Schulbiologie zentrum Hannover
Ingo Mennerich 08/14

Gezeitensimulator I: Ebbe und Flut am Computer

Gezeitenkurve über eine Mondperiode

Der Gezeitensimulator I erzeugt nach Eingabe des ortstypischen mittleren Wasserstandes und weniger astronomischer Daten eine über einen Monat streichende Gezeitenkurve.

Vergleichen Sie diese mit den amtlichen Vorhersagen, zum Beispiel denen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH).

Ebbe und Flut pendeln um den mittleren Wasserstand (Normalhöhennull, NHN). Das NHN ist hier, etwas vereinfachend, das arithmetische Mittel aus dem mittleren Hochwasser (MHW) und dem mittleren Niedrigwasser (MNW). Beide Werte können Sie für eine Vielzahl von Orten aus den Gezeitentafeln des BSH entnehmen. Oder Sie errechnen selbst den Durchschnitt aus einer längeren Reihe von Hoch- und Niedrigwasserständen.

Bespiel Westerland (Sylt): MHW 2,35 m, MNW 0,49 m → Mittlerer Wasserstand (NHN) 1,42 m.

Weiterhin brauchen Sie folgende Daten (jeweils in Tagen vor oder nach Neumond)

- Erdnähe des Mondes (Perigäum)
- Äquatorübergang des Mondes (Deklination 0°)
  Alternativ: Aufsteigender Knoten (Schnittpunkt der aufsteigenden Mondbahn mit der Ekliptik)
- Jahreszeit (Tage nach Wintersonnenwende)

Diese Daten finden Sie zum Beispiel im jährlich neu erscheinenden Kosmos-Himmelsjahr oder in einer Vielzahl von Quellen im Internet.

Die auf den großen Ozeanen entstehenden Gezeiten treffen mit etwa 3 Tagen Verspätung in der Nordsee ein (Springverspätung). Bei Eingabe einer "3" wird die gesamte Kurve um drei Tage nach rechts verschoben, bleibt in der Form aber erhalten.

Die Gezeitenkurve basiert auf dem mittleren Meridiandurchgang des Mondes und beginnt mit 0 Uhr.
Auf Sylt tritt das Hochwasser im Mittel etwa dann ein, wenn der Mond im Süden steht. Auf Borkum ist das etwa 3 Stunden vorher der Fall, an der norddänischen Nordseeküste 3 Stunden danach. Im Feld "Korrektur (Stunden)" können Sie die Gezeitenkurve zusätzlich um einige Stunden vor- oder zurückschieben.

Experimentieren mit Partialtiden

Gezeiten haben ihre Ursache in der Summe der Kräfte, die der Mond und die Sonne auf die Erde ausüben. Diese Kräfte schwanken im Rhythmus der täglichen, monatlichen und jahreszeitlichen (Relativ)Bewegungen.

Das Auf und Ab der Gezeiten lässt sich in viele sich überlagernde Partialtiden zerlegen.

Jede Partialtide hat eine bestimmte, durch astronomische Rhythmen vorgegebene Periode und eine ortsabhängige Amplitude (mittlere Höhe). Die resultierenden Gezeiten setzen sich aus den Perioden und Amplituden der einzelnen Teiltiden zusammen. Das Verhältnis der Amplituden führt zu einer ortstypische Gezeitenform.

Alle Teiltiden zeigen einen sinusförmigen Verlauf. Ihre Nullpunkte sind durch astronomische Zeitpunkte gegeben (Neumond, Winteranfang, Größte Nord- oder Südbreite, Perigäum). Da diese jeweils im Maximum beginnen sind es Cosinus-Funktionen nach dem Muster

$$A_t = A_1 * \mathrm{Cos}(2*\pi/P_1) + A_2 * \mathrm{Cos}(2*\pi/P_2) + A_3 * \mathrm{Cos}(2*\pi/P_3)....$$

mit der Amplitude A und der Periode P in Tagen. $2*\pi/P$ wird auch als Kreisfrequenz bezeichnet.

Im Programm darstellbare Partialtiden

- M2: Halbtägige Mondtide
- S2: Halbtägige Sonnentide

- K1: Ganztägige Haupt-Deklinationstide
- P1: Ganztägige Sonnen-Deklinationstide
- O1: Ganztägige Mond-Deklinationstide

- N2: Große halbtägige elliptische Mondtide
- L2: Kleine halbtägige elliptische Mondtide

Halbtägige Partialtiden:
Zwei Gezeitensignale innerhalb eines Mondtages (2x Flut, 2x Ebbe innerhalb von 24h 50min)

Ganztägige Partialtiden:
Ein Gezeitensignal innerhalb eines Mondtages (1 x Flut, 1x Ebbe)

Darüber hinaus gibt es über 100 weitere Partialtiden, deren Amplituden an der Nordseeküste gering sind und hier nicht berücksichtigt sind. Örtlich können hier nicht eingehende Flachwassertiden die Gesamtkurve dominieren. Die Reduktion auf wenige Perioden geht natürlich einher mit einem mehr oder weniger großen Verlust an Genauigkeit.

Der Gezeitensimulator ist als "Lernspielzeug" gedacht. Er kann und will nicht annähernd mit offiziellen Angaben konkurrieren. Mit einem Flugsimulator auf dem Smartphone lässt sich auch kein echter Jumbo steuern.

Beachten Sie, dass Sie sich, mit mehr oder minder großem Aufwand, alle notwendigen Grunddaten durch einen Kalender und durch eigene Beobachtung am Himmel selbst erarbeiten können.

- Neumond:
  Kalender oder zeitliches Fort- oder Zurückschreiben der aktuellen, am Himmel beobachteten Mondphase.

- Erdnähe des Mondes: Im Perigäum ist die Mondscheibe geringfügig größer als im Mittel.
  (Achtung: Der scheinbar größere aufgehende Mond ist eine Sinnestäuschung!)
  Der geringe Unterschied ist nur mit Erfahrung und einem Vergleichsmaßstab erkennbar. Tipp: Mond an mehreren Tagen nacheinander fotografieren (ohne Zoom!), Bilder nebeneinanderstellen vergleichen.
  Ein Vollmond im Perigäum ist ein "Supermond". Manchmal steht er in der Zeitung.

- Wenn der Mond mit der Deklination 0° über dem Äquator steht, geht er genau im Osten auf, steht in Hannover 37° hoch im Süden und geht genau im Westen unter. Danach steht er für die nächsten zwei Wochen entweder über oder unter der Äquatorebene. Aus der täglichen Veränderung seiner im Süden erreichten Höhe kann man erkennen, ob er sich aufsteigend oder absteigend auf den Äquator zubewegt.

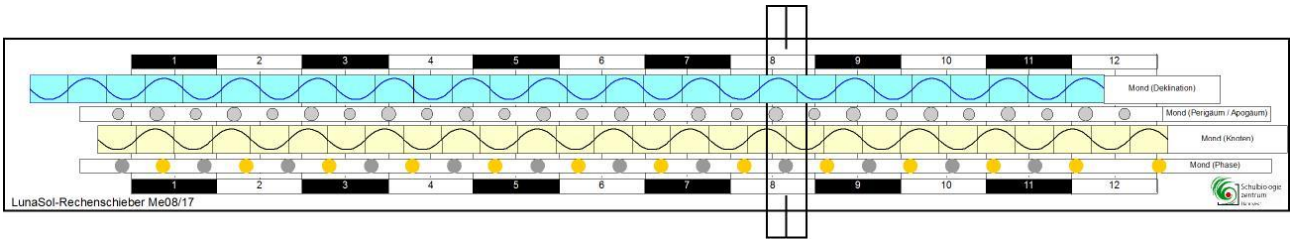
- Alternativ zur Deklination dazu kann man auch den aufsteigenden Knoten, den Schnittpunkt der aufsteigenden Mondbahn mit der Ekliptik einsetzen. Dann steht der Mond im so genannten "Tierkreis" auf dem sich Sonne, Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Skorpion, Schlangenträger, Schütze, Steinbock, Wassermann und Fische aneinanderreihen. In den Sternbildern (nicht Sternzeichen!) finden sich als helle Sterne wie Regulus im Löwen und Spica in der Jungfrau.

- Tage nach Wintersonnenwende
  (Anzahl der zum Neumond seit dem 21. Dezember vergangenen Tage)

Unser "LunaSol"-Rechenschieber

Da sich die Mondphasen, das Perigäum (Erdnähe des Mondes), die schwankende Deklination und die Knotendurchgängen regelmäßig und mit bestimmten Perioden wiederholen, kann man im Prinzip von "Startterminen" ausgehen und diese für viele Jahre fortschreiben. Darauf fußt die Gezeitenvorausberechnung durch harmonische Überlagerung von Partialtiden auch, nur eben mit viel genaueren Daten und mehr Perioden.

Wenn Sie die Ausgangstermine zum Jahresbeginn kennen, können Sie mit unserem "LunaSol"-Rechenschieber die Bewegungen des Mondes für das ganze Jahr vorhersagen. Eine Druckvorlage und eine Anleitung können Sie unter auf unserer "Sternenseite" herunterladen (www.schulbiologiezentrum.info, "Sternenseite").



