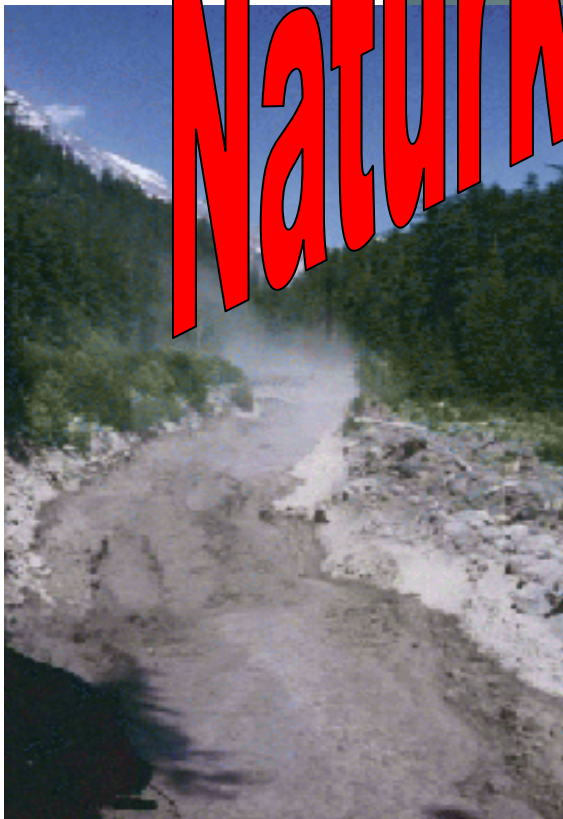




Vortragsdossier

Naturkatastrophen



Inhaltsverzeichnis

1. Seite	Inhaltsverzeichnis
2. Seite	Vorwort
3. Seite	Naturkatastrophen
4. Seite	Einteilung verschiedener Naturkatastrophen
5. Seite	Liste historischer Naturkatastrophen
8. Seite	Statistik
10. Seite	Die 10 grössten Naturkatastrophen 2004
11. Seite	Der Klimawandel hat begonnen!!
12. Seite	Hurrikan
17. Seite	Namen von Hurrikans
19. Seite	Die Saffir-Simpson-Hurrikan-Skala
20. Seite	Tornado
23. Seite	Bedeutende Tornadoereignisse
24. Seite	Erdbeben
28. Seite	Bekannte Erdbeben
30. Seite	Stärkste Erdbeben
31. Seite	Bestimmung der Erdbebenstärke
32. Seite	Die Richterskala
33. Seite	Vulkanismus
34. Seite	Vulkansausbrüche in der Geschichte
36. Seite	Tsunami
40. Seite	Gefahren und Schutz
43. Seite	Megatsunamis
44. Seite	Die grössten Tsunamis

Vorwort

Naturkatastrophen

Naturkatastrophen führen Jahr für Jahr zum Tod vieler Menschen und richten beträchtliche Schäden an. Fernsehbilder von solchen Ereignissen betrachten wir mit einer Mischung aus Betroffenheit, angesichts der Opfer, Erleichterung über die eigene Unversehrtheit und Staunen über die gewaltigen Kräfte der Natur.

Trotz enormer Fortschritte in Wissenschaft und Technik bleiben Naturkatastrophen unvorhersehbar. Immerhin konnte in den letzten Jahrzehnten das Verständnis von Ursachen und Wirkungen solcher Extremereignisse stark verbessert werden. Diese Erkenntnisse wurden unter anderem in Gefährdungskarten, Konstruktionsstandards und Notfallplanungen umgesetzt und helfen uns so, für künftige Ereignisse besser gerüstet zu sein.

Naturkatastrophen

Eine Naturkatastrophe ist eine natürlich entstandene Veränderung der Erdoberfläche oder der Atmosphäre, die auf Lebewesen und deren Umgebung verheerende Auswirkungen hat. Ein spektakuläres Naturereignis (beispielsweise ein Gletscherabbruch auf Grönland) genügt also nicht; im engeren Sinne kann ein Naturereignis nur dann zur "Katastrophe" werden,



wenn es sich auf Menschen auswirkt. Wenn hingegen Menschen die Verursacher der Katastrophe sind, spricht man von einer Umweltkatastrophe. Der Zeitraum, in dem die Veränderungen stattfinden, reicht von Sekunden bis zu Jahren. Zudem können einige natürliche Risiken durch die Eingriffe des Menschen verschlimmert werden: etwa Überschwemmungen aufgrund der Zerstörung von Wäldern. Die schwersten Risiken durch Naturkatastrophen bestehen in den wirtschaftlich noch wenig

entwickelten Staaten. Dies liegt teils an den klimatischen Bedingungen der Tropen, teils an der Lage innerhalb geologischer Schwäche- oder Gefahrenzonen und schließlich an der noch gering ausgebauten Infrastruktur bezüglich Schutzmaßnahmen für Mensch und Umwelt.

Viele Naturkatastrophen, wie etwa Erdbeben, sind unvermeidbar, doch gibt es Maßnahmen, um ihre Auswirkungen zu begrenzen. So können Häuser gebaut werden, die weniger einsturzgefährdet sind; die Konsequenzen von Überschwemmungen können durch technische Maßnahmen (Dammbau), durch frühzeitige Sturmwarnungen und Handlungsanweisungen für die Bevölkerung gemildert werden. Viele natürliche Risiken sind vorhersehbar, sie kehren oft in zyklischen Zeitabständen wieder, die mit Phänomenen wie Sonnenflecken oder der Umlaufperiode des Mondes zusammenhängen.



Einteilung verschiedener Naturkatastrophen

Die Klassifikation erfolgt nach nicht von Menschen herrührenden (nicht anthropogenen) Ursachen. Viele dieser Ursachen lassen sich allerdings auch auf Menschen zurückführen (beispielsweise Eindeichungen). Kriege, Bürgerkriege und bewaffnete Konflikte werden nicht zu den Naturkatastrophen gezählt.

Endogene/tektonische Ursachen

(Endogen bedeutet im Innern entstehend)

Erdbeben und Seebeben

Vulkanausbrüche mit Lavafluss, Vulkaneinstürze, Vulkanexplosionen

Tsunamis (durch Seebeben hervorgerufene Flutwellen)

Gletscherlauf (auch gravitatorische Ursachen)

Gravitatorische Ursachen, Massenbewegungen

(Gravitation bedeutet Schwerkraft / Anziehungskraft)

(Eine **Massenbewegung** bezeichnet in der Geologie eine starke Lageveränderung an der Erdoberfläche)

Erdbeben, Lawinen, Bergstürze, Muren

Steinschlag

Meteoriteneinschläge

Gletscherlauf (auch endogene/tektonische Ursachen)

Sonstige Ursachen

Strudel

Heuschreckeneinfall

Termitenbefall

Ungeziefer

Vorkommen bestimmter Krankheiten (z. B. Malaria)

Liste historischer Katastrophen

Datum	Katastrophe	Ergebnis
1628 v. Chr.	Gewaltiger Vulkanausbruch auf der Insel Thera (Santorini), Griechenland	
425 v. Chr.	Durch ein Erdbeben vor Griechenland wird Euböa zu einer Insel.	
17 v. Chr.	Ephesus, Kleinasien, wird durch ein Erdbeben vollkommen zerstört.	
24. August 79	Ausbruch des Vesuv	Zerstörung von Pompeji und Herculaneum, 2.000 Tote
17. Februar 1164	Sturmflut an der Nordsee	Beginn der Entstehung des Jadebusens
16. Januar 1219	Erste Marcellusflut. Sturmflut an der Nordsee	etwa 36.000 Tote
15. Januar 1362	Zweite Marcellusflut ("Grote Mandränke"). Untergang des Ortes Rungholt zusammen mit sieben anderen Kirchspielen in der Edomsharde (Uthlande). Entstehung der ersten Halligen.	Mindestens 7.600 Tote. (Gesamte Nordseeküste: laut den Chroniken 100.000 Tote.)
1556	ein Erdbeben zerstört große Teile der Provinz Shaanxi, China,	etwa 800.000 Tote
1693	ein Erdbeben erschüttert die Insel Sizilien, Italien	etwa 60.000 Tote
31. Dezember 1703	Erdbeben bei Tokio	Zerstörung von Odawara, Tokio und anderer Städte, etwa 150.000 Tote
1. November 1755	Erdbeben bei Lissabon	Zerstörung von Lissabon, 60.000 Tote
27. August 1883	Ausbruch des Krakatau	sprengt zwei Drittel der Insel mit Flutwelle, 20.000 Tote
1896	Seebeben mit Flutwelle vor der Saraiko-Küste, Japan	zerstörte Fischerdörfer, viele Tote
8. September 1900	Der Galveston Hurrikan von 1900 zerstört die texanische Stadt Galveston.	etwa 8.000 Tote
16. Dezember 1902	Ein Erdbeben der Stärke 6,4 in Turkestan	etwa 4.500 Tote
28.	Erdbeben in Messina bis Kalabrien,	etwa 83.000 Tote

Dezember 1908	Italien	
16. Dezember 1920	Ein Erdbeben der Stärke 8,6 erschüttert die Provinz Gansu in China	rund 200.000 Tote
1. September 1922	Erdbeben in der Sagamibucht	Zerstörung von Tokio u. Yokohama, 150.000 Tote
1. September 1923	Erdbeben in der Region Kanto, Japan	143.000 Tote
August 1931	Überschwemmungen des Jangtse in China	circa 1,4 Millionen Tote
5. Oktober 1948	Erdbeben der Stärke 7,3 in Aschgabat, Turkmenistan	rund 110.000 Tote
7. September 1955	Überschwemmungen in Indien	etwa 45 Millionen Menschen obdachlos
29. Februar 1960	Erdbeben der Stärke an 5,7 an der Atlantikküste in Marokko	etwa 12.000 Tote
Von 1965 bis 1967	Eine dreijährige Dürreperiode verheerte Indien	rund 1,5 Millionen Menschen starben
15. August 1968	Erdbeben auf Celebes	etwa 68.200 Tote
November 1970	Wirbelstürme (Zyklone) und Flutwellen in Bengalen	etwa 300.000 Tote
August 1975	Brand in der Lüneburger Heide	bisher größter Waldbrand in der Bundesrepublik Deutschland
4. Februar 1976	Erdbeben der Stärke 7,5 in Guatemala	rund 22.770 Tote
27./28. Juli 1976	Erdbeben der Stärke 7,5 in Tangshan, 150 km südlich von Peking, China	etwa 655.000 Tote, offiziell: 255.000 Tote
16. September 1978	Erdbeben der Stärke 7,7 im Iran	rund 25.000 Tote
19. September 1985	Erdbeben der Stärke 8,1 in Mexiko-Stadt	etwa 6.000 Tote (offizielle Zahlen)
7. Dezember 1988	Erdbeben der Stärke 7,0 im Nordwesten Armeniens	etwa 25.000 Tote
20. Juni 1990	Erdbeben der Stärke 7,7 im Iran	40.000 bis 50.000 Tote

April 1991	Zyklon in Bangladesch	etwa 139.000 Tote
2. September 1992	Erdbeben der Stärke 7 120 Km vor Pazifikküste, Nicaragua	etwa 180 Tote
30. September 1993	Erdbeben der Stärke 6,2 im Südwesten Indiens	bis zu 30.000 Tote
16. Januar 1995	Erdbeben in Kōbe, Japan	mehr als 6.000 Tote, über 400.000 Verletzte, Rekordsachschiäden bis 100 Milliarden Dollar
Juli/August 2003	Hitzewelle/Brände in Europa	etwa 20.000 Tote
17. August 1999	Erdbeben der Stärke 7,4 in der Türkei bei Izmir	17.840 Tote
26. Januar 2001	Erdbeben der Stärke 7,9 in Gujarat, Indien	Tote offiziell: 17.110, Schätzungen: mehr als 50.000
26. Dezember 2003	Erdbeben der Stärke 6,6 in Bam, Iran	etwa 43.000 Tote
26. Dezember 2004	Erdbeben im Indischen Ozean vor der Insel Sumatra der Stärke 9,0 (9,3) mit verheerenden Auswirkungen durch Tsunamis selbst noch in Nordostafrika	über 232.000 Tote (Schätzung)
28. August 2005	Der Hurrikan Katrina wütet in den Küstenregionen des Golfes von Mexiko. Dämmbrüchen in New Orleans überfluten ca. 80 % der Stadt.	Schätzungsweise über 1.000 Tote
8. Oktober 2005	Erdbeben in Indien und Pakistan.	Schätzungsweise über 86.000 Tote

Der Klimawandel hat begonnen !

