

## Infoblatt Tsunami

Prof. Dr. Peter Bormann

### 1. Ursachen und charakteristische Merkmale von Tsunamis

Tsunami ist ein japanisches Wort. „tsu“ bedeutet der Hafen und „nami“ die Welle. Ein Tsunami ist folglich eine Welle, die besonders in Häfen und Buchten besonders markant ausgeprägt ist und dort oft große Verheerungen anrichtet. Eine solche Welle entsteht infolge plötzlicher Hebung oder Senkung des Meeresbodens oder durch das Hineinstürzen oder Abrutschen großer Erdmassen ins Wasser und breitet sich als aufeinander folgende, sehr langperiodischen Meereswellen über große Entfernungen hinweg aus.

Tsunamis werden meist (zu etwa 90 %) durch **starke Erdbeben** unter dem Ozeanboden angeregt. Einer der größten Tsunamis des 20. Jahrhunderts mit Höhen der Wasserfront bis zu 70 m entstand beim Alaska-Erdbeben vom 28. März 1964. Bei diesem Beben hob sich die Erdoberfläche in einem Gebiet von etwa 500.000 km<sup>2</sup>, also einem Gebiet größer als Deutschland, an der Küste bis zu 12 m und senkte sich landeinwärts bis zu 2,3 m ab.

Seltener, aber oft nicht weniger gewaltig, sind Tsunamis infolge von **Vulkanausbrüchen** und aufgrund von untermeerischen **Erdbeben**. So überschwemmte vor rund 8000 Jahren eine bis zu 30 m hohe Flutwelle Teile Großbritanniens, Norwegens und Islands. Dieser Tsunami wurde vermutlich ausgelöst durch eine große Rutschung vor der Küste Norwegens, bei der Gesteinsmassen von der Flächenausdehnung Islands 2000 m tief in den Nordatlantik abstürzten. Bei der Explosion des Vulkans Krakatau 1883 in der Sunda-Straße zwischen Java und Sumatra wurden 18 km<sup>3</sup> Aschen und Schlacken ausgeworfen. Nach dem Ausbruch stürzte die zuvor 900 m hohe Vulkaninsel in sich zusammen und bildete einen über 200 m tiefen Einsturztrichter (Caldera) im Meer. Dabei entstand ein Tsunami, der in einigen Küstenbuchten Höhen bis zu 35 m erreichte, flachere Küstenbereiche 2 bis 10 km landeinwärts überflutete und 36.000 Todesopfer forderte.

Auch Einschläge großer **kosmischer Projektile** ins Meer können die Ursache für u.U. riesige Tsunamis sein, allerdings sind diese Ereignisse extrem selten. Das Aussterben vieler Saurierarten vor ca. 65 Millionen Jahren wird auf einen Meteoriteneinschlag im Gebiet des heutigen Golf von Mexiko zurückgeführt.

Abb. 1 zeigt schematisch, wie sich der verheerende Tsunami im Indischen Ozean infolge des starken Sumatra-Erdbebens am 26. 12. 2004 gebildet hat. In diesem Gebiet bewegt sich die ozeanische Erdkruste von Westen (links) nach Osten, kollidiert mit der Krustenplatte von Sumatra und wird unter diese geschoben. Man nennt das **Subduktion**. Diese läuft aber nicht gleichmäßig ab. Im Kontaktbereich verhaken sich die beiden Gesteinsplatten. Das führt dazu, dass die Krustenplatte von Sumatra nach unten und in Richtung Osten (rechts) verbogen wird und dass sich vor der Küste Sumatras ein Tiefseegraben gebildet hat. Am 26. 12. 2004 riss dieser Plattenkontakt auf Grund der enormen, in Jahrzehnten angehäuften Spannungen auf einer Fläche von über 100.000 km<sup>2</sup> plötzlich auf. Die Sumatraplatte schnellte um etwa 13 m nach links oben (Westen) zurück. Das dadurch hervorgerufene Erdbeben der Stärke  $M_w = 9,3$  nach der Richterskala war das zweitstärkste der letzten hundert Jahre. Der Meeresboden im Bereich der Sumatra-Platte wurde dabei um 2 bis 3 m emporgehoben und verursachte eine unsymmetrische Aufwölbung bzw. Absenkung der darüber liegenden Wassersäule (Abb. 1, Mitte). Diese begann zu schwingen und sich mit mehreren Wellenbergen und Tälern nach allen Seiten auszubreiten (Abb. 1, unten). Insgesamt forderte dieser

Tsunami an die 300.000 Menschenleben, zerstörte einige hunderttausend Häuser und hinterliess etwa 3 Millionen Obdachlose.

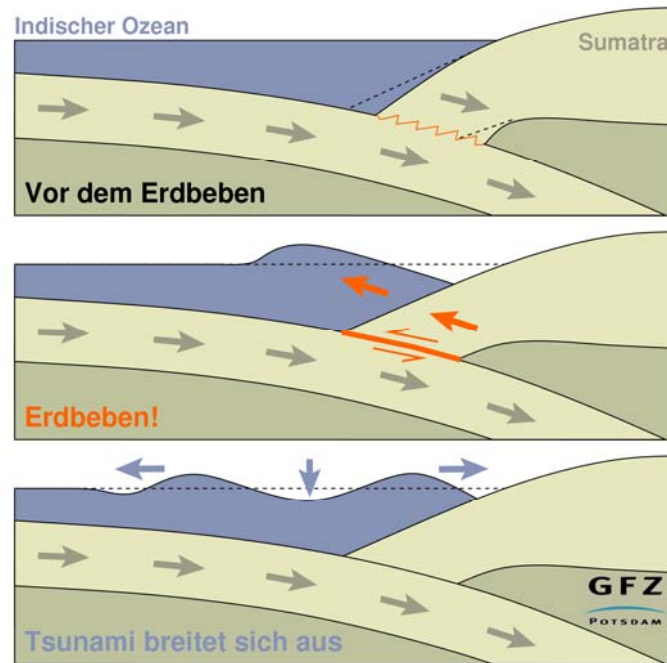


Abb. 1: Schematische Darstellung der Entstehung des Tsunamis am 26. 12. 2004.

Tsunamiwellen schwingen sehr langsam. Ihre **Periode**, d.h. der zeitliche Abstand aufeinanderfolgender Wellenkämme, variiert zwischen mehreren Minuten bis zu etwa zwei Stunden in Abhängigkeit von der **Wassertiefe** sowie der Art, Größe und räumlichen Orientierung des Anregungsvorgangs im Entstehungsgebiet. Die **Ausbreitungsgeschwindigkeit** des Tsunamis hängt von der Wassertiefe ab. Im tiefen Meer entspricht sie der eines Düsenverkehrsflugzeuges, im flachen Wasser etwa der eines schnellen Radfahrers oder Sprinters. Deshalb verändern sich die **Wellenlänge**, d.h. der räumliche Abstand aufeinander folgender Wellenkämme und die **Wellenhöhe** (Amplitude) ebenfalls mit der Wassertiefe (Skizze und Tabelle in Abb. 2). Je flacher das Wasser, um so kürzer die Abstände zwischen den Wellen und um so größer ihre Amplituden, da die Wassermassen auf immer kleinerem Raum zusammengedrängt werden. Man spricht deshalb in der englischen Literatur von sogenannten Run up-Höhen an der Küste. Die Tsunami-Wellenlängen variieren folglich in einem weiten Bereich zwischen etwa 10 km und 700 km.

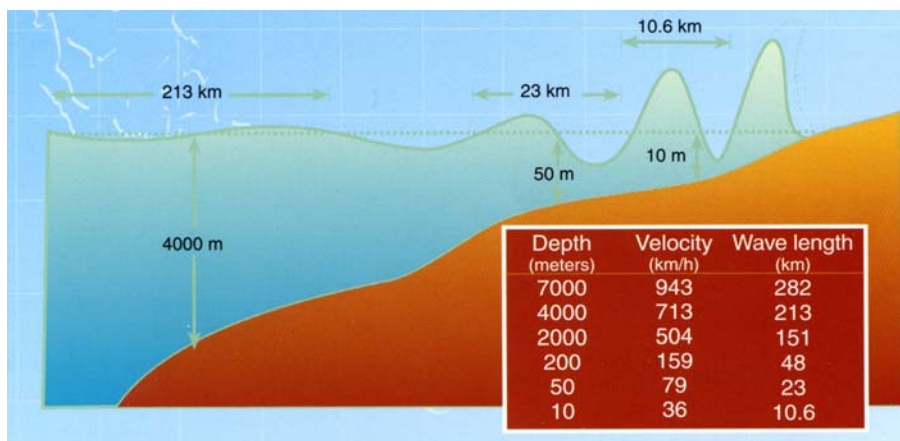


Abb. 2: Schematische Darstellung der Abhängigkeit der Wellenlängen und Amplituden eines Tsunami von der Wassertiefe. (aus [1]).

