
Erdbeben – Wenn der Untergrund bockt

2

Nadja Podbregar

Plötzlich ist alles anders: Der sonst so stabile und feste Untergrund schüttelt, rollt und bockt, Gebäude schwanken und stürzen ein, der Boden verflüssigt sich oder reißt auf und überall fliegen Trümmer umher. Erdbeben gehören zu den bedrohlichsten und angsteinflößendsten Naturkatastrophen, denn sie reißen uns buchstäblich den Boden unter den Füßen weg. Wie verheerend die Folgen solcher Beben sein können, zeigen Katastrophen in Chile, Haiti und nicht zuletzt auch Fukushima. Wo sich solche Erdbeben ereignen, ist dabei kein Zufall: Sie häufen sich überall dort, wo die Kruste unseres Planeten Schwachstellen aufweist.

Eine folgenreiche Katastrophe – das Tohoku-Beben

11. März 2011. Es ist 14:45 Uhr Ortszeit auf der japanischen Hauptinsel Honshu. In den Küstenstädten der Präfektur Miyagi gehen die Menschen wie immer ihrem Alltag nach. Die Mittagspause ist vorbei, in Büros, Läden und Behörden wird wieder ganz normal gearbeitet. Auch die Angestellten in dem direkt an der Meeresküste liegenden Atomkraftwerk Fukushima absolvieren ihre Schicht wie immer. Dass dieser Tag Geschichte schreiben wird, ahnt hier noch niemand. Doch vor der Küste, gut 200 Kilometer vor die Ostküste von Honshu, braut sich etwas zusammen. Hier verläuft der Japangraben, die Plattengrenze zwischen der Eurasischen Platte und der Pazifischen Erdplatte, die langsam aber stetig gen Westen wandert. Vor der japanischen Küste wird sie in die Tiefe gedrückt, schiebt sich unter die Eurasische Platte. Das allerdings funktio-

niert nicht reibungslos, das Gestein verhakt sich, gewaltige Spannungen entstehen. Sie entladen sich immer wieder in Erdbeben.

Das alles ist den Menschen in Japan bekannt, sie haben gelernt, mit dem immer wieder erzitternden Untergrund zu leben. Erdbebensicheres Bauen, Warnsysteme für Erdbeben und Tsunamis, alljährliche Katastrophenschutz-Übungen – das alles gehört für sie längst zum Alltag. Während ihre Vorfahren noch glaubten, dass ein gewaltiger, im Schlamm des Untergrunds lebender Wels, der „Namazu“, durch seinen Unmut die Erde erschüttert, sind die Japaner von heute aufgeklärt. Sie wissen um die Plattengrenzen, die Störungen im Untergrund, die sich aufbauenden Spannungen. Doch die ständige Bedrohung stumpft auch ab, die Gefahr wird verdrängt.

14:46 Uhr Ortszeit, 129 Kilometer vor der Küste, auf der Höhe der Millionenstadt Sendai. 24 Kilometer unter dem Meeresboden löst sich mit einem gewaltigen Ruck das verhakte Gestein der Plattengrenze. Die dabei freigesetzte Energie sendet eine erste seismische Wellenfront aus. Diese rasend schnellen Primärwellen (P-Wellen) benötigen nur Sekunden, bis sie die Küste erreichen und weniger als eine Minute, bis sie im rund 350 Kilometer entfernten Tokio ankommen. Dicht auf den Fersen sind ihnen die zerstörerischen, seitwärts schwingenden Sekundärwellen (S-Wellen) – sie sind es, die die größten Schäden verursachen. Noch während die ersten Bebenwellen die Küste erreichen, reagieren überall die Warnsysteme. Notabschaltungen stoppen Gas- und Stromleitungen, Ampeln schalten auf Rot. Das schwerste Erdbeben der jüngeren japanischen Geschichte zerstört zahlreiche Häuser und Straßen, die Menschen fliehen in Panik aus den Gebäuden.

