GFZ
Helmholtz-Zentrum
POTSDAM

Das Tsunami-Frühwarnsystem für den Indischen Ozean

»Ein Beispiel für Wissens- und Technologietransfer der Helmholtz Gemeinschaft«

INHALT

VORWORT 3

1. DER TOD KAM AN WEIHNACHTEN 4
Das Mega-Erdbeben 4
Eine Welle entsteht 7
Tiefe Welle, erst flach, dann hoch 7
Katastrophe an der Küste 8
Fehlende Warnung 8
Ein Frühwarnsystem wird geboren 9
Deutsch-Indonesisches Tsunami-Frühwarnsystem GITEWS 9

2. TECHNIK UND COMPUTERMODELLE 12
Warnung innerhalb von fünf Minuten 13
Rückgrat der Warnung 15
Schnelle Software 16
Messung via GPS-Satellit 16
In welche Richtung reißt die Erde auf? 17
Pegelstände an der Küste 18
Wie läuft die Welle? 18
Keine Bojen 18
TsunaAWI 19
Katastrophen im Computerspeicher 19
Das Warnzentrum 20
Gut gewarnt ist halb gerettet 21

3. DER MENSCH IM ZENTRUM 22
Das schwächste Glied der Kette 22
Katastrophen-Ausbildung 22
Die Partnerschaft geht weiter 23
Das Wissen der älteren Generation 24
Nicht nachdenken, sondern rennen 24
Getrommelte Warnung 25
Modelle für die Flucht 26
Letzte Rettung im Parkhaus 27
Übung für das Überleben 28

4. WEIT ÜBER INDONESIEN HINAUS 30
Die Kette hält 30
Gütesiegel der Vereinten Nationen 30
Eine Investition in die Zukunft 30
Riesenwellen im Pazifik 31
Tsunami im Atlantik 31
Naturkatastrophen an den Stränden des Mittelmeers 32

IMPRESSUM 35
Bildernachweis 35

GITEWS

PROTECTS

VORWORT

Die Tsunami-Katastrophe vom Dezember 2004 im Indischen Ozean brach über eine unvorbereitete Bevölkerung herein. Kein Anrainerstaat des Indik hatte Vorsorge getroffen, es existierten weder Frühwarnsysteme noch Planungen und Verfahrensabläufe für Katastrophenereignisse. Eine Viertelmillion Menschen mussten ihr Leben lassen, die wirtschaftlichen Schäden sind bis heute nicht zu ermessen. Erneut wurde auf tragische Weise verdeutlicht, dass Katastrophenvorsorge zwar Mittel verlangt, die Katastrophe selbst aber noch viel mehr Mittel verschlingt.

Deutschland und die internationale Staatengemeinschaft reagierten auf die Tsunamikatastrophe mit sofortiger Unterstützung. Im Rahmen der deutschen Flutopferhilfe erteilte die Bundesregierung der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren unter Federführung des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ den Auftrag zur Entwicklung eines Tsunami-Frühwarnsystems für den Indischen Ozean. Von 2005 bis 2011 wurde mit dem Großvorhaben GITEWS (German-Indonesian Tsunami Early Warning System) das Kernstück eines integrierten, modernen, leistungsfähigen Tsunami-Frühwarnsystems in Indonesien aufgebaut. Durch das anschließende Projekt PROTECTS (Project for Training, Education and Consulting for Tsunami Early Warning Systems, 2011–2014) wurde sichergestellt, dass die Mitarbeiter der beteiligten indonesischen Institutionen den Betrieb des Frühwarnsystems sowie die vielfältigen technischen und organisatorischen Komponenten selbstständig und in Eigenverantwortung weiterführen.

GITEWS wurde im Jahr 2010 durch eine Kommission internationaler Experten positiv evaluiert und im März 2011 voll funktionsfähig an Indonesien übergeben. Seitdem versieht es unter dem Namen InaTEWS – Indonesian Tsunami Early Warning System seinen Dienst und wird durch den Indonesischen Dienst für Meteorologie, Klimatologie und Geophysik BMKG betrieben. Aus diesem Frühwarnsystem können auch alle anderen Anrainerstaaten für sich Nutzen ziehen: Indonesien verfügt heute über eines der modernsten Tsunami-Frühwarnsysteme weltweit und hat deshalb die Rolle eines Regionalen Tsunami Service Provider (RTSP) für den Indik übernommen und nimmt damit, neben Australien und Indien, die Doppelfunktion als National Tsunami Warning Center (NTWC) und als RTSP wahr, um im Ernstfall 28 Staaten rund um den Indischen Ozean vor einem drohenden Tsunami zeitgerecht zu warnen.

Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard F. Hüttl
Wissenschaftlicher Vorstand
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

Dr. Jörn Lauterjung
Projektkoordinator GITEWS
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

1. Der Tod kam an Weihnachten

Das Meer gibt an diesem zweiten Weihnachtsfeiertag 2004 an vielen Küsten des Indischen Ozeans zwar durchaus Hinweise auf die nahende Katastrophe. Aber diese Warnung kommt meist zu spät, viele Menschen können mit ihr ohnehin nichts anfangen: Am Vormittag dieses 26. Dezember verschwindet vor der indonesischen Insel Sumatra, eine gute Stunde später vor den Fischerdörfern und Ferienanlagen Thailands das Meer in Minutenschnelle, eine weitere halbe Stunde danach steigt, ebenfalls minutenschnell, im Osten Sri Lankas und noch mal 30 Minuten später an der Südostküste Indiens plötzlich das Wasser an. Die Einwohner der indonesischen Hafenstadt Banda Aceh und anderer Küstenstädte Sumatras nehmen dieses Phänomen kaum wahr, weil nur 20 Minuten vorher ein extremes Erdbeben schwere Schäden angerichtet hat. Andernorts aber versuchen Kinder die Fische zu fangen, die überrascht auf dem Trockenen zappeln. Auch mancher Erwachsene überlegt wohl, diese leichte Beute einzusammeln. Badelustige Touristen in Thailand grübeln, ob das Meer bald zurückkommt.

Die wenigsten aber scheinen zu ahnen, dass ein solcher unerwarteter schneller Rückgang oder Anstieg des Wassers vor einer Riesenwelle warnen kann. Als dann vom Meer eine Wasserwand rasch näher kommt, ist es für fast eine Viertel Million Menschen zu spät: Die riesige Welle rast donnernd an die Küsten, Panik macht sich breit. Dabei richtet diese erste Woge häufig weniger Schäden als die folgende an, die oft noch stärker ist.

Zehn Meter und höher türmen sich die Wellen plötzlich in den Gassen, in wenigen Sekunden laufen die unteren Geschosse der Häuser voll. Verzweifelte Menschen versuchen ins Freie zu kommen, bevor die Wände dem massiven Druck des Wassers nachgeben und in sich zusammen fallen. Wer in diesen Mahlstrom aus Wasser und mitgerissenen Trümmern gerät, hat kaum eine Chance, lebend zu entkommen. In Indonesien und Sri Lanka, Indien und Thailand, aber auch in anderen Küstenstaaten Asiens und Afrikas, sowie auf den Malediven und Seychellen im Indischen Ozean sterben an diesem zweiten Weihnachtsfeiertag über 230 000 Menschen in den Fluten. Die Wellen nehmen alles mit, was in ihrem Weg liegt: Hauswände, Kühlschränke und Erinnerungsfotos, Motorroller, Boote und ganze Eisenbahnzüge, Schulbänke, Krankenhausbetten und Gotteshäuser. Als das Wasser wieder abläuft, sind mehr als eine halbe Millionen Häuser zerstört, mehr als 1,7 Millionen Menschen haben ihr Zuhause verloren.

Der Bruchprozess eines Mega-Erdbebens kann zur Hebung oder Senkung ganzer Küstenabschnitte führen (co-seismische Deformation). In diesem Beispiel ist die Insel fast 10 Meter aus dem Meer „gewachsen“.

Das Mega-Erdbeben

Die Ursache dieser Katastrophe vom zweiten Weihnachtsfeiertag 2004 liegt tief im Innern der Erde. Dort gleiten auf einem extrem zähen Gesteinsbrei langsam rund ein Dutzend gigantische, feste, tektonische Platten. Auf einer dieser Platten sitzen nicht nur der größte Teil Asiens und Europas,

Der Tsunami hat weite Küstenabschnitte verwüstet. Eine Seismometerstation im Osten von Berlin, ca. 10 000 Kilometer entfernt, hat das Erdbeben registriert.

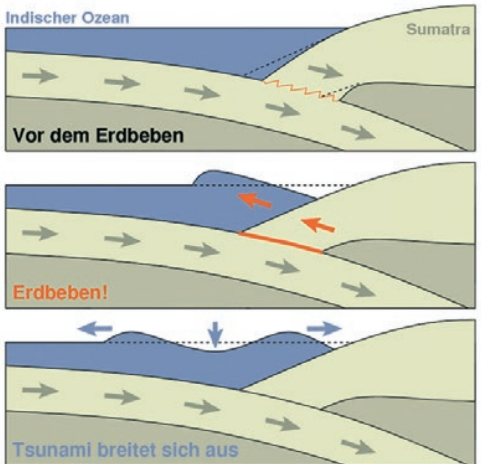
sondern auch die Inseln Indonesiens. Gleich daneben trägt eine weitere Platte Indien, Sri Lanka, den östlichen Teil des Indischen Ozeans, Australien und einen kleinen Teil des Pazifiks mitsamt der Nordinsel Neuseelands. Diese Indisch-Australische Platte gleitet mit einer Geschwindigkeit von rund sechs Zentimetern im Jahr nach Nordosten.

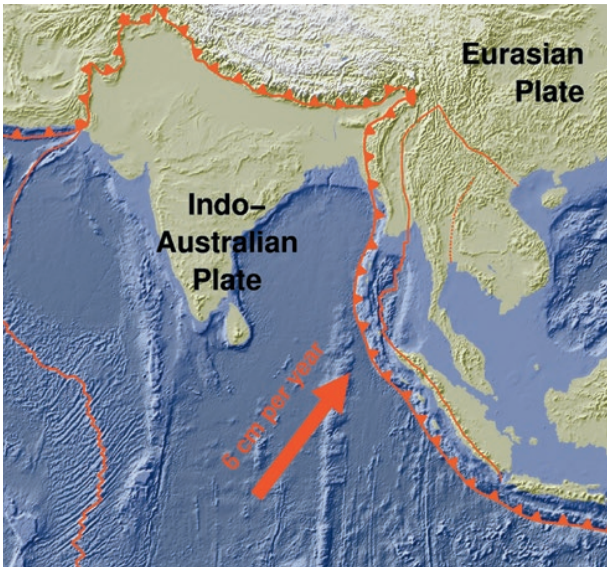
Auch wenn diese Bewegung sogar ein klein wenig langsamer als das Wachsen eines menschlichen Fingernagels ist, hat der Zusammenstoß dieser riesigen Masse mit der noch größeren Eurasischen Platte gravierende Folgen: Im Norden Indiens faltet die Kollision in einer „Knautschzone“ das gewaltige Gebirgsmassiv des Himalaja auf. Weiter im Süden taucht die Indisch-Australische Platte dagegen unter ihren Widersacher mit den Inseln Indonesiens auf seinem Rücken. Entlang der Linie, an der die eine unter die andere Platte gleitet, hat sich im Meer der zum Teil mehr als 7000 Meter tiefe und mehr als 2000 Kilometer lange Sunda-Graben gebildet. Dahinter schiebt die in die Tiefe tauchende Platte Gebirge in die Höhe, die das Rückgrat einiger Inseln Indonesiens wie Sumatra, Java und Bali bilden. Dort steigt aus der Tiefe an verschiedenen Stellen zähflüssiges Magma bis zur Erdoberfläche. Daher brechen in Indonesien häufig Vulkane aus, deren Eruptionen zu den verheerendsten in historischer Zeit gehören.

Die beiden Erdplatten aber gleiten oft nicht reibungslos untereinander, sondern verhaken sich immer wieder einmal ineinander. An diesen Stellen stoppt die Bewegung

Schematische Darstellung zur Entstehung von Erdbeben und Tsunami (li) an einer Subduktionszone.

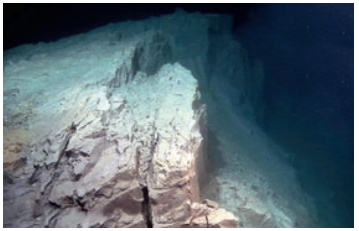
Am Sundagraben schiebt sich mit 6–8cm/Jahr die Indisch-Australische unter die Eurasische Erdplatte (re).





oft für etliche Jahrzehnte, der Rest der Platte bewegt sich in dieser Zeit um einige Meter weiter. Zwischen diesen verschiedenen Bereichen der Platten bauen sich so enorme Spannungen auf. Irgendwann hält das Gestein dieser riesigen Belastung nicht mehr stand und reißt – ein Erdbeben erschüttert den Untergrund.

