



DIE GROSSE ERSCHÜTT

Kaum eine Weltgegend verströmt die Aura, dass die Zukunft schon begonnen hat, so sehr wie die Halbinsel von San Francisco. Wer aus der Stadt mit dem Auto nach Süden durch das große Gewerbegebiet Silicon Valley steuert, sieht sie alle: die Firmenzentralen von Google, Apple, eBay und den zahllosen anderen IT-Firmen, deren Erfindungen den digitalen Herzschlag eines ganzen Planeten vorgeben. Doch während ihre klugen Köpfe an der nächsten großen Errungenschaft arbeiten, lauert im Untergrund eine andere Zukunft. Denn das globale Hightech-Zentrum

befindet sich in einem der geologisch gefährlichsten Gebiete der Welt: Hier haben sich die großen Kontinentalplatten des Pazifiks und Nordamerikas ineinander verhakt – und die Wahrscheinlichkeit, dass sie sich in den kommenden 20 Jahren in

einem Beben der Stärke 6,7 oder mehr lösen, liegt nach Berechnung des US Geological Survey (USGS) bei 62 Prozent.

Was auf die Kalifornier zukommen könnte, hat Japan gerade schmerzhaft erfahren müssen. Das unterseeische Megabebe der Stärke 9,0 am 11. März mit einem nachfolgenden Tsunami hat an der japanischen Ostküste unfassbare Verwüstungen angerichtet: Zehntausende tot oder vermisst, ganze Städte dem Erdboden gleichgemacht, Häfen und Flughäfen zerstört, dazu ein nuklearer GAU und eine aus dem Takt geratene Hightech-Industrie. Das alles könnte auch „The Big One“, wie die Kalifornier das nächste Superbeben nach 1906 nennen, bringen – und noch mehr: Anders als in Japan wird der Bebenherd hier an Land liegen, entlang der San-Andreas- oder der Hayward-Verwerfung, die sich zu beiden Seiten der Bucht von San Francisco hinziehen. Weil die „Bay Area“ über ihre Dienstleistungen mit aller Welt vernetzt ist, „könnten die Auswirkungen eines Hightech-Bebens rund um den Globus spürbar sein“, warnt der

Fotos: Ryu Seung-ill/Polaris/Studio X, Neema Frederic/Laif



Auch sechs Wochen nach dem Tsunami gibt es nur vage Schätzungen über die Höhe der Schäden.

TERUNG

Das Monsterbeben in Japan hat gezeigt, wie verletzlich unsere Zivilisation ist. Sind wir den gewaltigen Kräften der brüchigen Erdkruste hilflos ausgeliefert, oder kann technische Intelligenz die Gefahr bannen?

VON NIELS BOEING

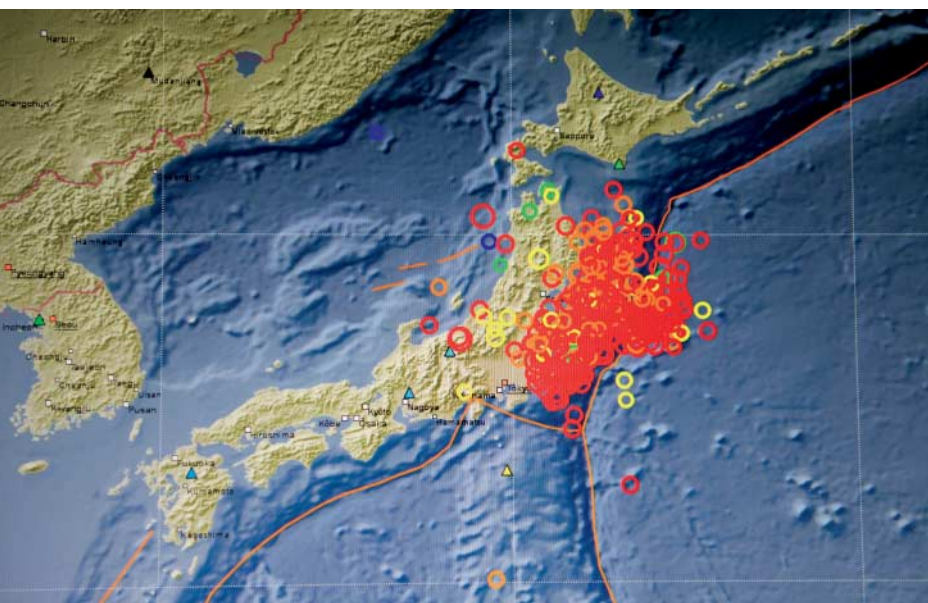
US-Trendforscher Paul Saffo – ähnlich wie sich die amerikanische Hypothekenkrise zur globalen Finanzkrise entwickelt habe.