Doch es ist noch nicht vorbei, das Schlimmste kommt erst noch. Denn das plötzliche Auf- und Abschnellen des Meeresbodens hat seine gewaltige Energie auch an das darüber liegende Wasser übertragen. In einer sich kreisförmig ausbreitenden Welle rast nun auch ein Tsunami vom Bebenzentrum aus über den Pazifik. Sofort schlägt das Tsunamiwarnsystem Alarm. Doch für die Menschen entlang der nur 129 Kilometer entfernten Küste Japans kommt die Warnung zu spät. Schon rund eine halbe Stunde nach dem Erdbeben trifft die bis zu zehn Meter hohe Wasserwalze auf die Küste. Kilometerweit dringt der Tsunami in das Landesinnere ein und macht große Teile der Präfektur Miyagi dem Erdboden gleich. Und noch in der knapp 14.000 Kilometer entfernten Antarktis



Nach dem Tohoku-Erdbeben und Tsunami vom 11. März 2011: zerstörte Häuser und Fahrzeuge in der Präfektur Iwate (© US Navy/Matthew M. Bradley)

bricht die Flutwelle Eisberge von der zweifachen Größe Manhattans vom Schelfeis ab.

In Japan ist die Bilanz des Tohoku-Bebens und des darauffolgenden Tsunamis verheerend: Mehr als 15.000 Menschen sind tot, von 2600 weiteren wurden die Leichen bis heute nicht gefunden. In den Präfekturen Miyagi, Iwate und Fukushima wurden weit über hunderttausend Gebäude dem Erdboden gleichgemacht, weitere rund 750.000 wurden teilweise zerstört. Beben, Tsunami und über 200 Erdrutsche zerstörten Straßen, Brücken und Eisenbahnlinien, einige sind bis heute noch nicht wieder repariert. Mehrere Seekabel wurden beschädigt, darunter auch Telekommunikationsleitungen nach China und über den Pazifik. Am dramatischsten aber waren die Folgen für das Atomkraftwerk Fukushima Daiichi: Dort führte die Naturkatastrophe zum Ausfall von Strom und Kühlsystem in mehreren Reaktoren. Als Folge heizten sich die Reaktorkerne auf, es kam zu Explosionen und einer Kernschmelze. Große Mengen an radioaktiven Elementen traten aus und kontaminierten Luft,

umgebende Landschaft und das Meer. Bis heute ist die Lage in Fukushima nur bedingt unter Kontrolle, es kommt immer wieder zu Lecks und Kontaminationen.

Verhaktes Gestein an den Nähten der Erde

Warum aber ereignete sich das Tohoku-Beben ausgerechnet vor der Küste von Fukushima und zu diesem Zeitpunkt? Warum sind die Plattengrenzen solche Hotspots der Erdbebengefährdung? Schon im 19. Jahrhundert erkannten Forscher, dass die Erdbebenherde keineswegs zufällig auf der Erde verteilt sind. Stattdessen häufen sie sich – ebenso wie auch Vulkane und Gebirgsketten – in bestimmten Gebieten. Wie ein rotes Band erstreckt sich diese Erdbebenzone beispielsweise einmal rund um den Pazifik, schlängelt sich dann über die Inselwelt Südasiens nach Westen und hinauf in den Himalaya, von dort weiter nach Westen bis hin nach Ostafrika und Südeuropa. Nahezu bebenfrei ist dagegen das Innere einiger großer Landmassen, darunter Australien, Grönland, weite Teile Afrikas und der Norden Europas sowie Asiens. Auch die Ozeane scheinen weitestgehend von den Erschütterungen verschont zu bleiben, nur entlang einiger Linien, die sich wie Nähte um die Erde ziehen, häufen sich sowohl Beben als auch Vulkaninseln.