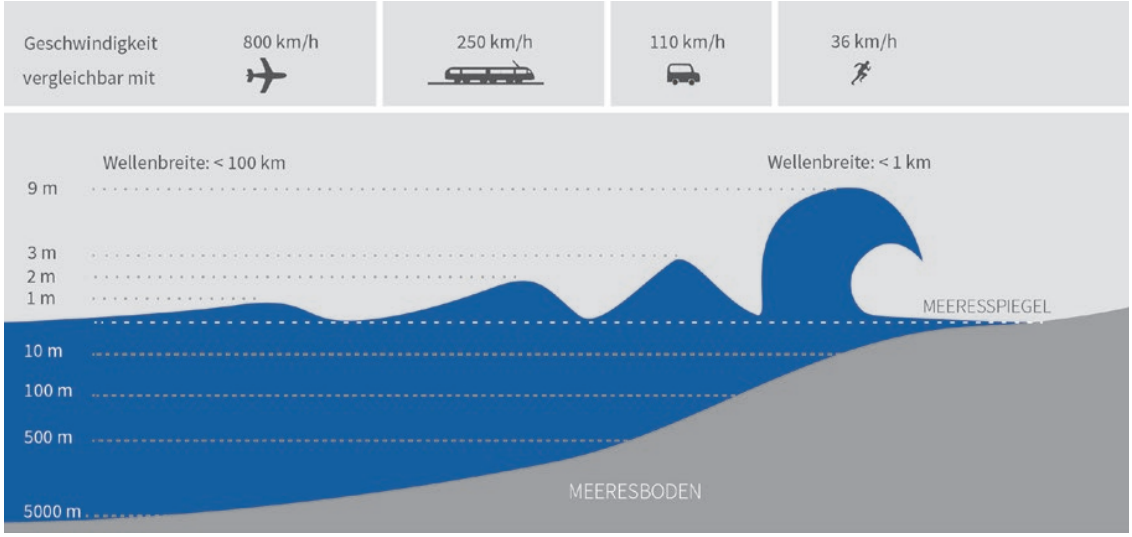
Genau das passiert am 26. Dezember 2004 um 1:58 Uhr und 53 Sekunden mitteleuropäischer Zeit und damit um 7:59 Uhr Ortszeit ungefähr 150 Kilometer westlich vom Norden der Insel Sumatra entfernt. Tief unter dem Meeresboden bildet sich in der Nähe der kleinen Insel Simeuluë ein Riss, der sich in nur acht Minuten rund 1200 Kilometer nach Norden bis zu den Inselgruppen der Andamanen und Nikobaren westlich von Thailand ausdehnt. Schlagartig holen die ineinander verhakten Platten die in vielen Jahrzehnten „versäumten“ Bewegungen in dieser kurzen Zeit nach. Geoforscher registrieren mit einer Magnitude von 9,3 das zweitstärkste Erdbeben in der mehr als hundertjährigen Geschichte der exakten Messungen. Nur ein Beben war bisher stärker: Am 22. Mai 1960 erschütterte ein 9,5-Beben die Umgebung der Stadt Valdivia in Chile.



Die Aufnahme eines Tauchroboters dokumentiert den Bruchprozess mit einem vertikalen Versatz.

Eine Welle entsteht

Fünfzehn Meter schnappt die Eurasische Platte beim Erdbeben vom 26. Dezember 2004 im Indischen Ozean an der Bruchstelle im Durchschnitt nach Südwesten, an einigen Stellen sind es sogar bis zu zwanzig Meter. Die dort auf der Platte sitzenden Inseln Indonesiens und Indiens machen diese Bewegung mit und rutschen ebenfalls nach Südwesten. Nachdem die Daten von Radarsatelliten und dem Satellitenortungssystem GPS ausgewertet sind, müssen die Geographen also die Details auf den Landkarten der Region neu zeichnen.



Charakteristisch für einen Tsunami ist, dass die gesamte Wassersäule bewegt wird. Er ist im tiefen Wasser sehr schnell. Dann ist die Wellenhöhe noch gering und zwischen den Wellenbergen liegen bis zu 250 Kilometer. An den Küsten wird die Welle im flachen Wasser abgebremst und türmt sich dafür auf.

Dabei müssen sie allerdings nicht nur die Himmelsrichtungen berücksichtigen, sondern auch die Höhenangaben. Schließlich stößt die Indisch-Australische Platte nicht frontal mit der Eurasischen Platte zusammen, sondern taucht vor Indonesien schräg in die Tiefe. Verhaken sich dort beide Platten, zieht die abtauchende Platte ihr Gegenüber mit Sumatra auf dem Rücken langsam in die Tiefe. Löst sich der Haken, lässt das gewaltige Erdbeben den Meeresboden in der betroffenen Region nach oben schnalzen. Wenn sich aber der Untergrund um bis zu zehn Meter nach oben bewegt, hebt er die gesamte darüber liegende Wassermasse ebenfalls an – eine Welle entsteht.

Tiefe Welle, erst flach, dann hoch

Diese Welle aber hat es in sich: Bewegt sich der Untergrund bei einem Seebeben nach oben, hebt er gleich einige Tausend Meter Wasser und damit eine sehr große Masse an. Die riesige Energie des Erdbebens steckt nun von der Oberfläche bis hinunter zum Meeresgrund in der gesamten Wassersäule, der Beginn des Tsunami. Im tiefen Ozean ragen dessen Wellenberge selten mehr als einen Meter über den normalen Meeresspiegel auf, südlich von Sri Lanka sind sie am zweiten Weihnachtsfeiertag 2004 gerade einmal 65 Zentimeter hoch. Dort kommt der nächste dieser flachen Wellenberge erst nach knapp 200 Kilometern. Auch wenn solche Wellen mit der Geschwindigkeit eines Verkehrsflugzeuges von 700 oder 800 Kilometern in der Stunde durch den Ozean jagen, heben sie ein Schiff praktisch unmerklich an. Diese langen Wellen verschwinden in den durch Wind und Strömungen verursachten Wellen fast völlig. Auf hoher See merken Fischer und andere Seeleute daher nichts von der drohenden Gefahr.

Katastrophe an der Küste

Ganz anders sieht es aus, wenn die Welle sich der Küste nähert. Das Wasser selbst hat sich auf der gesamten Strecke kaum bewegt. Die allermeiste Energie geben die einzelnen Wasserteilchen einfach an ihre Nachbarn weiter. Daher geht bei solchen „Schwerewellen“ auf dem Weg zur Küste nur wenig Energie verloren. Dort aber ist das Wasser meist deutlich flacher, oft konzentriert sich die gleiche Energie statt auf einige Tausend nur noch auf zehn oder zwanzig Meter Wassertiefe. Die Wellen werden dort viel langsamer, erreichen aber immer noch mit 36 Kilometern in der Stunde das Tempo des Weltrekords beim Hundert-Meter-Sprint. Vor allem aber türmt sich die Welle viel höher auf und kann wie am zweiten Weihnachtsfeiertag an den Küsten rund um den Indischen Ozean ganze Regionen verwüsten. Während die Fischer auf hoher See von diesen Riesenwellen kaum etwas mitbekommen, zerstören die Fluten kurze Zeit danach ihren Hafen. „Tsunami“, also „Welle im Hafen“ nannten japanische Fischer daher diese nur für die Küste verheerenden Wellen.

Ungefähr zwanzig Minuten nach dem Beginn des Erdbebens vom 26. Dezember 2004 schlagen mehr als zwanzig Meter hohe Wellen Breschen der Verwüstung in die indonesische Provinzhauptstadt Banda Aceh, die unmittelbar davor von dem Mega-Erdbeben erschüttert worden ist. Hier sterben 30 000 Menschen. Im Norden Sumatras verheert der Tsunami die Küsten, insgesamt sterben allein in Indonesien rund 170 000 Menschen durch die Riesenwellen – fast dreiviertel aller Todesopfer im Indischen Ozean gibt es auf der relativ dünn besiedelten Insel Sumatra. Rund 90 Minuten nach dem Beben trifft der Tsunami den Südwesten Thailands. Auch hier gibt es etwa 8000 Tote, ungefähr 2500 von ihnen sind Feriengäste aus dem Ausland, die ihren Weihnachtsurlaub hier verbringen. Zwei Stunden nach dem Megabeben erreichen die Wellen Sri Lanka, dort fallen rund 35 000 Menschen den Fluten zum Opfer. Eine halbe Stunde später verwüsten die Riesenwellen die Küsten im Südosten Indiens. Genau wie in den anderen Regionen gibt es keine Warnung für die Menschen, mehr als 16 000 Menschen sterben in Indien. Das Gleiche gilt für die Malediven und die Seychellen im Indischen Ozean, sowie für die Küsten Afrikas, wo noch einmal rund 400 Menschen sterben, obwohl die Wellen dort erst über acht Stunden nach dem Beben eintreffen.

Fehlende Warnung

An den Urlaubsstränden Thailands werden auch viele Deutsche Opfer des Tsunami. Mit 537 Toten hat seit dem Zweiten Weltkrieg kein anderes Ereignis mehr Bürger des Landes das Leben gekostet. Die Überlebenden schicken obendrein rasch Fotos und Video-Sequenzen der Katastrophe nach Hause, die modernen Kommunikationsmittel katapultieren viele Menschen aus dem Weihnachtsfrieden mitten in diese apokalyptischen Bilder. Den

Wasserwellen folgen Wellen der Hilfsbereitschaft, die weit über die Urlaubsregionen und die eigenen Landsleute hinaus reichen.

Noch während diese internationale Hilfe gerade anrollt, sitzen vier der führenden Wissenschaftler des Deutschen GeoForschungs-Zentrums GFZ zwischen Weihnachten und dem Jahreswechsel in Potsdam zusammen und diskutieren über die furchtbaren Ereignisse. Sie kennen die geophysikalischen Hintergründe gut, die das Erdbeben und den Tsunami ausgelöst haben. Daher sind sie sich sicher, dass sich ähnliche Katastrophen an den Küsten des Indischen Ozeans jederzeit wiederholen können. Vor allem aber kennen die Forscher einen wichtigen Grund für die extrem hohen Opferzahlen: Weder an der bereits nach 20 Minuten von den Riesenwellen erreichten Küste Sumatras, an der die weitaus meisten Todesopfer zu beklagen waren, noch in den erst Stunden später verwüsteten Küstenstrichen anderer Regionen am Indischen Ozean wurden die Menschen vor der nahenden Katastrophe gewarnt.
Den Forschern ist auch klar, dass technische Maßnahmen keinen Schutz vor Tsunami bieten können. Dabei ist nicht einmal die Höhe der Wellen entscheidend. Viel wichtiger ist vielmehr die in einem Tsunami steckende riesige Energie und die Dauer der Überflutung. Fernsehaufnahmen aus Thailand zeigen, wie das Wasser strömt und strömt und immer weiter strömt. Was sich dem Wasser in den Weg stellt, hat meist keine Chance: Hauswände werden eingerissen, als wären sie aus Pappe, Schiffe werden hunderte Meter vor und zurück geschleudert, Menschen geht es ähnlich: Prallen sie von der Welle mitgerissen auf ein Hindernis, überleben sie nur selten. Welches technische Bollwerk könnte diese Energie absorbieren? Die ernüchternde Antwort lautet: Keines!

Ein Frühwarnsystem wird geboren

Also bleibt nur ein Frühwarnsystem. Rollt eine Riesenwelle auf die Küste zu, müssen die Menschen dort so schnell wie möglich alarmiert werden. Nur so haben sie Zeit, auf rettende Höhen zu fliehen, auf denen sie vor den Fluten sicher sind. Diese Warnung aber muss extrem schnell sein – in Banda Aceh auf Sumatra starben 30 000 Menschen durch den Tsunami, weil dieser bereits 20 Minuten nach dem Beginn des Megabebens die Stadt erreichte.

Eine zuverlässige Vorhersage von Erdbeben wird es wohl auch in absehbarer Zukunft nicht geben. Daher können die Forscher nur das Beben messen, wenn es bereits stattfindet. Für eine Tsunami-Frühwarnung aber reicht es bei weitem nicht aus, den Ort und die Stärke eines Bebens rasch zu bestimmen, beweist ein weiteres Starkbeben, das die gleiche Region gerade einmal ein Vierteljahr nach dem Weihnachtstsunami erschüttert. Diesmal ist es Ostermontag, der 28. März 2005, als sich um 18:09 Uhr und 36 Sekunden mitteleuropäischer Sommerzeit unmittelbar südlich des Epizentrums des Weihnachtsbebens erneut die hier aufgestaute Spannung zwischen zwei Erdplatten ruckartig löst. Mit einer Magnitude von 8,6 erreicht es auf der Liste der stärksten Beben seit Beginn der Aufzeichnungen immerhin den neunten Platz.
US-amerikanische und japanische Frühwarnzentren warnen einige Minuten später vor drohenden Riesenwellen. Diesmal allerdings rucken die beiden ineinander verhakten Erdplatten zwar um einige Meter zur Seite, aber kaum nach oben oder unten. Zu diesem Zeitpunkt können die Forscher zwar die Stärke und das Epizentrum eines Erdbebens in einer Viertelstunde messen und auswerten, nicht aber die für das Entstehen einer Riesenwelle entscheidende senkrechte Komponente des Bebens. Die Folge können Tsunami-Fehl-Alarme wie am Ostermontag 2005 sein. An diesem Tag sterben zwar mehr als tausend Menschen durch das Beben selbst. Die ausgelösten Wellen aber entpuppen sich als Mini-Tsunami, der kaum Zerstörungen anrichtet.

