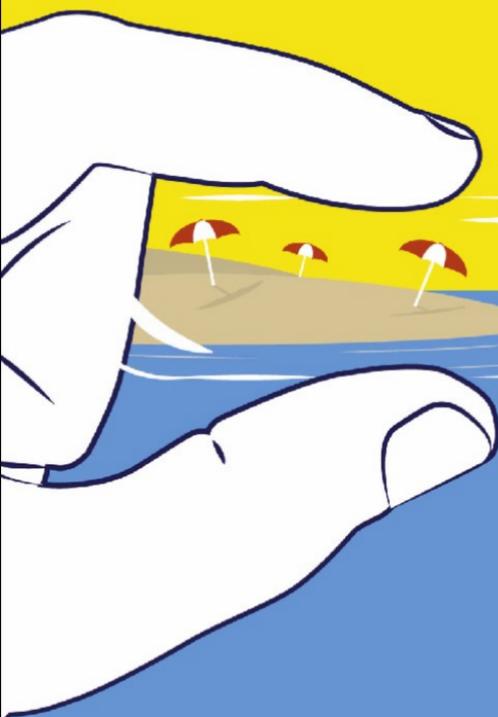




ANDREA GENTILE

WIE KOMMT DER SAND
AN DEN STRAND?

WISSENSCHAFT UNTER DEM SONNENSCHIRM



ATLANTIK

A

Andrea Gentile

WIE KOMMT DER SAND AN DEN STRAND?

WISSENSCHAFT UNTERM SONNENSCHIRM

Aus dem Italienischen von
Johannes von Vacano

Atlantik

Die Originalausgabe erschien 2014 unter dem Titel
La scienza sotto l'ombrellone bei Codice edizioni, Turin.

*Atlantik-Bücher erscheinen im
Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg*

1. Auflage 2015

Copyright © 2014 by Codice edizioni, Turin

Für die deutschsprachige Ausgabe

Copyright © 2015 by Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg

www.hoca.de www.atlantik-verlag.de

Satz: Farnschläder & Mahlstedt, Hamburg

Gesetzt aus der Sabon

Druck und Bindung: GGP Media GmbH, Pößneck

Printed in Germany

ISBN 978-3-455-70009-1


HOFFMANN
UNDCAMPE

Ein Unternehmen der
GANSKE VERLAGSGRUPPE

INHALT



011 Einleitung

PHYSIK

- 1 Die Wellen
 - 018 Wie Wellen entstehen
 - 020 Welleneigenschaften
 - 021 Zwei Sorten Meer
 - 022 Du bist aber eine große Welle!
 - 022 Welle auf Welle
 - 024 Wenn die Welle bricht
 - 026 Man nennt sie »Brecher«
 - 027 Sonne, Mond und Gezeiten
 - 029 Kann es bei uns einen Tsunami geben?

- 2 Warum wir schwimmen (und untergehen)
 - 031 Heureka, es schwimmt!
 - 033 Wieso schwimmen wir oben?
 - 034 Das Geheimnis des »toten Mannes«

- 3 Die Physik hinter dem Surfbrett
 - 038 Mit beiden Beinen auf einem Brett
 - 039 Die Geschichte des Surfens

- 4 Die Sinne unter Wasser
 - 042 Ein Blick unter Wasser
 - 045 Wie Schallwellen schwimmen

- 5 Die Meeresströmungen
 - 050 Kenne deine Strömung
 - 053 Die Flüsse des Meeres: Oberflächenströmungen
 - 058 Flüsse unter Wasser: Tiefenströmungen

CHEMIE

- 6 Wieso ist Meerwasser salzig?
 - 068 Der Salzlieferant der Meere
 - 069 Alle Salze des Meerwassers
 - 070 Wird das Meer immer salziger?

- 7 Ein Meer mit Gütesiegel
 - 072 Bedeutet durchsichtig und klar auch sauber?
 - 073 Erkennungsmerkmale eines gesunden Meeres

- 8 Wie Sonnencreme funktioniert
 - 077 Heiße Strahlen
 - 081 Die Wirkung von Sonnencreme

- 9 Atmet man am Meer Jod?
 - 086 Jod liegt in der Luft
 - 087 Jodiert essen
 - 087 Oh Jod, du fehlst mir so

- 10 Wenn die Qualle sticht
 - 089 Nein, keinen Urin
 - 091 Die Qualle ist nur eine Phase
 - 093 Quallen der Welt

- 11 Eine Muschel so hart wie Marmor
 - 097 Muschelkonstrukteure
 - 098 Die Architektur einer Muschel
 - 100 Wenn eine Muschelschale zerbricht
 - 101 Wie eine Perle entsteht

BIOLOGIE

- 12 Warum wir kein Meerwasser trinken können
- 108 Eine Frage des Gleichgewichts
- 110 Was trinken Fische?

- 13 Kann man gleich nach dem Essen baden gehen?
- 112 Muskeln, Wasser und Verdauung
- 113 Verdauung: Ein Zeitplan
- 115 Was es heißt zu ertrinken

- 14 Alles, was man über Bräunung wissen muss
- 119 Melanin, mein guter Freund
- 120 Kunterbunte Haut
- 122 Was bedeutet »Sonnenbrand«?
- 123 Hauttumoren
- 126 Tipps für die perfekte Bräunung

- 15 Bewohner der Meere
- 129 Den Strömungen ausgeliefert: Plankton
- 130 Nekton und die Schwimmer des Meeres

- 16 Bewohner des Meeresbodens
- 137 Algen sind keine Pflanzen
- 138 Zwischen Küste und Tiefsee

- 17 Was unter Wasser mit uns geschieht
- 143 Tauchen mit angehaltenem Atem
- 146 Mit Taucherflaschen in der Tiefe

UMWELT

- 18 Wie Strände entstehen
- 156 Ein Strand wird geboren
- 158 Strände in vielen Farben
- 159 Von Sand, Lehm und Kiesel
- 161 Wie ein Strand aufgebaut ist
- 163 Die goldenen Regeln des Strandes
- 165 Ein Strand im Wandel
- 168 Ein Strand auf dem Rückzug

- 19 Von Winden und Brisen
- 175 Wie der Wind entsteht
- 177 Steife Brise!
- 179 Winde weltweit

