

# Naturkatastrophen als geophysikalische Vorgänge

Manfred J. Müller

In den letzten zwei oder drei Jahrzehnten hat sich die Wahrnehmung der Menschen im Hinblick auf Naturereignisse deutlich verändert. Besonders augenfällig wird es, wenn solche Ereignisse katastrophale Folgen haben.

Die Gründe für diese Veränderung liegen auf der Hand. Die perfekte globale Kommunikation ermöglicht eine Berichterstattung mit einer bisher nicht gekannten Aktualität. Katastrophale Ereignisse werden von den Medien gern aufgenommen und verbreitet, weil man dadurch das Interesse der Menschen erregen und Betroffenheit erzeugen kann. Beides wirkt sich ökonomisch aus, denn Informationen sind nicht kostenlos.

Man mag diese Entwicklung bedauern, weil sie zu einer unangemessenen Einschätzung natürlicher Prozesse führen kann, aber man muss auch erkennen, dass diese Berichterstattungen nicht wenige Menschen zu einer veränderten Auffassung über unsere natürliche Umwelt anregen, ja sogar Verhaltensänderungen bewirken kann. Damit Naturkatastrophen und Hazardforschung richtig eingeschätzt werden, bedarf es einer sachlichen Auseinandersetzung mit diesen Fragen im Erdkundeunterricht. In besonderem Maße lassen sich physisch-geographische und anthropogeographische Betrachtungsweisen miteinander verknüpfen. Ohne Menschen gibt es keine Naturkatastrophen!

**W**ir gehen zurück in das Jahr 14 600 000 vor heute. Am Nordrand der Schwäbisch-fränkischen Alb wird die ahnungslose Lebewelt von einem schicksalhaften Ereignis überrascht. Ohne jede Vorwarnung schlägt mit einer Geschwindigkeit von 20 km/s ein Riesenmeteorit mit einer Masse von zwei Milliarden Tonnen dort ein, wo heute die Stadt Nördlingen liegt. Trümmer und aufgeschmolzenes Gestein werden viele Kilometer hoch geschleudert, der Staub verdunkelt den Himmel über Monate, eine kurzzeitige Klimaveränderung ist die Folge. Zurück bleibt ein 500 m tiefer Krater mit einem Durchmesser von 25 Kilo-

metern. Bis in eine Tiefe von 2 000 m ist das anstehende Gestein zertrümmert. Eine Katastrophe ungeheuren Ausmaßes, alles Leben im Umkreis von einhundert Kilometern ist zerstört, das Relief verändert. Wo vorher am Fuße der Alb eine Ebene war, bildet sich im Krater ein See, in dem sich sehr bald Muscheln, Schnecken, Fische sowie Wasservögel und -pflanzen ansiedeln. Heute ist dieser See gänzlich verlandet, auf seinen organischen und mineralischen Sedimenten sind Dörfer und Städte entstanden.

Diese Naturkatastrophe, die größte, die unser Planet in der jüngeren Erdgeschichte erfahren hat, lässt uns ziemlich gelassen. Warum?

- Das Ereignis ist so lange her, dass wir die Folgen nur mithilfe detaillierter wissenschaftlicher Untersuchungen nachvollziehen können.
- Todesopfer waren nicht zu beklagen, denn Menschen gab es in dieser Zeit noch nicht.
- Sachschäden sind nicht eingetreten, weil das Gebiet verständlicherweise siedlungsleer war.

War es aus unserer Sicht also gar keine Naturkatastrophe? Wenn man der Definition von Rowe (1977), einem amerikanischen Hazardforscher, folgt, nein. Voraussetzung für die Anwendung des Begriffes „Katastrophe“ ist nach seiner Auffassung, dass die Zahl der Todesopfer größer als zehn ist, dass die Zahl der Verletzten 30 übersteigt und Sachwertverluste von mehr als 30 Millionen DM eintreten. Eine, wenn man so will, willkürliche Festlegung. Folgt man dieser Auffassung, dann lässt sich der Begriff „Naturkatastrophe“ auf so manches Naturereignis, wie die zahlreichen Hochwasser unserer Mittelgebirgsflüsse, die schweren Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste oder die gewaltigen Massenbewegungen in den Alpen nicht anwenden.

Man kann auch zu einer unterschiedlichen Auffassung kommen, wählt man eine andere Definition für Naturkatastrophe. „Eine Naturkatastrophe ist ein ungewöhnliches Ereignis mit meist folgenschweren Auswirkungen auf Mensch und Wirtschaft.“ (Leser 1997) Diese Definition gibt mehr Spielraum. Wenn man ihr folgt, haben wir auch in Mitteleuropa beinahe jährlich einige Naturkatastrophen. Vor dem Hintergrund der Frage, ob unsere Erde in Gefahr ist, sollte man die Definition von Rowe verwenden, ohne sich auf die Zahl der Opfer und die Höhe des Sachschadens festzulegen. Ein bisschen zu viel Wasser in unseren Flüssen und Tälern, ein Deichbruch mit Überflutung des Kulturlandes bis zur zweiten Deichlinie sowie der Abgang von mächtigen Lawinen oder großen Muren ist sicher keine Bedrohung für die Menschheit. Das Ries-Ereignis, so wird der Meteoriteneinschlag in der Fachliteratur allgemein genannt, war dies schon eher. Das gilt selbstverständlich auch für andere kosmische Ereignisse auf unserer Erde, die bisher allerdings alle glimpflich abgelaufen sind.

Wenden wir uns also den Naturkatastrophen zu, die wir für bedrohlich halten. Wie reagieren wir oder besser diejenigen, die nicht betroffen sind?

- Sie sind erleichtert, dass sie nicht betroffen sind.
- Bei den meisten ist ein Solidaritätsgefühl mit den Betroffenen erkennbar.
- Sie zeigen Interesse an solchen außergewöhnlichen Vorgängen.
- Sie denken über eigene Chancen und Handlungsmöglichkeiten im Katastrophenfall nach.

Auffällig ist, dass das Mitgefühl, aber auch das Interesse an Katastrophenfällen bei den Menschen in eigenartiger Weise übervergrößert ist. Die fast 8 000 Verkehrstoten (1999) in Deutschland und die über 250 000 Verkehrstoten (Schätzung) auf der Erde pro Jahr nehmen wir einfach hin, ausgenommen,

es geschehen so genannte tragische Ereignisse in unmittelbarer räumlicher oder gesellschaftlicher Nähe. Der Tod eines Menschen durch Blitzschlag oder einer Gruppe beim Camping macht uns für einige Tage betroffen. Ein Erdbeben mit 5 000 Toten (Türkei, Kobe/Japan) beschäftigt uns über Wochen, manche über Monate. Generell kann man sagen, dass unsere Betroffenheit mit der Zahl der Opfer steigt. Mit dem Abstand vom Ort des Geschehens lässt sie nach, ein weit entfernt stattfindendes Ereignis gerät sehr bald in Vergessenheit.

Das gilt nicht in gleichem Maße für Wissenschaftler, die sich sozusagen theoretisch-distanziert mit der Katastrophenforschung, die heute auch Hazardforschung genannt wird, beschäftigen. Sie registrieren, klassifizieren und systematisieren Naturkatastrophen. Sie messen und rechnen, sie interpretieren und prognostizieren und schließlich entwickeln sie Techniken und Pläne zum Schutz der Menschen.

Diese Anstrengungen allein genügen nicht, um bei den Menschen das Bewusstsein für die Gefahren, die durch bestimmte Naturereignisse entstehen, zu schärfen. Wissenschaftler müssen auch dafür sorgen, dass die gewonnenen Erkenntnisse bekannt werden und für Politiker Anlass zum Handeln sind. Nachdem sie seit mehr als dreißig Jahren vor den Gefahren warnen, die durch Nichtbeachtung von Naturrisiken entstehen, scheint politisch endlich ein erster Schritt getan. Am 22.12.1989 verabschiedete die Generalversammlung der Vereinten Nationen eine Resolution, die die 90er-Jahre zur „Internationalen Dekade für die Vorbeugung vor Naturkatastrophen (IDNDR)“ erklärte.

Welches waren die Gründe für diesen Entschluss? In den letzten Jahrzehnten hat man eine Zunahme von Naturkatastrophen festgestellt. Von 1960 bis 1970 wurde durch sie ein materieller Schaden von 50 Mrd. US-\$ verursacht. In der Zeit von 1970 bis 1980 waren es 70 Mrd US-\$. Seit den 60er-Jahren haben sich die volkswirtschaftlichen Schäden auf das Neunfache erhöht. Für 1995 wird der Schaden von der Münchener Rückversicherung mit 130 Mrd. US-\$ angegeben. 1998 entstand durch 700 „Katastrophenereignisse“ ein Schaden von 90 Mrd US-\$. Mehr als 50 000 Menschen kamen ums Leben. Die Zahl der Menschen, die durch Naturereignisse umkommen, liegt im Durchschnitt bei 60 000 pro Jahr. In den ersten drei Jahren unseres Jahrzehnts waren es allerdings jeweils mehr als 70 000. Der Trend scheint sich fortzusetzen, denn auch die Sachschäden nehmen an Umfang zu. Schätzungen der Amerikaner gehen von 400 Mrd. US-\$ für die Jahre 1990–1992 aus. Das hört sich beunruhigend an und man könnte in Kenntnis dieser Steigerung bei den Opfern und Schäden zu dem Schluss kommen, die Erde nehme eine Entwicklung, die früher oder später zur Vernichtung unserer Lebensgrundlage führte. Ganz so eindeutig lassen sich die Zahlen aber nicht interpretieren. Wir müssen berücksichtigen, dass das Ausmaß der Naturkatastrophen sehr von der Dichte der Bevölkerung und der Siedlungen abhängt. Das rasante Wachstum und die Konzentration in Ballungsräumen in fast allen Ländern der Erde erhöht das Risiko.