Deutsch-Indonesisches Tsunami-Frühwarnsystem GITEWS

Auch Tsunami-Fehlalarme können durch Panik Menschenleben fordern. Ein Tsunami-Warnsystem muss also zwischen Starkbeben mit und ohne Tsunamiauslösung unterscheiden können. So gab es nach dem Weihnachtstsunami von 2004 vor den Küsten Indonesiens im Indischen Ozean fünf weitere große Erdbeben mit Magnituden zwischen 7,4 und 7,9, sowie drei

Starkbeben mit Magnituden von 8,2 bis 8,7. Verheerende Tsunami aber entstanden kaum. Tatsächlich lösen nur zehn bis zwanzig Prozent aller starken Seebeben auch größere und gefährliche Tsunami aus. Nach einigen Tsunami-Fehlalarmen aber kann sich leicht Nachlässigkeit einschleichen. Beim nächsten Alarm vermuten dann einige einen weiteren Fehlalarm und verzichten auf die Flucht. Rollen dann die Riesenwellen an, wäre es wie an Weihnachten 2004 zu spät.

Soll ein Warnsystem möglichst viele Menschenleben retten, muss es also Tsunami-Fehlalarme möglichst gering halten. Das aber geht nur, wenn das System entweder die vertikale Komponente des Seebebens ebenfalls innerhalb der ersten fünf Minuten und damit viel schneller als bisher möglich ermittelt. Oder wenn es die entstandenen Wellen dort misst, wo sie entstehen, und diese Information in die Frühwarnung mit einbezieht. Mit dieser Kombination aus extrem kurzer Warnzeit von weniger als fünf Minuten nach dem Beben und hoher Zuverlässigkeit mussten die GFZ-Forscher Neuland betreten, vor ihnen hatte das noch niemand geschafft.

Noch vor dem Jahreswechsel 2004/2005 laufen daher Telefone und Mailsysteme heiß. Schließlich kennen sich die GFZ-Forscher zwar hervorragend mit Erdbeben aus. Für Wellenbewegungen und für wichtige Komponenten des zu entwickelten Tsunami-Frühwarnsystems auf dem Meer aber sind andere Einrichtungen wie das Alfred-Wegener-Institut (AWI) in Bremerhaven und das damalige Leibniz-Institut und heutige Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung GEOMAR in Kiel besser gerüstet. Dort stoßen die GFZ-Forscher auf offene Ohren, unmittelbar nach dem Jahreswechsel steht das Konzept bereits im Grundsatz. Bereits am 13. Januar 2005 und damit keine drei Wochen nach der Katastrophe präsentieren die Forscher ihre Vorstellungen von einem Tsunami-Frühwarnsystem dem damaligen Bundeskanzler Gerhard Schröder. Das Konzept überzeugt ihn und der Kanzler leitet alles in die Wege, um es zu verwirklichen. Bereits fünf Tage später stellt die Bundesforschungsministerin Edelgard Buhlman am 18. Januar 2005 die Pläne auf einer Tagung der Vereinten Nationen zum Katastrophenschutz im japanischen Kobe vor. Am 28. Januar 2005 nimmt die indonesische Regierung den Projektvorschlag aus Deutschland an und am 14. März 2005 verabschieden beide Länder in Jakarta eine gemeinsame Erklärung dazu. Die Entwicklung des „German Indonesian Tsunami Early Warning Systems“ GITEWS, des Tsunami-Frühwarnsystems für den Indischen Ozean also, läuft auf Hochtouren.

Das Vorhaben wurde stets politisch unterstützt. So informierte sich auch Bundeskanzlerin Dr. A. Merkel am 11. Juli 2012 vor Ort im Warnzentrum über die Ergebnisse der Kooperation.

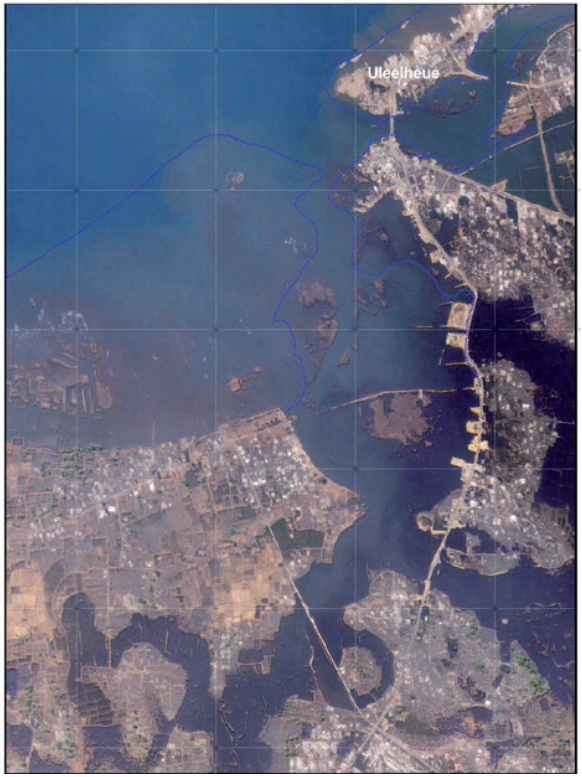


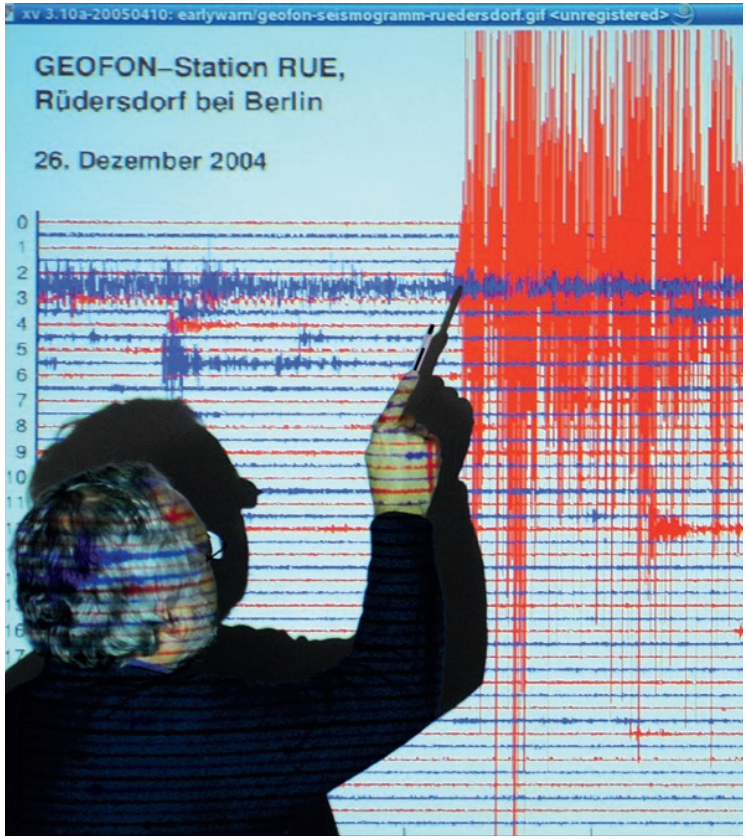
Bild der Verwüstung

Die Satellitenbilder zeigen einen Teil des nordwestlichen Küstenstreifens von Banda Aceh (Indonesien) vor und nach dem zerstörerischen Tsunami, der am zweiten Weihnachtsfeiertag 2004 viele Anrainerländer des Indischen Ozeans heimsuchte. Die Flutwelle spülte fast die gesamte dicht bevölkerte Nehrung und große Teile der für Aquakulturen benutzten Felder weg. Banda Aceh war eine der am schwersten beschädigten Städte.

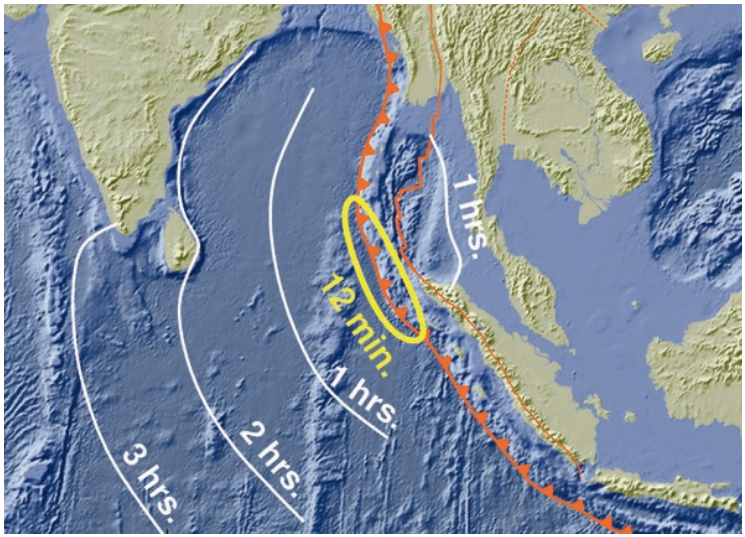
2. Technik und Computermodelle

Rund 90 Prozent aller Tsunami werden von einem Erdbeben ausgelöst. Ein Frühwarnsystem misst daher in einem ersten Schritt diese Beben mit einer raffinierten und doch einfachen Methode: Wenn sich tief unter der Erde die aufgestaute Spannung zwischen zwei verhakten Erdplatten löst, erzeugt dieser gewaltige Ruck seismische Wellen, die sich mit einer Geschwindigkeit von mehreren Kilometern in der Sekunde über große Entfernungen durch den Untergrund ausbreiten. Damit sind solche Erdbebenwellen erheblich schneller als ein Tsunami und können erste Hinweise darauf geben, ob solche Flutwellen ausgelöst wurden. Das GFZ erfasst die Bebenwellen mit seinem GEOFON genannten Netzwerk automatischer Mess-Stationen. Bereits elf Minuten nach dem Stärke 9,3-Beben am zweiten Weihnachtsfeiertag 2004 registrierte eine GEOFON-Station in der Nähe von Berlin das im Indischen Ozean ausgelöste Erdbeben, zwei Minuten danach informierte eine Automatik lange vorher angemeldete Benutzer über das Internet, SMS-Nachrichten auf Handys und E-Mails über das Erdbebenereignis.

Eine solche Warnung aus Europa aber wäre für die am stärksten betroffenen Küsten im Norden Sumatras viel zu spät gekommen: Dort überrollte der Tsunami bereits 20 Minuten nach dem Beben die tiefer liegenden Regionen und zerstörte die Städte Banda Aceh und Meulaboh, sowie etliche weitere Ortschaften. Dort aber müssen die Betroffenen sich aus einem zwei Kilometer breiten Küstenstreifen in Sicherheit bringen. Wegen der besonderen geologischen Situation muss hier eine Warnung daher spätestens fünf Minuten nach Beginn eines Erdbebens die Menschen erreichen, um ihnen eine Chance zu geben, ihr Leben zu retten.



Wissenschaftler des Deutschen GeoForschungsZentrums registrierten das Mega-Erdbeben bereits nach 11 Minuten an der Seismometerstation Rüdersdorf im Osten von Berlin.