Japan und Kalifornien sind jedoch nur zwei von etwa 15 dicht besiedelten Regionen weltweit, die sich auf den Nahtstellen der Kontinentalplatten ausgebreitet haben. Werden sie alle der nächsten Katastrophe so ausgeliefert sein wie Japan, das eigentlich so gut wie kein anderes Land auf Erdbeben eingestellt war? Obwohl die moderne Seismologie schon fast 100 Jahre alt ist, beginnt sie erst allmählich zu verstehen, was tatsächlich unter der Oberfläche vor sich geht. Und das Bild, das sich ihr bietet, ist weitaus komplexer als noch vor ein paar Jahrzehnten angenommen.

Erdbeben sind vor allem eine Folge davon, dass sich die riesigen Gesteinsmassen der Kontinente und Ozeanböden ganz langsam in verschiedene Richtungen über den Erdball bewegen. Teils werden sie angeschoben von heißer Magma, die an einigen Rändern aus dem Erdmantel emporquillt, teils von ihrem eige-

Die Reliefkarte von Kalifornien zeigt die San-Andreas-Verwerfung (rote Linie) und ihre derzeit aktivste Zone (blau). An einem 3,2 Kilometer tiefen Bohrloch in der Nähe von Parkfield werden die Bewegungen im Untergrund überwacht.





Rote Kreise markieren auf einem Bildschirm im GeoForschungs-Zentrum in Potsdam alle Nachbeben, die zwischen dem 11. und 14. März auf den japanischen Inseln registriert wurden.

„Sie reagieren in unerwarteter Weise auf subtile Verspannungen, die durch das Schieben und Schütteln in benachbarten Verwerfungen ausgelöst werden“, sagt Ross Stein vom USGS.

Diese Erkenntnis kam Stein, als er zwei Erdbeben in der kalifornischen Mojave-Wüste untersuchte, die 1992 im Abstand von nur drei Stunden aufgetreten waren. Nach der damals gängigen Sicht galt das spätere als Nachbeben. Die Messdaten hingegen führten Stein zu einem anderen Schluss: Ein Teil der Energie des ersten Bebens hatte sich im Untergrund bis zur nächsten Verwerfung ausgebreitet, die daraufhin ebenfalls krachte. Ähnlich wie in einem Mikado-

nen Gewicht in die Tiefe gezogen. Wenn etwa die Pazifische Platte mit einigen Zentimetern pro Jahr nach Nordwesten driftet, die Nordamerikanische Platte hingegen nach Südwesten, kommen sie miteinander in Berührung. Oft gleiten ihre Kanten träge aneinander vorbei, manchmal jedoch bleibt das Gestein auf viele Kilometer langen Abschnitten aneinander hängen – wie an der San-Andreas-Verwerfung in Kalifornien. Während die Milliarden Tonnen schweren Platten immer weiter vorwärts drücken, baut sich an den verhakten Flächen über Jahrhunderte eine ungeheure Spannung auf – bis ein Punkt erreicht ist, an dem beide Kantenstücke sich mit einem Ruck voneinander lösen. Die aufgestaute Energie, die dabei freigesetzt wird, ist mitunter viele tausend Mal größer als die Detonation der Hiroshima-Bombe und lässt den Boden ringsum in mächtigen Wellen erzittern. Die Oberflächen rechts und links der Verwerfung schnellen in Windeseile aneinander vorbei, sodass Straßen oder Weidezäune plötzlich durchschnitten und die Teilstücke mehrere Meter voneinander entfernt sind.