Der globale Klimawandel hat bereits begonnen und wird sich im Laufe des 21. Jahrhunderts fortsetzen, dabei könnte der Klimawandel dramatischer ausfallen als bisher angenommen. Der Klimawandel hat bereits unmittelbare, weit überwiegend negative Folgen auf eine Reihe physikalischer und biologischer Systeme. Diese werden jetzt schon deutlich sichtbar, mit dem Schmelzen der Gletscher auf den Bergen, dem milden Winter, der Hitze im Sommer, Pflanzen gedeihen früher, vermehrt in den Alpen. Diese Effekte werden sich im Laufe des 21. Jahrhunderts deutlich verschärfen:

Wahrscheinliche Folgen des Klimawandels

- Wetterextremereignisse wie heftige Niederschläge, Stürme und Extremtemperaturen häufen sich und führen dadurch zu mehr und größeren Schadenereignissen:
 - Die Erwärmung erhöht generell die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf und damit Niederschlagspotenziale (Starkregen).
 - Mildere Winter bringen weniger Schnee und Frost, sondern vermehrt Niederschläge mit sich; das erhöht das Überschwemmungsrisiko wegen erhöhter Abflussmengen und wassergesättigter Böden.
 - Mildere Winter vermindern zudem die Schneeflächen, über denen sich früher stabile Kältehochs als Barriere gegen die aus den Atlantik heranziehenden Sturmtiefs bildeten — Orkane, Unwetter, Gewitter, Tornados und Hagelschläge können ungehindert durchziehen.
 - Eine Zunahme der Sturmfrequenz als solche ist noch nicht abschließend erwiesen, wird aber für wahrscheinlich gehalten. Als gesichert gelten hingegen wachsende Niederschlagsmengen, wodurch Winterstürme feuchter und schadenintensiver werden.
 - Wärmere und trockenere Sommer führen vermehrt zu Hitzewellen und Dürre. Daraus folgen Schäden durch Waldbrände, Einbußen z. B. im Agrarsektor, in der Binnenschifffahrt und bei der Energieversorgung. .
 - Unter großer Hitze kommt es zu einem höheren Gesundheitsstress und einer höheren Sterblichkeit älterer Menschen.
- Wüsten, Dürre und Wassermangel breiten sich aus.
- Die heute intensiv landwirtschaftlich genutzten Regionen verlagern sich (z. B. von USA nach Kanada).
- Gegenwärtig noch intakte Waldgürtel auf der Erde werden geschädigt und fallen so als Speicher von CO₂ aus; dies heizt den Treibhauseffekt weiter an.
- Das Wasser der Ozeane dehnt sich infolge der Erwärmung aus; das führt dazu, dass der Meeresspiegel steigt, und damit zum Verlust von Küstenflächen und zu Sachschäden.
- Es besteht die Gefahr neuer Krankheiten und Epidemien.
- Neben massiven menschlichen und sozialen Auswirkungen richten Wetterextremereignisse auch besonders hohe finanzielle Schäden an, da weder der Mensch noch die Systeme (z. B. die Infrastruktur) darauf vorbereitet sind.

Diese Folgen sind erst der Anfang des dramatischen Klimawandels.

Wegen verstärkt auftretenden Unwettern und Orkanen müsste man Gebäude und technische Systeme wie Hochspannungsmasten auf die hohen Windstärken ausgelegt werden. Die drohenden Hochwasser müssten besser vorhergesagt werden können, die Warnungen an die Menschen müsse verbessert werden.

Hurrikan

Als **Hurrikan** wird ein tropischer Wirbelsturm bezeichnet, wenn er sich im Atlantik, in der Karibik, im Nordpazifik östlich der Datumsgrenze oder im Südpazifik östlich von 160° O entwickelt. Das Wort *Hurrikan* kommt ursprünglich aus dem Indianischen und bedeutet so viel wie „Gott des Windes“ (siehe auch Huracan).

Andere Namen für tropische Wirbelstürme sind Zyklon (Indien), Taifun (im westlichen Pazifik) oder *tropical cyclone* (Australien); der in deutscher Literatur gelegentlich anzutreffende Begriff Willy Willy bezeichnet eine Kleintrombe und keinen tropischen Wirbelsturm.

Ein tropischer Wirbelsturm wird zum Hurrikan, wenn die Windgeschwindigkeit Orkanstärke erreicht (das entspricht mehr als 118 km/h oder Windstärke 12 auf der Beaufort-Skala). Sie können sich im Durchmesser hunderte Kilometer ausdehnen, dabei wochenlang bestehen und Flächen von tausenden Quadratkilometern verwüsten. Hurrikane entstehen in der Zeit von Mai bis Dezember, die meisten zwischen Juli und September. Die offizielle Saison dauert vom 1. Juni bis zum 30. November.

Die hohen Windgeschwindigkeiten, Wellen und schwere Niederschläge stellen eine große Gefahr dar. Den höchsten materiellen Schaden richtete im August 2005 der Hurrikan Katrina mit etwa 125 Milliarden Dollar (100 Milliarden Euro) an, der mit Windgeschwindigkeiten von 250 bis 300 km/h über Florida, Louisiana (besonders der Großraum New Orleans), Mississippi, Alabama und Tennessee hinwegzog und über tausend Opfer forderte. Katrina tobte auf über 233.000 Quadratkilometern; dies entspricht fast der Fläche Großbritanniens. Rund 350.000 Häuser wurden zerstört. Die Schadenssumme ist größer als die der zwölf nächstschweren Hurrikane zusammen genommen und etwa fünfmal so groß wie der von Hurrikan Andrew 1992 angerichtete Schaden.

Der stärkste bis dato gemessene Hurrikan war Wilma, welcher als erster innerhalb weniger Stunden von einem Tropensturm (113 km/h, 18. Oktober 2005) zu einem Hurrikan der Kategorie 5 (282 km/h, 19. Oktober 2005) heraufgestuft wurde. Mit 882 Millibar herrschte im Zentrum Wilmas der niedrigste Luftdruck, der jemals auf dem Atlantik gemessen wurde.

Wenn Hurrikane die Frontalzone der mittleren Breiten erreichen, können sie sich in ein außertropisches Tiefdrucksystem umwandeln (extratropical transition) und dann sogar noch Europa schwere Regenfälle bringen.

Entstehungsweise und Lebenszyklus

Hurrikane entstehen grundsätzlich über dem Meer bei einer Wassertemperatur von über 26,5°C. Diese Temperatur muss auch noch in einer Tiefe von etwa 50 m vorhanden sein. Wenn ein gleichmäßiges Temperaturgefälle zu großen Höhen hin ein bestimmtes Maß übersteigt, kann sich ein tropischer Wirbelsturm ausbilden. Das Wasser verdunstet in großen Mengen und der spezifisch leichtere Wasserdampf steigt in große Höhen auf, wo sich durch Kondensation große Gewitterwolken ausbilden.

Durch die aufsteigenden Luftmassen entsteht über der warmen Meeresoberfläche ein Unterdruck, aus der Umgebung strömt Luft mit einem hohen Wasserdampf nach. Es bildet sich ein „Kamin“, in dem diese Luftmassen gesammelt nach oben steigen, während die hohen Wassertemperaturen ständig „Nahrung“ liefern. Die aufsteigenden Luftmassen werden durch die Corioliskraft in Rotation versetzt, ein großflächiger Wirbel entsteht.

Wichtige Voraussetzungen für die Sturmbildung sind:

1. Das Meer muss eine Oberflächentemperatur von mindestens 26 Grad und die Luft eine gleichmäßige Temperaturabnahme zu großen Höhen hin aufweisen (bei sehr starker Temperaturabnahme, die das Aufsteigen der feuchtwarmen Luft begünstigt, können niedrigere Wassertemperaturen ausreichen).

2. Das betroffene Gebiet gleichmäßiger Bedingungen muss ausgedehnt sein, damit sich der bewegende Wirbelsturm über längere Zeit durch die Wasserdampfbildung aufbauen und genug Energie bis zur Stärke eines Hurrikans sammeln kann.
3. Der Abstand vom Äquator muss groß genug sein (mindestens 5 Breitengrade oder 550km), da nur dann die Corioliskraft ausgeprägt genug ist, um den aufsteigenden Luftmassen die typische Drehung zu geben.
4. Der Abstand vom Äquator muss groß genug sein (mindestens 5 Breitengrade oder 550km), da nur dann die Corioliskraft ausgeprägt genug ist, um den aufsteigenden Luftmassen die typische Drehung zu geben.
5. Es darf keine große vertikale Windscherung auftreten, das heißt, dass zur Entstehung eines Hurrikans der Höhenwind mit ähnlicher Stärke und aus der gleichen Richtung wehen muss wie der Bodenwind. Ist dies nicht der Fall bekommen die aufsteigenden Winde eine Schräglage und der Mechanismus des Sturms kann nicht mehr funktionieren.
6. Der Sturm braucht einen Nucleus, aus dem er sich aufbauen kann, zum Beispiel ein außertropisches Tief.

Entstehungsorte

Hurrikane entstehen oft im Bereich des Karibischen Meeres, der Westindischen Inseln und des Golfes von Mexiko. Sie entstehen meist aus Störungen der Passatströmung, welche immer über warmen Meeresgebieten liegen.

Mit dem Hurrikan Vince bildete sich am 9. Oktober 2005 erstmals seit Beginn der Wetteraufzeichnung 1851 ein Hurrikan im östlichen Atlantik vor den Küsten Südeuropas und Nordafrikas. Vince bildete sich zwischen den Azoren und den Kanaren, schwächte sich aber noch vor Erreichen des Festlandes auf ein Sturmtief ab. Der tropische Sturm Delta und Hurrikan Epsilon sind ebenfalls im östlichen Atlantik entstanden, womit im Jahr 2005 erstmals zwei Wirbelstürme die Küsten Europas erreicht haben.

Typische Merkmale

Typisch ist das sogenannte „Auge“; eine windfreie, niederschlagsfreie und wolkenarme Zone im Zentrum des Hurrikans. Der Durchzug des Auges wurde früher oft mit dem Ende des Sturms verwechselt; Menschen, die sich währenddessen ins Freie begaben, wurden vom erneut hereinbrechenden Sturm überrascht und fielen ihm zuweilen zum Opfer.

Windstärke

Gemäß der Definition nach der Saffir-Simpson-Skala spricht man von einem Hurrikan, wenn die Windgeschwindigkeit 118 km/h übersteigt, d. h. Beaufort 12 erreicht:

Die Saffir-Simpson-Hurrikan-Skala

Kategorie	Wind in mph	Wind in km/h	Flutwelle beim Auftreffen auf Land (in m)	Zentraldruck in hPa
Tropischer Wirbelsturm	35–73	56–117	0–1	
1 (schwach)	74–95	118–153	1–2	über 980
2 (mäßig)	96–110	154–177	2–3	965–979
3 (stark)	111–130	178–210	3–4	945–964
4 (sehr stark)	131–158	211–249	4–6	920–944
5 (verwüstend)	über 158	über 249	über 6	unter 920

Die Zerstörungskraft eines Hurrikans wächst etwa mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit.

Die resultierende Windgeschwindigkeit über Grund ergibt sich aus der Bewegung des Zentrums (Zuggeschwindigkeit, siehe unten) überlagert mit der umlaufenden Rotationsbewegung des Wirbels, die im Bereich der Eyewall rund um das fast windstille Auge am größten ist. Ein Hurrikan mit bis zu 100 km Durchmesser kann Windgeschwindigkeiten von über 200 km/h erreichen; in den besonders gefährdeten Zonen rechts der Zugrichtung eines verheerenden Hurrikans der Kategorie 5 werden auch 300 km/h überschritten.

Verlauf und Verhalten

Von der Windgeschwindigkeit zu unterscheiden ist die Zuggeschwindigkeit des Hurrikans. Sie wird mit der Bewegung des Auges gegenüber Grund gemessen. Auch wenn sich atlantische Hurrikane kurz nach der Entstehung überwiegend nach Westen bis Nordwesten bewegen und oft zwischen dem 20. und 25. Breitengrad nach Norden bis Nordost abdrehen, so ist dieses typische Verhalten weder zwingend noch sicher zu erwarten.

Von quasi unbewegten Hurrikanen, die sich selber abschwächen indem sie kühleres Meereswasser an die Wasseroberfläche brachten, bis hin zu tänzelnden, schlingernden und schleifenförmigen Verläufen über Grund ist schon alles beobachtet worden. Auch nach Osten ziehende Wirbelstürme und unerwartete kurzfristige Richtungsänderungen wie plötzliches Abdrehen nach Südwesten sind nicht auszuschließen.

Hurrikane erhalten ihre Energie aus der Verdampfung des warmen Oberflächenwassers. Treffen sie während ihres Zugs auf Land - man spricht dann vom Landfall - so schwächt sich ihr Nachschub an Energie ab und sie verlieren an Stärke. Tiefer landeinwärts gelegene Regionen werden deshalb von der Windgeschwindigkeit weniger heftig getroffen. Da sich im Hurrikaneinzugsgebiet aber auch große Wassermassen in den Wolken befinden, kann das Abregnen dieser Wolken auch noch Hunderte von Kilometern von der Küste entfernt als Tropischer Wirbelsturm gigantische Niederschlagsmengen mit sich bringen.

Die Vorhersage der Zugrichtung und der Stärke von Hurrikanen ist wichtig, um die Bevölkerung in den betroffenen Regionen rechtzeitig zu warnen und gegebenenfalls zu evakuieren.

Gefahren

Hurrikane besitzen drei Zerstörungsursachen. Zum einen die Windgeschwindigkeit, zum zweiten die Niederschlagsmengen und zum dritten die durch sie im Randgebiet verursachten Ungleichgewichte in der Atmosphäre.

Die hohen Windgeschwindigkeiten können zunächst direkt durch den Impuls der Luftmassen Schäden z.B. an Gebäuden oder Bäumen verursachen. Auf Grund der hohen Geschwindigkeiten können auch schwere Gegenstände durch die Luft geschleudert werden, welche ihrerseits wieder Schäden verursachen können.

Über dem Meer werden durch den starken Wind das Wasser hohen Wellen erzeugt. Daneben schiebt der Hurrikan einen Flutberg vor sich her. Da sich auf der Nordhalbkugel ein Hurrikan gegen den Uhrzeigersinn dreht, ist dieser Flutberg besonders in jenen Quadranten ausgeprägt, die sich rechts von seiner Laufrichtung befinden, denn dort addieren sich die Vektoren seiner Zugrichtung und der umlaufenden Winde. Bei Landfall ist daher in diesen Quadranten mit den schwersten Überflutungen zu rechnen. Bisweilen kann der Flutberg an Land bis auf 10 m über NN auflaufen (Hurrikan Katrina). Ausnahmen gelten für kleine Inseln, über die nur ein Teil des Hurrikans hinwegzieht, oder Buchten, in denen die Flut auch in dazu abweichenden Richtungen auflaufen kann.

