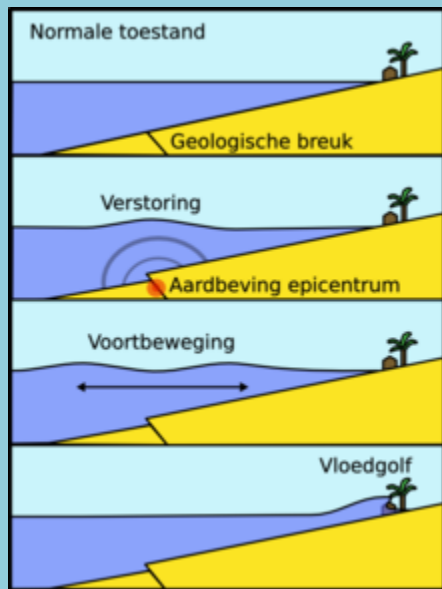
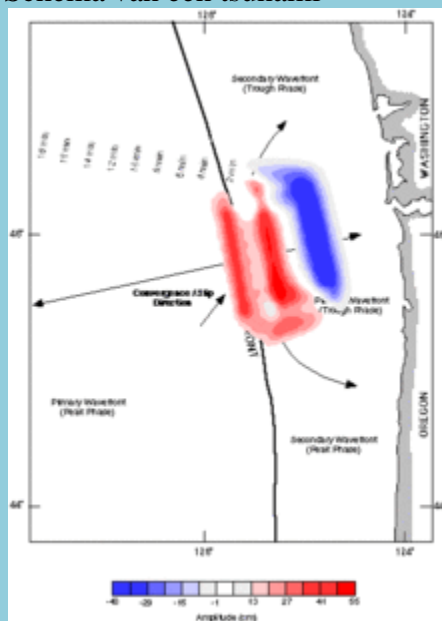


Tsunami



Schema van een tsunami



Animatie van het verloop van een tsunami

Een **tsunami** is een vloedgolf uit de zee die de kuststrook onverwacht overspoelt, veelal veroorzaakt door een [zeebeving](#). Het is een [Japanse](#) samenstelling van *tsu* ('[haven](#)') en *nami* ('[golf](#)').

Het woord 'vloedgolf' is een ruimer begrip. Dat slaat op een getijdengolf die bij [vloed](#) of [springvloed](#) ondiepe [baaien](#) of [riviermondingen](#) binnen loopt of op een golf ten gevolge van een stuwdamdoorbraak.

Oorzaken

Elke gebeurtenis waardoor een grote hoeveelheid water in korte tijd wordt verplaatst kan een tsunami veroorzaken. Zo'n vloedgolf kan onder meer veroorzaakt worden door:

- een [zeebeving](#), dit is een [aardbeving](#) waarvan het [epicentrum](#) in zee ligt;
- een [vulkanische](#) uitbarsting onder zee of vlak aan zee, eventueel in combinatie met een grote [aardverschuiving](#), [modderstroom](#) of [gloedwolk](#) langs de vulkaanhelling de zee in;
- (zeer zeldzaam) een [meteorietinslag](#)

Tsunami's komen het meest voor rondom de [Grote Oceaan](#), omdat langs alle randen van deze oceaan door [platentektoniek](#) veelvuldig aardbevingen plaatsvinden.

Natuurkunde van een tsunami

Bij schoksgewijze beweging van de zeebodem langs geologische breuklijnen, kunnen plotsklaps grote volumes water opgetild of weggezakt raken, vooral als zich een zeebeving op kilometers diepte voltrekt. Aan het wateroppervlak ontstaat in incidentele gevallen over een groot gebied een golf met een hoogte van 'slechts' enkele decimeters en een enorme [golflengte](#) (tot honderden kilometers lengte). De golf verplaatst zich in alle richtingen van het ontstaansgebied vandaan, waarbij in het ontstaans-gebied secundaire golven

ontstaan. Afhankelijk van de beweging van de zeebodem aan weerszijden van de breuklijn, vertrekt eerst een golfdal (een kuil in de waterspiegel) of juist een golftop.