Der erste, der diesen Vorgang richtig erfasste, war der amerikanische Geophysiker Harry Fielding Reid. Seine 1910 veröffentlichte „Elastic Rebound“-Theorie bildet bis heute den Kern der modernen Seismologie. Reid konnte damals allerdings noch nicht ahnen, wie zerklüftet und zugleich dynamisch die Erdkruste tatsächlich ist. „Die Zahl der Verwerfungen auf unserem Planeten ist gewaltig“, sagt Onno Oncken, Geophysiker am Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ in Potsdam. Permanent rumpelt und zittert es an einer dieser Bruchlinien: Im Durchschnitt ereignen sich weltweit minütlich sechs Erdbeben, die – bei einer Stärke von bis zu 4,9 – allenfalls Geschirr klirren und Türen klappern lassen. Rund 800 Mal im Jahr kommt es zu Beben mit einer Magnitude von 5 bis 5,9, die bereits schlecht gebaute Häuser ernsthaft beschädigen können. Die großen Erschütterungen hingegen, die Not und Zerstörung bringen, sind erfreulicherweise deutlich seltener. Weniger erfreulich ist, dass all die Verwerfungen nicht unabhängig voneinander existieren.

spiel: Zieht man ungeschickt ein Stäbchen heraus, wackelt es, und die Gewichte auf allen anderen Stäbchen verteilen sich neu. „Wir müssen davon ausgehen, dass jedes Beben ein weiteres auslösen kann“, bestätigt Oncken eines der wichtigsten seismologischen Erkenntnisse der vergangenen Jahrzehnte.

Der Moskauer Seismologe Wladimir Kossobokow vermutet gar, dass die Reichweite, mit der sich Spannungsänderungen auf andere Bruchzonen auswirken, zehnmal größer sein könnte als die Verwerfung selbst. Sowohl er als auch andere Geophysiker halten es deshalb für plausibel, dass jenes verheerende Seebeben im Indischen Ozean Ende 2004, dessen Tsunami über 200 000 Menschen tötete, für die Häufung schwerer Beben in den nachfolgenden Jahren verantwortlich ist. Die Frage, die unserer modernen, hoch technisierten Zivilisation am meisten unter den Nägeln brennt, ist indes: Werden wir irgendwann berechnen können, wo und wann genau die Erde das nächste Mal beb? Auch wenn nur wenige daran glauben, arbeitet die Wissenschaft doch daran, ihre Prognosen zumindest zu verbessern.

Ein Ansatz ist die immer feinere Überwachung unseres Erdsystems. „Inzwischen kann man Beobachtungen am Boden, in Tiefbohrungen und aus dem Weltraum miteinander kombinieren“, sagt der GFZ-Forscher Jochen Zschau. Mithilfe des Satellitennavigationssystems GPS kann über kleine Bodenstationen die Bewegung von Gesteinsmassen entlang der Bruchzonen erfasst werden. Während sich die Stationen an vielen Punkten im Gleichklang mit den tektonischen Platten weiterbewegen, rühren sie sich an den verhakten Stellen der Verwerfungen kaum vom Fleck. Aus den Unterschieden der Bewegungen können Forscher berechnen, wie sich die Spannung erhöht. Mithilfe der Radarinterferometrie können sie wiederum verfolgen, wie sich Gesteinsmassen im allgegenwärtigen Kräftespiel heben oder senken.

