



## Quarks & Co „Leben mit Vulkanen“



**Autoren:**

Carl Grevener  
Jakob Kneser  
Wolfgang Meschede  
Anahita Parastar  
Jo Siegler

**Redaktion:**

Daniele Jörg

Die Erde bebt, der Boden öffnet sich und Vulkane brechen aus. Unser Planet ist kein toter Felsbrocken, der sich um die Sonne dreht. Er ist "lebendig"! Schon seit Milliarden von Jahren drehen die Walzen der Plattentektonik den Erdmantel um und um.

Aber warum ist das so?

Was verraten Vulkane über das Innere der Erde?

Welche unterschiedlichen Typen gibt es?

Warum legen sie sich manchmal "schlafen"?

Wie kann man besser voraussagen, wann sie ausbrechen?

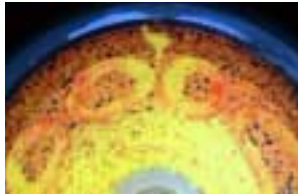
Wie entsteht neues Leben nach der Katastrophe?

Welchen Nutzen ziehen die Menschen aus den Vulkanen?

**Quarks & Co** folgt heute einer heißen Spur...

# Wie Vulkane entstehen

## Alles fließt



Kruste, Mantel und Kern:  
der Schalenbau der Erde

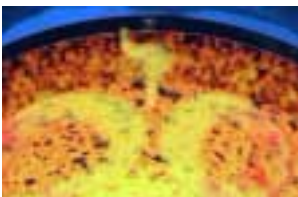
"panta rhei" - heißt auf Deutsch : Alles fließt. Das wusste der griechische Philosoph Heraklit bereits im fünften Jahrhundert vor Christus und meinte damit, dass sich alles im Zustand ständigen Entstehens und Vergehens befindet. Das gilt insbesondere für unsere Erde, denn die Erdkruste verändert sich ständig - und das, obwohl wir davon im Allgemeinen nichts mitbekommen. Nur manchmal, nämlich dann, wenn die Erde bebt oder Vulkane ausbrechen, wird uns das bewusst.

## Der Schalenbau der Erde



Der innere Kern ist fest, der  
äußere Kern ist flüssig

Um zu verstehen, was dabei eigentlich passiert, begeben wir uns zunächst zum Mittelpunkt der Erde: zum so genannten Erdkern. Dieser teilt sich in einen festen, inneren und einen flüssigen, äußeren Kern aus einer Eisen-Nickel-Verbindung. Hier unten herrschen Temperaturen von etwa 2.800-5.000 °C.



Konvektionsströme - der Motor  
für die Drift der Kontinente

Um diesen Kern herum liegt der untere Mantel: Er besteht aus festen Verbindungen von Sauerstoff mit den Metallen Silizium, Magnesium, Aluminium und Eisen. Die Temperatur im unteren Erdmantel ist nicht mehr ganz so heiß wie im Kern: "Nur noch" 1.700-2.800 °C herrschen hier vor. Der untere Mantel wird vom oberen Mantel umschlossen. Forscher vermuten, dass das Gestein in dieser Zone plastisch ist, also weder flüssig, noch fest, sondern eine Art zähe Masse. Große Temperaturunterschiede in dieser Zone führen zu so genannten Konvektionsströmen. Das bedeutet: Heißes Material steigt nach oben, kühlt dort ab und sinkt wieder nach unten. Auf diese Weise entsteht eine riesige Walze aus plastischem Gestein. Und genau das ist der Motor, der die Erdkruste in ständiger Bewegung hält.

## Wie die Kontinente sich bewegen



Die Erdplatten bewegen sich mit  
2 bis 10 cm pro Jahr

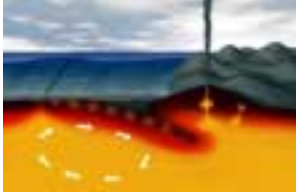
Die Erdkruste ist keine feste, durchgehende Hülle, sondern sie besteht aus vielen großen und kleinen Stücken: den so genannten Erdplatten. Bis auf die Pazifische Platte, die ausschließlich aus ozeanischer Kruste besteht, haben sie sowohl einen ozeanischen als auch einen kontinentalen Anteil. Angetrieben durch die Konvektionsströme bewegen sich diese Platten.



Die schwere, ozeanische Platte  
schiebt sich unter eine leichte,  
kontinentale Platte

An einigen Stellen driften sie auseinander: Hier kann Magma aus dem Inneren nach oben steigen, abkühlen und neues Gestein bilden. Da die Erde eine Kugel ist, bewegen sich an anderen Stellen die Platten aufeinander zu: Dann schiebt sich der schwerere, ozeanische Krustenteil unter den leichteren, kontinentalen Teil. Als Folge davon schmilzt das Gestein der unteren Platte wegen des großen Drucks und der höheren Temperatur und sinkt bis in den oberen Erdmantel ab.

### Explosive Mischung



Die Vulkane der Anden sind typische "Subduktionsvulkane"

Die Schmelze verhält sich jedoch völlig anders als die plastische Gesteinsmasse des Erdmantels, weil sie viel Wasser und Kieselsäure enthält. Außerdem ist sie flüssig und enthält sehr viele Gase: Eine explosive Mischung also, die in Richtung Erdkruste aufsteigt und ihr Volumen immer mehr vergrößert. Schließlich sucht sie sich einen Weg an die Erdoberfläche und durchbricht unter großem Druck die Erdkruste. So entsteht ein Vulkan an einer so genannten Subduktionszone.

### Hot Spot



Die Insel La Réunion ist über einem Hot Spot entstanden

Es gibt jedoch noch eine andere Art von Vulkanismus, deren Quelle noch tiefer in der Erde zu suchen ist: im flüssigen, äußeren Kern. Von dort aus steigen Temperaturströme wie Schneidbrenner in Richtung der Erdkruste. Dabei wird Mantelmaterial erhitzt und mit nach oben geführt. An der Stelle, wo dieses Material die Erdkruste durchschlägt, entsteht ein Vulkan. Die Lava eines so entstandenen Vulkans enthält jedoch wenig Wasserdampf und ist deshalb nicht sehr explosiv.