Op de oceaan is het passeren van een dergelijke langgerekte golf met het blote oog nauwelijks merkbaar: windgolven kunnen daar veel grotere hoogtes bereiken (tot 10 meter) maar die hebben slechts een golflengte van 200 meter. Nauwkeurige dieptemeters en gespecialiseerde satellieten kunnen de tsunamigolven op de oceaan direct meten. Wanneer de tsunamigolf in kustzones ondieper water bereikt, vertraagt de voortplantingssnelheid aanzienlijk. Daarbij wordt de golf hoger, afhankelijk van de locatie langs de kustlijn (baai, rif, kaap, fjord) en grootte van de golf op open zee tot enige tientallen meters boven de normale vloedlijn. De energie die in een tsunamigolf is opgeslagen is veel groter dan in een losse windgolf. De waterbeweging vindt bij een tsunami plaats tot op de zeebodem, terwijl een golf door de wind slechts aan het oppervlak van de zee te merken is. Bij het bereiken van een kritieke hoogte aan de kust breekt de tsunami en rollen krachtige uitlopers verder het land in. In dit krachtige proces verliest de tsunami haar energie uiteindelijk aan turbulentie en wrijving met zeebodem, kust, vegetatie en bebouwing.

Een windgolf bereikt een snelheid tot 40 km/h, maar een tsunami kan zich met een veel hogere snelheid verplaatsen. De [periode](#) van de tsunami (het tijdsverloop tussen het passeren van twee toppen) bedraagt een kwartier tot een uur. In diep water, zoals in de oceanen, bereiken de tsunami's hun grootste snelheid, tot 1000 kilometer per uur. De [snelheid](#) v_g van de golf hangt af van de waterdiepte volgens de relatie:

$$v_g = \sqrt{gd}$$

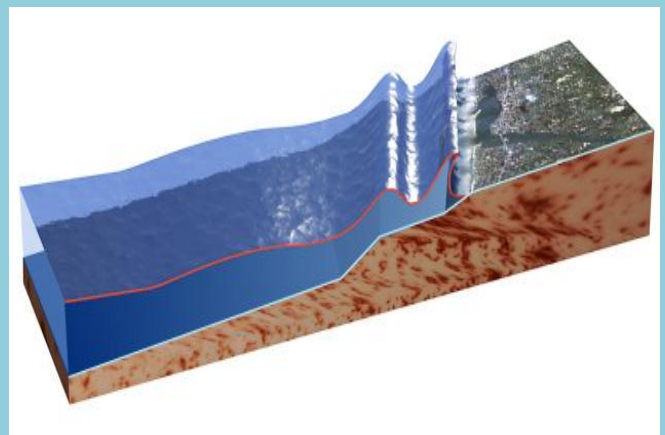
Waarin geldt:

- v_g is de golfsnelheid in m s^{-1}
- g is de [valversnelling](#) van $9,81 \text{ m s}^{-2}$
- d is de diepte in [m](#)

Bij een grotere zeebeving kan het golffront van een tsunami tot honderden kilometers breed zijn. Deze golf plant zich vanuit een [lijnbron](#) voort, waardoor de energie-inhoud per meter over de afgelegde afstand nauwelijks vermindert. Een dergelijke tsunami blijft in de regel niet onopgemerkt, zoals in december 2004 in de [Indische Oceaan](#) nabij [Sumatra](#). Dit in tegenstelling tot kleinere tsunamigolven die als een [puntbron](#) ontstaan (zoals bij een steen die in het water wordt gegooid, maar ook zoals bij een aardverschuiving op een vulkaanhelling op een geïsoleerd eiland midden in de oceaan). In dat geval vermindert de energie-inhoud [kwadratisch](#) met de radiaal afgelegde afstand. Alleen zeer grote onderzeese aardverschuivingen, vulkaanuitbarstingen en meteorietinslagen leiden dan ook tot significante tsunami's.