Mit dem Wissen um vergangene Beben lassen sich so entlang der Tausende Kilometer langen Nahtstellen von tektonischen Platten Abschnitte ausmachen, deren Krachen überfällig ist. Eine

Fotos: Ddp Images, Imago

solche 400 Kilometer lange „seismische Lücke“ war etwa die Gegend um die zentralchilenische Stadt Concepción. Hier hing die Nazca-Platte an der Südamerikanischen Platte fest. Bis zum 27. Februar 2010: Da entlud sich die aufgestaute Spannung in einem gewaltigen Beben der Magnitude 8,8 – des sechststärksten seit Beginn der modernen Messungen.

Neben dieser eher klassischen Herangehensweise versuchen einige Forscher, den Messdaten mit statistischen Verfahren weitere Geheimnisse zu entlocken. Bereits vor zehn Jahren hatten Physiker am Imperial College London 330 000 Beben verschiedenster Stärke analysiert, die sich zwischen 1984 und 2000 in Kalifornien ereignet hatten. Die Häufigkeit, mit der verschiedene Bebenstärken auftraten, folgte einer speziellen mathematischen Verteilung. Die ist typisch für ein „chaotisches“ – genauer: selbstorganisiert kritisches – System, dessen künftige Entwicklung sich nicht eindeutig vorausberechnen lässt. In ihm können winzige Veränderungen ungleich größere Folgen haben – an einem ganz anderen Ort. Diesen sogenannten „Schmetterlingseffekt“ untersuchen die Potsdamer Geowissenschaftler nun für die Seismologie ganz praktisch, indem sie gekoppelte Erdbeben mithilfe von Sandhaufen simulieren.

Data-Mining-Experten um Francisco Martínez-Álvarez, einem Informatiker an der Universidad Pablo de Olavide in Sevilla, fahnden hingegen nach Mustern in den seismischen Aufzeichnungen selbst. Hierfür analysierten sie Daten von über 4000 Erdbeben in zwei Verwerfungszonen zwischen den Azoren und dem westlichen Mittelmeer. Auf die entdeckten Muster wendeten sie anschließend zwei Prognose-Kriterien an: die Wahrscheinlichkeit, dass nach einem Muster ein Erdbeben auftritt – Sensitivität genannt –, und die Wahrscheinlichkeit, dass kein Erdbeben auftritt, wenn das Muster fehlt – die Spezifität. Für die Azoren-Gibraltar-Verwerfung kamen sie so auf eine Sensitivität von immerhin 90 Prozent und eine Spezifität von 82,5 Prozent. Anders gesagt: In neun von zehn Fällen könnte man davon ausgehen, dass bald ein Erdbeben auftritt, wenn das entsprechende Muster festgestellt worden ist. „Auch wenn die Ergebnisse vielversprechend sind, bezweifle ich, dass wir Erdbeben je mit 100-prozentiger Genauigkeit vorhersagen können“, räumt aber auch Martínez-Álvarez ein.

Stuart Crampin, Geophysiker an der University of Edinburgh, ist mit beiden Ansätzen unzufrieden. Während Data-Mining-Techniken nichts zum Verständnis der geologischen Vorgänge beitragen, seien die Geomonitoring-Systeme zu lückenhaft, bemängelt der Brite: „50 Prozent aller Erdbeben ereignen sich unter dem Meeresboden – das bedeutet, dass den Radar- und GPS-gestützten Messstationen die Hälfte aller Erdbeben ent-

In einer Halle des Gemeinsamen Forschungszentrums der Europäischen Union in Ispra/Italien werden die Auswirkungen von Erdbeben auf die Gebäudestabilität untersucht.



geht.“ Crampin hat deshalb vorgeschlagen, das seit Langem bekannte Phänomen des „Scherwellen-Splittings“ zu nutzen, das bei der Erkundung von Ölvorkommen bereits angewendet wird.

