

WDR

Fernsehen



Quarks&Co

Westdeutscher Rundfunk Köln
Appellhofplatz 1
50667 Köln

Tel.: 0221 220-3682
Fax: 0221 220-8676

E-Mail: quarks@wdr.de
www.quarks.de

Dienstags um 21.00 Uhr im
WDR Fernsehen

Vulkane – *faszinierend und bedrohlich*

Quarks&Co

RUNDFUNK-
GEBÜHREN
FÜR GUTES
PROGRAMM.

Skript zur WDR-Sendereihe *Quarks & Co*



Inhalt

Vulkane – faszinierend und gefährlich

- 4 Tödliche Gewalt

- 8 Ring of Fire

- 11 Vorbereitung auf den großen Knall

- 15 Spurensuche am Vulkan

- 18 Das Jahr ohne Sommer

- 21 Tod aus der Tiefe

Auf der Erde gibt es etwa 1.500 aktive Vulkane. Rund 50 von ihnen brechen jedes Jahr aus, die anderen *schlafen*. Das heißt nicht, dass sie inaktiv sind. Wissenschaftler können auch bei diesen Vulkanen Aktivitäten wie Erdbeben oder Bodenverformungen feststellen. Die Ruhephasen dieser Vulkane können Hunderte oder Tausende von Jahren dauern. Das Bedrohliche daran: Je länger der Schlaf dauert, desto gewaltiger ist das Erwachen. Solche Vulkanausbrüche können dann zu Katastrophen führen, wenn besonders viele Menschen in ihrer unmittelbaren Umgebung leben.

Herausgeber: Westdeutscher Rundfunk Köln; **Verantwortlich:** Öffentlichkeitsarbeit; **Text:** Elmar Bartlmae, Carsten Binsack, Jakob Kneser, Frank Nischk, Silvio Wenzel; **Redaktion:** Claudia Heiss; **Copyright:** wdr, Februar 2009; **Gestaltung:** Designbureau Kremer & Mahler, Köln

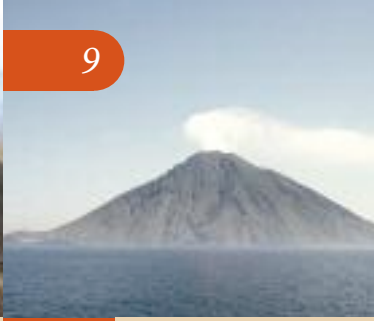
Bildnachweis: alle Bilder Freeze wdr 2008 **außer:** S. 3 l. – Rechte: picture-alliance / dpa, S. 3 r. – Rechte: picture-alliance / dpa, S. 4 l. – Rechte: picture-alliance / dpa, S. 4 r. – Rechte: AKG, S. 11 – Rechte: Wikipedia / Commons, S. 19 r. – Rechte: dpa

■ Weitere Informationen, Lesetipps und interessante Links finden Sie auf unseren Internetseiten. Klicken Sie uns an: www.quarks.de



10

Kilauea



9

Stromboli



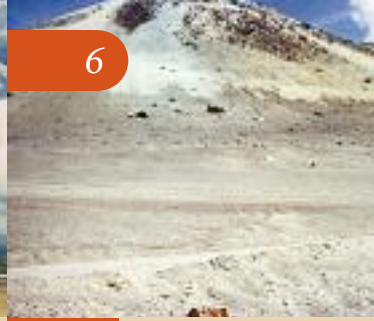
8

Mount St. Helens



7

Pinatubo



6

Nevado del Ruiz



5

Mont Pelée

Tödliche Gewalt

Die Top Ten der spektakulärsten Vulkane

Oft brechen *schlafende* Vulkane nach einer sehr langen Ruhephase aus. Wie gefährlich ein Vulkanausbruch ist, hängt einmal von seiner Zerstörungskraft ab, aber auch davon, wie viele Menschen im Umkreis des Vulkans leben oder sich aufhalten. Um so mehr Menschen, um so verheerender die Folgen.

Quarks & Co hat die gefährlichsten und bedrohlichsten Vulkanausbrüche der vergangenen 200 Jahren zusammengestellt.

10 – Kilauea, Hawaii (USA)

Der Dauerbrenner. Seit Januar 1983 spuckt der Vulkan regelmäßig rotglühende Lavafontänen und Lavaströme aus. Der Kilauea gehört zu den flachen Vulkanen, den sogenannten Schildvulkanen. Langsam und kontinuierlich ergießt sich die Lava die flachen Hänge herab. Explosiv ist der Kilauea aber nicht. Trotz seiner Daueraktivität sind keine Menschen in Gefahr – denn auf Hawaii leben die Inselbewohner in gebührendem Abstand zum Vulkan. Der Kilauea erreicht deshalb auf der *Quarks-Liste* der gefährlichsten Vulkane der Erde Platz 10!

9 – Stromboli, Italien

Der 900 Meter hohe Vulkan ist einer der aktivsten Vulkane der Welt. Er wird auch der Leuchtturm des Mittelmeers genannt. Seit 2.000 Jahren ist der Vulkan kontinuierlich aktiv. Mehrfach in der Stunde spuckt der Vulkan heiße Lava nach außen. Der Stromboli ist eine Attraktion und die Gefahr auf der Touristeninsel ist kalkulierbar. Das letzte Todesopfer gab es 1986: Ein Biologe wurde am Kraterrand von einer vulkanischen Bombe, einem herausgeschleuderten Lavafetzen, getötet. Da wenig Menschen in seiner Gefahrenzone leben, kommt der Stromboli trotz seiner großen Aktivität auf Platz 9!

8 – Mount St. Helens, USA

Er gehört zu den kegelförmigen, hohen Schichtvulkanen – gefürchtet für ihre explosiven Ausbrüche. Nach einer Ruhephase von 123 Jahren brach 1980 der Nordhang des 2.550 Meter hohen Mount St. Helens in sich zusammen. Die plötzliche Druckentlastung setzte eine gewaltige Aschewolke frei. Der Ausbruch dauerte neun Stunden

und kostete den Vulkan rund 400 Meter Höhe. Die Katastrophe hinterließ ein weites Areal von verschlammten Flussbetten, umgeknickten Bäumen, zerstörten Straßen und verschütteten Gebäuden. Zum Zeitpunkt des Ausbruchs besuchten glücklicherweise, nicht wie sonst, viele Touristen die Landschaft rund um den Berg. Trotzdem starben 57 Menschen. In Sachen Gefährlichkeit also Platz 8 für den Mount St. Helens.

