

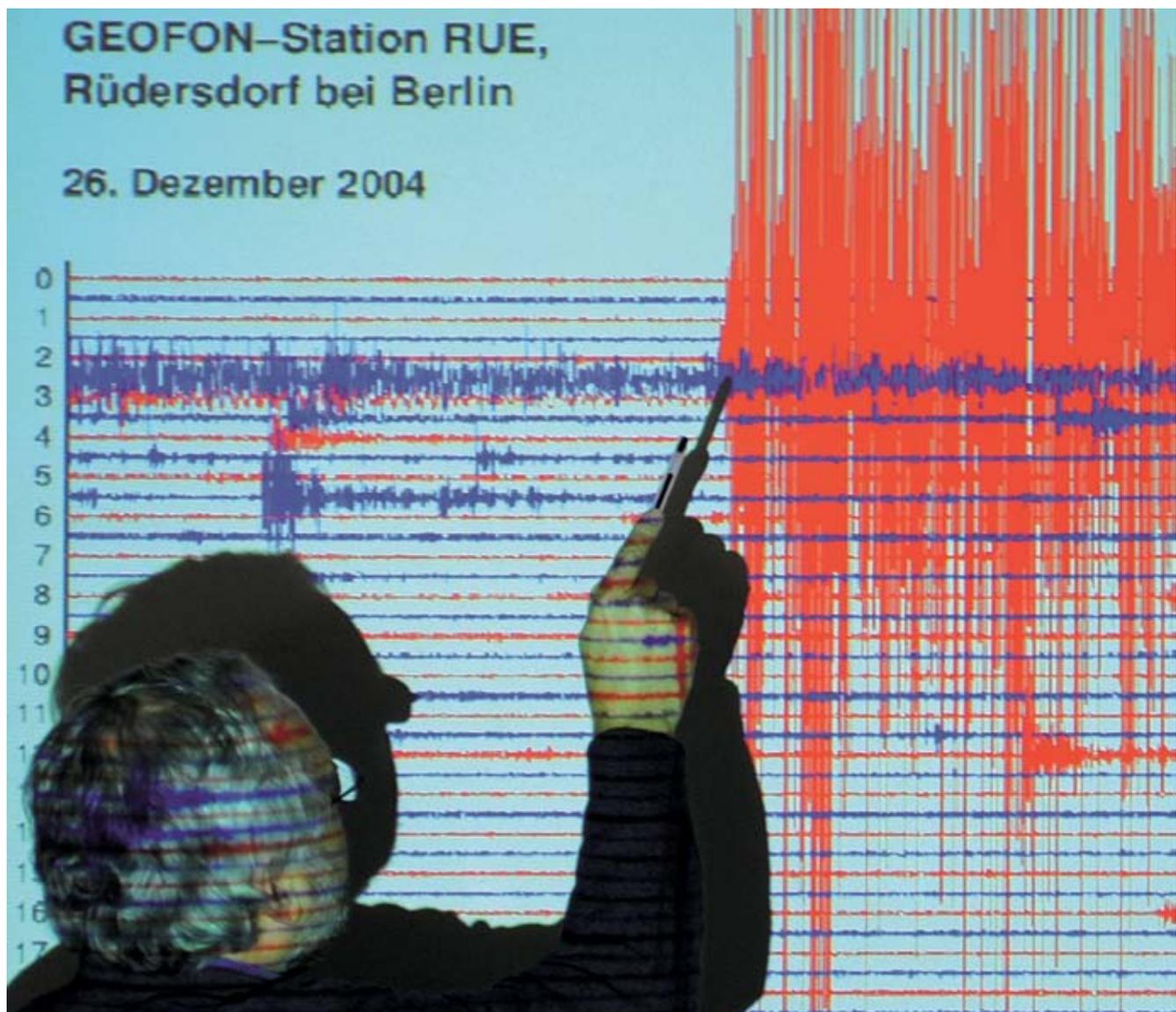
Frühwarnsysteme

# GITEWS – das Tsunami-Frühwarnsystem für den Indischen Ozean

Jörn Lauterjung <sup>1</sup>, Winfried Hanka <sup>1</sup>, Tilo Schöne <sup>1</sup>, Markus Ramatschi <sup>1</sup>, Andrey Babeyko <sup>1</sup>, Joachim Wächter <sup>1</sup>, Carsten Falck <sup>1</sup>, Claus Milkereit <sup>1</sup>, Ute Münch <sup>2</sup>, Alexander Rudloff <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Deutsches GeoForschungszentrum GFZ, Potsdam, <sup>2</sup> GFZ, jetzt Koordinierungsbüro GEOTECHNOLOGIEN, Potsdam

*The tsunami of 26 December 2004 in the Indian Ocean, generated by an earthquake with a magnitude of 9.3 offshore Northern Sumatra, caused one of the largest natural disasters in history. As a reaction to this devastating catastrophe a Tsunami Early Warning System is being developed and installed in the region since 2005. This article describes the causes of a tsunami, and explains the concept, technical components and functionality of the Early Warning System.*



Der verheerende Tsunami vom 26. Dezember 2004 im Indischen Ozean wurde vom drittstärksten Erdbeben der letzten 100 Jahre mit einer Magnitude von 9,3 vor der Nordküste Sumatras ausgelöst. Hier riss innerhalb von rund zehn Minuten der Meeresboden über eine Strecke von 1200 Kilometern auf. Der vertikale Versatz am Meeresboden betrug bis zu zehn Meter.