Jo Siegler, Marion Werner

## Der italienische Feuerring



Parallel zur Grenze der Eurasischen Platte liegen die italienischen Vulkane

Vesuv, Ätna, Stromboli: Aufgereiht wie auf einer Perlschnur durchziehen unzählige Vulkane den italienischen Stiefel und die Liparischen Inseln nördlich von Sizilien. Ihre Anordnung entspricht erstaunlich genau der östlichen und südlichen Grenze der Eurasischen Platte. Unter diese Platte schiebt sich aus dem Osten die Adriatische und aus dem Süden die Afrikanische Platte. In der Tiefe schmilzt das Gestein unter hohem Druck und hoher Temperatur und bahnt sich durch die Vulkanschlote den Weg an die Oberfläche.

### Der Vesuv – ein Pulverfass



Der Vesuv gilt als einer der gefährlichsten Vulkane weltweit

Die meisten mittelitalienischen Vulkane gelten als erloschen. Aber südlich davon hat der Vesuv in der Vergangenheit bewiesen, dass er zu den gefährlichsten Vulkanen der Welt zählt. Im Jahr 79 n. Chr. explodiert er so heftig, dass sein Gipfel weggesprengt wird. Innerhalb von zwei Tagen vernichtet er acht Städte, darunter Pompeji und Herculaneum. Glutwolken aus Asche und Steinen rasen mit mehr als 100 km/h die Vulkanflanken hinab und töten mehrere tausend Einwohner. Seit 1944 ruht der Vesuv. Kein gutes Zeichen, meinen Wissenschaftler und glauben: Je länger der Vulkan ruht, desto größer wird der nächste Ausbruch.

Der Vesuv ist deshalb so gefährlich, weil sich hier im Schlot ein Stopfen aus erkaltem Magma gebildet hat. Darunter ist gasreiches, flüssiges Magma unter hohem Druck eingeschlossen. Zudem vermuten Wissenschaftler in acht Kilometern Tiefe eine riesige, über 400 Quadratkilometer große Magmakammer unter dem Vesuv, die sich bis weit unter die benachbarte Stadt Neapel zieht. Die mehr als drei Millionen Menschen, die rund um den Vesuv wohnen, leben also auf einem Pulverfass.

### Stromboli



Der Stromboli – fast zwei Drittel des Vulkans liegen unter Wasser

Der Stromboli dagegen gilt als vergleichsweise harmlos, weil aus seinen Gipfelkratern kleinere Eruptionen ausbrechen – in ruhigen Phasen zweimal, in aktiveren Phasen sechsmal pro Stunde. Der etwa 900 Meter hohe Inselvulkan, dessen größter Teil sich unterhalb der Wasseroberfläche befindet, war durch seine regelmäßige und weithin sichtbare Tätigkeit bereits in der Antike als "Leuchtturm des Mittelmeeres" bekannt.

Hin und wieder versiegt die Gipfeltätigkeit des Stromboli, nämlich dann, wenn sich seitlich Risse im Vulkanhang bilden. Durch diese Risse bahnt sich die Lava einen Weg ins Freie. Die Flankenausbrüche gelten als gefährlich, weil sie Erdbeben erzeugen, die im Meer viele Meter hohe Wellen auslösen. Die jüngste Flankeneruption ereignete sich in den letzten Tagen des Jahres 2002 und führte zur Evakuierung der Inselbewohner. Deswegen kam niemand zu Schaden als eine etwa sieben Meter hohe Flutwelle die Insel überflutete.

## Ätna



Bekannt für seine spektakulären Ausbrüche – der Ätna auf Sizilien

Ein Sonderfall unter den italienischen Vulkanen ist der etwa 3.300 Meter hohe Ätna auf Sizilien. Er gilt als Intraplattenvulkan: An einer dünnen Stelle in der Eurasischen Platte tritt Magma an die Oberfläche.

Auch der Ätna gilt als relativ harmlos, weil er regelmäßig aus den Gipfelkratern Eruptionen mit Lava-Auswürfen zeigt. Aber wie der Stromboli stellt er hin und wieder seine Gipfeltätigkeit ein und bricht an den Flanken aus. Die dabei austretende Lava bedroht dann die Siedlungen am Fuße des Vulkans. Beim bislang heftigsten Flankenausbruch im Jahr 1669 zerstörten gewaltige Lavaströme die sizilianische Großstadt Catania. Dabei starben mehr als 20.000 Menschen.

## Der schlechte Ruf des Ätna



Seit zwei Jahren zeigt der Ätna ungewöhnlich heftige Flankenausbrüche. Wird der Vulkan gefährlicher?

Seit etwa zwei Jahren genießt der Ätna einen schlechten Ruf. Die letzten Flankeneruptionen waren ungewöhnlich heftig. Die Lava zeigte zudem eine andere Zusammensetzung als die Lava früherer Ausbrüche. Wissenschaftler vermuten, dass sich der Charakter des Ätna ändert – ein ganz normaler Vorgang im Leben vieler Vulkane. Solche Charakterveränderungen vollziehen sich allerdings über Zeiträume von vielen 100.000 Jahren. Deshalb gilt nach wie vor der Vesuv als der bei weitem gefährlichste Vulkan des italienischen Feuerrings.

Wolfgang Meschede

## Die vier vulkanischen "Temperamente"

Auch Vulkane können unterschiedliche Temperamente haben: Einige Vulkane explodieren gewaltig und stoßen dabei große Aschewolken aus. Bei anderen Vulkanen läuft die glühende Lava ohne Explosion in ruhigen Strömen aus dem Krater aus. Welches Temperament ein Vulkan hat, das hängt von der chemischen Zusammensetzung des Magmas ab, speziell von seinem Gehalt an Kieselsäure und Wasserdampf. Ein hoher Kieselsäuregehalt macht das Magma zähflüssig und durch viel Wasserdampf wird es hochexplosiv.

### Temperament 1: Schildvulkane



Schildvulkan - Hawaiityp

#### Der ruhige und feurige Vulkanismus

Enthält das Magma nur wenig Wasserdampf und Kieselsäure, so ist die austretende Lava sehr dünnflüssig und quillt ohne größere Explosionen aus Spalten und Kratern. Die Temperatur der Lava ist mit ca. 1.100 °C sehr hoch und sie kann lange und weit fließen. Es bilden sich ausgedehnte, flache Lavadecken, die auch Schildvulkane genannt werden. Das bekannteste Beispiel für einen solchen Schildvulkan ist der Kilauea auf Hawaii.

Ist der Kieselsäuregehalt niedrig und der Wasserdampfgehalt hoch, können Gasblasen ungehindert durch das dünnflüssige Magma steigen. Es bilden sich Lavafontänen, die von geringer Explosionstätigkeit begleitet werden. Die Spalteneruption des Eldfell auf Island wurde weltweit im Fernsehen gezeigt.

