

# Heimtückische

## Sind Tsunamis weiter unbezähmbar?

Von Dr.-Ing. Agnieszka Strusińska

**In den letzten Jahren**, die seit der größten durch einen Tsunami verursachten Katastrophe auf Sumatra, am 26. Dezember 2004, vergangen sind, hat sich eine rasante Entwicklung der Forschung und Technik vollzogen, die auf die Vermeidung künftiger Tragödien solchen Ausmaßes abzielt.

Eine der größten Errungenschaften ist die Einrichtung des Tsunami-Frühwarnsystems im Indischen Ozean, dessen Fehlen der Hauptgrund für die große Anzahl von Opfern (mehr als 230.000) war. Trotz den aus der Tragödie von 2004 gemachten Erfahrungen und der fortgeschrittenen Technik hinsichtlich der Tsunamifrühwarnung, sind Tsunamis weiter unbezähmbar, wie es sich am Beispiel des Tsunamis am 11. März 2011 in der Tohoku Region, Japan, gezeigt hat.



Foto: Ho New / REUTERS

# Wellen



Die Tsunami-Katastrophe in Japan



11. März 2011: Eine Welle erreicht Miyako City an der Heigawa-Flussmündung in der Präfektur Iwate



**Info-Stele in Minami-Sanriku (Japan) mit einer Höhenmarke des bisher höchsten Tsunamireignisses: dem Chile-Tsunami von 1960**



**Arahama Strand: eines von 49 in Sendai (Japan) installierten Warnsystemen, welche die Bewohner per Lautsprecher vor herannahenden Tsunamis warnen**



**Als Zuflucht vor einem Tsunami dienen hohe Wohn- oder öffentliche Gebäude aus Beton, zum Beispiel Amphitheater**



**Schwer gesichertes Gebäude – deutlich zeigen die großen grünen Schilder Evakuationsrouten bei Tsunamigefahr**



**J**apan, das über das modernste Warnsystem und den umfassendsten Schutz weltweit gegen Tsunami verfügt, war auf solch gewaltigen, vom bisher stärksten Erdbeben in der Geschichte Japans ausgelösten Tsunamiwellen nicht vorbereitet. Schließlich sind 14.981\* Personen ums Leben gekommen und 9.583 werden laut des Berichtes der Weltgesundheitsorganisation immer noch vermisst. Bis heute ist dies der Tsunami mit der höchsten Opferzahl in Japan neben dem Hokkaido-Tsunami von 1993, in dem mehr als 200\* Personen starben.

**Großflächige Verwüstungen**

Das Wort „Tsunami“ wurde aus dem Japanischen (soo-nah-me) übernommen zur Beschreibung der durch eine plötzliche vertikale Verdrängung der Wassersäule entstehenden Wellen von extremer Länge, die am häufigsten von unterseeischen Beben und selten von Hangrutschen oder Vulkanausbrüchen ausgelöst werden. Höchstwahrscheinlich wurde es durch Fischer verbreitet, die nach einem Zusammenhang zwischen diesen Wellen („nami“ – Wellen) und der Vernichtung der Fischerdörfer („tsu“ – Hafen) gesucht haben, die sie nach der Rückkehr vom Fischfang festgestellt haben. Dieser Ausdruck hat den sehr lange in der Forschung verwendeten Begriff „Tidewellen“ verdrängt, der irrtümlicherweise auf die Einwirkung zwischen dem Mond und der Sonne als die Ursache dieser Wellen hinweist. Die von einem Tsunami verwüsteten Gebiete ähneln ausgedehnten Trümmerfeldern, die mit einer dicken Schicht aus allem, was die Wellen mitgetragen haben, bedeckt wurden. Was erklärt also die so zerstörerische Kraft eines Tsunami und warum werden solche Wellen mehr als andere Meereswellen gefürchtet?