Rund zwanzig Minuten nach den ersten Erdstößen trafen die ersten Tsunami-Wellen auf die Nordwestküste der Insel und verwüsteten Banda Aceh nahezu vollständig. Allein in Indonesien starben fast 170 000 Menschen. Der Tsunami erreichte nach anderthalb Stunden Thailand, zerstörte nach zwei Stunden die Küste Sri Lankas, wanderte weiter nach Westen und erreichte schließlich die Ostküste Afrikas. Auch dort starben rund acht Stunden nach dem Erdbeben noch Hunderte von Menschen. Insgesamt forderte er rund 230 000 Menschenleben.

Zwar war dieses gewaltige tektonische Ereignis von allen seismologischen Netzen auf der Erde erfasst worden, es bestand aber keine Möglichkeit der Warnung, da für den Indischen Ozean kein Tsunami-Frühwarnsystem existierte. Kein Staat am Indischen Ozean war auf das Eintreten einer solchen Katastrophe vorbereitet, Handlungsoptionen für Notfälle, Alarmpläne oder gar Evakuierungspläne waren nicht vorhanden. Die Katastrophe hat die betroffenen Regionen völlig unvorbereitet getroffen. Dabei ist die tektonische Gefährdung der Region lange bekannt.

Unmittelbar nach dieser Katastrophe hat ein Konsortium deutscher Forschungseinrichtungen<sup>1</sup> unter Federführung des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ der Bundesregierung ein Konzept zur Einrichtung eines Tsunami-Frühwarnsystems im Indischen Ozean vorgelegt, das „German Indonesian Tsunami Early Warning System“ (GITEWS). Es wurde bereits Ende Januar 2005 in Kobe, Japan, der internationalen Öffentlichkeit vorgestellt und wird seit März 2005 mit dem Schwerpunkt in Indonesien umgesetzt (Rudloff et al., 2009).

<sup>1</sup> Konsortialpartner: Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln/Oberpfaffenhofen; Helmholtz-Forschungszentrum Geesthacht HZG (ehemals GKSS); Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam; Leibniz-Institut für Meeresforschung IfM-Geomar, Kiel; Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GIZ (ehemals GTZ), Eschborn; United Nations University, Institute for Environmental and Human Security (UNU-EHS), Bonn; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover; Konsortium Deutscher Meeresforschung KDM, Berlin



**Kontakt:** Jörn Lauterjung  
(lau@gfz-potsdam.de)

## Die Ursache

Etwa 90 % der Tsunami werden durch starke untermeerische Erdbeben an Kollisionszonen zwischen Ozeanplatten und Kontinenten verursacht (Abb. 1). Ursachen der restlichen 10 % sind Vulkanausbrüche oder untermeerische Hangrutschungen.

Im Indischen Ozean ist der Sunda-Bogen eine solche Kollisionszone, an der die Indisch-Australische Platte mit einer Geschwindigkeit von sieben Zentimetern pro Jahr unter die Eurasische Platte geschoben wird. Der Bogen erstreckt sich parallel zu den Küsten Indonesiens im Indischen Ozean. Mit einer Länge von 6000 Kilometern gehört er zu den aktivsten Plattengrenzen der Erde und birgt daher ein starkes Erdbebenrisiko.

Aber nur ein Beben, das zu einer starken Vertikalbewegung des Ozeanbodens führt, kann einen Tsunami auslösen, da es seine Energie auf die Wassersäule überträgt und sich so die Ozeanoberfläche aufwölbt. Diese initiale „Welle“ beginnt dann, angetrieben durch die Schwerkraft, durch den Ozean zu laufen. Ihre zerstörerische Kraft entwickelt sie erst im flachen Wasser und beim Auflaufen auf die Küste, wo sie langsamer, dafür aber höher wird. In Banda Aceh wurden 2004 Wellenhöhen von über 20 Metern beobachtet.

## Schneller reagieren: ein neues Tsunami-Warnsystem

In Indonesien liegt die besondere Herausforderung darin, dass die Erdbebenzone weitgehend parallel und in dichtem Abstand zur Küste über eine Länge von mehreren tausend Kilometern verläuft (Lauterjung et al., 2010). Die Laufzeiten eines Tsunami bis zur Küste liegen hier zwischen 20 und 40 Minuten. Die ersten Informationen müssen spätestens nach fünf bis zehn Minuten vorliegen, weil die Bevölkerung sonst keine Chance hat zu reagieren. Diese extrem kurze Vorwarnzeit bestimmt die technische und geografische Auslegung eines Tsunami-Frühwarnsystems. Das System muss zudem in der frühen Phase des Warnprozesses mit wenigen Informationen und Messwerten auskommen, die teilweise mit Unsicherheiten behaftet sein können.