Und genau diese Verteilung verrät auch die Ursache der Erdbeben: Denn genau dort, wo sich Beben häufen, liegen Verwerfungen im Boden: Nahtstellen, an denen die verschiedenen Platten der Erdkruste aneinanderstoßen. Wie Eisschollen auf dem Meer treiben diese festen tektonischen Platten auf dem weicheren, schmelzflüssigen Teil des Erdmantels. Angetrieben durch Strömungen im zähflüssigen Erdmantel driften diese Platten mit mehreren Zentimetern pro Jahr gegeneinander, auseinander oder seitlich aneinander vorbei. Das aber geht nicht immer reibungslos vonstatten, im Gegenteil. Durch Vorsprünge und Widerstände im Untergrund verhakt sich das Gestein häufig. Da sich die Platten trotzdem weiterbewegen, wächst die Spannung an. Irgendwann wird der Druck zu groß, das Gestein bricht, die Platten schnellen ruckartig in eine neue Position – und als Folge bebt die Erde.

Japan liegt dabei an einem Typ von Plattengrenze, an dem es besonders oft „klemmt“ und entsprechend häufig starke Beben gibt – an einer

Subduktionszone. Hier, aber auch an anderen Küsten rings um den Pazifik wird eine tektonische Platte unter eine andere gedrückt. Neun der zehn stärksten Erdbeben der letzten 100 Jahre fanden an diesen Subduktionszonen statt. Besonders viele Starkbeben gibt es dabei an der Westküste Südamerikas. Dort bewegt sich die Nazca-Platte als Teil des pazifischen Ozeanbodens mit etwa siebzig Millimetern pro Jahr nach Osten, kollidiert mit Südamerika und schiebt sich dabei unter den Kontinent. Die dadurch entstehenden Erdbeben gehören zu den weltweit stärksten. Im Laufe etwa eines Jahrhunderts bricht dabei von Patagonien im Süden bis nach Panama im Norden die Erdkruste in einer Reihe von Starkbeben vollständig durch. Schon Darwin berichtete in seinem Tagebuch von dem starken Beben in Concepción vom 20. Februar 1835 und dem Tsunami, der dabei entstand.

Entlang dieser Verwerfung fand im Mai 1960 das stärkste jemals gemessene Erdbeben statt, das Große Chile-Erdbeben. Dabei brach die Erdkruste auf einer Länge von rund 1000 Kilometern auf, ein 200 Kilometer breiter Block der Erdkruste zwischen dem Kontinentalrand und den Anden wurde ruckartig um 20 Meter nach Westen und nach oben bewegt und dabei gekippt. Die resultierenden Erschütterungen erreichten eine Magnitude von 9,5. Damit gehört das Beben zu den sogenannten Megathrust-Beben, ähnlich wie auch das Tohoku-Beben vom März 2011, das Beben vor Sumatra, das 2004 den Tsunami auslöste und das historische Beben von Lissabon im Jahr 1755. Im Falle des Chile-Bebens sackte die Küstenlinie nahe dem Epizentrum bei Valdivia zeitweilig um bis zu vier Meter ab, der ruckartige Versatz löste einen Tsunami aus, der sich über den gesamten Pazifischen Ozean ausbreitete und in Chile als 25 Meter hohe Flutwelle die Küste verwüstete.

Überraschungen im Japan-Graben

Als am 11. März 2011 vor der japanischen Küste bebte, war dies allerdings aus gleich zwei Gründen unerwartet: Zum einen, weil der Untergrund in dieser Region erst kurz zuvor schon einmal gebebt hatte. Deshalb galt dieses Gebiet nicht als hochgradig erdbebengefährdet. Tatsächlich ist es für Erdbebenforscher auch im Nachhinein überraschend, dass sich an dieser Stelle überhaupt ein so starkes Erdbeben ereignet hat:

So bewegte sich die Verwerfung durch das Brechen des Gesteins auf 250 Kilometern Länge – das ist nur rund die Hälfte dessen, was man für ein Beben dieser Stärke erwartet hätte. Dafür allerdings lag der Versatz bei 30 bis 50 Metern – ungewöhnlich viel. Dies widerspricht den gängigen Modellen und Theorien zu Megathrust-Beben.