- 20 Die Wolken erkennen
- 183 Was Wolken sind
- 184 Jeder Wolke ihren Namen

- 21 Das Meer im Sturm
- 189 Die Kraft der Winde
- 192 Ein Tief? Regenschirm!
- 192 Wie ein Orkan entsteht

- 22 Abfall am Strand
- 195 Müll so weit das Auge reicht
- 196 Der Preis des Mülls

ZUSATZINFORMATIONEN UND WISSENSWERTES

- 035 Salzwasser versus Süßwasser
- 035 Der Luftballon des Archimedes
- 035 Wieso Schiffe schwimmen
- 036 Die perfekte Sandburg
- 040 Surfen – die weltweit besten Orte
- 045 Welche Farbe hat das Meer?
- 048 Wie ein Sonar funktioniert
- 048 Das Geheimnis des springenden Steins
- 059 Die drei Bereiche des Ozeans
- 060 Ein Beispiel aus der Nachbarschaft:
Die Strömungen des Mittelmeers
- 060 Wie man am Strand Getränke kühlt
- 071 Auch Seen können salzig sein
- 075 Die Ozeane werden immer saurer
- 082 Wie Selbstbräuner funktionieren
- 082 Auch das Auge will geschützt sein
- 083 Das Ozon, Feind der ultravioletten Strahlen
- 084 Woraus Badebekleidung gemacht wird
- 094 Quecksilber und seine Folgen
- 101 Muscheln und Fraktale
- 102 Weshalb man in Muscheln das Meer hören kann
- 117 Wieso verschrumpeln Finger im Wasser?
- 127 Sind Melanin und Melatonin dasselbe?
- 127 Das Sonnenvitamin
- 133 Der schlechte Ruf der Haie
- 134 Die Tinte im Tintenfisch
- 134 Echoortung
- 135 Wie Fische und Wale atmen
- 140 Seeigel und ihre Unterschiede
- 141 Das harte Leben der Wasserpflanzen
- 145 Weshalb sich unter Wasser die Ohren »verschließen«
- 149 Wie atmet ein Taucher?
- 150 Weshalb wir seekrank werden

- 172 Die schönsten Strände der Welt
- 174 Das Schicksal der Strände im Schatten des Klimawandels
- 174 Wie entstehen Dünen?
- 176 Wieso man Wind in Knoten misst
- 181 Die Windrose
- 186 Ein plötzliches Sommergewitter
- 187 Wenn die Sterne vom Himmel fallen
- 193 Gibt es Orkane im Mittelmeer?
- 194 Blitze am Strand
- 198 Weshalb Plastik so lange hält

EINLEITUNG



Wann immer ich an den Strand aus meinen Kindertagen denke, kommen mir die neunziger Jahre in den Sinn, die toskanische Küste und ein Sandburgen-Wettbewerb. Als Kind liebte ich es, Gräben anzulegen und Türme zu errichten und sie anschließend zu verzieren. Ich ließ nassen Sand aus der geballten Faust rieseln und erzeugte auf diese Weise immer neue ausgefeilte Schnörkeleien. In meiner Phantasie entwarf ich komplexe mehrstöckige Bauten, deren Umsetzungen meist hinter der Vorstellungskraft zurückblieben; aber ich konnte mich stundenlang damit beschäftigen. Schade nur, dass ich zu den Kindern gehörte, die leicht Sonnenbrand bekamen. Nase und Wangen weiß mit Sonnencreme bemalt, verbrachte ich die meiste Zeit damit, im Schatten Comics zu lesen oder auf Tauchstation im Meer, wo ich mich mit der treuen Taucherbrille auf der Nase von einer faszinierenden Unterwasserwelt gefangen nehmen ließ, in der Klänge und Farben so viel seltsamer waren als an der Oberfläche.

Dieses Buch entstand aus ebendiesen Erinnerungen: Erinnerungen an diese Strände und an die kindliche Neugierde, die unersättlich wissen und kennenlernen will, was sie noch nicht versteht, aus dem so oft und gierig geforderten »Warum«, das teils die Zeit vertreiben und teils erklären sollte, wie die Welt funktioniert. Ich hatte großes Glück mit meinen Eltern, die sich schon immer mit wissenschaftlichen Themen befasst haben. Mit ihren Antworten eröffneten sie mir eine Welt, die aus Gesetzmäßigkeiten bestand, aus Ursache und Wirkung, aus Physik, Medizin, Chemie und Biologie.

Wissenschaftliche Geheimnisse verbergen sich hinter jedem Aspekt des täglichen Lebens, aber gerade im Urlaub, wenn man so viel freie Zeit und Langeweile hat, ist man besonders neugierig. Der Neugier, die am Strand entsteht, ist dieses Buch gewidmet. Es

öffnet kleine Fenster auf ein geheimnisvolles Universum, das ihr nicht zwingend Seite für Seite erkunden müsst. Lasst euch von den Wellen treiben; ihr könnt jederzeit eurem eigenen roten Faden folgen und von einem Thema zum nächsten springen. Die folgende Übersicht ist in vier Bereiche gegliedert (Physik, Chemie, Biologie und Umwelt); lasst euch von dieser praktischen Einteilung jedoch nicht täuschen: Jedes Kapitel weist Einflüsse der verschiedenen Disziplinen auf.

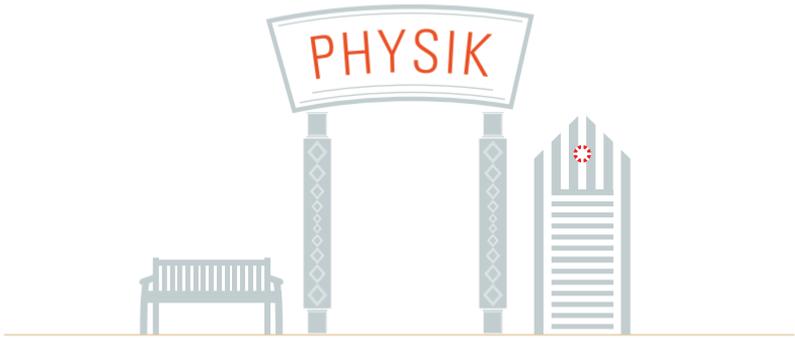
Betrachtet dieses Buch als einen schönen Tag am Strand. Im physischen Teil erreichen wir die Küste und springen erst einmal ins Meer: Wir entdecken die Welt der Wellen und das Geheimnis des »toten Mannes«, wir erfahren, weshalb unsere Wahrnehmung unter Wasser anders ist und wie man einer Strömung entkommt. Wenn wir das Meer wieder verlassen, ist der richtige Zeitpunkt gekommen, uns an der perfekten Sandburg zu versuchen.