Eine Konsequenz dieser Tsunami-Merkmale ist, dass man auf hoher See selbst starke Tsunamis mit Amplituden von meist wenigen Zehnern cm wegen der enormen Wellenlängen von einigen 100 km nicht wahrnimmt. Sie sind deshalb auch keine Gefahr für Schiffe auf hoher See. Erst im Flachwasser der Küstenbereiche türmen sich die gefährlichen Wasserfronten bis zu mehreren 10 m Höhe auf.

Die Wellenperioden, -längen und Run up-Höhen von Tsunamis werden auch durch den horizontalen Küstenverlauf, das vertikale Profil im Flachwasserbereich sowie durch Eigenschwingungen des Wassers im flachen Kontinentalsaum (Schelf) und in Buchten, in die der Tsunami hineinläuft, beeinflusst. Auch Ebbe-Flut-Bedingungen zum Zeitpunkt des Auftreffens auf die Küste spielen eine Rolle. Den dominierenden Einfluß von Küstenform und Flachwasserprofil auf die beobachteten Run up-Höhen verdeutlichen auch Detailbeobachtungen des Tsunami vom 12. Juli 1993 im Japanischen Meer nach einem küstennahen Erdbeben der Magnitude  $M=7,8$ . An der Küste von Hokkaido und der vorgelagerten Insel Okushiri, etwa 50 bis 200 km vom Bebenherd entfernt, wurden unterschiedliche Run up-Höhen zwischen 1 m und 32 m ermittelt! Auch an (Halb-) Inselküsten, die auf der Tsunami abgewandten Seite liegen, kann es infolge Beugung bzw. Brechung der langperiodischen Tsunamiwellen im Flachwassersaum noch zu schweren Verwüstungen kommen (z.B. an der SW-Küste Sri Lankas um Galle beim Tsunami vom 26. 12. 2004).

Diese vielfältigen Einflüsse erschweren genaue Vorausberechnungen der Höhe und zeitlichen Aufeinanderfolge von Tsunamiwellen sowie der Größe der Überflutungsgebiete an gefährdeten Küsten. Solche Szenarien können nur für konkrete und genau bekannte bzw. angenommene Tsunamiquellen und Küstensituationen annähernd ermittelt werden. Die möglichen Überschwemmungsgebiete, nach denen die Evakuierungszonen und Zufluchtsräume durch Katastrophenmanager festzulegen sind, sollten deshalb nicht zu klein angenommen werden.

Die meisten Tsunamis dringen nicht weiter als einige hundert Meter ins flache Küstenhinterland vor, bei den stärksten können es aber auch mehrere Kilometer sein. So haben an einigen Küstenabschnitten Chiles im 18., 19. und 20. Jahrhundert Tsunamis mehrfach Überschwemmungen von 2 bis 3 km und beim Sumatra-Beben 2004 an Küsten Thailands, der Nikobaren und Nordsumatras von 2 km bis maximal 7 km landeinwärts verursacht. Der Tsunami beim Krakatau-Ausbruch 1883 drang in der Pepper Bay von Java sogar bis max. 10 km ins Land vor. Im Mündungsgebiet breiter Flüsse waren Tsunamieffekte, u.a. durch Rückstau, sogar noch weiter ins Festland hinein nachweisbar, z.B. bis zu 30 km entlang des Imperial Rivers in Chile nach dem Beben von 1960.

Die **Laufzeit von Tsunamis** durch Bereiche der Meere und Ozeane mit großer Wassertiefe lässt sich dagegen sehr schnell und genau berechnen, sobald der Entstehungsort (das **Epizentrum**) bekannt ist. Abb. 3 zeigt das Ergebnis einer solchen Berechnung durch das Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) in Honolulu für ein Beben vor der Küste Nordchiles. Abb. 4 zeigt eine analoge Darstellung des GFZ Potsdam für den Tsunami vom 26. 12. 2004 im Indischen Ozean. Aus beiden Darstellungen wird deutlich, dass zumindest für entfernte Küstenbereiche eine ausreichende Tsunami-Vorwarnzeit besteht, wenn man den verursachenden Herd und den entstehenden Tsunami schnell genug lokalisieren und genauer beschreiben kann (siehe auch unter 6.).

### Erkennungsmerkmale von Tsunamis

Obleich zerstörerische Wellen und weiträumige Überschwemmung flacher Küstenbereiche das Hauptmerkmal **großer Tsunamis** sind, geht deren Eintreffen an der Küste oft ein – im Vergleich zu den Meereszeiten – sehr **rascher Anstieg oder auch Abfall des Wasserspiegels** innerhalb weniger Minuten voraus. Das ist ein wichtiges, meist unbekanntes oder ignoriertes Frühwarnzeichen. Ob der Meeresspiegel ansteigt oder absinkt, ist abhängig von der Art und räumlichen Orientierung des Anregungsvorgangs, der Ausbreitungsrichtung der Wellen, der Orientierung von Küstenbuchten u.a. Einflüssen. Vor der Küste Thailands sank z.B. der Pegel am 26. 12. 2004 vor der Ankunft der ersten Tsunamiwelle um mehrere Meter. Wäre dieser Zusammenhang allgemein bekannt gewesen und hätten die Menschen an der Küste daraufhin sofort die Flucht in höhergelegene Bereiche des Hinterlandes ergriffen, dann wären viele tausend Menschenleben gerettet worden.

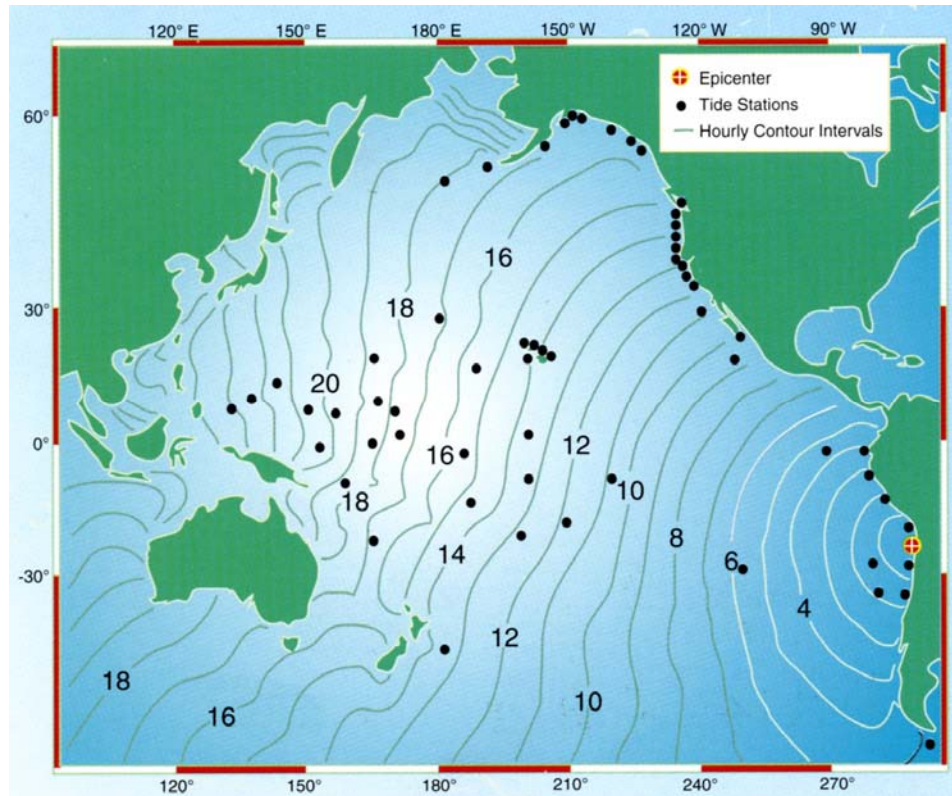


Abb. 3: Berechnete Laufzeit für die erste Welle eines Tsunami, der durch ein Beben vor der Küste Nordchiles angeregt wurde. Die Zahlen an den Isolinien geben die Laufzeit in Stunden an. Die Punkte markieren die Position von Gezeitenstationen im Pazifik, die Höhenschwankungen der Meeresoberfläche aufzeichnen und per Satellit zum PTWC melden (aus [1]).

