



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Aufbau eines Tsunami-Frühwarnsystems im Indischen Ozean

**Der deutsch-indonesische Beitrag**

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Bundesministerium  
für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Publikationen; Internetredaktion  
11055 Berlin

### **Bestellungen**

Schriftlich an den Herausgeber  
Postfach 30 02 35  
53182 Bonn

oder per  
Tel.: 01805 - 262 302  
Fax: 01805 - 262 303  
(0,12 Euro/Min.)

E-Mail: [books@bmbf.bund.de](mailto:books@bmbf.bund.de)  
Internet: <http://www.bmbf.de>

Bonn, Berlin 2004

Gedruckt auf Recyclingpapier

## **Übersicht**

Weit über 200.000 Tote waren die Folge der verheerenden Tsunami-Katastrophe im Indischen Ozean im Dezember 2004. Im internationalen Rahmen wurde beschlossen, ein Tsunami-Frühwarnsystem (IOTWS Indian Ocean Tsunami Warning System) einzurichten, das im Katastrophenfall menschliches Leid sowie wirtschaftliche Schäden möglichst gering halten soll. Die Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) der UNESCO, die bereits ein Frühwarnsystem im Pazifischen Ozean koordiniert, hat diese Aufgabe auch für den Indischen Ozean übernommen.

Deutschland hat sehr schnell Unterstützung für den Wiederaufbau der betroffenen Region zugesagt. Schwerpunkte bilden dabei die Länder Indonesien und Sri Lanka. Bereits am 13. Januar 2005 beschloss die Bundesregierung den Aufbau eines Frühwarnsystems. In einer Gemeinsamen Erklärung mit Indonesien vereinbarte Deutschland den Aufbau eines offenen Tsunami-Frühwarnsystems (TEWS) für Indonesien und ein entsprechend angepasstes Capacity Buildings für indonesische Einrichtungen. Das Frühwarnsystem soll Daten aus der durch Erdbeben am stärksten gefährdeten Region im Indischen Ozean – dem Sundabogen – zur Verfügung stellen. Allen Anrainerstaaten stehen diese Daten für eine Warnung im eigenen Land zur Verfügung. Die Integration des deutsch-indonesischen Beitrags und der Beiträge weiterer Länder zu einem Gesamtsystem für den Indischen Ozean erfolgt unter Koordination der IOC. Die Federführung in Deutschland liegt beim Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Das deutsch-indonesische Frühwarnsystem zielt darauf hin, eine sehr schnelle und gleichzeitig verlässliche Warnung zu ermöglichen. Dabei integriert es terrestrische Beobachtungsnetze der Seismologie und Geodäsie mit marinen Messverfahren sowie Satellitenbeobachtungen. Gleichzeitig berücksichtigt es die tektonischen Gegebenheiten des Indischen Ozeans. Bereits nach drei Jahren soll ein wirksamer Schutz möglich sein. Dieses Grundsystem nutzt das vorhandene globale Erdbebenmonitoring-System des GeoForschungsZentrums Potsdam. Es stellt den Kern des operativen Frühwarnsystems dar.

Parallel zum Aufbau des Frühwarnsystems werden Konzeptuntersuchungen über Erweiterungen gestartet und neue Technologien entwickelt, die ein zukünftiges – globales – hochmodernes System ermöglichen sollen.

Die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, vertreten durch das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ), koordiniert den Aufbau seitens Deutschlands. Es beteiligen sich das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das Alfred Wegener-

Institut (AWI), das Forschungszentrum Geesthacht (GKSS), das Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM), die Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR), die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und die Universität der UN in Bonn (UNU) sowie weitere Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Auf indonesischer Seite beteiligen sich unter Federführung des Forschungsministeriums RISTEK die Meteorologische und Geophysikalische Agentur von Indonesien (BMG), die Agentur für Bewertung und Anwendung von Technologie (BPPT), das Indonesische Institut der Wissenschaften (LIPI), die Nationale Agentur für Vermessung und Kartierung (BOKOSURTANAL), das Nationale Institut für Luft- und Raumfahrt (LAPAN) sowie das Ministerium für Kommunikation.