7 – Pinatubo, Philippinen

Im Juni 1991 kam es zu einem der heftigsten Vulkanausbrüche des 20. Jahrhunderts – nach einer 611-jährigen Ruhezeit. Insgesamt wurde durch die Eruption ungefähr zehn Kubikkilometer Material ausgeworfen. Die Gefahr wurde aber frühzeitig erkannt: Etwa 60.000 Menschen konnten rechtzeitig aus den gefährdeten Zonen evakuiert werden. Trotzdem starben Hunderte. Der Vulkan hinterließ eine Spur der Verwüstung. Unzählige Menschen verloren durch den Ausbruch ihre Lebensgrundlage. Es hätte noch schlimmer ausgehen können, daher landet der Pinatubo in der *Quarks-Liste* auf Platz 7.

6 – Nevado del Ruiz, Kolumbien

Es war einer der Vulkanausbrüche, die im 20. Jahrhundert überraschend viele Opfer forderten: 1985 spie der 5.321 Meter hohe Nevado del Ruiz heiße Asche und Glutwolken in den Himmel. Die eher kleine Eruption brachte aber gewaltige Mengen der großen Eiskappe der Gipfelregion zum Schmelzen. Das Schmelzwasser vermischte sich mit der angesammelten Asche zu heißen Schlammströmen, die in die Täler hinabschossen. Als sie in die mehr als 60 Kilometer entfernten Siedlungen und die Stadt Armero hineinbrachen, starben 25.000 Menschen: Platz 6.

5 – Mont Pelée, Martinique

Auch auf der französischen Karibikinsel kam der Ausbruch des Mont Pelée im Jahr 1902 für die Inselbewohner völlig überraschend. Die Vorzeichen des Ausbruchs wurden ignoriert. Die sieben Kilometer entfernt liegende Inselhauptstadt Saint-Pierre, das *Paris der Karibik*, wurde bei dem Ausbruch in kürzester Zeit vollständig vernichtet.

Tödliche Gewalt



4

Krakatau



3

Tambora



2

Merapi



1

Vesuv

Tödliche Gewalt

Bei der gewaltigen Explosion starben 29.000 Menschen. Der Ausbruch forderte die meisten Todesopfer im 20. Jahrhundert durch einen Vulkanausbruch. Auf der *Quarks-Skala* kommt der Mont Pelée deshalb auf Platz 5.

■ 4 – Krakatau, Indonesien

1883 schleuderte der Vulkan Asche und Gestein bis in eine Höhe von 50 Kilometern in die Erdatmosphäre. Dabei wurde nahezu die gesamte Vulkaninsel Krakatau zerstört, rund 35.000 Menschen starben durch eine Flutwelle. Der Ausbruch des Krakatau hatte globale Auswirkung: Ein ungewöhnlich kühler und verregneter Sommer mit katastrophalen Missernten war die Folge. Deshalb Platz 4 auf der *Gefährlichkeits-Skala*.

■ 3 – Tambora, Indonesien

Der stärkste Ausbruch der Neuzeit bzw. der letzten 20.000 Jahre ereignete sich 1815, als der Tambora auf der indonesischen Insel Sumbawa

ausbrach. Dabei wurden etwa 100 Kubikkilometer Material in die Atmosphäre geschleudert. 12.000 starben direkt durch den Ausbruch. Doch der Ausbruch hatte auch tiefgreifenden Einfluss auf das Weltklima. Das Jahr 1816 ging in die Geschichte als *Jahr ohne Sommer* ein. Es war das kälteste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnung. In Teilen der nördlichen Erdhalbkugel, vor allem in Zentraleuropa, kam es durch Missernten zu schlimmen Hungersnöten, an denen unzählige Menschen starben – Schätzungen gehen von rund 80.000 Opfern aus. Für den Tambora mit seiner enormen Zerstörungskraft und den unzähligen folgenden Todesopfern – Platz 3!

■ 2 – Merapi, Indonesien

Auf den dicht besiedelten indonesischen Inseln gibt es besonders viele Vulkane. Der Merapi gilt heute als gefährlichster und aktivster Vulkan. Alle drei bis vier Jahre kommt es zu Ausbrüchen, die immer wieder Todesopfer fordern. 1930 starben bei einem Ausbruch über 1.300 Menschen. Auch im Sommer 2006 drohte eine Eruption.

Doch diesmal blieb es bei Erdbeben und heißen Gas- und Aschewolken. Der Vulkan beruhigte sich wieder. Die dicht besiedelten Gebiete blieben verschont – pro Quadratkilometer leben hier mehr als 600 Menschen. Wegen der vielen Menschen, die bei einem Ausbruch in Gefahr sind, hätte eine gewaltige Eruption hier verheerende Folgen: Platz 2.

■ 1 – Vesuv, Italien

Seit über 50 Jahren schläft der Vulkan. Doch das Gebiet rund um den Vesuv gehört zu den am dichtesten besiedelten Vulkangebieten. In der Gefahrenzone leben und arbeiten rund drei Millionen Menschen.

Wie zerstörerisch der Vesuv sein kann hat er in der Vergangenheit mehrfach gezeigt: Im Jahre 1775 vor Christus richtete die sogenannte Avellino-Eruption eine enorme Zerstörung an, wesentlich größer als der berühmte Ausbruch im Jahr 79 nach Christus, bei dem die Städte Pompeji und Herculaneum vernichtet wurden.

Auch die späteren heftigen Ausbrüche nach Christus forderten immer wieder Tausende von Menschenleben.

Dass hier rund drei Millionen Menschen auf einem Pulverfass sitzen, macht den Vesuv heute zu einem der gefährlichsten Vulkane der Erde – nirgendwo sonst leben mehr Menschen in der Todeszone. Platz 1.



Links:
Vulkanismus – eine Erdplatte schiebt sich unter ihre benachbarte Platte

Mitte:
Vulkan am Meeresgrund – Der mittelozeanische Rücken

Rechts:
Vulkanismus an einem Hotspot: das Magma bohrt sich wie ein Schweißbrenner nach oben

Ring of Fire

Wie Vulkane entstehen, aussehen und wie sie ausbrechen

Die Erdkruste ist keine feste, durchgehende Hülle, sondern sie besteht aus vielen großen und kleinen Stücken: den sogenannten Erdplatten. Der Motor für den Vulkanismus sind die Kräfte der sogenannten Plattentektonik. Es gibt kontinentale und ozeanische Platten. Sie treiben wie Eisschollen auf ihrer weichen Unterlage und bewegen sich mit zwei bis zehn Zentimetern pro Jahr vorwärts. Vulkane entstehen meist an den Nahtstellen dieser Platten. Wenn sie zusammenstoßen, wird eine Platte in die heißen Schichten des Erdmantels hinabgeschoben. Wegen des großen Drucks und der höheren Temperatur schmilzt das Gestein der unteren Platte und sinkt bis in den darunterliegenden Erdmantel ab. Das verflüssigte Gestein, also Magma, steigt dann aber in Richtung Erdkruste auf, weil es leichter ist als das umliegende kompakte Gestein. Innerhalb der Erdkruste sammelt sich das Magma schließlich in einer Kammer. Der Druck in der Magmakammer steigt, bis das Magma die Erdkruste durchbricht. So bildet sich ein Vulkan – an einer sogenannten *Subduktionszone* (Subduktion = Unterschiebung).