Astronomische Perioden

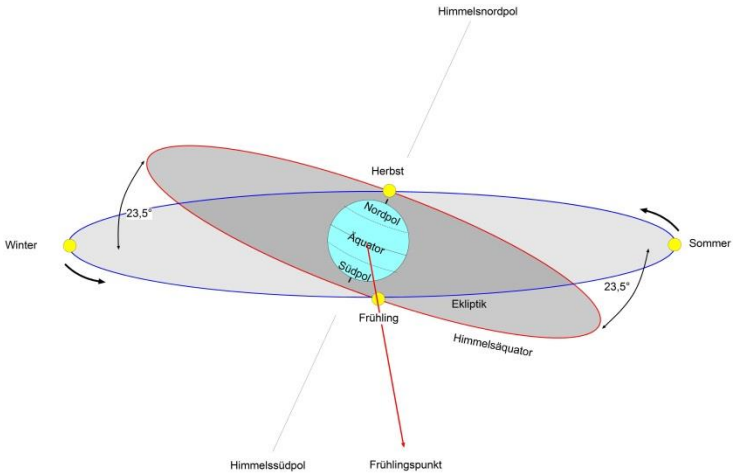
Die beim Gezeitensimulator verwendeten Partialtiden stellen Kombinationen relativ einfacher astronomischer Perioden dar:

- Sonnentag
  -mittlere Zeitspanne zwischen zwei Meridiandurchgängen der Sonne (24 Stunden)
- Mondtag
  -mittlere Zeitspanne zwischen zwei Meridiandurchgängen des Mondes (24 Stunden 50 min)
- Tropischer Monat (von altgriechisch τρόπος (tropos) = Drehung, Wendung)

-mittlere Zeitspanne zwischen zwei Durchgängen des Mondes durch die Länge des Frühlingspunkts (Rektaszension 0h 0min): 27,3216 Tage = 655,72 Stunden.

- Anomalistischer Monat
  -mittlere Zeitspanne zwischen zwei Durchgängen der des Mondes durch den erdnächsten Punkt (Perigäum): 27,55 Tage oder 661,31 Stunden
- Tropisches Jahr
  -mittlere Zeitspanne zwischen zwei Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt oder maximaler bzw. minimaler Deklination: 365,2422 Tage = 8765,81 Stunden.

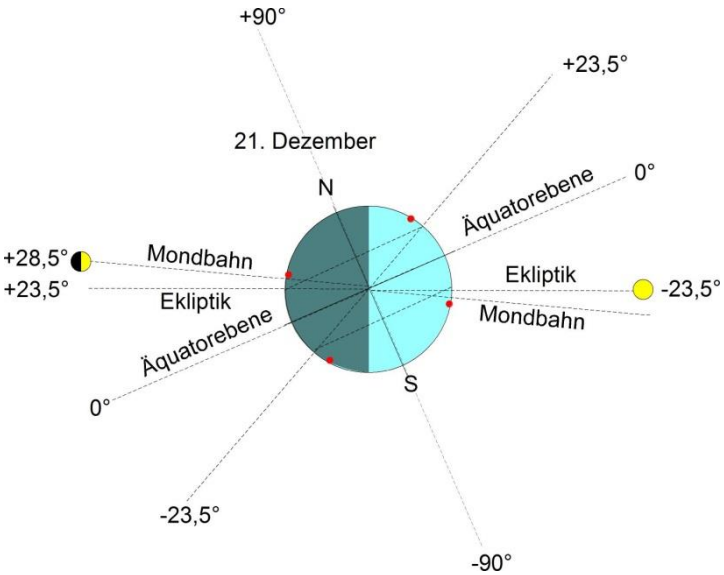
Frühlingspunkt



Der Frühlinkspunkt ist der aufsteigende Schnittpunkt der Erdbahnebene um die Sonne mit der Äquatorebene der Erde (Himmelsäquator).
Die Sonne hat im Frühlings- und Herbstpunkt die Deklination 0° und steht damit mittags über dem Äquator.
Für den auf einer zur Ekliptik geneigten Bahn laufenden Mond bedeutet das: Er steht auf der Verbindungslinie zwischen Frühlingspunkt und den Himmelspolen.

Deklination

Unter Deklination versteht man den Winkelabstand zur Äquatorebene der Erde. Die Deklination der Sonne schwankt zwischen - 23,43° im Winter und +23.42° im Sommer. Zur Wintersonnenwende (21. Dezember) steht sie über dem 23. südlichen Breitengrad im Zenit, zur Sommersonnenwende (21. Juni) über dem 23. nördlichen Breitengrad.



Äquatorebene, Ekliptik und Deklination am 21. Dezember:

Die Sonne steht mittags senkrecht über dem 23 ½. südlichen Breitengrad.
Ihre Deklination ist demnach -23,5° (= Winkel zur Äquatorebene).

Der Nordpol ist der Sonne abgewandt (Polarnacht). Am Südpol ist es 24 Stunden lang hell (Polartag).

Der Vollmond hat auf seiner zur Ekliptik um 5° geneigten Bahn in diesem Beispiel seine größte Nordbreite erreicht und damit eine Deklination von +28,5°.

M_2 und S_2: Interferenz der Gezeitenwirkungen von Mond und Sonne

Die beiden wichtigsten Partialtiden sind die halbtägige Mondtide M_2 und die halbtägige Sonnentide S_2. Die kleine 2 bedeutet: Die Tiden treten zweimal täglich auf. Die Überlagerung ihrer unterschiedlichen Perioden führt zur Interferenz, zu einer Erhöhung des Tidenhubs bei Springtide und Erniedrigung bei Nipptide. M_2 und S_2 haben in unseren Breiten im Vergleich zu den ganztägigen Tiden K_1, P_1 und O_1 eine deutlich größere Amplitude. Das führt zu semi-diurnalen (halbtägigen) Gezeitenformen mit zwei Hoch- und zwei Niedrigwasserständen zwischen aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen des Mondes.

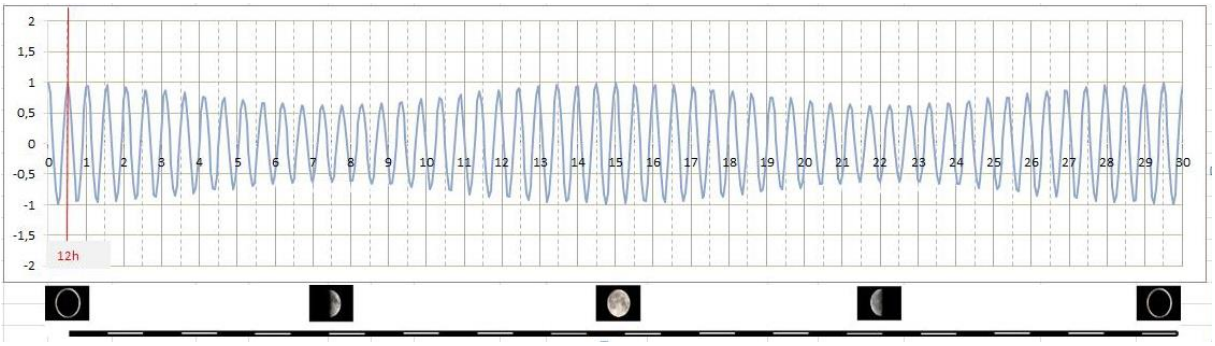
M_2	Der Mond geht im Durchschnitt alle 24 Stunden und 50 Minuten durch den Meridian und erreicht damit seinen höchsten Punkt über dem Horizont. Das System Erde-Mond erzeugt zwei sich gegenüberliegende Flutberge, einen dem Mond zugewandten und einen auf der mondabgewandten Seite der Erde. Die Erde rotiert zweimal täglich, alle 12 Stunden 25 Minuten unter einem der beiden Flutberge hindurch. 12 h 25 min sind 12,4189 h oder 0,51745417 Tage. M_2 ist daher eine halbtägige Tide. Ihr gezeitenwirksames Signal tritt zweimal täglich auf (mondzugewandte und abgewandte Seite der Erde). Eine für die Nordsee typische mittlere Amplitude ist 0,80 m.

S_2	Auch die Sonne erzeugt zwei, im Verhältnis zum Mond allerdings schwächere Flutberge, einen auf der Tagseite und einen auf der Nachtseite. Die Periode ist daher 12 h oder 0,5 Tage. S_2 ist wie M_2 eine halbtägige Tide die zweimal täglich auftritt. Eine typische mittlere Amplitude an der Nordseeküste ist 0,20 m.

Wenn Sie die **Amplituden** für **M_2** (0,8) und **S_2** (0,2) in die gelben Felder eingeben und die Amplituden aller anderen Tiden auf null setzen können Sie folgendes beobachten:

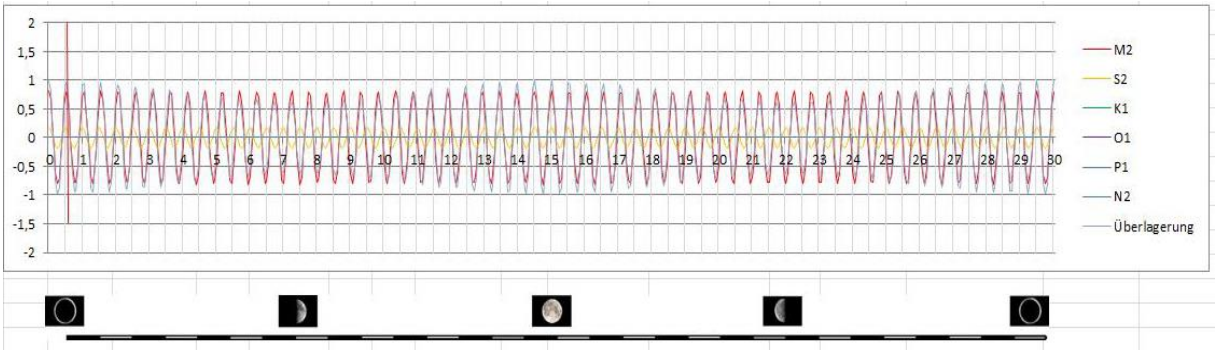
- Die Überlagerung von M_2 und S_2 ergibt das typische Muster von hohen Springtiden bei Neu- und Vollmond und niedrigen Nipptiden im ersten bzw. letzten Viertel. In der Einzeldarstellung der M_2- und S_2-Kurven ist zu sehen, dass ihre Phasen bei Neu- und Vollmond übereinstimmen und im Ersten und Letzten Viertel um 90° verschoben sind. Die Interferenz führt zu erhöhten bzw. niedrigeren Amplituden.
- In zeitlicher Nähe des Neu- und Vollmondes ist, dem Meridiandurchgang des Mondes entsprechend, Flut um 12 und um 24 h, Ebbe um 6 und 18 h. Diese Zeiten verschieben sich täglich um durchschnittlich 50 Minuten. Bei zu- und abnehmendem Halbmond ist Flut um 6 und 18 h, Ebbe um 12 und 24 h.
- Die Springtiden bei Neu- bzw. Vollmond sind gleich hoch.
- Aus den gewählten Amplituden (M_2 = 0,8m und S_2 = 0,2m) ergibt sich ein Tidenhub von maximal 2 Metern.

