

# Die Gezeiten

## Inhalt

- Allgemeines
- Gezeiten 1
- Gezeiten 2
- Gezeiten 3
- Gezeiten 4



## Allgemeines

Gezeiten sind periodische Bewegungen des Meeres, der festen Erde und der Atmosphäre, die durch die gezeitenerzeugenden Kräfte hervorgerufen werden. Diese sind durch das Zusammenwirken der Anziehungskräfte zwischen Erde, Mond und Sonne und der mit den Bewegungen dieser Himmelskörper verbundenen Fliehkräfte bestimmt. Die vom Mond ausgeübte Anziehungskraft ist überall auf der Erde zum Mond gerichtet, und ihre Größe ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes vom Mond. Aus der Addition von Fliehkraft und Anziehungskraft des Mondes ergeben sich die gezeitenerzeugenden Kräfte. Entsprechende etwas weniger als halb so große Kräfte ergeben sich durch die Bewegungen des Systems Sonne-Erde.

Die gezeitenerzeugenden Kräfte ( Abb. 1 ) lassen sich als eine unendliche Summe von Sinus- und Kosinusgliedern konstanter Amplitude und Frequenz angeben (sechsdimensionale Fourierreihe), deren einzelne Glieder (harmonische Bestandteile) als Partialtiden bezeichnet werden. Diese erzeugen als massenproportionale Kräfte periodische Bewegungen, die Gezeiten, die sich als Wasserstandsschwankungen, mit ihnen verbundene Strömungen und im Falle ausgeprägter Schichtungen auch als Salzgehalts- und Temperaturänderungen infolge etwa bodentopographiebedingter vertikaler Bewegungen (interne Gezeiten) bemerkbar machen können. Die von einer einzelnen Partialtide im Meer erzeugte erzwungene Schwingung gleicher Frequenz wird ebenfalls als Partialtide bezeichnet. Die Eigenschaften des örtlichen gezeitenbedingten Wasserstandsverlaufes sind zunächst gekennzeichnet durch das Steigen (Flut) und Fallen (Ebbe) des Wasserstandes. Der Gezeitenverlauf von einem einzelnen Niedrigwasser bis zum folgenden Niedrigwasser wird als eine Tide bezeichnet. Die Höhendifferenz zwischen Niedrigwasser und Hochwasser, der Tidenhub, verändert sich i.a. von Tide zu Tide wie auch die anderen Eigenschaften der Tidenkurve ( Abb. 2 ). Abweichungen eines Gezeitenwertes vom entsprechenden Mittelwert, oder Ungleichheiten der Gezeit, können z.B. zurückgeführt werden auf unterschiedliche Entfernungen zwischen Erde und Mond, die Mondphasen oder die Deklinationen von Mond und Sonne. Bei halbtägiger Gezeitenform überlagern sich an den meisten Orten ein bis zwei Tage nach Voll- und Neumond die mond- und sonnenerzeugten Gezeiten so, daß sich besonders starke Gezeiten, die Springtiden, ergeben. 7,4 Tage später führt die Überlagerung zu besonders schwachen Tiden, den Nipptiden.

An den meisten Orten wird auch eine etwa eintägige Verspätung des maximalen ganztägigen Tidenhubes gegenüber der maximalen Deklination des Mondes beobachtet. Diese Zeitdifferenzen werden als halb- bzw. ganztägiges Alter der Gezeit bezeichnet. In weiten Teilen des globalen Weltozeans dominieren die halbtägigen Ozeangezeiten (Meeresgezeiten); das gilt z.B. für den gesamten Atlantik und die angrenzenden Nebenmeere wie die Nordsee. Im Pazifik gibt es v.a. im nördlichen und westlichen Teil ausgedehnte Gebiete mit starkem ganztägigen Gezeiteneinfluß. Die Ursache für diese Erscheinungen läßt sich aus theoretischen Überlegungen und mit Hilfe von Modellen ermitteln, die auf den hydrodynamischen Gleichungen und, zu deren näherungsweisen Lösung, auf numerischen Algorithmen basieren. Danach besitzen die Ozeane ein mittels der Eigenschwingungen anzugebendes freies Schwingungsverhalten, das abhängig von der Periode und der räumlichen Verteilung der jeweiligen gezeitenerzeugenden Kräfte (Partialtiden) durch letztere eine stärkere (resonanznahe) oder weniger starke Anregung von Gezeiten zuläßt. Mit Hilfe von mathematischen Gezeitenmodellen kann eine Approximation der theoretischen an die beobachtbaren Gezeiten erstellt werden. Die Gezeitenreduktion ist eine rechnerische Eliminierung der Gezeitenwirkung aus Beobachtungen, so z.B. für Schweremessungen, Meeresspiegelhöhen aus Meeresgezeiten, Punkthöhen auf der festen Erde aus Erdgezeiten, Lotrichtung etc. mit Hilfe von Gezeitenmodellen.