Die meisten ungewöhnlichen Naturereignisse werden nur zu Katastrophen, weil es Menschen auf der Erde gibt. Es ist naheliegend, dass die Menschen versuchen, sich gegen solche Naturvorgänge, durch die sie sich bedroht fühlen, zu schützen. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn wir unser Wissen über derartige Naturereignisse vertiefen. Die genaue Kenntnis der Ursachen kann Schäden mildern, sie kann Vorhersagen ermöglichen und sie kann Modellrechnungen erleichtern.

Die überwiegend geophysikalischen Forschungen werden interdisziplinär von Naturwissenschaftlern vorgenommen. Hilfreich ist auch die Statistik, denn eine Vielzahl statistischer Daten verbessert die Aussagekraft besonders im Hinblick auf

die zeitliche Abfolge und die räumliche Verbreitung von Naturkatastrophen. Interdisziplinär forschen auch diejenigen, die neue Materialien und Konstruktionen entwickeln, welche der Zerstörungskraft von verschiedenen Naturgewalten besser widerstehen. In der Regel sind das Physiker, Mathematiker, Chemiker und Ingenieure. Schließlich muss auch der Katastrophenschutz genannt werden, der durch Vorsorgemaßnahmen wie Katastrophenpläne, die Bereitstellung von technischen Hilfseinrichtungen und die Ausbildung von Helfern nicht unessenlich zur Minderung der Schäden beitragen kann.

Eines aber können die Wissenschaftler, Techniker und Logistiker nicht: Sie können die gewaltigen Naturereignisse, die von uns Menschen Katastrophen genannt werden, nicht verhindern. In Abänderung einer Aussage von M. A. Koenig (1985) in seinem Buch „Geologische Katastrophen und ihre Auswirkungen auf die Umwelt“ ist festzustellen: Naturkatastrophen sind ganz normale geophysikalische Vorgänge.

#### Übersicht über Arten von Naturkatastrophen

##### *Kosmische Naturkatastrophen*

- Einschläge von Meteoriten und Kometenkernen
- Kollisionen von Himmelskörpern

##### *Geologische Naturkatastrophen*

- Erdbeben
- Vulkanausbrüche
- Massenbewegungen (Bergstürze, Rutschungen, Muren, Lawinen)

##### *Atmosphärische Naturkatastrophen*

- Stürme, Starkregen, Blitzschlag und Hagel
- Hochwasser und Fluten mit Überschwemmungen
- Dürren und Brände

##### *Quasinatürliche Katastrophen*

durch den Menschen verursachte oder begünstigte Naturkatastrophen

## Geologische Naturkatastrophen

---

### **Erdbeben**

Im Durchschnitt findet jede Stunde auf unserem Planeten ein Erdbeben statt. Weltweit wird jedes Erdbeben durch sehr empfindliche Geräte gemessen und aufgezeigt. Bei weitem nicht jedes Erdbeben ist ein Katastrophenbeben, aber Erdbeben zählen zu den schwerwiegendsten Katastrophen.

Ungeheure Energien werden freigesetzt, so z. B. im Jahr 1995 in Kobe, als die achtfache Energie der Hiroshimabombe 5 000 Menschenleben forderte und Zigtausende obdachlos machte.

In den letzten 500 Jahren haben mehr als sieben Millionen Menschen ihr Leben durch Erdbeben verloren, ganze Städte wurden aufgegeben, Hungerkrisen ausgelöst.

Die Aufstellung der schwersten Beben des 20. Jahrhunderts (s. u.) mit ihren verheerenden Folgen macht verständlich, dass gerade auf dem Gebiet der Seismologie besonders intensive Forschung stattfindet, auch mit dem Ziel, irgendwann präzise Vorhersagen machen zu können.

*Katastrophenbeben im 20. Jahrhundert (Auswahl)*

<i>Jahr</i>	<i>Gebiet</i>	<i>Tote</i>
1906	USA, San Francisco	700
1908	Italien, Messina	83.000
1909	Iran	6.000
1915	Italien, Avezzano	32.610
1917	Indonesien, Bali	15.000
1920	China, Kansu	180.000
1923	Japan, nahe Yokohama	143.000
1932	China, Kansu	70.000
1935	Pakistan, Quetta	35.000
1939	Chile, Chillian	30.000
1939	Türkei, Erzincan	32.740
1943	Türkei, Tosya-Ladik	4.013
1949	Ecuador, Pelileo	6.000
1960	Marokko, Agadir	14.000
1963	Jugoslawien, Skopje	1.200
1968	Iran	11.600
1970	Peru	66.000
1972	Nicaragua, Managua	5.000
1976	Guatemala	22.700
1976	China, Tangshan	290.000
1976	Türkei	3.626
1978	Iran, Khorosan	15.000
1980	Italien, Kampanien	2.735
1981	Algerien, Dahra	2.950
1981	Iran, Kerman	4.588
1985	Mexiko	9.500
1986	El Salvador	1.000
1987	Ecuador, Napo	1.000
1988	UdSSR, Armenien	25.000
1992	Indonesien, Flores	2.500
1993	Indien, Killori	11.000
1995	Japan, Kobe	5.000
1997	NW-Iran und O-Iran	2.300
1998	Afghanistan	ca. 4.600
1999	Türkei, Izmit	16.000

Quellen: Münchener Rückversicherung 1998; Koenig 1984 u. a.

Einen entscheidenden Anstoß zu einer wissenschaftlichen Betrachtung gab das Erdbeben von Lissabon, das im Jahre 1755 nicht nur die Stadt selbst in Schutt und Asche legte, sondern die ganze Iberische Halbinsel heimsuchte und in vielen Teilen Europas zu spüren war. Die Zerstörung dieser reichen Stadt, dem Hort christlicher Kunst und Kultur, traf den Glauben und Optimismus des Jahrhunderts in seinem Innern. Schriftsteller und Dichter fragten nach dem Sinn solcher Naturkatastrophen. Hatte man bisher noch geglaubt, derartige Naturereignisse seien als Strafe Gottes zu verstehen, so wendete man sich nach der Katastrophe von Lissabon von dieser Auffassung mehr und mehr ab. Die zahlreichen detaillierten Aufzeichnungen über den Verlauf des Bebens ermöglichten dem „Vater der Seismologie“, John Mitchell, erstmals, die durch ein Erdbeben ausgelösten Wellenbewegungen zu erkennen und sogar erste Berechnungen – wenn auch mit falschem Ergebnis – anzustellen. Über die eigentlichen Ursachen wusste man noch wenig, aber die Phänomene und Auswirkungen waren sehr gut festgehalten.

Wie durch viele spätere Beben bestätigt, kann man generell festhalten: Erdbeben sind eine Folge unterschiedlich langer Erschütterungen der Erdkruste. Eine wellenartige Bewegung

über den Untergrund setzt sich in den Häusern fort und ruft Risse, Verschiebungen und Einstürze hervor. Die Fassaden lösen sich und stürzen auf die Straßen. Sand dringt aus Rissen im Boden nach oben, es bilden sich Spalten und Krater, in wasserreichen Böden kommt es zur Verflüssigung des Untergrundes, sodass Bauwerke kippen oder versinken. Bäume werden abgeknickt, es kommt zu beachtlichen horizontalen und vertikalen Verschiebungen. Neben den unmittelbar durch das Beben ausgelösten Zerstörungen kommt es in der Regel durch den Bruch der Versorgungsleitungen in Städten zu Bränden, die weitere Opfer fordern. Dies geschah 1755 in Lissabon, 1906 in San Francisco, 1923 in Tokyo und 1995 in Kobe.

Die jüngsten Erdbeben am 18.08. und 12.11.1999 in der Türkei, östlich von Istanbul haben große Zerstörungen hervorgerufen und etwa 16 000 Menschenleben gekostet.

### **Vulkanausbrüche**

Im Gegensatz zu Erdbeben, die sich in der Regel nicht vorher ankündigen, gibt es bei den Vulkanen meist deutliche Anzeichen eines bevorstehenden Ausbruchs.

Der erste schriftlich dokumentierte Ausbruch eines Vulkans ist der des Vesuvs im Jahre 79 n. Chr., der die Städte Pompei, Herculaneum und Stabiae zerstörte. Wir wissen von Plinius dem Jüngeren, dass sich der Ausbruch vorher ankündigte, aber weil niemandem bekannt war, dass der Vesuv ein Vulkan ist, wurden die Anzeichen nicht richtig gedeutet. Schon 63 n. Chr. war Pompei durch ein schweres Beben zerstört worden, aber niemand ahnte, dass es sich um ein vulkanisches Beben handelte. Wahrscheinlich wurde dieses Beben durch den Einbruch der Magmakammer hervorgerufen. Ein Ausbruch des Vesuvs folgte aber nicht, und so wurden auch die leichten Erdstöße, die dem katastrophalen Ereignis des Jahres 79 n. Chr. vorausgingen, nicht in Zusammenhang mit dem Vesuv gebracht. Die Menschen am Golf von Neapel waren also völlig ahnungslos und unvorbereitet. Dennoch hielten die Verluste sich in Grenzen. Zwar kennt man die genaue Zahl der Opfer nicht, aber es wird angenommen, dass sich die meisten Menschen in Sicherheit bringen konnten. Schließlich ist ein Vulkanausbruch selten ein so spontanes Ereignis wie ein Erdbeben.