Durch die kontinuierliche Verdampfung von warmen Oberflächenwasser und Kondensation an der oberen Schicht des Wolkensystems, befinden sich große Wassermengen im Sturmsystem, die zu extrem starken Niederschlägen führen können. Hierdurch können Überschwemmungen selbst in höher gelegenen Gebieten ausgelöst werden.

Im Auge des Hurrikans fallen von den Seiten kalte Luftmassen in das Zentrum. An der Grenze des Auges eines starken Hurrikans können sich deshalb kurzzeitig Tornados bilden. Deren Lebensdauer ist meist nur auf Sekunden oder Minuten beschränkt, ihr Zerstörungspotential ist dafür um so heftiger.

Steigendes Bedrohungspotential

Hurrikane beziehen ihre Energie aus dem warmen Oberflächenwasser. Bei der in den letzten Jahrzehnten beobachteten kontinuierlichen Erwärmung der Oberflächentemperatur steht deshalb mehr Energie zur Bildung von Hurrikanen zur Verfügung. Dennoch ist es wissenschaftlich noch nicht sicher, ob künftig mit immer stärkeren und bedrohlicheren Hurrikanen zu rechnen ist. Manche Wissenschaftler sind der Ansicht, dass durch die globale Klimaveränderungen dazu führen müssen, konkret der Anstieg der Durchschnittstemperatur und somit der Oberflächentemperatur der Weltmeere. Eine Studie des MIT, in der die Hurrikan-Aktivität der letzten drei Jahrzehnte analysiert wird, bestätigt diese Tendenz. Andererseits deuten Meersand-Ablagerungen darauf hin, dass heutige Wirbelstürme weder stärker sind noch häufiger auftreten als zu Zeiten der Maya.

Namen von Hurrikanen

Ursprünglich erhielten nur besondere Hurricans einen Namen, etwa "New England Hurricane". 1950 begannen die Meteorologen mit der Benennung der Hurrikane. In jenem Jahr sowie im Folgejahr waren zunächst Namen im Gebrauch, die dem damaligen internationalen phonetischen Alphabet entsprachen – also Able, Baker, Charlie, usw. Englische Frauennamen wurden im Jahre 1953 eingeführt. Ab 1960 wurden vorher festgelegte Namenslisten mit je 21 Namen verwendet. Die Anzahl 21 wurde festgelegt nach der Saison 1933, die bis 2005 die aktivste war und 21 registrierte tropische Wirbelstürme hatte. Die Anzahl wurde erst 2005 überschritten. Im Jahre 1979 benutzte man zum ersten Mal abwechselnd männliche und weibliche Namen, außerdem ergänzte man die englischen um französische und spanische Namen. Es gibt derzeit sechs feste, von der World Meteorological Organization festgelegte Namenslisten, die immer turnusgemäß verwendet werden. So wird die Liste des Jahres 2005 im Jahre 2011 wieder verwendet.

Es kann allerdings auch passieren, dass Namen ganz von der Liste verschwinden: Wenn ein Hurrikan besonders schlimmen Schaden angerichtet hat, kann die WMO entscheiden, dass dessen Name nicht mehr wiederverwendet wird. So findet sich beispielsweise der Name „Ivan“ aus dem Jahre 2004 zusammen mit drei anderen Namen in der Liste für 2010 nicht mehr – stattdessen ist nun der Name „Igor“ verzeichnet. Es ist wahrscheinlich, dass aus der Namensliste der sehr aktiven Saison 2005, die 2011 wiederverwendet wird, erstmals mehr als vier Namen auf einmal gestrichen werden.

Während der erste Sturm jedes Jahres im Atlantik einen Namen bekommt, der mit einem A beginnt, wird im Zentralpazifik (beginnend bei 140° West) jeweils der nächste Name der Liste vergeben, unabhängig von Jahr oder Buchstaben.

Beispiel: *Der Hurrikan vor „Katrina“ trug den Namen „Jose“. Auf „Katrina“ folgten „Lee“ und „Maria“. Da der erste Hurrikan eines jeden Jahres mit „A“ anfängt, kann man leicht erkennen, wieviele Stürme es schon gegeben hat: „Katrina“ war der 11. Sturm des Jahres 2005, „Maria“ der 13.*

Ifd. Nr.	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	Arlene	Alberto	Andrea	Arthur	Ana	Alex
2	Bret	Beryl	Barry	Bertha	Bill	Bonnie
3	Cindy	Chris	Chantal	Cristobal	Claudette	Colin
4	Dennis	Debby	Dean	Dolly	Danny	Danielle
5	Emily	Ernesto	Erin	Edouard	Erika	Earl
6	Franklin	Florence	Felix	Fay	Fred	Fiona
7	Gert	Gordon	Gabrielle	Gustav	Grace	Gaston
8	Harvey	Helene	Humberto	Hanna	Henri	Hermine
9	Irene	Isaac	Ingrid	Iko	Ida	Igor
10	Jose	Joyce	Jerry	Josephine	Joaquin	Julia
11	Katrina	Kirk	Karen	Kyle	Kate	Karl
12	Lee	Leslie	Lorenzo	Lili	Larry	Lisa
13	Maria	Michael	Melissa	Marco	Mindy	Matthew
14	Nate	Nadine	Noel	Nana	Nicolas	Nicole
15	Ophelia	Oscar	Olga	Omar	Odette	Otto

16	Philippe	Patty	Pablo	Paloma	Peter	Paula
17	Rita	Rafael	Rebekah	Rene	Rose	Richard
18	Stan	Sandy	Sebastien	Sally	Sam	Shary
19	Tammy	Tony	Tanya	Teddy	Teresa	Tomas
20	Vince	Valerie	Van	Vicky	Victor	Virginie
21	Wilma	William	Wendy	Wilfred	Wanda	Walter

Sollte dieser „Namensvorrat“ in einem Jahr nicht ausreichen werden die nachfolgenden Hurrikane nach dem Griechischen Alphabet benannt. Dies geschah erstmals in der Saison 2005, als der 22. Tropensturm der Saison Alpha, der 23. Beta, der 24. Gamma, der 25. Delta und der 26. Epsilon genannt wurden. Sollten sich weitere Tropenstürme oder Hurrikans in der Saison 2005 ereignen, würde als nächstes der Name Zeta verwendet werden. Sollte einer der Stürme, die nach dem griechischen Alphabet benannt werden, so schwer werden, dass der Name von der Liste gestrichen wird, so würde dieser griechische Buchstabe in einer neuen Saison, in der griechische Buchstaben erforderlich werden, übersprungen werden

Saffir-Simpson-Hurrikan-Skala

Die **Saffir-Simpson-Hurrikan-Skala** wurde Anfang der 1970er Jahre von Herbert Saffir und Robert Simpson, einem früheren Direktor des us-amerikanischen National Hurricane Center anhand von Studien über die Auswirkungen von Hurrikanen, speziell des Hurrikans *Camille*, entwickelt und ab 1972 vom National Hurricane Center offiziell eingeführt.

Die Skala verwendet die Windgeschwindigkeit, die Höhe der vom Sturm erzeugten Meereswellen und den Luftdruck im Zentrum (Auge) des Hurrikans zur Klassifizierung (atlantischer) Hurrikane in fünf Kategorien, mit 1 beginnend. Sie wurde in erster Linie für die Seefahrt entwickelt, weshalb die exakten Bereichsgrenzen in Knoten definiert sind. Die Grenze zwischen Tropischem Sturm und Hurrikan (64 Knoten) entspricht der Grenze zwischen Windstärke 11 und 12 nach Beaufort. Jedoch wird die Windgeschwindigkeit in den USA traditionell in Meilen pro Stunde angegeben

Die Saffir-Simpson-Hurrikan-Skala

Kategorie	Wind in mph	Wind in km/h	Flutwelle beim Auftreffen auf Land (in m)	Zentraldruck in hPa
Tropischer Wirbelsturm	35–73	56–117	0–1	
1 (schwach)	74–95	118–153	1–2	über 980
2 (mäßig)	96–110	154–177	2–3	965–979
3 (stark)	111–130	178–210	3–4	945–964
4 (sehr stark)	131–158	211–249	4–6	920–944
5 (verwüstend)	über 158	über 249	über 6	unter 920

Der Tornado

Ein **Tornado**, auch **Großtrombe**, **Wind-** oder **Wasserhose**, amerikanisch **Twister** genannt, ist ein kleinräumiger Luftwirbel in der Erdatmosphäre, der eine mehr oder weniger senkrechte Drehachse aufweist und im Zusammenhang mit konvektiver Bewölkung (Cumulus und Cumulonimbus) steht, was auch dessen Unterschied zu Kleintromben (Staubteufeln) ausmacht. Der Wirbel erstreckt sich hierbei durchgehend vom Boden bis zur Wolkenuntergrenze.

Die Begriffe **Wind-** und **Wasserhose** bezeichnen im deutschen Sprachraum Großtromben (Tornados im weiteren Sinne) über Land beziehungsweise größeren Wasserflächen (Meer, große Binnenseen). *Windhose* ist dabei ein Synonym für einen Tornado im engeren Sinne über Land.

Lebensdauer und Geschwindigkeiten

Die Lebensdauer eines Tornados beträgt zwischen wenigen Sekunden bis mehr als eine Stunde, durchschnittlich liegt sie unter 10 Minuten. Die Vorwärtsbewegung eines Tornado folgt der zugehörigen Mutterwolke und liegt im Schnitt bei 50 km/h, kann aber auch deutlich darunter (praktisch stationär, nicht selten bei Wasserhosen) oder darüber (bis über 100 km/h bei starker Höhenströmung) liegen. Dabei ist die Tornadospur im wesentlichen linear mit kleineren Abweichungen, welche durch die Orographie und das lokale Windfeld in der Umgebung der Gewitterzelle bedingt sind.

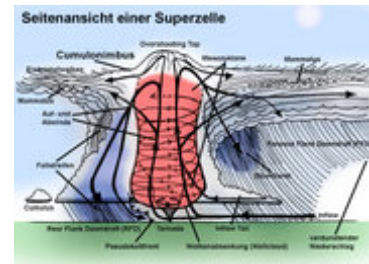
Die interne Rotationsgeschwindigkeit des Windes ist jedoch meist wesentlich höher als die der linearen Bewegung. Sie ist auch für die verheerenden Verwüstungen verantwortlich, die ein Tornado hinterlassen kann. Die höchste je registrierte Windgeschwindigkeit innerhalb eines Tornados wurde während des Oklahoma Tornado Outbreak am 3. Mai 1999 bei Bridge Creek, Oklahoma (USA) mit einem Doppler-Radar bestimmt. Mit 496 ± 33 km/h lag sie im oberen Bereich der Klasse F5 der Fujita-Skala; die obere Fehlergrenze reicht sogar in den F6-Bereich. Dies ist damit die höchste je gemessene Windgeschwindigkeit auf der Erdoberfläche überhaupt. Oberhalb der Erdoberfläche erreichten nur Jetstreams höhere Windgeschwindigkeiten. In der offiziellen Statistik zählt dieser Tornado aber mit Rücksicht auf den wahrscheinlichsten Wert und die Unsicherheiten als F5.

In den USA sind etwa 88 % der beobachteten Tornados schwach (F0, F1), 11 % stark (F2, F3) und unter 1 % verheerend (F4, F5). Diese Verteilungsfunktion ist weltweit sehr ähnlich und in dieser Form von mesozyklonalen Tornados dominiert, welche das volle Intensitätsspektrum ausfüllen. Die Intensität von nicht-mesozyklonalen Tornados geht dagegen kaum über F2 hinaus.

Mesozyklonale Tornados

Schematische Darstellung einer Superzelle mit Tornado

Für mesozyklonale Tornados tritt zu den oben beschriebenen grundlegenden „Zutaten“ für Schauer- oder Gewitterwolken eine starke vertikale Windscherung, das heißt eine Zunahme der Windgeschwindigkeit und Änderung der Windrichtung mit der Höhe. Dieses Windprofil ermöglicht die Bildung von Gewitterzellen mit einem rotierenden Aufwind (Mesozyklone), so genannte

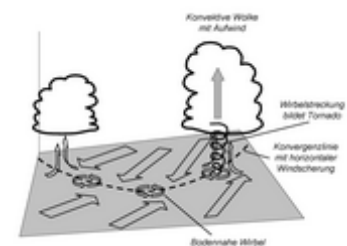


Superzellen, welche sich durch Langlebigkeit bis zu mehreren Stunden und heftige Begleiterscheinungen, wie großem Hagel, Sturzregen und Gewitterfallböen bis über 200 km/h auszeichnen. Bei ca. 10-20 % aller Superzellen kommt es zur Bildung von Tornados. Vielfach ist vor der Tornadoentstehung eine Absenkung der rotierenden Wolkenbasis, eine sogenannte Wallcloud (dt. Mauerwolke) zu beobachten. Durch die Aufwärtsbewegung im Zentrum strömt im unteren Bereich Luft zur Drehachse hin, was aufgrund des Pirouetteneffekts zu einem enormen Zuwachs der Windgeschwindigkeit zur Achse hin führt. Eine wesentliche Rolle scheint hier die Bodenreibung zu spielen; die Details der Intensivierung der Rotation bis hin zum Bodenkontakt sind aber noch nicht gänzlich verstanden. Der Drehsinn von mesozyklonalen Tornados ist auf der Nordhalbkugel überwiegend zyklonal, das heißt entgegen dem Uhrzeigersinn. Dies ist aber kein unmittelbarer Effekt der Corioliskraft, denn dafür sind Tornados zu kleinräumig. Die Corioliskraft bestimmt vielmehr zusammen mit der Bodenreibung, welche stark orographisch beeinflusst ist, das großräumige Windprofil von Tiefdruckgebieten in deren Bereich Tornados entstehen können. In den meisten Fällen dreht auf der Nordhalbkugel der Wind mit der Höhe nach rechts, wobei die Luft aus südlicher Richtung in die Mesozyklone einströmt, was zu zyklonaler (d.h. entgegen dem Uhrzeigersinn) Rotation führt. Auf der Südhalbkugel ergibt sich entsprechend ebenfalls zyklonale Rotation, dort aber im Uhrzeigersinn.