### Temperament 2: Asche- oder Schlackevulkane

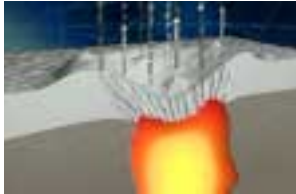


Stratovulkan - Stromboli-Typ

#### Der explosive Vulkanismus

Bei hohem Wasserdampf- und Kieselsäuregehalt ist das Magma zähflüssig. Es versperrt den Gasblasen den Weg nach oben. Dadurch wird der Druck im Magma immer größer, bis es schließlich zu einem explosiven Ausbruch kommt: Die Lava zerstäubt zu kleinsten Ascheteilchen, die bis in die Stratosphäre geschleudert werden. Aus den Schlacken, die auf die Erde zurückfallen, entstehen Schlackekegel. Der Stromboli ist ein typischer Vulkan dieses explosiven Typs.

### Temperament 3: Einbruchtrichter



Caldera - Laacher See-Typ

Ein Einbruchtrichter entsteht durch Einstürzen der Decke über einer großen Magmakammer. Das kann passieren, wenn die Kammer - in einer späteren Phase des Vulkanismus - immer leerer geworden ist. Irgendwann hält sie dem Druck der über ihr lagernden Gesteine nicht mehr stand und ihre Decke stürzt ein. So entsteht ein runder oder elliptischer Einbruchtrichter, eine so genannte Caldera, mit einem Durchmesser von mehreren hundert Metern bis zu hundert Kilometern. Vor rund 10.330 Jahren ist auf diese Art und Weise der Laacher See entstanden.

### Temperament 4: Sprengtrichter



Maar - Eifel-Typ

Eine vulkanische Sonderform ist das Maar. Trifft Magma bei seinem Aufstieg zur Erdoberfläche auf wasserhaltige Gesteinsschichten, so kommt es zu einer gewaltigen Explosion: Das umgebende Gestein wird zusammen mit Magma in kleinste Bestandteile zerfetzt und aus dem Explosionstrichter herausgeschleudert. Um den kreisrunden Trichter bleibt ein Wall von diesem Material zurück. So sind am Ende der letzten Eiszeit die Eifel-Maare entstanden.

## Der Brubbel von Wallenborn

Inmitten der Vulkaneifel, etwa 9 km südwestlich von Daun, liegt der Ort Wallenborn. Er verdankt seinen Namen den zahlreichen Quellen, die im und um das Dorf herum zu finden sind.

### Die Kraft aus der Tiefe: Kohlendioxid

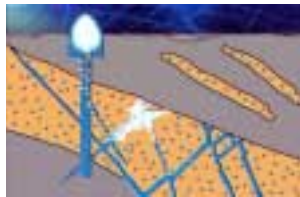


Der kalte Eifel-Geysir

Diese Art von Quellen nennen Geologen Hydrogenkarbonat-Wässer oder Sauerlinge. Sie kommen in der Eifel häufig vor und sind ein Indiz für die andauernde vulkanische Tätigkeit im Untergrund. Magmenkörper in der Tiefe geben CO<sub>2</sub>-Gase an das Gestein ab. Durch Spalten und Klüfte im Gestein steigt das Gas in Richtung Erdoberfläche. Erreicht das Kohlendioxid das Grundwasser, wird es teilweise im Wasser zu Kohlensäure gelöst.

In der Eifeler Mundart werden die Sauerlinge auch Dreis oder Drees genannt. Die Bevölkerung nutzt das heraussprudelnde Wasser seit Jahrhunderten, so zum Beispiel zum Auflockern des Brotteiges vor dem Backen. Wissenschaftler schätzen, dass pro Jahr 0,5-1 Million Tonnen CO<sub>2</sub> aus den Tiefen der Eifel in die Atmosphäre strömen.

### Der Brubbel und seine Geschichte



Der Untergrund des Brubbels

In Wallenborn gibt es sechs Mineralquellen, von denen eine auf besondere Art und Weise hervorsprudelt: Der Brubbel. So nennen die Einheimischen diese Quelle. Alle 56 Minuten schießt aus dem Brubbel für kurze Zeit ein 2-3 m hoher Wasserstrahl heraus.

Dort, wo heute diese eigentümliche Quelle liegt, wurde im Jahr 1933 eine Bohrung durchgeführt, um das Kohlensäurevorkommen wirtschaftlich zu nutzen. Man wollte hier ein Sprudelwerk nach Gerolsteiner Vorbild bauen. Ein Vorhaben, das durch den Ausbruch des Zweiten Weltkriegs verhindert wurde. Noch in den 50er Jahren war der Brubbel nicht mehr als ein umzäuntes Wiesenloch. Die 70er Jahre brachten der Quelle schließlich eine Betonumfassung ein. Im Juli 2001 erstrahlte der Brubbel dann endgültig im neuen Gewand. Seitdem lockt er jährlich mehr als 60.000 Besucher an.

### Ein Geysir?

Der Brubbel erinnert mit seinen Wassereruptionen an einen Geysir. Allerdings ist das Wasser der Wallenborner Quelle im Gegensatz zu dem der Geysire kalt: Es tritt mit einer Temperatur von unter 15 °C aus. Überhitztes Wasser kann also nicht die Ursache der Eruptionen sein. Verantwortlich dafür ist ein Gaspolster aus CO<sub>2</sub>. Etwa 30 Meter unter der Erdoberfläche befinden sich zwei Kammern im Gestein, so genannte Gasfallen. Hier sammelt sich das aufsteigende CO<sub>2</sub>-Gas. Sobald der Gasdruck den hydraulischen Druck der Wassersäule übersteigt, wird das Wasser durch das Gas aus dem Brunnenschacht herausgedrückt. Mit der Eruption sinkt der Gasdruck wieder ab und die imposante Wassersäule bricht zusammen. In der folgenden Ruhephase baut sich der Druck erneut auf, bis es wiederum zum Ausbruch kommt.