Im Gegensatz zu den vom Wind erzeugten Wellen, die man während eines Spaziergangs am Meeresufer beobachten kann, erreicht die Tsunamilänge (gemessen zwischen zwei benachbarten Wellenbergern oder Wellentälern) einige hundert Kilometer. Das entspricht einer Wellenperiode, d.h. der Zeit zwischen dem Durchlauf von zwei benachbarten Wellenbergern/Wellentälern an einem festen Punkt, in der Größenordnung von 5 bis 60 min [1]. Indessen beträgt die Länge von Wind induzierten Meereswellen kaum 300 m und ihre Periode ca. 20 s. Riesige Energiemengen werden durch den Entstehungsmechanismus an die Wassersäule übertragen. Die plötzliche Verdrängung

Fotos: A. Strusinska



## Die Tsunami-Katastrophe in Japan

der Wassermassen führt zur Entstehung der Tsunamiwellen, welche sich kreisförmig in allen Richtungen ausbreiten. Die Energie des Tsunami unterliegt praktisch überhaupt keiner Minderung, weshalb der Tsunami durch den ganzen Ozean „reist“, ohne an zerstörerischer Kraft zu verlieren. Auf diese Weise sind auch die Tausende Kilometer von der Auslösungsquelle entfernten Küsten vom Tsunami gefährdet (man spricht in diesem Fall vom Teletsunami). Die Reichweite von Windwellen ist durch die Zone der Windeinwirkung begrenzt und ihr „Leben“ endet nach dem die Energie durch Brechen am Ufer stark reduziert wurde. Mit Rücksicht auf die Tatsache, dass die ganze Wassersäule von Meeresboden bis Meeresoberfläche in die Tsunamiausbreitung einbezogen wird, ist man nicht vor seiner Auswirkung sicher, wenn man in wesentliche tiefere Meeresgebiete taucht, wie es der Fall bei oberflächigen Windwellen wäre.

### Zahlreiche Ursachen

Über die Anzahl und die Eigenschaften der entstehenden Tsunamiwellen entscheidet vor allem die Charakteristik des Entstehungsmechanismus. Im Fall eines unterseeischen Bebens sind das hauptsächlich die Stärke, die Tiefe, die Dauer und die Länge des Bruches. Ausschließlich flache Erdbeben (bis zur Tiefe von 50 km unter dem Meeresboden), mit einer minimalen Stärke von 7,0 auf der Richterskala, können einen Tsunami verursachen. Das Tsunamiauftreten ist nicht nur auf offene Gewässer wie Ozeane und Meere begrenzt. Sie wurden auch in Buchten, Fjorden und sogar in Seen infolge Hang-, Fels- und Gletscherrutschen beobachtet. Ein Beispiel ist der durch einen Hangrutsch ausgelöste Tsunami von 1958, der die Region entlang der Lituya Bucht in Alaska bis auf eine Höhe von 520 m überflutet hat, oder der 23 m hohe Tsunami in Peru von 2010, der nach dem Eintauchen eines gigantischen Gletscherblocks in einen See in den Anden ausgelöst wurde. Mit Rücksicht auf die ziemlich begrenzte Reichweite der Zerstörung (im Radius von ca. 100 km), werden solche Tsunamis als lokale Tsunamis bezeichnet.

Bekannt sind auch Fälle von Tsunamientstehungen durch Vulkaneruptionen – beispielsweise hat die Eruption und der Einsturz des indonesischen Vulkans Krakatou 1883 mindestens drei Tsunami verursacht, die zum Transport eines 600 t schweren Korallenblocks über 100 m landwärts fähig waren – sowie durch unterseeische nukleare Explosionen, die von den Vereinigten Staaten

1946–1958 auf dem Bikini-Atoll durchgeführt wurden [2,3].

### Gigantische Größe

Die Höhe eines Tsunami und seine Ausbreitungsgeschwindigkeit ändern sich mit der Wassertiefe. Im offenen Ozean, in der Entstehungsregion, überschreiten die Wellen sehr selten eine Höhe von einem Meter. Diese scheinbar ungefährlichen Wellen breiten sich jedoch mit einer Geschwindigkeit, vergleichbar der eines Düsenflugzeuges, 500–1.000 km/h, aus. Erst am Ufer, wo das Wasser flacher wird, erreicht der Tsunami eine gigantische Größe. Die Welle nimmt kontinuierlich an Höhe zu (bis zum sechsfachen im Vergleich zur Anfangshöhe) und verlangsamt sich gleichzeitig auf 30–50 km/h. Die Tsunamihöhe und die Überflutungszone können entlang der Küste stark schwanken, je nach Form des Meeresbodens und des Geländes, sowie des Vorhandenseins von natürlichen oder künstlichen Tsunamibarrieren wie Korallenriffen, Inseln, Dünen, Küstenschutzwäldern, Wellenbrechern und Strandmauern.