Überlagerung von M_2 und S_2: Springtide in der Neu- und Vollmondphase, dazwischen Nipptide:



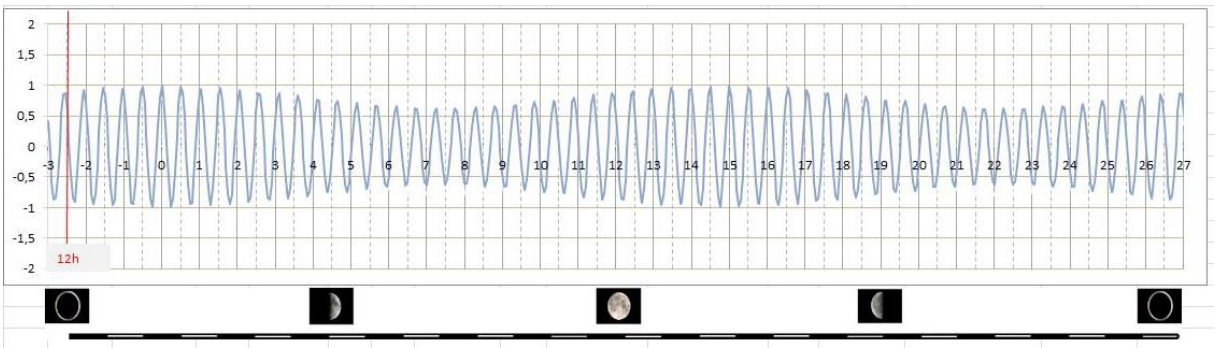
Mit M_2 (0,8m) und S_2 (0,2m) wächst der Tidenhub bei gleicher Phase auf 2*(0,8 + 0,2) = 2,0 m an und fällt bei entgegengesetzter Phase auf 2*(0,8 - 0,2) = 1,2 m.

M_2 (rot) und S_2 (gelb) in Einzeldarstellung:



Springverspätung

Die Gezeiten entstehen auf den großen Ozeanen und wirken sich erst mit einer Verzögerung von drei Tagen auf die Nordsee aus. Wenn Sie unter **Springverspätung** 3 Tage eingeben, werden alle Kurven entlang der Zeitachse um drei Tage nach hinten verschoben. Die Form der Kurve bleibt erhalten.



K_1 und P_1 simulieren den Einfluss der Jahreszeiten

K_1
P_1

Die Deklinationstide K_1 und die Sonnen-Deklinationstide P_1 simulieren die jahreszeitliche Abhängigkeit der Gezeitenkurven.
Ein Sonnentag hat 24 Stunden.
Ein tropisches Jahr entspricht 365,2422 Tage oder 8765,81 Stunden.
Die Perioden von K_1 und P_1 ergeben sich aus Sonnentag ± Tropisches Jahr

K_1	P_1
$\frac{360°}{T_{(Sonnentag\ h)}} + \frac{360°}{T_{(Tropisches\ Jahr\ h)}} =$	$\frac{360°}{T_{(Sonnentag\ h)}} - \frac{360°}{T_{(Tropisches\ Jahr\ h)}} =$
$\frac{360°}{24{,}00h} + \frac{360°}{8785{,}81h} = 15{,}04097516°$	$\frac{360°}{24{,}00h} - \frac{360°}{8785{,}81h} = 14{,}95902484°$
$\frac{360°}{15{,}04097516°} = \mathbf{23{,}9346h}$	$\frac{360°}{14{,}95902484°} = \mathbf{24{,}0657h}$

K_1 = 23,9346h (23h 56min 04s)
P_1 = 24,0657h (24h 03min 56s)
K_1 und P_1 sind symmetrisch zum Sonnentag (24).

K_1 und P_1 sind ganztägige (diurnale) Tiden.

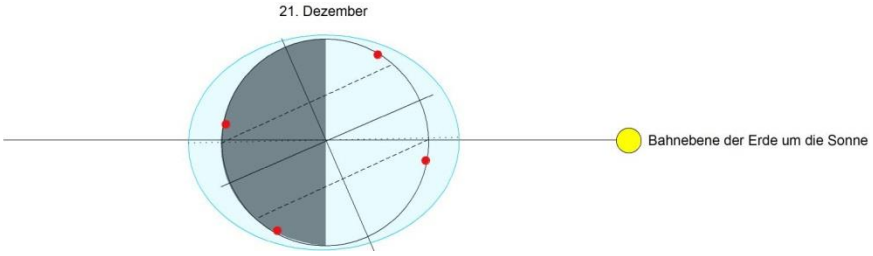
Die Periode von K_1 (23 h 56 Minuten) ist die Zeitspanne, in der sich die Erde in Bezug auf die Sterne (und nicht die Sonne!) um ihre Achse gedreht hat und nach der ein Stern folglich wieder an der gleichen Stelle zu stehen scheint wie tags zuvor.

Typische für die Nordseeküste typische Amplituden sind 0,1 m

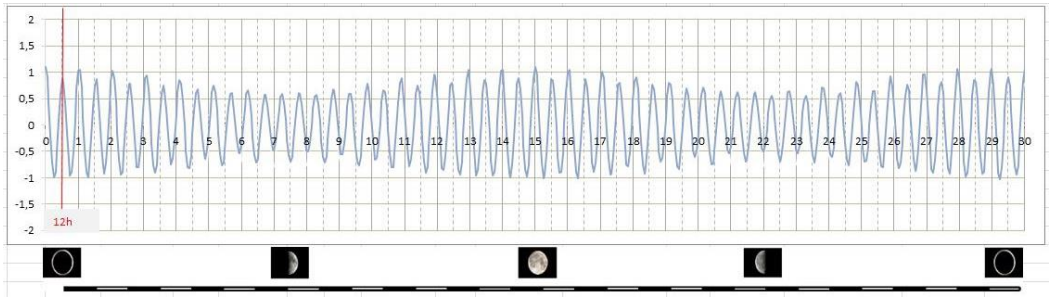
Durch die Eingabe der "Tage nach Winteranfang" können Sie die Gezeiten zu unterschiedlichen Jahreszeiten darstellen:

Winter: 0
Frühjahr: 90
Sommer: 180
Herbst: 270

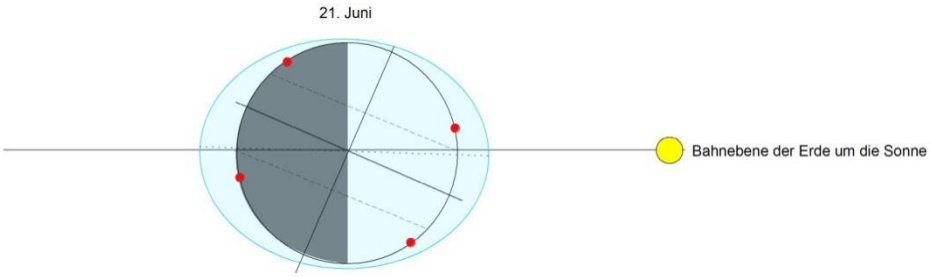
Winter:



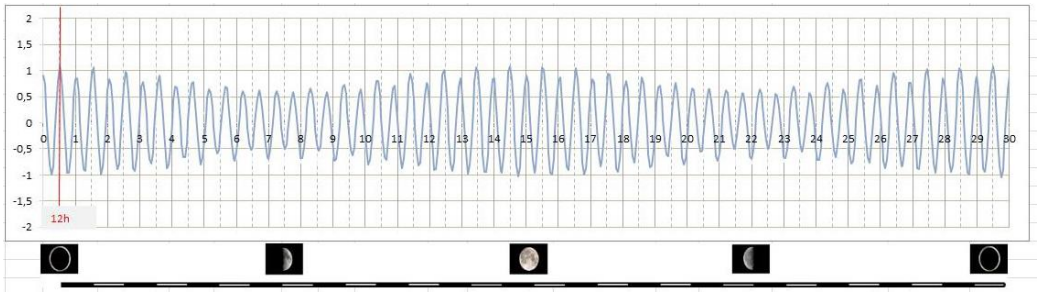
- In Neu- und Vollmondnähe ist das Nachthochwasser höher als das Taghochwasser: Sonne und Neumond stehen mittags tief, Ihre Gegenpunkte nachts hoch über dem Horizont. Der Vollmond steht der tiefstehenden Sonne nachts hoch am Himmel gegenüber.
- Um das erste und letzte Viertel fällt das Morgenhochwasser etwas höher aus als das Abendhochwasser.