„Die Höhe der Spannungen, die mit diesem Versatz verbunden sind, liegt fast fünf bis zehn Mal höher als das, was wir normalerweise bei einem Megathrust-Erdbeben sehen“, erklärt der Geophysiker Hiroo Kanamori vom California Institute of Technology (Caltech) im Mai 2011 im Fachmagazin „Science“. „Bisher nahm man an, dass das Gestein nahe dem Japangraben eine so große elastische Spannung gar nicht aufbauen kann.“ Warum es im Falle des Tohoku-Bebens trotzdem der Fall war, ist nur in Teilen geklärt. Nach Ansicht von Kanamori könnten entweder der subduzierte Meeresboden oder aber die darüberliegende Platte ungewöhnliche Strukturen aufweisen, wie beispielsweise aufragende Höhenrücken. Diese könnten ein Verhaken der beiden Platten fördern und so mehr Spannung als gewöhnlich aufbauen.

Mehr Informationen lieferte im Jahr 2013 das Japan Trench Fast Drilling Project. Im Rahmen dieses Projekts trieben Forscher von einem Bohrschiff aus drei Löcher ins Tiefengestein des Japangrabens. Ihr Ziel: Sie wollten das Material in der Bruchzone des Erdbebens von 2011 genauer untersuchen. Wie sich dabei zeigte, ist die Verwerfung tatsächlich ungewöhnlich: Die Grenzschicht der beiden Kontinentalplatten ist im Bereich des Epizentrums extrem dünn – nur etwa fünf Meter. „Unserer Kenntnis nach ist das die dünnste Plattengrenze auf der Erde“, sagt Christie Rowe von der McGill University in Montreal. Beispielsweise sei die entsprechende Schicht im Fall der kalifornischen San-Andreas-Verwerfung mehrere Kilometer dick.

Die Wissenschaftler entdeckten auch Hinweise darauf, dass es bei der Verschiebung im Rahmen des Erdbebens nur zu vergleichsweise wenig Reibung gekommen ist: Einmal in Bewegung, rutschte es deshalb heftig. Wie heftig, hatten erst kurz zuvor Aufnahmen eines Unterwasserroboters gezeigt, der bis in 7500 Meter tief in den Graben hinabtauchte: Der durch das Beben ausgelöste Versatz um 50 Meter ließ am Rand des Japangrabens großflächig Sedimentpakete als zusammenhängende Blöcke absacken. An manchen Stellen stauchten die Sedimentblöcke den Meeresboden und erzeugten regelrechte Wülste und Tröge am Grund

des Japangrabens. Und noch etwas zeigten die Untersuchungen: Durch die Bewegungen der Sedimentmassen verschob sich die oberflächennahe Grenze der Eurasischen Platte ungewöhnlich weit: Sie rückte um zwei bis drei Kilometer nach Osten –so viel, wie sonst nur in Hunderttausenden oder Millionen Jahren.

Die Ursache dafür zeigte sich bei der Analyse des Materials der dünnen Trennschicht: Es besteht aus einem extrem feinen Sediment. „Es ist der schlüpfrigste Ton, den man sich nur vorstellen kann“, sagt Rowe. Wenn man ihn zwischen den Fingern verreibt, fühlt er sich an wie ein Schmiermittel. Deshalb gab es bei der Bewegung im Rahmen des Erdbebens sehr wenig Reibungswiderstand und die gesamte Spannung konnte sich auf einen Schlag entladen. Die Forscher vergleichen den Effekt mit dem Gleiten von Langlaufskiern auf Schnee: Im Ruhezustand kleben die Ski ein wenig am Schnee und es braucht eine gewisse Kraft, um sie in Bewegung zu setzen. Dann entsteht allerdings Wärme und bei der anschließenden Gleitbewegung entsteht weniger Widerstand. Den Forschern zufolge könnte es auch an anderen Plattengrenzen ähnliche geologische Besonderheiten geben wie im Japangraben. Die Suche nach solchen dünnen Grenzschichten mit schlüpfrigem Ton könnte daher dabei helfen vorherzusagen, wo besonders heftige Beben und Tsunamis drohen.