### **Die Komponenten des deutsch-indonesischen Frühwarnsystems**

Das Frühwarnsystem für den Indischen Ozean setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Deren Daten und Messungen sollen eine Kette bilden über die Erfassung eines Bebens, dessen Auswertung, der Bewertung und schließlich einer Warnung.

#### Erfassung

Mithilfe eines Erdbebenmonitorings sollen Beben schnell lokalisiert und ihre Stärke bestimmt werden. Das Ergebnis des Monitorings löst die weitere Erfassungs- und Aktionskette aus. Parallel zur Messung der Erdbeben mit einem Netz von Breitbandseismometern soll ein Monitoring des Deformationszustands mithilfe eines hoch auflösenden GPS-Netzes erfolgen, um möglichst umfangreiche Informationen zum Herdmechanismus des Bebens zu bekommen.

#### Auswertung

Nicht jedes Erdbeben löst einen Tsunami aus. Um Fehlalarme, die bei bloßer Berücksichtigung der Erdbeben unvermeidlich sind, weitgehend auszuschließen, muss eine mögliche Welle ozeanographisch erfasst und ihre Ausmaße bestimmt werden. Dazu dienen Ozeanboden-Druckpegel und speziell ausgerüstete GPS-Bojen, die an strategisch wichtigen Positionen ausgebracht werden müssen. Unterstützt werden diese Messungen durch Beobachtungen von Küstenpegeln, die speziell im Falle Indonesiens auf den Sumatra und Java vorgelagerten Inseln installiert werden sollen. Die Küstenpegel liefern darüber hinaus permanent Daten zur Verbesserung der Ozeanmodelle, die die Grundlage für den nächsten Schritt der Warnkette sind.

## Bewertung

Wesentliche Bestandteile der Frühwarnung sind Modellierung und Simulation eines Tsunamis. Aus solchen Simulationen sollen detaillierte Informationen über das mögliche Schadenspotenzial eines Tsunamis und über örtliche Unterschiede in der Wirkung abgeleitet werden, um entsprechende Warnungen in die Warn-Kette einspeisen zu können.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Simulation ist die genaue Kenntnis der Ozeanbodentopographie vom Tiefseebereich über den Schelfbereich bis zur Küstenlinie. Im Indischen Ozean weisen die Kenntnisse über die Küsten vor Indonesien und der angrenzenden Länder noch erhebliche Lücken auf, insbesondere um die vorgelagerten Inselgruppen herum. Daher müssen bathymetrische Verdichtungsmessungen in allen Tiefenbereichen längs der indonesischen Küste erfolgen, um Simulationen auf eine gesicherte Datenbasis zu stellen.