### **Glutwolken**

Nach einer gewaltigen Explosion, die den gesamten Gipfelbereich wegsprengte, förderte der Vesuv zwei Tage lang Asche, Bims und Lapilli, die Pompei und einige kleinere Ortschaften 4–6 m überdeckten (Pichler 1970, S. 145). Über Glutwolken, die mit hoher Geschwindigkeit die Bergflanken eines Vulkans hinunterschließen und Temperaturen von mehr als 1 000 °C haben können, wird nichts berichtet. Wären sie bei diesem Ausbruch aufgetreten, hätte wohl niemand in dem Gebiet überlebt. Es gibt keinen Vulkan, der besser untersucht ist als der Vesuv. Schon 1857 wurde an seiner Westflanke ein Observatorium errichtet, das erste seiner Art in der Welt. Zwar sind seit dieser Zeit mehr als 1 000 wissenschaftliche Publikationen über den Vesuv erschienen, aber die entscheidende Frage, warum er seit dem letzten Ausbruch 1944 schweigt, können wir noch immer nicht beantworten. Auch die Vorhersage der Dauer dieser Ruhephase ist uns nicht möglich (Schick 1997, S. 70–71).

Das eindrucksvollste Beispiel eines Glutwolkenausbruchs ist der Mont Pelée auf der Insel Martinique. Obwohl sich die Tätigkeit des Vulkans am 20. April 1902 durch kleine Erdstöße und geringe Förderung von Asche angekündigt hatte, dachte niemand an Flucht. Erst als kleinere Singvögel erstickt auf den Straßen gefunden wurden, verließen einige Bewohner die Stadt St. Pierre. Der eigentliche Ausbruch ereignete sich dann so überraschend, dass nur zwei oder drei der 30 000 Einwoh-

ner überlebten. Von Schiffen aus beobachtete man am 8. Mai, wie eine riesige Glutwolke innerhalb von zwei Minuten die etwa 5 km lange Talstrecke vom Vulkan bis zur Stadt zurücklegte. Man berechnete daraus eine Geschwindigkeit von 160 km/h. Die Temperatur muss mehr als 700 °C betragen haben, denn Glas wurde aufgeschmolzen. Die Druckwelle war so groß, dass tonnenschwere Blöcke bewegt wurden (Koenig 1984, S. 29–30).

### **Lahars**

Ähnlich zerstörerisch, aber in ihrer Entstehung zu unterscheiden, sind die bei Vulkanausbrüchen auftretenden Lahars. Es sind Schlammströme aus einem Gemisch von heißer Asche, Blöcken und Wasser. Sie entstehen, wenn sich Wasser aus Kraterseen, aus starken Regenfällen oder durch Schnee- und Eisschmelze mit den vulkanischen Förderprodukten (Tephra) mischt und an den Flanken eines Vulkans abfließt. Ein Lahar kann Geschwindigkeiten bis zu 100 km/h erreichen, vor allem, wenn er in ein enges Tal mündet. Die Temperatur ist deutlich niedriger als die der Glutwolken, aber ihre Zerstörungskraft kann sehr hoch sein, weil Lahars eine hohe Dichte und ein großes Volumen haben.

Als Beispiel sei die Shimbara-Katastrophe vom 21. Mai 1872 in Japan angeführt, bei der 9 745 Menschen in den Schlammmassen eines Lahars ums Leben kamen.

### **Ascheförderung**

Ohne die Beteiligung von Wasser können Aschenausbrüche relativ harmlos sein, so z. B. auf Heimaey, einer der Vestmannaer-Inseln vor der Küste Islands. Der seit 5 000 Jahren ruhende Vulkan Helgafel brach in der Nacht zum 23. Januar 1973 aus, nachdem am Vorabend ein leichtes Erdbeben stattgefunden hatte. Kaum hatte man die ersten Anzeichen, die auf einen möglichen Ausbruch hindeuteten, bemerkt, setzten die Vorbereitungen zur Evakuierung ein. Dies tat man, obwohl der Vulkan als erloschen galt. Die 6 000 Einwohner wurden noch in der Nacht evakuiert, indem man sie mit Fischkuttern, die vor einem Sturm geflohen waren und zufällig im Hafen lagen, auf die Hauptinsel Island, nach Reykjavik brachte. Todesopfer waren infolgedessen nicht zu beklagen, der Sachschaden von 600 Mio. US-\$ konnte nicht verhindert werden. Erst nach fünf Monaten waren die Eruptionen beendet. Von den 1 300 Häusern war nur ein Drittel zerstört, ein weiteres Drittel wurde beschädigt und konnte aus der Asche wieder ausgegraben werden (Koenig 1984, S. 56–60). Eine solche „Ausgrabung“ wäre in Pompei auch möglich gewesen, hätte man die heute zur Verfügung stehenden Räumfahrzeuge gehabt. Das Beispiel zeigt, wie sehr das Wissen über vulkanische Prozesse den Menschen auf dieser Insel geholfen hat.

Es steht außer Frage, dass die Folgen des Ausbruchs des Mont Pelée weniger katastrophal für die Menschen von St. Pierre ausgegangen wären, hätten sie die Anzeichen (leichte Erdbeben und erste kleinere Effusionen) richtig deuten können. Eine Evakuierung hätte zwar die Zerstörung der Stadt nicht verhindert, wohl aber die Menschen gerettet. Zeit genug stand zur Verfügung.

### **Eruptionen und Explosionen**

Es gibt ausgesprochen viele Augenzeugenberichte über heftige Vulkanausbrüche, aber nicht alle können im Rahmen dieses Artikels wiedergegeben werden. Einige Ereignisse sind für die Menschheit und ihre Umwelt aber von so großer Bedeutung gewesen, dass sie erwähnt werden müssen.

Am 26. und 27. August 1883 ereigneten sich in der Sundastraße zwischen Java und Sumatra mehrere Explosionen, von

denen die stärkste als der „größte Lärm der Erdgeschichte“ bezeichnet wird. Noch in 5 000 km Entfernung wurde die Explosion gehört. Explodiert war ein zum größten Teil untermeerischer Vulkan, der Krakatau. Sein Kegel war schon in früherer Zeit weggesprengt worden, geblieben war eine Caldera mit einem Rand, der sich aus einigen Inseln zusammensetzte. Die Wucht der Explosion wurde durch das Eindringen von Wasser in den Schlot außerordentlich gesteigert. Dieses Phänomen kann man auch bei Ausbrüchen anderer Vulkane immer wieder beobachten, es wird als phreatomagmatische Eruption bezeichnet. Vulkanische Asche wurde bis in eine Höhe von 80 km geschleudert. Im Umkreis von 150 km herrschte durch die große Menge ausgeworfener Asche und anderer vulkanischer Trümmer völlige Dunkelheit, die zweieinhalb Tage andauerte. Die Aschewolke umrundete mehrmals die Erde, die Sonnenstrahlung der Erde wurde auf 87 % reduziert. In den nachfolgenden 2–3 Jahren war die mittlere Jahrestemperatur in weiten Teilen der Erde um einige Grade niedriger und Missernten mit Hungerkatastrophen waren die Folge (Koenig 1984, Francis/Self 1985).

Die Auswirkungen vulkanischer Tätigkeit auf das Klima sind am besten belegt durch den Ausbruch des Tambora auf der Insel Sumbawa, Indonesien, im Jahr 1815. 150 km<sup>3</sup> Asche wurden gefördert und gelangten in die Stratosphäre. Die nördliche Hemisphäre erfuhr einen Rückgang der Temperaturen. Der folgende Sommer 1816 gilt als der ausgefallene Sommer. Es wurden vier Kältewellen im Juni, Juli und August registriert, in denen Nachtfroste und sogar Schneefälle auftraten. Missernten und Hungerkatastrophen waren die Folge. Die Druckwelle, die mit Barometern gemessen werden konnte, umkreiste die Erde in 36 Stunden dreimal. Auf den Nachbarinseln wurden Asche und Bims bis zu 70 m aufgeschichtet, insgesamt 750 000 km<sup>2</sup> wurden mit einer dicken Ascheschicht bedeckt. Die Zahl der Todesopfer wird mit 36 000 angegeben. Auch hier sind sie weniger durch den primären Einfluss der Eruption entstanden als vielmehr durch Sekundäreffekte.