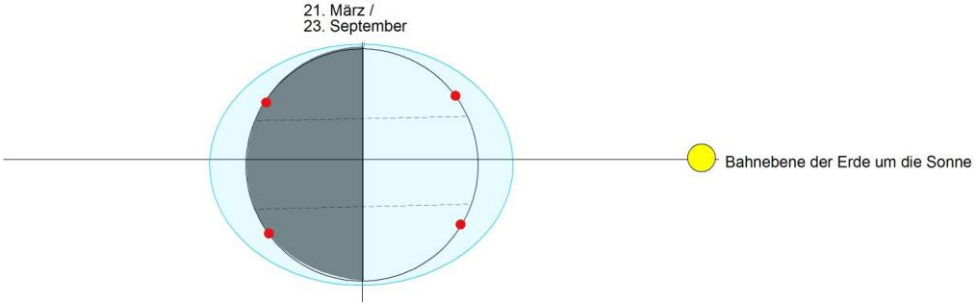
Sommer:



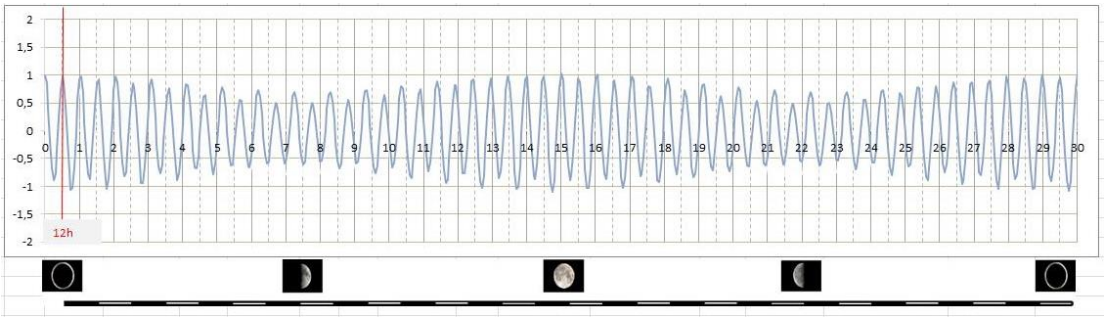
- In Neu- und Vollmondnähe ist das Taghochwasser höher als das Nachthochwasser: Sonne und Neumond stehen mittags hoch, Ihre Gegenpunkte nachts tief über dem Horizont. Der Vollmond steht der hochstehenden Sonne nachts tief am Himmel gegenüber.
- Um das erste und letzte Viertel fällt das Abendhochwasser etwas höher aus als das Morgenhochwasser.



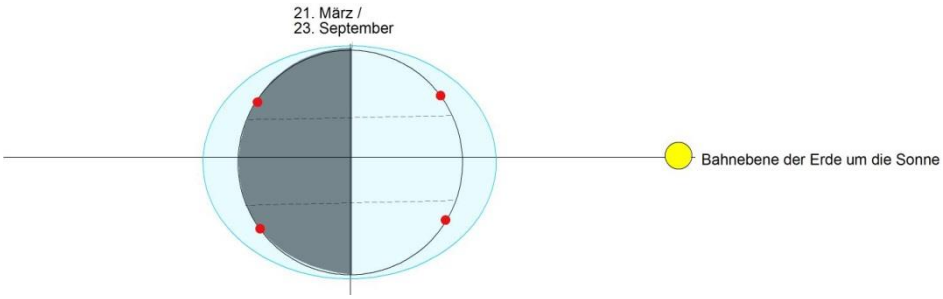
Frühjahr:



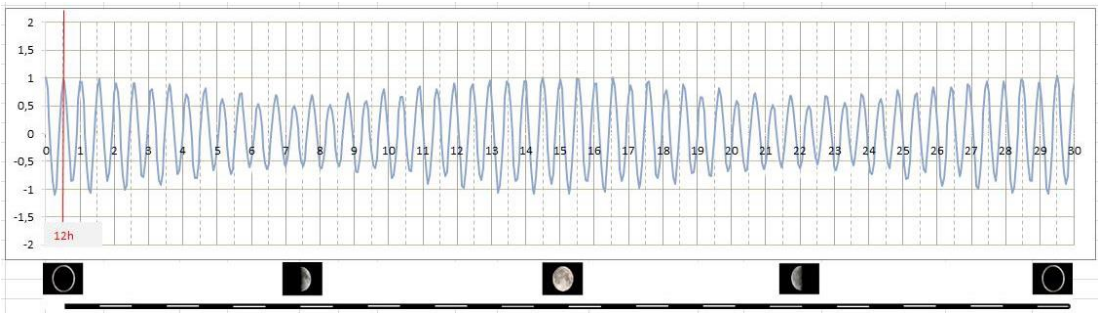
- In Neu- und Vollmondnähe ist das Taghochwasser etwa gleich hoch wie das Nachthochwasser: Sonne, Neumond- und ihre Gegenpunkte stehen auf gleicher mittlerer Höhe über dem Horizont. Das gilt auch für den Vollmond.
- Um das erste und letzte Viertel fällt das Morgenhochwasser höher aus als das. Abendhochwasser.



Herbst:



- In Neu- und Vollmondnähe ist das Taghochwasser etwa gleich hoch wie das Nachthochwasser: Sonne, Neumond- und ihre Gegenpunkte stehen (wie im Frühjahr) auf gleicher mittlerer Höhe über dem Horizont. Das gilt auch für den Vollmond.
- Um das erste und letzte Viertel fällt das Abendhochwasser höher aus als das Morgenhochwasser.



K_1 und O_1: Deklination des Mondes und Schiefe der Mondbahnebene (Nordbreite / Südbreite)

K_1
O_1

Die Deklinationstide K_1 und die Mond-Deklinationstide O_1 simulieren den schwankenden Winkelabstand des Mondes zur Äquatorebene und die Einflüsse der zur Ekliptik geneigten Mondbahn.
Ein tropischer Monat hat 27,3216 Tage = 655,72 Stunden
Die Perioden von K_1 und O_1 ergeben sich aus Mondtag ± Tropischer Monat.

K_1	O_1
$\frac{360°}{T_{(Mondtag\ h)}} + \frac{360°}{T_{(Tropischer\ Monat\ h)}} =$	$\frac{360°}{T_{(Mondtag\ h)}} - \frac{360°}{T_{(Tropischer\ Monat\ h)}} =$
$\frac{360°}{24{,}8412h} + \frac{360°}{655{,}72h} = 15{,}04106835°$	$\frac{360°}{24{,}8412h} - \frac{360°}{655{,}72h} = 13{,}9430387°$
$\frac{360°}{15{,}04106835} = \mathbf{23{,}9344h}$	$\frac{360°}{13{,}9430387} = \mathbf{25{,}8193h}$

K_1 = 23,9346h (23h 56min 04s)
O_1 = 25,8193h (25h 49min 09s)
K_1 und O_1 sind symmetrisch zum Mondtag.

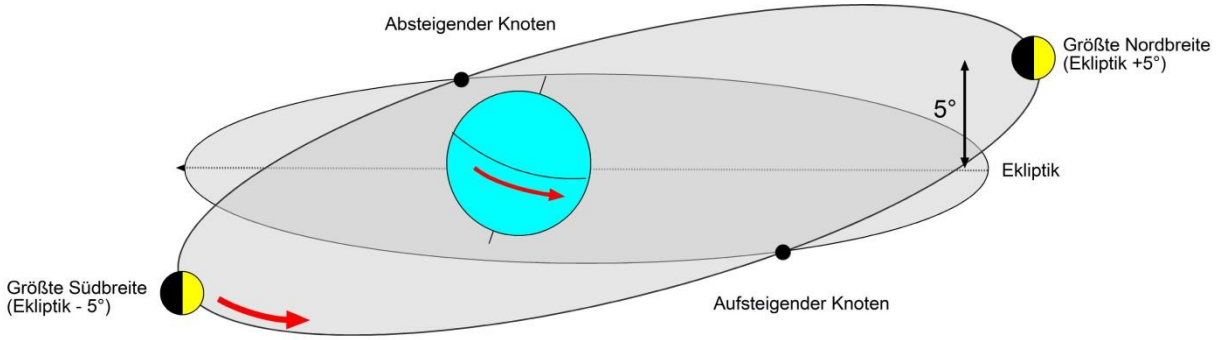
K_1 und O_1 sind ganztägige (diurnale) Tiden. Ihr Gezeitensignal wirkt nur einmal pro Tag auf die Erde. Typische Amplituden an der Nordsee sind 0,1 m.

Mondbahn und Ekliptik

Der Mond umkreist die Erde auf einer elliptischen Bahn. Sie ist zur Ekliptik, der Bahnebene der Erde um die Sonne, um 5° geneigt. Dadurch schwankt die Position des Mondes zwischen 5° nördlich und 5° südlich der Ekliptik. Zwischen der größten Nordbreite und der größten Südbreite liegen die als absteigender und aufsteigender Knoten bezeichneten Schnittpunkte mit der Ekliptik.