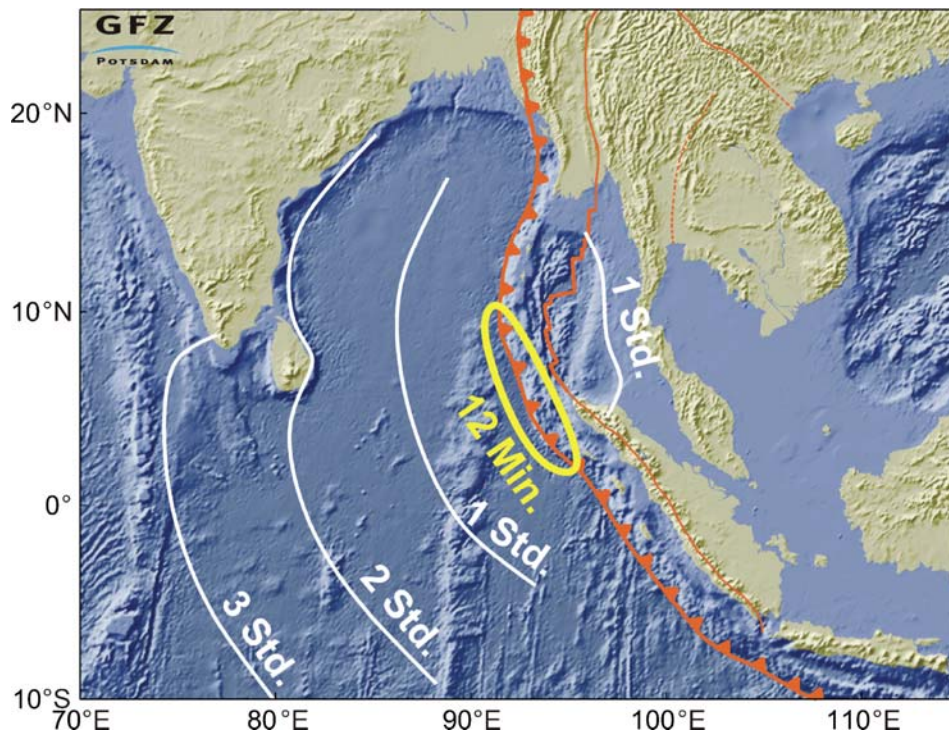


Abb. 4: Ausbreitungszeiten der ersten Wellenfront des Tsunami vom 26.12.04 durch den nordöstlichen Teil des Indischen Ozeans.

Abb. 5 zeigt Registrierungen des Meeresspiegels in Antofagasta (Chile) und Kaimaisi (Honshu, Japan) zwischen dem 22. und 24. Mai 1960. Man erkennt deutlich die etwa 12-stündige Periode der Meereszeiten (Ebbe–Flut). Sie ist überlagert durch wesentlich schnellere Schwankungen mit Perioden zwischen etwa 18 und 55 Minuten und z.T. viel größeren Amplituden. Das sind Tsunamiwellen, die durch das Chile–Beben vom 22. Mai 1960, dem bisher stärksten instrumentell aufgezeichneten Erdbeben (Magnitude 9,5 nach der Richterskala), angeregt wurden. Der Pegelmesser in Antofagasta befand sich ca. 1.800 km und der in Kaimaisi etwa 18.000 km vom Bebenherd entfernt. Aus der Abb. 5 ergeben sich weitere wichtige Tsunamimerkmale:

- Die Perioden eines Tsunami können erheblich variieren, nicht nur in verschiedenen Richtungen und Entfernungen vom Entstehungsort, sondern auch für aufeinanderfolgende Wellenberge am gleichen Ort;
- Die erste Tsunamiwoge ist meistens nicht die größte. Spätere Wogen, manchmal sogar erst die fünfte oder sechste, können um ein Vielfaches stärker sein. Da diese späten Wellen oft erst viele Stunden nach der ersten Woge eintreffen, dürfen Zufluchtsorte auf keinen Fall nach dem Rückzug der ersten Welle(n) verlassen werden! (siehe Punkt 7).
- Auch in sehr großen Entfernungen vom Entstehungsgebiet können Tsunamis noch gefährlich sein. Beim Chile-Tsunami 1960 kamen in Japan noch über 250 Menschen ums Leben.

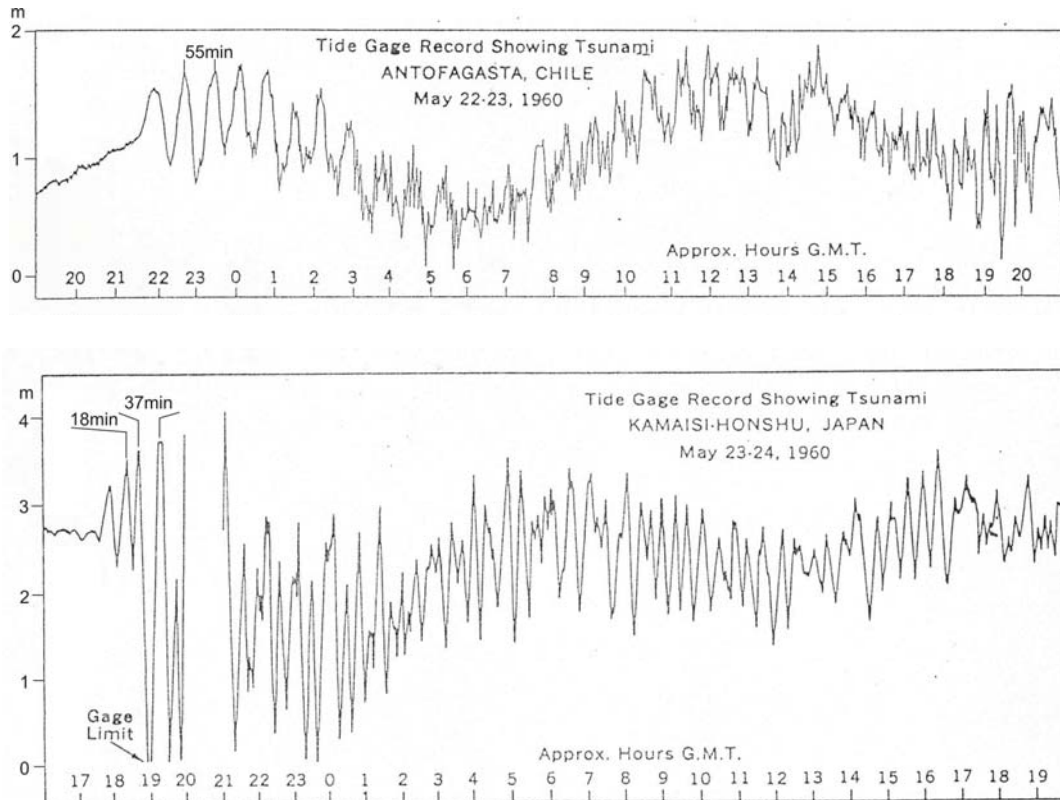


Abb. 5: Pegelregistrierungen von Ebbe und Flut in Antofagasta, Chile (oben) und Kamaishi, Japan (unten), überlagert durch die kürzeren Perioden von Tsunamiwellen des Chile-Bebens 1960.

## 2. Wo entstehen Tsunamis und wo können sie Schäden anrichten?

Die meisten starken Erdbeben ereignen sich in so genannten **Subduktionszonen** (Verschluckungszonen). Dort kollidiert ozeanische Erdkruste mit dickerer kontinentaler Erdkruste oder mit einer anderen, jüngeren ozeanischen Krustenplatte, wird unter diese geschoben und sinkt in den heißen Erdmantel ein. Dabei bauen sich ständig Spannungen in der Erdkruste auf, die sich durch - z.T. starke - Erdbeben entladen. Fast der gesamte Randbereich des Pazifik, in dem etwa 80% der weltweit durch Beben ausgelösten Energie freigesetzt werden, besteht aus Subduktionszonen. Daher entstehen dort auch die meisten Tsunamis. Aber auch in anderen Ozeanen und Meeren wie dem Atlantik, dem Indischen Ozean und im Mittelmeer können verheerende Tsunamis entstehen. Allerdings verursachen nur etwa 10 bis 20 % der starken Beben mit Richtermagnituden über 6,5 im Bereich der Meere und Ozeane auch Tsunamis, und bei Magnituden  $M < 7,5$  haben diese in der Regel nur regionale Auswirkungen im Umkreis bis zu wenigen 100 km vom verursachenden Herd entfernt.