■ Mittelozeanische Rücken – Gebirge unter dem Meer

Vulkane können aber auch anders entstehen. Die Platten, die an einer Stelle, den Subduktionszonen, zusammenstoßen, ziehen oder brechen nämlich an anderer Stelle auseinander. Dort entstehen Risse, in die Magma einfließt. Der Vulkan gleicht hier einer langen Spalte. Diese Nahtstelle an den auseinanderdriftenden, ozeanischen Plattengrenzen nennt man *Mittelozeanische Rücken*, weil sich dort ein unterseeisches Gebirge aus erkalteter Lava bildet. Die Vulkane, die an den Plattengrenzen, sowohl an den Subduktionszonen als auch an den Zonen der Mittelozeanischen Rücken, entstehen, bilden eine Art Feuerring. Mehr als 90 Prozent aller Vulkane liegen an den Plattenrändern.

■ Hotspot – wie ein Schweißbrenner

Es gibt auch Vulkane, die innerhalb einer Erdplatte liegen. Sie entstehen an Stellen, wo sich die Platte über einen sogenannten *Hotspot* – eine größere

Ansammlung von heißem Magma – hinweg bewegt. An einigen Stellen bahnt sich das Magma wie ein Schweißbrenner einen Weg durch die Erdkruste und lässt Vulkane entstehen. Die Lava eines so entstandenen Vulkans enthält jedoch wenig Wasserdampf und ist deshalb nicht sehr explosiv. Da sich die Erdplatten über diese sogenannten *Hotspots* hinwegbewegen, entsteht eine ganze Vulkankette, bei der immer nur die jüngsten Vulkane aktiv sind. Ein solcher typischer Hotspot ließ zum Beispiel die Hawaii-Inselkette entstehen.

■ Schildvulkan – ruhig und sanft

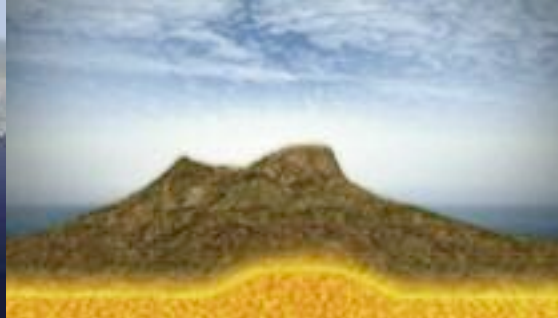
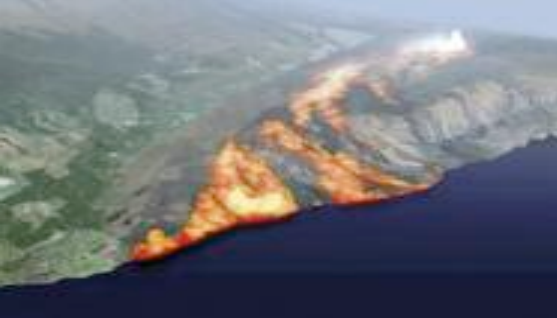
Entscheidend für die Art des Ausbruchs eines Vulkans ist die Viskosität, das heißt die Zähigkeit seines Magmas. Bei den Hawaii-Vulkanen, wie dem Kilauea, ist das Magma sehr dünnflüssig. Die darin enthaltenen Gase können deshalb leicht aus dem Krater entweichen. Solche Vulkane erzeugen langanhaltende, weit fließende, sehr heiße Lavaströme. Diese sind aber relativ langsam, da sie

ungehindert aus dem Krater herausquillen können. Solche Ausbrüche nennt man effusiv. Die Vulkane, die dabei entstehen, sind nicht sonderlich hoch. Sie gleichen eher flachen Hügeln oder liegenden Schilden. Deshalb spricht man bei diesem Vulkantyp von Schildvulkanen. Schildvulkane, wie sie etwa auf Hawaii vorkommen, sind nur selten explosiv. Sie sind eher dauerhaftiv.

■ Schichtvulkan – mit aller Gewalt

Der zweite Typ von Vulkanen, zu dem auch der Vesuv gehört, ist wesentlich bedrohlicher. Es sind hohe, kegelförmige Vulkane, die aus abwechselnden Schichten von Lava und lockeren vulkanischen Partikeln aufgebaut sind. Daher spricht man auch von Schichtvulkanen. Wenn solch ein Vulkan ausbricht, kann es Explosionen geben, die Asche, Gase und Gestein über weite Strecken schleudern. Das passiert, wenn in tiefen Regionen des Erdmantels ein sehr dichtes und zähflüssiges Magma abgeschmolzen wird, das einen hohen Anteil an Kieselsäure hat. Es steigt auf in Richtung Erdkruste

Ring of Fire



Links:
Beim Schildvulkan fließen die Lavaströme langsam an den flachen Hängen herab

Mitte:
Ein typischer Schildvulkan: vor einem explosiven Vulkanausbruch staut sich Druck in der Magmakammer auf

Rechts:
Die Überreste von Pompeji am Fuß des Vesuvus

Ring of Fire

Vorbereitung auf den großen Knall

Katastrophenszenarien am Vesuv

Vorbereitung...

te, weil es leichter ist als das umliegende kompakte Gestein. Unmittelbar unter der obersten Krustenschicht, unserem Erdboden, sammelt es sich in einer Kammer. Diese Magmakammer ist nach oben durch Gestein von früheren Ausbrüchen verstopft. Das aufsteigende Magma drückt dagegen. Wenn der Druck zu groß wird, sprengt er den Pfropfen in einer großen Explosion weg.

Die Explosivität der Schichtvulkane steigert sich noch um ein Vielfaches, je mehr Wasser im Spiel ist. Wenn wasserreiches Gestein durch die Verschiebung der Platten bis in eine bestimmte Tiefe vorgeschoben wurde, beginnt ein Schmelzprozess, bei dem auch das mineralisch gebundene Wasser wieder freigesetzt wird. Im Magma bilden sich Blasen von Wasserdampf, die einen enormen Innendruck aufbauen können. Denn wenn Wasser gasförmig wird, hat es die Eigenschaft, sich enorm auszudehnen. Aus einem Liter Wasser werden 1.244 Liter Dampf. Wenn der Druck zu groß wird, wirkt das verdampfende Wasser im Magma wie Sprengstoff, der dann im Innern des Vulkans das Gestein zerreißt. Es kommt zu einer gewaltigen Explosion mit einem hohen zerstörerischen Potenzial.