Tsunami's aan de kust

Wanneer een energierijke tsunami ondiep water bereikt en het land op loopt, sleurt het water alles mee, met dramatische gevolgen voor de kustbewoners.





Klassieke Japanse houtblokdruck [De grote golf van Kanagawa](#) door [Katsushika Hokusai](#)

Wanneer de tsunamigolftop voorafgegaan wordt door een golfdal, trekt de zee zich eerst minutenlang terug tot een uitzonderlijk lage waterstand, tot honderden meters zeewaarts. Daarbij komen objecten boven water die anders nooit te zien zijn en het verrast vissen die op het droge komen te liggen. Ziet men dat, dan moet men meteen naar hoger gebied vluchten, maar veel mensen worden wellicht verleid de drooggevallen zee in te lopen op zoek naar vis of waardevolle voorwerpen. Na een kwartier tot een half uur komt de top van de tsunami echter onvermijdelijk. In andere gevallen nadert de golftop als eerste en dan is er geen vooraankondiging in de vorm van een zich tijdelijk terugtrekkende zee.

De eerste golf van de tsunami hoeft niet de hoogste te zijn, dit hangt van lokale omstandigheden in zowel het ontstaansgebied en het uitloopgebied af, zoals het voltrekken van een zeebeving en complexe weerkaatsingen van de tsunamigolven tussen eilanden en kapen in het getroffen kustgebied.

Naast mensen, dieren, bomen en gebouwen aan de kust worden ook zeedieren aan de kust door de tsunami getroffen, zoals de [doejong](#), die graast in tamelijk ondiep water. Ook [koraalriffen](#) kunnen door een tsunami

ernstig beschadigd worden. Omgewoeld zand kan levende kolonies koraaldiertjes verstikken.

Eilandstaatjes in de [Grote Oceaan](#) zoals [Tuvalu](#) en [Kiribati](#), raken bij een grote tsunami geheel overspoeld, doordat veel van deze eilanden niet meer dan vijf meter boven zeeniveau uitsteken.

Waarschuwingssystemen



Waarschuwingbord in [Seward \(Alaska\)](#)

Waarschuwingssystemen voor vloedgolven berusten op het monitoren van de beweging van het oceaanooppervlak en van grote aardbevingen dieper in zee. Sinds 1965 is het [Tsunami Warning System in the Pacific](#) actief, dat getijdestations gebruikt om tsunami's te volgen. Sinds 1996 bestaat het [DART](#)-systeem ([Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis](#)), dat in 2004 echter nog in een experimenteel stadium verkeerde. Waterdrukmeters op diepte communiceren via geluidssignalen met boeien die erboven drijven. Tsunamigolven kunnen door drukmeters op grotere diepte waargenomen worden doordat waterbewegingen door windgolven niet zo diep reiken, en doordat de drukverschillen door getijdebewegingen op de oceaan regelmatig en volkomen voorspelbaar zijn.

Mogelijkheid van een tsunami aan de Noordzee

Langs de kust van de zuidelijke [Noordzee](#) zullen geen hoog oprijzende tsunami's optreden. De fjordenkust van Noorwegen en Schotland is iets kwetsbaarder. De plaattektonische situatie in de Atlantische Oceaan maakt zeer zware zeebevingen onmogelijk - in tegenstelling tot in de Indische en Grote Oceaan. Een zeebeving (bijvoorbeeld bij het vulkanische [IJsland](#) of [Jan Mayen](#)) kan leiden tot een kleine tsunami die tussen Schotland en Noorwegen de Noordzee kan binnen trekken, maar deze zal in de ondiepe zuidelijke Noordzee door bodemwrijving aanzienlijk uitdempen en al op tientallen kilometers uit de kust breken. Aardbevingen in het Noordzeegebied zelf zijn van geringe sterkte en leiden niet tot tsunami's groter dan 0,5 meter. De grootste bekende tsunami die de Noordzee in de laatste 100.000 jaar getroffen heeft werd veroorzaakt door een onderzeese aardverschuiving langs de toen instabiele zeebodem voor de kust van Noorwegen, kort na een periode met snelle zeebodemsedimentatie door het afsmelten van Scandinavisch landijs (Storegga, 8000 à 8200 jaar geleden; zie hieronder). Langs de Atlantische kust van Zuidwest-Europa en in de Middellandse Zee komen middelgrote tsunami's vaker voor (zie ook hieronder bij geschiedenis).