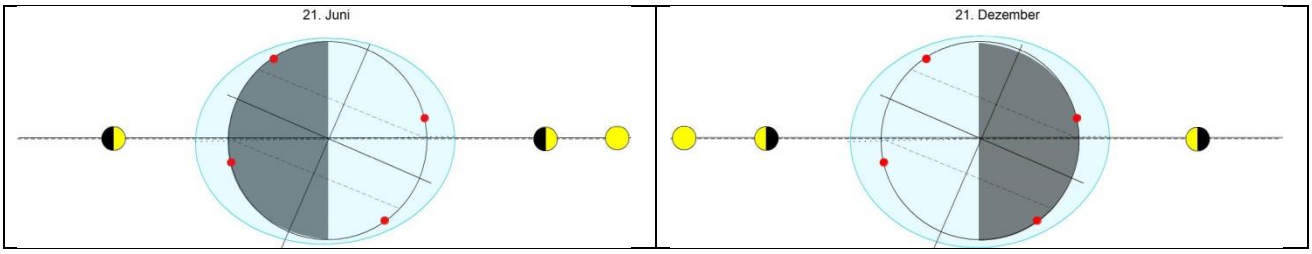
Fallen die Knoten zeitlich mit der Neu- oder Vollmondphase zusammen, sind Sonnen- bzw. Mond-finsternisse möglich.

Die Zeitspanne zwischen gleichen Positionen (z.B. aufsteigender Knoten - aufsteigender Knoten) entspricht einem (tropischen) Monat. (27,3216 Tage = 655,72 Stunden).



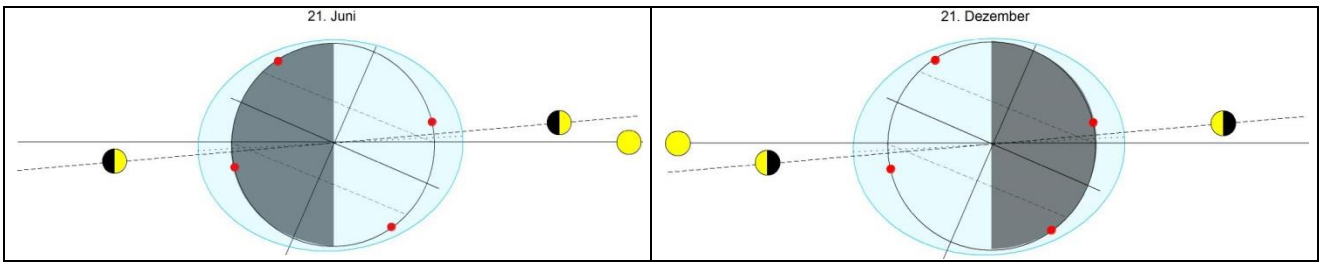
Deklination und ekliptikale Breite

Wenn im Nordsommer der Neumond (zusammen mit der Sonne) über der Nordhalbkugel steht, wird der Flutberg auf der Tagseite der Erde etwas nach Norden verschoben. Der Flutberg auf der Nachtseite wandert etwas nach Süden. Auf der Nordhalbkugel fällt das Taghochwasser daher höher aus als das Nachthochwasser. Der vierzehn Tage später über der Südhalbkugel und der Sonne gegenüber stehende Vollmond führt zum gleichen Effekt.
Im Nordwinter haben sich die Verhältnisse umgekehrt, was bei Neu- und Vollmond zu höherem Nacht- und niedrigerem Taghochwasser führt. Die vier roten Punkte auf den folgenden Abbildungen symbolisieren Orte die auf der gleichen nördlichen bzw. südlichen Breite liegen.



In beiden Abbildungen stehen Sonne und Mond in einer Linie. Das ist nur dann der Fall, wenn sich der Mond in Knotennähe befindet, seine Bahn also die Ekliptik kreuzt. Das ist nur zweimal im Jahr der Fall und dann kann es zu Mond- bzw. Sonnenfinsternissen kommen.

Zwischen den Knotendurchgängen des Mondes befindet sich dieser entweder nördlich oder südlich der Ekliptik, was die durch die Deklinationsschwankungen hervorgerufene tägliche Ungleichheit der Gezeitenhöhen verstärken kann.

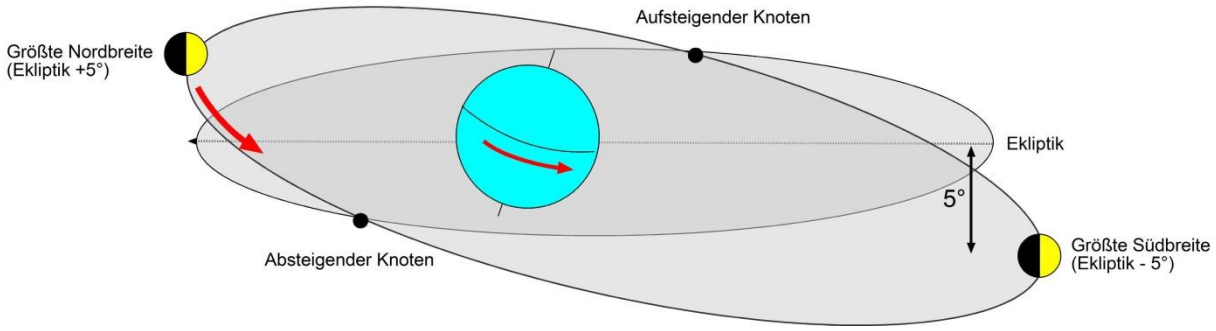


Steht der Neumond zur Sommersonnenwende in größter Nordbreite, addieren sich die Deklination der Sonne (+23,5°) und die Bahnneigung des Mondes (5°) zu 28,5°. Der Vollmond erreicht analog dazu eine um 5° größere Südbreite (-28,5°). Der größere Deklinationsunterschied führt zu entsprechend größeren

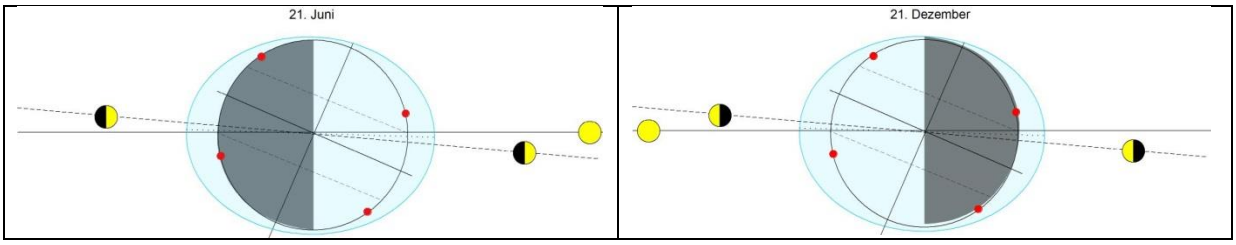
Ungleichheiten der Tag- und Nachthochwasser. Da die Orientierung der Drehachse der um die Sonne kreisenden Erde erhalten bleibt und sich im Laufe eines Jahres die Lage der Mondbahn im Raum nicht wesentlich ändert, steht der Neumond im Winter in größter Südbreite und der Vollmond in größter Nordbreite.

Die Achsen der Mond-Bahnebene sind nicht fest, sondern rotieren in Bezug auf die Sterne in etwa 19 Jahren (18,61) um 360°. Nach dieser Zeitspanne wiederholen sich Sonnen- und Mondfinsternisse zum etwa gleichem Datum. Eine für die Gezeiten wichtige Konsequenz ist, dass sich die Phasen des Mondes und seine größte nördliche bzw. südlichen Breite gegeneinander verschieben.

So hätte sich die oben skizzierte Lage nach etwa 9,3 Jahren in ihr Gegenteil verkehrt:



Der Neumond steht jetzt im Sommer in größter Südbreite, der Vollmond in größter Nordbreite. Nunmehr ist die Bahnneigung des Mondes von der Deklination abzuziehen mit der Folge, dass die tägliche Ungleichheit geringer ist.



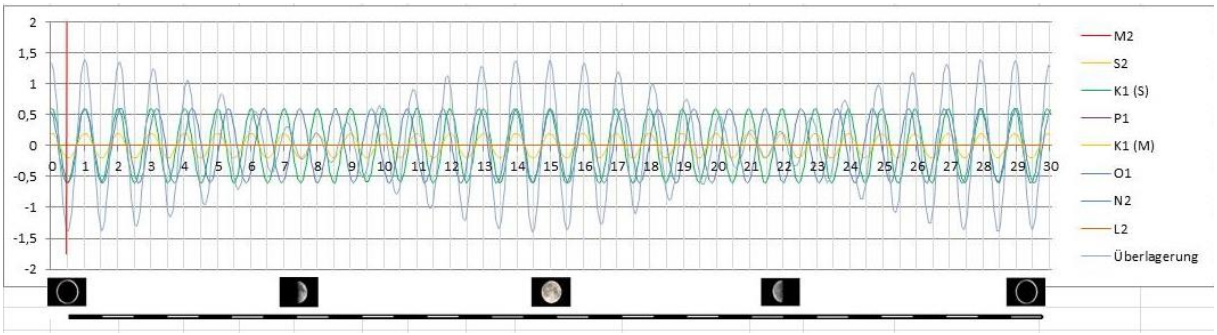
Größere Winkelabstände des Mondes zum Äquator führen zu größeren täglichen Ungleichheiten in der Höhe. Sie führen aber, wie beim Übergang von Springtiden zu Nipptiden, zu geringeren Amplituden zwischen aufeinanderfolgenden Hoch- und Niedrigwassern.

