



Tsunami

Entstehung, Ausbreitung und Gefährdung vulkanischer Küstenregionen

Einleitung

Vulkanische Inseln wie Ischia im Golf von Neapel sind häufig einer Vielzahl von Naturgewalten ausgesetzt. Tsunamis gehören dabei zu den gefährlichsten Naturereignissen, die diese Inseln treffen können. Obwohl sie auf dem offenen Meer kaum wahrnehmbar sind, verursachen sie an Küsten durch riesige Wassermassen verheerende Schäden. Im Folgenden werden die Entstehung, Ausbreitung und Eigenschaften von Tsunamis erläutert. Zudem wird auf die besondere Gefährdung vulkanischer Regionen wie der Insel Ischia eingegangen sowie auf das Verhalten im Falle einer Tsunamiwarnung.

Auf einen Blick

- **Tsunamis** sind sehr lange Meereswellen, die große Wassermassen bewegen.
- Die meisten Tsunamis entstehen durch starke unterseeische Erdbeben; auch Erdrutsche und Vulkanereignisse können Auslöser sein.
- Auf offenem Meer sind Tsunamis kaum wahrnehmbar, an Küsten können sie sich stark aufürmen.
- Vulkaninseln wie **Ischia** können besonders durch Flankenkollapse und submarine Massenbewegungen gefährdet sein.

Entstehung von Tsunamis

Ein Tsunami ist eine besonders lange Wasserwelle, die sich über sehr große Entfernungen ausbreitet. Beim Vordringen in Bereiche geringerer Wassertiefe wird sie gestaucht, türmt sich an flachen Küsten zu einer hohen Flutwelle auf und trägt das Wasser weit über die Uferlinie. Beim anschließenden Zurückweichen wird Material auf dem überschwemmten Land mitgerissen und ins Meer hinausgespült. Tsunamis werden zu ca. 90% infolge plötzlicher Hebung oder Senkung des Meeresbodens durch unterseeische Erdbeben angeregt. Die übrigen 10% entstehen durch Vulkanausbrüche, untermeerische Erdrutsche oder in sehr seltenen Fällen durch den Einschlag von Meteoriten oder anderen Himmelskörpern. Mit etwa 80% treten Tsunamis im Pazifik mit Abstand am häufigsten auf. Durch die Subduktionszone am Pazifischen Feuerring werden Seebeben ausgelöst, wobei sich die tektonischen Platten spontan horizontal und vertikal verschieben. Die vertikale Verschiebung hebt oder senkt auch die darüber liegenden Wassermassen. Durch die Gravitation verteilt sich das Wasser als Wellenberg oder Wellental in alle Richtungen. Ein Erdbeben verursacht nur dann einen Tsunami, wenn folgende drei Bedingungen gegeben sind:

1. Das Beben erreicht eine Magnitude von 7 oder mehr.
2. Das Hypozentrum liegt nahe der Erdoberfläche am Meeresgrund.
3. Eine vertikale Verschiebung des Meeresbodens wird verursacht, welche die darüber liegende Wassersäule in Bewegung versetzt



Abb.1: Wellen vor Ischia

Wann verursacht ein Erdbeben einen Tsunami?

- Das Beben erreicht eine Magnitude von 7 oder mehr.
- Das Hypozentrum liegt nahe der Erdoberfläche am Meeresgrund.
- Eine vertikale Verschiebung des Meeresbodens setzt die Wassersäule in Bewegung.

Ausbreitung von Tsunami-Wellen

Tsunamis unterscheiden sich grundlegend von Wellen, die durch Stürme entstehen. Letztere werden in Abhängigkeit von der Wassertiefe im Verhältnis zur Wellenlänge als Flachwasserwelle oder Tiefwasserwelle bezeichnet. Bei Tiefwasserwellen hat die Welle keinen Kontakt zum Grund und die tieferen Wasserschichten bleiben unbewegt. Somit ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit unabhängig von der Wassertiefe. Bewegt sich eine solche Welle in flacheres Gewässer, wird sie zur Flachwasserwelle, bewegt also die gesamte Wassersäule und wird dabei langsamer.

