nahtstelle in der Erdkruste. An dieser Nahtstelle wird heisses Magma an die Oberfläche transportiert und bildet neuen Ozeanboden. Eines der Spaltensysteme liegt direkt unter der dicken Eisschicht des Vatnajökull. Die hier ständig aus der Tiefe der Erde aufsteigende Wärme schmilzt das Eis an der Unterseite des Gletschers.



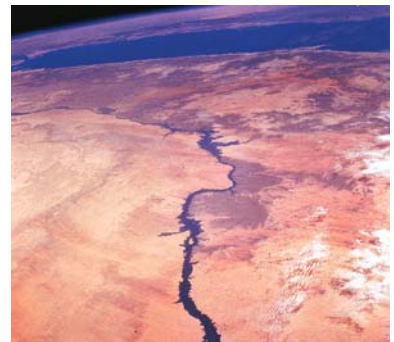
Malaspinagletscher

Der Malaspinagletscher im Süden Alaskas ist mit einer Fläche von 4.000 Quadratkilometern der zweitgrößte Gletscher der Erde. Er gehört zur Gruppe der Piedmontgletscher. Diese Gletscher beginnen typischerweise in einer Gebirgskette und erstrecken sich in lappenförmigen Ausläufern über die Täler und Ebenen am Fuße des Gebirges. An der Küste hat seine Eisfront eine Breite von 65 Kilometern, seine Länge liegt knapp unter hundert Kilometern. Im Laufe der Zeit hat der Gletscher ein Becken gegraben, das heute knapp 300 Meter unterhalb des Meeresspiegels liegt.



Nil

Mit 6.671 Metern ist der Nil der längste Fluss der Welt, wenn auch nicht der größte, bezogen auf sein Einzugsgebiet. Erst Mitte des 19. Jahrhunderts fanden Forscher die Quellbereiche im Hochland von Äthiopien. Aber erst dort wo sich der Weiße und Blaue Nil vereinigen, bei Karthum im Sudan, beginnt der eigentliche Nil. Das langsam fließende Wasser und die damit verbundene Ansammlung von feinen Sedimenten führten in der langen Geschichte des Nils dazu, dass entlang des Flusses fruchtbare Böden entstanden. Wie ein grünes Band durchzieht er die karge Wüstenlandschaft der östlichen Sahara.



Amazonas

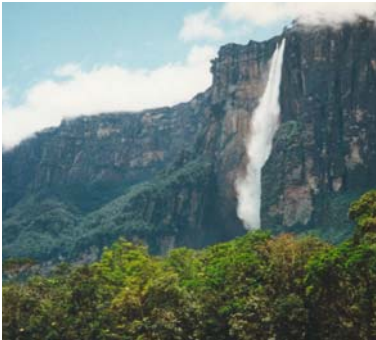
Der Amazonas ist im Bezug auf sein mehr als 6.100 Quadratkilometer umfassendes Einzugsgebiet der mit Abstand größte Fluss der Erde. Über tausend Zuflüsse nimmt er während seines Weges im ausgedehnten Amazonasbecken auf. Fast 20 Prozent der gesamten Süßwassermenge der Erde werden hier gespeichert. Sein Einzugsgebiet umfasst ein Drittel der Fläche ganz Südamerikas. Im 320 Kilometer breiten Amazonasdelta liegt die größte Flussinsel der Erde. Noch vor 65 Millionen Jahren - vor der Auffaltung der Anden, mündete der Amazonas nicht in den Atlantik sondern in den Pazifik.





Kongo

Betrachtet man die Fläche von 3.690 Quadratkilometer des Einzugsgebietes, so ist der Kongo der größte Fluss Afrikas. Er entwässert große Teile des zentralen Äquatorgebiets, unter anderem ganz Kongo. Der Kongo entspringt im Süden des Landes, wo er auch seinen Nebenfluss, den Lualaba, aufnimmt. Nach einer seenartigen Erweiterung, dem Stanley- oder Malebo-Pool bei Kinshasa, schießt der Kongo durch 32 Stromschnellen dem Atlantik entgegen. Noch in 800 Kilometern Entfernung vom Festland setzt er sich in einem 1.000 Meter tiefen Graben im Atlantik fort.