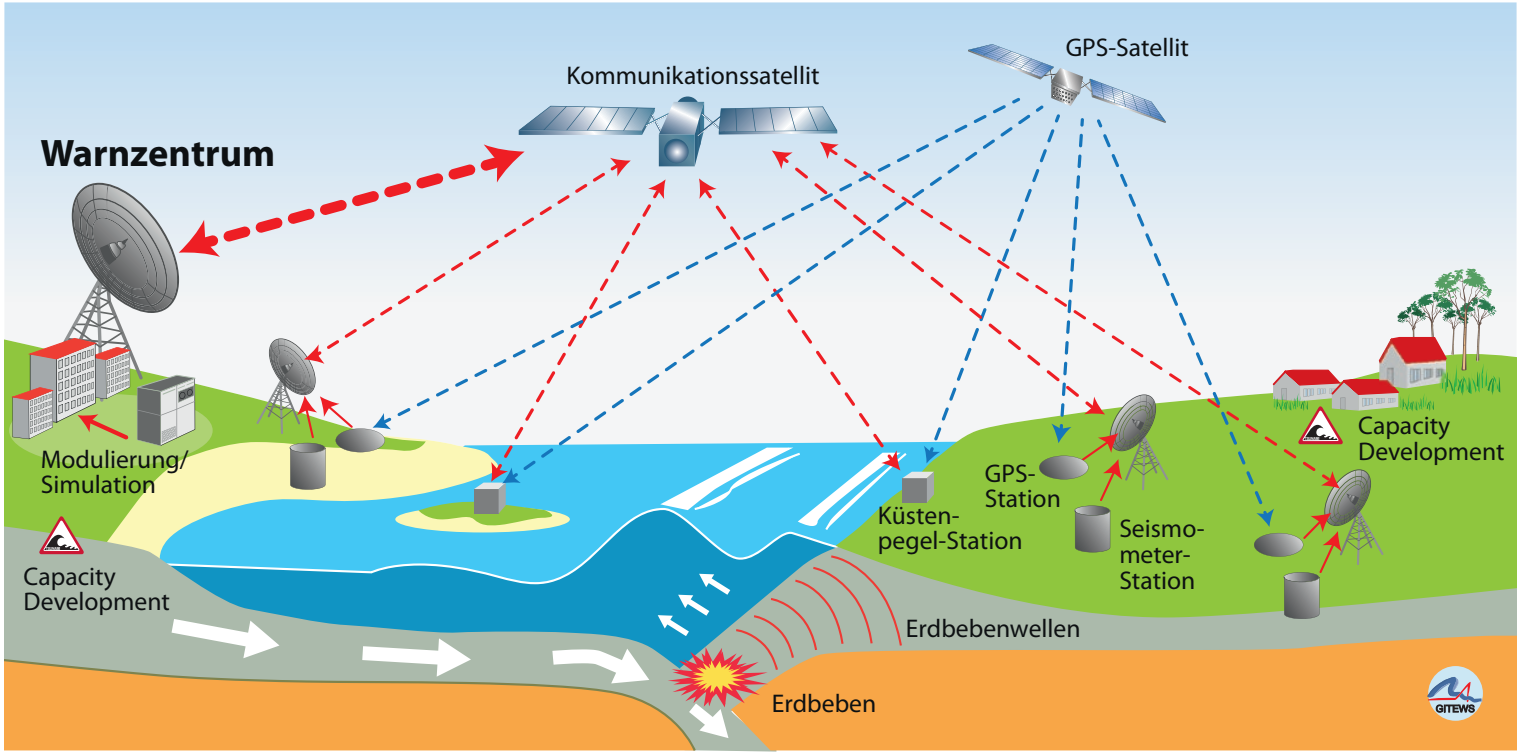


Eine besondere Herausforderung für Indonesien: Die Laufzeiten eines Tsunami vom Entstehungsort bis an die Küsten sind sehr kurz.

Warnung innerhalb von fünf Minuten

Bereits vorhandene Systeme in anderen Weltregionen wie das zur Warnung der Bevölkerung von Hawaii können sich viel mehr Zeit lassen, weil ein Tsunami dort viel länger bis zu diesen Küsten braucht. Die deutschen Forscher betreten also mit dem Aufbau eines so schnellen Tsunami-Frühwarnsystems wissenschaftliches Neuland. Schließlich kommen in dieser kurzen Zeit viel zu wenige und noch nicht abgesicherte Daten rein, um sich ein gutes Bild der Lage zu machen. Genau dieses Lagebild aber brauchen die Verantwortlichen für die Katastrophenwarnung bereits nach fünf Minuten.

Und sie bekommen es in dieser kurzen Zeitspanne mit Hilfe einer Meisterleistung der Forscher: Sie stärken die Datenlage und sammeln in kurzer Zeit nach einem Beben möglichst viele unterschiedliche Informationen mit einem sehr dicht gespannten Netz diverser Messmethoden, die möglichst dicht an die Quelle der Katastrophe heranrücken: Seismologische Instrumente registrieren die Erdbebenwellen. Mit Hilfe des Satellitenortungssystems GPS beobachten etliche Stationen, wie sich die Erdplatten bewegen und dabei vor allem, welche senkrechten Plattenbewegungen einen Tsunami auslösen. Computermodelle erzeugen mit Hilfe dieser Fülle von Daten ein genaues und zudem laufend aktualisiertes Bild und liefern Informationen, wann und wie hoch die Wellen an jedem einzelnen Abschnitt der Küste auflaufen und wie weit sie dort landeinwärts vordringen werden. Für jedes Gebiet kann der Verantwortliche daher innerhalb von fünf Minuten nach Beginn des Bebens eine ganz spezifische Warnung herausgeben.



Technisches Konzept von GITEWS

Rückgrat der Warnung

Bei den Erdbeben-Mess-Stationen aber gab es in Indonesien 2004 noch eine große Lücke. Moderne Geräte, die an internationale Messnetze angeschlossen waren, fehlten weitgehend. Als Rückgrat des Tsunami-Warnsystems baute das GFZ daher entlang des gesamten Sundabogens ein Netz von 25 neuen Mess-Stationen, das sich zwischen Neu-Guinea und dem Nordwesten Sumatras über eine Entfernung von fast 7000 Kilometern erstreckt. Die Stationen stehen dabei möglichst nahe an den potentiellen Erdbebenherden, um die wichtigen Daten so schnell wie möglich zu erhalten. Diese empfindlichen Geräte messen auch sehr kleine Erschütterungen des Bodens und werden daher meist zwei Meter unter dem Erdboden in einer eigens für sie gebauten Kammer installiert. Von oben kommende Schwingungen, wie sie zum Beispiel ein vorbei fahrender schwerer LKW auslöst, stören dort unten viel weniger.

Wo auch immer in Indonesien die Erde bebt, messen mindestens drei dieser Stationen innerhalb von höchstens drei Minuten das Ereignis und können so den Bebenherd lokalisieren. Einbezogen werden aber auch Seismometer, die von Japan, China und natürlich vor allem von Indonesien selbst installiert wurden. So sind inzwischen 160 Erdbeben-Mess-Stationen über moderne Satellitenkommunikation online mit dem Warnzentrum in der Hauptstadt Indonesiens Jakarta verknüpft. Ein solches dichtes Netz, das sich über ganz Indonesien verteilt, analysiert schnell und sehr zuverlässig wichtige Daten des gerade stattfindenden Erdbebens: An welchem Ort und in welcher Tiefe liegt der Herd der Erschütterungen? Wie stark waren die Erschütterungen und wie groß also die Magnitude?

Erdbeben-Mess-Station Sanana auf den Molukken. Herzstück ist das Seismometer (u.re.).

Schnelle Software

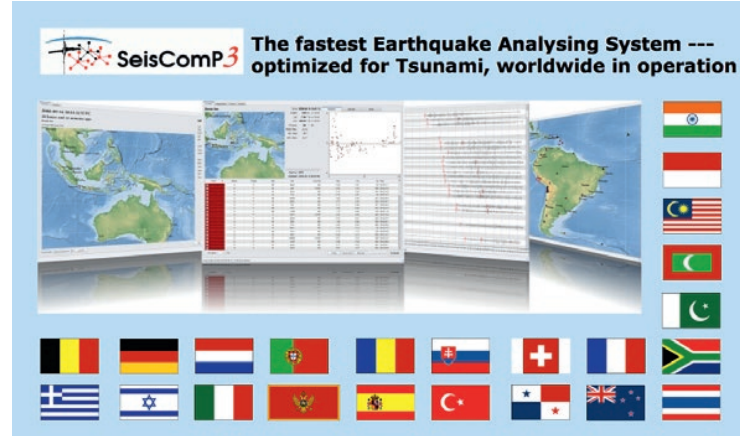
Dazu meldet jede Station, wann eine Erdbebenwelle bei ihr ankommt. Die von GFZ-Forschern entwickelte SeisComP3-Software kombiniert dann die Daten verschiedener Stationen miteinander. Weitaus schneller als frühere Programme ermittelt SeisComP3 damit die Stelle, von der die Erdbebenwellen gekommen sind.

Dabei nutzen die Forscher auch Analysen des Untergrundes, aus denen sie wissen, in welcher Tiefe die Grenzfläche zwischen den beiden Platten verläuft. Dieser Wert liefert zusammen mit den Laufzeiten der Erdbebenwellen zu wenigen, nahen Mess-Stationen genug Daten, um den Entstehungsort des Erdbebens sehr rasch einzukreisen. Je mehr Stationen weitere Daten liefern, umso genauer wird diese Analyse. Das dichte Messnetz ist daher so ausgelegt, dass innerhalb von vier Minuten der Herd und die Stärke des Bebens mit der raffinierten Software SeisComP3 recht genau bestimmt werden können. So schnell und zugleich präzise konnte bis dahin kein Auswerteprogramm starke Beben analysieren, die Bruchlängen von einigen Hundert Kilometer haben.

Bereits am 12. September 2007 stellte das System seine Schnelligkeit unter Beweis: Gerade einmal vier Minuten und sieben Sekunden nach einem sehr starken Erdbeben mit einer Magnitude von 7,9 lieferte es eine Tsunami-Warnung. Längst ist das GFZ-Erdbeben-Monitoring-System zu einem Standard der Erdbeben-Analyse geworden: SeisComP3 wertet inzwischen in rund 50 Ländern die Daten von Erdbebenstationen blitzschnell aus, von der Schweiz über Pakistan und Südafrika bis in die USA.

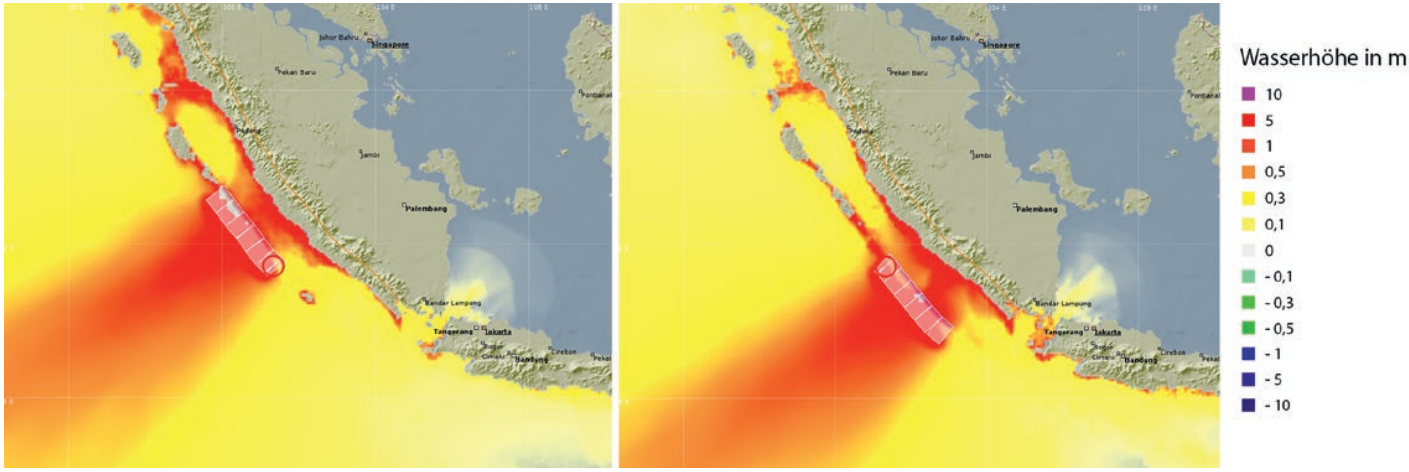
Messung via GPS-Satellit

Im Tsunami-Frühwarnsystem ist diese rasante Erdbeben-Analyse zwar unverzichtbar, aber nur einer von mehreren entscheidenden Bausteinen. Ort und Stärke des Bebens sagen ja noch wenig über die Richtung aus, in die sich die Erdplatten bewegen. Nur wenn sich der Meeresboden bei starken untermeerischen Beben auch kräftig hebt oder senkt, gerät die Wassersäule darüber in Bewegung und ein Tsunami entsteht. Um solche Bewegungen zu messen, installieren die Forscher entlang der Küste von Java und Sumatra alle 50 oder 60 Kilometer GPS-Referenz-Stationen, die ihren Standort mit Hilfe eines Satellitenortungssystems wie GPS sehr exakt bestimmen. Verändert sich die Lage dieser Stationen bei einem starken Erdbeben, wird die neue Position wie bei allen anderen Mess-Systemen auch über zwei voneinander unabhängige Satellite-Kommunikationssysteme an das Warnzentrum übermittelt.



Die Auswerte-Software „SeisComP3“ hat sich bei Erdbebenwarten und Frühwarnzentren weltweit als Standard etabliert. Bisher sind 330 nicht kommerzielle Lizenzen vergeben.