Die Gezeiten der Nebenmeere, die ein eigenes Verhalten besitzen, werden durch die Gezeiten der angrenzenden Ozeane als Mitschwingungsgezeiten erzeugt. In den Flachwassergebieten der Nebenmeere oder deren ausgedehnten Schelfe entstehen aus der nichtlinearen Wechselwirkung der Partialtiden mit sich selbst oder untereinander

sog. Seichtwassertiden, deren Frequenzen sich als Summen ganzzahliger Vielfacher der Frequenzen der beteiligten Partialtiden ergeben. Daher werden in solchen Gebieten z.B. auch Gezeiten mit viertel-, sechstel- oder achtertägiger Periode angetroffen. Ergebnis dieser Wechselwirkungen der Partialtiden sind weiterhin zu den Frequenzdifferenzen gehörige langperiodische und stationäre (zeitunabhängige) Phänomene, wie die stationären Restströme. Sie können in Küstennähe bei starken räumlichen Änderungen der Stromvektoren der Partialtiden, etwa im Bereich von Landspitzen, Wirbel mit Stromgeschwindigkeiten von mehr als 20 cm/s bilden. Durch das Auftreten von Seichtwassertiden werden v.a. in Gezeitenflüssen Verformungen der Tidekurve verursacht, die mit einer Verkürzung der Steigdauer und einer Verlängerung der Falldauer des Wasserstandes verknüpft sind. In manchen Flüssen verkürzt sich die Steigdauer so stark, daß der Anstieg sprunghaft als Bore erfolgt. Die Pororocá-Bore des Amazonas steigt bis zu 5 m hoch und wandert mit 6,5 m/s flußaufwärts.

Die geographische Verteilung der Gezeiten wird durch Linien gleicher Tidenhöhe und gleicher Eintrittszeiten des Hochwassers (Flutstundenlinien) dargestellt ( Abb. 3 ). Die Gezeitenströme, welche die ganze Wassersäule erfassen, werden im Falle der streng periodischen Partialtiden und Seichtwassertiden durch die Stromellipsen in den einzelnen Tiefenhorizonten dargestellt. Die Überlagerung der Partial- und ggf. der Seichtwassertiden liefert verwickelte Gezeitenkurven und Stromfiguren. Dabei besitzt der Gezeitenstrom, bedingt durch den Einfluß der Bodenreibung in flacheren Schelfgebieten eine starke Tiefenabhängigkeit ( Abb. 4 ), die im Falle der Existenz interner Gezeiten sogar zu ausgeprägten Maxima der Strömungsgeschwindigkeit im Inneren der Wassersäule führen kann.

Bei halbtägiger Periode besitzen die Gezeiten, wenn sie als fortschreitende barotrope Gezeitenwellen angeregt werden, Wellenlängen und Phasengeschwindigkeiten von ca. 30 m/s bzw. 1400 km auf dem Schelf und von bis zu 220 m/s bzw. 10.000 km im offenen Ozean. Infolge des Einflusses von Küsten- und Bodentopographie, der Corioliskraft und von Reibungseffekten stellen die Gezeiten ein komplexes Gemisch von fortschreitenden und stehenden Wellen verschiedener Natur dar, das von Amphidromien beherrscht wird.