Von einem Bebenherd breiten sich zwei Arten von seismischen Wellen aus: P-Wellen (P für primär) stauchen und strecken das Gestein in Ausbreitungsrichtung, die langsameren

» 100-PROZENT-VORHERSAGEN SIND UNMÖGLICH. «

S-Wellen hingegen schwingen seitwärts, „verscheren“ das Gestein senkrecht zur Ausbreitungsrichtung – daher auch die Bezeichnung Scherwellen. Sie lassen sich wiederum in zwei Komponenten zerlegen, die parallel oder im rechten Winkel zu winzigen Rissen verlaufen, die das Gestein durchziehen wie eine Maserung. Die zu den Rissen parallele Wellenkomponente breitet sich schneller aus. Je höher nun die Verspannung im Gestein ist, desto mehr Risse sind gleich ausgerichtet – und desto eher trifft das parallele vor dem lotrechten Wellensignal an einem Sensor ein.

Aus älteren Beobachtungen weiß man, dass vor einem Erdbeben die Zeitverzögerung zwischen beiden Signalen plötzlich zunimmt, weil viele der Risse sich zu kleinen Verwerfungen verbinden, wenn die Spannung kurz vor dem Bersten ist. Crampin schlägt deshalb vor, diesen Effekt in einem weltweiten Netz von 200 Messstationen an seismisch aktiven Orten auszunutzen. Jede besteht aus drei 500 bis 1000 Meter tiefen Bohrlöchern: In einem befindet sich ein Sender, der Signale an zwei Geophone in den anderen Bohrlöchern durchs Gestein schickt. In den Geophonen



Im Januar 1995 brachte ein Erdbeben der Stärke 6,9 den Hanshin Express Highway im japanischen Kobe zum Einsturz (links). Signalbojen vor der indonesischen Küste warnen seit 2005 vor Tsunamis.

lenken Bodenbewegungen einen federgelagerten Magneten in einer Spule aus und erzeugen so elektrische Signale. Die Kosten dieses „Global Earthquake Monitoring System“ (GEMS) sind nicht unerheblich, Crampin schätzt sie auf fünf bis zehn Milliarden Dollar. Ein Vorteil wäre jedenfalls, dass die Sensoren auch in unterseeischen Bohrungen installiert werden könnten.

Dass er die Fachwelt trotz „deutlicher Belege“ noch nicht von seinem Ansatz überzeugen konnte, enttäuschte den Briten. Praktisch konnte er ihn bislang nur in einem EU-geförderten Projekt 1999 in Island testen. Als die hochempfindlichen Geophone einen Anstieg der Scherwellen-Signalverzögerung registrierten, prognostizierte er ein Beben der Stärke 5 innerhalb von sechs Monaten – es ereignete sich schon drei Tage später. Nur China habe bislang Interesse an einer neuen Teststation bekundet, sagt Crampin. Nach den schweren Beben der vergangenen sechs Monate in Neuseeland und in Japan könnte sich das jedoch ändern.

Mangels einigermaßen zuverlässiger Prognoseverfahren bleiben vorerst nur Frühwarnsysteme, um zumindest wertvolle Sekunden bis Minuten zu gewinnen. „Die Erdbeben-Frühwarnung hat gute Fortschritte gemacht“, sagt Hiroo Kanamori, einer der renommiertesten Seismologen der Welt am California Institute of Technology. Pionier war hierfür sein Geburtsland Japan, das mit zwei flächendeckenden Systemen arbeitet: Das erste namens UrEDAS (für „Urgent Earthquake Detection and Alarm System“) wurde seit 1982 von der japanischen Eisenbahn aus-

gebaut, um automatisch die Shinkansen-Hochgeschwindigkeitszüge stoppen zu können. Das zweite hat der japanische Wetterdienst JMA nach dem unerwarteten Beben in Kobe 1995 aufgebaut.

Inzwischen überziehen rund 1000 Messstationen, die nicht weiter als 20 Kilometer auseinanderliegen, den gesamten Inselstaat. Treffen an einigen Stationen die schnellen, aber ungefährlichen P-Wellen ein, werden aus dem aufgezeichneten Schwingungsmuster in einem Computerzentrum Epizentrum und Stärke des Bebens errechnet. Binnen weniger Sekunden geht eine Nachricht an weitere Behörden, Rundfunksender und Mobilfunkbetreiber, die den Alarm an die Öffentlichkeit weiterleiten. Gebiete, die mehr als 30 Kilometer vom Epizentrum entfernt liegen, gewinnen ein wenig Zeit, um sich auf die Ankunft der langsameren, aber gefährlichen S-Wellen vorzubereiten – beim Tōhoku-Beben vom 11. März hatte der Großraum Tokio eine Vorwarnzeit von immerhin 80 Sekunden.