An jeder GPS-Station wird die Bewegung in horizontaler und in vertikaler Richtung gemessen. Aus den Daten mehrerer Stationen berechnet ein aufwändiges Auswerteprogramm dann, wie stark sich der Meeresboden vor der Küste verändert und vor allem, wie stark er sich gehoben oder gesenkt hat. Je mehr GPS-Stationen an Land existieren, umso besser wird diese Kalkulation. GPS-Messungen und Computerprogramm werden während der Installation des Warnsystems weiter entwickelt und verbessert. Daher erfasst dieser „GPS-Schutzschild“ inzwischen Hebungen und Senkungen des Meeresbodens so genau, dass daraus die entstandenen Wellen zuverlässig abgeschätzt werden. Be-



Die Ausbreitung des Bruchprozesses bei einem Erdbeben kann mit GPS-Stationen gemessen werden. Küstenabschnitte werden je nach Riss-Richtung des Bebens durch den Tsunami unterschiedlich betroffen.

reits nach weniger als drei Minuten liefert dieses „Ground Tracking System“ erste Werte, die alle zwei Minuten mit neuen Daten aktualisiert werden. Dieses neue Verfahren wurde in GITEWS zur Anwendungsreife gebracht, wird jetzt als Standardmethode zur Tsunamibestimmung im Nahfeld eingesetzt und soll auch von anderen Tsunami- Frühwarnsysteme übernommen werden.

In welche Richtung reißt die Erde auf?

Die GPS-Daten aber liefern noch eine weitere, wichtige Information: Die direkten Erdbeben-Messungen zeigen ja zunächst einmal nur die Lage des Beben-Herdes. Bei der Bebenkatastrophe Weihnachten 2004 aber rissen die Erdplatten ausgehend von diesem Zentrum auf einer Länge von 1200 Kilometern auseinander. Ob sich dieser Riss aber nach Norden oder nach Süden ausbreitet, kann das System aus den Erdbebenwellen zunächst nicht abschätzen.

Genau diese Richtung aber ermittelt das Computersystem aus den Bewegungen verschiedener GPS-Stationen in waagrechter Richtung. Auf der gesamten Länge dieses Risses aber kann sich der Meeresboden heben und senken – ein Tsunami entsteht also nicht an einem Punkt, sondern entlang einer möglicherweise mehr als tausend Kilometer langen Strecke. Für die Berechnung der Riesenwellen ist die Ausbreitungsrichtung des Bebens daher ebenfalls eine entscheidende Komponente, die nur mit Hilfe von GPS-Stationen schnell ermittelt werden kann.

Die genaue Ortung via Satellit ist also die entscheidende Neuerung, die das Tsunami-Frühwarnsystem schnell genug für eine rechtzeitige Warnung und damit für das Retten vieler Menschenleben macht.

GPS-Pegelstation in Teluk dalam auf der Insel Nias vor der Küste Sumatras.

Pegelstände an der Küste

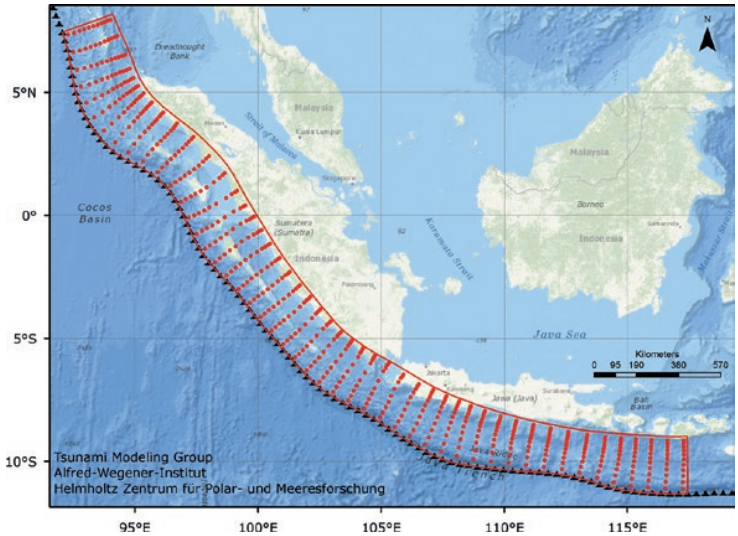
Die Riesenwellen werden allerdings zusätzlich auch mit Pegelstationen an den Küsten direkt erfasst. Weit vor Sumatra liegen im Indischen Ozean eine Reihe kleinerer Inseln. Nur ein paar Kilometer davor entstehen die heftigen Beben und lösen wie am zweiten Weihnachtsfeiertag 2004 verheerende Tsunami aus. Deren Wellen laufen daher als erstes und relativ rasch nach den Erschütterungen an den Küsten dieser Inseln auf. Die Pegelstationen dort sind also die ersten, an denen ein Tsunami direkt gemessen werden kann.

Im einfachsten Fall wird ein Rohr installiert, in dem ein Schwimmkörper sich auf der Höhe des Wasserstandes bewegt und den jeweiligen Pegel automatisch übermittelt. Die High-Tec-Variante ist ein von der Küste zehn Meter über dem normalen Wasserspiegel ins Meer hinausragender Arm. An diesem misst ein Radarstrahl laufend den Abstand zum Wasser und übermittelt diesen Wert alle 15 Sekunden an das Warnzentrum. Alle deutschen Pegel sind mit drei unabhängigen Sensoren ausgestattet: Radarsensor, Drucksensor am Meeresboden und Schwimmer. Rund 80 solche Stationen messen inzwischen im Indischen Ozean an den Küsten der Inseln Indonesiens die Pegelstände, mehr als zehn Prozent dieser Geräte stammen aus Deutschland.
Etliche Küstenpegel-Stationen sind zusätzlich mit GPS ausgerüstet und liefern so weitere GPS-Werte aus der Nähe des Zentrums von Beben und Tsunami-Ursprung, eine wichtige Ergänzung der Daten aus dem GPS-Netzwerk von GITEWS.

Keine Bojen

In der Anfangsphase installierten die Forscher Bojensysteme genau dort, wo der Boden des Indischen Ozeans vor der Küste unter die Eurasische Platte abtaucht. Die sieben Meter langen Bojen wurden dabei zu einem eigenständigen Messinstrument entwickelt. Sie sollten an der Linie, an der ein Tsunami entsteht, mit dem Satellitenortungssystem GPS die Wellenbewegung direkt messen und die Daten über Funk an die Tsunami-Warnzentrale in Jakarta übermitteln. Zudem sollte unter der Boje ein Sensor am Meeresgrund den Druck der Riesenwellen registrieren, aus dem sich ebenfalls die Höhe der Tsunami-Welle berechnen lässt.

Soweit die Theorie. In der Praxis aber erwies sich das System als überflüssig und störungsanfällig. So nutzten Fischer die Bojen gern als Ankerplatz, beschädigten sie dabei allerdings häufig.
Daten von seismologischen Stationen, Küstenpegel und vor allem GPS-Stationen an Land liefern die wichtigen Daten für eine Warnung schneller, zuverlässiger und genauer. Daher sind seit 2010 im deutsch-indonesischen GITEWS die kostenintensiven Bojen keine Systemkomponente mehr.



Entlang des Sundagrabens sind mögliche Szenarien vorberechnet und in einer Datenbank gespeichert. Zu jedem der roten Anregungspunkte sind Erdbeben verschiedener Stärke und deren Auswirkungen kalkuliert.

Wie läuft die Welle?

Noch immer aber fehlen wichtige Informationen, um das weitere Verhalten des gerade entstandenen Tsunami zu berechnen. Diese Riesenwellen breiten sich keineswegs völlig geradlinig aus, sondern werden von Hindernissen beeinflusst. Unterwasserberge lenken die Wellen zum Beispiel ab. Auch Inselketten können die dahinter liegenden Küsten vor den Riesenwellen schützen. Tsunami können daher in einer Region zwar häufig auftreten, erreichen bestimmte Küstenorte aber nur sehr selten, andere dagegen sehr oft. Die Stadt Hilo auf Hawaii gilt zum Beispiel als regelrechte Wellenfalle, weil das Relief des Meeresbodens jeden Tsunami auf diese Stadt zu konzentrieren scheint.

Wer das Verhalten der Riesenwellen möglichst genau berechnen will, braucht also eine gute Karte vom Meeresgrund. Die aber sind nicht nur vor Indonesien Mangelware. Also rüstete das in Kiel ansässige Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung GEOMAR das indonesische Forschungsschiff „Baruna Jaya IV“ mit einem Fächerecholot genannten Gerät aus, das den Meeresbodens bis zu einer Tiefe von 3000 Metern mit Schallwellen genau vermisst. Dabei konzentrierten sich die Messungen mit gutem Grund auf die flacheren Bereiche zwischen dem Sunda-Graben und den Küsten: Diese Gebiete formen nämlich die Wellen entscheidend, die danach auf die Küste treffen. Parallel dazu übernahm das deutsche Forschungsschiff „Sonne“ mit einem anderen Fächerecholot den Teil des Meeresbodens, der im Sunda-Graben tiefer als 3000 Meter liegt.

TsunaAWI

Die so errechneten Karten des Meeresgrundes verwenden Spezialisten des Alfred-Wegener-Instituts (AWI) für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven für ihre Computermodelle, mit denen sie das Verhalten eines entstandenen Tsunami auf seinem Weg zur Küste berechnen. Mehr als 3500 Beben mit gleichmäßig entlang des Sunda-Grabens vor der Küste Indonesiens verteilten Epizentren und die daraus entstehenden Wellen rechnet dieses „TsunAWI“ genannte System bereits lange vor einem solchen Ereignis im Computer durch. Die Ergebnisse, sogenannte Szenarien, werden in einer Tsunami-Datenbank gespeichert.

Das System berechnet vor allem die Verhältnisse an der Küste. Dort bremst die geringe Wassertiefe zwar die Geschwindigkeit der Wellen vom Passagierjet-Tempo auf die Geschwindigkeit eines Sprinters ab. Gleichzeitig aber werden die Wellen viel höher, können dabei brechen und verhalten sich so völlig anders als auf hoher See. Langgestreckte Buchten können die Riesenwellen konzentrieren, während vorgelagerte Landzungen einen Tsunami ablenken können. Genau diesen „Run-up“ berechnet eine weitere Komponente des Systems für das jeweilige Erdbeben und die daraus entstehenden Wellen schon im Voraus.

Katastrophen im Computerspeicher

Dabei haben die Forscher die Küste in Abschnitte unterteilt, deren Ränder möglichst mit den Gemeindegrenzen übereinstimmen. Für jede Gemeinde berechnet das Computermodell dann lange vorab, wie lange ein Tsunami nach einem Erdbeben bis zur jeweiligen Küste braucht und wie hoch die Welle am jeweiligen Abschnitt aufläuft. Diese Daten werden im Rechner gespeichert. Sie liefern den Katastrophenschützern in den jeweiligen Gemeinden lange vor einem Beben wertvolle Informationen: Wie viel Zeit bleibt für eine Evakuierung, welche Fluchtwege sollten ausgewiesen werden, wo können Schutzräume errichtet werden und wie hoch sollten diese über dem Meeresspiegel liegen?

Kontrollraum im Tsunami-Frühwarnzentrum des BMKG, Jakarta.

Läuft ein Tsunami nach einem Beben bereits auf die Küste zu, kann das Warnsystem innerhalb von ganz wenigen Sekunden aus der Datenbank die am besten passende Berechnung aussuchen und so blitzschnell detaillierte Informationen liefern, wie hoch die Wellen an den verschiedenen Küstenabschnitten auflaufen werden. Solche Berechnungen sind extrem aufwändig, die Vorab-Szenarien können daher viel Zeit sparen. Gleichzeitig aber verbessert sich die Leistung moderner Computer immer weiter. Inzwischen können die Rechner solche aufwändigen Modelle daher nach einem Beben auch in Echtzeit rechnen. Genau das tun sie auch, wenn das passende Katastrophen-Szenario vorab noch nicht gerechnet und gespeichert wurde.

Das Warnzentrum

Auch diese Online-Modellierung liefert dem nationalen Warnzentrum in Jakarta rechtzeitig entscheidende Informationen. Dort laufen im Herzstück des Tsunami-Frühwarnsystems alle Informationen zusammen. Jedes der Monitoringsysteme – SeisComP3, GPS-Netzwerk, Pegelstationen – liefert auf mehreren Bildschirme seine Information. Dazu kommen die Bildschirme des Entscheidungsunterstützungssystem DSS, TOAST, RTSP, Dissemination und weitere. Im Kontrollraum des Warnzentrums läuft eine Vielzahl an Software und Bildschirmen. An sieben Tagen in

Von diesem Arbeitsplatz werden Warnmeldungen verschickt.

Die Antenne mit 4,5 m Durchmesser auf dem Dach des Warnzentrums empfängt die Daten aus den Sensornetzwerken in Echtzeit.

der Woche lösen sich dort das ganze Jahr über Schichten mit jeweils sieben bis zehn Spezialisten aus Indonesien rund um die Uhr ab. Auf allein vier Bildschirmen erhält letztlich der für die Katastrophenwarnung Verantwortliche dort bei einem Erdbeben alle relevanten Informationen der technischen Systeme: Hat sich der Meeresgrund gehoben oder gesenkt? Wie stark war diese Bewegung? Ist dabei eine Welle entstanden? Wie hoch ist sie, wie wird sie an den verschiedenen Küstenabschnitten auflaufen?