## Die Komponenten von GITEWS

GITEWS baut auf diesen Bedingungen auf und beruht daher einerseits auf dichten Sensornetzwerken nahe der Gefährdungsquelle, dem Sunda-Bogen, zum anderen nutzt es unterschiedliche Messverfahren, um schnell voneinander unabhängige Informationen zu erhalten. So können die jeweiligen Unsicherheiten der einzelnen Messwerte der verschiedenen Sensorsysteme ausgeglichen und reduziert werden. Folgende Komponenten und Messverfahren werden dabei kombiniert:

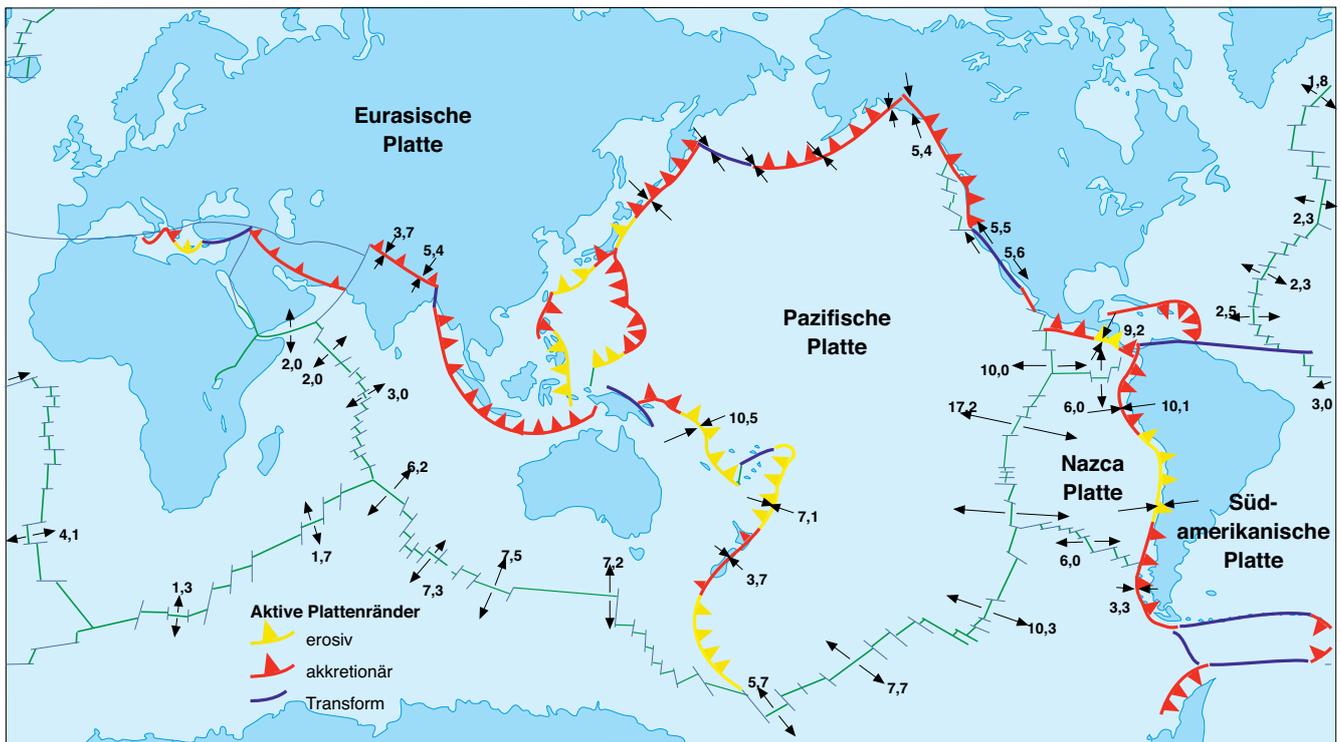


Abb. 1: Globale tektonische Karte mit den Großplatten, den in den Ozeanen liegenden Spreizungszonen (in grün) und den Kollisionsstrukturen (gelb, rot und blau).

Fig. 1: Global tectonic map showing tectonic plates, oceanic spreading zones (green) and active continental margins (yellow, red and blue)

### Erdbebenmonitoring

Die Positionierung der Seismometer und der Aufbau des Netzwerks in Indonesien folgt der Forderung, dass ein Erdbeben innerhalb von zwei Minuten an mindestens drei Stationen des Netzes registriert wird und somit eine erste Lokalisierung sehr schnell erfolgen kann (Abb. 2).

Dabei wird die Lokalisierung und Magnitudenbestimmung im Lauf der folgenden Minuten durch die Einbeziehung weiterer Stationen immer sicherer und präziser. Kernstück des Systems ist die speziell für Frühwarnsysteme neu entwickelte Auswertesoftware SeisComp3 des GEOFON-Netzes (Hanka et al., 2010).

Das Erdbebenmonitoring-System in Indonesien wurde in enger Kooperation mit indonesischen, japanischen und chinesischen Partnern umgesetzt. Mittlerweile sind 160 seismische Stationen in Indonesien aufgebaut. Mit diesem System werden Erdbeben in Indonesien innerhalb von zwei bis vier Minuten lokalisiert und die Magnituden berechnet. Der gesamte Frühwarnprozess wird durch die Meldungen des seismischen Systems ausgelöst.