Beben verändern den Planeten

Die Folgen von Starkbeben wie in Japan oder Chile gehen jedoch weit über die Plattengrenze oder die Region hinaus – sie verändern buchstäblich den gesamten Planeten. So ist das Tohoku-Erdbeben nicht nur das fünfstärkste weltweit seit 1900, der fast 20 Meter betragende Versatz entlang der Verwerfung hat auch die Verteilung der Massen in der Erdkruste beeinflusst – und damit die Lage der Erdachse. Berechnungen von Richard Gross vom Jet Propulsion Laboratory der NASA in Pasadena ergaben, dass die Erdstöße in Japan die Schwerkraftachse der Erde um rund 17 Zentimeter verschoben haben, weiter in Richtung des 133. östlichen Längengrads. Die Schwerkraftachse ist nicht mit der Nord-Südachse der Erde identisch, beide sind um rund zehn Meter versetzt. Die durch das Erdbeben ausgelöste Verschiebung führt dazu, dass unser Planet bei sei-

ner Rotation ein wenig anders taumelt als zuvor. Die Ausrichtung der Erdachse gegenüber Fixsternen und dem Weltall verändert sich dadurch jedoch nicht.

Gleichzeitig haben die Verschiebungen in der Massenverteilung auch die Rotation der Erde und damit die Tageslänge beeinflusst. Nach den Berechnungen des NASA-Forschers hat das Erdbeben in Japan die Rotation leicht beschleunigt und die Tageslänge um 1,8 Mikrosekunden verkürzt. Zum Vergleich: Ein Erdbeben der Magnitude 8,8, das sich im 2010 Jahr Chile ereignete, verkürzte die Tageslänge um 1,26 Mikrosekunden und verschob die Schwerkraftachse um acht Zentimeter. Das schwere Erdbeben vor Sumatra im Dezember 2004 hatte die Magnitude 9,1 und verkürzte die Tageslänge immerhin um 6,8 Mikrosekunden. Der Versatz der Schwerkraftachse fiel dagegen geringer aus: nur sieben Zentimeter. Diese Unterschiede rühren daher, dass nicht nur die Stärke des Bebens für diese Auswirkungen entscheidend sind, sondern auch Ort und Art des Versatzes im Untergrund.

Für den Alltag und das Leben auf der Erde sind solche winzigen Verschiebungen jedoch absolut irrelevant: „Diese Veränderungen in der Erdrotation sind absolut natürlich und geschehen die ganze Zeit. Sie sind kein Grund zur Beunruhigung“, so Gross. Denn die Erdrotation verändert sich ständig, nicht nur durch Erdbeben, sondern auch durch die sehr viel stärkeren Einflüsse von Veränderungen in Windmustern und Meeresströmungen. „Im Laufe eines Jahres schwankt die Tageslänge um rund eine Millisekunde – das ist 550 Mal mehr als die durch das japanische Erdbeben erzeugte Veränderung“, so der Forscher. Die Position der Schwerkraftachse der Erde verändert sich ebenfalls ständig, im Laufe eines Jahres um rund einen Meter. Auch dies ist deutlich mehr als alles, was durch die Erdbeben bewirkt wird.

San Andreas, Haiti und Co – Beben an Transformstörungen

Aber nicht nur Subduktionszonen sind notorische Erdbebenzonen – auch an anderen Plattengrenzen wackelt immer wieder der Untergrund, wie beispielsweise die Erdbeben entlang des San-Andreas-Grabens in Kalifornien oder im Nordwesten der Türkei zeigen. In diesen Regionen,

sogenannten Transformstörungen, bewegen sich zwei Platten seitwärts aneinander vorbei. Dabei kann sich auch hier das Gestein im Untergrund verhaken. Reißt es sich dann mit einem Ruck frei, dann können die Folgen fatal sein, wie das Erdbeben am 12. Januar 2010 in Haiti zeigte. Damals traf eine Erdbebenserie mit mehr als zehn schweren Erdstößen den Karibikstaat und hinterließ 220.000 Tote, Millionen Obdachlose und verheerende Zerstörungen.