Angelfalls

Die Angelfalls liegen mitten im unzugänglichen Bergland von Guayana. Aufgefüllt durch die Niederschläge der Regenzeit, stürzt dort der Churunfluss über die steile Klippe des Teufelsberges 979 Meter in die Tiefe. Allein die erste Kaskade des Wasserfalls ist mehr als zehn Mal höher als die Niagarafälle in Nordamerika. Benannt wurde der Angelfall nach dem amerikanischen Piloten Jimmy Angel, der 1933 über den Teufelsberg hinwegflog und dabei den Wasserfall sah. Der Regenwald rund um den Angelfall ist auch heute noch so dicht, dass man ihn nur mit dem Boot oder dem Hubschrauber besichtigen kann.



Wasserfälle von Iguacu

Die Wasserfälle von Iguacu zählen zu den größten und spektakulärsten der Welt und liegen im Länderdreieck Brasilien, Argentinien und Paraguay. Die fast dreihundert einzelnen Wasserfälle verschmelzen nach starken Regenfällen zu einer einzigen mächtigen Wasserwand. In einem großen Halbkreis angelegt donnern die Wassermassen auf einer Gesamtbreite von 2.700 Metern mehr als 70 Meter in die Tiefe. Der Fluss Iguacu verengt sich an dieser Stelle aufgrund einer tektonischen Spalte von über 1.000 Metern Breite oberhalb auf 100 Meter unterhalb der Fälle.



Yosemite

Die höchsten Wasserfälle Nordamerikas befinden sich im Yosemite-Nationalpark im Westen der USA. Weite Strecken des mit insgesamt 739 Metern beachtlichen Höhenunterschieds überwindet das Wasser im freien Fall. Gletscher schufen die imposante Landschaft mit ihren tiefgreifenden Trogtälern. Allerdings ist der Yosemite Fall eine saisonaler Wasserfall. Das bedeutet, dass er im Frühjahr und im Herbst erst richtig zur Geltung kommt. Im Winter ist das Wasser des Yosemite Creek meist gefroren, und im Sommer liegt der Fall aufgrund hoher Hitze meist trocken.

Baikalsee

Der in Ostsibirien liegende Baikalsee ist mit einer maximalen Tiefe von 1.741 Metern nicht nur der tiefste See der Welt, er gehört auch zu den ältesten. Er bildete sich vor rund 25 bis 30 Millionen Jahren, als Zentralasien von großen Erdbewegungen umgeformt wurde. Die Verwerfungen ließen einerseits die hohen Gebirge Asiens entstehen, rissen aber andererseits auch einen tiefen Graben auf. Dieser Graben erweiterte sich langsam zu einem langgestreckten Becken, in das sich heute das Wasser aus mehr als 300 Flüssen ergießt. Aufgrund seiner großen Tiefe wird das Wasser im Baikalsee kaum durchmischt.



Tanganjikasee

Der Tanganjikasee ist mit 17,6 Kubikmetern Wassermenge der größte See Afrikas. Seine Entstehung reicht in die Zeit vor 15 bis 20 Millionen Jahren zurück, als die Erdkruste durch das Auseinanderdriften der Afrikanischen und der Somalischen Platte absackte und sich im weiteren erdgeschichtlichen Verlauf der Ostafrikanische Graben bildete. Zahlreiche kleinere Flüsse füllten im Laufe der Zeit die Senke an dieser Stelle auf und ließen den Tanganjikasee entstehen. Heute enthält er fast ein Sechstel des gesamten an der Oberfläche fließenden Süßwassers der Welt.



Carlsberg Caves

Die Carlsberg Caves im Südosten Neu-Mexikos bilden eines der faszinierendsten Höhlensysteme unserer Erde. Die riesigen Tropfsteinhöhlen und Tunnelsysteme reichen mehr als dreihundert Meter unter die Erdoberfläche; die größte heute zugängliche Kammer ist fast achtzig Meter hoch. Die bislang erforschten Gänge – schätzungsweise erst ein Bruchteil des Gesamtsystems – haben eine Länge von über dreißig Kilometern. Die Tropfsteinhöhlen sind etwa sechzig Millionen Jahre alt. Der größte Stalaktit hat einen Durchmesser von sechs Metern.



Great Barrier Reef

Das auch Lebewesen landschaftsformend sein können, zeigt sich eindrucksvoll in dem größten Korallenriff der Erde - einem einzigartigen Komplex bestehend aus mehr als dreitausend Einzelriffen. Die am Riffbau beteiligten Korallen bilden widerstandsfähige Skelette aus Kalziumcarbonat. Koloniebildende Korallen können nur im flachen Wasser leben, da sie ohne Sonnenlicht nicht existieren können. Im Falle eines absinkenden Meeresbodens beziehungsweise einem Anstieg des Meeresspiegels gleichen sie durch Wachstum das Absterben der in die Tiefe geratenen Kolonien aus.