Aufgrund ihrer großen Wellenlänge sind Tsunamis nahezu überall Flachwasserwellen. Sie bewegen also im Gegensatz zu Windwellen auch auf dem offenen Ozean die ganze Wassersäule. Ihre Geschwindigkeit ist daher von der Wassertiefe abhängig. Tsunamis seismischer Natur weisen lange Wellenperioden zwischen zehn Minuten und zwei Stunden auf. Tsunamis, die durch andere Ereignisse als Erdbeben erzeugt wurden, haben meist kürzere Wellenperioden



Abb.2: Wellen vor Forio von einigen Minuten bis zu einer Viertelstunde.

Wellenlänge eines Tsunami

Bei vom Wind erzeugten Wellen liegen die Geschwindigkeiten zwischen 8 und 100 km/h. Die Geschwindigkeit eines Tsunamis hängt von der Meerestiefe ab: Je tiefer das Meer, desto schneller ist der Tsunami (siehe Tabelle). Die Phasengeschwindigkeit c einer Tsunamiwelle ergibt sich aus der Wurzel des Produktes von Erdbeschleunigung und Wassertiefe. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit beträgt in Ozeanen (Wassertiefe ~ 5000 m) ca. 800 km/h, vergleichbar mit der Reisegeschwindigkeit eines Flugzeuges. Tsunamis können binnen einiger Stunden ganze Ozeane durchqueren, sich bis zu 20.000 km ausbreiten und das, ohne dabei unmittelbar bemerkt zu werden. Bei niedriger Wassertiefe in Küstennähe verlangsamt sich der Tsunami. Damit verringert sich die Wellenlänge, wodurch es zum Anstieg der Wellenhöhe und schließlich zum Brechen der Welle kommt. Tsunamis fallen unter Schwerewellen, die durch die gleichtaktige Bewegung großer Wassermassen zustande kommen. Jedes einzelne Teilvolumen des Wassers bewegt sich dabei nur um winzige Beträge. Für eine Flachwasser-Schwerewelle mit der Amplitude A in einem Gewässer der Tiefe h kann das quantitativ angegeben werden: Die Geschwindigkeit, mit der sich die an der Welle beteiligte Materie zirkulär bewegt, ist um einen Faktor A/h kleiner als die Phasengeschwindigkeit c der Welle. Für einen großen Tsunami liegt dieser Faktor in der Größenordnung 10–5: Wenn sich eine Welle im offenen Meer mit $c = 200$ m/s (= 720 km/h) ausbreitet, bewegen sich die Wasserelemente nur mit 2 mm/s, was gegenüber Strömungen und Windwellen vernachlässigbar und nicht direkt beobachtbar ist. Zugleich erklärt es den geringen Energieverlust der Schwerewelle bei ihrer Wanderung.



Tab.1: Verhältnis von Meerestiefe zu Geschwindigkeit und Wellenlänge eines Tsunamis

| Tiefe [m] | Geschwindigkeit [km/h] | Wellenlänge [km] |
|-----------|------------------------|------------------|
| 10 | 36 | 10,6 |
| 200 | 159 | 49 |
| 2000 | 504 | 151 |
| 4000 | 713 | 213 |
| 7000 | 943 | 282 |

Tsunamis fallen unter Schwerewellen, die durch die gleichtaktige Bewegung großer Wassermassen zustande kommen. Jedes einzelne Teilvolumen des Wassers bewegt sich dabei nur um winzige Beträge.

Für einen großen Tsunami liegt der Bewegungsfaktor der Wasserteilchen im offenen Meer in der Größenordnung 10⁻⁵. Dadurch ist die Bewegung auf hoher See kaum direkt beobachtbar, gleichzeitig erklärt dies den geringen Energieverlust der Schwerewelle bei ihrer Wanderung.