### **Tsunamis**

Als besonders zerstörerische Sekundäreffekte bei Erdbeben und Vulkanausbrüchen treten so genannte Tsunamis auf (japan.: tsu = Hafen, nami = Welle). Liegt ein Epizentrum unter dem Meeresboden, wie es in Lissabon 1755 der Fall war, und zwar im Bereich der Azorenschwelle, dann können riesige Wellen entstehen mit bis zu 100 km Wellenlänge, aber mit einer geringen Wellenhöhe, sodass man sie auf See kaum wahrnimmt. Für untermeerische Vulkanausbrüche gilt dasselbe. Die Laufgeschwindigkeit ist sehr groß, mehr als 700 km/h sind schon gemessen worden. Gelangen diese Wellen in Küstennähe in flaches Wasser, dann verlangsamt sich zwar die Geschwindigkeit, gleichzeitig steigt aber die Höhe um ein Vielfaches, gelegentlich bis auf mehr als 25 Meter. Alle strandnahen Bereiche werden dann mehrmals überflutet und von der großen Energie der Wellen zerstört.

Als größtes Tsunami-Ereignis gilt das von Lissabon am 1. November 1755. 60 000 Menschen, nicht nur in Lissabon, kamen durch die Flutwellen, die bis zu 10 m Höhe erreichten, ums Leben. 1896, beim Erdbeben auf Honshu, Japan, waren die Tsunamis 24 m hoch und ca. 26 000 Menschen fanden den Tod. Das Erdbeben von Messina 1908 forderte insgesamt 75 000 Menschenleben, viele davon wurden durch einen bis zu 11 m hohen Tsunami getötet, weil sie aus den Häusern gestürzt und an den Strand gelaufen waren (Koenig 1984, Schick 1997). Die Küstenstreifen Javas und Sumatras wurden beim Ausbruch des Krakatau von fast 30 m hohen Wellen erfasst, die weit ins Land eindringen und große Zerstörungen anrichteten. Die meisten

Opfer waren durch dieses Phänomen zu beklagen.

Tsunamis treten am häufigsten im Pazifik auf. Das dort aufgebaute Warnsystem hatte seinen ersten großen Erfolg nach dem Erdbeben von Chile im Mai 1960. 15 Stunden nach dem Beben kamen die Flutwellen in Hawaii an, das war vorherberechnet. Zunächst waren es einige kleinere Wellen, aber schließlich rollte eine 7 m hohe Welle heran und zerstörte einen Teil der Stadt Hilo. Es gab 61 Tote. Im Vergleich zu früheren Tsunamis waren das wenige (s. u.).

*Katastrophale Tsunami-Ereignisse (Auswahl)*

<i>Datum</i>	<i>Ort d. Bebens oder Vulkanausbruchs</i>	<i>Auftreten der Tsunamis</i>	<i>Höhe der Flutwelle</i>	<i>Zahl der Toten</i>
1755	Ostatlantik	westl. Lissabon Westküste Iberiens	–	60.000, da- 8.000 in Lissabon
1883	Krakatau	Sunda-Meerenge	~ 30 m	36.000
1896	Honsu	Sanrika-Küste	24 m	26.000
1908	Messina	Straße von Messina	11 m	einige hundert
1946	Aläuten	Hawaii (Hilo Bay)	10 m	159
1960	Chile	Hawaii (Hilo)	10,5	114
		Japan	bis 4,2 m	61
1964	Alaska	Küste Alaskas und Kalifornien	6 m	–
1976	Philippinen	Philippinen	–	4.000
1992	Flores, Indonesien	Flores	–	2.000
1998	NW Papua-Neuguinea	Papua-Neuguinea	10 m	5.000

Quellen: Bolt 1995, Decker/Decker 1998, Koenig 1984, Schick 1997, Schneider 1980 u. 1992.  
Die Angaben über die Höhe der Wellen und die Zahl der Toten sind in den Quellen z. T. sehr unterschiedlich.

**Vorwarnsysteme und Schutzmaßnahmen**

Bei den Kenntnissen, die wir inzwischen haben und mithilfe der weltweit arbeitenden Beobachtungsstationen werden seismische Ereignisse sofort an alle Küstenwachstationen durchgegeben, an denen dann durch besonders sorgfältige Beobachtung nach Flutwellen Ausschau gehalten wird. Ein Beispiel für gelungene Schutzmaßnahmen vor einem großen Vulkanausbruch ist die Eruption des Mount St. Helens im Staat Washington, im Nordwesten der USA, nördlich der Stadt Portland.

Schon zwei Jahre vor dem Ausbruch, der am 18. Mai 1980 geschah, hatten Vulkanologen diesen als baldiges Ereignis vorausgesagt. Nachdem Ende März tausende kleiner Erdbeben registriert worden waren, wurde der National Forest, der den Berg umgibt, geschlossen und zur „Roten Zone“ erklärt, die nicht betreten werden durfte. Die hier stehenden Wochenendhäuser und ein Feriengebiet mussten geräumt werden. Ab Ende April wölbte sich der Kegel 1,2–1,5 m pro Tag um insgesamt 90 m. Ohne jede weitere Vorwarnung erfolgte dann die Explosion, eine 200–500 °C heiße Glutwolke schoss in einer Breite von 20 km zu Tal und verwüstete den Wald auf 29 km Länge. Ein folgender Schlammstrom, hervorgerufen durch das Schmelzen der Schneedecke und des Gletschers sowie durch starke Gewitterregen, zerstörte sieben von acht Brücken des Toutle Rivers und gelangte in den schiffbaren Columbia River, wo er die Fahrrinne fast völlig zuschüttete. Insgesamt kamen „nur“ 57 Menschen ums Leben, davon drei in der „Roten Zone“ – unter ihnen ein junger Geologe, der den Ausbruch beobachten wollte. Die Sachschäden bis in die 80 km entfernte Großstadt Portland hinein werden mit 1 Mrd. US-\$ angegeben (Decker/Decker 1981, 1998).

Als besonders überzeugendes Beispiel für eine gelungene Vorwarnung mit entsprechenden in die Wege geleiteten Vorsorgemaßnahmen kann der Ausbruch des Pinatubo 1991 auf den Philippinen angesehen werden. Mit Unterstützung der Amerikaner – in der Nähe des Pinatubo befand sich ein Luftwaffenstützpunkt der USA – konnte die Bevölkerung rechtzeitig evakuiert werden, sodass nur wenige Opfer beklagt werden mussten. Andere Schutzmaßnahmen, z. B. durch Schutzwälle, Umleitungsdeiche oder -kanäle, Abkühlung der Lava mit Wasser, Bombardierung oder Ähnliches, versprechen nur geringen Erfolg. Sie wirken in der Regel nur bei kleinen Ereignissen mit geringer Energie.

### **Ursachen**

Es drängt sich die Frage auf, wie es zu den bisher erläuterten geologischen Naturkatastrophen kommen kann. Für die Erklärung dient uns die Theorie der Plattentektonik der Erde. Die Erdkruste ist aus 7–10 Großplatten und etwa 20 kleinen Platten aufgebaut, die sich alle auf dem oberen Erdmantel bewegen. Einige driften auseinander, andere bewegen sich aufeinander zu und wieder andere gleiten aneinander vorbei. Bei allen Bewegungen baut sich wegen der starken Reibung an den Rändern Spannung auf. Erdbeben sind das Ergebnis plötzlicher Spannungsentladung. Vulkane bilden sich an den Plattengrenzen und an Spalten und Rissen, in denen unter Druck Magma (Gesteinsschmelze) aus Kammern in der Tiefe der Erdkruste oder aus dem oberen Erdmantel aufsteigt.

Die Förderart – effusiv, eruptiv oder explosiv – hängt ab von der chemischen Zusammensetzung der Magma, ihrer Temperatur und der Gaskonzentration. Dabei spielen nicht nur die in der Gesteinsschmelze vorhandenen Gase, sondern auch der in den obersten Horizonten der Erdkruste z. B. aus Grund- oder Oberflächenwasser zugefügte Wasserdampf eine entscheidende Rolle. Bei Beteiligung eines größeren Anteils von Wasserdampf spricht man von phreatomagmatischen Eruptionen. Durch sie werden große Energien freigesetzt, die verheerende Wirkungen erzielen können. Lorenz (1982) hat phreatomagmatische Vorgänge als Erklärung für die Entstehung von Maaren herangezogen, bei anderen besonders heftigen Eruptionen z. B. beim Krakatau werden sie vermutet, konnten aber nicht nachgewiesen werden. Festgestellt werden kann, dass der Zutritt von Wasser zur Magma die Eruption in der Regel nicht auslöst, wohl aber verstärkt (Decker/Decker 1981).

Die Kenntnis über Bewegungsrichtung, Bewegungsart und über die Ursachen der Bewegung aller kontinentalen und ozeanischen Platten verdanken wir vor allem den Erdbeben. Durch diese Erschütterungen werden Wellen erzeugt, deren Laufgeschwindigkeit abhängig ist von der Dichte des Gesteins.

Es darf deshalb nicht verwundern, wenn Seismologen sich auch über Erdbeben „freuen“, geben sie doch Gelegenheit, die bisherigen Forschungsergebnisse zu überprüfen und neue zu gewinnen. Jedes Schadensbeben wird genau analysiert, wie die jüngsten Beispiele von Kobe, Afghanistan und Izmit zeigen.

Die Ergebnisse werden ausgewertet und dienen vor allem der Verbesserung des Schutzes vor Zerstörungen. Große Forschungsanstrengungen werden unternommen, alle vorausgehenden Anzeichen für ein Erdbeben zu deuten. Dabei wird auf verschiedenen Gebieten zusammengearbeitet. Seismologen werten alle Erschütterungen aus, die vorher aufgetreten sind, Zoologen beobachten das Verhalten von Tieren, Geochemiker messen Gaskonzentrationen, Geologen und Geodäten registrieren geringfügige Verschiebungen der Erdkruste.