Springvloeden en stormvloeden zijn geen tsunami's

Tussen springvloeden, stormvloeden en tsunami's zijn er grote verschillen in de oorzaken, in de voorspelbaarheid en in de uitwerking op kustgebieden.

[Springvloeden](#) zijn hoge vloeden die regelmatig optreden ten gevolge van het [getij](#) door de zwaartekracht van de maan en de zon. De duur is zo'n 3 tot 6 uur: een halve getijdencyclus, zonder dramatische gevolgen voor kustbewoners. [Stormvloeden](#) zijn onregelmatig optredende extreem hoge vloeden ten gevolge van een krachtig windveld, al dan niet gelijktijdig met astronomische [Springtij](#). De duur is tot anderhalve dag: enkele getijdencycli, en de gevolgen zijn soms catastrofaal. De [watersnood van 1953](#) vond bijvoorbeeld plaats tijdens [stormvloed](#) in een zware storm gelijktijdig met een springvloed. Bij springvloeden en stormvloeden is dus sprake van een opvallend hogere zeespiegel, maar niet van het binnenrollen van een specifieke incidentele grote golf zoals bij een tsunami.

In natuurkundige termen zijn er verschillen in de hoeveelheid energie per tijdseenheid, tijdsduur, grootte van het getroffen gebied, typische hoogte van brekende golven en de uitrolafstand landinwaarts. Ook de weg die wind- en getijdengolven afleggen richting kustzone verschilt van de tsunamigolf: eerstgenoemden cirkelen als het ware op het land af waarbij de golven een langere weg afleggen en daardoor energie verliezen. Een tsunami gaat 'recht op het doel af' en is energie-efficiënter.

Een aantal tsunami's uit de geschiedenis

6000 à 6200 v.Chr.

Aan de oostkust van [Schotland](#), in Zuidwest-[Noorwegen](#) en op de [Shetlandeilanden](#) zijn de resten van een prehistorische tsunami aangetroffen. Het betreft hier lagen zeezand in veenlagen, op posities van 5 tot 12 meter hoger dan de toenmalige zeespiegel. Het brongebied van deze tsunami is een

onderzeese aardverschuiving in het [Storegga](#)-gebied, 100 kilometer uit de kust van Zuidwest-Noorwegen. In de Noordzee moet de tsunami rond de Doggersbank gebroken zijn en de uitrollers hebben vermoedelijk het toenmalige kustgebied van West- en Noord-Nederland overspoeld^[1], halverwege de [Midden Steentijd](#).

Rond 1628 v. Chr.

Ergens tussen 1650 en 1600 voor [Christus](#), volgens boomringen in 1628 v. Chr., trad een [eruptie](#) op van het [Griekse eiland Santorini](#). Deze zou een plaatselijk tot 35 of zelfs 150 meter hoge vloedgolf hebben veroorzaakt aan de noordkust van [Kreta](#), waarbij de Minoïsche beschaving goeddeels werd weggevaagd.

Men denkt dat de verhalen van [Plato](#) over het mythische [Atlantis](#) teruggaan op deze tsunamiramp. Het Bijbelverhaal over het terugtrekken van de zee tijdens de uittocht van Egypte is ook met de verschijnselen ten tijde van deze tsunami in verband gebracht. De in het Oude Testament en in Mesopotamische kleitabletten vermelde [zondvloed](#) refereert eerder aan rivieroverstromingen en moessonregens dan aan tsunami's in Klein-Azië of het Midden-Oosten en is als verhaal in ieder geval ouder dan de Santorini-eruptie.