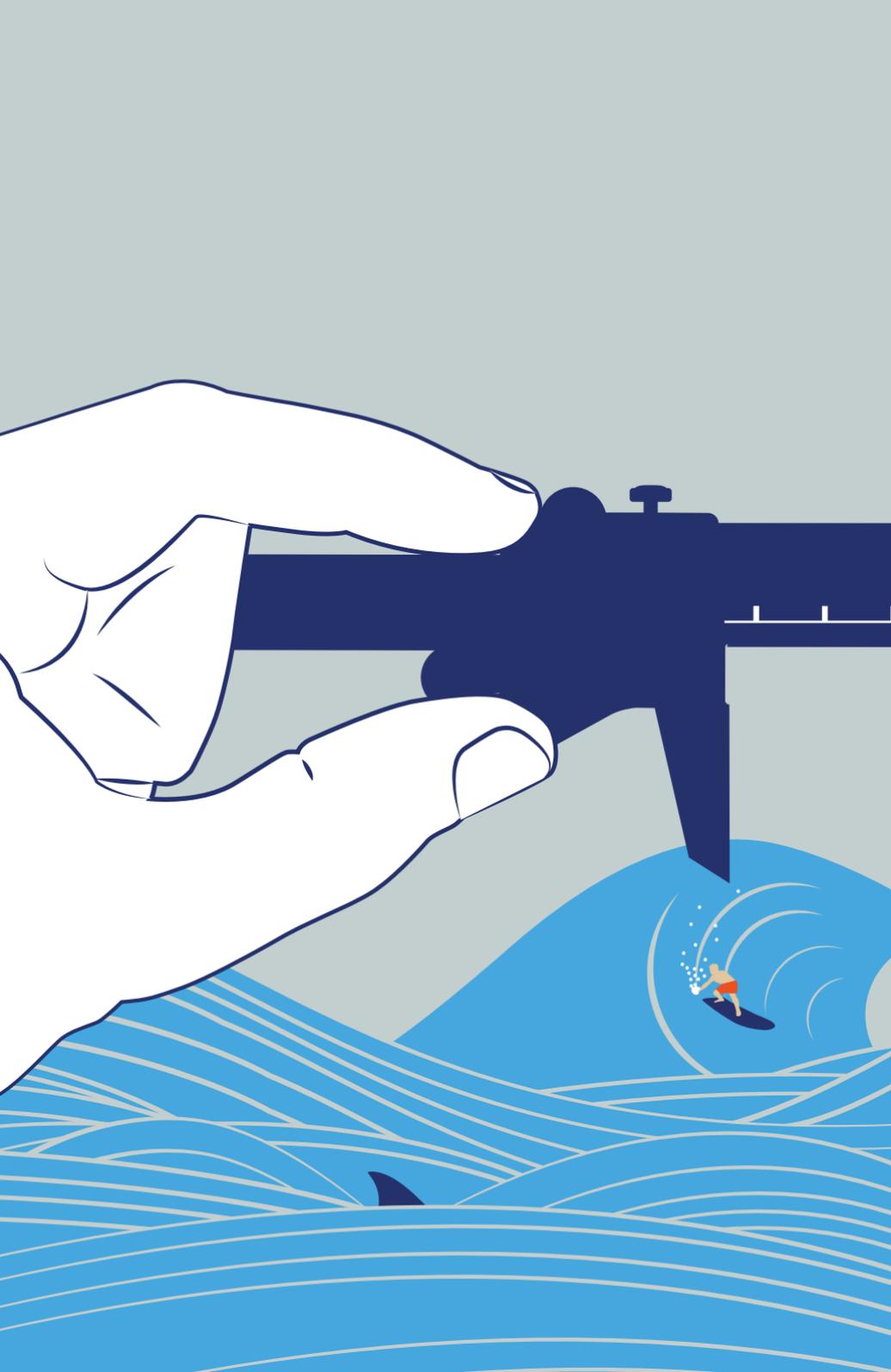
Zu viel Sonne ist jedoch auch nicht gut, daher suchen wir beser Schutz im Schatten des Sonnenschirms, inmitten der chemischen Elemente, und erforschen, wie Sonnencremes funktionieren und wie Muscheln entstehen. Wir betrachten das Meerwasser unter dem Mikroskop und finden heraus, weshalb es salzig und wie sauber es ist, wir geben den einen oder anderen Hinweis zu schmerzhaften Begegnungen mit Quallen und enthüllen, ob man am Meer tatsächlich Jod atmet.