Nicht-mesozyklonale Tornados

Schematische Darstellung zur Entstehung nicht-mesozyklonaler Tornados

Dieser Entstehungsmechanismus setzt keine Mesozyklone voraus. Vielmehr zerfällt vorhandene bodennahe *horizontale* Windscherung, z.B. entlang einer Konvergenzlinie in einzelne Wirbel mit vertikaler Achse, welche durch einen darüber befindlichen feuchtkonvektiven Aufwind einer Schauer- oder Gewitterwolke gestreckt und somit intensiviert werden (siehe nebenstehende Abbildung und Literatur). Dies geschieht in



sonst eher windschwacher Umgebung bei gleichzeitig starker vertikaler Temperaturabnahme in den unteren Schichten. Im Gegensatz zu Mesozyklonen reicht hier die Rotation nicht weit über die Wolkenbasis hinaus. Die Bindung an Linien mit horizontaler Windscherung, (Konvergenz), welche oft gleichzeitig den Hebungsantrieb für die Feuchtekonvektion darstellt, erzeugt nicht selten entlang der Linie angeordneter „Familien“ von Großtromben (siehe Abbildung in den Weblinks). Zu diesem eher schwächeren nicht-mesozyklonalen Tornadotyp zählen auch die meisten Wasserhosen, aber es können auf diese Weise auch Tornados über Land entstehen - im Englischen *Landspout* genannt. Der Drehsinn von nicht-mesozyklonalen Tornados zeigt eine weniger starke Präferenz für zyklonale Rotation.

Größe und Aussehen

Im Anfangsstadium ist ein Tornado zunächst fast unsichtbar. Erst wenn im Inneren des Wirbels durch den Druckabfall und der damit einhergehenden Abkühlung Wasserdampf kondensiert oder Staub, Trümmer, Wasser und dergleichen aufgewirbelt werden, tritt der Tornado auch optisch in Erscheinung. Eine durchgehende Kondensation von der Wolke bis zum Boden ist aber nicht in jedem Fall zu beobachten. Eine solche von der Mutterwolke ausgehende Kondensation wird als Trichterwolke (engl. *funnel cloud*) bezeichnet. Erreicht der Luftwirbel den Boden nicht, so spricht man von einer Blindtrombe. Für einen Tornado ist der Bodenkontakt des Luftwirbels entscheidend, nicht dessen durchgehende Sichtbarkeit. Sind zum Beispiel unter einer Trichterwolke Windwirkungen nachweisbar, also im Regelfall Schäden am Boden, so handelt es sich um einen Tornado. Die Gestalt des Luftwirbels ist sehr vielfältig und reicht von dünnen schlauchartigen Formen bis zu einem mehr oder weniger breiten sich nach oben erweiternden Trichter (siehe nebenstehende Abbildungen und Weblinks). Dabei kann der Durchmesser einige Meter bis hin zu 500 m, sogar bis über 1 km betragen. Nicht selten treten bei großen Durchmessern mehrere Wirbel auf, die um ein gemeinsames Zentrum kreisen, was als *Multivortex-Tornado* bezeichnet wird.

Bedeutende Tornadoereignisse

Beispielfälle aus den USA

- 18. März 1925: Der Tri-State Tornado (F5) forderte in 3 1/2 Stunden auf einer Länge von 352 km über dem Gebiet dreier US-Bundesstaaten (Missouri, Illinois und Indiana) 695 Todesopfer. Mit ca. 95 km/h wies er eine ungewöhnlich hohe Zuggeschwindigkeit auf.
- 3./4. April 1974: Im Super Outbreak, dem größten bekannten Ausbruch, suchten insgesamt 148 Tornados 13 Staaten im Süden und Mittleren Westen der USA heim, darunter 30 verheerende Fälle (F4/F5). Er hinterließ 315 Todesopfer und einen Sachschaden von 600 Mio US-Dollar.
- 27. Mai 1997: Der Jarrell-Tornado ist in Jarrell (Texas) für den Tod von 27 Menschen verantwortlich.
- 3. Mai 1999: Über 70 Tornados des Oklahoma Tornado Outbreak zogen über Texas, Oklahoma und Kansas. Am schlimmsten traf es die Region um Oklahoma City. 48 Personen kamen ums Leben und mit einem gesamten Sachschaden von 1,2 Mrd. US-Dollar war dies die bislang teuerste Naturkatastrophe dieser Art.

Beispielfälle aus Deutschland

Diese Auswahl zeigt signifikante Ereignisse (F2 - F5), die aufgrund von Erscheinung oder Jahreszeit von Interesse sind..

F2	F3	F4	F5
13. Januar 2004 Assel (Gemeinde Drochtersen bei Stade)	23. Juni 2004 Micheln (Sachsen-Anhalt), mehrere Verletzte, etwa 300 Gebäude beschädigt	10. Juli 1968 Pforzheim, 2 Tote, über 200 Verletzte zum Teil lebensgefährlich, 1750 Häuser beschädigt	23. April 1800 Hainichen (Erzgebirge)
29. Juni 1997 Vier F2-Tornados in Niedersachsen mit bis zu 85 km Spurlänge. Am schwersten betroffen Bissendorf bei Osnabrück.	5. Mai 1973 Kiel, 1 Toter	1. Juni 1927 Auen-Holthaus (Emsland), verheerende Schäden, Kühe durch die Luft gewirbelt, weitere schwere/verheerende Tornados am gleichen Tag unter anderem in den Niederlanden.	29. Juni 1764 Woldegk (Mecklenburg), ausführliche Dokumentation (siehe Weblink)

Erdbeben

Als **Erdbeben** wird die Erschütterung der Erde bezeichnet. Dies ist die Folge eines plötzlichen, meist nur wenige Sekunden andauernden Bruches des die Erdkruste aufbauenden Gesteins und der dadurch freigesetzten Energie, die sich in Form von seismischen Wellen durch die Erde ausbreitet. Der Ort des Bruches wird auch **Erdbebenherd** genannt und dessen Position in der Tiefe als **Hypozentrum** bezeichnet. Die zur Darstellung in Landkarten verwendete Projektion des Herdes auf die Erdoberfläche wird **Epizentrum** genannt. Nach internationaler Übereinkunft wird dabei der Beginn des Bruches angegeben, welcher sich aber über mehrere Kilometer erstrecken kann und in seiner Gesamtheit als **Herdfläche** bezeichnet wird. Unterseeische Erdbeben werden fälschlicherweise auch als **Seebeben** bezeichnet.

Entstehung von Erdbeben

Erdbeben entstehen durch dynamische Prozesse der Erde. Eine Folge davon ist die Plattentektonik, also die Bewegung der Lithosphärenplatten, welche die Erdkruste und den obersten Erdmantel umfassen. Insbesondere an den Plattengrenzen, wo sich verschiedene Platten auseinander (**Spreizungszone**), aufeinander zu (**Kollisionszone**) oder aneinander vorbei (**Transformverwerfung**) bewegen, kommt es zum Aufbau gewaltiger Spannungen innerhalb des Gesteins, wenn sich die Platten in ihrer Bewegung verhaken und verkanten. Wird die Scherfestigkeit der Gesteine überschritten, entladen sich dann plötzlich diese Spannungen durch ruckartige Bewegungen der Erdkruste (tektonische Beben). Die dabei freigesetzte Energie kann die einer Wasserstoffbombe um das Hundertfache übertreffen. Da die aufgebaute Spannung nicht auf die unmittelbare Nähe der Plattengrenze beschränkt ist, kann der Entlastungsbruch in seltenen Fällen auch im Inneren der Platte auftreten, wenn das Krustengestein eine Schwächezone aufweist.

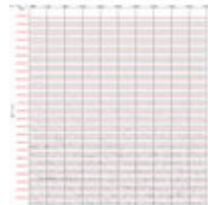
Erdbeben können ferner z.B. durch den Aufstieg von Magma unterhalb von Vulkanen ausgelöst werden oder auch durch Förderung von z.B. Erdgas, da die Druckveränderung wiederum auch die Spannungsverhältnisse im Gestein beeinflusst. Weiter können Erdbeben auch durch einstürzende unterirdische Hohlräume im Bergbau entstehen (Gebirgsschlag). Sowohl vulkanische Beben als auch Gebirgsschläge sind jedoch von der Energiefreisetzung weitaus limitierter als tektonische Beben.

Eine Voraussetzung für das Auftreten von Erdbeben ist das Vorhandensein spröden, bruchfähigen Gesteins. Die Temperatur nimmt im Erdinneren jedoch stetig zu, wodurch das Gestein mit zunehmender Tiefe immer weniger spröde reagiert und schließlich deformierbar wird. Erdbeben sind daher meist auf die obere Schicht der Erdkruste beschränkt. Manchmal lassen sich Beben bis in Tiefen von bis zu 700 km lokalisieren. Dieser scheinbare Widerspruch geht auf die Subduktion von Lithosphärenplatten zurück: Kollidieren zwei Platten, wird die dichtere der beiden unter die leichtere gedrückt und taucht in den Erdmantel ab. Da die Erwärmung des Gesteins der abtauchenden Platte (auch als **Slab** bezeichnet) wesentlich langsamer voranschreitet als deren Abwärtsbewegung, kann das Krustenmaterial bis in oben genannte Tiefen bruchfähig bleiben. Die Hypozentren innerhalb der abtauchenden Platte erlauben somit Rückschlüsse auf die Position des Slab in der Tiefe (sogenannte Benioff-Zone).

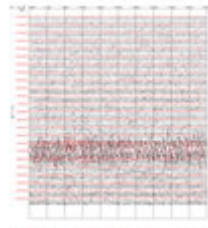
Erdbeben erzeugen verschiedene Typen von Erdbebenwellen, die sich durch die ganze Erde ausbreiten und von Seismographen (bzw. Seismometern) überall auf der Erde aufgezeichnet werden können. Die mit starken Erdbeben einhergehenden Zerstörungen (z.B. Gebäudeschäden, Spaltenbildung) an der Erdoberfläche sind auf die sogenannten **Oberflächenwellen** zurückzuführen, die eine elliptische Bodenbewegung auslösen.

Durch Auswertung der Stärke und Laufzeiten von Erdbebenwellen kann nicht nur die Position des Erdbebenherdes bestimmt werden, sondern es werden auch Erkenntnisse über das Erdinnere gewonnen. Die Positionsbestimmung unterliegt als Messung an Wellen der gleichen Unschärfe, die aus Wellenphänomenen in anderen Bereichen der Physik bekannt sind. Im Allgemeinen nimmt die Unschärfe der Ortsbestimmung mit zunehmender Wellenlänge zu, das bedeutet: Eine Quelle von langperiodischen Wellen kann nicht so genau lokalisiert werden wie eine Quelle von kurzperiodischen Wellen. Da schwere Erdbeben den größten Teil ihrer Energie im langperiodischen Bereich entwickeln, kann besonders die Tiefe der Quelle nicht genau bestimmt werden.

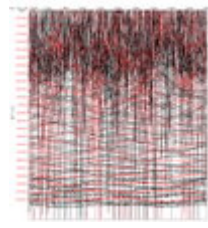
Die Seismogramme sind Aufzeichnungen der Erdbebenwellen.



(1) Atombombenexplosion auf Mururoa, 5.9.1995, Magnitude 4,8,



(2) Starkes Erdbeben bei den Nikobaren, 24.7.2005, Magnitude 7,3,



(3) Erdbeben indischer Ozean ("Tsunami-Erdbeben"), 26.12.2004, Magnitude 9,7.

Die oben gezeigten Seismogramme sollen einen visuellen Eindruck unterschiedlicher Erdbeben - Magnituden vermitteln und wurden nicht nach wissenschaftlichen Aspekten ausgewählt.

Durch unterseeische Erdbeben, bei der Eruption ozeanischer Vulkane oder durch unterseeische Erdrutsche können so genannte Tsunamis ausgelöst werden. Das ist dann möglich, wenn die vertikale Bewegung der Erdplatten mindestens vier Meter beträgt und die Erdstöße eine gewisse Stärke auf der Richterskala erreichen. Durch die plötzliche vertikale Verlagerung großer Teile des Ozeanbodens entstehen Wellen, die sich mit Geschwindigkeiten von bis zu 800 Kilometer pro Stunde fortbewegen. Auf dem offenen Meer sind Tsunamis kaum wahrnehmbar, gelangt die Welle jedoch in flacheres Wasser, kann sich der Wellenberg auf bis zu 100 Meter Höhe erheben. Am häufigsten entstehen Tsunamis im Pazifik. Deshalb besitzen die an den Pazifik angrenzenden Staaten ein Tsunami-Frühwarnsystem.