Unsere Sonnensystem entstand vor rund 4,6 Milliarden Jahren aus einer Materiewolke

1.2 Von der Wolke zum Erdball - Die Erde entsteht

Die Erde, wie wir sie heute kennen, ist das Ergebnis einer lang andauernden Entwicklung, die mit der Entstehung unseres Planeten begann. Gemessen an galaktischen Zeiträumen ist die Erde noch relativ jung. Bei den ältesten auf ihr gefundenen Materialien handelt es sich um 4,4 Milliarden Jahre alte Zirkon-Kristalle aus Westaustralien. Während das gesamte Universum vermutlich zwischen zehn und 20 Milliarden Jahre alt ist, entstand unser Sonnensystem erst vor ungefähr 4,6 Milliarden Jahren.

Eine wirbelnde Wolke aus Gas und Staub, ein Urnebel als Ursprung unseres Sonnensystems. Durch die Schockwelle einer Supernova oder eine ähnliche Störung kollabierte der Nebel und verdichtete sich. Der starke Druck heizte die Wolke auf, feste Materie verdampfte. Innerhalb von 100.000 Jahren bildete sich so im Zentrum dieser Scheibe aus rotierendem Gas ein Protostern – die junge Sonne. Im Laufe der Zeit kühlte sich das Gas ab und kondensierte. Während sich der größte Teil der Materie an den Zentralstern „Sonne“ anlagerte, bildeten sich durch die Fliehkräfte Materieansammlungen im Außenbereich der rotierenden Scheibe. Nach und nach wuchsen diese zu Protoplaneten heran. Während sich die inneren Protoplaneten hauptsächlich aus Metallen und Gestein zusammensetzten, bestanden die äußeren vorwiegend aus Eis, vermischt mit Staub und Gas. Aus ihnen entstanden die heutigen Gasriesen Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.

Etwa eine Million Jahre nach dem Abkühlen des planetarischen Nebels setzte ein starker Sonnenwind ein, der Gasreste aus dem System wegwehte. Nur den Vorläufern der Gasplaneten gelang es, einen Teil des planetarischen Gases dauerhaft an sich zu binden und dadurch zu wachsen. Die kleineren Materiekümpfen verloren ihre Gashüllen und wurden zu den so genannten terrestrischen Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars. Sie kühlten im Laufe der Jahrtausende langsam ab und wurden schließlich fest. Die genauen Abläufe und Mechanismen am Ursprung des Sonnensystems und damit auch der Erde liegen allerdings bis heute noch weitgehend im Dunkeln.

Die Entwicklungsgeschichte des blauen Planeten beginnt vor etwa 4,5 Milliarden Jahren - aktuellen Forschungsergebnisse schwanken zwischen 4,53 und 4,56 Milliarden Jahren. Zu dieser Zeit war die Erde noch ein äußerst lebensfeindlicher, heißglühender Feuerball, ohne feste Kontinente, Ozeane und eine lebensnotwendige Atmosphäre. Der Planet wurde ständig von großen Materiebrocken aus dem entstehenden Sonnensystem bombardiert, den so genannten Planetesimals. Sie schlugen mit Geschwindigkeiten von über zehn Kilometern pro Sekunde auf der Oberfläche auf und setzten unvorstellbare Energien frei. Diese Materialzufuhr führte zu einem allmählichen

Entstehung des Sonnensystems



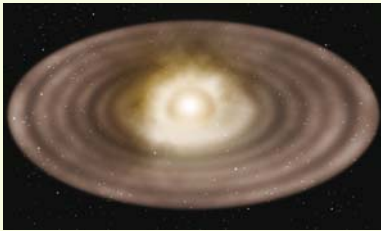
Eine wirbelnde Wolke aus Staub und Gas steht am Ursprung unseres Sonnensystems.



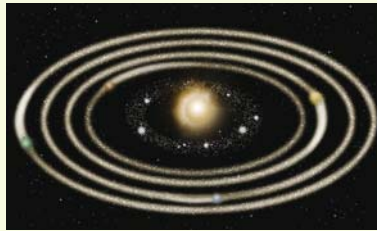
Durch die Schockwelle einer Supernova oder eine ähnliche Störung kollabiert die Wolke.