Abb. 6 zeigt die weltweite Verteilung der **wichtigsten** Erdbeben-, Vulkan- und **Tsunami-Zonen der Erde**. Es sind vor allem die tektonisch aktiven Ränder der großen kontinentalen und ozeanischen Erdkrustenplatten. Diese Platten schwimmen auf dem zähen glutflüssigen Gesteinsbrei des oberen Erdmantels und driften langsam (wenige cm pro Jahr). Sie gleiten an einander vorbei, schieben sich übereinander, verhaken sich und reißen wieder auf. In den Kollisionszonen der Platten türmen sich neue Gebirge auf den Kontinenten bzw. Inselketten vor den Kontinenten auf, und entlang der großen ozeanischen Reiß-(sog. Rift-)zonen, erkennbar an den perlschnurartig angeordneten Erdbebenherden in den Ozeanen, entstehen untermeerische Gebirgszüge und Vulkane. Diese Vorgänge nennt man globale Plattentektonik. Sie laufen seit mehr als 3,5 Milliarden Jahren auf der Erde ab und verändern ständig das Antlitz unseres Planeten. Sie sind vom Menschen unbeeinflussbar und werden für weiter

Jahrmilliarden wirken. Die daraus resultierenden Gefahren für die menschliche Gesellschaft muss man kennen und ihnen durch bewusstes Handeln begegnen.

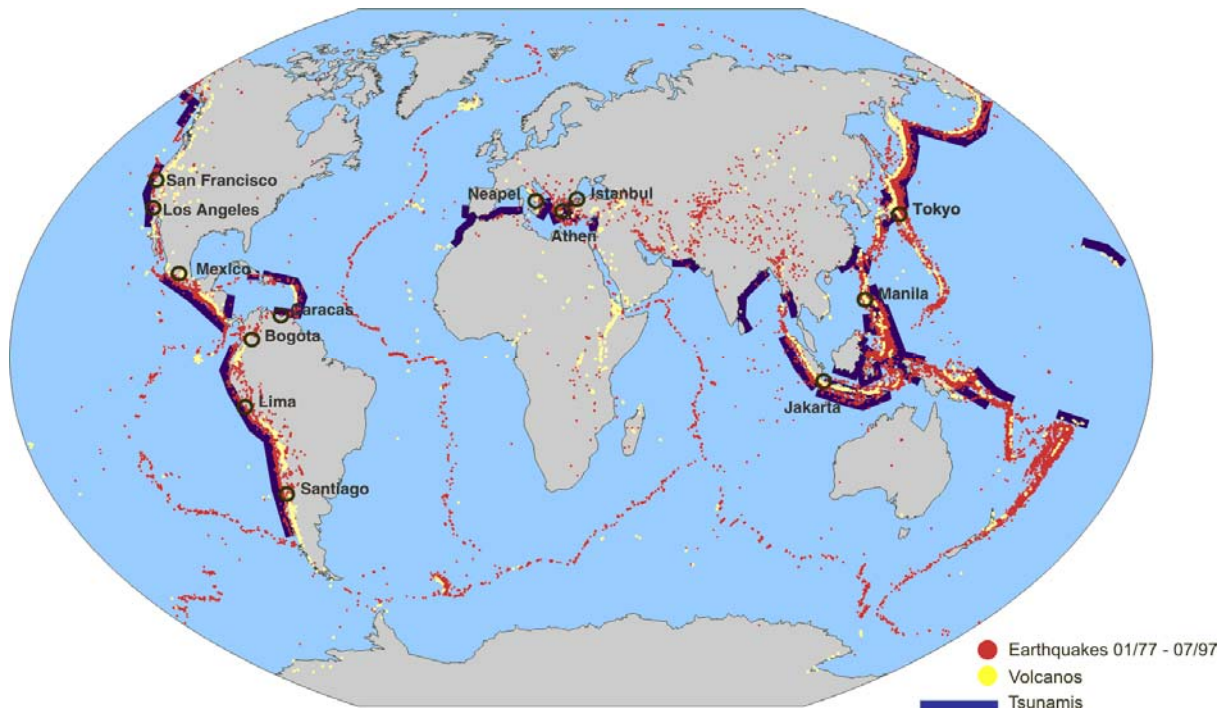


Abb. 6: Weltweite Verteilung der wichtigsten Erdbeben-, Vulkan- und Tsunami-Zonen, zusammengestellt vom GFZ Potsdam (2000). Vereinzelte starke Tsunamis können aber auch an anderen Orten entstehen bzw. Auswirkungen haben, wie der Sumatra–Tsunami vom 26.12.04 an den Küsten Somalias, Kenias und Tansanias.

Von den in den letzten 140 Jahren recht zuverlässig erfassten Tsunamis entfallen knapp 25% auf Japan. Zu gleichen Teilen von etwa 10% waren die Westküsten Südamerikas, Nord- und Mittelamerikas, Indonesien, die Philippinen sowie Neuguinea und Solomon-Inseln betroffen. Mit je etwa 6% folgen Kurilen-Kamtschatka, Alaska und Neuseeland. Auf die Mittelmeerregion, Hawaii sowie auf die Küstengebiete im Atlantischen und Indischen Ozean entfallen in diesem Zeitraum jeweils nur rund 2 bis 3 % der festgestellten Tsunamis.

Abb. 7 zeigt alle in internationalen Tsunami-Datenbanken **seit 2000 v.u.Z. dokumentierten Tsunamis** für den Pazifik, den Indischen Ozean (Indik) und den Atlantik (einschließlich seiner Nebenmeere). Von den erfassten Ereignissen mit Todesopfern entfallen 79 % auf den Pazifik, 14 % auf den Atlantik und 7 % auf den Indik. Diese Häufigkeitszahlen sind jedoch wegen der unterschiedlichen kulturellen Entwicklung der Regionen im Verlaufe der Menschheitsgeschichte weder vollständig noch repräsentativ für die tatsächliche langfristige Häufigkeit des Auftretens starker Tsunamis. Etwa 70 % aller Nennungen entfällt allein auf die letzten 200 Jahre. Sie sagen auch nichts über deren mögliche Gefährlichkeit aus. Das beweist das Beben vom 26.12.04 mit dem opferreichsten Tsunami der Menschheitsgeschichte ausgerechnet im Indik.

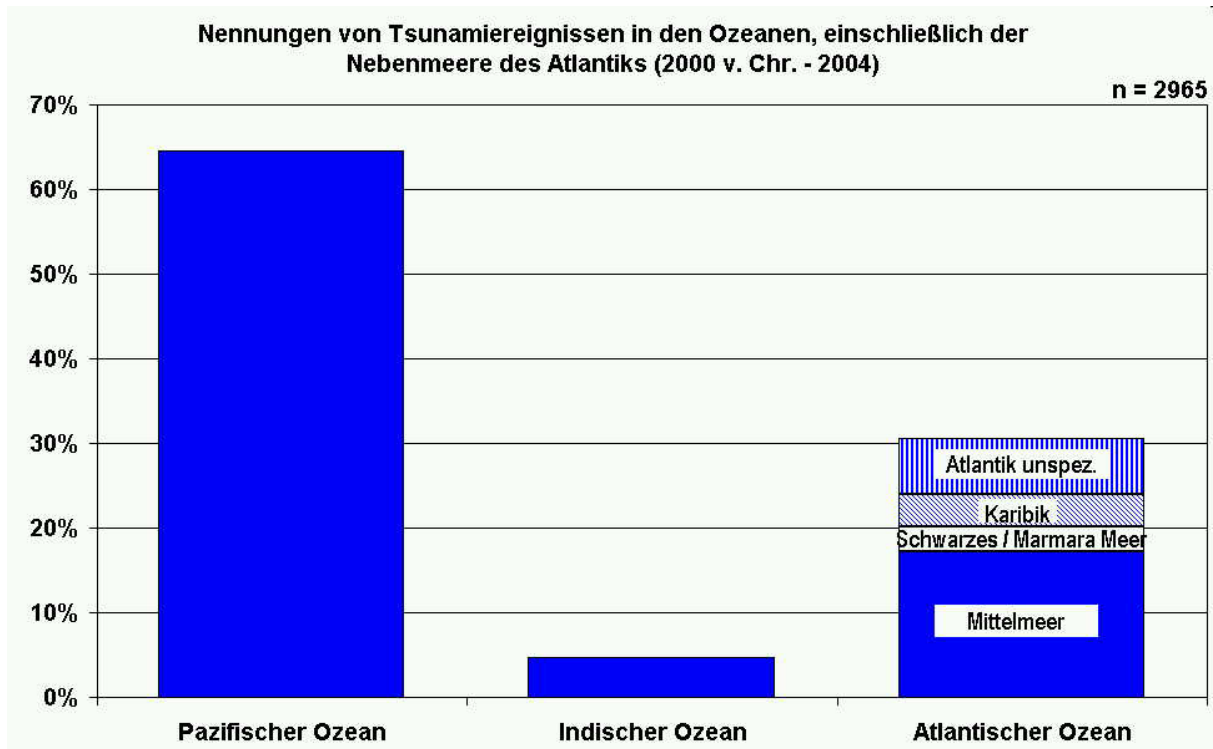


Abb. 7: Alle derzeit erfassten Nennungen von Tsunamis (z.T. unsicher) aus einer Zusammenstellung verschiedener internationaler Datenbanken (nach [2]).