Carl Grevener

## Vulkane als Klimamotoren

Sie sind uns vertraut: Bilder von großen Vulkanausbrüchen wie vom Pinatubo, vom Popocatepetl oder vom Ätna. Für die Anwohner bedeuten die Lavaströme, der Ascheregen und die Flutwellen eine unmittelbare und oft existenzbedrohende Gefahr. Aber ein großer Vulkanausbruch ist nicht nur ein Ereignis mit regionalen Folgen. Er beeinflusst das globale Klima bis hin zu langfristigen Klimaverschiebungen. Allerdings ist diese Erkenntnis noch gar nicht so alt. Lange Zeit wurde der Zusammenhang von Vulkanausbrüchen und Klimaveränderungen übersehen.



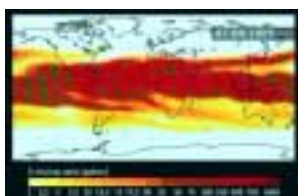
Riesige Mengen Asche bläst der Pinatubo 1991 in die Atmosphäre



Seit Jahrhunderten werden ungewöhnliche meteorologische Phänomene als Folge von Vulkanausbrüchen beobachtet



Aschepartikel halten sich nur eine begrenzte Zeit in der Atmosphäre



Über Jahre verteilen sich die Aerosolschichten in der Stratosphäre

### Der Ausbruch des Tambora und das "Jahr ohne Sommer"

Im Jahr 1815 bricht auf der Insel Sumbawa der Vulkan Tambora aus. Fast 1.300 Meter des Berges werden dabei weggesprengt. Das darauffolgende Jahr geht als "Jahr ohne Sommer" in die amerikanische Geschichte ein. An der Ostküste führen eisige Stürme und Schnee mitten im Sommer zu katastrophalen Missernten. Die Zeitgenossen machen das Vordringen des arktischen Eises oder die Erfindung des Blitzableiters für die drastische Verschlechterung des Klimas verantwortlich " auf einen Zusammenhang mit der Eruption des Tambora ein Jahr zuvor kommt zunächst niemand.

### Vulkane als Schwefelschleudern

Als 70 Jahre später der Vulkan Krakatau ausbricht, denken die Wissenschaftler zum ersten Mal über einen Zusammenhang von Klimaveränderungen und Vulkanausbrüchen nach. Zunächst nehmen sie an, dass die in die Atmosphäre gelangten Aschepartikel das Sonnenlicht reflektieren und es so zu einer Abkühlung auf der Erde kommt. Dieser Erklärungsversuch hält sich lange. Erst nach den Ausbrüchen des El Chichon 1981 und des Pinatubo 1991 wird er korrigiert: Die Asche kann nicht der Hauptverursacher der klimatischen Veränderungen sein, denn sie hält sich nur eine begrenzte Zeit in der Atmosphäre. Als Klimafaktor gerät nun ein anderer Stoff ins Blickfeld, den man lange Zeit vernachlässigt hatte: der Schwefel.

### Vulkanische Aerosolschichten als Klimafaktor

Tausende Tonnen Schwefeldioxid werden bei einem großen Vulkanausbruch freigesetzt. Innerhalb weniger Wochen bilden sich aus dem Gas winzige Schwefelsäuretröpfchen: so genannte Aerosole. Sie können sich zu stabilen, oft mehrere Kilometer dicken Schichten verbinden. Weil es in der Stratosphäre extrem wenig Flüssigkeit gibt, werden die Aerosole nur sehr langsam ausgewaschen und verteilen sich oft jahrelang über den Globus. Die Aerosolschichten reflektieren einen Teil der Sonnenstrahlung zurück ins All. Infolgedessen kühlt sich die Temperatur auf der Erde ab: In den beiden Jahren nach Ausbruch des Pinatubo 1991 sank die Temperatur weltweit um durchschnittlich 0,5 °Celsius. Darüber hinaus beobachteten die Wissenschaftler in dieser Zeit eine außergewöhnliche Vergrößerung des Ozonlochs.

### Wann beeinflusst ein Vulkanausbruch das globale Klima?



Astronauten der Raumfähre Columbia beobachten den Ausbruch des Shevelutich in Kamtchatka

Nicht jeder Ausbruch beeinflusst das Klima global. Ob und wie viel  $\text{SO}_2$  in die Atmosphäre gelangt, hängt zunächst vom Schwefelgehalt des Magmas ab. Daneben ist die Höhe der Eruptionssäule für die freigesetzte Aerosolmenge entscheidend. Global beeinflusst wird das Klima vor allem durch hochexplosive Eruptionen, die große Schwefelmengen an die Stratosphäre abgeben. Der dritte entscheidende Faktor ist die geografische Breite: Einen globalen Klimaeffekt haben nur die Vulkanausbrüche in Äquatornähe: Hier transportiert die Zirkulation in der Stratosphäre die Aerosole um den ganzen Globus.

### hot and cold: Vulkane in der Eiszeit

Weltweit gelangen pro Jahr etwa 15 Millionen Tonnen Schwefeldioxid durch Vulkanausbrüche in die Atmosphäre - allerdings erreicht nur alle ein bis drei Jahre eine Eruption die Stratosphäre. Der Ausbruch des Tambora war 1815 ein Jahrhundertereignis. Und dennoch sind das alles Strohfeuer im Vergleich zu den Vulkanausbrüchen in prähistorischer Zeit. Forscher nehmen an, dass der Ausbruch des Toba auf Sumatra vor rund 73.000 Jahren für die 1.000 kältesten Jahre der letzten Eiszeit gesorgt hat.

Jakob Kneser

## Wie das Wasser auf die Erde kam

*"Im Anfang schuf Gott Himmel und Erde. Die Erde aber war wüst und leer. [...] Dann sprach Gott: Das Wasser unterhalb des Himmels sammle sich, damit das Trockene sichtbar werde. So geschah es. Das Trockene nannte Gott Land und das angesammelte Wasser nannte er Meer." (Genesis 1,1-1,10)*

Wollte man alles Wasser der Erde in einem riesigen Würfel sammeln, so müsste man seine Seitenlängen mit mehr als 1.000 Kilometern bemessen. Durch die Tätigkeit der Vulkane haben sich auf der Erdoberfläche seit ihrer Entstehung 1,38 Milliarden Kubik-kilometer Wasser angesammelt.