### Deformationsmonitoring

Ein im Vergleich zu bereits existierenden Frühwarnsystemen völlig neuer Ansatz ist der Einsatz von GPS zur Überwachung der erdbebenbegleitenden Deformationen. Aus den gemessenen GPS-Vektoren kann bereits kurz nach einem starken Erdbeben die Richtung des Erdbebenbruchs bestimmt werden. Da sich aus der Seismologie in den ersten fünf bis zehn Minuten lediglich die Lage des Epizentrums und die Magnitude, aber keine fundierten Daten zur Geometrie des Bruchs bestimmen lassen, ergänzen sich beide Methoden ideal. Die Geometrie des Bruchs ist von entscheidender Bedeutung für den Entscheidungsprozess zur Auswahl eines geeigneten Lagebildes (siehe Abschnitt zur Entscheidungsfindung unten). Das GPS-Monitoring (Falck et al., 2010) entlang der Küste Indonesiens bis zum Indischen Ozean hin wird über ein Referenznetz von GPS-Stationen gemeinsam mit über ganz Indonesien verteilten seismischen Stationen ausgeführt. Eingebunden sind auch GPS-Stationen entlang der Küstenlinie und auf vorgelagerten Inseln. Teilweise befinden sich diese GPS-Stationen auf den Küstenpegeln. Die erforderliche Genauigkeit von einigen Zentimetern wird durch die gleichzeitige Prozessierung der GPS-Stationen in der Nähe eines Erdbebens und der Referenzstationen erreicht. Die nachträgliche Auswertung der Aufzeichnungen existierender GPS-Stationen während des Sumatra-Bebens 2004 ergab Verschiebungen bis zu zehn Meter horizontal und drei Meter vertikal an der Erdoberfläche.

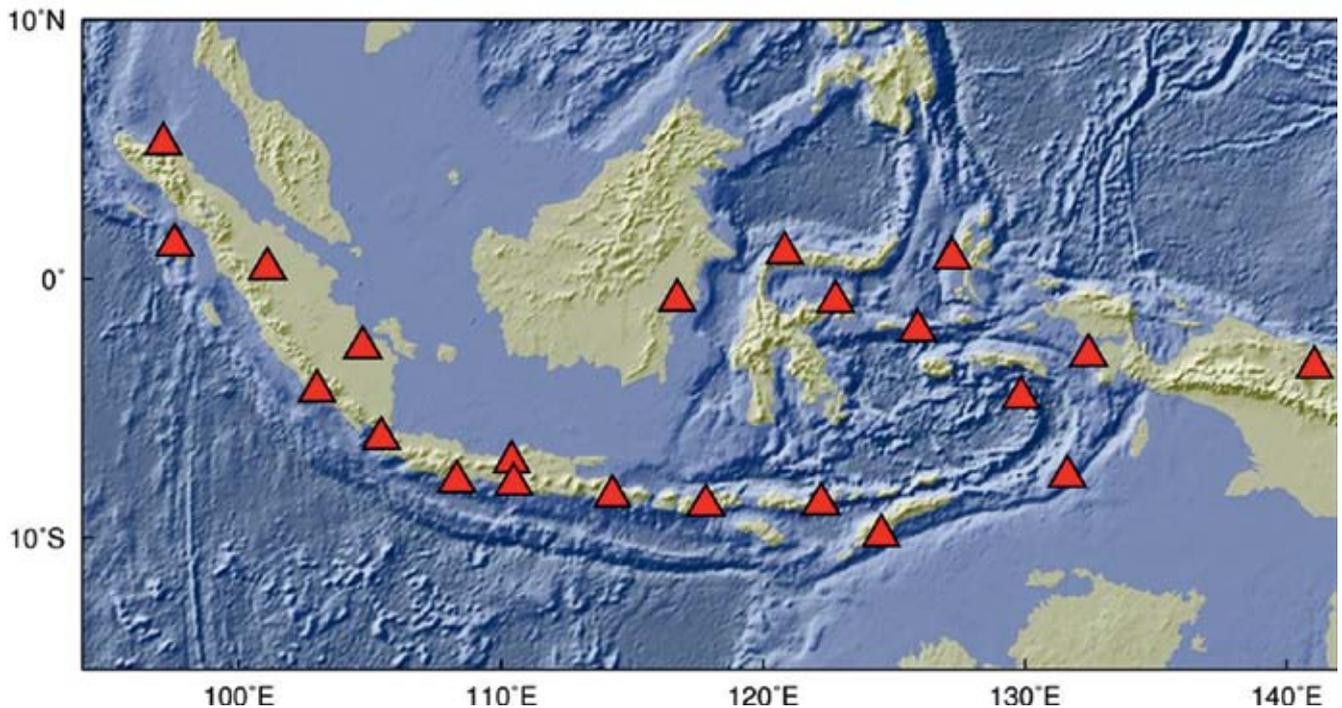


Abb. 2: Verteilung der seismischen Stationen in Indonesien

Fig. 2: Distribution of seismic stations in Indonesia

### Ozeaninstrumentierung

Da nicht jedes Seebeben einen Tsunami erzeugt, muss die Tsunami-Welle im Ozean selbst gemessen werden, um unnötige Fehlalarme zu vermeiden. Tsunami-Wellen erzeugen Druckänderungen am Ozeanboden, die sehr genau mit Messsystemen, die aus einer Ozeanbodeneinheit und einer Boje bestehen, erfasst werden können. Die Boje selbst dient nicht nur als Relaisstation für die Übertragung der Druckdaten vom Ozeanboden, sondern kann über eigene, genaue GPS-Messungen ihrer vertikalen Position Seegangdaten aufnehmen. Bei einem Tsunami überlagern sich der normale Seegang und die Tsunami-Welle. Da der normale Seegang deutlich kürzere Wellenlängen als eine Tsunami-Welle hat, können beide Effekte durch eine mathematische Filterung voneinander getrennt werden. Die Sicherheit des Gesamtsystems kann so mit einer von der Druckmessung unabhängigen Methode zur Erfassung der Tsunami-Welle erhöht werden. Insgesamt sind zehn dieser Systeme entlang der West- und Südküste Indonesiens ausgebracht worden.