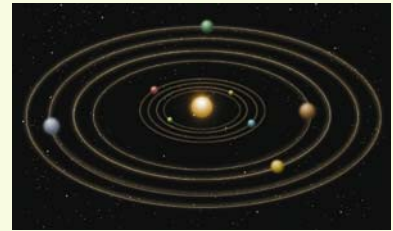
Der Druck lässt im Zentrum der Wolke einen Protostern entstehen - die junge Sonne.



In den Außenbereichen der rotierenden Wolke kondensiert die Materie.



Materiebrocken kollidieren und ballen sich langsam zu Protoplaneten zusammen.



Aus diesen entstehen die Protoplaneten. Durch Kollisionen mit Gesteinsbrocken wachsen sie.

Massezuwachs der Erde. Durch Kompression erhöhte sich der Druck im Erdinneren und die Temperaturen stiegen auf 1.000 Grad Celsius an. Vor dieser Erwärmung war das Innere des Planeten noch relativ homogen, die chemischen Elemente waren gleichmäßig in ihm verteilt. Mit den steigenden Temperaturen kam es jedoch zu Gesteinsaufschmelzungen, bei denen die schwereren Elemente, vor allem Eisen, in Richtung des Erdmittelpunktes sanken. Leichtere Elemente wurden dagegen an die Erdoberfläche transportiert und erstarrten dort. Auf diese Weise entstanden erste einfache Kontinente. Vulkane spien Lava, aber auch Gase wie Wasser, Kohlendioxid, Stickstoff und Kohlenmonoxid. Sie begannen, die ursprüngliche, vorwiegend aus Methan und Ammoniak bestehende Uratmosphäre zu verändern. Nach und nach kühlte die Erde immer weiter ab. Der Wasserdampf in der Atmosphäre kondensierte und es regnete vermutlich über viele tausend Jahre lang. Ein großer Teil des Kohlendioxids aus der Gashölle löste sich dabei in den noch jungen Meeren der Erde und bildete im Laufe der Zeit gewaltige Karbonatablagerungen. Vor rund 3,4 Milliarden Jahren setzte erneut ein tiefgreifender Wandel ein: Das Leben begann sich zu entwickeln. Die ältesten bisher gefundenen Spuren von Organismen sind mehr als drei Milliarden Jahre alt. Durch sie wurde die erste Atmosphäre nach und nach mit Sauerstoff angereichert. Sie bereiteten so die „Bühne“ für die weitere Entwicklung des Lebens.

1.3 Das Zwiebelprinzip - Der Aufbau der Erde

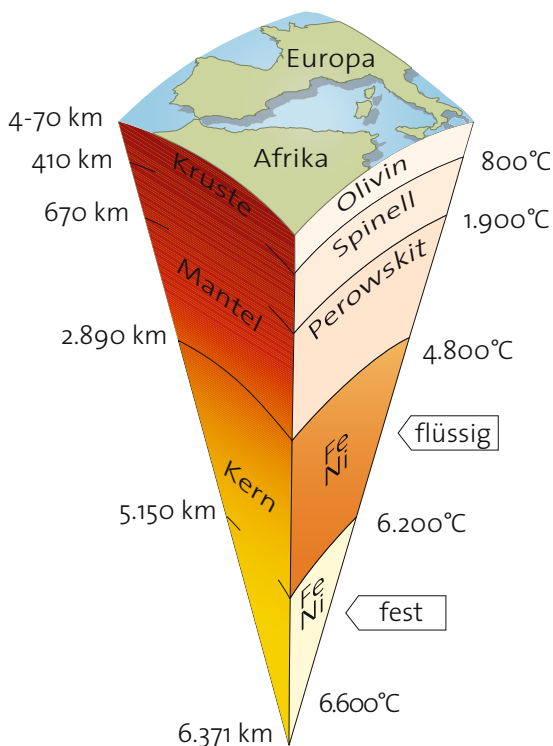
Für die zahlreichen Prozesse, die an der Gestaltung der Erdoberfläche beteiligt sind, spielt der Aufbau der Erde eine wichtige Rolle. So haben Vulkanismus, Erdbeben und andere plattentektonische Vorgänge ihren Ursprung im Inneren der Erde. Doch wie sieht es tatsächlich im Innern der Erde aus? Da Bohrungen nur bis wenige Kilometer in die äußere Haut der Erde eindringen, basieren die heutigen Erkenntnisse über den Erdaufbau auf indirekten Messmethoden der Geophysik. Zu diesen Messmethoden gehören zum einen die Schwerkraft- und Magnetfeldmessungen via Satellit, aber auch die Messung und Auswertung von Erdbeben- und künstlich erzeugten Stoßwellen. Dabei machen sich die Geowissenschaftler den Umstand zunutze, dass die Wellen an Grenzen zwischen zwei Gesteinsschichten unterschiedlicher Beschaffenheit teilweise gebrochen oder reflektiert werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Erde in mehreren Schalen aufgebaut ist. Grob gesagt wird der feste innere Erdkern von einem flüssigen äußeren Kern umschlossen, dieser wiederum vom Erdmantel und ganz außen befindet sich die Kruste. Die physikalischen und chemischen (mineralischen) Eigenschaften unterscheiden