365

Als gevolg van een zware [onderzeese aardbeving](#) in de buurt van [Kreta](#) werd het Oostelijke Middellandse zeegebied in [365](#) n.Chr. getroffen door een verwoestende [tsunami](#). Hierbij werd onder andere de Egyptische stad [Alexandrië](#) zwaar getroffen.

798, 800 of 804

Over het exacte jaar van deze tsunami wordt gedebatteerd, waarbij de jaren 798, 800 en 804 genoemd worden. Vermoedelijk door een aardbeving of door een onderzeese vulkaanuitbarsting in de Atlantische Oceaan trof een tsunami de westkust van Ierland en met name [County Clare](#). Volgens de *Annals of Four Masters* *rees de zee zo hoog op dat hij zijn grenzen overschreed, een groot gebied overstroomde en 1000 mensen verdronken*^[2] Volgens de overlevering werd toen [Mutton Island](#) van het vaste land afgescheurd. Ook in de [Baai van Galway](#) werd een eiland van het vaste land afgescheurd. Nabij [Quilty](#) worden nog steeds resten gevonden van een [verdronken bos](#).

1692

Op [7 juni](#) werd het [zeeroversbolwerk Port Royal](#) op [Jamaica](#) vernietigd door een [aardbeving](#), gevolgd door een vloedgolf. Velen zagen hierin een straf van [God](#).

1703

Het Japanse eiland [Awa](#) wordt getroffen door een tsunami. Hierbij laten meer dan 100.000 mensen het leven.

1755

In [Lissabon](#) vond op [1 november 1755](#) een vloedgolf plaats. Na een beving van 9 op de [schaal van Richter](#) waarbij al veel gebouwen instortten in de stad, vluchtten velen het [strand](#) op, waar zij zich veilig waanden, maar verdronken door het onverwacht aanstormende water. Dit is ook beschreven door de Franse schrijver Voltaire. Deze aardbeving leidde in de Noordzee tot een bescheiden tsunami, als havengolf waargenomen en opgetekend in Amsterdam.

1883

In de smalle zeestraat tussen de eilanden Java en Sumatra ligt een vulkaan, de [Krakatau](#). De top stak vroeger boven het water uit en vormde een flink eiland. Op [27 augustus 1883](#) werd tijdens een enorme explosie die hele top weggeblazen. De uitbarsting zorgde in de smalle zeestraat voor enorme, weerkaatsende vloedgolven met hoogtes van 35 meter. Die golven stormden met een snelheid tot 800 km per uur naar de kusten van Java en Sumatra, met verschrikkelijke gevolgen voor de dorpen langs de kust. Meer dan 36.000 mensen verloren het leven. Schepen die voor de kust lagen, werden tot 15 km landinwaarts teruggevonden.

1905

Een enorm rotsblok stortte op [15 januari](#) in het meer [Lovatnet](#) bij [Loen](#) in [Noorwegen](#). De vloedgolf eiste 61 dodelijke slachtoffers.

1908

De aardbeving van [28 december 1908](#) waarbij [Messina](#) werd vernietigd, veroorzaakte ook een tsunami in de [straat van Messina](#). Onlangs is aan het licht gebracht dat de tsunami niet door de beving zelf is veroorzaakt, maar door een daaropvolgende onderzeese aardverschuiving.^[3]

1934

Op [7 april](#) veroorzaakte een aardverschuiving een tsunami in het [Tafjord](#) in [Noorwegen](#). De vloedgolf eiste 40 dodelijke slachtoffers.

1936

Net als in [1905](#) stortte op [13 september](#) een enorm rotsblok in het meer [Lovatnet](#) bij [Loen](#) in [Noorwegen](#), en veroorzaakte een vloedgolf. Ditmaal vielen er 74 doden.