Historisches

Schon in der Antike fragten sich Menschen, wie Erdbeben und Vulkanausbrüche entstehen. Man schrieb diese Ereignisse häufig Göttern zu (in der griechischen Mythologie dem Poseidon). Manche Wissenschaftler im alten Griechenland glaubten, die Kontinente schwämmen auf Wasser und schaukelten wie ein Schiff hin und her. Andere Leute glaubten, Erdbeben brächen aus Höhlen aus. In Japan gab es den Mythos von einem Drachen, der den Erdboden erzittern ließ und auch noch Feuer spie, wenn er wütend war. Im europäischen Mittelalter schrieb man Naturkatastrophen dem Wirken Gottes zu. Mit der Entdeckung und Erforschung des Magnetismus entstand die Theorie, man könne Erdbeben wie Blitze ableiten. Man empfahl daher Erdbebenableiter nach Art der ersten Blitzableiter. Erst Anfang des 20. Jahrhunderts kam die heute allgemein anerkannte Theorie von der Plattentektonik und der Kontinentaldrift durch Alfred Wegener auf, dessen Erklärungsmuster zunächst jahrzehntelang nicht anerkannt wurden.

Vorhersage

Die zeitlich und räumlich exakte Vorhersage von Erdbeben ist nach dem heutigen Stand der Wissenschaft nicht möglich. Die zu Grunde liegenden Prozesse des Spannungsaufbaus bis hin zum Entlastungsbruch des Gesteins werden von einer großen Zahl von physikalischen Parametern gesteuert. Die verschiedenen bestimmenden Faktoren sind qualitativ weitestgehend verstanden. Auf Grund des komplexen Zusammenspiels aber ist eine genaue Quantifizierung der Herdprozesse bislang nicht möglich, so dass üblicherweise nur Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten eines Erdbebens in einer bestimmten Region genannt werden können.

Allerdings sind eine Reihe von Effekten bekannt, die oft im Vorfeld von Erdbebenereignissen beobachtet werden können und als *Vorläuferphänomene* bezeichnet werden. Einige davon äußern sich in der Veränderung geophysikalisch messbarer Größen, wie z.B. der seismischen Geschwindigkeit, der Neigung des Erdbodens oder die elektromagnetischen Eigenschaften des Gesteins. Andere Phänomene basieren auf statistischen Beobachtungen, wie etwa das Konzept der *seismische Ruhe*, wo in einer potentiell gefährdeten Region über einen längeren Zeitraum die *seismische Hintergrundaktivität*, also das stetige Auftreten kleinerer Beben, abnimmt und auf ein bevorstehendes größeres Ereignis hindeutet.

Sowohl messbare als auch statistisch erfasste Vorläuferphänomene variieren jeweils sehr stark in ihrem zeitlichen Verlauf (bis hin zu Jahren) wie auch in ihrer Größenordnung. In vielen Fällen bleiben einzelne oder mehrere dieser Effekte auch ganz aus. Zudem wäre der instrumentelle Aufwand, der für eine lückenlose Erfassung dieser Phänomene erforderlich wäre, nicht realisierbar, so dass die Möglichkeit einer exakten Vorhersage von Erdbeben für die nächste Zukunft nicht zu erwarten ist.

Wiederholt wurde auch von ungewöhnlichem Verhalten bei Tieren kurz vor größeren Erdbeben wie auch bei Tsunamis berichtet. So konnte im Februar 1975 in der Volksrepublik China ein drohendes Erdbeben durch die Sensibilisierung der Bevölkerung in Bezug auf ungewöhnliches Verhalten der Tiere vorab erkannt werden. Allerdings zeigten sich z.B. beim Tangshan-Beben vom 27. Juli 1976, bei dem es mehrere hunderttausend Tote gab, im Vorfeld keinerlei Anzeichen von Verhaltensänderungen bei Tieren.

Gelegentliche Berichte von erfolgreichen Vorhersagen zeigen vor dem Hintergrund der Häufigkeit von Beben in der betreffenden Region in der Regel kaum statistische Signifikanz. So wurde z.B. von einem japanischen Wissenschaftler auf Grund eines elektromagnetischen Vorläuferphänomens für den Zeitraum 14. bis 19. September 2003 ein Erdbeben der Stärke 7 in Tokio vorhergesagt. Zwar trat am 20. September 2003 tatsächlich ein Erdbeben in Tokio auf, jedoch war die Magnitude um etwa 1,5 Größenklassen niedriger, was weniger als einem Hunderstel der vorhergesagten Energiefreisetzung entspricht. Ein weitaus stärkeres Beben (Magnitude 8), mit zwei starken Nachbeben (Mag. 5,8 und 7) ereignete sich eine Woche später, am 26. September, das Epizentrum lag jedoch in einiger Entfernung, ungefähr 80 km südöstlich vor der Küste der Hauptinsel Hokkaidō.

Bekannte Erdbeben

- 464 v. Chr., Erdbeben bei [Sparta](#), 20.000 Tote
- 1290, 27. September, Erdbeben in [Chihli](#) (Provinz [Hopeh](#), [Volksrepublik China](#)), 100.000 Tote
- 1356, 18. Oktober, [Basler Erdbeben](#), das bis heute schwerste Erdbeben [Mitteleuropas](#)
- 1456, 5. Dezember, Erdbeben zerstört [Neapel](#), 30.000 bis 40.000 Tote
- 1556, 23. Januar (Stärke 8,0) Das Erdbeben in der Provinz Shaanxi (Shensi) in China, bei dem etwa 830.000 Menschen den Tod fanden, war eine der größten Naturkatastrophen in der Geschichte der Menschheit.
- 1575, 16. Dezember, sehr schweres Erdbeben vor [Valdivia](#), [Chile](#)
- 1746, 28. Oktober, Erdbeben der Stärke 8,4 im Gebiet [Limas](#) in [Peru](#), 600.000 Tote
- 1755, 1. November, (Stärke 8,7) Erdbeben in [Lissabon](#), ca. 60.000 Tote, schwerstes Beben der Geschichte, [Tsunami](#)
- 1756, 18. Februar, Erdbeben im [Rheinland](#) mit [Epizentrum](#) bei [Düren](#), stärkstes bekanntes Erdbeben in Deutschland. Seine Stärke wird anhand der Schadensberichte auf bis zu VIII nach [Mercalli](#) geschätzt. Geologische Untersuchungen deuten auf 6,2 nach [Richter](#) hin. Damit wäre das Beben immerhin doppelt so stark wie das vom 13. April 1992 bei [Roermond](#) gewesen. Abwegig ist die verbreitete Angabe von "8,0 nach Richter", die leider im Internet immer wieder gerne abgeschrieben wird und nichts mit der Realität zu tun hat.
- 1811, 16. Dezember und 1812, 23. Januar und am 7. Februar, drei folgenreiche Erdbeben in den [USA](#) bei [New Madrid](#), [Missouri](#) (bekannt als [New Madrid Earthquake](#)). Die Erdbeben veränderten den Lauf des [Mississippi](#), ließen den [Ohio](#) zeitweise rückwärts fließen, schufen neue Seen (beispielsweise den [Reelfoot Lake](#), [Tennessee](#)), führten zu starken geologischen Veränderungen zwischen [St. Louis](#) und [Memphis \(Tennessee\)](#), verdunkelten die Sonne wochenlang und waren so stark, dass selbst die Glocken in der 1600 Kilometer entfernten Stadt [Boston](#), [Massachusetts](#), von selbst zu läuten anfangen. Ursache war die [New Madrid Seismic Zone](#).
- 16. August 1868, ein Erdbeben vor [Arica](#), [Chile](#) mit einem 27 Meter hohen [Tsunami](#). 25000 Tote
- 15. Juni 1896, ein Erdbeben vor der [Saraiko-Küste](#) in [Japan](#) löste einen 23 Meter hohen [Tsunami](#) aus, die [Flutwelle](#) überraschte [Japan](#) während religiöser Feierlichkeiten, mehrere Dörfer wurden zerstört, es gab 26000 Tote.
- 1906, 18. April, (Stärke 7,8) Erdbeben in [San Francisco](#), [Kalifornien](#), [USA](#) ca. 3000Tote u. 250.000 Obdachlose durch Großfeuer.
- 1906, 17. August, Erdbeben in [Valparaiso](#), [Chile](#) etwa 20000 Tote.
- 1908, 28. Dezember, (Stärke 7,5) Erdbeben zerstört [Messina \(Sizilien\)](#) und [Reggio Calabria](#) (Festland), [Italien](#), ca. 84000 Tote (70000 in Messina, 15000 in Reggio Calabria).
- 1923, 1. September, (Stärke 8,3) [großes Kanto-Erdbeben](#) in [Japan](#), ca. 143.000 Tote
- 1927, 22. Mai, Erdbeben der Stärke 8,3 bei [Xining](#), [Republik China](#), 200.000 Tote
- 1939, 25. Januar, Erdbeben in [Chillán](#), [Chile](#) etwa 28000 Tote.

- 1960, 22. Mai, Erdbeben der Stärke 9,5 bei Valdivia, Chile, etwa 5.700 Tote (das stärkste je gemessene Erdbeben)
- 1976, 27. Juli, Erdbeben der Stärke 7,8 bei Tangshan, ca. 240.000 Tote
- 1985, 19. September, Erdbeben der Stärke 8,1 in Michoacán, Mexiko, etwa 9.500 Tote
- 1988, 7. Dezember, Erdbeben der Stärke 6,9 in Armenien, 30.000 Tote
- 1994, 17. Januar, Erdbeben der Stärke 6,7 in Los Angeles, USA, 72 Tote
- 1995, 17. Januar, Erdbeben der Stärke 8,1 in Kobe, Japan. 6.310 Menschen sterben.
- 1999, 17. August, Erdbeben der Stärke 7,8 in Gölçuk/Izmit, Türkei, etwa 24.000 Tote, noch bis heute Tausende von Vermissten.
- 1999, 21. September, Erdbeben der Stärke 7,6 in Puli, Taiwan, etwa 2.100 Tote, 9000 Verletzte und über 80.000 Obdachlose.
- 2003, 26. Dezember, Erdbeben der Stärke 6,6 in Bam, Südiran, etwa 41.000 Tote
- 2004, 24. Dezember, Erdbeben der Stärke 8,2 bei der Macquarieinsel, Antarktis
- 2004, 26. Dezember, Erdbeben der Stärken 9,0 und Nachbeben bis zu 7,5 vor Sumatra, Indonesien. Das Beben löste einen Tsunami aus, der in Indonesien, Indien, Malaysia, Malediven, Thailand, Sri Lanka, Somalia, Kenia und Tansania zahlreiche Opfer forderte, etwa 300.000 Tote und 800.000 Obdachlose. Am 14. Februar 2005 hat die amerikanische NOAA das Erdbeben auf 9.3 aufgestuft.
- 2005, 8. Oktober, Erdbeben der Stärke 7,6 (Schätzung, Stand: 9.Oktober 2005) in Kaschmir. Schätzungen gehen von ca. 73.000 Todesopfern allein im pakistanischen Teil Kaschmirs aus. (Stand 2.11.2005)

Stärkste gemessene Erdbeben

Stärke jeweils nach der [Richterskala](#).

1. Großes Chile-Erdbeben – [Chile](#), [22. Mai 1960](#): 9,5
2. [Prince William Sund](#) ([Alaska](#)), [28. März 1964](#): 9,2
3. [Andreanof Islands](#) ([Alaska](#)), [9. März 1957](#): 9,1
4. [Erdbeben im Indischen Ozean – vor Sumatra](#), [26. Dezember 2004](#): 9,0 (Nach neueren Auswertungen langperiodischer Signale hatte dieses Beben sogar möglicherweise eine Magnitude von 9,3 - 9,4)
5. [Kamtschatka](#) ([Russland](#)), [4. November 1952](#): 9,0
6. Erdbeben vor [Ecuador](#), [31. Januar 1906](#): 8,8
7. Erdbeben vor Nord-[Sumatra](#), [28. März 2005](#): 8,7
8. [Rat Islands](#) ([Alaska](#)), [4. Februar 1965](#): 8,7
9. [Assam](#) ([Indien](#)), [15. August 1950](#): 8,6
10. Ningxia-Gansu, [China](#), [16. Dezember 1920](#): 8,6
11. Kuril Islands [13. Oktober 1963](#): 8,5
12. Erdbeben in der [Banda-See](#) ([Indonesien](#)), [1. Februar 1938](#): 8,5
13. [Kamtschatka](#), [3. Februar 1923](#): 8,5

Bestimmung der Erdbebenstärke

Die Erdbebenstärke wird anhand der makroseismischen Intensitätsskala EMS-98 und der Europäischen Makroseismischen Skala (Grünthal, 1998) bestimmt. Die folgende Darstellung ist verkürzt:

- **I:** Nicht fühlbar
- **II:** Kaum bemerkbar, nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
- **III:** Schwach, von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern.
- **IV:** Deutlich, im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
- **V Stark,** im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.
- **VI:** Leichte Gebäudeschäden, viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Mauerrisse und das Abfallen von z. B. kleinen Verputzteilen.
- **VII:** Gebäudeschäden, die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Abfall von Putz, Herabfallen von Schornsteinteilen). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse und Einsturz von Zwischenwänden.
- **VIII:** Schwere Gebäudeschäden, viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d.h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
- **IX** Zerstörend, allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen sehr schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
- **X:** Sehr zerstörend, viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen.
- **XI:** Verwüstend, die meisten Bauwerke, selbst einige mit gutem erdbebengerechtem Konstruktionsentwurf und -ausführung, werden zerstört.
- **XII:** Vollständige Verwüstung, kein von Menschenhand geschaffenes Bauwerk hält stand.

Die international am häufigsten gebrauchte Skala ist jedoch die **nach oben offene**

Richterskala

Der amerikanische Seismologe Charles F. Richter (1900 – 1985) Entwickelte 1935 seine nach oben offene Skala, die die Erdbebenstärke in 100 km Entfernung misst. Jeder Wert steht für ein 10faches Ansteigen der Bodenbewegung: Ein Beben der Stärke 7 ist 100-mal Stärker (!!) als eines der Stärke 5.