Trotz all dieser weltweit unternommenen Anstrengungen ist die Aussicht auf Erfolge in der Vorhersage gering. Zur Zeit kann man Erdbeben nicht zuverlässig vorhersagen. Anders ist

dies bei Vulkanausbrüchen, hier wurden in letzter Zeit beachtliche Fortschritte erzielt. Die Erdbebenforscher lassen sich dennoch nicht entmutigen, leisten sie doch in jedem Fall einen wichtigen Beitrag für die Vorsorge, d. h. für den Schutz der Bevölkerung im Falle eines solchen Naturereignisses.

## **Massenbewegungen**

### *Bergstürze und Berggrutschungen*

Direkt an der Fernpassstraße, die von Garmisch-Partenkirchen über Nassereith und Imst ins Inntal führt, liegt der wunderschöne Fernsteinssee. Tausende von Pkw benutzen diesen Weg in den Süden, um den viel befahrenen Brenner zu umgehen. Viele machen hier eine kurze Rast, genießen die idyllische alpine Landschaft. Kaum einer der Touristen ahnt, dass er über das riesige Trümmerfeld eines Bergsturzes fährt, der hier vor etwa 10 000 Jahren, also gegen Ende der letzten Eiszeit, niedergegangen ist.

Eine Milliarde  $m^3$  Fels sind auf einer Strecke von 15,5 km im Tal verteilt und bilden ein unruhiges Relief mit Hügeln und Seen. Nur eine riesige Abrissnische, die Afrigall, lässt die Katastrophe ahnen. Es ist zu vermuten, dass Menschen das Ereignis beobachtet oder bemerkt haben, aber da die Alpen in dieser Zeit nicht dicht besiedelt waren, können es nicht viele gewesen sein. Opfer wird es wahrscheinlich nicht gegeben haben.

Anders verhält sich das mit den beiden Katastrophen am Nevados Huascarán (Peru) 1962 und 1970. Das Beispiel wurde ausgewählt, weil zwei verschiedene Ursachen zu annähernd denselben Folgen geführt haben. 1962 brach überhängendes Eis in 5 000 m bis 6 000 m Höhe ab, stürzte auf einen Gletscher unterhalb, mischte sich mit Eis und mit Schutt von den Hängen und schoss mit einer Geschwindigkeit von geschätzten 170 km/h durch eine Schlucht über einen Schuttfächer, auf dem das Städtchen Ranrahirca lag. Weitere acht Ortschaften wurden zerstört und etwa 4 000 Todesopfer waren zu beklagen.

Der am selben Gipfel abgehende Bergsturz am 31. Mai 1970 wurde durch ein Erdbeben ausgelöst, das sich in der Nähe ereignete. Im freien Fall stürzte eine große Gesteinsmasse 700 bis 1 000 m tief, nahm Eis und Schnee auf und raste durch ein Tal auf die Stadt Yungai zu. 18 000 Menschen kamen ums Leben, die Stadtfläche wurde mit einer mehr als 10 m mächtigen Schicht aus Schlamm und Geröll bedeckt.

Diese Ereignisse sind ohne Zweifel Naturkatastrophen in engem Sinne. Weniger eindeutig sind die Vorgänge beim Bergsturz von Elm in den Glarner Alpen. Auf einer Länge von 180 km hatte man einen Schieferbruch 20 m tief in den Berg hineingetrieben. Der unsachgemäße Abbau führte zu einer talabwärts gerichteten Bewegung des Gesteins. Oberhalb des Steinbruchs bildeten sich Risse, größere Felsstürze gingen zu Tal. Der Gemeinderat sah sich nun erst veranlasst, die Arbeiten am Steinbruch einzustellen, drei Tage vor der Katastrophe. Am Sonntag, dem 11.09.1881 ereignete sich ein großer Felssturz. Viele Neugierige eilten an den Schauplatz und 15 Minuten später überfuhr ein größerer Bergsturz die Schuttmassen des vorhergehenden. In panischer Angst flohen die Schaulustigen auf den Gegenhang, aber vier Minuten später löste sich der Hauptsturz. 10 Millionen  $m^3$  rasten mit 180 km/h durchs Tal und brandeten den Hang des Düniberges hinauf, auf den die Menschen geflohen waren. 115 Tote, erschlagen von Blöcken, verschüttet oder durch die Luft gewirbelt waren die Folge, 83 Gebäude wurden zerstört (Koenig 1984, S. 209–211).

Voraussetzung für die Bezeichnung einer Massenbewegung als Bergsturz ist, dass der größte Teil des Gesteins strecken-

weise im freien Fall zu Tal stürzt. Geschieht dies nicht, spricht man von Berggrutsch. Auch Rutschungen können Katastrophen sein. Da sie aber in der Regel langsamer sind als Bergstürze, ist ihre Gefahr für das Leben betroffener Menschen geringer. Die Ursachen sind denen von Bergstürzen ähnlich oder gleich. Immer ist ein Gebiet dafür disponiert, d. h. es gibt steile Hänge mit geklüftetem Fels, mit Schwächezonen also, an denen Abrisse möglich sind, oder es ist Lockermaterial, das so viel Wasser aufnimmt, bis letztlich die Scherfestigkeit überwunden wird und ganze Hangpartien zu Tal gleiten.

Wasser spielt eine große Rolle, sei es, dass es einen Hang durch Sättigung des Lockergesteins instabil macht, sei es, dass es als Gleitmittel auf einer stauenden Schicht wirkt. Ausgelöst werden die Massenbewegungen häufig durch Erschütterungen unterschiedlicher Größenordnung, wie Erdbeben, Sprengungen oder nur durch Vibrationen, die schwerer Lastverkehr hervorrufen kann.

### *Muren*

Ein Gemisch aus Wasser mit grobem und feinem Gesteinschutt nennt man in den Gebirgen Mure. Der Anteil an festem Material überwiegt. Muren fließen ruckartig in vorhandenen Tiefenlinien, z. B. in Wildbächen und Lawinengassen ab. Der Prozess wird Murengang genannt, er ist eine katastrophenartige Massenbewegung, die sich als Schlammstrom rasch zu Tal bewegt (Leser u. a. 1997). Neben der Voraussetzung großer Reliefenergie bedarf es besonders lang anhaltender Niederschläge oder einer intensiven Schneeschmelze, damit es zu katastrophalen Ereignissen kommt.

Kerschner (1995) nennt folgende Ursachen:

- „Mobilisierung von Geschiebeablagerungen in einem steilen Gerinne
- Umwandlungen von Hanginstabilitäten und Hangrutschungen bei ausreichendem Wasserangebot sowie
- zeitweise Blockierung eines Abflusses durch seitliche, kleinere Muren, Blöcke, Baumstämme (Wildholz, Unholz) oder kurzfristig liegende gebliebene, vorauslaufende Muren ...“

Murengänge können erhebliche Schäden in Siedlungen hervorrufen, sie zerstören Wildbachverbauungen und fordern Menschenleben. Ihre örtliche Begrenzung auf ein Tal oder eine Lawinengasse lässt sie aber nur selten zu einer Naturkatastrophe werden.

### *Lawinen*

„Unter einer Lawine sind Schneemassen zu verstehen, die bei raschem Absturz auf steilen Hängen, Gräben u. Ä., infolge der kinetischen Energie oder der von ihr verursachten Luftdruckwelle oder durch ihre Ablagerung, Gefahren oder Schäden verursachen können“ (§99, Österreichisches Forstgesetz, zit. nach ÖROK 1986, S. 29).

Der Winter 1999 hat die Gefahren größerer Lawinenereignisse für die Bewohner der Alpentäler und der dort verweilenden Touristen schlagartig in das Bewusstsein der Menschen Mitteleuropas gerückt. Empörung, Schuldzuweisungen, Unwissenheit und Sensationslust waren den Medien zu entnehmen. Der folgende wirtschaftliche Schaden für die betroffenen Täler ist nicht abzuschätzen, weil die Berichterstattung in die Zukunft wirken kann.

Die Ursachen der Lawinenbildung sind vielfältig und lassen sich in drei Bereiche gliedern:

- Meteorologische Bedingungen sind Schneefall, Wind, Regen, Temperatur, Feuchtigkeit und Strahlung.
- Das Relief übt Einfluss aus über die Höhenlage, die Geländeform, die Exposition, die Hangneigung und die Oberflächenbeschaffenheit (Rauigkeit, Vegetation).

- Die Schneedecke selbst wirkt über die Mächtigkeit, die Dichte, die Verteilung im Gelände und über die Qualität (Kristallstruktur, Temperatur, Wassergehalt, Schichtung).

Aus diesen Faktoren ergeben sich die mechanischen Eigenschaften des Schnees, wie Spannung, Festigkeit, Viskosität, Elastizität, Zug-, Druck-, Schneefestigkeit, Gleitgeschwindigkeit (Föhn 1993).