## Warnung

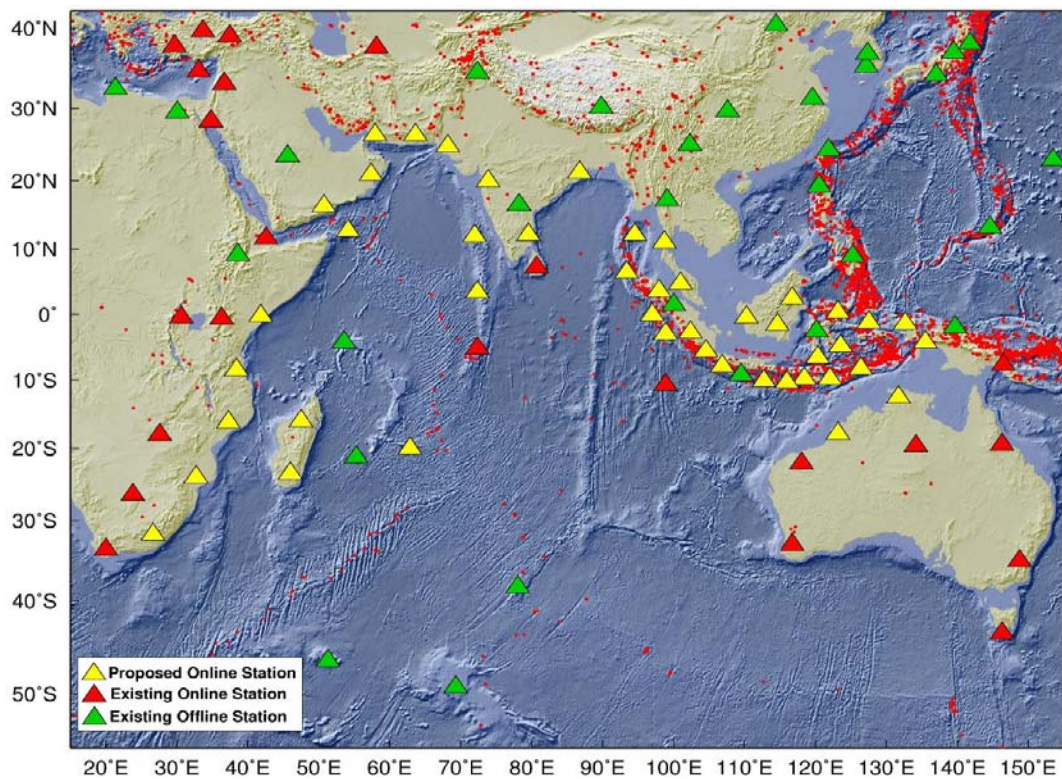
Sämtliche Daten sollen in nationalen bzw. lokalen Datenzentren zusammenlaufen, in denen Auswertung, Bewertung und Simulation stattfinden. Dies muss in nationaler Selbstverantwortung geschehen. Auf der Basis der einlaufenden Daten und Simulationsergebnisse ist das Datenzentrum gleichzeitig auch die die Warnung auslösende Stelle. Der deutsch-indonesische Ansatz sieht vor, die Datenpolitik gemäß den Grundsätzen eines „Open Access“ zu gestalten, sodass immer und jederzeit offener Zugriff auf die Daten ermöglicht wird.

## **Hintergrundinformationen zu den Technologien**

### Erdbebenmonitoring

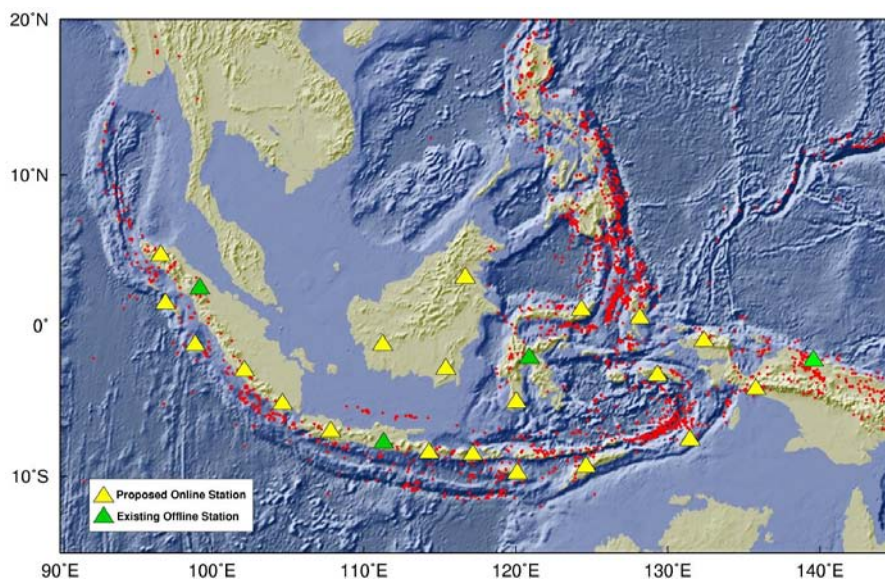
Das GFZ betreibt in Kooperation mit vielen Partnerinstituten ein eigenes seismologisches Forschungsnetz (das GEOFON-Netz), das kontinuierlich die Seismizität der Erde registriert und die Daten online nach Potsdam überträgt. Dieses Netz ist eng mit den seismischen Netzen anderer Länder verbunden, und es besteht ein wechselseitiger Datenaustausch.