In Japan findet einmal im Jahr, im September, eine landesweite Katastrophenübung statt, sodass jeder Japaner instinktiv weiß, was bei einem Alarm zu tun ist. Seit 2007 sind zudem alle 227 000 Aufzüge in Japan mit dem JMA-System verbunden, um nach Eintreffen der Warnung automatisch im nächsten Stockwerk zu stoppen und die Türen zu öffnen. Neben Japan haben bereits Mexiko, die Türkei, Rumänien und Taiwan kleinere,

Fotos: Dpa/Picture Alliance, AP, Ddp Images



So sieht ein Erdbeben der Magnitude 9,0 aus: Ein Mitarbeiter vom Geo-ForschungsZentrum Potsdam zeigt auf den Seismografenausschlag vom 11. März, 14.46 Uhr japanischer Ortszeit.

regional begrenzte Warnsysteme aufgebaut. Die Schweiz, Italien, China sowie die US-Bundesstaaten Hawaii und Kalifornien stehen kurz davor, eigene Systeme in Betrieb zu nehmen. Nicht überall werden die Alarmsignale allerdings öffentlich ausgegeben, weil man, etwa in Taiwan, eine Massenpanik fürchtet – zu Unrecht, wie die besonnenen Reaktionen der japanischen Bevölkerung unlängst wieder gezeigt haben.

Weder Prognosen – wenn es sie denn gäbe – noch Frühwarnsysteme können jedoch verhindern, dass die Katastrophe eintritt. Umso wichtiger ist deshalb, dass gefährdete Regionen auch anderweitig vorsorgen. Welchen Unterschied es macht, ob ein Land Sicherheitsstandards für Gebäude einhalten kann oder nicht, zeigt der Vergleich zwischen den Erdbeben bei Port-au-Prince in Haiti und bei Christchurch in Neuseeland im vergangenen Jahr. Beide waren mit einer Stärke von 7,0 bzw. 7,1 ähnlich wuchtig: Doch auf der Karibikinsel starben 230 000 Menschen, in Neuseeland eine Person. Beim erneuten Beben im Februar 2011 lag das Epizentrum allerdings so nah an der Stadt Christchurch, dass 172 Menschen durch Verschüttung ums Leben kamen.

Dass im Ballungsraum von Christchurch, der zweitgrößten Stadt Neuseelands, nur knapp 400 000 Menschen leben gegenüber 2,2 Millionen im Gebiet von Port-au-Prince, erklärt das unterschiedliche Ausmaß nur zum Teil. „Neuseeland ist eines der weltweit führenden Länder, wenn es um das erdbebengerechte Nachrüsten von Gebäuden und Sicherheitsstandards für Neubauten geht“, sagt James Daniell, Katastrophenforscher am Karlsruhe Institute of Technology. Für das bitterarme Haiti wären diese Maßnahmen allerdings nicht bezahlbar gewesen. Auf 30 bis 40 Prozent der Baukosten schätzt Daniell die nachträglichen Ausgaben, um ein Haus erdbebensicher zu machen.