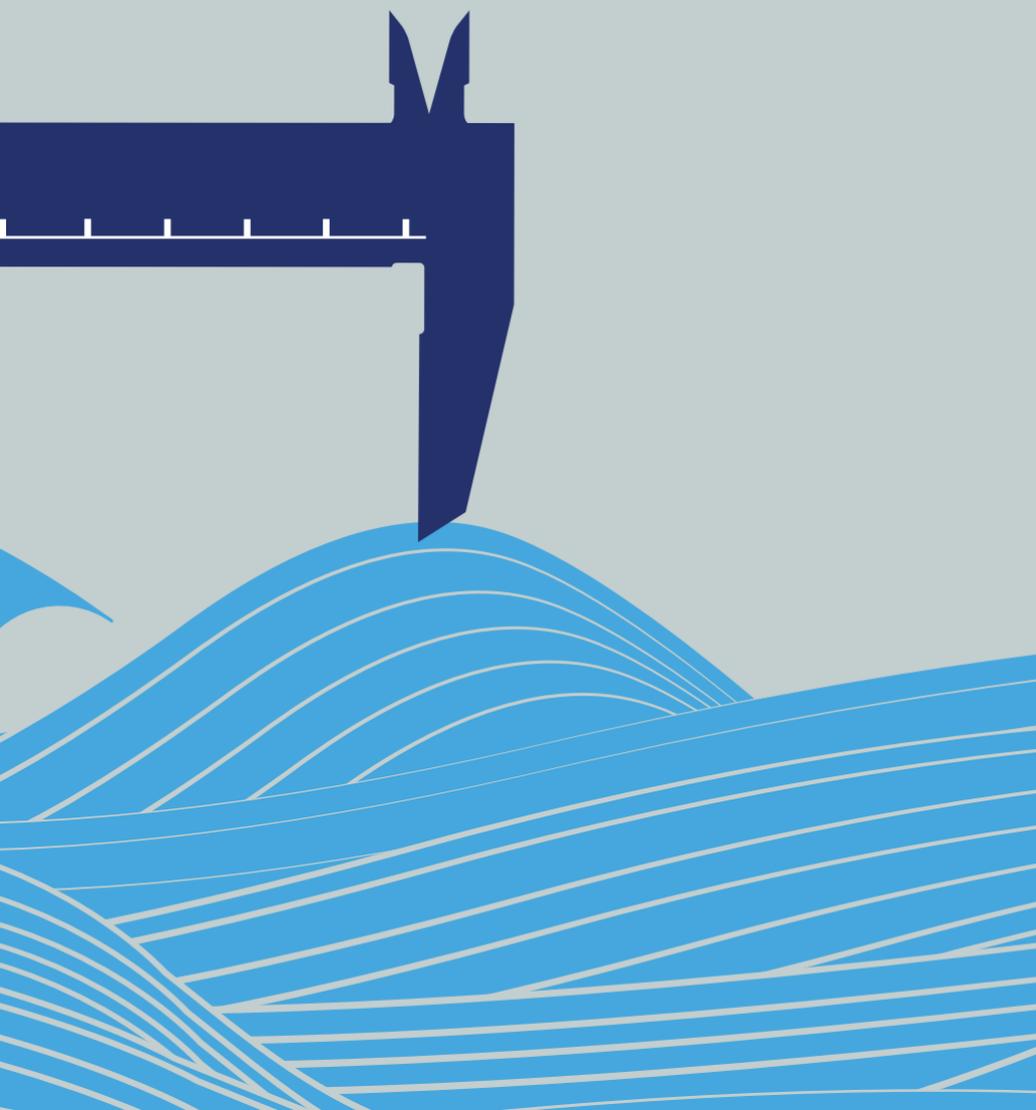
Nach einem kurzen Mittagsimbiss überbrücken wir die Wartezeit, bis wir wieder ins Wasser dürfen, indem wir ein wenig Biologie wiederholen: Die Zeit vergeht wie im Fluge, während wir die Tricks für eine perfekte (und gefahrlose) Bräunung verraten und erklären, weshalb wir kein Meerwasser trinken können. Endlich dürfen wir wieder in die Wellen springen, um die Lebewesen und die Tiefen des Meeres zu erforschen. Während wir uns dem Meeresboden nähern, können wir beobachten, wie sich unser Körper beim Tauchen verändert.

Sobald wir wieder an der Oberfläche sind, erwartet uns der Teil, der Natur und Umwelt gewidmet ist und in dem wir miterleben, wie unter dem Einfluss von Winden und Stürmen ein Strand ge-

boren wird und sich verändert. Nach dem Sturm ein wenig Ruhe: Ausgestreckt betrachten wir den Himmel, um alle vorbeiziehenden Wolken zu benennen. Es ist Abend geworden: Zeit zu gehen und den Strand makellos rein und frei von Abfall zu hinterlassen. Zum Abschluss wenden wir uns noch einmal um und erblicken zufällig eine Sternschnuppe; wir wünschen uns, dass die zwischen diesen Seiten verbrachte Zeit angenehm gewesen sein möge.









DIE WELLEN

Selbst mit geschlossenen Augen – wir müssen nur hinhören, um zu wissen, dass sie da sind. Ob mit trägem Schwappen oder rauschendem Krachen, die Wellen erinnern uns immer daran, wie dynamisch ein Strand ist. Doch woher kommen die Wellen? Warum erscheint das Meer manchmal flach wie ein Brett, während es zu anderen Zeiten von großen Brechern zerstampft wird? Die Antwort – das singt schon Bob Dylan – weht im Wind. Der Wind ist nämlich verantwortlich für die ständige Bewegung, der Meere und Ozeane unterworfen sind.

~ WIE WELLEN ENTSTEHEN

Würde nicht der Wind das Meer aufwühlen, wäre da nur eine große Wasserfläche, reglos wie eine Pfütze nach einem Wolkenbruch. Man braucht sich jedoch nur über diese Pfütze zu beugen und ganz sacht auf sie hinabzupusten, um ihre Oberfläche zu kräuseln und kleine Wellen hervorzurufen, die sich von ihrem Ursprungsort bis an die Ränder des Wasserflecks fortsetzen.

Dasselbe geschieht im Meer. Wellen sind einer der wichtigsten Faktoren, die das Wesen eines Strandes bestimmen, da sie Energie transportieren. Der Wind, der über das Meer weht, überträgt nämlich die eigene Energie – anhand der Reibung – auf die Wasseroberfläche, und diese Energie wird bis an die Küste getragen. Auf hoher See ist die Oberfläche selten reglos, hier und da erheben sich kleine Kräuselungen, die nur darauf warten, vom Wind verstärkt und aufgebauscht zu werden. Je stärker und je länger dieser bläst, desto mehr Energie überträgt sich auf die Wellen, und je mehr die Wellen miteinander verschmelzen, desto größer werden sie und desto weiter können sie gelangen.

Dabei wird jedoch keine Materie fortbewegt, sondern Energie, da die einzelnen Moleküle sich höchstens ein ganz klein wenig bewegen. Ein Beispiel: Legt beide Hände auf einen Tisch, hebt die rechte und tippt unterschiedlich weit von der anderen entfernt auf die Tischplatte. Die linke Hand wird jeweils eine Schwingung spüren: Das ist die Energie, die von der angetippten Stelle ausgehend bis zur Hand übertragen wurde. Etwas ganz Ähnliches spielt sich auf hoher See ab, wo der Wind die Wassermoleküle an der Oberfläche in eine kreisförmige Bewegung versetzt, die – begünstigt durch die Erdanziehungskraft – nach unten zielt und sie nach kurzer Zeit wieder an dieselbe Stelle bringt (vgl. Abbildung 1). Diese Bewegung wird an die darunterliegenden Teilchen weitergegeben und setzt sich auf diese Weise fort, bis sie mit zunehmender Tiefe nach und nach schwächer wird und schließlich verschwindet; etwas anderes bewegt sich jedoch in Windrichtung weiter: die Welle, die aus dem Kreisen der Teilchen entsteht.