Weitere ozeanographische Daten werden über Küstenpegel bestimmt, die an den Westküsten der Sumatra vorgelagerten Inseln sowie auf weiteren Inseln im und Häfen am Indischen Ozean aufgebaut wurden (Abb. 3).

### Modellierung und Simulation

Modelle des gesamten Indischen Ozeanbeckens lassen sich nicht in hinreichend kurzer Zeit erstellen. Daher wurden bereits im Vorfeld mehr als 2000 Simulationen berechnet, die unterschiedliche Erdbebenlokationen entlang des Sunda-Bogens sowie eine Variation der Bebenstärken und damit der Erdbebenrisslängen berücksichtigen (Behrens et al., 2010). Diese Modellergebnisse sind in einer Datenbank abgelegt. Das Modellierungssystem besteht dabei aus einem Modul, mit dem die Anregungsfunktion, also die Verformung des Meeresbodens als Folge des Erdbebens, berechnet wird (Babeyko et al., 2010). Ein weiteres Modul kalkuliert die Ausbreitung der Tsunami-Welle im Ozean und das Auflaufen auf die Küste. Melden das Erdbebenmonitoring-System und die ozeanographischen Messungen einen Tsunami, wird mit den gemessenen Parametern – Erdbebenlokation, Bebenmagnitude, krustale Deformation und Wellenhöhe im tiefen Ozean – die am besten geeignete, vorher berechnete Simulation als Basis für eine Warnmeldung aus der Datenbank ausgewählt und in eine Gefährdungskarte für die betreffenden Küstenabschnitte umgesetzt. Der gesamte Prozess läuft im Daten- und Frühwarnzentrum automatisiert innerhalb weniger Sekunden ab. Die Tsunami-Simulationen spielen für den gesamten Warnprozess eine zentrale Rolle, weil nur so aus den an wenigen Punkten vorliegenden Messdaten ein Gesamtbild der Lage erzeugt werden kann. Schon kurze Zeit nach einem Erdbeben werden Ankunftszeiten, Wellenhöhen oder Überflutungsbereiche an den betroffenen Küstenabschnitten