Im Gezeitensimulator können Sie sowohl Die Daten des Äquator-Durchgangs des Mondes (Deklination 0) als auch des (aufsteigenden) Mond-Knotens eingeben. Äquator- und Knotendurchgänge treten mit nahezu gleichen Perioden ein. Die Veränderungen der nur einen Monat überstreichenden Kurve sind minimal.

Simulation mit K_1 und O_1 (Amplituden 0,6)

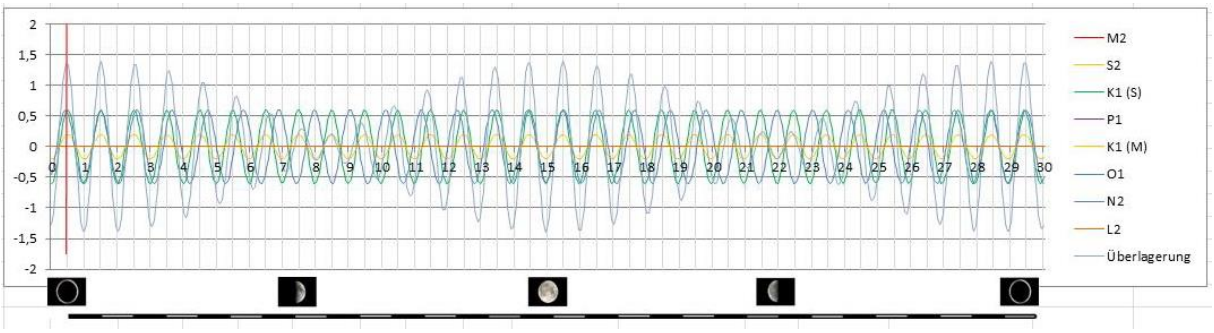
- Winter (0 Tage nach Winteranfang)

- Summe K_1 und O1 um 0 Uhr im Maximum: Erhöhung des Nachthochwassers.



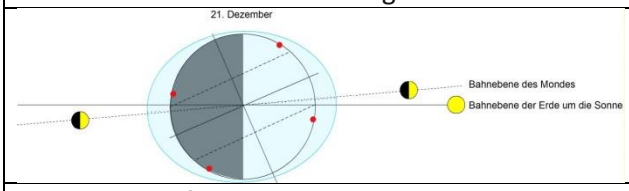
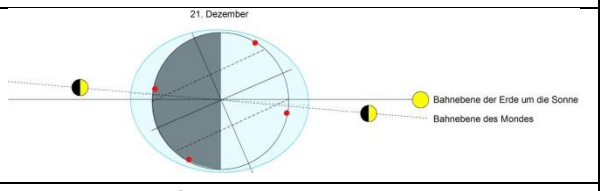
- Sommer (180 Tage nach Winteranfang)

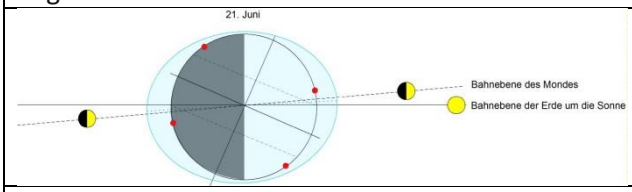
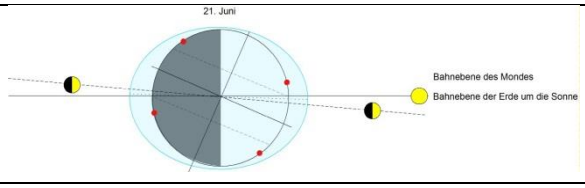
- Summe K_1 und O1 um 12 Uhr im Minimum: Erhöhung des Taghochwassers.

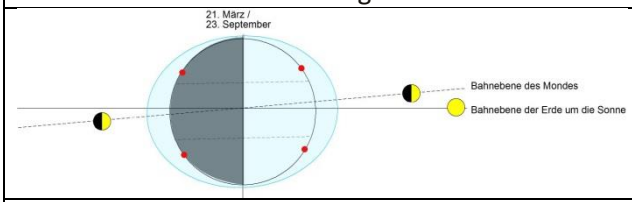
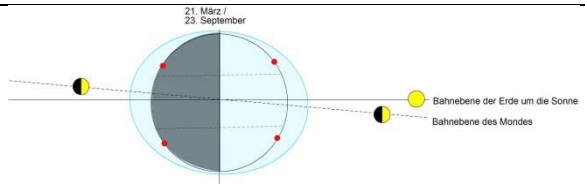


Rote Markierung: 12 Uhr

Kombinierte Einflüsse der Tiden K_1, P_1 und O_1 (z.B. Nordsee)

Winter: Nachthochwasser höher als Taghochwasser	
	
Neumond größte Nordbreite Vollmond größte Südbreite Taghochwasser höher als normal Nachthochwasser niedriger als normal	Neumond größte Südbreite Vollmond größte Nordbreite Taghochwasser niedriger als normal Nachthochwasser höher als normal

Sommer: Taghochwasser höher als Nachthochwasser	
	
Neumond größte Nordbreite Vollmond größte Südbreite Taghochwasser höher als normal Nachthochwasser niedriger als normal	Neumond größte Südbreite Vollmond größte Nordbreite Taghochwasser niedriger als normal Nachthochwasser höher als normal

Frühjahr / Herbst: Nachthochwasser ähnlich Taghochwasser	
	
Neumond größte Nordbreite Vollmond größte Südbreite Taghochwasser höher als normal Nachthochwasser niedriger als normal	Neumond größte Südbreite Vollmond größte Nordbreite Taghochwasser niedriger als normal Nachthochwasser höher als normal

Die schwankende Entfernung Erde - Mond

N_2

L_2

Der Mond bewegt sich auf einer Ellipse um die Erde. Im Perigäum (Erdnähe) ist der Gezeiteneinfluss größer, im Apogäum (Erdferne) geringer als im Durchschnitt.
Zwischen zwei Perigäen vergehen 27,55 Tage oder 661,31 Stunden. In Bezug auf einen synodischen Monat (Neumond - Neumond, 29,53 Tage) führt das zu einem Rückschreiten des Perigäums um etwa zwei Tage pro Mondumlauf.
Die Achsen der Mondbahn-Ellipse drehen sich in 8,85 Jahren oder 77576,976 h um 360° und zwar in gleicher Richtung wie der die Erde umlaufende Mond. Dies ist hier nicht berücksichtigt.
Die Große Elliptische Tide N_2 und die Kleine Elliptische Tide L_2 sind künstliche halbtägige Tiden, deren Maximum zweimal täglich auf der dem Mond zu- bzw. abgewandten Seite auftreten.
Die Perioden von N_2 und L_2 ergeben sich aus ½ Mondtag ± anomalistischer Monat:

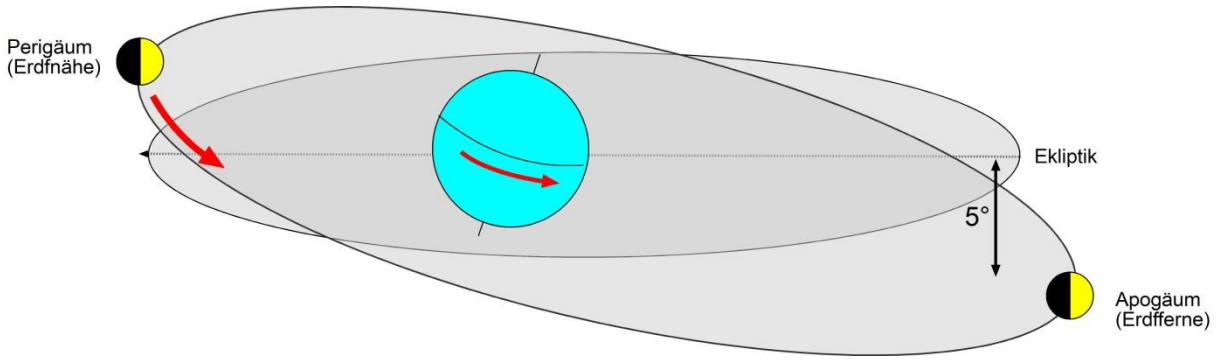
N_2 = 12 h 39 min 29 s
L_2 = 12 h 11 min 30 s

Sie sind zu M_2 (halber Mondtag) symmetrisch.