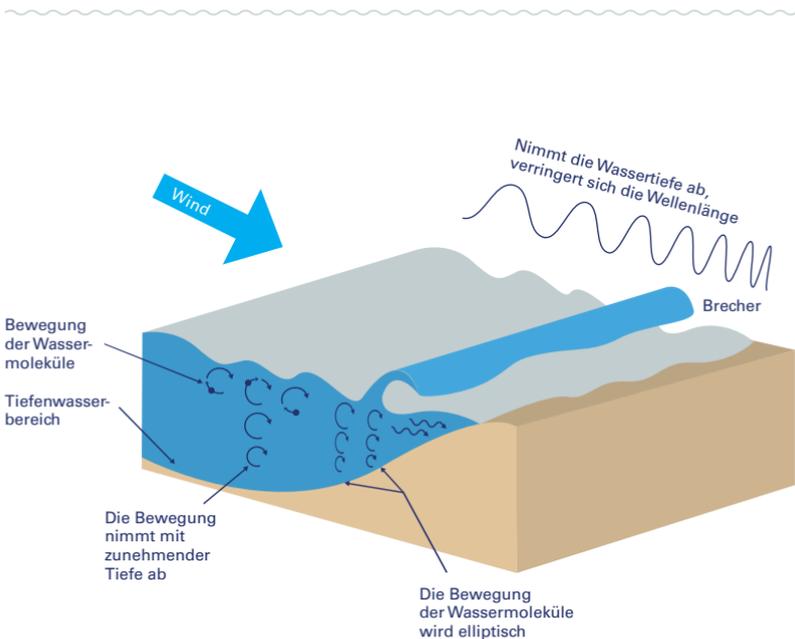


Abbildung 1 – Wellenbildung und »Shoaling«

~ WELLENEIGENSCHAFTEN

Wie jede Welle, die etwas auf sich hält (zum Beispiel Licht oder Schall), kann auch die Welle im Meer anhand einiger grundlegender Eigenschaften beschrieben werden (vgl. Diagramm 1): Höhe, Länge und Periode. Die *Höhe* einer Welle ist der Abstand zwischen ihrem Kamm (dem höchsten Punkt) und ihrem Tal (dem tiefsten Punkt), und während eines Sturms findet man etwa im Mittelmeer auf offener See Wellen mit mehr als acht Metern Höhe. Der Abstand zwischen zwei Kämmen (oder zwei Tälern) heißt hingegen *Wellenlänge*, und ein Tsunami, zum Beispiel, kann eine Wellenlänge von mehreren Hundert Kilometern haben. Die *Periode* bezeichnet schließlich die Zeit, die an einem bestimmten Punkt verstreicht, bevor auf einen Kamm (oder Tal) der nächste folgt.

Schnellere Wellen weisen in der Regel eine kürzere Periode auf, die mitunter nur Sekundenbruchteile umfassen kann, langsamere – wie die Gezeiten – kommen üblicherweise auf etwas mehr als zwölf Stunden.

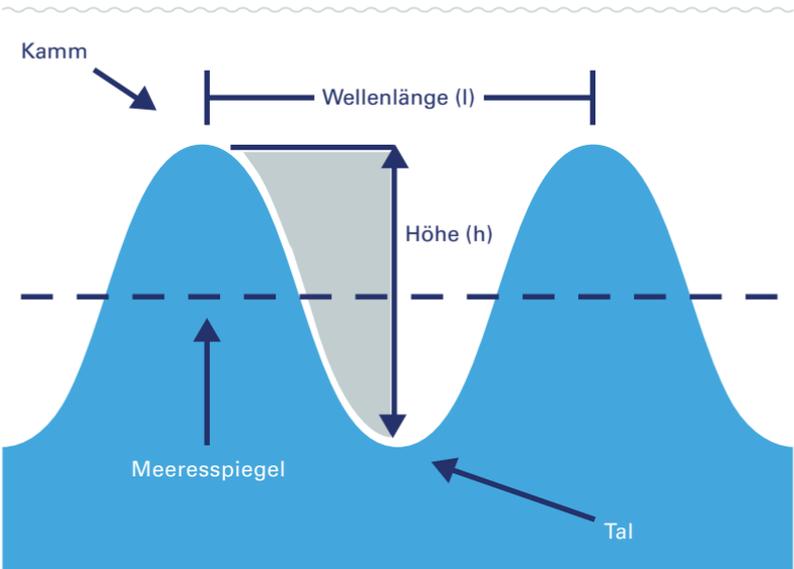


Diagramm 1 – Welleneigenschaften

☺ ZWEI SORTEN MEER

Das Meer ist ständig in Bewegung, und mit dem bloßen Auge lassen sich zwei verschiedene Zustände unterscheiden. Bei Wind ist die Wasseroberfläche chaotisch und aufgewühlt, von kleinen, kurzen Wellen erschüttert; in diesem Fall spricht man allgemein von Seegang (oder spezieller von Windsee; vgl. Tabelle 1). Wenn Windstille herrscht, der Meeresspiegel jedoch von Wellen durchzogen ist, die von zuvor wehendem Wind oder einem weiter entfernten Sturm herrühren, so nennen wir diesen Zustand Dünung (auf Englisch: *swell*). In diesem Fall weisen die Wellen sehr große Abstände und eine höhere Periode auf.

WINDSEE

| Bezeichnung Klassifikation des Seegangs | Durchschnittliche Wellenhöhe |
|--|------------------------------|
| 0 spiegelglatte See | — |
| 1 gekräuselte, ruhige See | 0–0,10 m |
| 2 schwach bewegte See | 0,10–0,50 m |
| 3 leicht bewegte See | 0,50–1,25 m |
| 4 mäßig bewegte See | 1,25–2,50 m |
| 5 grober Seegang | 2,50–4 m |
| 6 sehr grober Seegang | 4–6 m |
| 7 hoher Seegang | 6–9 m |
| 8 sehr hoher Seegang | 9–14 m |
| 9 schwerer Seegang | mehr als 14 m |

Tabelle 1 – Douglas-Skala

~ DU BIST ABER EINE GROSSE WELLE!