Magnitude	Beschreibung	Beben pro Jahr	Stärke nahe Epizentrum
0 – 1.9	-	700 000	Messbar, nicht spürbar
2 – 2.9	-	300 000	Messbar, nicht spürbar
3 – 3.9	Geringfügig	40 000	Spürbar für wenige
4 – 4.9	Leicht	6 200	Spürbar für viele
5 – 5.9	Gemässigt	800	Leichte Schäden
6 – 6.9	Stark	120	Schwere Schäden
7 – 7.9	Sehr stark	18	Zerstörerisch
8 – 8.9	Weltbeben	1 alle 20 – 30 Jahre	Vernichtend

(**Magnitude** ist eine Maßzahl für die Stärke eines Erdbebens.

Seit Erdbeben mit Seismographen aufgezeichnet werden, können im Gegensatz zur makroseismischen Beschreibung objektive Angaben über die Stärke eines Erdbebens gemacht werden. Charles Francis Richter führte 1935 den Begriff der Magnitude (Abkürzung M) als Maß der von einem Beben freigesetzten seismischen Wellenenergie ein. Wie alle später aufgestellten Magnitudenskalen (Raumwellenmagnitude, Oberflächenwellenmagnitude) handelt es sich um eine logarithmischen Energieskala. Die Zunahme um eine Magnitudeneinheit bedeutet dabei eine Vergrößerung der Energie um das 30-fache)

Vulkanismus

Unter **Vulkanismus** versteht man alle geologischen Vorgänge und Erscheinungen, die mit dem Aufsteigen von Magma innerhalb der äußeren Erdkruste bis zur Erdoberfläche verbunden sind. Dazu gehören alle Austrittsformen als feste (Bombe, Lapilli, Bimsstein, Aschen), flüssige (Lava, Lahar, Geysir, Maar) oder gasförmige (vulkanisches Gas, Fumarole) Stoffe. Nicht selten treten Mischformen der eruptiven Begleiterscheinungen auf wie z. B. die verheerenden **pyroklastischen Ströme**.

Bei einem Vulkanausbruch werden die im Magma gelösten Gase freigesetzt und dringen in röhrenförmigen Schloten oder in Spalten durch die Lithosphäre, wobei sie flüssige und feste Magmabestandteile und Gesteinsbrocken mitreißen.

Gefährlich sind besonders explosive Ausbrüche, die durch Überhitzung von Grund- und oder Meerwässern über der Magmenkammer des Vulkans ausgelöst werden. Sie können schlagartig kubikkilometergroße Gesteinsmassen in die Luft sprengen. Oft entsteht dabei ein charakteristisch geformter weiter Krater, die Caldera. Wird die Caldera geflutet, bildet sich ein Kratersee. Der berühmte Ausbruch des Krakatau 1883, Indonesien war ein solcher explosiver Ausbruch. Die Reste der Caldera liegen heute als Inselring um eine Kraterlagune angeordnet im Meer. Solche Ausbrüche rufen auch Flutwellen, Tsunamis, hervor, die auf tausende von Kilometern wirken.

Gefährlich sind auch pyroklastische Ausbrüche, bei denen sich heiße Glut- und Aschewolken mit großer Geschwindigkeit lawinenartig hangabwärts bewegen und dabei alles mitreißen und unter sich begraben. Die berühmtesten Ausbrüche des Vesuv im Jahr 79 und des Mt. Pelée 1902 fallen unter diese Kategorie. Jeweils Tausende von Menschen wurden in kürzester Zeit von pyroklastischen Strömen überrascht und getötet.

Ebenso gefährlich sind Lahare, die im schlimmsten Fall über viele Kilometer einen bis zu 5 m hohen Schlammstrom bilden, der sich mit einer Geschwindigkeit bis zu 100 km/h fortwälzen kann.

Der Vulkanismus hat Anteil an den folgenschwersten Naturkatastrophen der Erde. Ihm sind viele der gewaltigen Umwälzungen in der Erdgeschichte zuzuschreiben, nicht zuletzt durch seinen erheblichen Einfluss auf die regionale und globale Klimaentwicklung mit den daraus resultierenden Folgen.

(Ein **Pyroklastischer Strom** ist eine Feststoff-Gas-Dispersion, die sich sehr schnell hangabwärts bewegt und in Begleitung explosiver vulkanischer Eruptionen auftreten kann.)

(Die **Lithosphäre** (*feste Gesteinshülle*) umfasst die Erdkruste und Teile des Erdmantels. Sie besteht aus sieben großen **Lithosphärenplatten**)

(Der ursprünglich indonesische Begriff **Lahar** bezeichnet einen schwerkraftgetriebenen vulkanischen Schlammstrom. Dabei mischen sich eruptives Material, z.T. metergroße Blöcke, mit Lockersedimenten und Wasser. Je nach Geländeneigung können Lahars eine Geschwindigkeit bis zu 100 km/h erreichen. Eine art flüssiger Beton)

Vulkanausbrüche in der Geschichte

- Montserrat, 1997, am 25. Juni zerstören Glutlawinen mehrere Ortschaften, 10 Menschen sterben und 20 werden vermisst. In den folgenden Wochen werden die Hauptstadt Plymouth und der Flughafen durch Glut- und Schlammlawinen zerstört. Zwei Drittel der Insel werden unbewohnbar.
- Pinatubo, 1991, heftigster Ausbruch im 20. Jahrhundert, 1.000 Tote
- Nevado del Ruiz 1985, Kolumbien, 13. November - Eine Schlammlawine (Lahar) tötet mehr als 25.000 Einwohner der 70 km entfernt liegenden Stadt Armero. Ähnliche Ausbrüche fanden 1845 und 1595 statt.
- Mt. St. Helens, 1980, 18. Mai - Der als erloschen geltende Berg brach urplötzlich wieder aus, mitten in einem Naturschutzgebiet. Durch die gewaltige Explosion wird die gesamte Spitze des Berges abgesprengt - in einer Umgebung von 400 Quadratkilometern wird praktisch die gesamte Flora und Fauna zerstört. Man schätzt das der Vulkan mit der 500fachen Kraft einer Atombombe gewütet hat. 24 Menschen sterben bei dem Ausbruch, 58 bleiben für immer vermisst.
- Noragongo, 1977, Zaire, 10. Januar - Der als ungefährlich geltende Noragongo bricht nach mehreren Jahrzehnten der Ruhe überraschend aus und tötet 2.000 Menschen.
- Kirkjufell, 1973, 23. Februar - Auf der isländischen Insel Heimaey entsteht von einem Tag auf dem andern ein neuer Vulkan der unter der Eisdecke hervorbricht. Die Menschen können sich retten, doch die Stadt nahe dem Berg wird komplett zerstört.
- Surtsey, 1963, 14. November - Ein Vulkan entsteht aus dem Meer, nach wenigen Tagen hatte er eine Länge von 600 Metern und eine Höhe von 60 Metern erreicht. Lava floss aus dem Krater und erlosch - bis die neue Insel entstanden war, die 1,4 Quadratkilometer groß war.
- Gunung Agung, 1963, Bali, 17. März - Bei diesem Ausbruch sterben 1.900 Menschen, es gibt 2.500 Verletzte zu beklagen. Zwar ist der Berg bald darauf erloschen, doch einige Regionen sind noch nach Wochen so erhitzt, dass man sie nicht betreten kann.
- Ätna, 1928, 2. November - Der Ausbruch ist der stärkste des Vulkanes seit 1669. Doch man erkennt die Gefahr rechtzeitig und die Menschen können evakuiert werden.
- Kelud auf Java, 1919, das Wasser des Kratersees bildet Lahars, 65.000 Tote.
- Mt. Pelée auf der Insel Martinique, 1902, 8. Mai, 28.000 Tote, die Stadt Saint-Pierre wird zerstört
- Krakatau, 1883, 26./27. Aug., zwei Drittel der Vulkaninsel werden gesprengt, offiziell 36.417 Tote. Es ist einer der katastrophalsten Vulkanausbrüche in der Geschichte, die atmosphärischen Schockwellen der Explosion wurden weltweit registriert.
- Tambora auf Sumbawa (Indonesien), 1815, 5. April - 15. Juli 1816, 12.000 Tote, weitere 50.000 bis 80.000 sterben durch die folgenden Erdbeben und Flutwellen sowie den Ascheregen auf Lombok, größter neuzeitlicher historischer Vulkanausbruch. Durch den Eintrag großer Aschemengen in die Atmosphäre wird die Sonnenstrahlung so geschwächt, daß das Jahr 1816 als

Jahr ohne Sommer in Nordamerika und Teilen Europas in die Geschichte eingeht.

- Ätna, 1669, 8. März - 16. Mai, die Stadt Malpasso und sechs Ortschaften werden zerstört, die Stadt Catania beschädigt
- Vesuv, 1631, 16./17. Dezember, ca. 3.000-4.000 Tote, etwa 80 Ortschaften werden beschädigt
- Ätna, 1169, etwa 15.000 Tote
- Vesuv, 79 n. Chr., 24. August, Zerstörung der Städte Pompeji u. Herculaneum, mind. 2.000 Tote (inkl. Plinius der Ältere).
- Santorin, 1628 v. Chr., Anzahl der Todesopfer unbekannt, Bewohner konnten rechtzeitig die Insel verlassen; mittelbar (Aschregen, evtl. Flutwelle) möglicherweise starke Auswirkungen auf weite Teile des Ägäisraums.
- Toba auf Sumatra, ca. 74.000 v. Chr., 3.000 Kubikkilometer Material werden in die Luft geschleudert, die Erdtemperatur wird im vulkanischen Winter um 5 Grad gesenkt, Homo sapiens stirbt fast aus.
- Yellowstone-Supervulkan, vor ca. 2 Millionen, 1,3 Millionen und 630.000 Jahren fanden hier große Ausbrüche statt. Forscher befürchten bei einem erneuten Ausbruch (der in geologisch naher Zeit erwartet wird) eine globale Klimakatastrophe.
- Fish-Canyon-Tuff-Ereignis in Colorado, vor ca. 27,8 Mio. Jahre, womöglich größter Vulkanausbruch der Erdgeschichte, Vulkan wirft 5.000 Kubikkilometer Lava aus

Tsunami

Ein Tsunami ist eine sich schnell fortpflanzende Meereswoge, die überwiegend durch Erdbeben auf dem Meeresgrund (oft auch als „Seebeben“ bezeichnet) ausgelöst wird.

Tsunamis werden oft als Flutwellen bezeichnet; ihre Entstehung hat jedoch nichts mit den tageszeitlichen Wechseln zwischen Ebbe und Flut (Gezeiten) zu tun; ebensowenig werden Tsunamis durch Wind verursacht. Tsunamis sind nicht mit sogenannten Riesen- oder Monsterwellen (Kaventsmänner) zu verwechseln.

Auf offenem Meer werden Tsunamis kaum bemerkt, in Ufernähe jedoch können starke Tsunamis weiträumige katastrophale Schäden verursachen und ganze Küstenstriche verwüsten.

Entstehung

Etwa 86 % aller Tsunamis werden durch Erdbeben verursacht, die restlichen entstehen durch die abrupte Verdrängung großer Wassermassen, bedingt durch Vulkanausbrüche, küstennahe Bergstürze, Unterwasserlawinen oder Meteoriteneinschläge. Auch Nuklearexplosionen können Tsunamis auslösen. Tsunamis treten am häufigsten im Pazifik auf: Am Rand des Stillen Ozeans, in der Subduktionszone des Pazifischen Feuerrings, schieben sich tektonische Platten der Erdkruste (Lithosphäre) übereinander, wodurch Vulkanismus, See- und Erdbeben verursacht werden.

Ein Erdbeben kann nur dann einen Tsunami verursachen, wenn alle drei folgenden Bedingungen gegeben sind:

- es eine Magnitude von 7 oder mehr auf der Richterskala erreicht
- sein Hypozentrum nahe der Erdoberfläche am Meeresgrund liegt und
- es eine vertikale Verschiebung des Meeresbodens verursacht, welche die darüber liegende Wassersäule in Bewegung versetzt.

Nur ein Prozent der Erdbeben zwischen 1860 und 1948 verursachten messbare Tsunamis. Da sich die leichte Erdbewegung aber über das Medium Wasser weit ausbreiten kann, sind größere Schäden als bei gleich starken Beben an Land möglich.

Möglich ist auch, dass nicht die unmittelbar durch das Erdbeben bedingte Bewegung des Meeresbodens, sondern ein durch das Erdbeben ausgelöster unterseeischer Hangrutsch den Tsunami verursacht. In einem solchen Fall können schon relativ kleine (Magnitude 7) Erdbeben einen Tsunami nach sich ziehen.

1) Küste im Normalzustand



2) Erdbeben



3) Ausbreitung des Tsunami



4) Zurückweichen der Küstenlinie



5) Brandung



Ausbreitung

Tsunamis unterscheiden sich grundlegend von Wellen, die durch Stürme entstehen, denn bei diesen kann das Wasser zwar unter außerordentlichen Bedingungen bis zu 30 Meter hoch aufgeworfen werden, die tieferen Wasserschichten bleiben dabei jedoch unbewegt. Bei einem Tsunami bewegt sich dagegen das gesamte Wasservolumen, also die gesamte Wassersäule vom Meeresboden bis zur Meeresoberfläche.