Wegen der Komplexität der Wirkungszusammenhänge haben verschiedene Staaten der Erde Forschungsinstitute eingerichtet, die eine bessere Kenntnis der Prozesse, der Verringerung der Gefahren und der Verbesserung des Schutzes untersuchen. Der beste Schutz ist die Lawinenvorhersage, deshalb gibt es seit mehr als zwanzig Jahren in allen Ländern, die Anteil an den Alpen haben, Lawinenwarndienste. Sie informieren ständig über die Wetterlage, den Zustand des Schnees und über erhöhte Lawinengefahr. Trotz dieser Vorsorge kommt es immer wieder vor, dass Gefahren nicht erkannt oder aus verschiedenen Gründen ignoriert werden. Auch die z. B. in Österreich ausgewiesenen Lawinengefahrenzonenpläne verhindern nicht gänzlich, dass es bei Lawineneignissen zu großen Schäden und zu Menschenverlusten kommt.

Das jüngste Beispiel sind die Ereignisse im Winter 1999. In verschiedenen Gebieten der Zentralalpen richteten Lawinen große Schäden an. Nirgendwo waren sie allerdings so verheerend wie in Galtür/Tirol. Eine lang anhaltende Nordwestwetterlage führte im Februar 1999 zu einem extrem langen Schneefall, der bisher nicht erreichte Schneemächtigkeiten mit sich brachte. Starker Wind verursachte die Bildung hoher Wächten und häufiger Temperaturwechsel verhinderte eine Verfestigung des Schnees. Der durch diese Faktoren instabile Neuschnee führte am 23. Februar 1999 zum Niedergang einer Lawine, die sich in etwa 2 500 m Höhe löste und mit hoher Geschwindigkeit zu Tal raste (bis zu 150 km/h). Die vorauseilende Luftdruckwelle deckte mehrere Häuser ab und die sechs Meter hohen Schneemassen verschütteten mehr als 20 Menschen. Nur fünf von ihnen konnten gerettet werden. Viele Gebäude wurden beschädigt, fünf völlig zerstört.

In Presse, Rundfunk und Fernsehen wurde diese Lawinenkatastrophe vielfach als die größte unseres Jahrhunderts bezeichnet, hervorgerufen durch schwerwiegende Eingriffe in den Naturhaushalt. Nur wenige haben darauf hingewiesen, dass sowohl 1951 als auch 1954 weitaus schwerere Zerstörungen durch Lawinen angerichtet wurden. 1951 starben in der Schweiz 98 und in Österreich 135 Personen (Flaig 1955, S. 18 f.), der Sachschaden betrug in der Schweiz 17,5 Mio. Franken. 1954 starben 27 Menschen in der Schweiz und 132 in Österreich durch Lawinenabgänge. Dies geschah in einer Zeit, als die Eingriffe in den Naturhaushalt der Alpen (Verkehrswege, Hotels und Restaurants, Skipisten, etc.) gegenüber heute vergleichsweise gering waren. Es ist also nicht ganz auszuschließen, dass die Wirkungen der anthropogenen Umgestaltung zu hoch bewertet werden.

## **Atmosphärische Naturkatastrophen**

---

### **Stürme**

#### *Zyklonale Stürme*

Welch verheerende Schäden Stürme anrichten können, zeigen die Ereignisse im Dezember 1999. Gleich dreimal zogen Orkane mit bisher nicht gemessenen Windgeschwindigkeiten über Europa hinweg und richteten große Schäden an. Viele Menschen verloren ihr Leben, nicht selten durch falsche Einschätzung der Gefahr. Wir Europäer waren es bisher gewohnt, Stürme vor allem in Zusammenhang mit hohen Fluten der

Nordsee, des Atlantiks oder der Ostsee als bedrohende Gefahr zu betrachten. Hierauf sind die Küstenbewohner und die Institutionen des Küstenschutzes vorbereitet. Nicht zum ersten Mal, wohl aber unerwartet sahen sich diesmal auch die Binnenländer einer Katastrophe ausgesetzt, gegen die sie keine Abwehr hatten.

Die Ursachen dieses Ereignisses waren schnell ausgemacht: Es ist die Klimaveränderung, hervorgerufen durch die anthropogene Verstärkung des Treibhauseffektes. Wenn man allerdings die unterschiedlichen Ansichten der Klimatologen analysiert, kommen Zweifel auf. Auch muss man die Behauptung, höhere Windgeschwindigkeiten habe es in unseren Breiten noch nie gegeben, relativieren, denn die Messinstrumente früherer Zeiten konnten solche Geschwindigkeiten gar nicht messen. Auch heute sind noch nicht alle Klimastationen entsprechend ausgerüstet. Anders lässt sich der Hinweis des diensttuenden Meteorologen am 03.12.1999 im Flottenkommando in Glücksburg „84 Knoten, > 12 Beaufort, Messgerät am Anschlag“ nicht erklären. Die hier genannten Orkane sind durch zyklonale Vorgänge zu erklären, d. h. beim Durchzug einer Zyklone treten Luftströmungen auf, die den Druckunterschied zwischen dieser Zyklone (Tief) und einer Antizyklone (Hoch) ausgleichen. Je höher der Druckgradient ist, desto schneller sind diese Luftströmungen, d. h. die Windgeschwindigkeiten.

#### *Tornados, kleinräumige Wirbelstürme*

Selten in Mitteleuropa, aber häufig in Nordamerika, richten Tornados große Schäden an. Die Bildungsmechanismen sind sehr viel komplizierter als bei den zyklonalen Vorgängen.

Voraussetzung ist das Aufeinandertreffen trockenkalter Luft, z. B. von den Rocky Mountains, mit tropisch-subtropischer feuchtwarmer Luft aus dem Golf von Mexiko. Vereinfacht kann man auch sagen: Tornados entstehen durch das Aufeinandertreffen polarer und tropischer Luftmassen. Die großen Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede labilisieren die Luft z. B. in einer Gewitterwolke. Heftige Vertikalbewegungen sind die Folge, von allen Seiten wird Luft nachgeführt. Die hochschießende Luft wird in Rotation versetzt. Von oben her verstärken sich die auftretenden Zentrifugalkräfte, sodass der Wirbel gegenüber der Umgebung abgeschirmt wird. Zuletzt kann Luft nur noch von unten nachströmen. Das ist der Zeitpunkt zu dem der von oben zum Boden wachsende Tornadoschlauch, der Rüssel genannt wird, eine so große Drucker-niedrigung bewirkt, dass Windgeschwindigkeiten von einigen 100 km/h auftreten, Gebäude zerbersten, Bäume entwurzelt und sogar große Gegenstände durch die Luft gewirbelt werden. Die Schneisen der Verwüstung sind in der Regel nicht breit, die Lebensdauer eines Tornados ist kurz. Wegen des häufigen Auftretens dieses Naturereignisses mit meist katastrophalem Ausgang hat das US Weather Bureau bereits 1956 einen Tornadowarndienst eingerichtet. Zwischen 1915 und 1950 hatte man in den USA 5 204 Tornados registriert, das sind im Durchschnitt 145 pro Jahr; 1972 waren es 927 (Blüthgen/Weischet 1980).

Tornados können das ganze Jahr über auftreten, ihr Maximum liegt aber im Frühling und im Frühsommer, wenn die polaren Kaltluftvorstöße in Nordamerika zahlreich sind. In Deutschland kommen sie äußerst selten vor. Verhindern kann man Tornados nicht, aber ein guter Warndienst kann vor allem den Verlust von Menschenleben reduzieren.

#### *Taifune und Hurrikans, tropische Wirbelstürme*

Tropische Wirbelstürme haben alle dieselben Entstehungsursachen, nur werden sie unterschiedlich genannt: In Mittel- und

Nordamerika heißen sie Hurrikan, in Asien Taifun. In der Klimatologie ist man dazu übergegangen, sie Hurrikans zu nennen. Ihre Entstehung ist an bestimmte Voraussetzungen gebunden, die sich von denen des Tornados unterscheiden.

Hurrikans entstehen ausschließlich über warmen Ozeanen mit Wassertemperaturen zwischen 26 °C und 27 °C. Ein hoher Wasserdampfgehalt ist notwendig, weil die Freisetzung latenter Wärme die höhere Temperatur im Innern des Wirbels aufrecht erhält. Damit es überhaupt zur Wirbelbildung kommen kann, bedarf es der Wirkung der Corioliskraft, die am Äquator 0 ist. Hurrikans können also erst auf der geographischen Breite 3° entstehen. In der Höhe dürfen keine Winddrehungen auftreten, weil sich sonst kein bis an die Tropopause reichender zyklotrophischer Wirbel, in dem „die Fliehkraft dem Druckgradienten das Gleichgewicht hält“, bilden kann (Blüthgen/Weisheit 1980, S. 419). Schließlich muss gewährleistet sein, dass in der oberen Troposphäre eine divergente Höhenströmung besteht, die ein ständiges Nachströmen von aufwärts geführten warmen Luftmassen garantiert. Im Ergebnis bedeutet das: Hurrikans entstehen über tropischen Ozeanen zwischen etwa 3° und den Wendekreisen. Es sind großräumige Wirbel mit hohen Windgeschwindigkeiten. Im Südatlantik und im östlichen Südpazifik reichen die Temperaturen für ihre Entstehung nicht aus (Benguela und Peru-Strom).