### Die Erde aber war wüst und leer



Der Schalenbau der Erde formierte sich schon bald nach ihrer Entstehung

Vor etwa 4,5 Milliarden Jahren nahm alles seinen Anfang. Die Erde war eine feurige Materiekugel, ein Schmelztiegel der Elemente ohne erkennbare Struktur. Von einer blauen Atmosphäre, geschweige denn von flüssigem Wasser war weit und breit nichts zu sehen. Doch schon bald kam Ordnung in das Chaos: Angetrieben von der Schwerkraft begannen sich die Elemente der Erde zu sortieren. Schweres Metall wie Eisen und Nickel sank hinab ins Zentrum der Erde und bildete den Kern. Leichtere Elemente dagegen trieben nach außen. So entstanden der Erdmantel und schließlich, als Schlacke auf dem brodelnden Inneren, die Erdkruste. Sie trennte von nun an das heiße Innen vom immer kühler werdenden Außen.

### Der Tag als der Regen kam ...



Vulkanismus füllte die Uratmosphäre mit Wasserdampf

Doch die Kruste war keineswegs fest und starr. überall beförderten Vulkane flüssiges Gesteinsmaterial nach außen. Aus der Lava entwichen verschiedene Gase und vor allem Wasserdampf. So entstand eine giftige Uratmosphäre - ohne Sauerstoff, aber mit einer enormen Luftfeuchtigkeit. Die kühlen Außentemperaturen ließen den Wasserdampf an Ascheteilchen zu immer schwereren Wassertropfen kondensieren - und dann begann es endlich zu regnen. Der Schauer dauerte vermutlich Jahrmillionen. Es entstanden Pfützen, Tümpel und Seen. Aus kleinen Rinnsalen wurden reißende Flüsse, die die Senken der Erde mit ihrem Wasser anfüllten und so die ersten Ozeane erschufen.

### Wunder des Lebens



Vor etwa 3,5 Milliarden Jahren begann das Wunder des Lebens

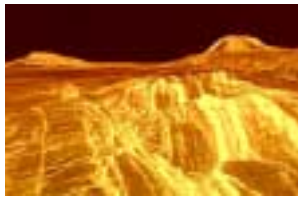
Verschiedenste chemische Verbindungen und Moleküle schwammen in den frühen Ozeanen. Und inmitten dieser sprichwörtlichen Ursuppe trieben kleine Fettbläschen und lange Ketten von Aminosäuren: die Bausteine des zukünftigen Lebens. Dann geschah das Wunder des Lebens: Durch einen Zufall umschlossen die Fettbläschen ganz bestimmte Aminosäuren, nämlich solche, die sich selbst reproduzieren konnten. Die weitere Entwicklung des Lebens, hin zu den ersten primitiven Bakterien, liegt auch heute noch im Dunkel der wissenschaftlichen Forschung. Fakt ist: Vor 3,5 Milliarden Jahren lebten Bakterien auf der Erde. Einige davon gaben als Abfallprodukt ihres Stoffwechsels Sauerstoff an die Atmosphäre ab und bereiteten damit den Boden für alles weitere Leben auf der Erde, die nun endlich der Blaue Planet war.

Jo Siegler

## Vulkane im All – "eine Erkundungsreise"

Vesuv, Ätna, Mount St. Helens und Pinatubo gehören zu den bekanntesten Vulkanen auf unserer Erde. Aber nicht nur auf unserem Planeten gibt es Vulkane. Vulkanische Prozesse hatten einen maßgeblichen Anteil an der Entwicklung vieler Himmelskörper in unserem Sonnensystem. Quarks hat sich aufgemacht zu einer Erkundungsreise ins All ...

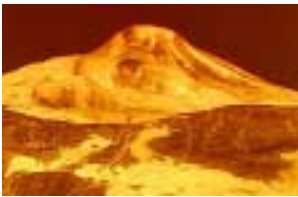
### Die Venus: eine Schwefelhölle



Die Oberfläche der Venus ist von Vulkanismus geprägt

Die Venus macht es den Forschern nicht leicht: Unser Nachbarplanet im Sonnensystem ist von einer stabilen Wolkenschicht umgeben, die zu 75 Prozent aus Schwefel besteht. Wissenschaftler vermuten, dass dieser zähe Schleier das Produkt intensiver vulkanischer Tätigkeit ist. Dafür spricht auch, dass eine dicke Lavaschicht große Teile der Venusoberfläche bedeckt. Es deutet also einiges darauf hin, dass es sich bei Bergen wie dem acht Kilometer hohen Maat Mons um Vulkane handelt.

Flüssiges Wasser, die Voraussetzung für die Entstehung von Leben, gibt es bei einer Oberflächentemperatur von etwa 450 °C auf der Venus jedoch nicht.



Acht Kilometer hoch ist der Maat Mons auf der Venus

### Mars: groß aber tot

Marsmissionen haben die Oberfläche des Roten Planeten untersucht und sind dabei auf die größten Vulkane unseres Sonnensystems gestoßen. Ein Gigant wie Olympus Mons ist bei einem Durchmesser von über 650 km 26 km hoch. Wie auf der Venus gibt es hier anscheinend keine Plattentektonik. Die großen Vulkane wie Olympus Mons sind daher riesige Schildvulkane, die den Vulkanen auf Hawaii gleichen. Ihre Höhe verdanken sie Eruptionen, bei denen über sehr lange Zeiträume mit konstanter Regelmäßigkeit Lava ausgeworfen wurde. Insgesamt muss die Ausflussrate der Mars-Vulkane jedoch trotz ihrer enormen Höhe weitaus geringer gewesen sein als auf der Erde. Die Ausbrüche der Mars-Vulkane liegen nach Meinung der Forscher schon mehrere hundert Millionen Jahre zurück. Dass sie noch einmal aktiv werden könnten, ist unwahrscheinlich, denn das Innere des Mars ist inzwischen abgekühlt.



Mit 26 km Höhe der größte Vulkan unseres Sonnensystems: der Olympus Mons

### Der Kalte mit dem heißen Kern: Europa

Europa und Io – "die beiden innersten der vier Galileischen Monde des Jupiter – "müssten aufgrund ihrer Größe eigentlich längst erkaltet sein. Dass dem nicht so ist, liegt an der spezifischen Umlaufbahn der Monde: Große Gravitationskräfte führen zu einer enormen Aufheizung. Das sieht man Europa nicht auf den ersten Blick an, denn seine Oberfläche besteht aus einem mehrere Kilometer dicken Eispanzer. Darin sind kaum Einschlagkrater zu sehen – "ein Indiz für die kontinuierliche Erneuerung der Oberfläche durch thermische Energie. Unter dem Eispanzer muss es also heiß sein" – und das spricht für aktiven Vulkanismus auf Europa. Außerdem vermuten einige Wissenschaftler, dass sich unter dem Eis eine Schicht flüssigen Wassers befinden könnte. Damit wäre Europa ein Kandidat für die mögliche Existenz von außerirdischem Leben.