sich innerhalb dieser Schichten, so dass eine weitere Untergliederung vorgenommen werden kann. So wird beispielsweise die Erdkruste aufgrund deutlicher Unterschiede in Dichte, Gesteinsinhalt und Mächtigkeit in die ozeanische und kontinentale Kruste geteilt. Die Biosphäre, die alles Leben auf der Erde umfasst, bildet den Übergangsbereich zwischen der obersten Kruste und der Atmosphäre als dem äußersten Bereich unseres Planeten.

Die gesamte Erde ist zu über 90 Prozent aus vier Elementen aufgebaut: Eisen, Sauerstoff, Silizium und Magnesium. Im Laufe der Entwicklung der Erde haben sich diese in Abhängigkeit ihres Gewichtes in Kruste, Mantel und Kern verteilt. Da das schwere Eisen aufgrund der Schwerkraft in Richtung Erdkern abgesunken ist, ist sein Anteil in der Erdkruste gering. Dafür findet man dort vornehmlich leichtere Elemente wie das Silizium, das auch an der Erdoberfläche häufig vorkommt. Deutliche Unterschiede zwischen dem Erdinneren und den äußeren Bereichen herrschen auch in Bezug auf die Temperatur- und Druckverhältnisse. Temperatur und Druck steigen mit zunehmender Tiefe deutlich an, was in einigen Bereichen zum Aufschmelzen von Gesteinen führt. Für die obere Kruste gilt eine Temperaturerhöhung von zwei bis drei Grad

Die Schichten der Erde unterscheiden sich sowohl chemisch als auch physikalisch voneinander



Celsius auf 100 Meter Tiefe. Je weiter man sich dem Erdmittelpunkt nähert, desto höher steigt die Temperatur. Für den inneren Erdkern vermutet man Temperaturen zwischen 4.000 und 5.000 Grad Celsius. Diese hohen Temperaturen resultieren aus einer „Resthitze“ aus der Zeit der Erdentstehung (Akkretionswärme) und dem auch heute noch stattfindenden Zerfall radioaktiver Elemente.