Nach Ansicht von Geoforschern war diese Katastrophe sowohl in geologischer als auch in humanitärer Sicht ein „Worst-Case-Scenario“: Zum einen ist die Tektonik in dieser Karibikregion extrem komplex: Hier stoßen die Karibische und die Nordamerikanische Platte aneinander und schieben sich seitwärts aneinander vorbei. Zwischen ihnen aber liegt ein weiterer Bereich, in dem die Erdkruste in mehrere kleinere Plattenstücke zerbrochen ist. „Dieses Flickwerk aus kleineren ‚Blockadeplatten‘ macht es extrem schwierig, die Kräfte im Untergrund und ihre Wechselwirkungen abzuschätzen“, erklärt Erdbebenforscher Jian Lin von der Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), der seit Jahren die Geologie der Region erforscht. „Wer in angrenzenden Gebieten wie der Dominikanischen Republik, Jamaika oder Puerto Rico lebt, ist geradezu von Verwerfungen umzingelt.“ Eine dieser tektonischen Nahtstellen ist die Enriquillo-Verwerfung, die sich von der Dominikanischen Republik im Osten über Haiti bis nach Jamaika im Westen erstreckt. Hier entluden sich am 12. Januar die jahrelang aufgestauten Spannungen, als das Gestein auf einer Länge von 50 bis 60 Kilometern aufriss und die Platten ruckartig in eine neue Position schnellten.

Die Folge war das Erdbeben der Stärke 7,0, das gemeinsam mit seinen Nachbeben Haiti verwüstete. Drei Faktoren machten dabei die Auswirkungen des Bebens besonders verheerend: Zum einen ereignete es sich nur 15 Kilometer südwestlich der Hauptstadt Port-au-Prince, zum zweiten lag der Erdbebenherd nur rund zehn bis 15 Kilometer unter der Oberfläche. Flache Beben wie dieses richten meist besonders große Zerstörungen an. Und zum dritten waren Infrastruktur und Gebäude in diesem armen Land nicht darauf ausgelegt, solchen Kräften zu widerstehen, wie Erdbebenforscher Lin erklärt. Aber immerhin eines blieb den Bewohnern der Karibik erspart: Weil sich das Epizentrum des Haiti-Bebens an Land und nicht im Meer befand, lösten die Erdstöße keinen Tsunami aus.



Komplexes Gefüge aus Verwerfungen: die Tektonik rund um Haiti (© NASA/USGS)

Doch mit diesem Beben ist die Gefahr für Haiti möglicherweise noch nicht vorbei: Im Januar 2012 warnten Geoforscher vor weiteren schweren Beben in der Region. Denn aus ihren Daten und einer Analyse der historischen Beben geht hervor, dass entlang der Enriquillo-Verwerfung schon häufiger ganze Bebenserien aufeinanderfolgten. Zuletzt war dies im 18. Jahrhundert der Fall. Auslöser dieser seismisch aktiven Phase war damals ein Beben im Jahr 1701, das dem vom Januar 2010 in Position und Stärke sehr ähnelte. 240 Jahre lang habe es dann in diesem Gebiet keine vergleichbar starken Erdbeben mehr gegeben, sagen die Forscher. Das Haiti-Beben könnte nun eine erneute Phase der Aktivität einläuten. Solche Erdbebenserien gibt es auch an andern Transformstörungen, beispielsweise in der Region San Francisco. Dort dauert ein solcher seismischer Zyklus jeweils hundert Jahre. Jeder Zyklus besteht aus einer Periode starker Erdbebenaktivität, die in einem besonders heftigen Beben kulminiert. Darauf folgt jeweils eine Ruhephase. Ähnlich, nur mit einer Wiederholungsrate von 250 bis 300 Jahren, könnte dies auch für Haiti gelten.

Im Fokus: Naturkatastrophen

Zerstörerische Gewalten und tickende Zeitbomben

Podbregar, N.; Lohmann, D.

2015, IX, 222 S. 34 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-642-41896-9