Technisch ist inzwischen einiges möglich, um zu verhindern, dass Gebäude zusammenfallen. Eine verbreitete Möglichkeit sind robuste sogenannte Scherwände, die sich asymmetrisch vom Fundament bis zum Dach eines neuen Gebäudes ziehen. Damit wird den seitwärts wirkenden Kräften entgegengewirkt,

die beim „Rollen“ des Bodens entstehen – infolge der zerstörerischen Rayleigh-Wellen, die sich an der Oberfläche ausbreiten. In Stockwerken, die nur über Stützen auf dem jeweils unteren ruhen, können diese sonst wegnicken – und mit ihrer Last weitere zum Einsturz bringen. In Chile etwa werden alle neuen Stahlbetonbauten mit Scherwänden angelegt. Der Erfolg: Beim gewaltigen Maule-Beben im vergangenen Jahr wurden nur 0,5 Prozent aller nach 1985 errichteten Gebäude mit mehr als drei Geschossen massiv beschädigt, und auch bei Hochhäusern mit mehr als neun Geschossen waren es nur 2,8 Prozent. „Das Beben hat gezeigt, dass man technisch schon eine Menge machen kann“, urteilt Michael Spranger, Geophysiker und Erdbebenexperte beim Umweltberatungsunternehmen DHI Group in Singapur. Neben Scherwänden werden, vor allem in Japan, Stoßdämpfer zwischen Gründungspfählen und dem eigentlichen Gebäudekörper eingebaut oder eine Art Kugellager, um die Bewegung des Gebäudes von der des Untergrunds zu entkoppeln.

Längst gibt es auch Hightech-Lösungen, die mit Sensoren im gesamten Gebäude arbeiten. Die messen bei einem Beben die Kräfte, die auf die Konstruktion einwirken. Daraus werden in Echtzeit Steuerbefehle für Dämpfungssysteme berechnet. Das können zum einen enorme Gewichte sein, die auf dem Dach eines Gebäudes automatisch verschoben werden, um dessen Bewegung entgegenzuwirken und den Schwerpunkt nicht zu weit ausschlagen zu lassen. Andere spannen mittels Motoren Stahlseilen in der Gebäudehülle, um Zugkräfte zu bändigen, oder aktivieren im Fundament Stoßdämpfer mit schaltbaren Flüssigkeiten. Dabei handelt es sich um Öle mit metallischen Partikeln, die beim plötzlichen Anlegen eines elektrischen oder magnetischen Feldes zu einem dickflüssigen Gel werden – und so die Kräfte besser absorbieren können.

Aber auch nachträglich lassen sich Häuser noch sicherer machen, indem man Betonpfeiler verstärkt, damit sie unter dem Druck der oberen Stockwerke nicht auseinanderbrechen. Masoud Motavalli, Bauingenieur der staatlichen Schweizer Forschungsanstalt EMPA, lässt dafür die Pfeiler mit kohlefaserverstärkten



Das Bauen macht den Unterschied. Dem Erdbeben von Haiti mit der Stärke 7,1 am 12. Januar 2010 fielen 230 000 Menschen zum Opfer.



Beim Erdbeben nahezu gleicher Stärke am 3. September 2010 in Neuseeland kam in der Stadt Christchurch nur eine einzige Person ums Leben.

Kunststoffen (CFK) umwickeln. „Im Unterschied zu Stahlbändern können CFK nicht korrodieren, sind leichter zu installieren und nehmen weniger Platz weg“, erläutert Motavalli. Gleichzeitig hätten die Verbindungen eine vier- bis fünfmal höhere Zugfestigkeit als Stahlbänder. Mit diesem Verfahren hat Motavalli die Pfeiler in der Lobby eines 28-stöckigen Hotels im erdbebengefährdeten Teheran nachverstärken lassen.

Motavalli forscht außerdem an Stahlbändern aus Formgedächtnislegierungen (FGL). Das sind Metallverbindungen, etwa aus Nickel und Titan, die sich verformen und dabei ihre Kristallstruktur ändern. Erhitzt man sie hinreichend stark, wechselt das Material in einem Phasenübergang in seine ursprüngliche Kristallstruktur und damit auch äußere Form zurück. „Solch ein Material geht nicht kaputt, die Deformation verschwindet immer wieder“, sagt Motavalli. Seine Idee: Umwickelt man Pfeiler mit zuvor gestreckten FGL-Bändern und erhitzt diese, müssten die Bänder eigentlich auf ihre ursprüngliche Länge zusammenschnurren. Da sie das, weil fest verbaut, nicht können, setzen sie den Pfeiler unter Spannung und erhöhen so seine Stabilität. Nickel-Titan-Legierungen sind hierfür jedoch noch viel zu teuer.