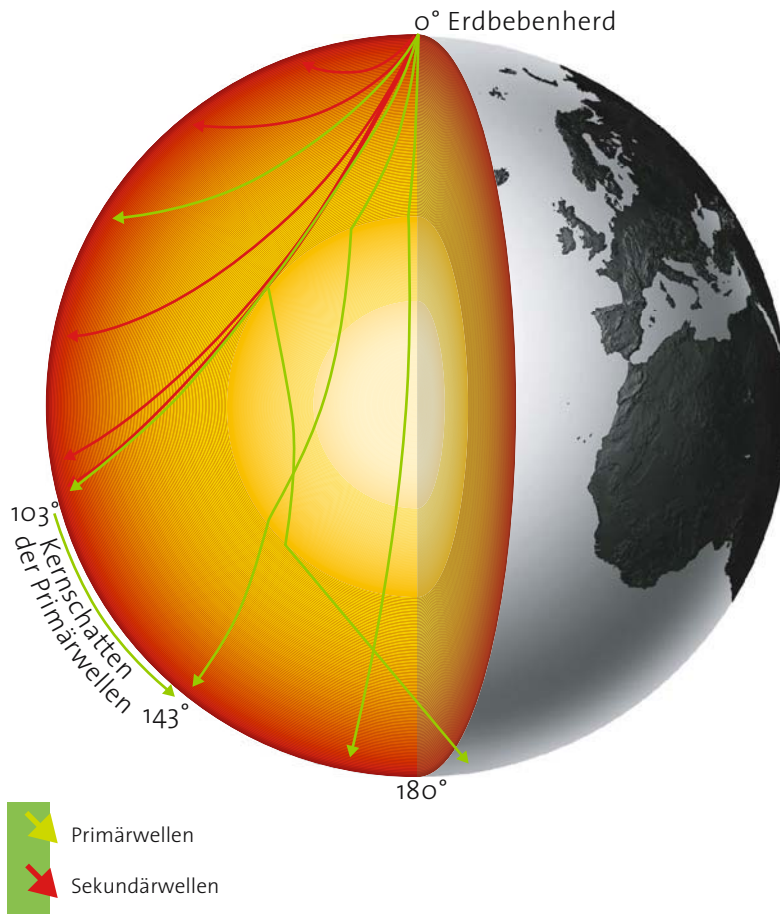
Mit Hilfe von Bohrungen erhalten Forscher wertvolle Erkenntnisse über den Aufbau und die Struktur des Untergrunds. Doch selbst die tiefsten Bohrungen reichen nur rund zwölf Kilometer unter die Erdoberfläche, wie beispielsweise auf der Kolahalbinsel im Nordwesten Russlands. In Deutschland wurde im Rahmen des Kontinentalen Tiefbohrprogramms (KTb) im oberpfälzischen Windischeschenbach bis in eine Tiefe von 9.101 Metern ins kristalline Grundgebirge gebohrt. Die in dieser Tiefe herrschenden Temperaturen von 270 Grad Celsius zwangen die Forscher jedoch zum Stopp der Bohrungen. Eines der wichtigsten Forschungsziele wurde bereits in der Zone unterhalb von 8.000 Metern Tiefe erreicht: in solche Bereiche vorzudringen, in denen sich das Gestein unter dem Einfluss von Druck und Hitze verformt - sich also plastisch verhält, statt wie sonst bei starker tektonischer Beanspruchung zu brechen. Noch nie war es Wissenschaftlern bis dahin gelungen, diesen Formungsprozess außerhalb des Labors zu beobachten. Ähnliche, im Laufe der Erdgeschichte entstandene eindrucksvolle Verformungen von Gesteinsschichten lassen sich heute vielfach auf der Erdoberfläche beobachten – dort, wo die Erosion diese Schichten freigelegt hat. Nach seiner Vorreiterrolle bei diesem erfolgreichen Bohrprojekt übernahm das GeoForschungszentrum in Potsdam auch die Federführung beim internationalen Kontinentalen Bohrprogramm (ICDP), das in Ergänzung zu dem bereits seit den 1960er Jahren durchgeführten „Ocean Drilling Program“ (ODP) die Erforschung der oberen Erdkruste zum Ziel hat.

1.3.1 Erdkern

Mit Hilfe der Auswertung von Erdbebenwellen unternahmen auch Geowissenschaftler eine „Reise zum Mittelpunkt der Erde“. Dabei haben sie sich das unterschiedliche Verhalten verschiedener Erdbebenwellen zunutze gemacht, um die Grenzen zwischen Mantel und Kern sowie zwischen innerem und äußerem Kern zu identifizieren. Primärwellen (P-Wellen) sind Kompressionswellen, die sich sowohl in Flüssigkeiten als auch in fester Materie fortpflanzen können. Sekundärwellen (S-Wellen) hingegen bewegen sich nur in festem Gestein und werden von flüssigen Bereichen des Erdinneren „geschluckt“. Bei einem Erdbeben breiten sich P- und S-Wellen aus und werden von den weltweit in zahlreichen Messstationen installierten Seismographen aufgezeichnet. Dabei zeigt sich, dass Sekundärwellen - auch bei stärksten Beben - in bestimmten Regionen nicht mehr aufzuspüren