Unter dem Eispanzer ist es heiß: der Jupitermond Europa

### Der Dauerbrenner im Sonnensystem: Io



Hunderte von Kilometern weit schleudern die Vulkane auf Io ihre Eruptionswolken ins All

Io ist der innerste der vier regulären Jupitermonde. Mit 350.000 km entspricht sein Abstand von Jupiter etwa dem unseres Mondes zur Erde. Seit seiner Entdeckung durch Galilei hat Io die Astronomen wegen seiner gelb-orangen Farbe und seiner Reflexionskraft fasziniert. In den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts entdeckte man, dass Io Wolken von Ionen in die Magnetosphäre von Jupiter einspeist. Heute kennen wir den Grund für die seltsamen Eigenschaften dieses Jupitertrabanten: Io ist der vulkanisch aktivste Himmelskörper unseres Sonnensystems " weitaus aktiver als die Erde.

Als die Raumsonde Voyager 1979 den Planeten Jupiter passierte, konnte man den Ausbruch von zehn Vulkanen beobachten. Ios Oberfläche ist übersät mit heißen Calderen, aus denen Lavaströme fließen. Berechnungen ergaben, dass der thermische Energieausstoß von Ios Oberfläche bei gigantischen  $10^{14}$  Watt liegt. Grund für diesen hyperaktiven Vulkanismus auf Io sind die enormen Gezeitenkräfte, die Jupiter auf den innersten seiner Monde ausübt.

Jakob Kneser

## Die heißesten Vulkane

### Unzen (Japan)

Der Ausbruch des Unzen im Jahr 1792 forderte 15.000 Menschenleben. Dann blieb es 198 Jahre ruhig. Seit Mai 1991 stößt er immer wieder glühendheiße Ascheströme aus. Bis heute konnten moderne Überwachungstechniken und Frühwarnsystems eine erneute Katastrophe verhindern. Trotzdem kamen am 3. Juni 1991 43 Menschen, darunter das Vulkanologen-Ehepaar Kraft, in einem solchen Glutstrom ums Leben. Die heftige Aktivität des Unzen dauerte bis 1993 an.

### Sakurajima (Kyushu, Japan)

Der aktive 1.117 m hohe Vulkan Sakurajima überragt die rund sechs Kilometer entfernte Stadt Kagoshima mit ihren 100.000 Einwohnern. Seit 1998 ist der Vulkan mit einem Netz von Messgeräten überzogen, die Deformation, Erdbeben und Spaltenöffnungen überwachen. Dieses Netz ist direkt mit den Computern eines Observatoriums verbunden, das je nach Gefährdungsgrad die Evakuierung der Stadt veranlasst.



1991 bricht der Vulkan Pinatubo auf der Nordinsel Luzon /Philippinen nach 500 Jahren wieder aus

### Pinatubo (Insel Luzon, Philippinen)

Der Pinatubo war schon lange von der Liste der aktiven Vulkane gestrichen, als er im Jahr 1991 unerwartet heftig ausbrach. Bis dahin hatte er ein halbes Jahrtausend im Dornröschen-Schlaf geruht. Aus dem 1.759 m hohen Vulkan stieg während des Ausbruchs eine enorme Aschewolke auf, die bis in die Stratosphäre gelangte. 300 Todesopfer forderte diese Katastrophe; die Menschen kamen in der Asche und den Schlammströmen um.



Aufnahme von 1952 des Krakatau-Vulkans in der Sundastraße in Indonesien

### Krakatau (Insel Java, Indonesien)

Am 27. August 1883, auf dem Höhepunkt der Eruption des Krakatau, erhob sich eine bis zu 50 km hohe Aschewolke über dem Vulkan. Ascheregen ging auf einem Gebiet von 500.000 km<sup>2</sup> nieder und die Asche, die in die Stratosphäre gelangte, umkreiste die Erde 14 Tage lang. Die Schockwelle der Explosion war auf den Barographen der ganzen Welt messbar. Eine Flutwelle von 30 Metern Höhe tötet 36.000 Menschen.

### **Tambora (Insel Sumbawa, Indonesien)**

Zu den größten Vulkankatastrophen zählt der Ausbruch des Tambora. Am 10. August 1815 zerriss eine gewaltige Explosion die Hälfte des 4.000 m hohen Vulkans. Dabei entstand ein Krater von sechs Kilometern Durchmesser und 600-700 Metern Tiefe. Dichte Aschewolken verdunkelten drei Tage lang ein Gebiet von 500 km Durchmesser vollständig. Man schätzt, dass der Ausbruch etwa 88.000 Menschen tötete.

### **Colo (Insel Una Una, Indonesien)**

Am 15. Juli 1982 veranlassten Vulkanologen aufgrund der dramatischen Zunahme von Beben die Evakuierung der Insel Una Una. Als ein paar Tage später die Katastrophe begann, waren nur noch einige wenige Vulkanologen auf der Insel. Binnen drei Minuten zerstörten die heißen Ascheströme des Colo alles, was sich in einem Umkreis von 3 km um den Krater befand. Die Vulkanologen mussten flüchten und retteten sich auf im Wasser wartende Boote.

### **Merapi (Insel Java, Indonesien)**



Lava und heißer Rauch steigen am 13.2.2001 aus dem Krater des Vulkans Merapi

Zu den gefährlichsten Vulkanen der Welt gehört der 2.911 m hohe Merapi. Seine Ausbruchshäufigkeit ist mit 20-30 starken Eruptionen pro Jahrhundert außergewöhnlich hoch. Jeder noch so geringe Magma-Anstieg führt ohne weitere Vorwarnung zu Erdbeben, die eine gewaltige Glutwolke auslösen können. Eine solche Glutwolke stürzte am 22. November 1994 an der Südflanke des Merapi hinab und zerstörte ein im Tal gelegenes Dorf. 60 Bewohner kamen dabei um.

### **Tavurvar und Vulcan (Rabaul, Papua Neuguinea)**

Am 10. September 1767 sah der englische Seefahrer Phillip Carteret bei seiner Fahrt durch melanesische Gewässer im Nordosten des späteren Papua-Neuguinea plötzlich eine gigantische Rauchwolke aufsteigen. Diese Beobachtung ist das erste Zeugnis über die historische Aktivität des Vulkankomplexes von Rabaul. Alarmiert durch starke Beben verließen am 19. September 1994 30.000 Menschen die Stadt. Vier Tage regnete Asche auf die menschenleere Stadt und der Hafen wurde durch einen schwimmenden Bimsteppich unzugänglich.