Typische Phänomene von Tsunamis

Tsunamis bestehen aus einer Serie aufeinanderfolgender, langperiodischer Meereswellen. Obgleich Tsunamis selten sind, stellen sie eine große Gefahr dar. Ein sicherer Schutz vor Tsunamis ist nicht erreichbar, außer durch Vermeidung von Bebauung in niedrig gelegenen (weniger als 30 m ü. NN), potenziell tsunamigefährdeten Gebieten. Tsunamis können an den Küsten nahe ihrem Ursprung innerhalb weniger Minuten große Zerstörungen anrichten und viele Menschenleben fordern. Tiefe [m] Geschwindigkeit [km/h] Wellenlänge [km] 10,6

Starke Tsunamis entfalten ihre Wirkung aber auch an weit entfernten Küsten, da sie sich im Verlauf von Stunden über ganze Ozeanbecken hinweg ausbreiten können. Die Geschwindigkeit Ausbreitungsgeschwindigkeit erreicht abhängig von der Tiefe in Ozeanen über 800 km/h und in flachem Wasser 30 bis 50 km/h. Ein Tsunami besteht aus mehreren Wellenbergen, die im Abstand von zehn Minuten bis über einer Stunde aufeinanderfolgen und häufig später in Wellenbergen zu maximalen Höhen an der Küste auflaufen. Die Abstände zwischen den Wellenbergen betragen auf tiefer offener See einige 100 km und verkürzen sich in Flachwasserbereichen auf etwa zehn Kilometer. Die Wellenhöhen sind auf tiefer offener See gering, meist kleiner als 80 cm und aufgrund der großen Wellenlängen für Schiffe ungefährlich. Sie lassen sich nur mittels spezieller Bojen oder Satellitenaltimetrie feststellen. Bei Annäherung an die Küste können sich die Wassermassen aber über 10 m, in Extremfällen auch 30 bis 50 m hoch, auftürmen, flaches Land hinter der Küste bis zu mehreren Kilometern landeinwärts überfluten und verheerende Verwüstungen anrichten. An Land wird der herannahende Tsunami nicht unbedingt als Welle wahrgenommen, sondern als unvermittelten, extrem schnellen Abfall oder auch Anstieg des Meeresniveaus. Wasser läuft über den kurz zuvor noch trockenen Boden und Autos werden wie Streichholzschachteln weggeschwemmt. Der Meeresspiegel steigt ggf. weiter um mehrere Meter an und überflutet tieferliegende Küstenbereiche. Anschließend läuft das Wasser in umgekehrter Richtung wieder zum Meer ab und verfrachtet zerstörte Gebäude und Trümmer kilometerweit auf das offene Meer hinaus.



Abb.3: Sturm am Maronti Strand

Kernaussage

An Land wird ein Tsunami nicht unbedingt als einzelne Welle wahrgenommen. Häufig zeigt er sich als sehr schneller Anstieg oder Abfall des Meeresspiegels - mit mehreren aufeinanderfolgenden Wellen.

Tsunamigefährdung in Vulkangebieten

Geologisch junge Vulkane sind oft anfällig für gravitative Massenbewegungen. Durch Vulkaneruptionen, vulkanische Erdbeben oder auch extreme Regenfälle können die Vulkangebäude schlagartig nachgeben und mobile Schuttlawinen produzieren, die sich hangabwärts bewegen. Sie können Geschwindigkeiten von über 100 m/s erreichen und horizontale Distanzen überwinden, welche zehnmal so groß sind wie die Höhe des Vulkans. Solch ein Flankenkollaps kann beim Eintritt ins Meer Tsunamis auslösen. Diese sind nicht so stark wie von Seebeben ausgelöste Tsunamis, können aber an den Küsten nahe ihrem Ursprung innerhalb weniger Minuten große Zerstörungen anrichten. Die Tsunamigefährdung von Vulkaninseln und Küstengebieten unmittelbar in der Nähe eines Vulkans darf also nicht unterschätzt werden, insbesondere wenn der Vulkanbau noch sehr jung und damit potenziell instabil ist.