Der Bohrturm des vom GeoForschungszentrum in Potsdam geleiteten Kontinentalen Tiefbohrprogramm (KTb) in Windischeschenbach





sind, während Primärwellen dort noch registriert werden. Offensichtlich gibt es eine „Schattenzone“ für Sekundärwellen, da diese im flüssigen äußeren Kern absorbiert werden. Stellt man sich die aufgeschnittene Erde als idealtypischen Kreis vor, lässt sich das Prinzip gut nachvollziehen. Bezugspunkt ist ein Erdbebenherd an der 0 Grad-Position eines Kreises. Die Primärwellen durchlaufen den äußeren Kern ohne Probleme, werden aber an der Kern/Mantel-Grenze gebrochen und teilweise reflektiert. An der Erdoberfläche ergibt sich dadurch im Winkel zwischen 103 und 143 Grad eine so genannte „Schattenzone“ – einen Bereich, in dem die Seismographen keine Primärwellen registrieren. S-Wellen werden vom flüssigen äußeren Erdkern absorbiert und können sich daher nur über den Mantel ausbreiten. Ihre Schattenzone ist erheblich größer: Im gesamten Winkelbereich oberhalb von 105 Grad in Bezug auf den Bebenherd sind diese Wellen nicht mehr messbar.

Erdbebenwellen sind wichtige Hilfsmittel bei der Erkundung des Erdinneren

Anhand von Laufzeitberechnungen der Erdbebenwellen und der Interpretation der „Schattenzonen“ wurde die Grenze zwischen dem flüssigen äußeren Kern und dem festen Mantel (Wiechert-Gutenberg-Diskontinuität) auf 2.890 Kilometer Tiefe festgelegt. Die Grenze zwischen dem flüssigen äußeren und dem festen inneren Kern befindet sich in 5.150 Kilometern Tiefe, hier werden Primärwellen noch einmal beschleunigt. Mit den Dichteunterschieden (flüssiger oder fester Zustand der Erdbestandteile) ändern sich auch die Temperaturen. So ist die Kern/Mantel-Grenze gleichzeitig auch eine Temperaturgrenze (Thermal boundary layer). Dabei erhöhen sich die Temperaturen vom Mantel zum Kern in diesem Bereich um circa 1.000 Grad Celsius.

Der Erdkern ist zu etwa 80 Prozent aus Eisen aufgebaut. Die restlichen 20 Prozent bestehen wahrscheinlich aus Nickel, Silizium, Sauerstoff und Schwefel. Der hohe Anteil an Eisen konnte in Laborversuchen

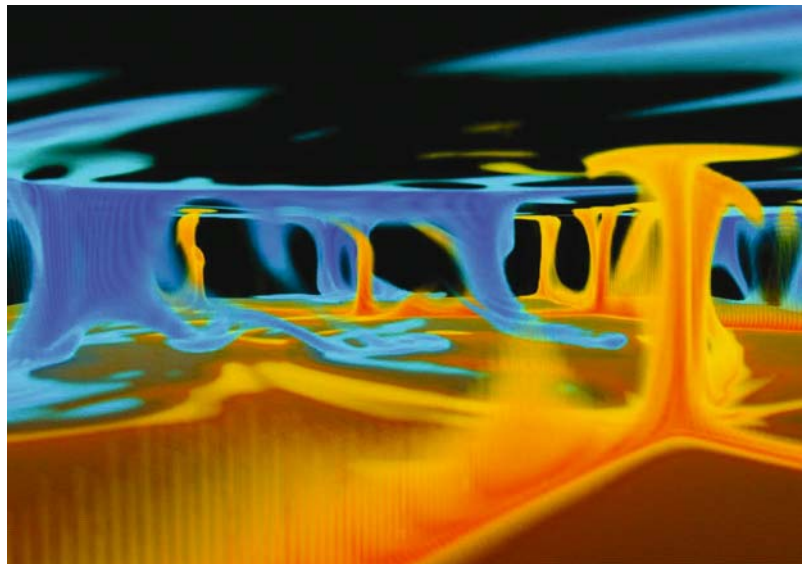
nachgewiesen werden, bei denen das Verhalten von Erdbebenwellen in festem und flüssigem Eisen gemessen wurde. Dabei ergaben sich ähnliche Ergebnisse wie bei Erdbebenwellen, die die Erde durchlaufen. Damit wird auch die bereits erwähnte wissenschaftliche Theorie gestützt, nach der das schwere Eisen während der Erdentstehung zum Erdmittelpunkt abgesunken ist.