Wegen der – im Vergleich zu denen der erzeugenden Kräfte – geringen Phasengeschwindigkeiten der Gezeitenwellen kann die Oberfläche des Ozeans nicht die Figur einer Niveauläche annehmen, die für die Mondgezeiten insgesamt einen maximalen Hub von 55 cm und für die Sonnegezeiten einen solchen von 25 cm auf einer als starr angenommenen festen Erde aufwies. Für die reale deformierbare Erde verringern sich diese Werte jeweils um etwa 30%. Modellrechnungen für den globalen Ozean erlauben es, Bilanzen für Energie und Drehimpuls aufzustellen. Bei einer gleichbleibenden Höhe des Energieinhaltes wird im wesentlichen im offenen Ozean Energie durch die gezeiterzeugenden Kräfte zugeführt, die in ausgedehnte Schelfgebiete und Nebenmeere transportiert und vorzugsweise dort durch Reibungsprozesse z.B. am Meeresboden vernichtet wird.

Die Reibungskräfte bewirken über die mittlere Verzögerung der realen Gezeit gegenüber der Gleichgewichtszeit und ein dadurch hervorgerufenes Drehmoment eine säkulare Verlangsamung der Erdrotation und eine Ausweitung der Mondbahn. Derzeit beträgt diese durch Gezeitenreibung verursachte Vergrößerung der Tageslänge zwei Millisekunden pro Jahrhundert und die zugehörige Vergrößerung des Abstandes Erde-Mond 3,7 cm pro Jahr. Je nach Resonanz- und Energiezufußbedingungen werden im einzelnen sehr unterschiedliche Tidenhöbe und Geschwindigkeiten und damit auch Energieflüsse festgestellt. So betragen in der Ostsee, im Europäischen Mittelmeer und im Japanischen Meer die halbtägigen Springtidenhöbe weniger als 50 cm und die ganztägigen weniger als 20 cm. Dagegen betragen die maximalen mittleren Springtidenhöbe der halbtägigen Gezeit 4 m an der deutschen Nordseeküste, 6,5 m an der englischen und in der Fundy-Bay an der Atlantikküste Nordamerikas wird der weltweit höchste Wert von 14,5 m beobachtet. Auch die Gezeitenströme können in flacheren Gewässern und in Meerengen bedeutend stärker sein als im ozeanischen Mittel. Schon in der Deutschen Bucht treten maximale Gezeitenstromgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/s auf. In Gezeitenkraftwerken werden die Energien der Gezeitenströme zur Erzeugung von elektrischer Energie genutzt. Schon im Mittelalter nutzte man die Energie der Gezeitenströme in Flutmühlen.

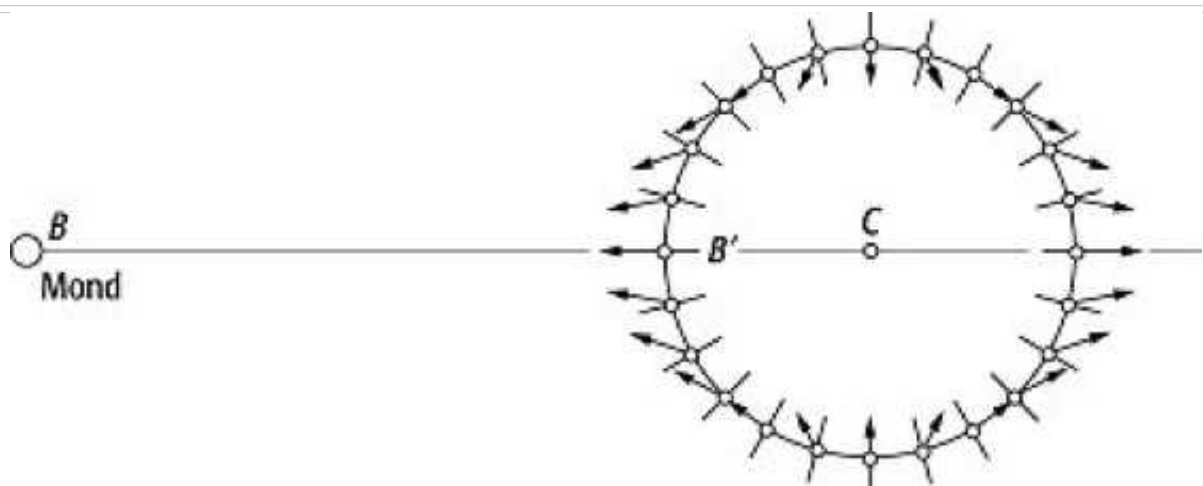
Sturmflutwarndienste berechnen die Überlagerung von Wind- und Gezeiteinfluß im Falle von Sturmfluten. Eine reine Gezeitenvorhersage für Orte in Küstennähe oder in Gezeitenflüssen wird wegen der strengen Periodizität auf der Grundlage von langjährigen Beobachtungen von hydrographischen Ämtern durchgeführt und in jährlich erscheinenden Gezeitentafeln beschrieben. Zwei empirische Verfahren zur Vorhersage von Gezeitenwasserständen sind im Gebrauch, die sich auf zumeist mindestens einjährige Wasserstandsregistrierungen stützen. Das neuere Verfahren liefert die ganze Gezeitenkurve und basiert auf der harmonischen Analyse von Beobachtungsreihen unter Einschluß der Seichtwassertiden. Mit Hilfe der einmal ermittelten harmonischen Konstanten kann dann umgekehrt durch Zusammensetzen der Partialtiden der Gezeitenverlauf für den betreffenden Ort vorausberechnet werden. Die in den Gezeitentafeln enthaltenen Wasserstandsangaben werden auf eine bestimmte Höhe bezogen, das Kartendatum. Auf dieses beziehen sich die Wassertiefen und es ist so festgelegt, daß es möglichst selten vom Wasserstand unterschritten wird. In den einzelnen Ländern ist diese Höhe verschieden definiert. Die in den Gezeitentafeln