Auf einer Karte der Küste kennzeichnet das Entscheidungsunterstützungssystem diese Wellenhöhen mit verschiedenen Farben. Läuft die Welle weniger als einen halben Meter hoch auf, ist die Gefahr nicht so groß und der jeweilige Abschnitt wird in Gelb gezeigt. Dort sollten die Menschen an den Stränden und Flussufern gewarnt werden. Orange signalisiert Wellenhöhen zwischen einem halben und drei Metern an der Küste, in diesen Gebieten sollten die Menschen aus den stark gefährdeten, tief liegenden Landstrichen evakuiert werden. Bei Rot sind die Wellen aller Voraussicht nach höher als drei Meter, dieser Abschnitt sollte komplett evakuiert werden.

Gut gewarnt ist halb gerettet

Mit einem Blick kann der diensthabende Offizier so die Lage einschätzen und entscheiden, was zu tun ist. Bei einem starken Erdbeben am 06. April 2010 beweisen dann Technik und Spezialisten im Warnzentrum, dass alles so funktioniert, wie die GFZ-Forscher das mit ihren Kollegen in Deutschland und vor allem in Indonesien geplant haben: Zweieinhalb Minuten nach dem Beben liegen die Daten zum Erdbeben selbst vor und nach vier Minuten und 40 Sekunden schickt der diensthabende Mitarbeiter im Warnzentrum die Warnungen an die zuständigen Stellen der einzelnen Küstenabschnitte los: Mit den Informationen über die Ankunftszeit der Welle und der jeweiligen Warnstufe können die Katastrophen-Verantwortlichen vor Ort dann rechtzeitig die notwendigen Maßnahmen für ihr Gebiet einleiten, um möglichst viele Menschenleben zu retten.

3. Der Mensch im Zentrum

Am 29. März 2011 übergeben die Deutschen die GITEWS-Komponenten des Tsunami-Frühwarnsystems an Indonesien. Seit diesem Tag betreibt der Meteorologische, Klimatologische und Geophysikalische Dienst BMKG des Landes ein Tsunami-Frühwarnsystem, das auf der Welt seinesgleichen sucht. Länder wie Japan und Chile, die ähnlich wie Indonesien häufig mit Erdbeben und Tsunami zu kämpfen haben und die ihre Bevölkerung sehr gut vor den Folgen solcher Naturkatastrophen zu schützen versuchen, interessieren sich für das System im Indischen Ozean und suchen eine enge Zusammenarbeit mit Deutschland.

Das schwächste Glied der Kette

Solche Länder wissen allerdings genau wie auch Indonesien, dass HighTec und raffinierte Computerprogramme zwar ein unverzichtbarer Teil des Frühwarnsystems sind. Die beste Technik bleibt aber immer nur ein Glied in einer Kette, die bekanntlich nur so stark sein kann wie das schwächste seiner Glieder. Bei den weiteren Gliedern der Frühwarnkette aber steht immer der Mensch im Zentrum. Das beginnt mit der Wartung und Reparatur der HighTec-Komponenten und endet mit der sogenannten „Letzten Meile“, auf der viele Komponenten über die Rettung sehr vieler Menschenleben entscheiden: Wie erreicht eine Warnung die Menschen, die von der Katastrophe bedroht sind? Was sollen die Betroffenen tun, wenn die Welle auf die Küste zurollt, an der sie leben? Wie evakuiert man in wenigen Minuten eine ganze Stadt und wohin sollen die Menschen fliehen? Aber auch: Wie bereiten sich die Verantwortlichen und die Bevölkerung auf die mögliche Katastrophe vor? Solange diese Fragen nicht bis ins Detail geklärt sind, wird der Mensch leicht zum schwächsten Glied der Kette.

Evakuierungsübung in einer Schule.
Unterzeichnung des Übergabevertrags im März 2011 zwischen Deutschland und Indonesien (links unten).

Wer erreichen will, dass der nächste Tsunami nach einem Beben erheblich weniger Menschenleben kostet als die Katastrophe am zweiten Weihnachtsfeiertag 2004, sollte also mehr bereit stellen als die HighTec, die nach allenfalls fünf Minuten die entscheidenden Daten für die auf die Küste zurollenden Wellen an die Warnzentrale liefert. Deshalb steht bei GITEWS der Mensch im Zentrum.

Katastrophen-Ausbildung

So stellen die Verantwortlichen bereits ganz am Anfang des Projektes die Weichen, um die Verantwortung für das gesamte System rasch an Indonesien zu übergeben – Katastrophenschutz und -vorbereitung ist schließlich eine ureigene Aufgabe eines jeden Staates für seine Bürger und Besucher. Das

Operatoren werden an den Auswertesystemen (li.) und bei der Wartung von Komponenten (re.) geschult.

funktioniert nur dann, wenn es im Land selbst genug Menschen gibt, die sich mit den verschiedenen Komponenten des Tsunami-Warnsystems gut auskennen, es betreiben, warten und weiter entwickeln. Um solche Kapazitäten aufzubauen, können indonesische Wissenschaftler einige Monate an geeigneten Institutionen in Deutschland in den Bereichen Katastrophen-Management und Risikoabschätzung arbeiten, lernen und forschen. Studenten können an deutschen Universitäten promovieren, vermitteln ihr neu erworbenes Wissen in dieser Zeit aber auch in ihrer Heimat weiter und arbeiten parallel dazu an der Entwicklung und dem Aufbau des Tsunami-Frühwarnsystems mit. Techniker werden ausgebildet, die verschiedene Komponenten des Systems warten. Indonesische Ausbilder werden geschult, um ihrerseits ihre Landsleute vor Ort auszubilden.

Als sich ein deutscher Mitarbeiter am Warnzentrum in Jakarta entschließt, aus privaten Gründen auf Dauer in Indonesien zu bleiben, gründet er eine Firma zur Wartung der im Land aufgebauten Mess-Stationen für Erdbebenwellen. Damit schafft er eine ideale Voraussetzung, dieses Netz dauerhaft instand zu halten. Eine weitere Firma, die von GFZ-Mitarbeitern in Potsdam gegründet wird, wartet nicht nur die Erdbeben-Software SeisComP3 und entwickelt sie weiter, sondern bildet Fachleute aus, die später im Land den Umgang mit dieser Software vermitteln.

Die Partnerschaft geht weiter

Diese Unterstützung läuft nicht nur in der Aufbauphase von GITEWS, sondern setzt sich auch fort, als das System im März 2011 an Indonesien übergeben wird. Mit dem

Programm „PROTECTS“ geht diese Entwicklung weiter – Deutschland lässt Indonesien mit dem technisch fertigen Tsunami-Warnsystem nicht allein, es werden Mitarbeiter des Warnzentrums und der verantwortlichen Behörden Indonesiens ausgebildet. Vor allem aber wird mit allen Behörden und Verwaltungen, Katastrophenschützern und insbesondere mit der Bevölkerung in den gefährdeten Küstenstrichen immer wieder durchgespielt, was im Ernstfall zu tun ist, wenn die Riesenwelle kommt. Das Ganze passiert in drei völlig unterschiedlich geprägten Kulturkreisen an den Tsunami-gefährdeten Küsten Indonesiens, um für jede Gemeinschaft die jeweils besten Vorgehensweisen zu ermitteln: In der streng islamischen Millionenstadt Padang auf der Insel Sumatra, im Süden der Insel Java mit seinem Anteil von christlicher Bevölkerung und auf der vor allem von Hindus bewohnten Insel Bali.

Dabei gibt es gute Gründe, die betroffene Bevölkerung ins Zentrum der Ausbildung zu stellen: Selbst wenn beim Tsunami am zweiten Weihnachtsfeiertag 2004 rechtzeitig eine Warnung erfolgt wäre, hätte kaum jemand gewusst, wie er sich richtig verhält. So ahnte kaum jemand, was es bedeutet, wenn sich das Meer vor der Riesenwelle erst einmal weit von der Küste zurückzieht. Und dass nach der ersten häufig noch weitere Wellen folgen, die oft sogar noch verheerender als die erste sind. Als das Wasser sich nach dieser ersten Verwüstung zurückzog, eilten daher viele Überlebende an die Strände, um nach Vermissten zu suchen. Viele von ihnen wurden von der zweiten oder dritten Welle getötet.

Das Wissen der älteren Generation

In den kleinen Vierteln der islamischen Stadt Padang sitzen daher inzwischen in meist winzigen Hütten Rentner und geben ihr Wissen über die Ereignisse rund um einem Tsunami und Hinweise zu richtigem Verhalten an seine Nachbarn und Besucher aus dem Viertel weiter. Diese wiederum wissen genau, dass solche Erklärungen ihnen das Leben retten können und interessieren sich brennend dafür.

Wie wichtig diese mündliche Information sein kann, zeigt die kleine Insel Simeuluë, in deren Nähe an Weihnachten 2004 das Erdbeben begann. Die Küste dieser Insel erreichte der Tsunami zuallererst und forderte doch kaum Todesopfer. Dort wurden Informationen nämlich noch nach alter Tradition und meist im direkten Gespräch weiter gegeben – ähnlich wie der Rentner das inzwischen in Padang tut. Die älteren Einwohner aber wussten noch aus eigener Erfahrung oder aus den Berichten ihrer Eltern und Großeltern, dass nach einem starken Erdbeben Riesenwellen die Küste verwüsten können. Eindringlich erklärten sie ihren Enkeln daher: „Wenn die Erde stark bebt, denkt nicht lange nach, sondern lauft los und rennt auf den nächsten Hügel!“

Nicht nachdenken, sondern rennen

Schließlich gibt es im Sunda-Graben unmittelbar vor der Insel relativ häufig starke Erdbeben, die einen Tsunami auslösen, der sehr rasch die Küsten erreicht – Zeit zum Nachdenken bleibt den Menschen dort also kaum. Auch eine Tsunami-Frühwarnung kommt dort zu spät, wenn die Riesenwellen schon nach ganz wenigen Minuten diese Inseln erreichen. Die etwas weiter vom Epizentrum eines solchen Tsunami-Bebens entfernten Küsten der viel dichter besiedelten Hauptinseln Indonesiens aber sind auf das neue Tsunami-Frühwarnsystem angewiesen.

Deren Warnung wiederum nimmt im nationalen Warnzentrum in Jakarta ihren Lauf. Dort informiert das System den diensthabenden Offizier unter Umständen bereits, wenn die Erde noch bebt – an Weihnachten 2004 dauerte das Beben schließlich mehr als acht Minuten, das Frühwarnsystem dagegen alarmiert bereits nach höchstens fünf Minuten. Mit Hilfe der Warnkarten und der verschiedenen Warnfarben für die einzelnen Küstenabschnitte entscheidet dieser über die notwendige Warnstufe und informiert seine Ansprechpartner in den betroffenen Landkreisen und Städten. Über fest geschaltete Telefon- oder Faxleitungen, über Internet, Mobilfunk oder Satellitentelefon geht die Warnung an die örtliche Polizei, die Hafenverwaltung, Flughäfen, das lokale Büro der Wetterbehörde, an eine eigens eingerichtete Katastrophenbehörde oder wer eben sonst vor Ort für den Schutz vor Katastrophen zu-

ständig ist. Vor 2004 gab es vielerorts weder funktionierende Kommunikationswege noch klare Zuständigkeiten, wer im Katastrophenfall was zu tun hat. Die Klärung solcher Fragen und den Aufbau entsprechender Strukturen moderierten Mitarbeiter der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ.

Getrommelte Warnung

Vor Ort leitet der Verantwortliche dann alles Weitere ein. Vor allem gibt er die Warnung an die jeweiligen Einsatzkräfte und natürlich an die Bevölkerung weiter. Auch das ist nicht so einfach, wie es klingt. SMS-Nachrichten zu senden, liegt zum Beispiel nahe. Aber nicht jeder hat ein Handy, nicht immer bemerkt man eingehende Nachrichten sofort und vor allem verstopfen die Funknetze leicht in der Flut der vielen verschickten Warnungen. Erheblich besser sind dagegen Lautsprecher, von denen es in den islamischen Regionen etliche auf den Türmen der Moscheen gibt. In anderen Gebieten werden Lautsprecher an günstigen Stellen auch neu installiert. Sofern vorhanden, können natürlich auch Sirenen die Menschen in einem größeren Umkreis alarmieren oder die Polizei weist mit entsprechenden Durchsagen auf die drohende Gefahr hin. Das Warnzentrum in Jakarta alarmiert auch die nationalen und regionalen Rundfunk- und Fernsehsender, kurze Texte oder auch in die laufende Sendung eingeblendete Karten warnen sofort die Hörer und Zuschauer. Diese informieren im Ernstfall auch andere Familienmitglieder und Nachbarn, die Warnung erreicht die Betroffenen schnell.