■ Besonders starke Zerstörungskraft

Neben den Gesteinsbrocken, der Lava und der Asche, die bei einer explosiven Eruption aus dem Vulkan geschleudert werden, gehen besondere Gefahren von den sogenannten pyroklastischen Strömen aus. Sie entstehen, wenn bei einem explosiven Vulkanausbruch eine Menge von Lavafetzen und festen Bestandteilen aus dem Vulkan in einer Eruptionswolke mit in die Höhe gerissen werden. Eine solche Glutwolken-Säule kann kilometerhoch sein, bis ein Teil dieser Eruptionswolke unter ihrem eigenen Gewicht zusammenbricht. Das Gemisch aus Lavabrocken, Asche und glühender Lava rast dann als pyroklastischer Strom den Vulkanhang abwärts. Im Inneren des Stroms herrschen dann Temperaturen bis zu 700 Grad Celsius. Solch ein Strom kann mehrere Hundert Stundenkilometer schnell werden und Entfernungen bis zu 100 Kilometern zurücklegen. Das gefährliche an pyroklastischen Strömen ist, dass sie fast geräuschlos sind. Bei Nebel oder in der Dunkelheit sind sie fast nicht wahrnehmbar. Diese zerstörerischen Glutwolken waren es auch, die bei dem Ausbruch des Vesuvus 79 nach Christus die Menschen in Pompeji überrollten und verbrannten.

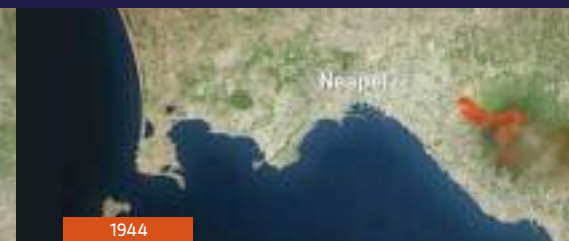
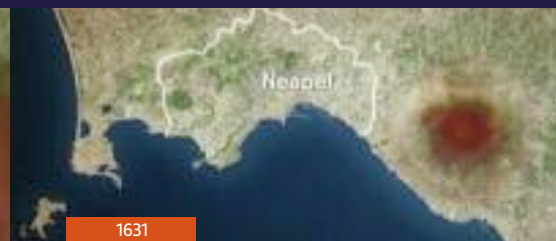
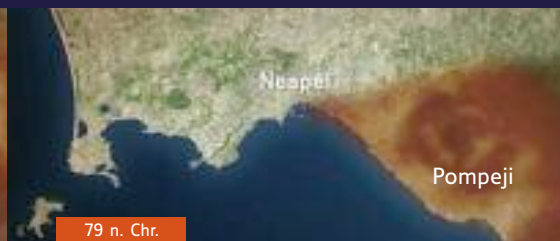
Zurzeit ist er nicht aktiv – erloschen ist der Vesuv deshalb aber noch lange nicht. Was in ihm steckt, zeigte der Vulkan zuletzt im März 1944: Lavaströme zerstörten damals zwei Dörfer am Nordhang des Vesuvus, etwa zwanzig Menschen starben. Und trotzdem: Dieser Ausbruch des Vesuvus gilt als eher harmlos.

Seine wahre Zerstörungskraft demonstrierte der Vulkan zweitausend Jahre früher, im Jahr 79 nach Christus. Diese sogenannte ▶ **plinianische Eruption** war ein explosiver Ausbruch, der eine Wolke aus Gas, Lavatropfen und Asche dreißig Kilometer hoch in die Stratosphäre schleuderte. Ein Regen aus Bimsstein, Asche und erstarrten Magmafetzen verhinderte die Flucht der Menschen und zerstörte Dächer und Häuser. Zur tödlichen Gefahr wurden glühend heiße Gas- und Aschelawinen, sogenannte pyroklastische Ströme, die innerhalb von Sekunden alles Leben auslöschten.

▶ **Plinianische und subplinianische Eruption**

Der Begriff **plinianisch** bezeichnet einen bestimmten, explosiven Typ von vulkanischem Ausbruch. Explosive Ausbrüche von geringerer Stärke werden als **subplinianische** Ausbrüche bezeichnet.

Die Begriffe leiten sich ab vom römischen Schriftsteller Plinius dem Jüngeren, der den Vesuv-Ausbruch des Jahres 79 nach Christus als Augenzeuge erlebt und beschrieben hat. Der Begriff **plinianisch** beschreibt einen vulkanischen Ausbruchs-Typ, für den die Eruption aus dem Jahr 79 typisch ist. Ein plinianischer Ausbruch ist gekennzeichnet durch eine sehr heftige Explosion in Folge einer bestimmten Zusammensetzung des Magmas. Hauptkennzeichen ist eine Eruptionssäule aus vulkanischen Gasen, Asche und festen Partikeln, die bis zu 60 Kilometer in die Stratosphäre steigen kann. Wenn diese Eruptionssäule in sich zusammenfällt, kommt es zu den extrem gefährlichen pyroklastischen Strömen. Plinianische Eruptionen sind in Bezug auf die freigesetzte Energie die stärksten vulkanischen Eruptionen. Bekannte plinianische Ausbrüche sind neben dem Vesuv-Ausbruch im Jahr 79 die Ausbrüche des Mount St. Helens, des Pinatubo oder des Krakatau.



Vorbereitung auf den großen Knall

Eine Serie ▶ **pyroklastischer Ströme** begrub die Städte Pompeji und Herculaneum unter einer meterdicken Schicht aus Asche, Schlamm und Bimsstein.

▶ **Pyroklastische Ströme**

Pyroklastische Ströme (von griechisch pyr = feuer und klásis = zerbrechen) sind die zerstörerischsten Phänomene des explosiven Vulkanismus. Sie entstehen, wenn die oft mehrere Kilometer hohe Eruptionssäule aus vulkanischen Gasen und festen Partikeln bei explosiven (plinianischen) Ausbrüchen in sich zusammenfällt. Aus der kollabierenden Eruptionssäule entstehen lawinenartige Ströme, die sich mit hoher Geschwindigkeit die Flanken des Vulkans hinab bewegen. Diese pyroklastischen Ströme, bestehend aus Gas, Lavatröpfchen und Gesteinspartikel, werden bis zu 700 Grad Celsius heiß und bis zu mehrere Hundert Stundenkilometer schnell. Die enorme Hitze entsteht dadurch, dass ein Großteil der vulkanischen Gase im Kontakt mit dem Sauerstoff der Luft verbrennt. Pyroklastische Ströme können Entfernungen bis zu 100 Kilometern zurücklegen und mächtige Ablagerungen hinterlassen.