Ein natürliches, einem Tsunami vorangehendes Zeichen ist das rücklaufende Wasser, ähnlich der Ebbe bei Gezeiten, jedoch viel intensiver. Solch eine „negative Welle“ kann durch das Absinken der tektonischen Platte während eines Erdbebens ausgelöst werden. Durch das Anheben des Meeresbodens auf der anderen Seite breitet sich eine positive Welle aus. Die Überflutung eines Gebietes, manchmal bis zu einigen Kilometern landeinwärts, kann mehrmals und in längeren Zeitabständen (sogar bis zu einer Stunde) auftreten, je nach Anzahl der ausgelösten Tsunamiwellen und derer Perioden.

### Tsunamiwarnung drei Minuten nach dem Beben

Es war der Tsunami, nicht das unterseeische Beben am 11. März dieses Jahres (trotz der Stärke von 9,0 auf der Richterskala), der eine so weitreichende Zerstörung an der Ostküste der japanischen Insel Honshu verursacht hat.

Genau hier verläuft die sogenannte Subduktionsgrenze, entlang der sich die schwerere pazifische Platte langsam unter die leichtere nordamerikanische Platte mit einer Geschwindigkeit von „nur“ 83 mm/Jahr schiebt. Die dabei blockierten Plattenbewegungen führen zur Spannungsbildung, die wiederum während eines Erdbebens ausgelöst werden. So kann man vereinfacht das Szenario der Ereignisse vor ein paar Monaten in Japan darstellen. Auf der Basis von durch-

geführten numerischen Simulationen wurde geschätzt, dass das Erdbeben in einer Tiefe von ca. 24 km unter dem Meeresboden aufgetreten ist, in einer Entfernung von fast 130 km von Sendai und 373 km von Tokio [4].

Es wurde um 14:46 lokaler Zeit (6:46 Mitteleuropäischer Zeit) registriert und die Warnung vor einem kommenden Tsunami wurde ca. drei Minuten später von der Japanischen Meteorologischen Behörde ausgestellt. Die Tsunamiwellen haben zuerst die östliche Küste Japans verwüstet und anschließend die Zerstörung entlang der gesamten Pazifikküste fortgeführt und nach 21 h die Westküste Nordamerikas erreicht. Durch den Tsunami wurden unter anderem auch Taiwan, die Philippinen, Russland, Australien, Neuseeland, Indonesien, Hawaii und Kalifornien gefährdet [5].

### Dem Erdboden gleichgemacht

In Japan sind die größten Verluste im westlichen Teil der Tohoku Region aufgetreten, insbesondere in den Präfekturen Miyagi, Iwate und Fukushima, die dem Epizentrum des Erdbebens am nächsten gelegenen waren. Viele Orte wurden fast völlig dem Erdboden gleichgemacht, unter anderem Miyako, Kamaishi, Ofunato, Kesenuma und Minami-Sanriku. Die Aufzeichnungen der normalerweise zu Messungen des Wasserstandes entlang der Uferlinie verwendeten Sensoren haben gezeigt, dass südlich vom Epizentrum die erste Welle die Ishinomaki Bucht erreicht hat, jedoch mit sehr geringer Höhe.

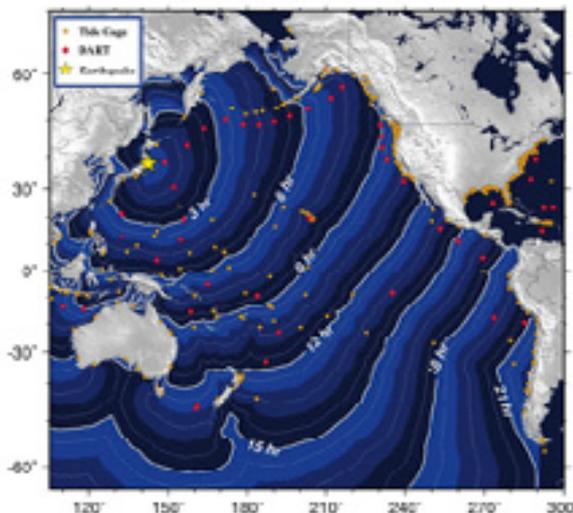
Die zerstörerische Welle, bis zu 12 m\*\* hoch, hat diesen Küstenabschnitt innerhalb von einer Stunde getroffen [4]. Nördlich vom Epizentrum ist ein Zurücktreten des Ozeans dem Tsunami vorangegangen. Die höchste Welle, bis zu 9 m\*\*, hat Ofunato ca. 29 min nach dem Erdbeben erreicht, während sie die nördlicher gelegenen Kamaishi und Miyako nach 35 min überflutet hat. Der Tsunami hat Städte, Dörfer, Felder und Industriegebiete zerstört, indem er Häuser, Autos ➤