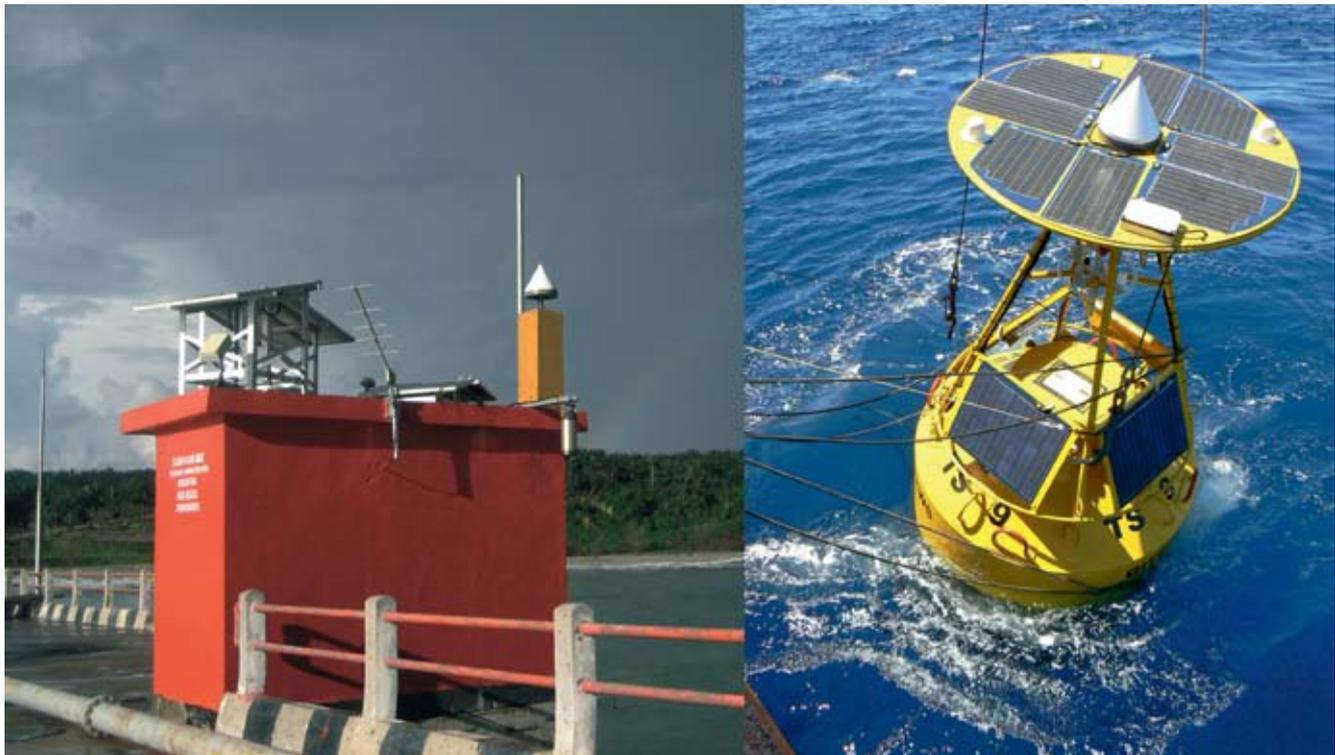


Abb. 3: Ozean-Instrumentierung: Pegelstation (links) und GPS-Boje (rechts)

Fig. 3: Ocean instrumentation: Coastal tide gauge (left) and GPS buoy (right)

abgeschätzt. In Kombination mit weiteren Daten, wie z. B. der Besiedlungsstruktur, ergibt sich eine erste Lageeinschätzung für Behörden und Bevölkerung.

#### Das Daten- und Frühwarnzentrum

Herzstück des Frühwarnsystems ist das Warnzentrum, in dem die Daten der über Satellitenkommunikation online verfügbaren Messsysteme einlaufen. Sie werden hier direkt verarbeitet und in speziellen Verfahren auf mögliche Anzeichen eines starken Bebens oder das Auftreten einer Anomalie des Meeresspiegels untersucht. Ein Entscheidungs-Unterstützungssystem fasst die Ergebnisse zusammen, gibt dem diensthabenden Verantwortlichen so einen Überblick über die momentane Situation und generiert Entscheidungsvorschläge (Steinmetz et al., 2010).

In Indonesien verteilt das Warnzentrum in Jakarta die Warnmeldung über verschiedene Kanäle. Wichtigster Kommunikationsweg ist eine direkte Telefonverbindung zu lokalen Polizeistationen, die konkrete Aktivitäten – z. B. Evakuierungen – durchführen sollen. Daneben werden über Internet und Fax weitere Institutionen in Indonesien von einer Tsunami-Warnung unterrichtet. Außerdem werden SMS-Meldungen generiert sowie Rundfunk- und Fernsehkanäle informiert. Extrem wichtig ist eine schnelle Verbreitung der Warnmeldung, da die Vorwarnzeiten in Indonesien im schlimmsten Fall mit 20 bis 40 Minuten sehr kurz sind.

#### Die Entscheidungsfindung

Die Warnmeldungen basieren auf vorher berechneten Tsunami-Simulationen, die über eine Datenbank verfügbar sind. Die Herausforderung bei der Entscheidungsfindung ist die Identifizierung desjenigen Szenarios, das die Situation am besten widerspiegelt. Dazu reicht es nicht aus, die Erdbebenlokation und Magnitude zu kennen sowie ggf. die Verifizierung einer Tsunami-Boje zu erhalten. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass Erdbeben keine Punktquellen sind; gerade bei starken Erdbeben können Risslängen von einigen hundert Kilometern beobachtet werden. Die Energie kann also entlang der gesamten Risslänge auf die Wassersäule übertragen werden. Dies spielt besonders für die Tsunami-Warnung und -Vorhersage im Nahbereich eines Erdbebens, wie beim Sunda-Bogen, eine entscheidende Rolle (Abb. 4). Bei einem Tsunami im Nahfeld liegt die Entfernung vom Erdbebenort bis zur Küstenlinie in der gleichen Größenordnung wie die Bruchlänge des Erdbebens. In diesem Fall sind die genaue Lage der Bruchfläche und die Verschiebungsvektoren auf dieser entscheidend für die Tsunami-Vorhersage an einem bestimmten Küstenpunkt.

Als einziges Frühwarnsystem weltweit verfügt GITEWS über ein automatisches Multiparameter-Selektionsverfahren für die Auswahl eines passenden Tsunami-Szenarios zur Entscheidungsunterstützung (Behrens et al., 2010). Der Aus-

wahlprozess funktioniert nach folgendem Schema: Die Erdbebenparameter Lokation und Magnitude dienen als erstes Auswahlkriterium für die Eingrenzung möglicher Szenarien. Für alle anderen Sensoren wurde für jedes verfügbare Szenario die theoretische Antwortfunktion des jeweiligen Sensors vorab berechnet und ebenfalls in der Datenbank abgelegt. Für die ozeanographischen Sensoren (Bojenysteme, Küstenpegel) sind dies die Ankunftszeit des Tsunami am Sensor und dessen Höhe. Für jede GPS-Station wurde der zum jeweiligen Szenario gehörende Deformationsvektor berechnet (Babeyko et al., 2010). Durch einen Vergleich der berechneten mit den tatsächlich gemessenen Werten wird die Liste der möglichen Szenarien weiter eingeschränkt. Über einen „Gütefaktor“, der die Unsicherheiten der Eingangsdaten berücksichtigt, erfolgt dann eine Priorisierung der ausgewählten Szenarien.