■ **Der Vesuv-Ausbruch von 1631**

Ohne allzu viel Fantasie lässt sich ausmalen, welche katastrophale Folgen ein Ausbruch wie der von Pompeji heute hätte – in einem Gebiet, das inzwischen um ein Vielfaches dichter besiedelt ist als vor zweitausend Jahren. Anders als damals werden die Menschen heute der Katastrophe allerdings nicht unvorbereitet gegenüberstehen. Der italienische Zivilschutz hat Notfallpläne erstellt, die regeln, was im Fall eines angekündigten Ausbruchs zu geschehen hat. Das Ausbruchs-Szenario, von dem die Katastrophenschützer dabei ausgehen, ist allerdings keine Explosion wie in Pompeji, sondern ein sogenannter subplinianischer Ausbruch von der Stärke, wie er sich zuletzt im Jahr 1631 ereignet hat. Dieser Ausbruch des Vesuvus war zwar nicht so verheerend wie der von Pompeji, aber zerstörerisch genug: Etwa 4.000 Menschen sollen dabei ums Leben gekommen sein. Pyroklastische Ströme verwüsteten damals vor allem ein Gebiet fünf bis zehn Kilometer um den Krater. Die Stadt Neapel blieb bei diesem Ausbruch allerdings verschont.

■ **Kritik am Katastrophenplan**

Die Evakuierungspläne des italienischen Zivilschutzes konzentrieren sich in Anlehnung an den Ausbruch von 1631 auf ein Gebiet in einem Radius von fünf bis sechs Kilometern um den Krater des Vesuvus, die sogenannte *rote Zone*. Sie besteht aus 18 Gemeinden, in denen etwa 550.000 Personen leben. Vorrangiges Ziel der Katastrophenschützer ist es, die dort lebende Bevölkerung vor pyroklastischen Strömen, die während eines Ausbruchs entstehen, in Sicherheit zu bringen. Die Bewohner der *gelben Zone*, die vor allem den Großraum Neapel umfasst, sollen laut Notfallplan zunächst abwarten, wie sich der Ausbruch entwickelt. Doch es gibt Kritik am Katastrophenplan der Regierung. Erhoben wird sie vor allem vom Vulkanologen Guiseppa Mastrolorenzo am Vesuv-Observatorium in Neapel, der sich seit Jahren mit verschiedenen Ausbruchs-Szenarien des Vesuvus beschäftigt. Kernpunkt seiner Kritik: Es gibt keinen Grund, einen zukünftigen explosiven Ausbruch wie den von 79 nach Christus für weniger wahrscheinlich zu halten als einen subpliniani-

schen wie den von 1631. Die Notfallpläne sollten sich an der schlimmsten anzunehmenden Katastrophe orientieren.

■ **Der schlimmste Ausbruch des Vesuvus**

Die schlimmste anzunehmende Katastrophe ist für den Vulkanologen Mastrolorenzo ein Ausbruch, der sogar noch heftiger war als der Ausbruch, der Pompeji und Herculaneum zerstörte. Eine solche Eruption hat sich um das Jahr 1775 vor Christus, in der Bronzezeit, ereignet. Mastrolorenzo und seine Forschungsgruppe haben diese sogenannte Avellino-Eruption sorgfältig rekonstruiert. Damals stieg die Gas- und Aschesäule bis zu 40 Kilometer in den Himmel. Der Ausbruch schleuderte vier Milliarden Kubikmeter vulkanisches Material in die Atmosphäre, das sich in meterdicken Schichten noch 15 Kilometer entfernt abgelagerte. Pyroklastische Ströme rasten mit einer Geschwindigkeit von bis zu 700 Kilometer in der Stunde in die Ebene Kampaniens. Würde solch ein Ausbruch heute geschehen, würden die pyroklastischen Ströme



Links:
Neapel ist bisher nicht Teil der roten Zone

Mitte:
Im Vesuv-Observatorium in Neapel werden die Vulkane Vesuv und Solfatara rund um die Uhr überwacht

Rechts:
Vulkanausbrüche kündigen sich durch eine Vielzahl von Erdbeben an



Vorbereitung...

auch den Großraum Neapel erreichen und einen Großteil der Stadt zerstören. Noch zehn Kilometer vom Krater entfernt würde der gewaltige Aufprall dieser glühend heißen Lawinen nach den Berechnungen Mastrolorenzos selbst Gebäude aus Stahlbeton zerstören. Vor allem aber wäre das Leben von drei Millionen Menschen im Großraum Neapel unmittelbar gefährdet.

■ Vollständige Evakuierung zu teuer?

Käme es heute zu einem Ausbruch in der Stärke von Avellino, wäre vor allem in Neapel eine Katastrophe vorprogrammiert. Mastrolorenzo fordert daher, die Pläne zu ändern. Vor allem müsste die rote Evakuierungs-Zone erweitert werden: Statt der bisherigen 550.000 müsste sie drei Millionen Menschen in einem Radius von mindestens zwanzig – statt der bisherigen fünf bis sechs – Kilometer um den Vulkan einbeziehen. Der Zivilschutz sieht allerdings keinen Grund, die Pläne zu ändern. Mastrolorenzo hält das für fahrlässig: „Die Regierung sollte klar sagen, dass die Entscheidung, sich an einer kleineren, subplinianischen Eruption zu orientieren, eine wirtschaftliche

Entscheidung ist, weil es schlicht und einfach zu teuer wäre, die Bevölkerung im Fall einer plinianischen Eruption zu retten.“ Ein schwerer Vorwurf, den der Vulkanologe aus Neapel erhebt. Ob er berechtigt ist, wird sich hoffentlich nicht erst dann herausstellen, wenn es bereits zu spät ist.

Spurensuche am Vulkan

Wie Vesuv und Solfatara von Forschern überwacht werden

Von außen scheint es, als sei der Vesuv erloschen. Doch der Vulkan schläft nur, in seinem Innern ist er aktiv. Nach dem gewaltigen Ausbruch von 79 nach Christus, bei der Pompeji vollkommen zerstört wurde, kam es immer wieder zu Ausbrüchen mit zum Teil katastrophalen Folgen. Seit dem letzten Ausbruch von 1944, der die am Vesuv gelegenen Dörfer San Sebastiano und Massa di Somma mit Lava überschüttete, schläft der Vulkan. Ein Stopfen aus erkaltetem Magma verschließt seinen Schlot. Dass der Vesuv aber irgendwann wieder erwachen und Asche und Lava aus seinem Krater von 700 Metern Durchmesser spucken wird, halten die Wissenschaftler durchaus für möglich. Wann das der Fall sein wird, weiß allerdings niemand. Fest steht: Wenn es zum Ausbruch kommt, sind die rund 3 Millionen Menschen, die in der Bucht von Neapel leben, in Gefahr. Deshalb wurde der Vulkan vor einigen Jahren mit einem Netz von Messinstrumenten überzogen. Sie sollen jede kleinste Regung des Vesuvs erfassen und senden ihre Informationen nach Neapel an das Vesuv-Observatorium. Hier beschäftigen sich rund 80 Forscher mit der Auswertung der Messdaten. Im Herzstück des Instituts, dem Monitor-Raum, laufen die Daten, die Auskunft über den Vulkan geben, zusammen.