### **Piton de la Fournaise (Insel Réunion, Indischer Ozean)**



Rotglühende Lava sprüht auch am 16.11.2002 aus dem Vulkan Piton de la Fournaise

Am 19. März 1985 brach der 2.631 m hohe Piton de la Fournaise auf der Insel Réunion aus. Gewaltige Lava-Fontänen schossen in den Himmel und 7 Mio. m<sup>3</sup> Basalt ergoss sich aus dem Krater. Ein Jahr später öffnete sich eine 700 m lange Spalte und heiße Schlammströme schossen mit einer Geschwindigkeit von bis zu 300 km/h auf das Meer zu. Sie rissen alles mit, was ihnen im Weg stand. 250 Menschen konnten rechtzeitig evakuiert werden.

### **Mont Pelée (Martinique)**

In den frühen Morgenstunden des 8. Mai 1902 explodierte der 1.397 m hohe Mont Pelée auf Martinique. Die Explosion vernichtete die Hafenstadt Saint-Pierre. 28.000 Menschen starben in einer Glutlawine des Vulkans. Nur zwei Menschen überlebten; einer davon in einer bunkerartigen Gefängniszelle. Die meisten Bewohner hätten gerettet werden können, denn der Vulkan hatte seine bevorstehende Eruption durch eine Reihe starker Beben angekündigt. Der Gouverneur der Insel hatte es aber vorgezogen, den bevorstehenden Wahltermin nicht platzen zu lassen.

### **Nyiragongo (Demokratische Republik Kongo)**



Luftaufnahme des Vulkans Nyiragongo bei Goma in Kongo (19.1.2002)

1977 bildeten sich am Vulkan Nyiragongo Risse, vermutlich infolge eines Erdbebens. Zu dieser Zeit war der Krater bis zum Rand mit flüssiger Lava gefüllt, die nun mit 100 km/h aus einer Spalte schoss. Vögel wurden in der Luft von der Lava getroffen, Autos und flüchtende Anwohner unter den Lava-Massen begraben. Vergeblich stellte sich ein Elefantenbulle dem glühenden Strom entgegen, um seine Herde zu schützen. Trotzdem fielen alle Tiere der Lava zum Opfer. Ihre Skelette fand man später in einem Lava-Abdruck wieder.

### **Vesuv (Italien)**



Blick über die Ruinen von Pompeji auf den Vesuv

Die erste ausführlich dokumentierte vulkanische Katastrophe ist der Ausbruch des Vesuv 79 n. Chr. Der Bericht des Römers Plinius der Jüngere ist bis heute eine eindrucksvolle und schaurige Lektüre geblieben. Die Städte Pompeji und Herculaneum am Fuße des Vesuv wurden unter meterdicken Ascheströmen begraben. Aus heutiger Sicht ein unschätzbare archäologischer Schatz.

### **Stromboli (Liparische Inseln, Italien)**



Rauch steigt am 2.1.2003 von der Stelle auf, an der ein Lavastrom des Stromboli ins Meer rinnt

Der 900 m hohe Stromboli ist einer der aktivsten Vulkane der Welt. Er wird auch der Leuchtturm des Mittelmeeres genannt. Vom Grund des Tyrrhenischen Meeres beträgt seine Höhe 3.000 Meter. Seit 2.000 Jahren wird eine kontinuierliche vulkanische Tätigkeit verzeichnet. Das letzte Todesopfer war 1986 zu beklagen: Ein Biologe wurde am Kraterrand von einer vulkanischen Bombe getötet. Anfang Januar 2003 kam es zu stärkeren Eruptionen, die sogar Erdbeben auslösten.

### **Die Dauner Maare (Eifel, Deutschland)**



Blick auf das Weinfelder Maar in der Eifel

Die Dauner Maare entstanden vor 10.450 Jahren am Ende der letzten Eiszeit. Ein Maar bildet sich, wenn aufsteigendes Magma auf eine wasserreiche Gesteinszone trifft. Im Bereich des Explosionsherds entsteht dann ein Hohlraum und das Gestein darüber bricht ein. So bildet sich ein kegelförmiger Maartrichter, der sich mit Grundwasser füllt. Die kreisrunden Explosionstrichter der Maare sind typisch für das Landschaftsbild der Vulkaneifel.

### **Eldfell (Insel Heimaey, Island)**



Glühende Lava wird aus dem Eldfell-Vulkan in die Luft geschleudert

Am 23. Januar 1973, kurz vor 2 Uhr morgens, begann auf der Insel Heimaey eine der verheerendsten Eruptionen in der Geschichte Islands. Nur 400 m von den Häusern entfernt trat aus einer Spalte Feuer aus. Alle Bewohner wurden sofort evakuiert. Im Verlauf der nächsten fünf Monate entströmten dem Vulkan 230 Mio. m<sup>3</sup> Lava, die insgesamt 417 Häuser zerstörte. Der Lavastrom hat die Insel Heimaey um 13,5 km<sup>2</sup> vergrößert.

### **Laki (Island)**

Der Ausbruch des Laki auf Island im Jahre 1783 hatte dramatische Folgen. Der Viehbestand wurde fast völlig ausgelöscht, nachdem die Tiere das Gras gefressen hatten, das durch Gase und "Haare der Madame Pele" kontaminiert war. Dies führte zu einer Hungersnot, bei der mehr als 10.000 Menschen ums Leben kamen.

### Mount St. Helens (USA)



Luftaufnahme des Mount St. Helens vom 24.5.1980

Nach einer Ruhephase von 123 Jahren kollabierte im Mai 1980 der Nordhang des 2.550 m hohen Mount St. Helens. Die plötzliche Druckentlastung setzte eine gewaltige Asche-Eruption frei. Ein Tal von 62 km<sup>2</sup> wurde mit Asche und Gesteinsmassen angefüllt. Der Ausbruch dauerte neun Stunden und kostete den Vulkan rund 400 m Höhe. Die Katastrophe hinterließ ein weites Areal von verschlammten Flussbetten, umgeknickten Bäumen, zerstörten Straßen und verschütteten Gebäuden.