Entstehung und Fortpflanzung eines Tsunami

Tsunamis sind Schwerewellen

Grundsätzlich repräsentiert eine Welle keine Bewegung von Wasser, sondern Bewegung von Energie durch Wasser. Aus physikalischer Sicht ist Wellenausbreitung immer dann möglich, wenn eine Auslenkung aus einer Gleichgewichtslage, in diesem Fall ein Anstieg oder Abfall des Wasserspiegels, eine entgegengerichtete Rückstellkraft zur Folge hat. Bei Ozeanwellen wirkt als Rückstellkraft die Schwerkraft, die auf eine möglichst horizontale Wasseroberfläche hinarbeitet. Aus diesem Grund werden Tsunamis zu den *Schwerewellen* gezählt. Ein Tsunami ist also insbesondere keine Druck- und keine Schallwelle; Kompressibilität, Viskosität und Turbulenz sind nicht relevant. Um die Physik eines Tsunami zu verstehen, genügt es, die Potentialströmung einer idealen, also reibungsfreien, inkompressiblen und wirbelfreien Flüssigkeit zu betrachten. Mathematisch werden Tsunamis durch die Soliton-Lösungen der Korteweg-de Vries-Gleichung beschrieben.

Die Theorie der Schwerewellen vereinfacht sich in den beiden Grenzfällen der Tief- und der Flachwasserwelle. Normale Wellen, die beispielsweise durch Wind, fahrende Schiffe oder ins Wasser geworfene Steine verursacht werden, sind meist Tiefwasserwellen, da sich ihre Wellenbasis in der Regel über dem Grund des Gewässers befindet, also dort, wo die Welle keine Auswirkungen mehr hat. Ein Tsunami hingegen ist auch im tiefsten Ozean eine Flachwasserwelle, da die gesamte Wassersäule bewegt wird und sich auch am Ozeanboden eine langsamere Bewegung in Richtung der Wellenausbreitung feststellen lässt. Dieser Charakter ergibt sich daraus, dass bei Tsunamis die Wellenlänge (Entfernung von einem Wellenberg zum nächsten) viel größer ist als die Wassertiefe. Dadurch wird auch eine wesentlich größere Wassermenge transportiert.

Tsunamis seismischer Natur weisen lange Wellenperioden auf, die sich zwischen zehn Minuten und zwei Stunden bewegen. Durch andere Ereignisse als Erdbeben erzeugte Tsunamis haben oft kürzere Wellenperioden im Bereich von einigen Minuten bis zu einer Viertelstunde. Andere Eigenschaften wie die Wellenhöhe und -länge oder die Ausbreitungsgeschwindigkeit hängen neben den beiden Grundparametern nur von der Meerestiefe ab.

Wellenlänge

Die meisten Tsunamis haben, trotz der viel geringeren Meerestiefe, eine Wellenlänge von über 100 Kilometern und können damit als Flachwasserwellen betrachtet werden. In diesem Fall hängt die Wellenlänge λ nur von der Wellenperiode T und der Meerestiefe h ab:

$$\lambda = T \sqrt{gh}$$

wobei $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Dies ergibt:

$$\lambda \approx 870 \left(\frac{T}{60 \text{ min}} \right) \sqrt{\frac{h}{6 \text{ km}}} \text{ km}$$

Typische Wellenlängen bei Tsunamis liegen damit zwischen 100 und 500 km. Die Wellenlängen von winderzeugten Wellen erreichen dagegen nur zwischen 100 und 200 Meter.

Je größer die Wellenlänge, desto geringer sind die Energieverluste während der Wellenausbreitung. Bei kreisförmiger Ausbreitung ist die Energie, mit der eine Welle auf einen Küstenstreifen auftrifft, in erster Näherung umgekehrt proportional zum Abstand vom Entstehungsort des Tsunami.

Amplitude

Die Wellenhöhe (Amplitude) A des Tsunami hängt von der Energie E und der Wassertiefe h ab. Bei Tsunamis mit großer Wellenlänge gilt:

$$A \sim \sqrt{\frac{E}{r \cdot \sqrt{h}}}$$

Dies bedeutet, dass die Amplitude A bei geringerer Wassertiefe h zunimmt. Im offenen Meer nimmt sie, da der Tsunami eine Oberflächenwelle ist, mit zunehmender Entfernung r nur um den Faktor $1/\sqrt{r}$ ab (Kugelwellen, die sich in die Tiefe ausbreiten, nehmen um den Faktor $1/r$ ab). Dies kann man sich veranschaulichen, wenn man einen Stein in eine flache Pfütze wirft. Die Amplitude der Wasserwellen nimmt nur merklich ab, da sich die Energie kreisförmig über einen größeren Wellenkamm verteilt. Der Energieverlust durch die innere Reibung der Wassermoleküle ist verschwindend gering und der Impuls wird nahezu ungeschwächt an die benachbarten Wassermoleküle weitergegeben. Die Energie einer Tsunamiwelle schwächt sich im offenen Meer nur durch ihre geometrische Ausbreitung ab. Tsunamiwellen können daher die Erdkugel mehrfach umrunden. Bei Tsunamis kleinerer Wellenlänge – meist nicht von Erdbeben verursacht – kann die Amplitude mit der Entfernung wesentlich schneller abnehmen.

Auf dem offenen Ozean beträgt die Amplitude selten mehr als einige Dezimeter. Der Wasserspiegel wird somit nur langsam und nur um einen geringen Betrag angehoben und wieder abgesenkt, weshalb das Auftreten eines Tsunami auf offener See meist gar nicht bemerkt wird.

Die Zerstörungskraft eines Tsunami wird *nicht* grundsätzlich durch seine Amplitude, sondern durch die Wellenperiode sowie durch die transportierte Wassermenge bestimmt.

Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit eines Tsunami hängt von der Meerestiefe ab; je tiefer das Meer, desto schneller, und je flacher, desto langsamer ist der Tsunami. Seine Höchstgeschwindigkeit erreicht er in großer Meerestiefe. Die Geschwindigkeit c einer Tsunamiwelle (genauer: die Phasengeschwindigkeit) ergibt sich aus der Wurzel des Produktes von Erdbeschleunigung g und Wassertiefe h ; also

$$c = \sqrt{g \cdot h} \quad \text{oder, in üblichen Einheiten} \quad c [\text{km/h}] \approx \sqrt{127 \cdot h [\text{m}]}$$

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit liegt somit auf offenem Meer zwischen üblichen 800 km/h (~ 5.000 m Wassertiefe ~ mittlere Ozeantiefe) und maximalen 1100 km/h (~10.000 m Wassertiefe). Das ist vergleichbar mit der Reisegeschwindigkeit eines Flugzeuges; Tsunamis können binnen einiger Stunden ganze Ozeane durchqueren und sich bis zu 20.000 km ausbreiten, ohne dabei unmittelbar bemerkt zu werden. Winderzeugte Wellen erreichen nur Geschwindigkeiten zwischen 8 und 100 km/h. Bei niedriger Wassertiefe, also in Küstennähe, verlangsamt sich die Welle, wie auf nebenstehender Animation zu sehen ist. Dadurch kommt es zur Brechung der Welle, was eine nicht-kreisförmige Ausbreitung zur Folge hat.

Schwerewellen kommen durch die gleichtaktige Bewegung großer Wassermassen zustande. Jedes einzelne Teilvolumen des Wassers bewegt sich dabei nur um winzige Beträge. Für eine Flachwasser-Schwerewelle mit der Amplitude a in einem Gewässer der Tiefe h kann man das sogar quantitativ angeben: Die Geschwindigkeit, mit der sich die an der Welle beteiligte Materie zirkulär bewegt, ist um einen Faktor a/h kleiner als die Phasengeschwindigkeit der Welle. Für einen großen Tsunami liegt dieser Faktor in der Größenordnung 10^{-5} : Wenn sich eine Welle im offenen Meer mit $c = 200$ m/s ausbreitet, bewegen sich die Wasserelemente nur mit 2 mm/s, was gegenüber Strömungen und Windwellen völlig vernachlässigbar und nicht direkt beobachtbar ist. Auftreffen auf die Küste.

Erhöhung der Amplitude

In Küstennähe wird das Wasser flach. Das hat zur Folge, dass Wellenlänge und Phasengeschwindigkeit abnehmen (proportional zu $h^{1/2}$), die Amplitude der Welle und die Geschwindigkeit der beteiligten Materie aber zunehmen (proportional zu $h^{-1/4}$ respektive $h^{-3/4}$). Die Energie der Tsunamiwelle wird dadurch immer stärker konzentriert, bis sie mit voller Wucht auf die Küste auftrifft. Der Energiegehalt eines Wellenzuges ergibt sich als Querschnitt mal Wellenlänge mal Teilchengeschwindigkeit-zum-Quadrat und ist in erster Näherung unabhängig von h .

Typische Amplituden beim Auftreffen eines Tsunami auf die Küste liegen in einer Größenordnung von 10 Metern; am 24. April 1971 wurde in der Nähe der japanischen Insel Ishigaki von einer Rekordhöhe von 85 Metern in flachem Gelände berichtet. In Ufernähe einer Tiefseesteilküste kann die Amplitude auf etwa 50 Meter ansteigen. Läuft ein Tsunami in einen Fjord, so kann sich die Welle auf weit über 100 Meter aufstauen.

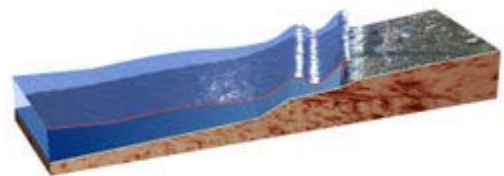
In einem Fjord in Alaska wurden mehrere Wellen mit rund 150 Metern und sogar eine mit bis zu 530 Metern Höhe nachgewiesen (Megatsunami). Diese gigantischen Wellen entstanden jedoch nicht als Fernwirkung eines Erdbebens, sondern durch Wasserverdrängung im Fjord selbst: Heftige Erdbeben ließen Berghänge in den Fjord rutschen und brachten diesen schlagartig zum Überlaufen.

Zurückweichen des Meeres

Wie ein akustisches Signal, so besteht auch ein Tsunami nicht aus *einer einzelnen* Welle, sondern aus einem ganzen Paket von Wellen mit unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden. Wellen unterschiedlicher Frequenz breiten sich mit leicht unterschiedlicher Geschwindigkeit aus. Deshalb addieren sich die einzelnen Wellen eines Paketes in von Ort zu Ort und von Minute zu Minute unterschiedlicher Weise. Je nach Ursache kann ein Tsunami an einem Punkt der Küste zuerst als Wellenberg oder zuerst als Wellental beobachtet werden. Ist die Ursache des Tsunami ein Hangabrutsch oder Herunterbrechen einer Kontinentalplatte, so wird Wasser zur Sohle hin beschleunigt. Wasser wird komprimiert, und es entsteht zunächst ein Wellental. Danach expandiert das Wasser wieder auf sein ursprüngliches Volumen, und der Wellenberg entsteht. Beim Eintreffen der Welle an der Küste zieht sich zunächst die Küstenlinie zurück, unter Umständen um mehrere 100 Meter. Wenn der Tsunami eine unvorbereitete Bevölkerung trifft, kann es geschehen, dass die Menschen durch das ungewöhnliche Schauspiel des zurückweichenden Meeres angelockt werden, statt dass sie die verbleibenden Minuten bis zur Ankunft der Flutwelle nutzen, um sich auf höher gelegenes Gelände zu retten.

Stokes-Strömung

Wenn die Amplitude eines Tsunami in der Nähe der Küste nicht mehr gegen die Wassertiefe vernachlässigbar ist, so wandelt sich ein Teil der Schwingung des Wassers in eine allgemeine horizontale Bewegung um, genannt Stokes-Strömung. In unmittelbarer Küstennähe ist eher diese schnelle Horizontalbewegung als das Ansteigen des Wasserspiegels für die Zerstörung verantwortlich.



Gefahren und Schutz

Tsunamis zählen zu den verheerendsten Naturkatastrophen, mit denen der Mensch konfrontiert werden kann, denn ein mächtiger Tsunami kann seine zerstörerische Energie über Tausende von Kilometern weit mitführen oder sogar um den ganzen Erdball tragen. So wird ein Tsunami als Auslöser für die biblische Sintflut vermutet. Ohne schützende Küstenfelsen können schon drei Meter hohe Wellen mehrere hundert Meter tief ins Land eindringen. Die Schäden, die ein Tsunami beim Vordringen verursacht, werden noch vergrößert, wenn die Wassermassen wieder abfließen. Die Gipfelhöhe eines Tsunami hat nur bedingte Aussagekraft über seine Zerstörungskraft. Gerade bei niedrigen Landhöhen kann auch eine niedrige Wellenhöhe von nur wenigen Metern ähnliche Zerstörungen wie ein großer Tsunami mit über 31 Metern anrichten.

In den letzten zehn Jahren wurden weltweit 82 Tsunamis registriert, wobei zehn von ihnen zusammen mehr als 4000 Menschenleben kosteten. Am 26. Dezember 2004 wurden durch den wohl bisher größten Tsunami in Südostasien mindestens 231.000 Menschen getötet. Ausgelöst wurde die Welle durch eines der stärksten Erdbeben seit Beginn der Aufzeichnungen. Die verheerende Wirkung beruhte hier vor allem auf dem großen Wasservolumen, das pro Kilometer Küstenlinie auf das Land traf, während die Wellenhöhe mit zumeist nur wenigen Metern vergleichsweise niedrig war.

Gefahrenzonen

Die häufigsten Tsunamis entstehen am westlichen und nördlichen Rand der pazifischen Platte, im Pazifischen Feuerring.

Japan musste aufgrund seiner geografischen Lage in den letzten tausend Jahren die meisten Todesopfer durch Tsunamis beklagen; in dieser Zeit starben über 160.000 Menschen. In den letzten 100 Jahren richteten jedoch nur 15 Prozent der 150 registrierten Tsunamis Schäden an oder kosteten Menschenleben. Heutzutage verfügt Japan über ein effektives Frühwarnsystem, und für die Bevölkerung finden regelmäßig Trainingsprogramme statt. Viele japanische Küstenstädte schützen sich durch das Errichten riesiger Deiche, z. B. ein 10 Meter hoher und 25 Meter breiter Wall auf der Insel Okushiri.