### 3. Häufigkeit des Auftretens gefährlicher Tsunami

Im Vergleich zu Erdbeben, Vulkanausbrüchen und Erdrutschen/Lawinen sind Tsunami seltene Ereignisse. Eine Zusammenstellung verschiedener Datenbanken ergibt für den Zeitraum von 2000 v.u.Z. bis heute weltweit knapp 3000 Eintragungen, darunter viele mit dem Vermerk „irrtümliche“ bzw. „fragliche“ bis „sehr fragliche“ Tsunamis. Über 2000 dieser Eintragungen entfallen allein auf die letzten 200 Jahre, nicht weil die Häufigkeit von Tsunamis zugenommen hat, wohl aber deren Erfassung und Dokumentierung. Weniger als die Hälfte dieser Ereignisse werden als „definitive“ bzw. „wahrscheinliche“ Tsunamis geführt. Von diesen erreichten seit 1562 etwa 100 Tsunamis maximale Run up-Höhen von 10 m und mehr und 26 Tsunamis Höhen über 30 m (bis maximal 500 m bei einem riesigen Felsabbruch in die Lituya Bay, einem Fjord in Alaska). Eine vollständigere Häufigkeitsstatistik seit 1868 zeigt, dass im langjährigen Mittel in einem Zeitraum von 10 Jahren gefährliche maximale Run up-Höhen von >2 m 23mal, >8 m 8mal und >32 m nur einmal beobachtet wurden ([2]).



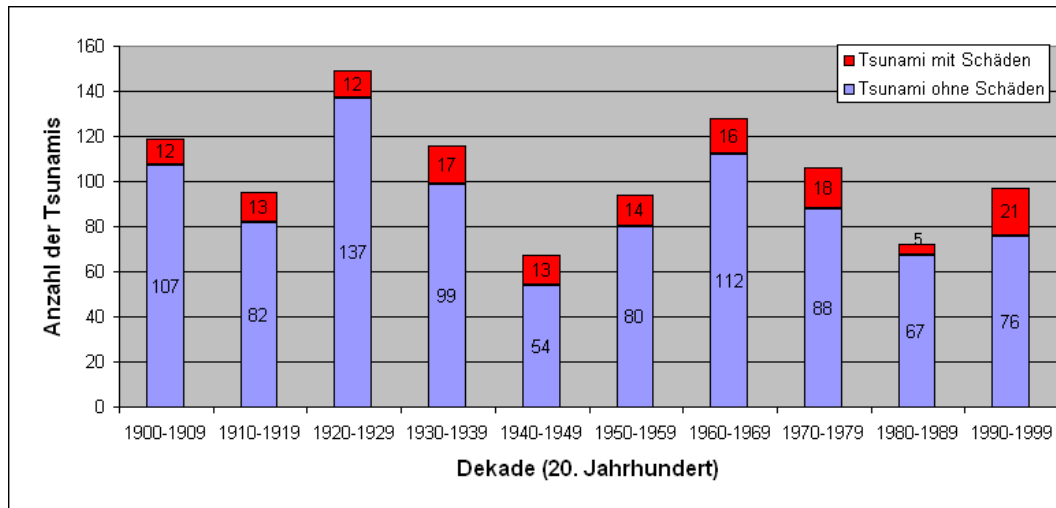


Abb. 8: Anzahl von Tsunamis mit und ohne Schäden in den Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts (zusammengestellt nach Angaben des National Geophysical Data Center und der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) der USA)

Abb. 8 zeigt für die Dekaden des 20. Jahrhunderts die **Häufigkeit von Tsunamis mit und ohne Schäden**. Danach gab es im vergangenen Jahrhundert im Mittel nur etwa 10 Tsunamis pro Jahr, von denen aber nicht mehr als 1 bis 2, manchmal sogar nur einer in 2 Jahren, Schäden verursacht haben. Fast 90% der Tsunamis wurden durch Erdbeben angeregt oder ausgelöst. Bedingung ist, dass die Erdbeben ausreichend flach und stark genug sind, um die Erdkruste bis zum Meeresboden hin aufzureißen. Das ist aber nur für Erdbeben mit Magnituden  $M$  (Stärke nach der Richterskala) über 6 der Fall. Im langjährigen Mittel ereignen sich auf der Erde jährlich etwa 200 Beben dieser Stärke. Aber nur etwa 10 bis 20% dieser Beben erzeugen auch eine hinreichend starke vertikale Bewegung des Meeresbodens, um einen Tsunami anzuregen. Nennenswerte Schäden verursachen aber nur Tsunamis mit Run up-Höhen von 2 m und mehr. Diese werden, von Ausnahmen abgesehen, in der Regel nur durch Beben mit  $M > 7$  erzeugt. Davon gibt es im Mittel pro Jahr weltweit nur etwa 17 Beben (schwankte im 20. Jahrhundert zwischen etwa 5 bis 40 pro Jahr). Nur etwa jedes zehnte von ihnen erzeugt auch einen nennenswerten Tsunami. Allerdings können gelegentlich auch vergleichsweise schwache bzw. sehr langsam ablaufende Erdbeben, die an nahegelegenen Küsten nicht oder nur als schwache Erschütterungen wahrgenommen werden, große untermeerische Erdbeben bzw. Meeresbodenverrückungen und damit Tsunamis zur Folge haben. Das war z.B. der Fall bei den beiden Tsunamis 1992 in Nicaragua (Run up max. 9 m) und 1998 in Papua Neuguinea (Run up max. 15 m) mit großen Schäden und zahlreichen Toten.

#### 4. Tsunamischäden und –gefährdung

Im Vergleich zu direkten Schäden infolge von Erdbeben, Vulkanausbrüchen oder Erdbeben/Steinlawinen, die meist nur lokal bzw. in räumlich begrenzten Gebieten auftreten, können Tsunamis noch an tausenden von Kilometern entfernten Küsten Verwüstungen anrichten und Menschenleben fordern. Anliegen dieses Abschnitts ist es, auf Besonderheiten aufmerksam zu machen, die für Entscheidungen betreffs Wohnen, Arbeit und Erholung in tsunamigefährdeten Gebieten und das Verhalten nach einer solchen Katastrophe wichtig sind.

Einer Küste vorgelagerte Riffe und Sandbänke/Flachwasserbereiche können die Zerstörungskraft von Tsunamiwellen reduzieren, manchmal auch spezielle Wellenbrecher-Bauwerke, wie sie an einigen besonders gefährdeten Küstenabschnitten Japans errichtet wurden. Es gibt aber auch Beispiele dafür, dass notwendige Durchlassbereiche in solchen Schutzbauten die Durchflussgeschwindigkeit und

Wellenhöhe des Tsunami lokal gefährlich erhöhten und damit auch die Schäden im eigentlich zu schützenden Bereich verstärken.

Erfahrungen aus Japan besagen, dass Tsunamiamplituden unter 1,5 m in der Regel keine Gefahr für Menschen und Bauwerke darstellen. Es gibt aber Fälle, wie der nächtliche Einbruch des Tsunami von 1992 in Nikaragua, wo vor allem Kinder, die auf dem Boden in Fischerhütten am Strand schliefen, in dem mancherorts nur 1 bis 1,5 m ansteigenden Wasser ertranken.

Bei Wellenhöhen über 2 m werden Leichtbauten aus Holz, Blech, Lehm u.ä., bei Wellen  $> 3$  m Höhe auch Bauten aus Betonblocksteinen meist total zerstört. Bei Wellenhöhen über 4 m steigt auch die Zahl der Todesopfer drastisch an. Solide Stahlbetonbauten können dagegen Tsunamiwellen von mindestens 5 m Höhe widerstehen. Deshalb können die oberen Etagen von Stahlbeton-Hochhäusern/-Hotels im Falle sehr kurzer Vorwarnzeiten und geringer Fluchtchancen im Freien ebenfalls als Zufluchtstätten genutzt werden.