### Paricutin (Mexiko)

An einem Morgen des Jahres 1943 wurden die Bauern des Dorfs Paricutin von einer Rauchsäule aufgeschreckt, die mitten auf ihrem Feld aufstieg. Dort, wo damals das Dorf stand, wuchs bis 1952 ein 336 m hoher Vulkankegel in den Himmel. Auf einer Fläche von 10 km<sup>2</sup> flossen 1,4 km<sup>3</sup> Lava aus. Es wurde niemand getötet, aber das ehemalige Dorf Paricutin ist heute ein Vulkan.

### El Chichon (Mexiko)

Der Ausbruch des 1.060 m hohen El Chichon Ende März 1982 war zwar nicht besonders stark, aber dabei wurde eine ungewöhnlich große Menge vulkanischer Asche und Gase in die Stratosphäre entlassen. Die Aschewolke trieb in Richtung Westen. Am 19. April hatte sie Afrika erreicht und schon am 26. April einmal die Welt umrundet.



In der Nacht zum 14. November 1985 überrollte eine riesige Lawine aus Schlamm, Steinen, Wasser und Asche die Stadt Armero

### Nevado del Ruiz (Kolumbien)

Am 13. November 1985 spie der 5.321 m hohe Nevado del Ruiz heiße Asche und Glutwolken in den Himmel. Die eher kleine Eruption brachte aber gewaltige Mengen der 25 km<sup>2</sup> großen Eiskappe der Gipfelregion zum schmelzen. Das Schmelzwasser vermischte sich mit der angesammelten Asche zu heißen Schlammströmen. Diese schossen strahlenförmig mit einer Geschwindigkeit von 30-35 km/h in die Täler hinab. Als sie in die mehr als 60 km entfernten Siedlungen hineinbrachen, starben 25.000 Menschen.

Carl Grevener

## Lesetipps

### **"Vulkanismus; Naturgewalten, Klimafaktor und kosmische Formkraft"**

Sehr gutes Buch mit wissenschaftlichem Anspruch, kommt aber mit wenig Fachchinesisch aus. Ein kompletter Überblick über die verschiedenen vulkanischen Erscheinungsformen auf unserem Planeten und in unserem Sonnensystem. Geeignet für Leser, die den Stoff Vulkanismus weiter vertiefen wollen.

Autor: Hans Pichler et. al.

Verlagsangaben: Spektrum Akademische Verlagsgesellschaft, ISBN: 3922508324

Sonstiges: Broschiert, 207 Seiten, Preis ca. 29,00 Euro

### **"Vulkanismus"**

Autor: Hans-Ulrich Schmincke

Verlagsangaben: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, ISBN: 3534141024

Sonstiges: Gebunden, 264 Seiten, Preis ca. 39,90 Euro

### **"Geo-Infoband Vulkaneifel"**

Das Buch gibt einen sehr umfangreichen Überblick über die erdgeschichtliche Entwicklung der Eifel. Detailreiche Skizzen veranschaulichen geologische Prozesse und zahlreiche Farbfotos zeigen die verschiedenen geologischen Erscheinungsformen der Eifel.

Autor: Dr. Iradj Eschghi

Verlagsangaben: vdd Benedikt Schmitz & Co. KG Daun, ISBN: 3000046151

Sonstiges: 218 Seiten, Erscheinungsjahr 2002

### **"Wallenborn, Werden und Wandel eines Eifeldorfes"**

Alles über die Gemeinde Wallenborn. Ein "Wir über uns", in dem ausschließlich die Menschen von Wallenborn über ihr Dorf, die Geschichte, die Umgebung und die Pflanzen- und Tierwelt der Umgebung schreiben. Sehr interessant sind die zahlreichen historischen Aufnahmen und alte Geschichten aus der Region.

Autor: Ortsgemeinde Wallenborn

Verlagsangaben: Weiler Verlagsdruckerei, Bitburg

Sonstiges: 251 Seiten, Erscheinungsjahr 1998

## Linktipps

Zu "Vulkanen allgemein"

Eine schöne Vulkan-Einsteigerseite – besonders für Schüler!

**[www.vulkane.net](http://www.vulkane.net)**

Alles, was man über Vulkane wissen muss.

**[www.vulkanismus.de](http://www.vulkanismus.de)**

Kurze aber kompetente Einführung in den extra-terrestrischen Vulkanismus

**[www.iml.rwth-aachen.de/Petrographie/lektion8/\\_vulk8a.htm](http://www.iml.rwth-aachen.de/Petrographie/lektion8/_vulk8a.htm)**

NASA-Seite mit Satellitenbildern von Vulkanen

**[www.jpl.nasa.gov/images/earth/volcano/index.html](http://www.jpl.nasa.gov/images/earth/volcano/index.html)**

Klassifikation der vulkanischen Förderprodukte

**[www.uni-muenster.de/MineralogieMuseum/vulkane/Vulkan-10.htm](http://www.uni-muenster.de/MineralogieMuseum/vulkane/Vulkan-10.htm)**

Zu "Vulkanen und Klima"

Diskussion: Vulkanausbrüche contra Treibhauseffekt

**[www.uni-tuebingen.de/uni/qvo/at/attempto13/text13/at13\\_topo5.html](http://www.uni-tuebingen.de/uni/qvo/at/attempto13/text13/at13_topo5.html)**

NASA-Seite zu vulkanischen Schwefelaerosolen

**<http://terra.nasa.gov/FactSheets/Aerosols/>**

Zu "Vulkanismus in der Eifel"

Seite des Eifel-Vulkanmuseums Daun (deutsch):

**[www.vulkaneifel.de](http://www.vulkaneifel.de)**

Touristikinformationen über die Eifel (deutsch):

**[www.daun.de](http://www.daun.de)**

Zu "Stromboli"

Stromboli&Co, News und Fakten rund um Vulkane

**[www.educeth.ch/stromboli/index-en.html](http://www.educeth.ch/stromboli/index-en.html)**

Web-Cams vom Stromboli (englisch):

**[www.stromboli.net](http://www.stromboli.net)**

**Impressum:**

Herausgegeben  
vom Westdeutschen Rundfunk Köln

Verantwortlich  
Quarks & Co, Daniele Jörg

Redaktion  
Daniele Jörg

Autoren  
Carl Greverer  
Jakob Kneser  
Wolfgang Meschede  
Anahita Parastar  
Jo Siegler

Gestaltung  
Designbureau Kremer & Mahler  
Grafik: Werner Cechura, Elke Baulig

Bildrechte:  
Alle: © WDR  
Ausser: S.14 - S.18 © dpa

© WDR 2003