Hurrikans erzeugen hohe Flutwellen und richten ähnliche Schäden an wie Tornados. Allerdings ist die Schneise der Zerstörung wesentlich breiter und ihre Lebensdauer größer. Vom Ozean, über dem geringe Reibung herrscht, lässt ihre Kraft aufgrund der Rauigkeit über Land nach. Im so genannten „Auge“, das einen Durchmesser von 30–50 km hat, herrscht relative Windruhe. Große Schäden verursachen Hurrikans zudem durch Starkregen. Niederschlagsmengen von 150–300 mm sind typisch. Besonders in Gebirgen führt das zu Erdrutschen, Schlammlawinen und verheerenden Hochwasser.

In Erinnerung ist der Hurrikan Mitch, der im Oktober 1998 schwere Zerstörungen in Mittelamerika, besonders in Honduras und Nicaragua anrichtete. Die Zahl der Toten wird auf 10 000 bis 11 000 geschätzt, fast 10 000 Menschen werden vermisst, mehr als 13 000 wurden verletzt, 1,6 Millionen obdachlos, 226 000 Häuser wurden zerstört und mehr als 200 000 beschädigt. Die Infrastruktur wurde nahezu total zerstört. Der Gesamtschaden wird auf 6,35 Mrd. US-\$ geschätzt (Sandner 1999).

## **Fluten und Überschwemmungen**

### *Sturmfluten*

Als Flut bezeichnet man „allgemein“ eine große, anschwellende Wassermenge, die ein Gebiet „überflutet“ (Petersen/Rhode 1977). Bezogen auf die Gezeiten in den Ozeanen und ihren Randmeeren versteht man unter Flut den Vorgang des auflaufenden Wassers. Wird dieser Vorgang durch Sturm unterstützt, sodass der Hochwasserstand über den des mittleren Hochwassers hinausreicht, spricht man von Sturmflut.

Sturmfluten treten aber nicht nur an Gezeitenküsten auf, wir kennen sie auch an den gezeitenfreien Küsten z. B. der Ostsee und des Schwarzen Meeres. Fluten werden auch durch hohe Abflüsse aus dem Binnenland verursacht oder durch vulkanische und tektonische Ereignisse (Tsunamis, s. o.).

Der Kampf der Menschen gegen verheerende Sturmfluten ist historisch über Jahrhunderte belegt. Erste Berichte von schweren Sturmfluten an der Nordsee sind aus römischen Quellen überliefert (Cimbernflut 120/115 v. Chr.). Plinius berichtet über eine Sturmflut im Jahre 57 oder 58 n. Chr. In dieser Zeit und in den folgenden Jahrhunderten schützten sich die Menschen durch das Aufwerfen von Hügeln (Warften) auf die

sie ihre Häuser setzten. Erst nach der Jahrtausendwende begann der Deichbau. Aber auch die Deiche schützten nicht ausreichend vor schweren Sturmfluten. Der Meeresspiegel stieg im Laufe der Jahrhunderte an und die Höhe der Deiche sowie das Deichprofil hielten den immer höher auflaufenden Wellen nicht stand. Die Sturmfluten von 1164 (Julianenflut), 1219 (1. Macellusflut), 1287 (Luciaflut), 1362 (2. Macellusflut und 1. Große Mandränke), 1436, 1532 und 1570 (Allerheiligenfluten), 1470 (Dreikönigsflut), 1634 (2. Große Mandränke), 1717 (Weihnachtsflut), 1791, 1792 und 1793 und die Halligenflut 1825 waren Ereignisse, die viele tausend Menschen das Leben kosteten und unzählige Überlebende in große Hungersnot stürzten (Petersen/Rhode 1977). Die verbesserte Technik des Deichbaus im 19. und 20. Jahrhundert führte zu einer Verringerung der Gefahr. Schon glaubte man, die Naturgewalten seien gezähmt, als 1953 die „Hollandflut“ hereinbrach. An 67 Stellen brachen die Deiche, fast 2 000 Menschen verloren ihr Leben, 47 000 Stück Vieh ertranken und 143 000 ha Land wurden vom Wasser überflutet. Der Schaden wurde auf 50 Milliarden Gulden geschätzt (Petersen/Rhode 1977). Diese Katastrophe war nicht nur in den Niederlanden der Anlass, alle Deiche zu überprüfen und eine Verbesserung des Küstenschutzes zu fordern. Hätte man damals nicht so schnell gehandelt, hätte die vorerst letzte Flutkatastrophe wohl sehr viel mehr Todesopfer gefordert und größeren Schaden angerichtet. Es ist verständlich, dass wir unser Augenmerk auf die Nordsee richten, wenn es um die Bedrohung durch das Meer geht. Wir sehen es deshalb auch als selbstverständlich an, dass der Küstenschutz eine Gemeinschaftsaufgabe ist, für die Geld bereitgestellt werden muss. Leider vergessen wir dabei allzu leicht, dass es Millionen von Menschen gibt, die sehr viel weniger Schutz vor Sturmfluten haben und immer wieder in große Not geraten. Eine in dieser Hinsicht besonders betroffene Region ist der Golf von Bengalen. Für einen Schutz durch Deiche reichen die Mittel des Landes Bangladesch nicht, man hat deshalb Schutzbauten errichtet, große überdachte Plattformen auf Pfählen, die allerdings nicht ausreichen, um allen Bewohnern Zuflucht zu gewähren.

Eine besondere Gefahr besteht darin, dass Sturmfluten in der Regel durch Taifune (Hurrikans) hervorgerufen werden, die Windgeschwindigkeiten von mehr als 200 km/h erreichen und hohe Niederschlagsmengen bringen. Auf diese Weise werden Überflutungen mit Ozeanwasser durch Überschwemmungen mit Binnenwasser verstärkt.

### *Überschwemmungen*

Hochwasser am Mississippi 1993, am Rhein und seinen Nebenflüssen 1993 und 1995, an der Oder 1997, am Jangtsekiang 1998 und in Mosambik 2000 – das sind die Katastrophen des letzten Jahrzehnts. Auch in diesen Fällen muss man betonen, dass die Bewohner der betroffenen Regionen seit hunderten von Jahren mit dem Phänomen der Überschwemmung vertraut sind. Diese Aussage soll das Problem nicht verniedlichen, sie soll aber ins Bewusstsein rücken, dass Naturgewalten schon immer das Leben von Menschen bedroht haben. Die Katastrophen ergeben sich in der Regel aus einer Verkettung von verschiedenen Ereignissen mit gleicher Wirkung oder aus besonders lang anhaltenden oder intensiven atmosphärischen Prozessen.

Die Hochwasser der deutschen Mittelgebirgsflüsse ergeben sich meistens, wenn Schneeschmelze und hohe Niederschlagsmengen zusammenkommen. Die Überschwemmungen im Tal des Mississippi entstehen nicht selten durch lang andauernde Regenfälle, so z. B. im Sommer 1993. Die Katastrophe an der Oder wurde durch eine besondere Wetterlage hervorgerufen.

Ein ausgeprägtes Tief hielt sich lange in Südpolen und saugte sehr viel feuchte Subtropenluft aus dem Mittelmeergebiet heran. Das Ereignis am Jangtsekiang in China war nichts anderes als ein ungewöhnlicher Monsunregen, der viel früher als normalerweise eingesetzt hatte und in Flüssen und Seen bereits vor dem eigentlichen Monsunbeginn relativ hohe Wasserstände erzeugt hatte. Am Mittellauf des Flusses lagen die Niederschlagsmengen bei etwa 300 % gegenüber dem langjährigen Durchschnitt (Sauer 1999, S. 342). Das Jahr 1998 war in China, so nimmt man an, das regenreichste Jahr unseres Jahrhunderts. Die Zahl der Opfer wurde für das Einzugsgebiet des Jangtsekiang offiziell mit 4 100 angegeben, der volkswirtschaftliche Schaden wird auf 20 Milliarden Dollar geschätzt. Die überflutete Ackerfläche wurde mithilfe von Satellitenaufnahmen berechnet. Sie liegt zwischen 500 000 und 1 Mio. ha. Dass in der internationalen Presse bis zu 21 Mio. ha angegeben wurden, mag an einer Veröffentlichung des State Flood Control Headquarters liegen, in der es heißt: „21 Mio. ha of cropland affected“ (Sauer 1999, S. 344).

## Quasinatürliche Katastrophen

---

Als quasinatürliche Vorgänge bezeichnet man solche, die durch schwerwiegende Eingriffe des Menschen in die Natur ausgelöst werden, die aber entsprechend den Naturgesetzen ablaufen.

Beim Anlegen von Stauseen z. B. werden die Schwerkverhältnisse in der Erdkruste verändert. Erdbeben oder Massenbewegungen können dadurch ausgelöst werden. Ein Beispiel dafür ist die Katastrophe von Longarone im Tal der Piave in den italienischen Alpen. Schon kurz nach dem Bau des Vaiont-Staudamms im Jahre 1960 hatte man über dem Stausee an den Felshängen Risse festgestellt und kleinere Felsstürze beobachtet. Der Bürgermeister eines kleinen Ortes unterhalb des Stausees hatte die Bewohner schon eine Woche vor der Katastrophe zum Verlassen des Gebietes aufgefordert, aber bei weitem nicht alle waren diesem Rat gefolgt. Am Abend des 10. Oktobers 1963 rutschten von der Flanke des 2 000 m hohen Monte Toc etwa 250 Millionen m<sup>3</sup> Fels in den Stausee. Sie erzeugten eine Flutwelle, die sich 100 m über die Dammkrone ergoss und mit ungeheurer Geschwindigkeit und Wucht durchs Tal schoss. Der Ort Longarone und ein halbes Dutzend kleinerer Dörfer wurden fortgespült, 3 000 Menschen fanden den Tod, nur 18 Überlebende konnten in Longarone geborgen werden. Die Staumauer war indes nicht gebrochen, nur die Dammkrone hatte gelitten. Der Stausee selbst war durch die abgerutschten Felsmassen weitgehend verfüllt.