Für Entwicklungsländer sind derartige Verfahren jedoch jenseits aller finanziellen Möglichkeiten. Es geht aber auch billiger: Diverse Forschungsgruppen experimentieren mit Naturfasern, um die in vielen Ländern verbreiteten Ziegelbauten zu verstärken. Deren einstürzende Wände haben bei Erdbeben immer wieder Menschen unter sich begraben. Wie die Ingenieure Mohammad Islam und Kazuyoshi Iwashita von der Universität Saitama in Japan in umfangreichen Versuchen herausfanden, eignet sich Jute besonders gut. Mischt man Ziegellehm und Mörtel jeweils zwei Prozent kurze Jutfasern bei, steigt die Zugfestigkeit der Mauerkonstruktion auf das Sechzehnfache – und beträgt so immerhin ein Drittel der Zugfestigkeit von einfachem Beton. Aus Rütteltisch-Versuchen schließen Islam und Iwashita, dass derartig juteverstärkte Ziegelwände „ein Beben der Stärke VII – VIII auf der Mercalli-Skala überstehen können“, was einer Magnitude von rund 6 entsprechen würde. Die Extrakosten

schätzen sie für ein Zwei-Zimmer-Haus auf ungefähr 30 Dollar, bezogen auf Marktpreise für Jute in Bangladesch.

Gebäude robuster zu machen, ist nur ein Teil des Problems. Bedroht sind auch die Lebensadern moderner Stadtlandschaften: Leitungen für Wasser, Strom und Gas sowie Straßen und Bahnlinien. Nach dem Tōhoku-Beben waren zunächst 5,5 Millionen Haushalte in Japan ohne Strom, 1,5 Millionen ohne Trinkwasser, die Autobahn von Tokio nach Sendai war teilweise nicht mehr befahrbar. Infrastrukturen sind besonders anfällig, da sie über viele Jahrzehnte ohne einen seismischen Masterplan aufgebaut, umgebaut und ergänzt wurden.

Deutlich wird das in der San Francisco Bay Area: Hier transportieren ganze zwei Leitungssysteme Trinkwasser aus der Sierra Nevada in den Ballungsraum. Nicht nur sind Teile der Pipelines schon 70 Jahre alt, sie führen auch geradewegs über die Hayward-Verwerfung. Während das Leitungsnetz östlich der Bucht vom Betreiber EBMUD bereits 1989 nach dem Loma-Prieta-Beben erdbebensicherer gemacht wurde, wird die Nachrüstung des westlichen Teils 2014 fertig sein. Doch selbst EBMUD geht davon aus, dass bei einem Beben der Stärke 7 immer noch ein Drittel der Wasserspeicher und zwei Drittel der Pumpstationen ausfallen würden. Dies wiederum würde bedeuten, dass Löschwasser fehlt, wenn Brände entstehen. Zumindest der Energieversorger Pacific Gas & Electric (PG&E) sieht sich gerüstet: Nach Investitionen von 2,5 Milliarden Dollar in Leitungen und Umspannwerke will PG&E die Stromversorgung innerhalb von drei Tagen nach einem Beben wieder zum Laufen bringen können.

Klar ist: Die Bedrohung durch den bebenden Untergrund wird auch in diesem Jahrhundert nicht verschwinden – ob in Kalifornien, Japan oder anderswo auf der Welt. Doch mit weiteren vorausschauenden Investitionen in Forschung, Frühwarnsysteme, Bautechnik und Infrastrukturen gibt es gute Chancen, dass zumindest die Folgen gemildert werden können und Katastrophen wie die von Haiti eines Tages der Vergangenheit angehören.

Fotos: Getty Images, Photoshot