■ Bebende Erde

Jeder Vulkanausbruch kündigt sich zunächst vor allem durch Erdbeben an. Sie entstehen unter und im direkten Umfeld des Vulkans, wenn Magma aus größeren Tiefen aufsteigt. Vor einem Vulkanausbruch kommt es meist zu einem regelrechten Erdbebenschwarm. Dann kann es zwischen 100 und 1.000 Beben mit ähnlicher Stärke an einem Tag geben. Mit Hilfe ▶ **seismischer Messungen** am Vulkan lassen sich die Beben beobachten. Am Vesuv können die Wissenschaftler derzeit bis zu 300 Erdbeben pro Jahr entdecken. Für die Forscher ist das ein Zeichen, dass keine unmittelbare Gefahr besteht, aber dennoch ein deutliches Signal, dass der Vulkan nicht erloschen ist.

▶ Seismologie

Die Seismologie beschäftigt sich mit dem Aufbau des Erdinneren und der Erdbebenforschung. Schon seit 100 Jahren lassen sich Erdbeben mit Hilfe von Messgeräten, sogenannten Seismometern, messen. Ein Seismometer misst die Wellen des Bebens, die von sich verschiebenden oder brechenden Gesteinsmassen ausgehen und sich über weite Entfernungen im Gestein ausbreiten.



Der Vulkan Solfatara hat eine Krater-Form und ist Teil der Phlegräischen Felder



Die Forscher nehmen Gasproben am Vulkan, um Veränderungen im Gemisch zu erkennen

Spurensuche am Vulkan

Manchmal entdecken die Wissenschaftler auch Signale, die wie Erdbeben aussehen, weil der Boden durch andere Umstände, wie beispielsweise heftiges Gewitter, erschüttert wird. Doch die Abgleichung mit einem anderen Messinstrument, einem Mikrophon, das den Schall des Gewitters aufzeichnet, schafft dann Klarheit.

Wachsende Vulkane

Es gibt noch ein weiteres Anzeichen für einen Vulkanausbruch. Wenn Magma aufsteigt und sich im Inneren des Vulkans sammelt, schwillt er allmählich an. Die Oberfläche des Vulkans dehnt sich und es entstehen Risse. Die Forscher können diese Veränderungen messen. Dazu verwenden die Wissenschaftler am Vesuv-Observatorium auch das Satellitenmesssystem **GPS**. Darüber lassen sich die Entfernungen zwischen Bodenstation und Satelliten bestimmen. Veränderungen in den Werten sagen den Wissenschaftlern, ob sich ein Vulkan hebt und aufwölbt. Beim Vesuv gab es in den vergangenen Jahren nur sehr geringe Bodenverformungen.

GPS

Die Abkürzung **GPS** steht für *global positioning system*, deutsch: *globales Positionsbestimmungssystem*. Es wurde in den 1980er-Jahren vom US-amerikanischen Verteidigungsministerium zur weltweiten Positionsbestimmung und Zeitmessung entwickelt. Seine Grundlage bildet ein System aus Satelliten, die die Erde in einer Höhe von circa 20.000 Kilometern umkreisen. Von jedem Punkt unseres Planeten und zu jedem beliebigen Zeitpunkt sind die Signale von mindestens vier GPS-Satelliten zu empfangen. Jeder Satellit strahlt charakteristische Funk-signale ab, die auch ein äußerst genaues Zeitsignal enthalten. Der Empfänger auf der Erde vergleicht die Signale der Satelliten und berechnet daraus seine Position auf der Erdoberfläche.

Doch die Forscher des Observatoriums müssen noch einen weiteren Vulkan regelmäßig im Auge behalten. Denn auf der anderen Seite von Neapel schläft ein vielleicht viel gefährlicherer Kandidat: der Vulkan Solfatara. Er ist Teil der sogenannten Phlegräischen Felde, übersetzt *brennende Felder*. Sie bilden ein Vulkanfeld von mehr als 150 Quadratkilometern. Die Forscher wissen: Vor dem letzten Ausbruch der Solfatara vor fast 500 Jahren hob sich hier der Boden durch aufsteigendes Magma gewaltig. Auch in jüngster Vergangenheit konnten die Wissenschaftler hier deutliche Bodenverfor-

mungen feststellen. Eine besonders hohe Boden-erhebung entdeckten sie Anfang der 1980er-Jahre. Insgesamt hob sich der Boden damals um drei Meter im Vergleich zu 1970. Zu einem Ausbruch kam es zum Glück nicht. Doch die Forscher sind gewarnt: Auch die Solfatara steht unter ständiger Beobachtung der Vulkanologen.

Wechselndes Gasgemisch

Neben den anderen Messmethoden nehmen die Forscher in der Solfatara vor allem auch Proben direkt am Vulkan: Gasproben, die aus kleinen Spalten, den sogenannten Fumarolen, austreten. Rund 160 Grad heiß ist das Gasgemisch, das sie in einer Lösung auffangen, um es später zu analysieren. Die Wissenschaftler müssen auf deutliche Änderungen in der Gaszusammensetzung achten. Im Labor erkennen sie dann, ob der Vulkan ein kritisches oder ein harmloses Gasgemisch absondert. Im **Gaschromatographen** zerlegen sie die Probe in ihre Bestandteile. Neben Wasserdampf finden sie darin meist Gase wie Kohlendioxid, Helium, Stickstoff, Methan oder Schwefelverbindungen.

Gaschromatograph

Die *Gaschromatographie* ist eine Analysemethode zum Auftrennen von Gemischen in einzelne chemische Verbindungen. Nach der Eingabe einer flüssigen Probesubstanz, die das Gemisch enthält, bleiben die einzelnen Gasmoleküle nach dem Erhitzen je nach ihrer speziellen Charakteristik unterschiedlich lange im Gaschromatographen. Ein Detektor misst dann den Zeitpunkt, an dem die speziellen Gasmoleküle wieder aus dem Gaschromatographen austreten.

Doch auf einen Bestandteil achten die Vulkanologen besonders: Schwefeldioxid. Dieses Gas könnte den Ernstfall ankündigen. Denn in der Vergangenheit wurden häufig stark erhöhte Schwefeldioxid-Werte einige Zeit vor Vulkanausbrüchen beobachtet. In der Solfatara können die Forscher Schwefeldioxid momentan nicht entdecken. Akute Sorgen müssen sie sich daher nicht machen.