Solche Ereignisse sind zweifellos Katastrophen. Als Naturkatastrophen in engem Sinne kann man sie aber nicht bezeichnen, weil sie durch den Eingriff des Menschen hervorgerufen und ausgelöst sind.

## Zusammenfassung

---

Naturkatastrophen sind nicht erst in unserer Zeit Gegenstand besonderer geowissenschaftlicher Betrachtung geworden. Sie sind in der Vergangenheit in ihrer Wirkung auf Veränderungen der Erde manches Mal überbewertet worden und haben den Blick für die vielfältigen langsamen Prozesse, welche den Raum gestalten, getrübt. In der Gegenwart hat die Behandlung von Naturkatastrophen im Erdkundeunterricht einen hohen Stellenwert. Hier spiegeln sich die Berichterstattung und die Diskussionen in den Medien und in der Gesellschaft wider.

Beigetragen zu dieser Entwicklung hat auch die Resolution der Vereinten Nationen, die 90er-Jahre zur Internationalen Dekade für die Vorbeugung vor Naturkatastrophen zu erklären. Die Entscheidung war richtig, hat sie doch nicht nur in den verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen Forschung ange-regt, sondern auch das Bewusstsein der Menschen verändert. Aufgabe des Erdkundeunterrichts ist die Vermittlung eines der Kernprobleme der Menschheit: die Erhaltung einer natürlichen Umwelt. Dies kann nur geschehen, wenn man alle raumverän-dernden Prozesse analysiert. Dazu gehören auch die Naturka-tastrophen.

---

Prof. Dr. Manfred J. Müller ist Direktor des Instituts für Geographie und ihre Didaktik, Landeskunde und Regionalforschung der Universität Flensburg, Mürowiker Str. 77, 24943 Flensburg

---

### Literatur

- Abele, G.:** Felsgleitungen im Hochgebirge und ihr Gefahrenpotential. In: Geographische Rundschau 46, H. 7–8, 1994, S. 414–420.
- Balandin, R. K.:** Naturkatastrophen. Der Puls der Naturgewalten. Thun, Frankfurt/Main 1984.
- Berz, G. u. a.:** 1995 neues Rekordjahr für Naturkatastrophen. In: Geographische Rundschau 48, H. 6, 1996, S. 391.
- Berz, G. u. a.:** Naturkatastrophen 1996. In: Geographische Rundschau 49, H. 7–8, 1997, S. 459–460.
- Berz, G. u. a.:** IDNDR: Naturkatastrophen 1997. In: Geographische Rundschau 50, H. 6, 1998, S. 387–388.
- Blüthgen, J./Weischet, W.:** Allgemeine Klimageographie. Berlin, New York, 3. Aufl. 1980.
- Bohle, H.-G./Pilardeaux, B.:** Jahrhundertflut in Pakistan, September 1992. In: Geographische Rundschau 45, H. 2, 1993, S. 124–126.
- Bolt, B. A.:** Erdbeben. Schlüssel zur Geodynamik. Heidelberg, Berlin, Oxford 1995.
- Cremer, G.:** Zyklon-Schutzbauten Bangladesch. Beitrag von Nichtregie-rungsorganisationen zur Katastrophenvorhersage. In: Geographische Rundschau 51, H. 2, 1998, S. 142.
- Decker, R./Decker, B.:** Die Ausbrüche des Mount St. Helens. In: Spektrum der Wissenschaft 5, 1981.
- Decker, R./Decker, B.:** Von Pompeji zum Pinatubo. Die Urgewalt der Vulkane. Basel 1993.
- Decker, R./Decker, B.:** Vulkane. Abbild der Erddynamik. Heidelberg 1998.
- Dikau, R.:** Hangrutschungen als Naturgefahr. In: Geographische Rundschau 47, H. 12, 1995, S. 744 f.
- Francis, P./Self, St.:** Der Ausbruch des Krakatau. In: Spektrum der Wissenschaft 1, 1984.
- Geipel, R.:** IDNDR und Hazardforschung am Beispiel des Friaul. In: Geographische Rundschau 46, H. 7–8, 1994, S. 393–399.
- Geipel, R.:** Wahrnehmung von Risiken im Mittelrheinischen Becken. In: Geographische Rundschau 49, H. 10, 1997, S. 605–608.
- GeoForschungszentrum Potsdam (Hrsg.):** International IDNDR-Conference on Early Warning Systems for the Reduction of Natural Disasters. Potsdam 1998.
- Grünwald, U.:** Das Sommerhochwasser 1997 an der Oder. In: Geographische Rundschau 50, H. 7–8, 1998, S. 472–473.
- Hanisch, J.:** Gletscherseeausbrüche im Himalaya. In: Geographische Rundschau 49, H. 2, 1997, S. 124–125.
- Kerschner, H.:** Naturereignisse – Naturgefahren. Hochwasser und Wildbäche im alpinen Lebensraum. In: Geographische Rundschau 47, H. 1, 1995, S. 46–51.
- Koenig, M. A.:** Geologische Katastrophen und ihre Auswirkungen auf die Umwelt. Thun 1984.
- Krauter, E.:** Hangrutschungen und deren Gefährdungspotential für Siedlungen. In: Geographische Rundschau 46, H. 7–8, 1994, S. 422–428.
- Kron, W.:** Wasser als Naturgefahr in den Bergen. In: Geographische Rundschau 48, H. 4, 1996, S. 258–259.
- Kron, W.:** Überschwemmungen in China. In: Geographische Rundschau 50, H. 12, 1998, S. 739.
- Leser, H. (Hrsg.):** Wörterbuch der Allgemeinen Geographie. Braun-schweig 1997.
- Lorenz, V.:** Maare und Schlackenkegel der Westeifel. In: Spektrum der Wissenschaft 2, 1982.
- Münchener Rückversicherungsgesellschaft:** Vulkanausbruch,

Ursachen und Risiken. München 1983.

**Münchener Rückversicherungsgesellschaft:** Sturm. München 1990.

**Münchener Rückversicherungsgesellschaft:** Weltkarte der Naturgefahren. München 1998.

**Niesche, H.:** The Oder river flood in summer 1997 from the perspective of the state of Brandenburg. In: International IDNDR-Conference on Early Warning Systems for the Reduction of Natural Disasters, Potsdam 1998, S. 52–53.

**Paem, R.:** Erdbebengefährdung in Kalifornien. Einstellungen und Verhaltensmuster. In: Geographische Rundschau 46, H. 7–8, 1994, S. 434–439.

**Petersen, M./Rohde, H.:** Sturmflut. Neumünster 1977.

**Plate, E. J./Merz, B.:** Ende der Internationalen Dekade für die Reduzierung von Naturkatastrophen – ein Restimee. In: Geographische Rundschau 51, H. 11, 1999, S. 647.

**Sandner, V.:** Auswirkungen des Hurrikans Mitch auf Zentralamerika. In: Geographische Rundschau 51, H. 7–8, 1999, S. 418–423.

**Sauer, H. D.:** Das Jangtse-Hochwasser 1998: Ausmaße, Ursachen, Folgen. In: Geographische Rundschau 51, H. 6, 1998, S. 341–346.

**Schick, R.:** Erdbeben und Vulkane. 2. Aufl., München 1997.

**Schmidt-Kaler, H.:** Das Ries. In: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 50 000, 3. Aufl. 1981, S. 84–86.

**Schmincke, H.-U.:** Vulkanismus. Darmstadt 1986.

**Schmincke, H.-U.:** Vulkaneruptionen, Vulkangefahren, Vulkankatastrophen. In: Geographische Rundschau 46, H. 7–8, 1994, S. 440–448.

**Schneider, G.:** Naturkatastrophen. Stuttgart 1980.

**Schneider, G.:** Erdbebengefährdung. Darmstadt 1992.

**Schröder, H./Adler, St.:** El Niño 1997/98 in Guayaquil (Ecuador). In: Geographische Rundschau 51, H. 9, 1999, S. 502–507.

**Spektrum der Wissenschaft:** Verständliche Forschung – Vulkanismus, Naturgewalt, Klimafaktor und Kosmische Formkraft. Heidelberg 1985.

**Spektrum der Wissenschaft:** Verständliche Forschung – Atmosphäre, Klima, Umwelt. Heidelberg 1990.

**Spektrum der Wissenschaft:** Verständliche Forschung – Geodynamik und Plattentektonik. Heidelberg 1995.

**Struck, E.:** Das Erdbeben in der Türkei am 17. August 1999 – ein Erfahrungsbericht. In: Geographische Rundschau 51, H. 11, 1999, S. 643–646.

**Thorarinsson, S.:** Surtsey, Geburt einer Vulkaninsel im Nordmeer. Stuttgart 1968.

**Wischniewski, H.-J.:** IDNDR – Eine interdisziplinäre Aufgabe für Wissenschaft und Politik. In: Geographische Rundschau 46, H. 7–8, 1994, S. 392.