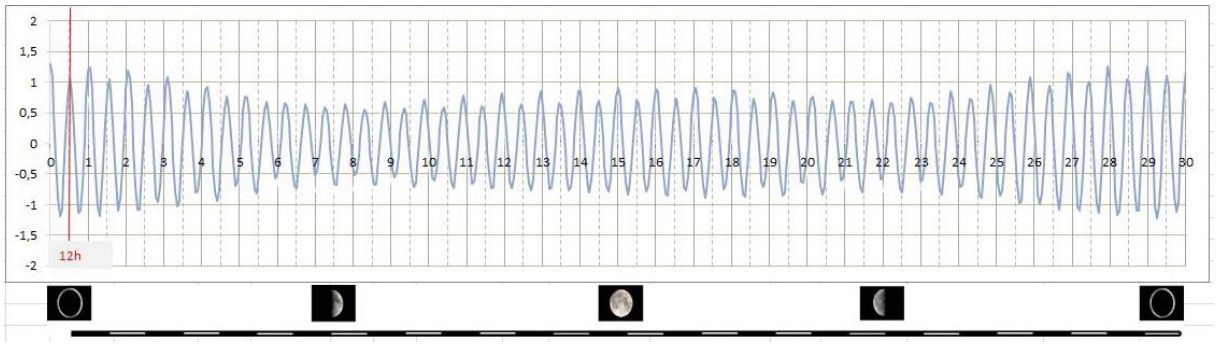
Ihre für die Nordseeküste typischen Amplituden sind N_2 = 0,2 m und L2 = 0,02 m

N_2	L_2
$\frac{360°}{T_{(\frac{1}{2}Mondtag\ h)}} + \frac{360°}{T_{(Anomalistischer\ Monat\ h)}} =$	$\frac{360°}{T_{(\frac{1}{2}Mondtag\ h)}} - \frac{360°}{T_{(Anomalistischer\ Monat\ h)}} =$
$\frac{360°}{12{,}4206h} + \frac{360°}{661{,}31h} = 29{,}5284811°$	$\frac{360°}{12{,}4206h} - \frac{360°}{661{,}31h} = 28{,}439733°$
$\frac{360°}{29{,}5284811} = \mathbf{12{,}1916193}\boldsymbol{h}$	$\frac{360°}{28{,}439733} = \mathbf{12{,}6583467}\boldsymbol{h}$
12 h 11min 30s	**12 h 39min 29s**

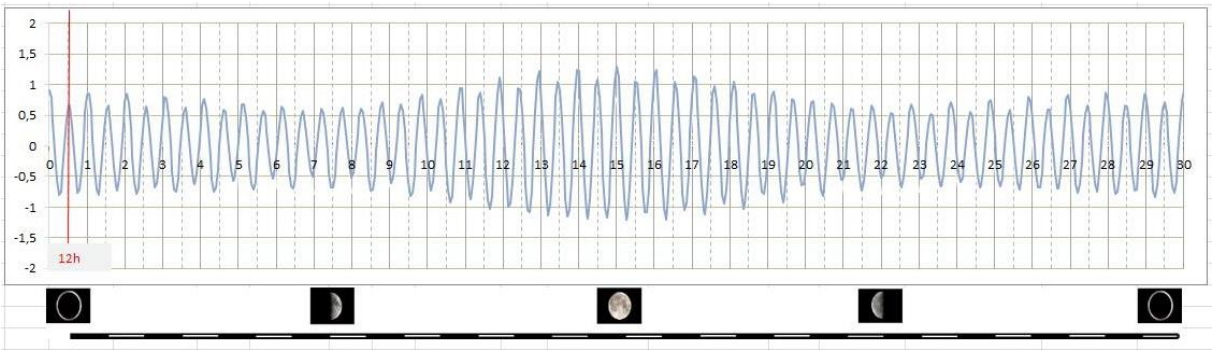
Durch Eingabe der "Tage nach Neumond" legen Sie den Zeitpunkt des Perigäums fest.



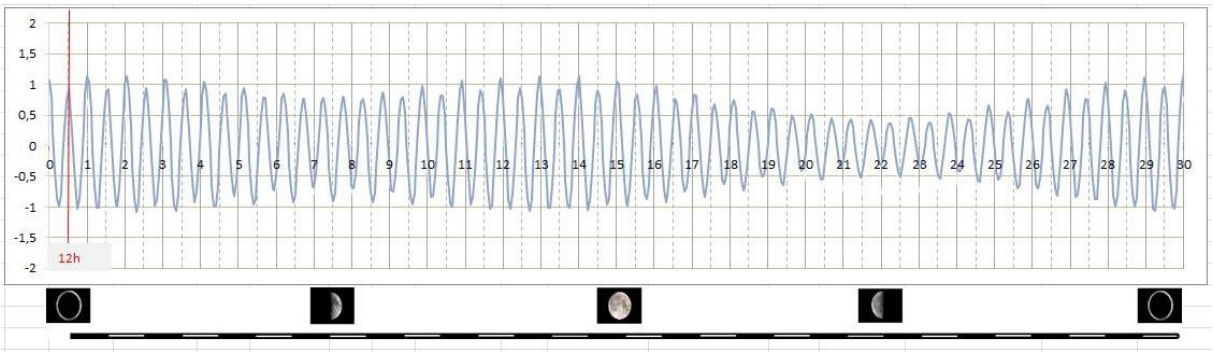
- Fällt das Perigäum mit dem Neumond zusammen (0 Tage), ist die Amplitude größer als beim darauffolgenden Vollmond.



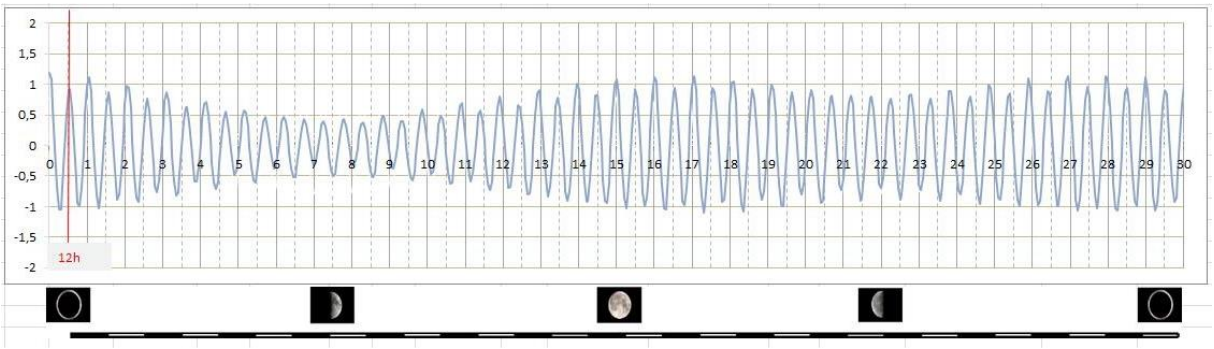
- Liegt das Perigäum in der Zeit des Vollmondes (14 Tage), ist die Amplitude größer als bei Neumond.



- Liegt das Perigäum im Ersten Viertel (7 Tage), fällt die Nipptide höher aus als im Letzten Viertel.



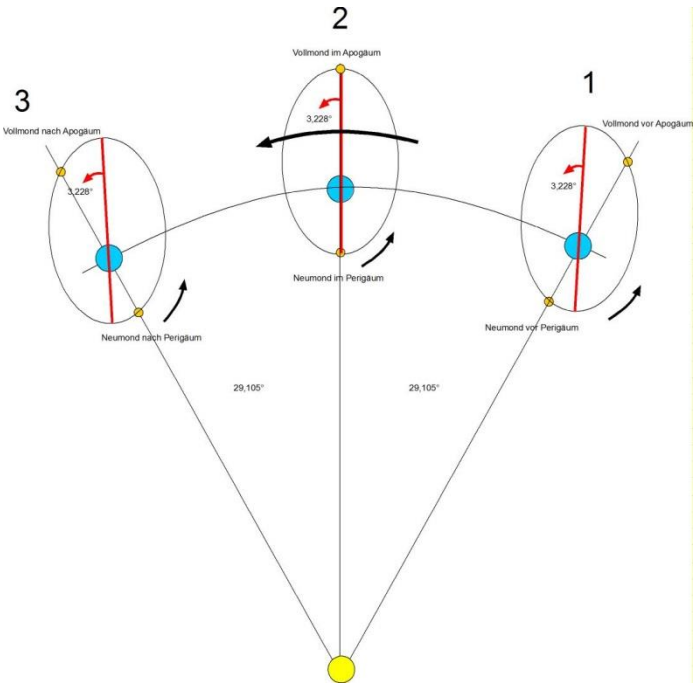
- Liegt das Perigäum im Letzten Viertel (21 Tage), fällt die Nipptide höher aus als im Ersten Viertel.



Mondphasen und die Wanderung der Apsidenlinie bzw. Knotenlinie

Während Erde auf ihrer Umlaufbahn in 365 Tagen um die Sonne kreist, bewegt sich der Mond auf einer elliptischen Bahn um die Erde. Für die relativ kurze Zeitachse unserer Gezeitensimulation kann man vereinfachend annehmen, dass die horizontale und vertikale Lage der Mondbahn im Raum konstant bleibt.

Tatsächlich wirken zusätzliche Gezeitenkräfte auf sie ein, so dass die, Apsidenlinie genannte Strecke zwischen Perigäum und Apogäum in gleicher Bewegungsrichtung wie der Mond wandert, wenn auch deutlich langsamer.



Zwischen zwei gleichen Mondphasen (1 synodischer Monat) dreht sich die Apsidenlinie um etwa 3,2°, nach 109,5 synodischen Monaten um 360°.
Ähnliches geschieht mit der Neigung der Mondbahn zur Ekliptik: Sie dreht sich, allerdings zur Mondbewegung entgegenläufig, in 18,6 Jahren um ihre Achse so dass sich auch die Positionen der nördlichen bzw. südlichen Breiten und der Knoten verschieben.
Da sich dies erst in größeren Zeitskalen auf den Gezeitenverlauf auswirkt haben wir diese Bewegungen nicht berücksichtigt.

Die obige Herleitung der Perioden von K_1, P_1, O_1, N_2 und L_2 ist entsprechend vereinfacht worden.