»Die Energie des Tsunami unterliegt praktisch überhaupt keiner Minderung, weshalb der Tsunami durch den ganzen Ozean „reist“«

**Der Tsunami erreichte Australien nach 9 Stunden, Neuseeland nach 12 Stunden und die westliche Küste Südamerikas nach 21 Stunden**

Quelle: <http://wcatwc.arh.noaa.gov>

Tsunami Travel Times



Die Autorin

**Dr.-Ing. Agnieszka Strusińska**



Dr.-Ing. Agnieszka Strusińska hat 2004 ihr Studium an der Westpommerschen Technischen Universität zu Szczecin in Polen abgeschlossen, mit einer Spezialisierung im konstruktiven Ingenieurbau.

2010 hat sie ihren Doktorgrad an der Technischen Universität zu Braunschweig mit einer Arbeit über die Anwendung von künstlichen Riffen zur Tsunamidämpfung erworben.

Zur Zeit setzt sie die Forschung an Küstenschutzmaßnahmen gegen Tsunami am Leichtweiß-Institut für Wasserbau fort.

Abteilung für Hydromechanik und Küsteningenieurwesen, TU Braunschweig

und Schiffe weggespült hat. Autobahnen, Straßen und Bahnlinien wurden beschädigt, öffentlicher Transport, Kommunikation sowie Wasser-, Strom- und Gasversorgung wurden unterbrochen. Die gravierendste Auswirkung von Erdbeben und Flutwellen war jedoch das Versagen der Kernreaktoren im Atomkraftwerk Fukushima I (Atomunfall der Stufe 7 auf 7-stufiger Skala), welches mit Emissionen und Ausfluss radioaktiver Substanzen in die Umgebung verbunden war [6].

**Frühwarnsysteme**

Im Hinblick auf unvorhersehbare Tragödien wie diese, die vor kurzem Japan oder vor fast sieben Jahren die Länder am Indischen Ozean betroffen haben, stellt sich die Frage nach der Effektivität und Zuverlässigkeit der bisher verwendeten Maßnahmen gegen Tsunamis. Die Hauptrolle für die Gewährleistung der Sicherheit von Menschenleben spielen die drei folgenden Faktoren: Schnelligkeit, mit der eine Tsunamiwarnung vom Warnzentrum an Bewohner übermittelt wird, Bewusstsein der Küstenanwohner über das Tsunamirisiko und leistungsfähige Evakuierungssysteme.

Vor dem Tsunamireignis von 2004 wurde lediglich der Raum des Pazifiks und Atlantiks überwacht. Als erste Einrichtung wurde das Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) 1949 auf Hawaii durch die Vereinigten Staaten gegründet, drei Jahre nach der Tsunami-katastrophe auf den Aleuten [7]. Sie dient als regionales Warnzentrum für den Pazifikraum, das für das Ausstellen internationaler Tsunamiwarnung verantwortlich ist. Das PTWC wird durch lokale Warnzentren unterstützt, z.B. durch das 1967 in Palmer (Alaska) in Betrieb genommene West Coast and Alaska Tsunami Warning Centre (WC/

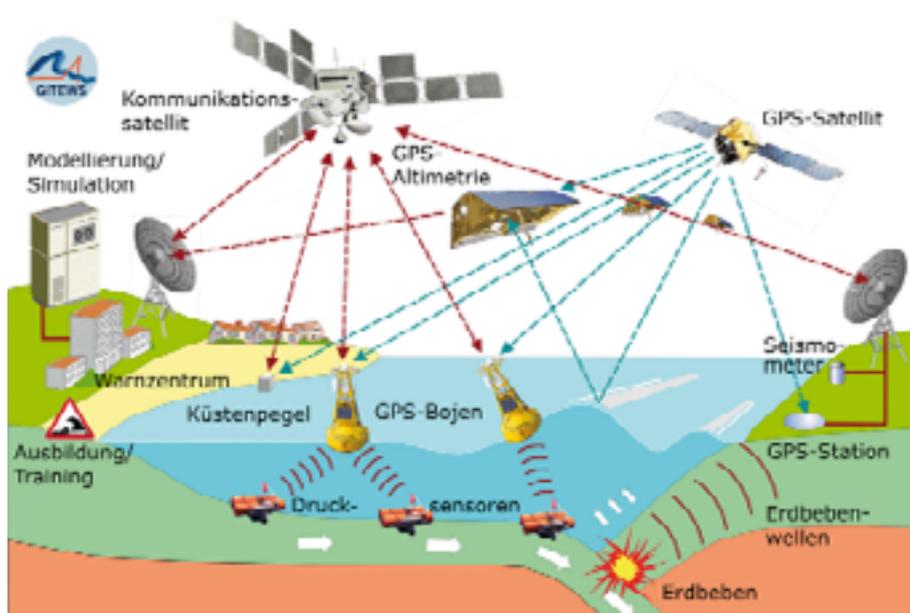
ATWC) [8], die 1952 gegründete Japanische Meteorologische Behörde (JMC) und andere Zentren in Russland, Australien, Chile und Französisch Polynesien.