Wovon hängen die Ausmaße einer Welle ab? Wie schon gesagt wird das in erster Linie davon bestimmt, wie stark und wie lange der Wind auf das Meer bläst; man muss jedoch auch einen weiteren Faktor berücksichtigen: den *Fetch* (auch Windlauf- oder Streichlänge). Dieses Wort bezeichnet die Fläche des offenen Meeres, auf welcher der Wind mit konstanter Stärke und Richtung und ohne Unterbrechung wehen kann. Zum Beispiel werden auf einem See mit nur wenigen Hundert Metern Fetch die Wellen nur bescheidene Dimensionen erreichen. Um zu wachsen benötigen die großen, von Wind verursachten Wellen viele Kilometer freie Fläche sowie Windgeschwindigkeiten von mehreren Hundert Kilometern pro Stunde – und das über Stunden oder sogar Tage hinweg.

~ WELLE AUF WELLE

Wir wissen jetzt, wie Wellen entstehen – aber wie verhalten sie sich? Auf offener See können viele Wellen von ganz unterschiedlicher Größe zusammenkommen, die weit entfernten Stürmen entsprungen sind und von diesen in ganz unterschiedliche Richtungen geschoben wurden.

Wenn solche Wellen aufeinandertreffen, kommt ein Effekt ins Spiel, der in der Physik als *Interferenz* bezeichnet wird. Aus zwei verschiedenen Wellen entsteht eine Welle, deren Amplitude in jedem Punkt der algebraischen Summe der Amplituden der einzelnen Wellen entspricht.

Verfügen beide Wellen entweder über eine positive oder über eine negative Amplitude (oberhalb oder unterhalb des ruhenden Meeresspiegels), so werden diese addiert; ist jedoch die eine positiv und die andere negativ, werden sie subtrahiert. Nehmen wir als Beispiel zwei Wellen gleicher Höhe und mit identischer Periode, die sich in Phase bewegen (mit gleichen Kämmen und Tälern): An der Stelle, wo sie sich treffen, entsteht eine Welle, deren Höhe

das Doppelte der einzelnen Ursprungswellen aufweist (*konstruktive Interferenz*).

Sollte die Phase dieser beiden Wellen jedoch versetzt sein (jedem Kamm steht ein Tal gegenüber, und umgekehrt), würden die beiden Wellen sich gegenseitig aufheben und das Meer an jener Stelle ganz ruhig werden (*destruktive Interferenz*).

In welche Richtung bewegt sich eine Welle, die aus einer solchen Begegnung entsteht? Um das zu erfahren muss man lediglich das Prinzip des Parallelogramms anwenden. Am Schnittpunkt X nehmen wir zwei Segmente, welche die Ausrichtung (anhand der Linie), die Bewegungsrichtung (anhand der Pfeilspitze) und die Geschwindigkeit (anhand der Länge) der Wellen darstellen, und konstruieren ein Parallelogramm wie in Diagramm 2. Die Richtung der entstehenden Welle entspricht der Diagonalen der Figur (dieser Vorgang nennt sich *Vektorsumme*).

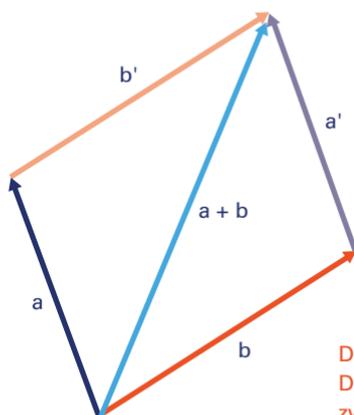


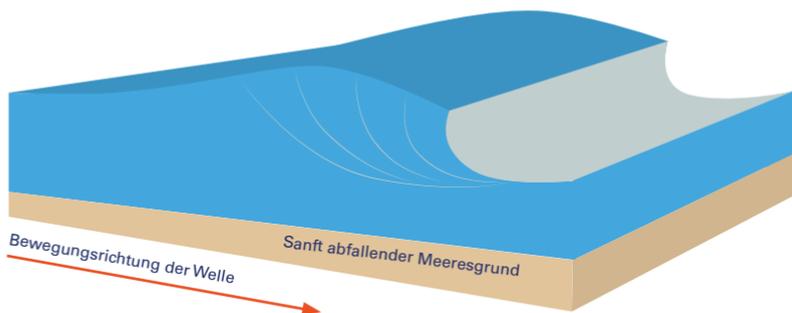
Diagramm 2 –
Die Summe aus
zwei Vektoren

Der Wellengang weist auch noch andere Verhaltensweisen auf, die mit den Gesetzen der Physik beschrieben werden können. In der Tat können Wellen reflektiert, diffraktiert (zerstreut) und refraktiert (gebrochen) werden. Trifft eine Welle beispielsweise auf einen Damm, erfährt sie einen *Reflexions*-Effekt: Sie wird zurückgeworfen (wobei der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel

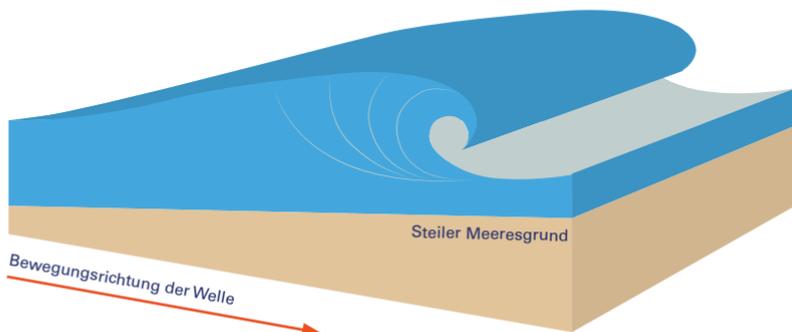
entspricht) und verliert aufgrund der Reibung etwas an Energie. Wenn eine Welle eine Engstelle durchquert, die im Verhältnis kleiner ist als ihre Wellenlänge – wie beispielsweise in einer Hafeneinfahrt –, bewegt sie sich anschließend nicht in derselben Richtung weiter, sondern wird kreisförmig zerstreut (*Diffraktion*). Schließlich können Wellen auch *refraktiert* werden: Nähern sie sich der Küste, reduziert nämlich die Interaktion mit dem Meeresboden ihre Geschwindigkeit, wobei ihre Höhe zunimmt (ein Prozess, den man *Shoaling* nennt), bis sie schließlich brechen.