Tsunamis dringen oft hunderte Meter, besonders hohe Wellen sogar einige Kilometer weit in flache Küstengebiete vor und verwüsten dort nicht nur menschliche Siedlungen, sondern machen auch landwirtschaftliche Nutzflächen und Brunnen durch Versalzung und Versandung unbrauchbar. Da die Wassermassen mehrmals vordringen und zurückströmen, sind die Überflutungsgebiete mit Schlamm und Sand, zertrümmerten Gegenständen und Gebäudeteilen übersät. Schiffe in Häfen werden aufs Land geworfen (Abb. 9), Straßen blockiert, Eisenbahngleise unterspült und somit unbrauchbar. Niedrig gelegene Hafengebiete und Fischersiedlungen stehen oft noch lange unter Wasser und sind unbewohnbar geworden (Abb. 10). Dazu kommen Gefahren aus leckgeschlagenen Fässern mit Treibstoffen und Chemikalien, Flutungen von Kläranlagen oder Fäkaliengruben und oftmals auch noch hunderte, ja tausende Leichen von Menschen und Tieren. Insbesondere in tropischen Regionen erhöht das die akute Gefahr von Trinkwasservergiftungen, Ausbruch von Seuchen u.ä.. Die direkten Tsunamischäden werden oft noch verstärkt durch den Ausbruch von Feuer infolge gebrochener Gasleitungen und elektrischer Kurzschlüsse, oft in Verbindung mit ausgelaufenem Treibstoff aus gestrandeten Schiffen und Fahrzeugen oder leckgeschlagenen Tanks in Häfen (Abb. 10).



Abb. 9: Trümmerfeld im Hafen von Kodiak, Alaska, nach dem Tsunami vom 27. März 1964 (Foto: R. Kachadorian, USCGS; aus [3])



Abb. 10: Verwüstungen und Brände im Hafen von Niigata auf Honshu, Japan, nach dem Tsunami und Beben vom 16. Juni 1964.

Auch Küstenbiotope (Mangrovenwälder, Korallenriffe u.a.) können durch Tsunamis schwer beschädigt und nachhaltig gestört werden.

## 5. Tsunami-Früherkennung und -warnung

Die Möglichkeiten zur rechtzeitigen Erkennung und Warnung wachsen mit der Entfernung einer gefährdeten Küste vom Entstehungsort des Tsunami. Existieren im Entstehungsgebiet bereits lokale Überwachungsnetze (wie derzeit in Japan, Kamtschatka und Alaska; für einige andere Gebieten sind solche Systeme in Entwicklung), dann sind Ortungen sowie Abschätzungen zur Stärke und Gefährlichkeit eines Tsunami und daraufhin sofort ausgelöste automatische Warnungen bereits innerhalb von 5 bis 10 min. möglich, je nach Entwicklungsstand der Technik. Für Küstenabschnitte, die weiter als 50 bis 100 km (abhängig von der Wassertiefe und damit Tsunami-Laufzeit, s. Abb. 2) vom Herd entfernt liegen, besteht so eine reale Chance für Frühwarnungen. Küstenbewohnern bleiben dann einige Minuten Zeit, sich in Sicherheit zu bringen.

Bei regionalen Tsunamis, z.B. in Neben- und Binnenmeeren wie dem Mittelmeer, Schwarzen Meer, Japanischen Meer, der Karibik, dem Golf von Bengalen, etc. sind für fernere Küsten in einigen hundert bis 2000 km Entfernung Warnungen im Prinzip schon 1 bis 3 Stunden vor dem Eintreffen des Tsunami möglich (s. Abb. 4). Für den Atlantik und Indik sowie deren Nebenmeere existieren jedoch noch keine technischen Frühwarnsysteme. Bereits vorhandene regionale Erdbebenstationen können aber für den Aufbau solcher Systeme genutzt, gezielt ausgebaut und durch Drucksensoren auf dem Meeresboden und andere ozeanographische Überwachungssysteme ergänzt werden. Die Ozeansensoren gestatten es, die sich von einer Anregungsquelle ausbreitenden Tsunamiwellen zu erfassen, ihre Höhe zu bestimmen und ihre Ausbreitung durch das Meer zu verfolgen.

Voraussetzungen für ein funktionierendes Frühwarnsystem sind neben einer Vielzahl verschiedener moderner Sensoren zur Gewinnung der erforderlichen Daten deren sofortige Weiterleitung (z.B. über Satelliten), Verarbeitung in nahezu Realzeit und umgehende Einspeisung der daraus abgeleiteten Erkenntnisse in nationale und internationale, weltweit offene Informationssysteme und Weitergabe an Alarmierungszentren.

Für den Pazifischen Ozean besteht bereits für das Tsunami Warnsystem im Pazifik seit 1965 ein operatives Zentrum in Honolulu, Hawaii (PTWC – Pacific Tsunami Warning Center). Es wird ergänzt durch ein internationales Informationszentrum (ITIC – International Tsunami Information Center). Nähere Informationen sind über das Webportal des ITIC erhältlich (<http://www.prh.noaa.gov/itic/>; mit Links zum Alaska Tsunami Warning Center und zu Ereignissen im Indik). Besteht Tsunamigefahr für entfernte pazifische Küstenzonen mit ausreichender Vorwarnzeit, dann ruft das PTWC die Tsunamiwarnstufe aus. Erhalten Sie entsprechende Informationen über die Medien, dann befolgen Sie strikt die offiziellen Anweisungen.

Organisierte Reaktionen und Evakuierungen sind aber nicht mehr möglich bei lokalen Tsunamis, die unmittelbar vor der Küste entstehen und auch nicht beim Eintreffen entfernt entstandener Tsunamis, für die es keine offiziellen Vorwarnungen gibt. Aber selbst dann besteht noch eine gute Chance, das eigene Leben und das anderer Menschen zu retten, wenn man die Natur aufmerksam beobachtet und ungewöhnliche Erscheinungen richtig zu deuten weiß.

Woran erkennt man eine unmittelbare Tsunamigefahr, die eine **sofortige Reaktion** eines jeden Einzelnen erfordert?

- Falls offizielle Frühwarnsysteme existieren, dann wird ein Tsunami über vereinbarte Sirensensignale, Meldungen über Küstenfunk oder andere Medien signalisiert;
- Hält man sich im Küstenbereich auf und verspürt starke Erderschütterungen, dann ist dies eine akute Warnung, dass ein Tsunami **MÖGLICH** und sofortiges Handeln angebracht ist (siehe Punkt 7) auch wenn nur wenige der starken Beben tatsächlich auch einen gefährlichen Tsunami anregen;
- Wichtig zu wissen ist, dass sich Erderschütterungen wesentlich schneller als Tsunamiwellen ausbreiten. Deshalb wurde das Erdbeben vom 26. 12. 2004 vor Sumatra in der Provinz Aceh bereits 15 min. vor dem Eintreffen der Tsunamiwelle verspürt. Das wäre genügend

Vorlaufzeit für richtiges Tsunami–Verhalten der Küstenbewohner gewesen. Bei Tsunamis infolge entfernter Beben oder auch (u.U. sogar näher) untermeerische Hangrutschungen und Vulkanausbrüche, gibt es aber meist keine vorherigen Erschütterungswahrnehmungen. Bei fast allen Tsunamis geht jedoch der ersten großen Brecherwelle ein - im Vergleich zu Ebbe und Flut - relativ schneller ANSTIEG oder ABFALL des Wasserspiegels voraus, oft um mehrere Meter innerhalb von 5 bis 10 min. Beides sind **untrügliche Anzeichen** dafür, dass in Kürze (weniger als 30 min; abhängig von der Periode der nachfolgenden Tsunami–Wellen) die erste große Wellenfront die Küste erreicht.

Aufmerksame Naturbeobachtung und sofortige verantwortungsbewusste Reaktion jedes Einzelnen kann folglich Menschenleben retten. Alle Personen, die sich am Strand oder der Küste aufhalten und entweder starke Erderschütterungen verspüren oder ein ungewöhnliches Verhalten des Meeresspiegels beobachten, sollten alle Personen in ihrem Umkreis darauf aufmerksam machen und zum sofortigen Verlassen des Strandes und aller anderen flachen und damit überflutungsgefährdeten Küstengebiete auffordern (siehe Punkt 7).