Doch den Wissenschaftlern und Menschen in der Bucht von Neapel ist klar: Sie leben zwischen zwei Pulverfässern. Deshalb werden die Forscher die schlafenden Vulkane weiterhin genau überwachen.



Links:
Der Krater des Tambora mit rund sieben
Kilometer Durchmesser



Das Jahr ohne Sommer

Wie ein Vulkanausbruch das Weltklima beeinflusste

Die meisten aktiven Vulkane auf der Erde befinden sich in Indonesien. Auf der Insel Sumbawa, etwa 500 Kilometer östlich von Bali, liegt einer der größten: Tambora. Dieser Vulkan hat Geschichte geschrieben, denn 1815 ereignete sich hier der stärkste Ausbruch seit mehr als 20.000 Jahren. Allein in Süd-Ost-Asien starben 120.000 Menschen, doch auch Europa und Amerika litten unter den Folgen. Denn der Ausbruch des Tambora hatte eine tiefgreifende Wirkung auf das weltweite Klima.

nahegelegener Vulkan auf Java ausgebrochen ist, doch er irrt sich. Die Asche und das Donnern stammen vom Vulkan Tambora auf der Insel Sumbawa, über 600 Kilometer entfernt.

Unvorstellbare Dimensionen

Heute stehen nur noch die Reste des ehemaligen Vulkangiganten. Vor der Explosion war der Tambora 1.400 Meter höher, die größte Erhebung der indonesischen Inseln. Zurückgeblieben ist ein Krater mit rund sieben Kilometer Durchmesser.

Haraldur Sigurdsson ist einer der wenigen Vulkanologen, die Tambora genauer untersucht haben. Nach seinen Berechnungen sind bei dem Ausbruch rund 100 Kubikkilometer Asche und Gesteinsmassen aus dem Vulkan geschleudert worden. Die Menge ist unvorstellbar, aber Sigurdsson versucht durch einen Vergleich die ungeheure Dimension des Ausbruchs leichter verständlich zu machen: „Bei der großen Eruption des Vesuvus im Jahre 79 nach Christus sind sechs

Vulkanausbruch mit weitreichenden Folgen

John Crawford lebt in Surabaya auf der indonesischen Hauptinsel Java. Am 10. April 1815 berichtet der britische Diplomat von Donnerschlägen über dem Meer, die klingen wie das *Feuergefecht in einer Seeschlacht*. Langsam zieht sich eine schwarze Wolke vor die Sonne – in Surabaya wird der Tag zur Nacht. Panisch flüchten die Menschen in Häuser. Es ist so dunkel, dass sie die Zimmer am helllichten Tage mit Kerzen beleuchten. Es beginnt, Asche zu regnen. Crawford vermutet, dass ein

Das Jahr ohne Sommer

Kubikkilometer Lava und Asche herausgeschleudert worden, beim Tambora 1815 waren es 100 Kubikkilometer, das ist fast die 20ig-fache Menge! Die Eruption von 1815 war damit einer der größten Vulkanausbrüche.“

Hungersnot in Europa

Christian Pfister arbeitet an der Universität in Bern und ist einer der wenigen Historiker, die untersuchen, wie die Natur die Geschichte beeinflusst hat. „1816“, so sagt er, „gab es in der Schweiz alle zwei Wochen Schneefälle. Ab etwa 800 Höhenmetern legte sich immer wieder eine 10 bis 20 Zentimeter dicke Schneedecke über das Land.“ Die Folge war ein dramatischer Ernteeinbruch. Die Menschen hatten kein Getreide, kein Gemüse mehr und mussten sich von Gras, Kräutern oder verendeten Tieren ernähren. Aber das war zu wenig zum Überleben. Viele Tausende Menschen starben.

Weltweiter Kälteeinbruch

Die gewaltige Explosion befördert riesige Mengen Schwefel in die Stratosphäre. Hier breiten sich die Schwefelteilchen unaufhaltsam über den Globus aus und reflektieren das Sonnenlicht. Die Folge: Es wird spürbar kälter. Einige Jahre bleibt der Schwefel in der Stratosphäre, bis er durch die Schwerkraft nach und nach wieder auf die Erde absinkt. Die Klimaveränderung ist daher zeitlich begrenzt, besonders folgenschwer sind die Auswirkungen im Sommer 1816.

In diesem Jahr kommt es in Zentraleuropa zu einer Hungerkatastrophe. In Bayern, Österreich, Tschechien und vor allem in den Schweizer Höhenlagen gedeiht kaum noch etwas – es ist zu kalt.

1816 ging in die Geschichte als das Jahr ohne Sommer ein. Es zeigt, wie empfindlich unser Klima ist. Und dass wir Menschen gegenüber solchen Naturkräften schlicht machtlos sind, selbst wenn wir nicht in der Nähe eines Vulkans leben. Vulkane sind unberechenbar, und ein vergleichbar großer Ausbruch kann sich jederzeit wiederholen.



Links:
Erstickt bei der Jagd

Rechts:
Caldara di Manziana: Überall entweichen dem Boden Gase



Das Jahr ohne Sommer

■ Tambora – ein einmaliges Ereignis?

Seit Tausenden von Jahren gab es keinen Vulkanausbruch, der so gewalttätig war und weltweit eine solch drastische Klimaveränderung verursacht hatte wie der Ausbruch des Tambora 1815. Mit anderen Worten: Ein Ausbruch dieser Dimension ist ein sehr unwahrscheinliches Ereignis. Und selbst, wenn wir in Indonesien, Alaska oder Südamerika einen zweiten Jahrtausendausbruch erleben würden, wären die klimatischen Folgen noch das geringste Problem. Denn heute könnten wir eine Missernte durch vernetzte Frachtwege viel schneller ausgleichen als vor 200 Jahren. Außerdem haben wir bereits eine hausgemachte Klimaerwärmung, die der weltweiten Klimaabkühlung durch einen Vulkanausbruch entgegenwirken würde.

Dramatisch wäre eine solche Eruption vielmehr für die Menschen vor Ort. Denn wenn eine ganze Region unter meterdicken Ascheschichten versinkt, dauert es Jahrzehnte, bis die Menschen wieder Landwirtschaft betreiben und sich selbst

versorgen können. 1815 hatte die schwefelhaltige Asche alle Felder in Sumbawa und sogar das Meer um die Insel verseucht. Die Folge: eine dramatische Hungersnot, der rund 100.000 Menschen in Süd-Ost-Asien zum Opfer fielen.