~ WENN DIE WELLE BRICHT

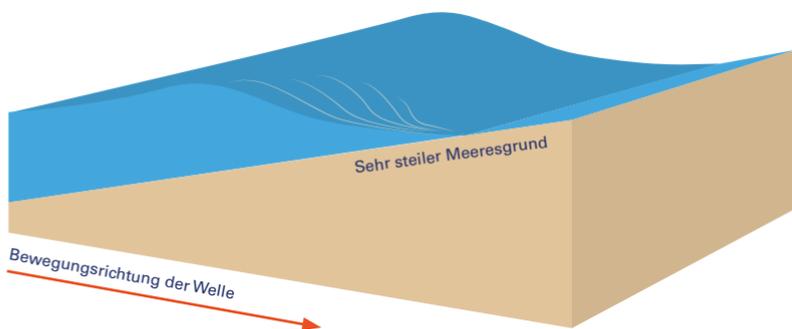
In *Point Break*, einem Film von Kathryn Bigelow mit Patrick Swayze und Keanu Reeves, ist der wahre Protagonist der *Brechpunkt*. Surfer kennen ihn nur allzu gut: Es ist die Stelle, an der eine Welle plötzlich auf flachen Meeresboden trifft und unter stürmischem Tosen bricht. Die Ursache sollt ihr gleich erfahren. Wie wir bereits festgestellt haben, transportiert eine Welle Energie, die sie vom Wind gewonnen hat. Sie setzt sich manchmal kilometerweit fort und kann so bis zur Küste gelangen. Betrachtet ihr eine Welle vom Strand aus, so müsst ihr bedenken, dass die Welle, die sich vom offenen Meer nähert, sich dabei verändert (vgl. Abbildung 1). Während der Meeresgrund ansteigt, nimmt auch die Reibung zu, und der untere Teil der Welle wird langsamer. Eine Welle beginnt, den Boden zu »spüren«, wenn die Tiefe weniger als die halbe Wellenlänge beträgt. Um die Energie zu erhalten, nimmt die Höhe der Welle zu, wobei sie allerdings kürzer wird, bis zu dem Punkt, an dem der obere Teil der Welle den unteren »überholt« und zu brechen beginnt und die mitgeführte Energie freigesetzt wird. Auf diese Weise kann man anhand der Wellen die Beschaffenheit des Meeresbodens erraten: Brechen die Wellen weit draußen, so liegt es daran, dass sie auf ein Hindernis gestoßen sind. Ist euch schon aufgefallen, dass an einem Sandstrand die Wellen unmittelbar vor einer Sandbank brechen? Jetzt wisst ihr, wieso.



A) Schwallbrecher



B) Sturzbrecher



C) Reflexionsbrecher

Abbildung 2 – Brecherformen

☺ MAN NENNT SIE »BRECHER«

Einem Surfer dabei zuzusehen, wie er eine Welle reitet, ist immer wieder atemberaubend. Noch faszinierender wird es, wenn er sie durchquert. Es gibt verschiedene Arten von brechenden Wellen – in der Fachsprache ist von Brechern die Rede (oder *breakers*) – und jede einzelne ist auf ihre Weise spektakulär (und gefährlich; vgl. Abbildung 2).

Spilling Breakers (Schwallbrecher): Fällt ein Strand sehr sanft ins Meer ab, verlieren die Wellen ihre Energie allmählich und brechen schließlich weit vor der Küste. Dabei entsteht eine Menge Schaum, der dann zum Strand getragen wird. Obwohl diese Wellen sehr groß werden können und manchmal mehrfach brechen, bevor sie sich auflösen, ist es recht leicht, auf ihnen das Surfbrett zu besteigen. *Plunging breakers* (Sturzbrecher): Das sind die Wellen, die sich einrollen und einen Tunnel bilden, den Surfer unbeschadet zu durchqueren versuchen. Sie entstehen an Stränden mit einem steil ansteigenden Meeresgrund, der oft aus einer Sandbank oder jäh aufragenden Felsen besteht. Der untere Teil der Welle verliert hier schnell an Geschwindigkeit, während der obere Teil sich ungehindert fortbewegt und im Fallen die Luft wie in einer Röhre umschließt. Dabei setzt sich die gesamte Energie auf einmal frei, was solche Wellen sehr gefährlich macht. *Surging Breakers* (Reflexionsbrecher): Steigt der Strand sehr steil an, wächst die Welle, während sie den Meeresboden erklimmt, bevor sie sich aufrichtet und plötzlich am Ufer bricht. Was sie besonders gefährlich macht, ist oft der starke Sog, der das Wasser wieder in die Tiefe zieht. Eine solche Welle erreicht vielleicht keine beeindruckenden Ausmaße, aber sie kann einen Erwachsenen ohne weiteres umwerfen.

☺ SONNE, MOND UND GEZEITEN

Gestirne beeinflussen uns. Nein, es geht nicht um Horoskope, sondern um die Gezeiten. Tatsächlich sind Meere und Ozeane der Anziehungskraft zweier wichtiger Himmelskörper ausgesetzt: dem Mond und der Sonne. Wer schon einmal in Mont-Saint-Michel war, an der Küste des Ärmelkanals in der Basse-Normandie, wird wahrscheinlich Zeuge eines überwältigenden Naturphänomens geworden sein. Bei Ebbe ist der Ort umgeben von einer sandigen Ebene, durch die sich das eine oder andere Rinnsal schlängelt. Mit der Flut allerdings verwandelt er sich in eine malerisch umwogte Insel, die nur über eine einzige Straße noch mit dem Festland verbunden ist. In Mont-Saint-Michel erreicht der *Tiden-*