## 6. Welche Fragen sollte man in tsunamigefährdeten Regionen stellen?

Personen, die sich in den am meisten tsunamigefährdeten Regionen der Erde (Abb. 5) in Küstengebieten zeitweilig aufhalten oder wohnen, sollten nachfolgend aufgeführte Fragen stellen und Auskünfte dazu beim Hotelmanagement, bei örtlichen Behörden, der Polizei, bei Katastrophen- bzw. Zivilschutzorganisationen u.ä. einholen:

- Steht das Hotel/Wohnhaus/Arbeitsgebäude etc. im Falle eines starken Tsunami im Überflutungsgebiet?
- Wenn ja, welcher Gebäudeklasse bezüglich Höhe, Stabilität und Solidität der Gründung ist das Gebäude, das bezogen bzw. in dem gearbeitet werden soll, zuzuordnen?
- Können im Falle hoher (mehr als 3–geschossiger) Gebäude mit glaubhafter Stabilität im Ernstfall die höheren Stockwerke als Zufluchtsort benutzt werden (**siehe Punkt 4.**)?
- Gibt es für den Ort/die Bucht etc. bereits einen Plan der tsunamigefährdeten Areale (ausgewiesene maximale Impakt- und Überflutungszonen) mit empfohlenen Fluchtwegen, Sammelstellen, Notunterkünften (engl. Emergency Shelters)?
- Wie weit sind die nächstgelegenen Erhebungen und andere geeignete Zufluchtsorte entfernt?
- Gibt es für den Ort/Strand/Küstenbereich bereits ein funktionierendes Frühwarnsystem und Tsunami-Management und wenn ja, welches sind die geltenden Alarmsignale und Verhaltensregeln? (Merkblatt anfordern!)?
- Ist das Hotelmanagement/die Gebäudeverwaltung darauf vorbereitet, im Ernstfall und auch nachts die Bewohner zu alarmieren und kompetente Verhaltensanweisungen zu geben? Welcher Art und über welche Medien?

Seien Sie sich bewusst, das es bislang unüblich war, solche Fragen zu stellen. Sie werden deshalb mit Sicherheit auf Unverständnis und oft auch Unmut stoßen, zumal in den meisten Ländern alle o.g. Dienststellen selbst noch keine zweckdienlichen Auskünfte dazu geben können. Lassen Sie sich dadurch nicht irritieren zu fragen. Nur immer wieder an diese Stellen adressierte Fragen von Touristen, Geschäftsleuten, Politikern etc. erzeugen den erforderlichen moralischen, politischen und auch ökonomischen Druck, um in den nächsten Jahren und Jahrzehnten auf dem Gebiet der Katastrophenvorbeugung und –verhütung wesentliche Fortschritte zu machen. Einige Dienststellen werden sogar dankbar dafür sein, dass Sie bei ihren eigenen Bemühungen um Hilfe, Aufklärung und Entscheidungen seitens übergeordneter Stellen auf IHRE drängenden Fragen verweisen können.

## 7. Vorbeugende und akute Verhaltensregeln in Tsunamigebieten

- **Wissen ist Sicherheit!** Geben Sie Ihr Wissen über Tsunamis an andere weiter. Das kann helfen, Menschenleben bei zukünftigen Ereignissen zu retten.
- Obgleich Tsunamis sehr gefährlich und verheerend sein können, so ereignen sie sich doch sehr selten. Deshalb sollten Sie sich Ihre Freude am Erlebnis des Meeres und der Strände auch in tsunamigefährdeten Ländern nicht nehmen lassen, aber zugleich ein aufmerksamer und wissender Naturbeobachter sein, auch wenn jahrzehntelang nichts Außergewöhnliches passiert.

### 7.1 Verhalten beim Aufenthalt im Freien

- Befinden Sie sich in tief liegenden Küstengebieten bzw. an einem Flussufer nahe der Mündung ins Meer und verspüren ein heftiges Erdbeben, dann warnen Sie auch andere Menschen in Ihrer Nähe und eilen so schnell wie möglich in **höher gelegene Gebiete** im Hinterland oder an der Küste.
- Beachten Sie, dass Tsunamiwellen direkt an der Küste oft Höhen von über 10 m und im seltenen Extremfall von mehr als 30 bis 50 m erreichen können. Im Hinterland schwächen sich die Tsunamiwogen schnell ab, sie können aber flache Küstenbereiche viele hundert Meter bis zu einigen Kilometern weit landeinwärts überfluten. Hügel von über 10 m Höhe in einigen hundert Metern Küstenentfernung können aber bereits ein sicherer Zufluchtsort sein. Aber: je höher hinaus und weiter weg Sie in der verbleibenden Vorwarnzeit kommen, um so sicherer sind Sie.
- Sind geeignete Zufluchtsstellen im Freien jedoch zu weit von Ihrem Standort entfernt, dann suchen Sie nach Möglichkeit Schutz in höheren Etagen eines stabilen modernen Hochhauses/Hotels.
- Ein Tsunami besteht aus einer ganzen Serie hoher Wellen, manchmal mehr als 10. Sie folgen aufeinander in Abständen von etwa 10 bis 60 Minuten (gelegentlich bis zu 2 Stunden). Die erste Welle ist nur selten die stärkste, manchmal erst die sechste. Deshalb besteht die Tsunamigefahr noch für viele Stunden nach Ankunft der ersten Welle. Zu frühe Rückkehr zur flachen Küste kann tödlich sein! Deshalb verbleiben Sie geduldig an Ihrem sicheren Zufluchtsort, bis offizielle Entwarnung durch Polizei- oder Zivilschutzkräfte gegeben wird!
- Gleiches gilt, falls Sie am Strand oder an der Küste einen unerwarteten, nicht gezeitenbedingten (6-stündigen) sondern relativ schnellen **Anstieg oder Rückgang** des Meeresspiegels im Verlauf von Minuten beobachten. Beides sind **untrügliche Vorwarnzeichen** für eine bald darauf folgende erste große Tsunamiwelle. In keinem Falle folgen Sie Neugierigen, die bei Meeresrückzug in trocken gefallene Buchten hinauslaufen, um Fische oder Muscheln aufzulesen! Vielmehr warnen Sie diese Personen eindringlich und **flüchten sie umgehend in höher gelegene Gebiete landeinwärts**. Sie haben nur wenige Minuten Vorsprung vor der Welle!
- Gleiches gilt, falls Sie sich am Strand oder im Freien innerhalb der Überflutungszone aufhalten und durch ein **Alarmsignal** vor einem **unmittelbar bevorstehenden** Hereinbruch eines **Tsunami** gewarnt werden.
- Empfangen Sie auf offener See in Ihren Boot oder Schiff eine Tsunamiwarnung für Ihren Küstenbereich, dann fahren Sie auf keinen Fall in einen Hafen oder eine Bucht ein. Ein Tsunami kann dort außer brechenden Wellen und gefährlichen plötzlichen Schwankungen des Wasserniveaus auch unvorhersagbare gefährliche Strömungen verursachen. Halten Sie mindestens einige Kilometer Küstenabstand und fahren Sie in den Hafen erst ein, wenn die Hafenbehörden diesen wieder für sichere Navigation und Ankerung freigeben.