Wegen seines Vorbildcharakters ist diese Methode zur Echtzeitkommunikation inzwischen internationaler Standard geworden und wird selbst von den Vereinigten Staaten verwendet. Darüber hinaus wurde ein Softwarepaket zur automatischen Detektion und Lokalisierung von Erdbeben entwickelt. Diese Software und ein Echtzeit-Seismometernetz, bestehend aus den GEOFON-Stationen und kompatiblen Stationen von Partnerorganisationen (zusammen weit über 100 Stationen), bilden die Grundlage für den gegenwärtig betriebenen Prototypen eines Echtzeit-Erdbebenmonitoring-Systems.



Vorgeschlagene Verteilung von Breitbandseismometern im Indischen Ozean

Die reine Lokalisierung eines Bebens dauert im Normalfall etwa zwei Minuten, nachdem die seismischen Wellen an den GEOFON-Stationen in Europa angekommen sind. Im Fall des Sumatra-Bebens brauchten die seismischen Wellen elf Minuten, um vom Erdbebenherd zu den Stationen in Europa zu laufen.



Vorgeschlagene Verteilung der Breitbandseismometer in Indonesien.

Um 01:11:40 Universal Time (Herdzeit 00:58:41 UT), also etwa 13 Minuten nach dem Ereignis, wurde automatisch - ohne Überprüfung durch einen Seismologen - eine Erdbebenmeldung im Internet veröffentlicht. Gleichzeitig wurden automatisch Emails und SMS-Meldungen an die angeschlossenen Nutzer (verschiedene Lagezentren, Seismologische Institutionen, Medien, Versicherungen, Privatleute) verschickt. Diese Informationen enthielten – und enthalten grundsätzlich – allerdings noch keine Hinweise auf mögliche Tsunamis oder Risiken.

Es gibt bisher nur sehr wenige hochwertige (breitbandige) seismologische Stationen in der Region des Indischen Ozeans, die öffentlich zugängliche Daten produzieren. Nur für sechs Stationen, die ausschließlich dem amerikanischen IRIS-Netz angehören, stehen die Daten in Echtzeit zur Verfügung.

**Für den Aufbau des Frühwarnsystems plant Deutschland, rund 40 neue GEOFON-kompatible Stationen um den Indischen Ozean (davon etwa 20 in Indonesien) zu installieren und mit Satellitenkommunikation auszurüsten. In Kooperation mit anderen Geberländern wird ein Gesamtnetz mit rund 250 offenen Stationen angestrebt.**

#### Deformationsmonitoring

Die Ergebnisse eines hoch präzisen Deformationsmonitoring liefern wertvolle Hinweise über den Bruchmechanismus bei Erdbeben und damit über die Tsunami-Gefahr im Falle von Seebeben. Diese Erkenntnisse sind wichtige Grundlage für die Modellierung und Simulation von Tsunamis.

Das Deformationsmonitoring erfolgt durch GPS-Stationen. Das Erdbeben vom 26. Dezember 2004 wurde von vier solchen stationären GPS-Empfängern im Bereich des Indischen Ozeans registriert. Dabei wurde eine permanente Verschiebung der Indischen Platte um mehrere Zentimeter registriert.