Abb.4: starker Wellengang am Maronti Strand

Tsunamis auf der Insel Ischia

Aus der Geschichte der Insel Ischia sind mehrere Tsunamis bekannt, zum Beispiel im Jahr 1456, ausgelöst durch ein Erdbeben. Auch der pyroklastische Strom, der durch die Eruption des Vesuvs im Jahr 79 n.Chr. ausgelöst wurde, führte wahrscheinlich zu einem Tsunami im Golf von Neapel. Außerdem gibt es Aufzeichnungen über ein „Zurückweichen des Meeres um 360 Meter,“ im Jahre

1112. Ob es zu dieser Zeit ein Erdbeben in der Region gab, ist allerdings nicht bekannt

(GUIDOBONI, 2014). Der bisher größte Tsunami, der durch ein Ereignis auf der Insel Ischia ausgelöst wurde, ist unter dem Namen IDA (Ischia Debris Avalanche) bekannt. Der Auslöser war ein großer Erdbeben vom Monte Epomeo Richtung Süden. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich in bis zu 1.000 Metern Meerestiefe und 50 Kilometern Entfernung von der Küste Material dieses Erdbebens nachweisen lässt. Maronti Strand

Nach einer Rekonstruktion der Ereignisse wurde wahrscheinlich ein Tsunami ausgelöst, der die Küste Ischias mit bis zu 10 Meter hohen Wellen traf und Capri mit etwa 15 Meter hohen Wellen erreichte (TINTI et al., 2016). In Zukunft können sich solche Ereignisse auf der Insel Ischia und im Golf von Neapel wiederholen und zu neuen Tsunamis führen.

Verhaltensweisen bei Tsunami-Gefahr und Tsunami-Warnungen

Das Deutsche Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ) gibt Ratschläge für den Fall eines Tsunami. Diese besagen im Wesentlichen, dass es empfehlenswert ist, möglichst küstenferne, erhöhte Positionen einzunehmen, Informationen



und Warnungen an andere Menschen in der Umgebung weiterzugeben und soweit möglich, Warnungen und Informationen der örtlichen Behörden zu beachten. Für den Aufenthalt auf offener See wird empfohlen, ausreichenden Abstand zur Küste einzuhalten und keinesfalls in den Hafen einzufahren. Beim Aufenthalt an Land empfiehlt das GFZ die Flucht zu Fuß, da in Panik flüchtende Autofahrer oft Verkehrsstaus verursachen. Im Falle sehr kurzer Vorwarnzeit könne es gegebenenfalls sicherer sein, in einem stabilen, neueren Gebäude eines der höchstgelegenen Stockwerke aufzusuchen. Ausdrücklich wird davor gewarnt, nach Abklingen der ersten Flutwelle die Gefahr weiterer, eventuell höherer Wellen zu unterschätzen.



Abb.5: Wellengang am Maronti Strand

Verhalten im Ernstfall

- Küstenferne und erhöhte Positionen aufsuchen.
- Warnungen der örtlichen Behörden beachten und weitergeben.
- An Land möglichst zu Fuß flüchten, um Staus zu vermeiden.
- Nach der ersten Welle nicht zurückkehren: weitere Wellen können höher sein.



Zusammenfassung

Kernaussage

Tsunamis sind langperiodische Meereswellen, die durch plötzliche Anregung großer Wassermassen entstehen. Besonders häufig werden sie durch starke Seebeben ausgelöst, können aber auch durch andere Faktoren, z.B. Hangrutschungen, verursacht werden. Aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit und der starken Aufstauung an Küsten stellen sie eine erhebliche Gefahr für Menschen und Infrastruktur dar. Auch die Insel Ischia war in der Vergangenheit mehrfach von Tsunamis betroffen, was verdeutlicht, dass insbesondere vulkanisch aktive Regionen einem erhöhten Risiko ausgesetzt sind. Daher sind Kenntnisse über Entstehung und Anzeichen von Tsunamis sowie richtiges Verhalten im Gefahrenfall von großer Bedeutung.

Mehr erfahren

- **Geologische Wanderung:** [Ausflugskalender](#)
- **Newsletter:** [Newsletter abonnieren](#)

Quellen

- BROMANN, P. (2012): Merkblatt Tsunami, Ursachen und typische Phänomene von Tsunamis und Verhaltensweisen bei akuter Tsunamigefahr oder -warnung (Kurzfassung), Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ).
- Guidoboni, E. (2014): I maremoti antichi e medievali: una riflessione su sottovalutazione e perdita di informazioni. Memorie descrittive della Carta Geologica D'Italia, Vol. XCVI. 239-250.
- Tinti, S. et al. (2016): Il Vulcano Ischia. Ambiente rischio comunicazione, No 11, 20-29, analysis and monitoring of environmental risk (AMRA).