Am 29. März dieses Jahres startete offiziell das Deutsch-Indonesische Tsunami-Frühwarnsystem (GITEWS) in Jakarta (Indonesien), mit dem Ziel der Kontrolle, das Tsunamirisiko im Indischen Ozean zu beherrschen [9].

**GITEWS und DART**

Die Tsunami-Frühwarnsysteme, über die die Warnzentren verfügen, verwenden Echtzeitmessungen von seismischer Aktivität und Änderungen des Meeresspiegels/Drucks auf dem Meeresboden [10].

Erstere werden mit Hilfe von Seismometern durchgeführt und dienen zur Ermittlung der Erdbebenparameter, wie die Stärke und die Tiefe, in der es ausgelöst wurde. Beim Auftreten des Erdbebens wird eine entsprechende Nachricht vom Seismometer an das Warnzentrum über Satellitenkommunikation gesendet und dieses alarmiert wiederum die Bevölkerung über die bestehende Gefährdung. Die Erkennung eines Tsunami ist hingegen ausschließlich durch kontinuierliches Überwachen der Wasserspiegelauslenkung im offenen Ozean möglich. Für diesen Zweck nutzt man das Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis System (DART), das aus Bojen, Drucksensoren in einer Wassertiefe von 1 bis 6 km und einem Netz von Tidepegeln entlang der Küste besteht. Die neuesten Systeme, beispielsweise GITEWS, sind zusätzlich mit Globalen Positionsbestimmungssystem (GPS) ausgerüstet, um die Genauigkeit der gemessenen Daten verbessern zu können. Wird ein Erdbeben von einem Tsunami begleitet, so wird die durch Wellen verursach-



## Die Tsunami-Katastrophe in Japan

### Die Funktionsgrundlage eines Frühwarnsystems am Beispiel des Deutsch-Indonesischen Tsunami Frühwarnsystems GITEWS.

Quelle: <http://www.gitews.de>

te Druckänderung von den Druckmessgeräten erkannt, welche wiederum akustische Signale an die Bojen senden, die diese über Satellit an das Warnzentrum weitergeben. Die Warnzentren haben eine Datenbank, in der die Tsunamihöhen und Überflutungsreichweiten einem bestimmten Erdbebenereignis zugeordnet werden, die durch im Vorfeld durchgeführte numerische Simulationen hypothetischer Tsunamiszenarien bestimmt wurden. Daher ist es möglich, eine Warnung schnell herauszugeben, indem man die Messdaten des DART-Systems den numerischen Ergebnissen gegenüberstellt.

### Die Reaktion der Menschen entscheidet

Im Verlauf der letzten Jahre wurde die Zeit bis zur Herausgabe der Tsunamiwarnung wesentlich reduziert, beispielsweise in Japan von 15 min auf weniger als 5 min. Die Effektivität eines Warnsystems ist jedoch zum großen Teil von der Reaktion der Menschen auf die Warnung abhängig. 2004 starben viele Touristen in den Tsunamiwellen, da sie von dem untypischen Verhalten des Ozeans fasziniert wurden und daher am Ufer geblieben sind. Andere kehrten nach dem Durchlauf der ersten Tsunamiwelle zurück, die selten die größte Welle darstellt. Aus diesem Grund werden durch lokale Behörden Workshops veranstaltet, die zur Aufklärung der Bevölkerung über Gefahren und Folgen eines Tsunami dienen und über richtiges Verhalten während einer Tsunamiwarnung und die Evakuierungsmöglichkeiten informieren. Regelmäßig finden auch Evakuierungsübungen statt, die für alle Anwohner verpflichtend sind. Bemühungen wurden unternommen, um das Ausmaß der Tsunamiwellen mit Hilfe besonderer Schutzwerke abzuschwächen.