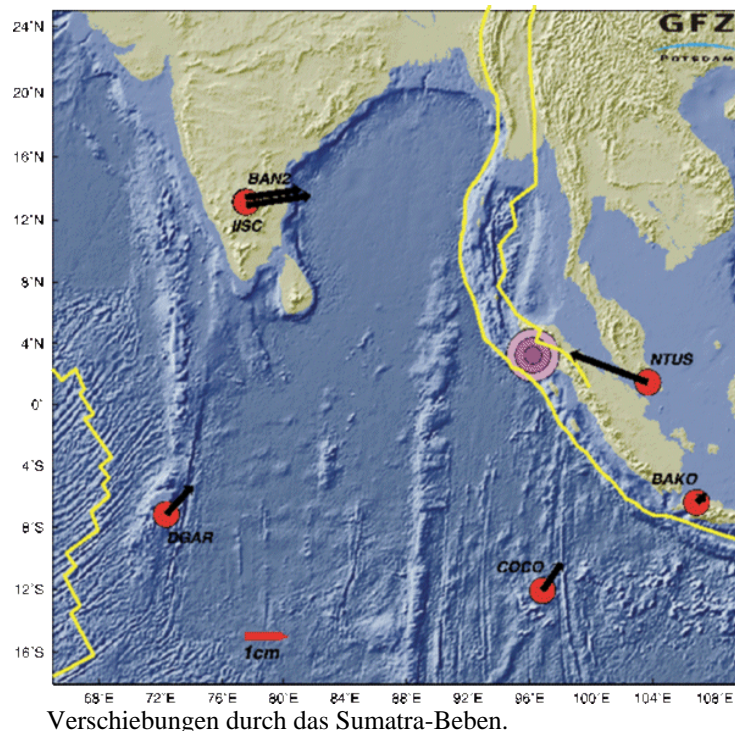
**Um den Indischen Ozean herum soll nun ein Netz von hochratigen GPS-Stationen zur permanenten online Überwachung der Verschiebungsvektoren und der Deformation aufgebaut und betrieben werden.**

#### GPS-Küstenpegel

Küstenpegel sind mit hochgenauen GPS-Stationen ausgerüstet, um zum einen die Absolutmessung der Pegel und zum anderen gleichzeitig ein Deformationsmonitoring zu ermöglichen. Diese GPS-Stationen sind in das bereits erwähnte Netz zur

Deformationsüberwachung eingebunden. Den GPS-Küstenpegel-Stationen kommt eine besondere Bedeutung zu, da die Indonesien vorgelagerten Inseln genau über den auslösenden Erdbebenherden sitzen.

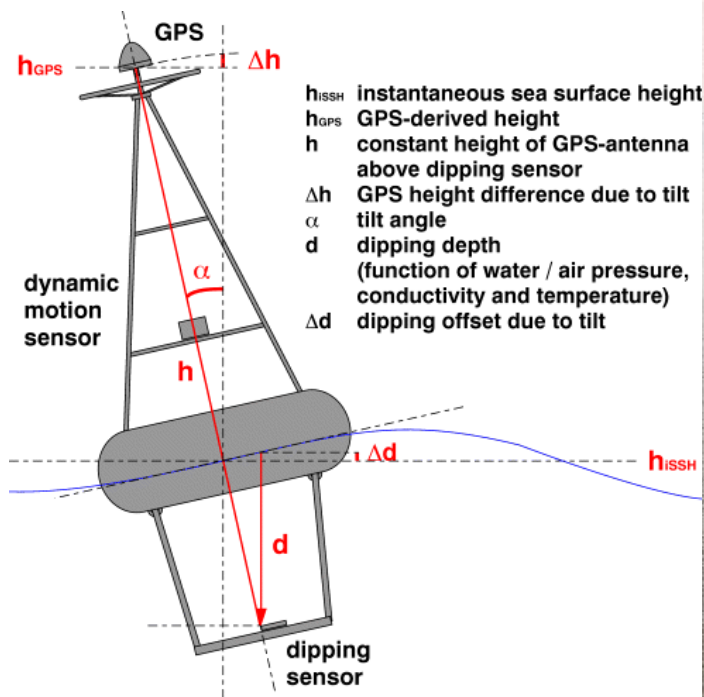
**Es ist vorgesehen, für die Überwachung der Küsten und insbesondere für die Simulation von Tsunamis Küstenpegel schwerpunktmäßig auf den Indonesien vorgelagerten Inseln zu installieren. Es sollen insgesamt 20-30 Küstenpegel, davon 20 in Indonesien, installiert werden.**