aufgeführten Hoch- und Niedrigwasser setzen sich zusammen aus den Gezeiten und dem monatlichen mittleren Wasserstand  $Z_0$  als statistischem Mittelwert der örtlichen Wasserstandsschwankungen. Die Schwankungen von  $Z_0$  werden v.a. durch die jahreszeitlichen Änderungen der vorherrschenden Winde, des Luftdruckes und des festländischen Abflusses verursacht. [WZ]

Literatur: [1] DIETRICH, G. et al. (1975): Allgemeine Meereskunde. [2] ZAHLE, W. (1986): Astronomical Tides, in: Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik, Gruppe 5, Bd. 3, Springer. [3] SAGER, G. (1987): Mensch und Gezeiten in zwei Jahrtausenden.

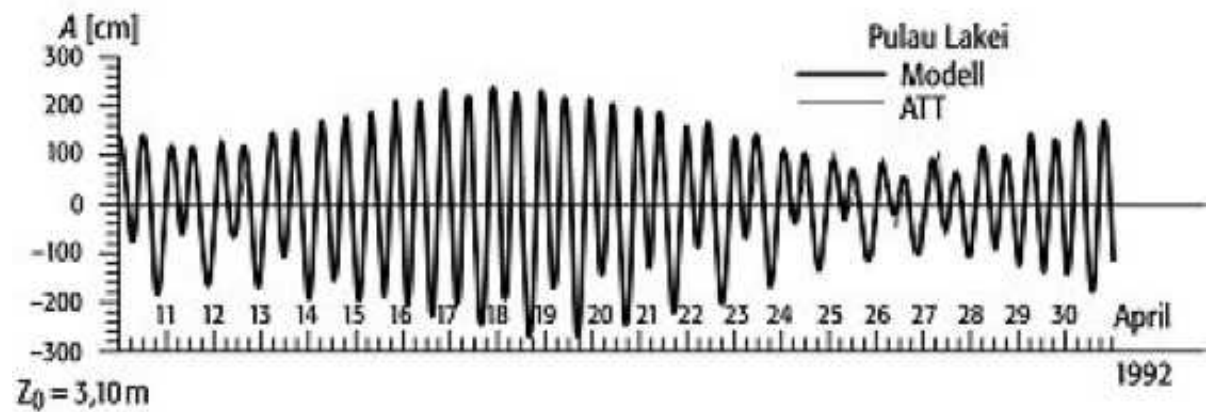
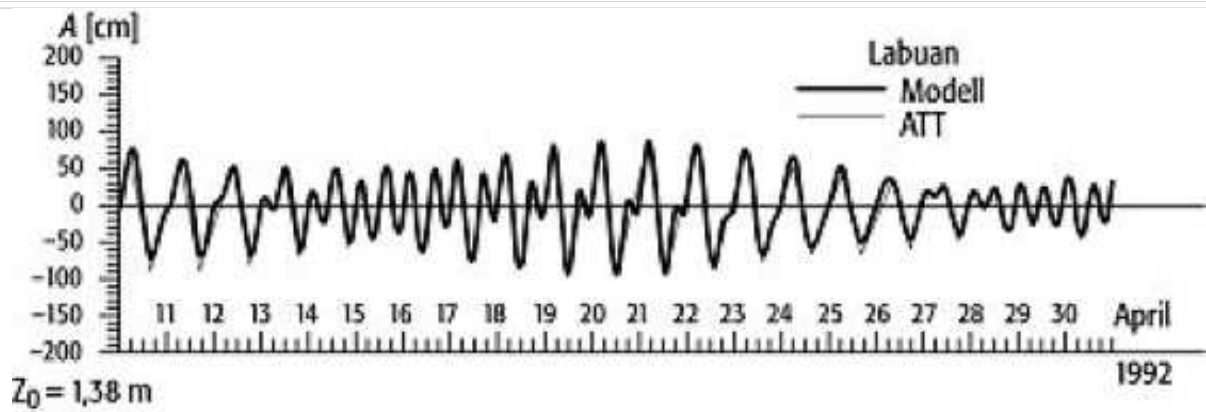
## Gezeiten 1