Aus den oben diskutierten Argumenten wird die Bedeutung der zusätzlichen GPS-Information im frühen Stadium der Warnung deutlich. Ein dichtes GPS-Netzwerk entlang Tsunami gefährdeter Küsten, idealerweise kombiniert mit Küstenpegeln, ist ein effektives und kostengünstiges Instrument zur schnellen Charakterisierung der Geometrie starker Erdbeben und damit für die Tsunami-Vorhersage im Nahfeld.

## Capacity Building

Die Einbindung lokaler Wissenschaftler und Techniker im Rahmen eines Ausbildungs- und Trainingsprogramms innerhalb von GITEWS sowie gezielte Maßnahmen zur Entwicklung eines Ge-

fahrenbewusstseins in der indonesischen Bevölkerung haben zum Ziel, einen Verlust an Menschenleben in katastrophalen Ausmaßen zu vermeiden. Diese Maßnahmen werden unter dem Begriff „Capacity Building“ zusammengefasst. Wichtig dabei ist, dass die Maßnahmen, möglichst durch einen entsprechenden Gesetzesrahmen unterstützt, langfristig angelegt sind.

Damit ein Tsunami-Frühwarnsystem erfolgreich betrieben und dauerhaft aufrechterhalten werden kann, müssen in diesem Zusammenhang verschiedene Aspekte berücksichtigt werden (Abb. 5).

Für den technischen Betrieb, die Wartung der Instrumente und die Weiterentwicklung des Systems müssen Wissenschaftler und technisches Personal aus- und weitergebildet werden. Dies geschieht bereits parallel zum Aufbau des Systems durch die Ausbildung von indonesischen Wissenschaftlern und Ingenieuren in Deutschland. Mittelfristig ist der Aufbau eines Disaster-Trainingszentrums zur Aus- und Weiterbildung in Indonesien geplant.

Zur Verankerung der nationalen Verantwortung im Fall von Naturkatastrophen wurde 2007 in Indonesien, unter Mitwirkung von GITEWS, ein gesetzlicher Rahmen geschaffen, in den alle Aktivitäten der Frühwarnung, des Katastrophenschutzes und präventiver Maßnahmen wie Baunormen oder die Erstellung von Flächennutzungsplänen eingebettet wurden. Diese wichtigen Rahmenbedingungen sind bislang nur in wenigen betroffenen Anrainerländern des Indischen Ozeans gegeben.

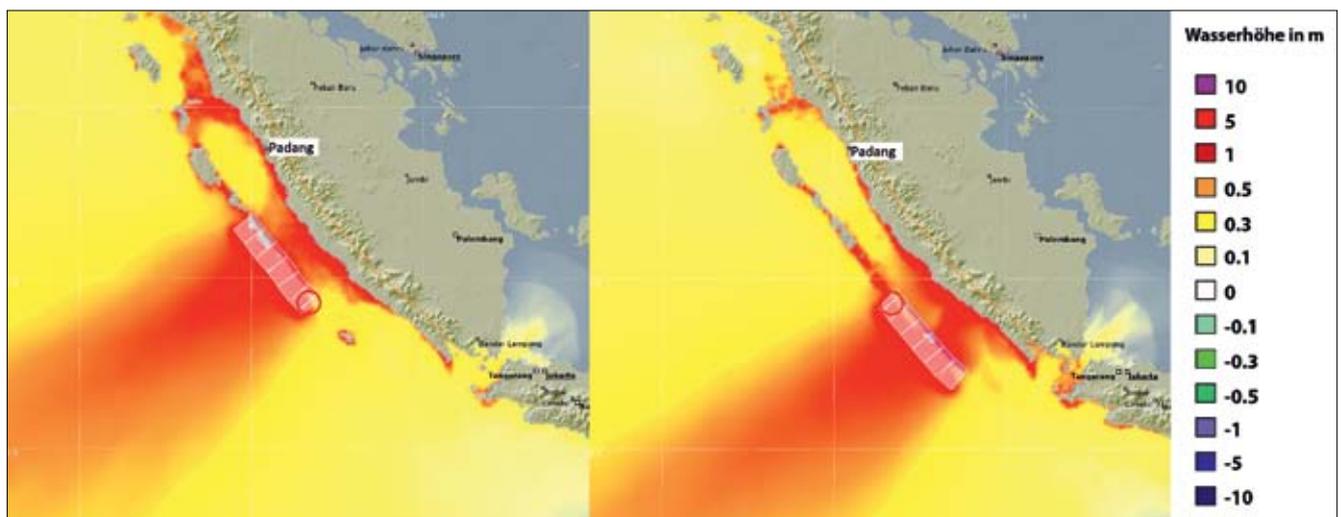


Abb. 4: Tsunami-Simulation (Wellenhöhen) für ein hypothetisches Erdbeben der Stärke 8,4 vor Bengkulu, Sumatra. Links ist die Situation für das Erdbeben mit einer Rissausbreitung vom Epizentrum nach Norden gezeigt. Besonders die Millionenstadt Padang wäre betroffen, der Süden Sumatras nicht. Rechts die Situation für das Erdbeben mit einer Rissausbreitung nach Süden. In diesem Fall wäre Padang nicht betroffen.

Fig. 4: Tsunami Simulation (wave heights) based on location and magnitude (8.4) of a hypothetical earthquake off-shore Bengkulu, Sumatra. The figure left depicts the situation for the earthquake with a rupture running from the epicentre to the north. Especially the big city Padang is strongly affected, the south of Sumatra is not. The Figure on the right hand depicts the situation for the earthquake with a rupture running from the epicentre to the south. Now the City of Padang is not affected but the south of Sumatra.