- Befinden Sie sich z.Z. der Tsunami-Warnung in einem Hafen, dann sollten Sie folgendes beachten: Die meisten großen Häfen stehen unter der Kontrolle einer Hafenbehörde oder eines Leitsystems für den Schiffsverkehr. Nehmen Sie sofortigen Kontakt mit diesen Behörden auf, da sie verpflichtet sind bei Alarmzustand allen Anweisungen der Hafenbehörden zu folgen, erforderlichenfalls auch der Anweisung zum Verlassen des Hafens.
- Kleine Häfen oder Buchten haben keine solchen Behörden. Wenn Sie eine Tsunamiwarnung empfangen und diese Ihnen Zeit lässt, Ihr Schiff oder Boot in tiefes Wasser zu manövrieren, dann sollten Sie dies in geordneter Weise unter Beachtung der Sicherheit auch anderer Wasserfahrzeuge in Ihrer Umgebung umgehend tun. Denn in tieferem Wasser ist ein Tsunami kaum gefährlich bzw. können seine Wellen in einigem Abstand von der Küste und vor dem Brechen noch angesteuert werden, ähnlich wie Wellen auf stürmischer See.
- Für Führer kleiner Boote mag es aber sicherer sein, vor allem im Falle lokaler Tsunamis mit sehr kurzer Vorwarnzeit bzw. bei gefährlicher stürmischer See außerhalb des Hafens, das Boot am Pier zu belassen, sich selbst umgehend aufs Festland zu begeben und höheres Terrain aufzusuchen .
- In allen oben genannten Fällen mit kurzen Vorwarnzeiten sollte man auf keinen Fall versuchen, noch irgendwelche Sachgegenstände in Sicherheit bringen zu wollen oder in Gebäude zurückzukehren, falls diese im möglichen Überschwemmungsgebiet liegen. Alle noch gesunden erwachsenen Personen sollten laufend oder per Rad/Moped davoneilen. Autofahren kann bei hunderten oder tausenden Menschen in panischer Flucht auf verstopften Straßen schlimmere Folgen haben als der Tsunami selbst. Autos sollten deshalb nur benutzt werden, um (Klein-)Kinder und behinderte oder alte Menschen in Sicherheit zu bringen.
- Halten Sie sich im Freien im Küstengebiet auf und erhalten über Handy, Funk oder durch Mitbürger eine Tsunamiwarnung mit **längerer Vorlaufzeit** von Stunden, dann begeben Sie sich, falls die Zeit es zulässt, zunächst in Ihre Wohnung oder Ihr Hotel und informieren Sie umgehend Ihre Familie, Bekannten und Freunde am Ort. Weiteres siehe im Abschnitt „Verhalten bei Aufenthalt in Gebäuden“.
- Bei langer Vorwarnzeit werden die örtlichen Behörden in der Regel geordnete Evakuierungen im zu erwartenden Überflutungsgebiet anweisen und die Menschen zu sicheren Sammelplätzen oder Notunterkünften dirigieren. In einer solchen Situation werden auch Busse und andere Fahrzeuge eingesetzt bzw. deren private Nutzung toleriert. Diesbezüglichen Anweisungen der Ordnungskräfte sind zu befolgen.
- Bei unzureichender Vorwarnzeit oder ausbleibenden neueren Instruktionen ohne Entwarnung verhalten Sie sich aber wie oben angegeben und suchen Zuflucht in einem höher gelegenen Ort oder Gebäude außerhalb des zu erwartenden Impakt- und Überflutungsgebietes. Verbleiben Sie dort, bis Entwarnung gegeben wird.

## 7.2 Verhalten bei Aufenthalt in Gebäuden

- Spüren Sie in einem Gebäude in Küstennähe und im potentiellen Tsunami-Überschwemmungsgebiet ein starkes Erdbeben, dann flüchten Sie sofort unter einen stabilen (Schreib-)Tisch oder Türrahmen in einer tragenden Innenwand und halten Sie sich dort fest, solange die Erschütterungen anhalten. Mehr Informationen dazu können Sie dem [Merkblatt Erdbeben](#) entnehmen. Nach Abklingen der Erschütterungen verlassen Sie sofort das Gebäude, falls es im flachen Küstengebiet liegt, niedrig gebaut oder von schlechter Bausubstanz ist. Leicht- und Billigbauten aus Holz, Lehm oder Betonblöcken werden nach Erfahrungen aus Japan von Tsunamiwellen mit mehr als 2 bis 3 m Höhe zerstört. Sie bieten deshalb in Strandnähe bei einem kräftigen Tsunami keine Überlebenschancen.

- Gut gegründete Bauwerke in verstärkter Betonbauweise halten dagegen auch noch Tsunamiwellen von mindestens 5 m Höhe stand. Sind solche Gebäude/Hotels hoch genug (mehr als 3 Stockwerke), dann können Flure in den oberen Etagen ggf. einen sicheren Zufluchtsort selbst in Strandnähe bzw. niedrig liegenden Küstenabschnitten bieten. Da unmittelbar nach Abklingen starker Erdbebenschütterungen in einem Küstengebiet mit dem Eintreffen der ersten Tsunamiwelle schon nach Minuten zu rechnen ist, ist der Verbleib in höheren Gebäudeetagen dann der Flucht in höheres Gelände vorzuziehen.
- Schalten Sie Handy, Radio oder Fernsehen auf Empfang in Erwartung präziserer Meldungen des Frühwarndienstes und Anweisungen des Katastrophenmanagements, der Polizei oder anderer offizieller Kräfte. Verbleiben Sie, falls nicht anders von offizieller Stelle ausdrücklich angewiesen, an ihrem Zufluchtsort bis Entwarnung gegeben wird. Verlassen Sie in keinem Fall das Gebäude nach der ersten oder zweiten Tsunamiwelle!
- Sollten flüchtende Menschen Sie informieren, dass plötzlicher Wasserrückgang oder –anstieg an der Küste auf einen möglichen, unmittelbar bevorstehenden Einfall eines starken Tsunami hinweist, und befinden Sie sich in einem niedrigen oder nicht stabil gebautem Gebäude in der potentiellen Überflutungszone, dann verlassen Sie dieses umgehend. Suchen Sie auf kürzestem Wege ein höhergelegenes und/oder küstenferneres Zufluchtsgebiet auf. Befinden Sie sich aber z.Z. der Warnung in höheren Etagen eines sehr stabil gebauten Gebäudes, dann verbleiben Sie dort, falls nicht ausdrücklich andere Anweisungen von Zivilschutzkräften gegeben werden.
- Im Falle einer Tsunamiwarnung über offizielle Medien mit einer Vorlaufzeit von mehr als einer Stunde für Ihren Küstenbereich ist Umsicht und Ruhe angesagt. Schalten Sie Radio, TV, Handy etc. ein und warten Sie auf aktuelle Informationen und Instruktionen durch Kräfte des Katastrophen-/Zivilschutzes oder der Polizei. Informieren Sie Ihre Familienmitglieder, Mitbewohner und Freunde im Ort und schalten Sie umgehend alle Hauptschalter für Strom, Gas und Wasser ab (Havarie- und Brandgefahr!). Versorgen Sie sich und Ihre Angehörigen umgehend mit einer Notverpflegung und –bekleidung und nehmen Sie Bargeld, Wertsachen, wichtige persönliche Dokumente, Kofferradio, Handy u.ä. an sich. Erwarteten Sie mögliche Evakuierungsanweisungen.
- Erfolgen keine Evakuierungsanweisungen bis spätestens etwa einer halben Stunde vor dem erwarteten Eintreffen des Tsunami, dann sollten Sie umgehend Ihr Aufenthaltsgebäude verlassen, falls dieses im flachen küstennahen Bereich liegt, niedrig und/oder leicht gebaut ist und einen sicheren Ort aufsuchen. Befinden Sie sich dagegen in einem Hochhaus (mehr als 3 Stockwerke) in stabiler Stahlbeton- oder Stahlskelettbauweise dann suchen Sie Flure in oberen Stockwerken als Zuflucht auf. Anderenfalls schließen Sie sich den Flüchtenden im Freien an. Autos sollten nur benutzt werden, falls noch genügend Zeit vorhanden und keine Panik/Verstopfung auf den Straßen herrscht (z.B. Verkehrsregelung durch Polizei oder Zivilschutzkräfte) bzw. wenn Kinder, alte, kranke und/oder Behinderte Personen in Sicherheit zu bringen sind.
- Liegt Ihr(e) Wohnung/Hotel/Arbeitsplatz im Überschwemmungsbereich eines Tsunami und ist eine geordnete Evakuierung angesagt, dann leisten Sie den Anweisungen der offiziellen Kräfte unbedingt Folge. Gibt es aber nach einer akuten Tsunamiwarnung keine weiteren Anweisungen bzw. Entwarnung, dann sollten Sie kein Risiko eingehen und keine weitere Zeit verlieren. Handeln Sie dann eigenverantwortlich unter Berücksichtigung obiger genereller Verhaltensregeln.
- Haben Sie die Evakuierungszone mit einem Fahrzeug verlassen, dann kehren Sie nach dem Tsunami nicht mit diesem (oder nur mit ausdrücklicher Genehmigung der Katastrophenschutzkräfte!) in das Gebiet der Verwüstungen zurück. Anderenfalls können Sie Räumungs- und Bergungsarbeiten stören.

**Literaturhinweise**

- [1] **Anonym (2002):** Tsunami – the great waves. Revidierte Fassung, erarbeitet von der U.S. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), UNESCO/Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), International Tsunami Information Center (ITC), Laboratoire de Geophysique, France (LDG)
- [2] **Römer, H.(2005):** Eine internationale Tsunamidatenbank – Erstellung und erste Auswertungen. Praktikumsarbeit am GFZ Potsdam
- [3] **Bolt, B. (1984):** Erdbeben. Eine Einführung. Springer–Verlag Berlin–Heidelberg–New York–Tokyo. 236 S.

*Bitte beachten Sie: Die Aussagen und Empfehlungen sind nach bestem Wissen erstellt worden. Dennoch kann das GeoForschungsZentrum Potsdam nicht verantwortlich gemacht werden und keinerlei Haftung für Schäden übernehmen, die durch die Beachtung dieser Hinweise entstehen.*