1.3.2 Erdmantel

Der Erdmantel umfasst 82 Prozent des Erdvolumens und wird hauptsächlich aus Siliziumdioxid (SiO_2), Magnesium, Kalzium und Eisen aufgebaut. Er umschließt in einer Tiefe von 2.890 Kilometern den Erdkern und reicht an den mittelozeanischen Rücken bis an die Erdoberfläche. Der obere Mantelbereich - die Asthenosphäre - ist zumindest teilweise aufgeschmolzen. Das belegen die Geschwindigkeiten von Sekundärwellen die hier vom aufgeschmolzenem Material absorbiert werden. Die Untergrenze der Asthenosphäre befindet sich in 200 Kilometer Tiefe. Es folgt eine Zone, in der es aufgrund der hohen Druckverhältnissen zu Mineralumwandlungen kommt. Die Zusammensetzung des unteren Mantels und die Kristallstrukturen der Mineralien ändern sich zwischen 700 und 2.900 Kilometern Tiefe nur wenig. Die Grenze zwischen Mantel und Kern ist wieder durch einen großen Sprung in Bezug auf die Dichte gekennzeichnet. Während der Kern noch eine Dichte von etwa 10 bis 13 Gramm pro Kubikzentimeter besitzt, geht sie im unteren Erdmantel auf unter fünf Gramm pro Kubikzentimeter zurück. Dieser „Dichtesprung“ wird durch den Übergang vom schweren Eisenkern zum leichten Mantel aus Magnesium- und Eisensilikaten erklärt.

Im Erdmantel liegen die Antriebsmechanismen für die Bewegungen der Lithosphärenplatten. Ursache sind Konvektionsströmungen des glutflüssigen Magmas, die den Temperaturunterschied von Kern zur Erdoberfläche ausgleichen. Dabei handelt es sich um ein Kreislaufsystem, in dem geschmolzenes Gesteinsmaterial ständig aufsteigt und wieder absinkt. Dieser Vorgang kann mit dem langsamen Erhitzen von Wasser auf einer Herdplatte verglichen werden: Das Wasser wird von unten erwärmt, dabei dehnt es sich aus und seine Dichte verringert sich. Es steigt an die

Simulation der Konvektionsströmungen im Erdmantel. blau = kühlere, orange = heißere Strömung

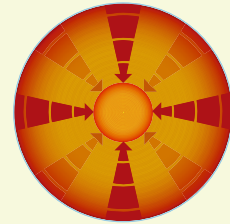




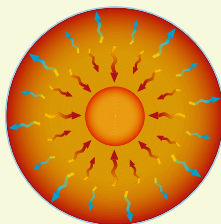
Vor 4,5 Milliarden Jahren ist die Erde ein rotglühender Feuerball ohne Meere oder Kontinente.



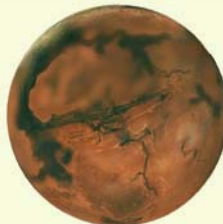
Sie ist dem ständigen Bombardement von Meteoriten ausgesetzt, die durch ihre Einschlagsenergie die Erde immer weiter aufheizen.



Durch die Hitze kommt es zu Aufschmelzungen und die schweren Elemente beginnen in Richtung Erdmittelpunkt zu sinken.



Leichtere Elemente steigen an die Oberfläche. Langsam bilden sich die Erdschichten, der eisenhaltige Erdkern innen, die langsam erstarrende Kruste außen.



Vor rund 3,4 Milliarden Jahren ist die Erdoberfläche abgekühlt und die ersten Kontinente und Meere entstehen.



Erst die Entstehung des Lebens und besonders der ersten Algen, schuf die sauerstoffreiche Atmosphäre, die heute unseren Planeten umgibt.

Oberfläche, breitet sich seitlich aus und sinkt an den Rändern wieder ab, da sich durch Abkühlung an der Oberfläche seine Dichte erhöht. Der Kreislauf beginnt von vorn. Überträgt man dieses Modell auf die Erde, bedeutet dies, dass dort, wo heißes Material nach oben steigt und in gegensätzliche Richtungen seitlich wieder abfließt, die Platten auseinander gezogen werden, sie divergieren. An Stellen, wo zwei Platten aufeinander treffen oder konvergieren, zieht das kälter und schwerer werdende Material eine Platte mit in die Tiefe.

Dabei wird in der Regel die schwerere ozeanische Platte unter die leichtere kontinentale Platte gedrückt. Die ozeanische Platte wird subduziert. Andere Hypothesen gehen allerdings davon aus, dass die an den Subduktionszonen absinkenden Platten durch ihr eigenes Gewicht nach unten gezogen werden („slab pull“ = „Platten-Zug“) und ausgehend von Stellen, wo Magma aufsteigt, seitlich weggeschoben werden („ridge-push“ = „Rückendruck“).