Abb. 5: Trainingskurse und Ausbildungsseminare in Indonesien mit unterschiedlichen Aktivitäten im Bereich des Capacity Building. Links oben: praktische Ausbildung zum Aufbau von Instrumenten, rechts oben: Stadtplanungsgespräche, Mitte links: Informationsveranstaltung zwischen Wissenschaftlern, Stadtverwaltung und Bürgern, Mitte rechts: Ausbildung der Bevölkerung mit Hilfe von Überflutungskarten, unten: Evakuierungsübung an einer Grundschule

Fig. 5: Training and education in Indonesia in the Capacity Building framework. Top left: practical training for instrument installation, top right: town planning, middle left: information of citizens by scientists, middle right: training of citizens using inundation maps, down: evacuation drill at a basic school

Darüber hinaus muss durch Weiterbildungsmaßnahmen sichergestellt werden, dass die für die Frühwarnung verantwortlichen Stellen die Ergebnisse in klare Warnmeldungen, Entscheidungsgrundlagen, Entscheidungshilfen und Handlungsanweisungen übersetzen können.

Der wohl wichtigste Aspekt der Ausbildung betrifft die eigentliche Zielgruppe der Frühwarnung, die Bevölkerung in den gefährdeten Regionen. Damit bei den extrem kurzen Frühwarnzeiten wirksame Maßnahmen ergriffen werden können, muss das Bewusstsein für die permanent-latente Gefährdung und mögliche präventive Schutzmaßnahmen bei der Bevölkerung geweckt und gestärkt sowie dafür gesorgt werden, dass sie im Alarmfall richtig reagiert. Diese Maßnahmen reichen z. B. von Evakuierungsübungen über regelmäßige Informationsveranstaltungen bis zu Lernmodulen im Schulunterricht. Geplant sind auch zusätzliche Maßnahmen wie die Einbeziehung von Risiko- und Vulnerabilitätskarten in die Stadt- und Landschaftsplanung zur Prävention möglicher Katastrophen (Spahn et al., 2010).

Die verheerende Tsunami-Katastrophe vom 26. Dezember 2004 hat gezeigt, dass die Anrainerstaaten des Indischen Ozeans völlig unvorbereitet getroffen wurden. In der Zwischenzeit konnten entsprechende technische Frühwarnkapazitäten aufgebaut und organisatorische Maßnahmen in fast allen Ländern um den Indischen Ozean umgesetzt werden, so dass sie heute deutlich besser auf das Risiko einer geologischen Naturgefahr vorbereitet sind (vgl. dazu den Beitrag von Küppers et al. in diesem Heft).

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 minimiert werden.

Weitere Informationen:  
<http://www.gitews.de>

GITEWS-Sonderband im Journal  
 „Natural Hazards and Earth System Sciences“ (NHES):  
[http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/special\\_issue100.html](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/special_issue100.html)

## Literatur

- Babeyko, A. Y., Hoechner, A., Sobolev, S. V. (2010): Source modeling and inversion with near real-time GPS: a GITEWS perspective for Indonesia. – *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 10, 7, 1617-1627, 10.5194/nhess-10-1617-2010
- Behrens, J., Androsov, A., Babeyko, A. Y., Harig, S., Klaschka, F., Mentrup, L. (2010): A new multi-sensor approach to simulation assisted tsunami early warning. – *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 10, 6, 1085-1110, 10.5194/nhess-10-1085-2010
- Falck, C., Ramatschi, M., Subarya, C., Bartsch, M., Hoeberechts, J., Schmidt, G. (2010): Near real-time GPS applications for tsunami early warning systems. – *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 10, 2, 181-189, 10.5194/nhess-10-181-2010
- Hanka, W., Saul, J., Weber, B., Becker, J., Harjadi, P., Fauzi, GITEWS Seismology Group (2010): Real-time earthquake monitoring for tsunami warning in the Indian Ocean and beyond. – *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 10, 12, 2611-2622, 10.5194/nhess-10-2611-2010
- Lauterjung, J., Münch, U., Rudloff, A. (2010): The challenge of installing a tsunami early warning system in the vicinity of the Sunda Arc, Indonesia. – *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 10, 4, 641-646, 10.5194/nhess-10-641-2010
- Rudloff, A., Lauterjung, J., Münch, U., Tinti, S. (2009): Preface 'The GITEWS Project (German-Indonesian Tsunami Early Warning System)'. – *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 9, 4, 1381-1382, 10.5194/nhess-9-1381-2009
- Spahn, H., Hoppe, M., Vidiarina, H. D., Usdianto, B. (2010): Experience from three years of local capacity development for tsunami early warning in Indonesia: challenges, lessons and the way ahead. – *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 10, 7, 1411-1429, 10.5194/nhess-10-1411-2010
- Steinmetz, T., Raape, U., Teßmann, S., Strobl, C., Friedemann, M., Kukofka, T., Riedlinger, T., Mikusch, E., Dech, S. (2010): Tsunami Early Warning and Decision Support. – *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 10, 9, 1839-1850, 10.5194/nhess-10-1839-2010