Japan hat bisher das modernste Küstenschutzsystem gegen Tsunamis, das sich aus ca. 3 m hohen Schutzmauern, Deckwerken, den Eingang von Buchten schützende gigantische Wellenbrechern und in Flussmündungen/Kanälen errichtete Sperrwerken zusammensetzt. Die Höhe der Schutzmauern und Deckwerke wurde jedoch auf Grundlage der Höhe des Sanriku-Tsunamis von 1933 und des Chile-Tsunamis von 1960 festgelegt, was für den viel stärkeren Tsunami vom März dieses Jahres nicht ausreichend war.

### Die Natur kennt keine Katastrophen

Nach der Tsunamikatastrophe von 2004 ist das Problem der Ermittlung der Tsunamigefährdungsstufen für Europa in den Vordergrund gerückt. In der europäischen Geschichte wurden einige solcher Ereignisse hauptsächlich im südlichen Teil Europas registriert, z.B. der Tsunami infolge der Vulkaneruption auf der griechischen Insel Santorin, 1650 v. Chr., oder in Lissabon (Portugal) von 1855 [3]. Im Raum der Nord- und Ostsee ist die Wahrscheinlichkeit einer Tsunamienstehung sehr gering. Allerdings kämen Hangrutsche in Fjorden Norwegens als Ursache in Frage, wie es in weiter Vergangenheit, 6100 v. Chr., während des Storegga-Tsunamis geschehen ist. Laut des Berichtes des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, würde ein hypothetischer Tsunami viel Energie im Flachwasser der deutschen Nordseeküste verlieren, welche zusätzlich durch die Britischen Inseln sowie Norwegen vor einem Tsunami geschützt wird [10]. Laut einer Redewendung, „kennt die Natur keine Katastrophen. Katastrophen kennt allein der Mensch, sofern er sie überlebt“ und daher richtet er alle seine Bemühungen

darauf, sie vorhersehbar zu machen, da er sie nicht verhindern kann. Die Natur kann man, wie Francis Bacon behauptete, nur beherrschen, indem man sich von ihr leiten lässt.

\* infolge Erdbeben und Tsunami

\*\* Tide- und Geländehöhe wurden nicht abgezogen

### Schrifttum:

- [1] The Sea, Volume 15: Tsunamis, ed. E.N. Bernard, A.R. Robinson, 2009, 462 Seiten (Englisch)
- [2] Bryant E., Tsunami – the underrated hazard, Cambridge University Press, 2001, 350 Seiten (Englisch)
- [3] Tsunami Database (NGDC, NOAA) <http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=70&d=7>
- [4] Berichte der Japanischen Meteorologischen Behörde über die Tohoku Erdbeben und Tsunami vom 11.03.2011 [http://www.jma.go.jp/jma/en/2011\\_Earthquake.html](http://www.jma.go.jp/jma/en/2011_Earthquake.html) [http://www.jma.go.jp/en/tsunami/observation\\_04\\_20110313180559.html](http://www.jma.go.jp/en/tsunami/observation_04_20110313180559.html)
- [5] Durch PTWC ausgestellte offizielle Bulletins über Tsunamiwarnung [http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1713&Itemid=2365&lang=en](http://itic.ioc-unesco.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1713&Itemid=2365&lang=en)
- [6] Bericht Nr. 33 von 11.05.2011 der Weltgesundheitsorganisation, Region des westlichen Pazifiks, über den Zustand in Japan nach dem Erdbeben und Tsunami vom 11.03.2011 [http://www.wpro.who.int/sites/eha/disasters/2011/jpn\\_earthquake/list.htm](http://www.wpro.who.int/sites/eha/disasters/2011/jpn_earthquake/list.htm)
- [7] Offizielle Internetseite des Pacific Tsunami Warning Center • <http://ptwc.weather.gov/>
- [8] Offizielle Internetseite des West Coast and Alaska Warning Center • <http://wcatwc.arh.noaa.gov/>
- [9] Offizielle Internetseite des Deutsch-Indonesischen Tsunami-Frühwarnsystems (GITEWS) <http://www.gitews.de/>
- [10] Bork I., Dick S., Kleine E., Müller-Navarra S., Tsunami – a study regarding the North Sea coast, Bericht Nr. 41 des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, 2007, 77 Seiten (Englisch)