gezeitenerzeugende Kräfte als Vektoren, das gezeitenerzeugende Gestirn ( $B$ ), der Erdmittelpunkt  $C$  und der sublunare bzw. subsolare Punkt ( $B'$ ).



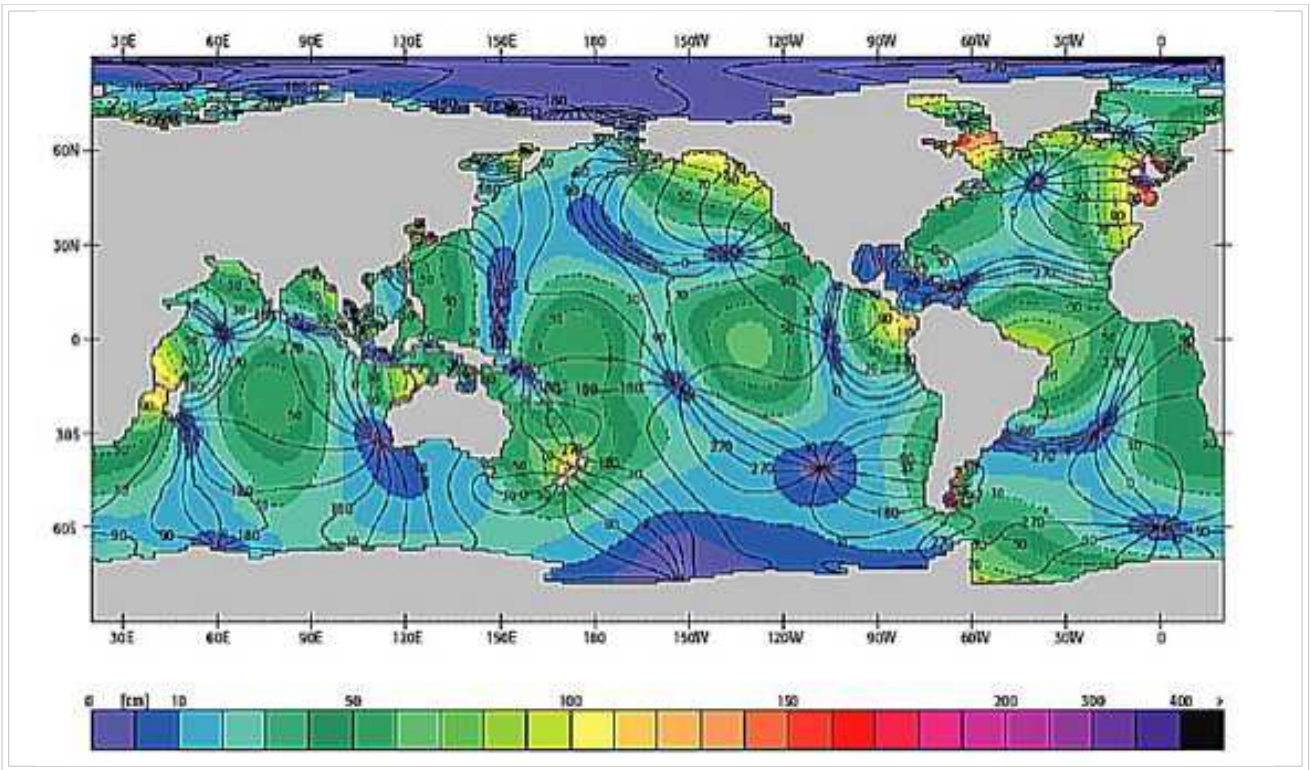
## Gezeiten 2

Die Wasserstandskurven für zwei Häfen am Südchinesischen Meer zeigen die Überlagerung verschiedener Partialtiden zu einer gemischten bzw. halbtägigen Gezeit. Vollmond tritt am 17. April um 4.42 Uhr Weltzeit ein, das Schwebungsmaximum in Pulau Lakei verzögert sich gegenüber Vollmond. Das halbtägige Alter berechnet sich für diesen Ort zu 42 Stunden.



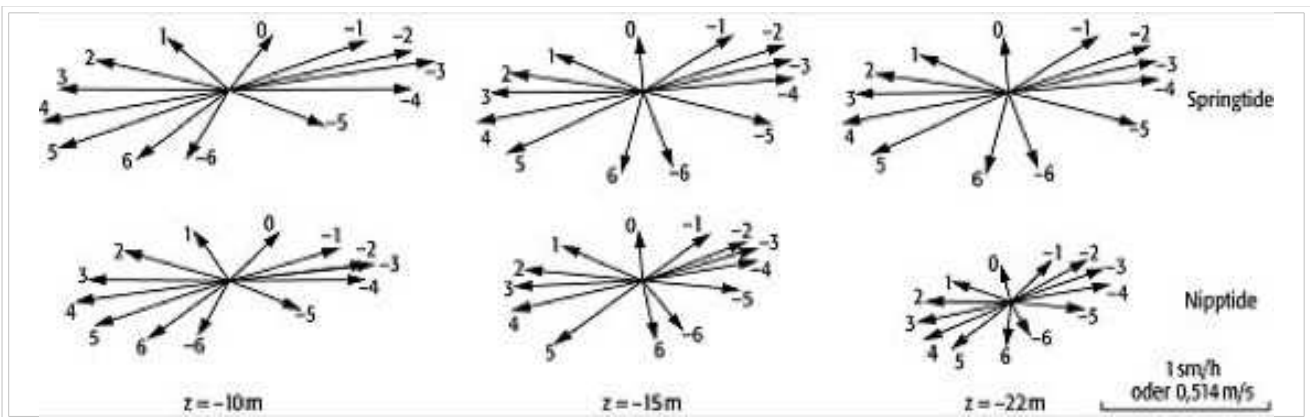
### Gezeiten 3

Ozeangezeiten mit Darstellung der Schwingungscharakteristika wie Amphidromien, fortschreitende und stehende Wellen. Linien gleicher Amplituden sind durchbrochen, Flutstundenlinien durchgezogen dargestellt. Die Skala gibt eine genauere Abstufung der Amplituden des Wasserstandes an.



## Gezeiten 4

Die zeitliche Veränderung des Gezeitenstromvektors in verschiedenen Tiefen (-22 m: bodennahe Tiefe) in der Deutschen Bucht zeigt eine ausgeprägte Tiefenabhängigkeit und damit den Einfluß der Bodenreibungsgrenzschicht. Ganze Zahlen an den Vektoren geben die Zeitdifferenz in Stunden gegenüber dem Hochwasser in Helgoland an.





Zuletzt bearbeitet: Sonntag, 25. Oktober 2020