In Indonesien dagegen wirkt heute noch die Hälfte der Tsunamis katastrophal, denn die meisten Küstenbewohner sind über die Anzeichen, die einen Tsunami ankündigen, nicht informiert. Meistens ist auch das Land sehr flach und die Wassermassen fließen bis ins Landesinnere (*siehe auch* Seebeben im Indischen Ozean 2004).

Ein besonders großes Potenzial für das Auslösen eines Tsunamis besteht bei Inseln mit vulkanischem Ursprung, wie etwa den Kanarischen Inseln oder Hawaii. Dass die Kanarischen Inseln eine Gefahr darstellen, zeigte sich vor rund 300.000 Jahren, als ein Teil der Insel El Hierro ins Meer rutschte, einen Megatsunami auslöste und an der Ostküste der heutigen USA hausgroße Felsen mehrere hundert Meter ins Landesinnere trug. Die Gefahr eines derartigen Inselrutsches wird von Wissenschaftlern heutzutage besonders bei der kanarischen Insel La Palma gesehen, auf der sich eine Woche nach dem letzten Vulkanausbruch 1949 beinahe die Hälfte des Berges auf einer Länge von 20 km um bis zu vier Meter westwärts in Richtung Meer verschob und einen großen Riss im vulkanischen Basalt entstehen ließ. Bei einer erneuten Eruption könnte sich aufgrund verschiedenartigen Gesteins und diverser Wasserdepots innerhalb des (aktiven) Vulkanberges ein massiver Teil des Vulkans lösen und ins Meer stürzen, so dass vor allem die dicht besiedelte amerikanische Ostküste massiv bedroht wäre. Ähnliche Voraussetzungen weist ein großer Bruch auf Hawaii auf, mit dem Unterschied, dass dieser nahezu senkrecht verläuft, also kein allzu großes Gefahrenpotenzial besitzt.

Nicht nur die Anrainerstaaten der Pazifikküste sind von Tsunamis betroffen. Auch an den europäischen Küsten treten diese Riesenwellen auf, wenn auch wesentlich seltener. Da die Afrikanische Platte sich nach Norden unter die Eurasische Platte schiebt, können durch Erdbeben im Mittelmeer und im Atlantik ebenfalls Tsunamis entstehen.

Auch ein Meteoriteneinschlag kann einen Tsunami auslösen. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Himmelskörper auf dem Meer aufprallt, ist relativ groß, denn 71 % der Erde sind von Wasser bedeckt. Ein solcher Aufprall würde zuerst eine riesige Staubwolke aufwirbeln und dann eine gigantische Flutwelle von über 100 Metern Höhe. Nicht nur die Küstenländer, sondern auch das Binnenland würde überschwemmt werden. Die Zerstörungen wären verheerend und die Zahl der Toten kaum abschätzbar.

Auswirkungen

- Ertrinken: Menschen werden durch die starken Strömungen ins Meer gespült. Andere ertrinken, weil sie nicht schwimmen können, oder durch Erschöpfung.
- Unterkühlung: Bei niedriger Wassertemperatur kühlt der Körper im Wasser sehr schnell aus. Hierdurch können Menschen durch Erfrieren umkommen oder erkranken.
- Schnittwunden, Prellungen, Quetschungen, innere Blutungen: Menschen werden mitgerissen und von Gegenständen, die im Wasser mittreiben, oder solchen, die fix bleiben (z. B. Felsen, Steinmauern), verletzt.
- Verschüttet werden in Gebäuden, die unter dem Druck des Wassers zusammenbrechen.

Außer den unmittelbaren Folgen für die betroffenen Menschen gibt es bei großen Tsunamis auch erhebliche Spätfolgen:

- Hunger, Durst: Eine zerstörte Infrastruktur beeinträchtigt die Grundversorgung mit sauberem Wasser und Nahrungsmitteln.
- Krankheiten, Epidemien: Wenn Leichen nicht schnell genug bestattet werden können und die ärztliche Versorgung zusammenbricht, können Krankheiten/Seuchen entstehen und sich ausbreiten.
- Armut: Die breite Zerstörung beraubt viele Menschen ihrer Lebensgrundlagen und Erwerbsmittel.

Nach dem Tsunami überwältigt die Menschen der Schock. Wer der Flut entkommen ist, wird die seelischen Wunden nicht mehr los (Belastungsstörung).

Temporäre oder langanhaltende Beeinträchtigungen der Landwirtschaft in den überschwemmten Gebieten durch Versalzung der Böden.

Schutzmaßnahmen

Viele Staaten haben Frühwarnsysteme eingerichtet, die durch das Aufzeichnen seismographischer Plattenbewegungen Tsunamis schon bei der Entstehung erkennen können, so dass durch den gewonnenen Zeitvorsprung die Küstengebiete evakuiert werden können. Leider besitzen einige von der Gefahr betroffene Staaten diese Systeme nicht, und deren Informationsnetz ist so schlecht ausgebaut, dass eine Vorwarnung nur eingeschränkt oder überhaupt nicht möglich ist. Zudem kommt es vor, dass Behörden aus Angst des Verlustes der Einnahmequelle Tourismus Tsunami-Warnungen nicht weiterleiten.

Ein „natürliches“ Frühwarnsystem stellt die einheimische Tierwelt dar. Werden Tiere unnatürlich stark unruhig, droht Gefahr. Dies zeigte sich z. B. auf Inselstaaten, wo sich etwa Elefanten rechtzeitig vor dem Eintreffen von Tsunamis auf höher gelegene Gebiete zurückzogen.

Einige Küstenstädte in Japan (wie zum Beispiel die Stadt Taro auf der Insel Okushiri) schützen sich durch bis zu 10 Meter hohe und 25 Meter breite Deiche, deren Tore innerhalb von wenigen Minuten geschlossen werden können. Außerdem beobachten Leute vom Küstenschutz mit Kameras den Meeresspiegel auf Veränderungen. Ein Frühwarnsystem gibt bei Erdbeben der Stärke 4 (Richterskala) automatisch Tsunamialarm, so dass die Einwohner evakuiert werden können.

Um die Tsunami-Schäden einzuschränken, wurden überall auf der Erde Seismographen unter Wasser installiert, bisher jedoch kaum im Indischen Ozean. Eine wichtige Rolle bei der Auswertung der Daten spielt das Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) in Honolulu auf Hawaii, das zwischen 1950 und 1965 schrittweise aufgebaut wurde. Fehllarme können allerdings bei einer unnötigen Evakuierung hohe Kosten verursachen und das Vertrauen der Menschen in die Prognosen untergraben.

Ein neues, weltweites System soll Mitte 2005 in Betrieb gehen. Für die Erkennung von den Erdbeben werden die seismologischen Auswertungen der UNO herangezogen werden, die normalerweise für die Überwachung des Atomsperrvertrages verwendet werden. Dazu müssen nur die Meldesysteme in die nationalen Alarmsysteme integriert werden, da die Erkennungsmöglichkeiten schon vorhanden sind. Die Meldungen dieser künstlichen durch Nuklearexplosionen hervorgerufenen oder natürlichen Erdbeben laufen in Wien bei der IAEA zusammen.

Wenn man von einem Tsunami betroffen ist, sollte man unbedingt folgende Sicherheitsmaßnahmen beachten:

- Sich ins Landesinnere begeben
- Nicht in Ufernähe schlafen oder leben (Mindestabstand 300 Meter)
- Sich auf eine Anhöhe begeben (mindestens 30 Meter Höhe)
- Dort, wo vorhanden, Alarmsirenen beachten (da Tsunamis selten sind und gelegentlich Fehlalarm ausgelöst wird, kommt es vor, dass viele Menschen die Alarmsirenen ignorieren)
- Mit mehreren Wellen rechnen und nicht nach der ersten oder zweiten Welle zurückkehren (zwischen den Wellen weicht das Meer sehr weit zurück, was ein Alarmzeichen darstellt)
- Sich auf einem starken Baum in Sicherheit bringen
- Sich auf etwas Schwimmfähigem aufhalten (Dach, große Tür, Tor)

Megatsunamis

Megatsunamis werden Tsunamis genannt, deren Höhe im Küstenbereich 100 Meter übersteigt. Würde ein Megatsunami sich frei im Ozean ausbreiten, so könnte er große Schäden auf mehreren Kontinenten anrichten. Da Erdbeben nach heutiger Kenntnis nicht in der Lage sind, derartige Wellen zu erzeugen, könnten nur katastrophale Ereignisse wie der Einschlag eines großen Meteoriten oder der Zusammenbruch eines Bergs im Meer derartige Megatsunamis verursachen. Abgesehen von derartigen Vorstellungen bestehen folgende Tatsachen:

- In der Geschichte der Menschheit ist kein nicht lokal begrenzter Megatsunami bekannt; der Ausbruch des Krakatau 1883 beispielsweise hat keinen bewirkt.
- Die möglichen Ursachen eines Megatsunami sind sehr seltene Ereignisse, die im Abstand von mindestens 10.000, wenn nicht Millionen von Jahren auftreten.
- Erdbeben verursachen Tsunamis von sehr kurzer Wellenlänge, die sich nicht über tausende von Kilometern fortpflanzen können, ohne ihre Energie zu verbrauchen. Während der Erdbeben auf Hawaii (1868 auf Mauna Loa und 1975 auf Kilauea) kam es zu großen lokalen Tsunamis, ohne dass die amerikanische oder die asiatische Küste gefährdet waren. Nach heutigen Erkenntnissen könnte das Abrutschen des Westhangs der Insel La Palma einen lokalen Tsunami von bis zu 1 km Höhe erzeugen der beim Auftreffen auf die amerikanische Küste noch über eine Höhe von circa 20 bis 40 Meter verfügen könnte.

Die größten Tsunamis

21. Jahrhundert

- 26. Dezember 2004: Durch ein Seebeben im Indischen Ozean (3° 33' Nord, 95° 8' Ost) vor der Insel Sumatra, das eine Magnitude um 9,3 auf der Richterskala hat – das viert- oder fünftstärkste je gemessene Beben –, ereignet sich eine der bisher schlimmsten Tsunamikatastrophen der Geschichte. Mindestens 231.000 Menschen (Stand: Dezember 2005) in 8 asiatischen Ländern (Indonesien/Sumatra, Sri Lanka, Indien, Thailand, Myanmar, Malediven, Malaysia und Bangladesch) werden getötet. Die Flutwelle dringt auch mehrere tausend Kilometer bis nach Ost- und Südafrika vor; weitere Opfer werden aus Somalia, Tansania, Kenia, Südafrika, Madagaskar und von den Seychellen gemeldet.

20. Jahrhundert

- 17. Juli 1998: An der Nordküste von Papua-Neuguinea werden 2000 Menschen von einer Flutwelle getötet, die von einem Beben ausgelöst wurde.
- 2. September 1992: An der Pazifikküste von Nicaragua werden etwa 180 Menschen von einer zehn Meter hohen Flutwelle getötet, die von einem Beben 120 km vor der Küste ausgelöst wurde.
- 16. August 1976: Ein Tsunami im Morogolf fordert auf den Philippinen mehr als 5.000 Menschenleben.
- 28. März 1964: Am Karfreitag löst ein Erdbeben vor Alaska an der gesamten Westküste der USA eine Flutwelle aus. In Alaska kommen 107, in Oregon vier und in Kalifornien elf Menschen ums Leben.
- 22. Mai 1960: Eine elf Meter hohe Welle im Pazifik tötet in Chile 1000 Menschen. Auf Hawaii kommen 61 Menschen ums Leben, doch kann durch ein erstes Warnsystem der Ort Hilo rechtzeitig evakuiert werden.
- 9. Juli 1958: In der Lituya Bay (Alaska) entsteht durch einen Erdbeben ein Tsunami, der auf dem gegenüberliegenden Uferhang der engen fjordähnlichen Bucht bis in eine Höhe von 520 m aufgespült wird.
- 1. April 1946: Vor Alaska reißt eine Springflut infolge eines Erdbebens die fünfköpfige Besatzung eines Leuchtturmes in den Tod. Stunden später erreicht die Welle das fast 3700 km entfernte Hawaii, wo 159 Menschen sterben.
- 1936: Bei einem erneuten Felsabsturz des Ramnefjell in den Lovatn-See entsteht eine 70 m hohe Flutwelle und zerstört wiederum zwei Dörfer. Ein Ausflugschiff wird 350 m weit ins Land getragen. Die Dörfer werden daraufhin aufgegeben, so dass bei einem weiteren Erdbeben mit Flutwelle im Jahre 1950 keine Opfer entstehen.
- 28. Dezember 1908: In Messina/Italien wird die Stadt fast vollständig durch ein Erdbeben und einen darauffolgenden Tsunami zerstört. Mehr als 75.000 Menschen finden den Tod.
- 31. Januar 1906: Die Küsten Kolumbiens und Ecuadors werden von einer verheerenden Flutwelle überschwemmt, 500 bis 1500 Menschen kommen ums Leben.
- 15. Januar 1905: Bei einer durch einen Felsabsturz des Ramnefjell in den Lovatn-See (Norwegen) verursachten 40 m hohen Flutwelle sterben am 10 km entfernt gegenüberliegenden Ufer 63 Einwohner der Dörfer Bodal und Nesdal.

Quellen:

- Wikipedia
- Münchner Rück
- SwissRe
- Wetter-Klimawandel.de
- Bilder: Google
- Encarta