### Neue Technologien: Ozeanbodenpegel und GPS-Bojen

Um Fehlalarme, die bei bloßer Berücksichtigung der Erdbeben unvermeidlich sind, weitgehend auszuschließen, muss eine mögliche Tsunami-Welle ozeanographisch gemessen werden. Dies wird durch Ozeanboden-Druckpegel einerseits und speziell ausgerüstete GPS-Bojen andererseits erreicht. Beide müssen an strategisch wichtigen Positionen ausgebracht werden. Die Positionierung der Druckpegel und der Bojen wird im Detail festgelegt, sobald genaue bathymetrische Daten des betreffenden Küstenabschnitts vor Indonesien vorliegen und wenn über die Tsunami-Simulation kritische Orte zur Klassifizierung eines Tsunamis bestimmt worden sind.

Im Zusammenhang mit der online Beobachtung des Meeresspiegels sollen neue Technologien konzeptionell untersucht werden. Dazu gehören einmal Radartechniken von Land aus, die bis zu einer maximalen Entfernung von ca. 100 Meilen Wellenhöhen erfassen können, zum anderen aber auch satellitengestützte Techniken wie die Radaraltimetrie.



Aufbau einer GPS-Boje

Viel versprechend ist ein Ansatz die Reflektionen von GPS-Signalen an der Meeresoberfläche zu vermessen. Diese Technologie kann sowohl vom Satelliten als auch von erhöhten Stellen (Masten) an Land angewendet werden. Auch hierzu bieten sich die Sumatra vorgelagerten Inseln an.



Ozeanboden-Druckpegel

### Modellierung und Simulation

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Frühwarnsystems sind die Modellierung und die Simulation von Tsunamis. Aus diesen Simulationen sollen detaillierte Informationen über das

mögliche Schadenspotenzial des Tsunamis und über örtliche Unterschiede in der Wirkung abgeleitet werden, um entsprechende Warnungen in die Warn-Kette einspeisen zu können. Voraussetzung für eine erfolgreiche Simulation ist die genaue Kenntnis der Ozeanbodentopographie vom Tiefseebereich über den Schelfbereich bis zur Küstenlinie. Im Indischen Ozean weist die Kenntnis über die Küsten vor Indonesien und der angrenzenden Länder noch erhebliche Lücken auf, insbesondere um die vorgelagerten Inselgruppen herum. Für das Verhalten des Tsunamis beim Auflaufen auf den Strand muss die Topographie sowohl des Flachwassers als auch des Landes sehr genau erfasst werden.

**Bathymetrische Verdichtungsmessungen sollen die Kenntnisse über alle Tiefenbereiche längs der indonesischen Küste schließen. Es werden vollständige Tsunami-Simulationen, die möglichst viele Randbedingungen wie Erdbebenstärke oder ozeanographischen Daten berücksichtigen, angelegt und in Datenbanken aufgenommen. Im Falle einer Tsunamiwarnung geht somit keine wichtige Zeit verloren. Für eine effektive Frühwarnung sind solche Tsunami-Simulationen entscheidend.**

#### **Datenzentren und Datenkommunikation**

In Indonesien wird ein Datenzentrum eingerichtet. Dort laufen die seismologischen, ozeanographischen, Pegel- und GPS-Echtzeitdaten zusammen. In den Datenzentren erfolgt dann eine schnelle Erdbebenlokalisierung und Bestimmung der Herdparameter. Aus den eingelaufenen Sensordaten wird aus einer Tsunami-Simulationsdatenbank eine zu den Sensordaten passende Simulation zur schnellen Schadensabschätzung herausgesucht.