Auf der indonesischen Insel Bali greift man auch auf eine uralte, noch gut verbreitete Technik der Nachrichtenübermittlung zurück, die sehr einfach und gleichzeitig sehr zuverlässig ist: Sie heißt Kul-Kul und besteht aus einem rund drei Meter langen, ausgehöhlten Baumstamm, der unter einem Dach hängt. Schlägt ein Mensch auf diesen Stamm, trägt der tiefe, kräftige Ton über große Entfernungen. Seit jeher tauschen die Menschen auf Bali mit diesem Kul-Kul über jeweils spezifischen Tonfolgen Nachrichten über wichtige Ereignisse wie Hochzeiten, Geburten oder größere Feiern aus. Mit einer weiteren Tonfolge kann man so auch vor einem Tsunami warnen. Und schon können die Menschen auf einem weiteren Weg informiert werden.

Bei einer Warnung koordinieren lokale Katastrophenmanager die Aktivitäten vor Ort (re.).

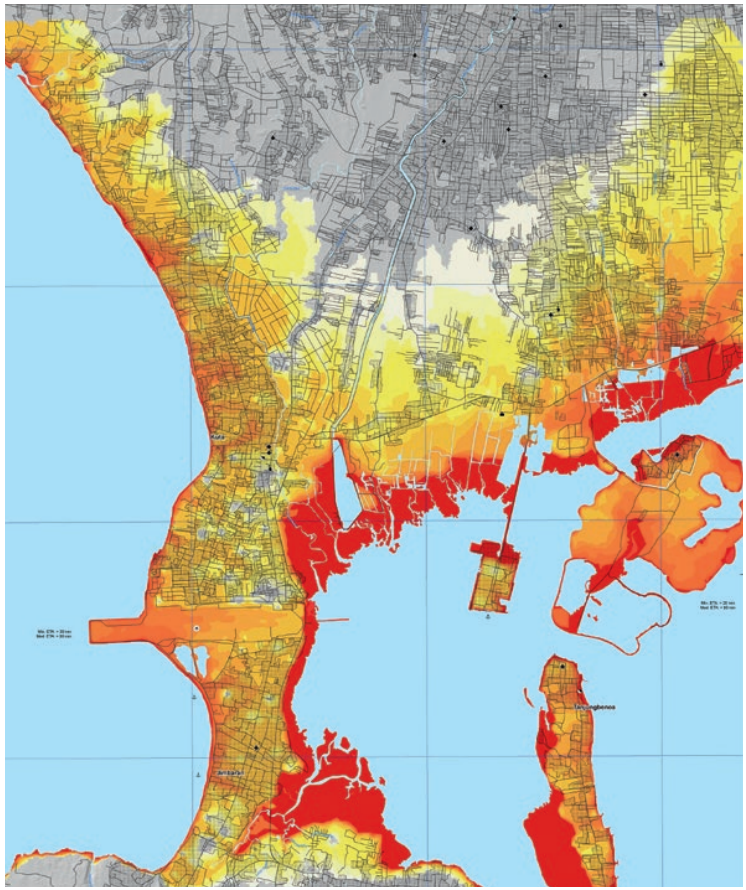
Sirenen sind an Türmen oder anderen Gebäuden angebracht (li.).

Modelle für die Flucht

Aber woher wissen die Gewarnten, wohin sie vor der nahenden Riesenwelle fliehen sollen? Ähnlich wie das Weitergeben einer Warnung erfordern auch die Fluchtwege einige Vorbereitung. Schon lange vor dem Ernstfall sollte die Verwaltung zum Beispiel wissen, welche Gebiete, Viertel, Straßenzüge und unter Umständen auch welche einzelnen Häuser evakuiert werden müssen. Dabei hilft das TsunAWI-Programm, das für einige Tausend unterschiedliche Erdbeben berechnet hat, wie hoch ein Tsunami an bestimmten Abschnitten der Küste ankommt. Das Programm ermittelt auch, wie die Welle sich an Land zwischen Häusern und Hügeln, über Straßen und Felder weiter bewegt und welche Gebiete sie dort überflutet.

Mit diesen Daten erstellt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR in Oberpfaffenhofen genaue Karten jedes einzelnen Abschnittes der Küste, auf denen die von bestimmten Erdbeben und Wellenhöhen gefährdeten Gebiete gekennzeichnet werden. Als nächstes müssen die Forscher ermitteln, wie verletzlich die einzelnen Regionen sind: Besonders viele Menschen sind gefährdet, wenn dort Schulen und Krankenhäuser stehen, wenn in einem Markt mit engen Gassen viele Menschen einkaufen oder auf einem Bahnhof viele Menschen auf den nächsten Bus oder Zug warten. Die Kombination aus Gefährdung und Verletzlichkeit zeigt dann das Risiko für die betreffende Gegend.

Solche Karten bilden auch die Grundlagen für die Planung der örtlichen Verwaltung. In den roten, stark gefährdeten Gebieten sollten auf gar keinen Fall Schulen, Krankenhäuser oder andere Gebäude errichtet werden, in denen sich entweder sehr viele oder wenig bewegliche Menschen konzentrieren. Mit diesen Karten planen die Behörden auch die Evakuierung für den Ernstfall. An Straßen und Wegen lassen sie Schilder installieren, die mit leicht zu erkennenden, einfachen Symbolen wie einer stilisierten Welle, einem laufenden Menschen und Pfeilen die Fluchtwege zum nächsten höheren Punkt zeigen. Sammelpunkte werden festgelegt und Verantwortliche benannt, die einzelne Reaktionen koordinieren, und zum Beispiel Lastwagen bereitstellen, auf deren Ladefläche Menschen rasch aus der Gefahrenzone transportiert werden können.



Ausschnitt einer Gefährdungs- und Risikokarte für Denpasar auf Bali. Die roten Areale werden bei einem Tsunami am stärksten beeinflusst. Gut zu erkennen ist der Flughafen mit seinen Landebahnen in der unteren Mitte der Abbildung. Die Risikokarten helfen bei der Planung von Vorsorge- und Evakuierungsmaßnahmen und liefern wertvolle Informationen für eine Stadtplanung. Es gibt sie in unterschiedlichen Ausführungen – allen zugrunde liegt die Verschneidung von Überflutungsszenarien mit Bestandsinformationen wie z. B. Bebauung, Nutzung der Gebäude oder die Anzahl der Menschen im Tagesgang.

Warnschilder informieren über Fluchtwege und Evakuierungspunkte.

Letzte Rettung im Parkhaus

Was geschieht aber, wenn ein Tsunami schneller kommt als die Menschen in einer breiten Küstenebene den nächsten Hügel erreichen können? Gerade in flachen Küstenebenen ist ja Platz für große Dörfer und Städte. So erreichten die Wellen am zweiten Weihnachtsfeiertag 2004 die 150 Kilometer vom Epizentrum entfernte Stadt Meulaboh schon 20 Minuten nach dem Beben. Auch wenn die Warnung bereits fünf Minuten nach Bebenbeginn bei den Menschen ankommt, schaffen es viele von ihnen nicht mehr, die zwei Kilometer von der Küste entfernten, sicheren Hügel zu erreichen. Durchaus eine Chance aber haben die Menschen dort, wenn die Verwaltung lange vor einer Katastrophe sogenannte „vertikale Fluchtmöglichkeiten“ ausschildert.

Gemeint sind mit diesem Begriff zum Beispiel Parkhäuser oder Hotels im Küstenstreifen, die auch beim höchsten Tsunami noch aus den Fluten herausragen. Solche Gebäude stehen ohnehin meist auf einem Gerippe aus Betonpfeilern. Die Riesenwellen gurgeln dann zwischen diesen Stützen durch und reißen die Wände dort mit. Die Pfeiler selbst und damit auch die aus den Fluten ragenden oberen Teile des Gebäudes aber reißen sie nicht ein. Dort oben sind die Menschen also auch in der Küstenebene vor einem Tsunami sicher. Zumindest, wenn sie schnell genug hinauf kommen. Manche Hoteliers haben daher die Treppen in ihren Häusern verbreitern lassen, damit die Gäste und die aus der Nachbarschaft herbei eilenden Menschen sich nicht gegenseitig im Weg stehen.

Eigens errichtete Evakuierungsplattform (Shelter) in Aceh.

In diesem Zusammenhang analysiert die Verwaltung auch, wie viele Menschen sich in einem bestimmten Bereich der gefährdeten Region aufhalten können, ob alle rechtzeitig einen sicheren Ort erreichen können und ob dort dann auch genug Platz für die Tsunami-Flüchtlinge ist. Auf den nicht ausreichend versorgten Flächen sollten dann zusätzliche Möglichkeiten errichtet werden. Solche „Shelter“ sind im einfachsten Fall mächtige Betonpfähle, auf denen in sicherer Höhe eine Plattform Platz für Tausende Menschen bietet. Breite Rampen winden sich nach oben, auf denen viele Flüchtende rasch laufen können. Im Ernstfall mag es dort oben dann recht eng zugehen, vielleicht reißen die Wellen auch die Fluchtrampen weg. Aber die Menschen

auf der Plattform sind in Sicherheit, das allerwichtigste Ziel des Tsunami-Frühwarnsystems ist erreicht.

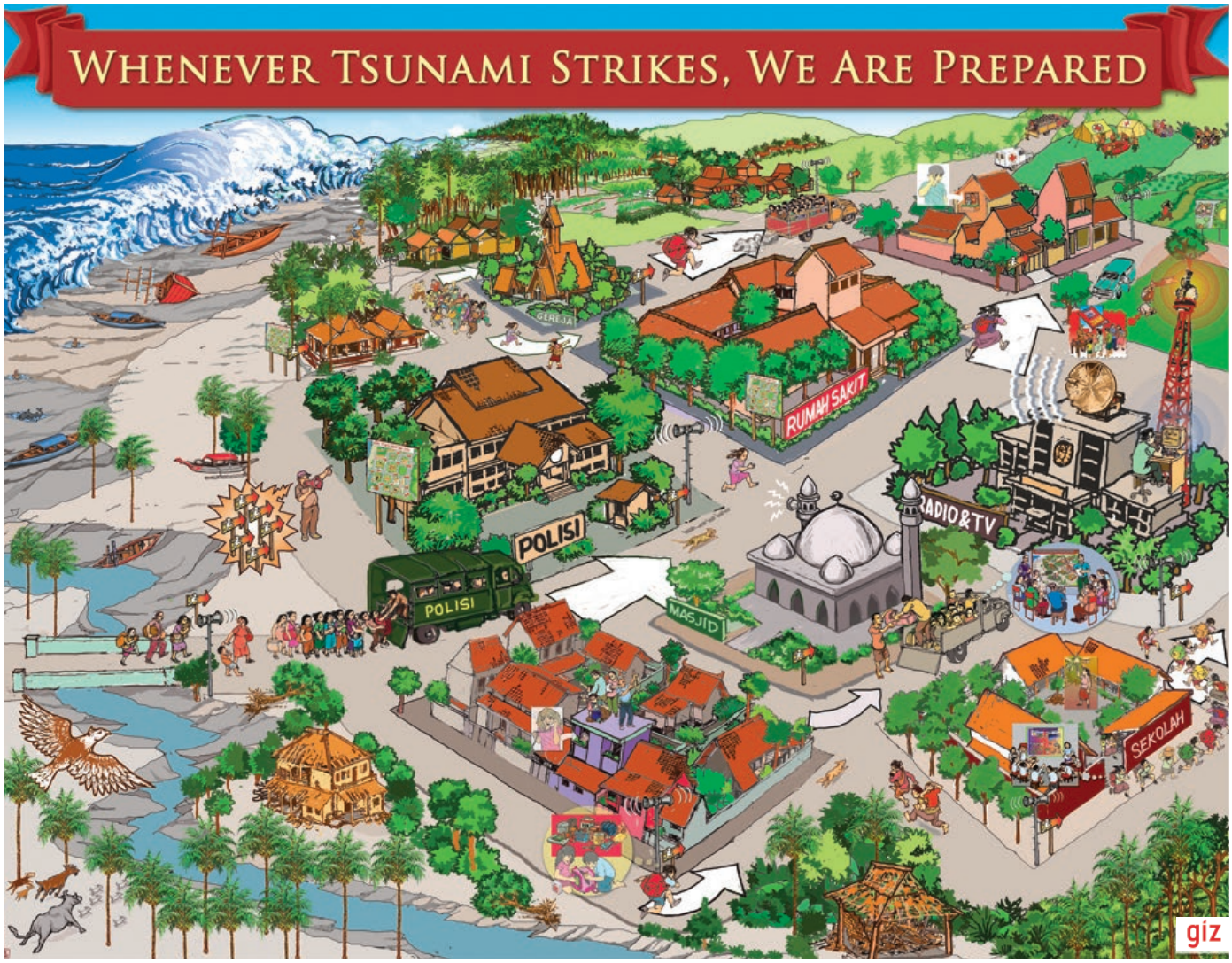
Übung für das Überleben

Noch immer aber fehlt die letzte, ganz entscheidende Stufe zur Lebensrettung: Die Betroffenen müssen richtig reagieren, wenn die Tsunami-Warnung kommt. Das aber klappt nur, wenn den Menschen die nötigen Verhaltensweisen eingetrichtert werden. Sei es der freundliche Rentner in seiner Hütte in der Großstadt Padang, der den Nachbarn erzählt, wie sie bei einem Tsunami die besten Chancen haben. Sei es der Lehrer, der bereits in der Grundschule den Kindern möglichst viel rund um die Riesenwellen beibringt. Oder sei es eine Übersichtstafel mit Cartoons, auf denen nicht nur die natürlichen Hinweise auf einen drohenden Tsunami, sondern auch richtige Verhaltensweisen und Fluchtmöglichkeiten gezeigt werden.