Tod aus der Tiefe

Kohlendioxid kann tödlich sein

Es ereignet sich im Dezember 1991 bei Vejano, einem kleinen Örtchen vor den Toren Roms. Es ist Jagdsaison. Zwei Männer haben es auf Wildschweine abgesehen. Doch was sie nicht wissen: Sie selbst sind in Gefahr. Einen Tag bleiben sie verschwunden. Dann findet ein Jagdaufseher die beiden Jäger. Leblos liegen sie am Ufer eines kleinen Flusses. Doch es gibt keine Spuren von Gewalt. Nichts deutet auf ein Verbrechen oder einen Jagdunfall hin. Der Tod kam vielmehr aus der Tiefe. Die beiden Jäger sind an Kohlendioxid erstickt – CO₂, das im vulkanisch aktiven Italien an vielen Orten dem Boden entweicht.

■ Vejano ist kein Einzelfall

Professor Giovanni Chiodini ist Experte für vulkanische Gase. Er arbeitet am Vulkanologischen Institut in Neapel, dem Osservatorio Vesuviano. Sein Ziel ist es, ähnliche Unglücke verhindern zu helfen. „Vejano war kein Einzelfall“, berichtet Chiodini, „wir wissen von mindestens 20 tödlichen Unfällen innerhalb der letzten Jahre in Zentral- und Süditalien.“ Chiodini leitet das Projekt *googas*. Dessen Zweck ist es, alle Gefahrenquellen durch

vulkanische Gase in Italien zu erfassen und zu katalogisieren. Denn die gefährdeten Regionen sind oft dicht besiedelt. Viele der Gasquellen liegen im Umland der Millionenstädte Rom und Neapel. *googas* soll helfen, die Bevölkerung dieser Gegenden vor Gefahren zu schützen.

■ Auf der Spur des CO₂

In der Nähe des Örtchens Vejano gibt es einige dieser Gasquellen, die Giovanni Chiodini im Rahmen von *googas* erfasst. Die spektakulärste: Caldara di Manziana, vermutlich ein Krater des längst erloschenen Vulkans Sabatino. Überall in dieser Senke riecht es nach Schwefelgasen, doch es ist vor allem das geruchslose Kohlendioxid, das hier dem Boden entweicht. Es zischt, sprudelt und blubbert. Wo Pfützen sind, bilden sich Blasen.

Kohlendioxid ist schwerer als Luft. Chiodinis Messgerät zeigt in Bodennähe einen CO₂-Gehalt von über 30 Prozent. Tausendmal mehr, als normale Luft enthält. Und schon die Hälfte kann tödlich sein. Zum Glück für die Forscher weht tagsüber ein frischer Wind durch die Caldara di Manziana. Das macht die



Links:
In hohen Konzentrationen ist CO₂ tödlich

Mitte:
Über 190 Tonnen CO₂ dringen in Caldara di Manziana aus dem Boden – täglich

Rechts:
Vejano hat auf das Unglück reagiert:
Die Gasquelle ist gesichert

Tod aus der Tiefe

Arbeit für sie ungefährlich. Doch übernachten sollten sie an diesem Ort nicht. „Besonders riskant ist es, an windstillen kalten Tagen und in der Nacht. Dann kann die Konzentration tödlich werden.“ Chiodinis Warnung ist begründet: Überall in der Caldara di Manziana finden die Vulkanologen tote Tiere: Reiher, Wildschweine und einen halb verwesenen Fuchs.

len ausgehen. Vulkanologen haben inzwischen viele dieser Orte erfasst. Chiodini sammelt diese Daten und veröffentlicht sie im Internet (zu finden unter <http://googas.ov.ingv.it/>). So sind die Karten für jedermann zugänglich. Per Mausklick lässt sich erkennen, wie gefährlich jede dieser Stellen ist.

■ „Betreten verboten“

Die Gemeinde Vejano, der Ort, in dem 1991 die beiden Jäger starben, hat auf die Gefahr reagiert. Der Flusslauf ist eingezäunt. Überall warnen Schilder: **Betreten verboten, Vorsicht giftige Substanzen**. Es war kein Zufall, dass die beiden Jäger genau hier starben. Denn solche Flussbette sind besonders gefährlich. Zwar strömt hier weniger CO₂ aus dem Boden, als etwa in der Caldara di Manziana. Doch das schwere Kohlendioxid kann sich zwischen den Böschungen ansammeln. „Das sind die typischen Stellen, an denen Unfälle mit Menschen passieren“, warnt Giovanni Chiodini. Und deshalb hofft er, dass auch andere Gemeinden auf die Gefahr aus der Tiefe so reagieren, wie Vejano es getan hat, um weitere Todesfälle zu verhindern.

■ Eine Karte im Netz

Das CO₂, das in Manziana aus dem Boden dringt, kommt tief aus dem Erdinneren. Im Erdmantel – bei großer Hitze – bildet es sich neben Schwefelgasen. Doch das Gas ist nicht unbegrenzt im Magma löslich. Über alte Vulkan-Schlote gelangt es in vulkanischen Gegenden an die Oberfläche. Alleine in Manziana strömen etwa 190 Tonnen CO₂ aus dem Boden – pro Tag. Das machte diesen Ort berühmt: Die Caldara di Manziana ist inzwischen ein geschütztes Naturdenkmal. Kopfschmerzen bereiten dem Vulkanologen eher die vielen weniger bekannten Orte, an denen vulkanische Gase dem Boden entweichen. Chiodini und sein Projekt *googas* wollen auf die Gefahren aufmerksam machen, die von solchen Gasquel-

Das Unglück von Nyos

Immer wieder kommt es auf der ganzen Welt zu solchen Unglücken. Die größte Tragödie dieser Art spielte sich im Sommer 1986 am See Nyos im Kamerun ab. Am Abend des 21. August traten plötzlich riesige Mengen von Kohlendioxid aus. Die tödliche Wolke bedeckte die Umgebung des Sees und kroch durch mehrere Täler. Selbst in 27 Kilometer Entfernung erstickten Menschen an dem unsichtbaren Gas. Insgesamt verloren mehr als 1.700 Menschen ihr Leben.

Über Jahre hatte sich im See des vulkanischen Gebietes in Kamerun das Kohlendioxid angesammelt. Kontinuierlich drang es durch den Grund des Sees ins Wasser. Im See löste sich das Gas zunächst, bis das Wasser gesättigt war. Ohne jede Vorwarnung verlor das System seine Stabilität. Das CO₂ perlte wie in einer Champagnerflasche aus, stieg auf und machte sich auf seinen tödlichen Weg.

Um ein erneutes Unglück zu verhindern, wird der See seit 2001 permanent entgast. Mit einer aufwendigen Pump-Konstruktion wird das Kohlendioxid zusammen mit Wasser aus der Tiefe ständig aus über 200 Metern nach oben gepumpt. Eine 50 Meter hohe Wasserfontäne sprudelt seither mitten auf dem See und befördert das gefährliche CO₂ nach oben.