Von diesen Zentren kann auch die Warnung der Bevölkerung koordiniert werden. Dabei ist entscheidend, dass allen Zentren alle Daten des Gesamtsystems online zur Verfügung stehen. Die Gesamtkoordinierung übernimmt zunächst die deutsche Seite.

Eine weitere Aufgabe der Datenzentren besteht in der Bereitstellung von Satellitenbildmaterial, Kartenmaterial, Infrastrukturinformationen und logistischen Informationen in einem leistungsfähigen GIS-System zur schnellen Unterstützung von Rettungsmaßnahmen im Schadensfall.

Eine flächendeckende Kommunikation der an Land aufgestellten Geräte wie der Seismometer, GPS-Stationen oder GPS-Küstenpegel muss satellitengestützt gewährleistet werden. Daher ist an jeder Station ein Satelliten-Terminal notwendig und die Einrichtung eigener Satelliten-Masterstationen an den regionalen Datenzentren vorgesehen.

## **Capacity Building**

Das Capacity Building wird stufenweise umgesetzt. Zunächst sollen mit dem Beginn der Installation Wissenschaftler und Ingenieure auf dem Gebiet der eingesetzten Sensorik und Messtechnik, der Modellierung und der Informationsverarbeitung trainiert und ausgebildet werden. Dies erfolgt entweder über die direkte Einbindung von Wissenschaftlern und Ingenieuren aus Indonesien in den Aufbau des Systems über Zeiträume von mehreren Monaten oder über das Angebot von Trainingskursen, in denen über einen Zeitraum mehrerer Wochen Wissenschaftler, Ingenieure und Entscheidungsträger aus Indonesien in die wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen des Systems eingeführt und ausgebildet werden.

Im Laufe des Aufbaus des Frühwarnsystems beginnen Arbeiten in Indonesien, um Strategien zur Risikovorsorge, Risikobewältigung und „Preparedeness“ zu entwickeln. Dazu gehören die Erstellung von Risikokarten, Katastrophenplänen, Fluchtplänen sowie die Beratung beim Aufbau von Kommunikationsinfrastrukturen, die eine Warnung bis zu jedem Einwohner bringen können. Weiterhin erfolgen Maßnahmen zur Information der Tourismusbranche wie den Hotels und zur Beratung bei Planung und Bau von neuen Infrastrukturen.

## **Das offene System**

Das deutsch-indonesische Frühwarnsystem wird modular, flexibel aufgebaut und erlaubt die einfache Integration von kompatiblen Fremdinstrumenten und Fremddaten. Damit ist sichergestellt, dass auch seismische, geodätische und ozeanographische Netze anderer Länder im Hinblick auf den Aufbau eines Frühwarnsystems in der Region eingebunden werden können.

Für andere Anrainerstaaten besteht die Möglichkeit, vergleichbare Datenzentren einzurichten, die sich auf die selben eingehenden Daten beziehen können und von dort aus ggf. eine Tsunami-Warnung im eigenen Land auszusprechen.

## **Kontakt**

### Projektkoordination

GeoForschungsZentrum Potsdam:  
Dr. Jörn Lauterjung  
Telegrafenberg  
14473 Potsdam  
Email: [lau@gfz-potsdam.de](mailto:lau@gfz-potsdam.de)

Bundesministerium für Bildung und Forschung:  
Reinhold Ollig  
Heinemannstr. 2  
53175 Bonn  
Email: Reinhold.Ollig@bmbf.bund.de

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerberinnen/Wahlbewerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