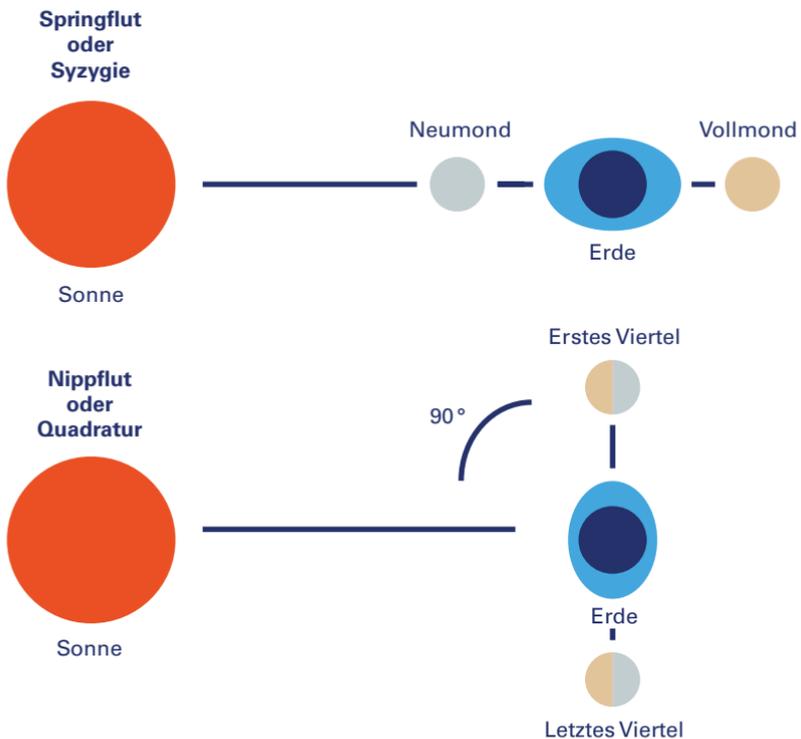


Abbildung 3 – Die Gezeiten

hub (der Unterschied zwischen höchstem und niedrigstem Wasserstand) sage und schreibe 14 Meter.

Wie können Sonne und Mond Wassermassen dieser Größenordnung verschieben? Des Rätsels Lösung liegt in der Schwerkraft. Wenn unser Trabant, der Mond, sich über die Ozeane hinwegbewegt, übt er eine Anziehungskraft auf sie aus und erzeugt eine Erhebung im Wasser (einen sogenannten Flutberg). Eine entsprechende Erhebung entsteht auf der genau gegenüberliegenden Seite des Planeten, was auf die Zentrifugalkraft zurückzuführen ist, die sich aus der Rotation der Erde um ihre Achse ergibt. Dasselbe gilt für unseren Stern, wenngleich die Sonne aufgrund der großen Entfernung eine geringere Kraft ausübt (vgl. Abbildung 3). Treten beide Einflüsse gemeinsam auf, kann das deren Wirkung verstärken (*Springflut* oder *-tide*) oder abschwächen (*Nippflut*). Im ersten Fall wird die größtmögliche Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Wasserstand erreicht, im zweiten Fall hingegen die kleinste. In einem lunaren Monat – den 29 Tagen zwischen einem Vollmond und dem nächsten – haben wir also zwei Phasen von Springflut und zwei von Nippflut. Das bedeutet, dass sich alle sieben Tage die Strömung umkehrt und der zuvor steigende Tidenhub umschwenkt und wieder abfällt (oder umgekehrt).

Man kann sich die Gezeiten wie eine Welle vorstellen: Die Flut stellt den Kamm der Welle dar, die Ebbe ihr Tal. Im Unterschied zu anderen Wellen hat sie jedoch eine sehr lange Periode, die sich im Allgemeinen auf 12 Stunden und 25 Minuten beläuft (je nach Beschaffenheit der Küste). Aufgrund der Erddrehung und der Kreisbahn des Mondes um die Erde tritt die Gezeitenwelle an einem mustergültigen Strand also zweimal täglich auf. Außerdem läuft die Flut nicht zu einer gleichbleibenden Uhrzeit ein, vielmehr verschiebt sich der Zeitpunkt jeden Tag etwa 50 Minuten nach vorne.

KANN ES BEI UNS EINEN TSUNAMI GEBEN?

Tsunami ist ein japanisches Wort und bedeutet »Hafenwelle«, was auf die Verheerungen hinweist, die ein Tsunami in Küstengebieten anrichten kann. Dasselbe Phänomen wird auch als Erdbebenwoge bezeichnet. Was es bedeutet, wissen wir allzu gut. Denken wir nur an den schlimmsten Tsunami der Geschichte, der am 26. Dezember 2004 über Thailand und Indonesien hereinbrach und fast 300 000 Menschenleben forderte. Oder jenen, der am 11. März 2011 Japan überrollte und durch die Schäden am Atomkraftwerk von Fukushima drohte, einen nuklearen Supergau zu verursachen.

Wie entsteht ein Tsunami? Die Riesenwelle, die auf das Festland stürzt, wird von einem Ereignis hervorgerufen, das gewaltige Wassermassen verdrängt. Dabei kann es sich um ein unterseeisches Erdbeben handeln, einen Erdrutsch, einen Vulkanausbruch oder den Aufprall eines Meteoriten. Wichtig ist, dass eine große Menge Energie freigesetzt werden muss, die über die Wellen des Meeresspiegels übertragen wird. Diese Wellen können Tausende Kilometer zurücklegen und dabei Geschwindigkeiten von bis zu 1000 Stundenkilometer erreichen, bei einer Wellenlänge von 100 Kilometern oder mehr. Sobald die Welle sich der Küste nähert, interagiert die Welle mit dem ansteigenden Meeresboden, wodurch, wie wir bereits gesehen haben, ihre Höhe zunimmt, während Geschwindigkeit und Länge abnehmen. Das ist der Moment, in dem das Meer sich zurückzieht, als gäbe es eine plötzliche Ebbe, nur um sich anschließend über das Ufer zu ergießen. Der größte Tsunami, der je aufgezeichnet wurde? An der Lituya Bay, in Alaska, stürzte 1959 aufgrund eines Erdbebens ein Teil der Küste ins Meer: Die Wellen auf der anderen Seite der Bucht waren über 500 Meter hoch.

Aufgrund seiner erhöhten seismischen Aktivität ist beispielsweise auch Italien ein Risikoland für Tsunamis. Dem Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, dem italienischen Nationalinstitut für Geophysik und Vulkanologie zufolge haben sich an Italiens Küsten seit dem berühmten Ausbruch des Vesuvs 79 n. Chr.

etwa 72 Tsunamis ereignet. Der Großteil war nicht besonders stark, einige haben jedoch heftige Zerstörungen nach sich gezogen. Einer der bekanntesten folgte auf das Erdbeben von Messina, 1908, und betraf die Gegenden rund um die Meerenge zwischen Sizilien und Kalabrien. Die Wellen erreichten Höhen von über 12 Metern. Am Ende forderte die Katastrophe mehr als 100 000 Opfer.