Soweit die Theorie. Um im Ernstfall gute Überlebenschancen zu haben, muss solches effektive Tsunami-Verhalten auch geübt werden. In Schulen und Betrieben werden Tsunami-Warnungen daher immer wieder durchgespielt. Jeder Einzelne muss genau wissen, was er tun soll, um sich selbst zu retten und was er tun kann, um anderen zu helfen. Wenn ein Tsunami auf die Küste zurollt, bleibt schließlich keine Zeit, um lange über die Situation nachzudenken. Jeder Einzelne sollte das richtige Verhalten so oft geübt haben, dass er es ganz automatisch und ohne viel darüber nachzudenken abspult. Das steigert die Überlebenschancen enorm und steht daher immer wieder auf dem Stundenplan oder am Schwarzen Brett.

Tsunami-Drill: Übung 2007
Tsunami Informationsbroschüre (re.)

TSUNAMI*Kit*
Developing Early Warning and Community Preparedness in Indonesia



Tsunami Information als Comic

4. Weit über Indonesien hinaus

Unter dem Indischen Ozean wird die Erde auch in Zukunft immer wieder heftig beben und dabei Riesenwellen auslösen, die bereits 20 Minuten später die Küsten der großen Inseln Indonesiens und später auch andere Länder an diesem Weltmeer verwüsten. Bevor sie beginnen, lassen sich weder ein Tsunami noch ein Erdbeben verhindern oder vorhersagen. Auch in Zukunft werden diese Naturkatastrophen daher große Schäden anrichten, Menschen werden in den Fluten sterben. Die Zahl der Opfer aber kann das Deutsch-Indonesische Tsunami-Frühwarnsystem erheblich verringern.

Die Kette hält

In großen Übungen hat die gesamte Tsunami-Frühwarn-Kette inzwischen gezeigt, dass die einzelnen Glieder funktionieren und effektiv ineinander greifen. Das gilt für die Technik mit den Erdbeben- und GPS-Stationen sowie den Küstenpegeln und der schnellen Datenübertragung. Genauso wichtig sind die raffinierten Computerprogramme, die aus allen Daten bereits fünf Minuten nach Beginn des Bebens abschätzen, wann ein Tsunami die jeweiligen Küsten erreicht und wie hoch er dort aufläuft, sowie mit den laufend neu eintreffenden Daten diese Ergebnisse in den nächsten Minuten immer weiter präzisiert. Aber auch dort, wo der Mensch im Zentrum steht, zeigen groß angelegte Übungen vom Nationalen Tsunami-Warnzentrum in Jakarta bis zu den Bewohnern an der Küste, dass die Kette hält.

Der Katastrophenschutz vor Ort liegt als nationale Aufgabe ausschließlich in der Verantwortung Indonesiens und seiner regionalen und lokalen Verwaltungen. Die dort gemachten Erfahrungen können durchaus anderen Tsunami-gefährdeten Regionen helfen, sie können aber auch auf Gebiete übertragen werden, in denen Erdbeben direkt Menschenleben gefährden.

Gütesiegel der Vereinten Nationen

Die für Tsunami-Gefährdung zuständige Zwischenstaatliche Ozeanographische Kommission (Intergovernmental Oceanographic Commission oder kurz IOC) der Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur (UNESCO) hat am 28. September 2010 das Tsunami-Frühwarnsystem GITEWS bewertet. Die Gutachterkommission aus internationalen Experten und den Leitern aller anderen internationalen Tsunami-Frühwarnzentren gab dem Projekt dabei sehr gute Noten.

Diese Bewertung war wohl auch entscheidend für einen weiteren Beschluss der IOC: Seit November 2012 ist das Tsunami-Warnzentrum in Jakarta mit dem gesamten Frühwarnsystem eines von drei übergeordneten Zentren für die Tsunami-Warnung (Regional Tsunami Service Provider oder kurz RTSP) im Indischen Ozean. Damit löst Indonesien die Länder Japan und die USA ab, die bis dahin diesen Dienst für den Indischen Ozean in Vertretung übernommen hatten. Genau wie die beiden anderen RTSP Australien und Indien informiert jetzt Indonesien die Länder an den Küsten des Indischen Ozeans über einen Tsunami, der ihre Region gefährdet.

Eine Investition in die Zukunft

60 Millionen Euro hat Deutschland in das Deutsch-Indonesische Tsunami-Frühwarnsystem investiert. Als sich Bundeskanzlerin Angela Merkel am 11. Juli 2012 in Indonesien das Projekt genau erklären ließ, meinte sie dazu: „Ich glaube, das Geld ist hier wirklich gut eingesetzt.“

Nicht nur Politiker und Regierungen, sondern auch Wissenschaftler und Techniker geben GITEWS Bestnoten: Einzelne Komponenten des Systems wie zum Beispiel das SeisComP3-Computerprogramm, das blitzschnell aus den in den Mess-Stationen ankommenden Erdbebenwellen die wesentlichen Kenngrößen eines Bebens errechnet, haben längst einen Siegeszug durch die gefährdeten Regionen der Welt angetreten und kommen in vielen Ländern zum Einsatz.

Riesenwellen im Pazifik

Mit einigen Anpassungen könnte das Deutsch-Indonesische Tsunami-Frühwarnsystem im Indischen Ozean auch auf andere Meeresgebiete übertragen werden. Besonders wichtig ist der Pazifik, rund zwei Drittel der aus den letzten 4000 Jahren bekannten Tsunami trafen auf die Küsten dieses größten Ozeans der Erde. Ähnlich wie Indonesien werden auch dort verschiedene Küstenregionen bereits unmittelbar nach einem Erdbeben von den dadurch ausgelösten Riesenwellen verwüstet: So kostete am 11. März 2011 ein Megabeben mit der Magnitude 9,0 und der dabei ausgelöste Tsunami in Japan mehr als 15 000 Menschen das Leben. Ein Jahr vorher suchte am 27. Februar 2010 ein weiteres starkes Beben der Magnitude 8,8 und der folgende Tsunami die Küste Chiles heim, 531 Tote wurden nach dieser Katastrophe gezählt.

Japan baut daher sein längst vorhandenes Tsunami-Frühwarnsystem aus und nutzt dabei auch Erfahrungen aus dem Indischen Ozean. Nachdem am 01. April 2014 ein weiterer Tsunami nach einem Beben der Magnitude 8,2 den Norden der chilenischen Küste traf, überlegt das Land, seine lange Zusammenarbeit mit den GFZ-Erdbebenforschern auch auf die Frühwarnung vor Tsunami auszudehnen.

Tsunami im Atlantik

Neben dem Indischen Ozean und dem Pazifik koordiniert die IOC auch in der Karibik, sowie im Atlantik, im Mittelmeer und im Schwarzen Meer die Einrichtung von Tsunami-Frühwarnsystemen. Karibik und Nordost-Atlantik tragen zu den mehr als 3000 bekannten Tsunami aus den letzten 4000 Jahren zwar jeweils nur wenige Prozent bei. Obwohl die Riesenwellen dort sehr selten auftreten,

sind sie durchaus gefährlich: So starben bei einem gewaltigen Erdbeben und dem dadurch ausgelösten Tsunami am 01. November 1755 in der portugiesischen Hauptstadt Lissabon und den umliegenden Gemeinden vermutlich 30 000 bis 100 000 Menschen. Nach der Katastrophe an Weihnachten des Jahres 2004 hat Portugal also mit gutem Grund ein nationales Tsunami-Warnzentrum eingerichtet.

Im Atlantik vor der Küste Norwegens brachte plötzlich aus dem Tiefseeboden aufsteigendes Methangas vor achttausend Jahren einen gigantischen Berghang unter Wasser ins Rutschen und löste einen Tsunami aus. Dieser löschte anscheinend den größten Teil der Steinzeitbevölkerung Norwegens und Schottlands aus.

Naturkatastrophen an den Stränden des Mittelmeers

Viel häufiger und gefährlicher als am Atlantik und in der Karibik aber sind Tsunami im Mittelmeer. Dort haben GFZ-Forscher fast ein Fünftel aller beobachteten Riesenwellen ermittelt. Damit liegt das Mittelmeer hinter dem Pazifik, aber noch vor dem Indischen Ozean auf Platz Zwei der Tsunami-Katastrophen-Regionen.

So starben mehr als 70 000 Menschen nach einem Erdbeben mit einer geschätzten Magnitude von 7,2 und dem dadurch ausgelösten Tsunami am 28. Dezember 1908 in Sizilien und an der Spitze des italienischen Stiefels. Am 9. Juli 1956 erschütterte ein Beben die Ägäis zwischen Griechenland und der Türkei, zwanzig bis 25 Meter liefen die Riesenwellen die Küsten der Insel Amorgos hoch und rissen 53 Menschen in den Tod.

Genau wie in Indonesien erreicht auch im Mittelmeer ein Tsunami oft schon nach wenigen Minuten dicht bevölkerte Küsten. Auch dort könnte ein Tsunami-Frühwarnsystem bei einem zukünftigen Beben viele Menschenleben retten. Einzelne Länder wie Frankreich und die Türkei arbeiten längst an Lösungen auf nationaler Ebene. Besser wäre allerdings ein System, bei dem alle Mittelmeerländer an einem Strang ziehen. Ihm kämen viele Komponenten und Erfahrungen des Deutsch-Indonesischen Tsunami-Frühwarnsystems zugute. Die politisch instabile Situation in mehreren Ländern an der Südküste des Mittelmeers, aber auch der mangelnde Wille zur Zusammenarbeit zwischen Nachbarländern zum Beispiel im Nahen Osten verhindern allerdings bisher einen internationalen Ansatz nach dem Vorbild des weltweit führenden Tsunami-Frühwarnsystems im Indischen Ozean.

Verhindern kann ein Frühwarnsystem ein starkes Erdbeben und einen dadurch ausgelösten Tsunami nicht; auch zukünftig wird es immer wieder zu Todesopfern und größeren Sachschäden kommen. Aber durch den Aufbau eines Frühwarnsystems unter Einbeziehung organisatorischer Maßnahmen und durch umfassendes Capacity Building können die Auswirkungen solcher Naturkatastrophen gemindert werden.

GITEWS und PROTECTS sind Beiträge Deutschlands zum Wiederaufbau der Infrastrukturen in der Region des Indischen Ozeans. Beide Projekte wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)
(Konsortialführer)

Alfred-Wegener-Institut
Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Eschborn

Helmholtz-Zentrum Geesthacht
Zentrum für Material- und Küstenforschung

Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM), Berlin

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Universität der Vereinten Nationen, Institut für Umwelt und Menschliche Sicherheit (UNU-EHS), Bonn

Indonesische Partner

Staatsministerium für Forschung und Technologie (RISTEK), Jakarta

Nationaler Dienst für Meteorologie, Klimatologie und Geophysik (BMKG), Jakarta

BIG – Nationale Behörde für Daten und Geoinformation

Nationales Technologiezentrum für Marine Erkundung (BPPT)

Nationales Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt (LAPAN)

Nationale Behörde für Katastrophenschutz (BNPB)

Lokale Katastrophenschutzbehörden (BPBD)

Nationales Institut der Wissenschaften (LIPI), Bandung

Staatliche Abteilung für Information und Kommunikation (DEPKOMINFO), Jakarta

Sekretariat des Nationalen Koordinierungsrates für Katastrophenmanagement und interne Flüchtliche (BAKORNAS PBP), Jakarta

Impressum

Herausgeber:
Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)
Telegrafenberg
14473 Potsdam

Verantwortlich:
Dr. Jörn Lauterjung, Daniel J. Acksel

Text:
Roland Knauer

Layout:
Pia Klinghammer

Druck:
Brandenburgische Universitätsdruckerei
3. Auflage, Februar 2015

Bildnachweis

Alle Abbildungen GFZ Potsdam
außer:

Seite 4, 8 **J. Borrero/USC/TRC**
Seite 5 **UN/E. Schneider**
Seite 6 **Jamstec**
Seite 10 **BMKG**
Seite 11, 23, 26 **DLR**
Seite 19 **AWI**
Seite 22 oben, 25 rechts, 27, 28 unten, 29, 31 **GIZ**

HELMHOLTZ | GEMEINSCHAFT

GFZ, AWI, DLR, HZG und GEOMAR sind Mitglieder der Helmholtz-Gemeinschaft