1946



Vloedgolf op Hawaï, april 1946

Op [1 april 1946](#) bij het eiland [Unimak](#) van de [Aleoeten \(Alaska\)](#). De 30 meter boven zeeniveau gelegen [vuurtoren](#) werd vernietigd en vijf personen kwamen om. Op [Hawaï](#) vielen 160 slachtoffers. Na deze ramp werd het [Pacific Tsunami Warning Center](#) op Hawaï opgericht.

1960

De zeebeving voor de kust van [Chili](#) op [22 mei 1960](#) veroorzaakte 2000 doden. De vloedgolf kwam een etmaal later in [Japan](#) aan, waar 200 doden vielen. In [Hilo](#) vielen 61 slachtoffers.

1964

Op [27 maart 1964](#) was er een vloedgolf in de [Golf van Alaska](#) als gevolg van een aardbeving van 9,2 op de schaal van Richter. De aardbeving wordt ook wel de [Goede Vrijdag-beving](#) genoemd. De meeste schade werd aangericht in [Alaska](#), waar 106 mensen omkwamen. Het totaal aantal slachtoffers was 131; de overige slachtoffers vielen in de [VS \(Californië\)](#) en [Canada](#).

1992

Op [2 september 1992](#) veroorzaakte een aarbeving met een kracht van 7,7 op de schaal van Richter zo'n 50 kilometer uit de kust van [Nicaragua](#) een tsunami met een hoogte van 3 tot 8 meter, met uitschieters tot 10 meter. De tsunami was uitzonderlijk groot voor een aardbeving met een dergelijke sterkte. Deze tsunami-aardbeving was de eerste in haar type die met moderne seismische registratie-apparatuur is vastgelegd en is dan ook goed bestudeerd door seismologen om het mechanisme en de risico's van tsunami's vast te stellen. Het hardst getroffen was de plaats [Masachapa](#) waar het water een kilometer landinwaards stroomde en 9 doden veroorzaakte.

1998

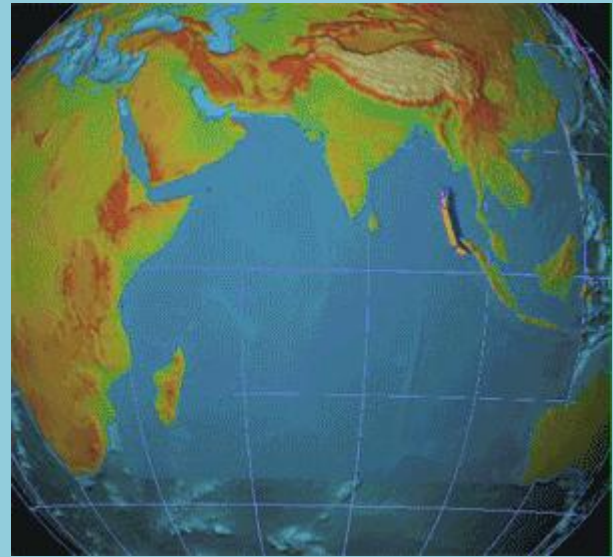
Een 10 meter hoge muur van water bereikte op [17 juli 1998](#) [Papoea-Nieuw-Guinea](#) waarbij 12.000 doden vielen. Deze werd veroorzaakt door een beving van slechts 7,0 op de schaal van Richter, die echter een onderzeese aardverschuiving tot gevolg had van vier kubieke kilometer.

Met deze aardverschuiving schoof een flinke hoeveelheid grond van de zeebodem in het veel diepere deel van de oceaan. Op de plaats waar de grond eerst lag, ontstond een diepe put in het water die water uit de omgeving aantrok dat er vervolgens naar toe stroomde. Dat toestromende water veroorzaakte de tsunami.

2002

Na een vulkaanuitbarsting van de [Stromboli](#) stortte een groot deel van een bergheiling in zee op [30 december 2002](#) en veroorzaakte een 10 meter hoge vloedgolf. De plaats Ginostra werd getroffen. Er vielen 6 gewonden en er was flinke materiële schade.

2004



Verloop van de tsunami in december 2004

Een stad in [Sumatra](#), verwoest door de [tsunami van 26 december 2004](#).

Op [26 december 2004](#) vond een zware zeebeving van 9,3 op de [schaal van Richter](#) plaats in de zee nabij het eiland [Sumatra](#) op een diepte van ongeveer 10 kilometer. Hierdoor werden verschillende landen rond de [Golf van Bengalen](#) getroffen door zware vloedgolven tot wel 10 meter hoog. De snelheden liepen op tot 900 kilometer per uur. Het dodental liep op tot ongeveer 290.000 slachtoffers in de kuststreken van de landen [Sri Lanka](#), [Indonesië](#), [India](#), [Thailand](#), [Myanmar](#), [Bangladesh](#), [Maleisië](#), de [Maldiven](#), de [Seychellen](#) en de [Andamanen](#). Vooral het noordelijke puntje van [Sumatra](#) werd zeer zwaar getroffen. 60% van de stad [Banda Atjeh](#) werd door de tsunami verwoest en alleen hier al vielen meer dan 200.000 doden. De wederopbouw van Banda Atjeh zal nog jaren duren, maar ook in de andere gebieden moet er nog heel veel gebeuren om de enorme schade te herstellen. Opmerkelijk is dat er helemaal tot in het [Afrikaanse Somalië](#) en [Tanzania](#) een

vloedgolf was, waar deze ook nog enkele honderden slachtoffers maakte.

2006

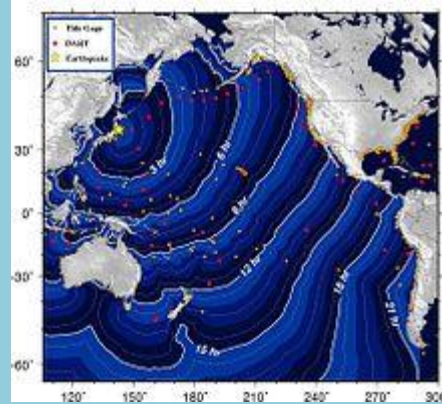
Op [17 juli 2006](#) vond een zware zeebeving plaats van ongeveer 7,2 op de schaal van Richter in de [Indische Oceaan](#) op een diepte van 33 km. De golven waren 2 à 3 meter hoog. Uiteindelijk vielen hier 659 doden, en 7288 gewonden van de 20.000 mensen op dat land. De schokken van de beving waren zo sterk dat ze nog in Amerika merkbaar waren.

2007

Op [2 april 2007](#) vond een zeer zware aardbeving plaats met een kracht van 8,0 op de schaal van Richter in de [Stille Oceaan](#). De vloedgolf trof met name de [Salomonseilanden](#) en eilanden behorende tot het naburige [Papoea-Nieuw-Guinea](#). Er vielen 52 doden, en 13 mensen raakten gewond.

2009

Op [29 september 2009](#) vond een aardbeving plaats met een kracht van 8,0 op de [Schaal van Richter](#) voor de kust van de [Samoa-eilanden](#). De vloedgolf trof met name de Samoa-eilanden maar ook [Tonga](#) en [Frans-Polynesië](#). De golven hadden volgens de autoriteiten een hoogte van 7,5 meter. Het water kwam op sommige plekken meer dan 1,5 kilometer landinwaarts. Er zijn zeker 170 doden gevallen.



Verloop van de tsunami in maart 2011

2011

Op [11 maart 2011](#) werd [Japan](#) getroffen door een tsunami nadat op 132 kilometer voor de kust van [Sendai](#) een aardbeving plaatsvond met een kracht van 9,0 op de [Schaal van Richter](#). Op dit moment is het dodental gestegen tot boven de 12.000, daarnaast worden meer dan 15.000 mensen vermist.