Der Formfaktor: Halbtägige und ganztägige Gezeiten

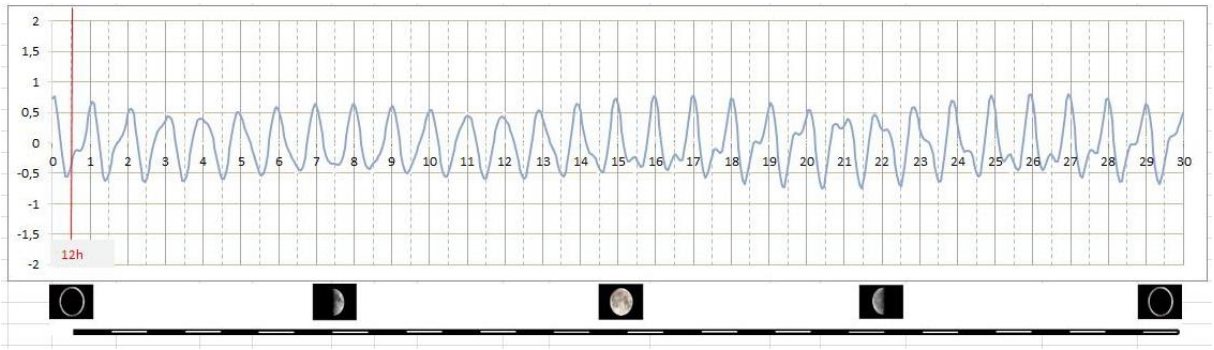
Im Falle der Nordsee ist das Verhältnis der Amplituden zwischen den ganztägigen Tiden K_1 und O_1 und den halbtägigen Tiden M_2 und S_2 etwa

$$\frac{K_1+O_1}{M_2+S_2} = 0{,}1$$

Dieses Verhältnis wird Formfaktor genannt. Ist das Ergebnis kleiner als 1, treten innerhalb eines Tages zwei Hoch- und zwei Niedrigwasser auf (halbtägige oder semidiurnale Gezeiten). Dies gilt für viele Küstenregionen.

An anderen Orten der Erde sind eintägige oder diurnale Gezeiten zu beobachten.

Ist der Formfaktor z.B. 3,3, was bei einer im Verhältnis zu M_2 und S_2 großen Amplitude der ganztägigen Gezeiten K_1 und O_1 der Fall ist, sieht die Gezeitenkurve ganz anders aus als bei uns an der Nordsee:



K_1 = 0,5m, O_1 = 0,5m

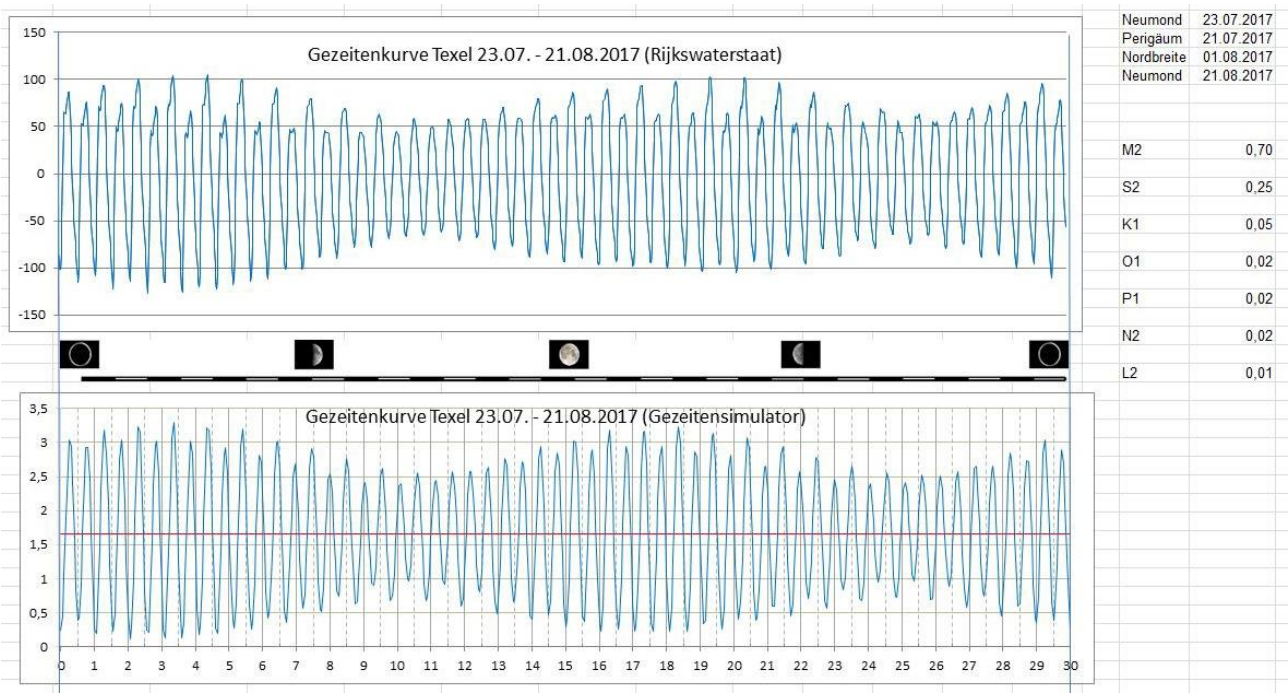
Vergleich des "Gezeitensimulators" mit amtlichen Vorhersagen

Beide unten abgebildeten Gezeitenkurven (Texel, NL) überstreichen den Zeitraum Neumond 23.07.2017 (0 h) bis Neumond 21.08.2018 (24 h).

Die obere Kurve entstand aus den unter www.getij.nl zugänglichen Daten des niederländischen Rijkswaterstaat (oberste Straßen- und Wasserbaubehörde). Dort sind bis auf 10 Minuten aufgelöste Zeitreihen des vorhergesagten Wasserstandes erhältlich. Aus den ebenfalls verfügbaren Höhen des Hoch- und Niedrigwassers lässt sich der mittlere Wasserstand (Normalhöhennull, NHN) bestimmen (1,65 m).

Die untere Kurve ist das Ergebnis, das der "Gezeitensimulator" nach Eingabe von Normalhöhennull, Jahreszeit, Perigäum, Äquatordurchgang bzw. Knoten sowie der Amplituden der Partialtiden errechnet.

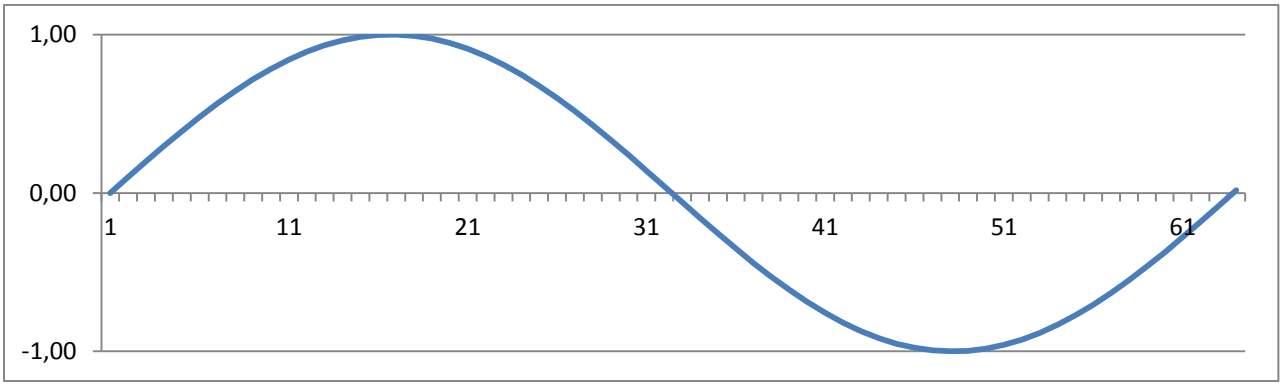
Die Springverspätung wurde durch Eingabe der Springverspätung von 3 Tagen rechts verschoben.
Da das Hochwasser in Texel im Mittel etwa 4 Stunden vor dem Meridiandurchgang des Mondes eintritt, wurde durch Eingabe einer Korrektur "4 h" um 0,167 Tage nach links zurückgesetzt.



Amplituden, Perioden und überlagerte Sinuskurven

Eine Sinusfunktion folgt der Formel

$$y = \sin(x)$$

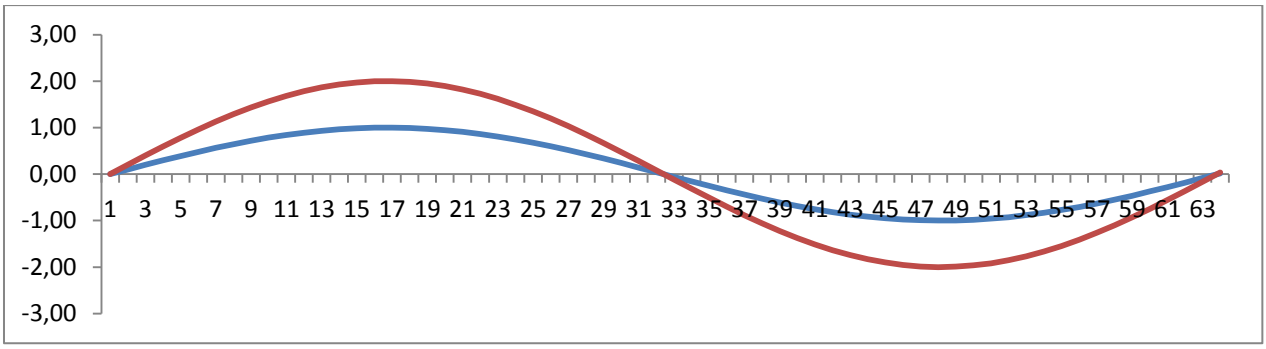


Eine vollständige Schwingung (Periode) ist x = 2*π, also 6,28 lang.

Die Amplitude wird durch den Faktor *a* bestimmt, der *außerhalb* des Arguments des Sinus steht

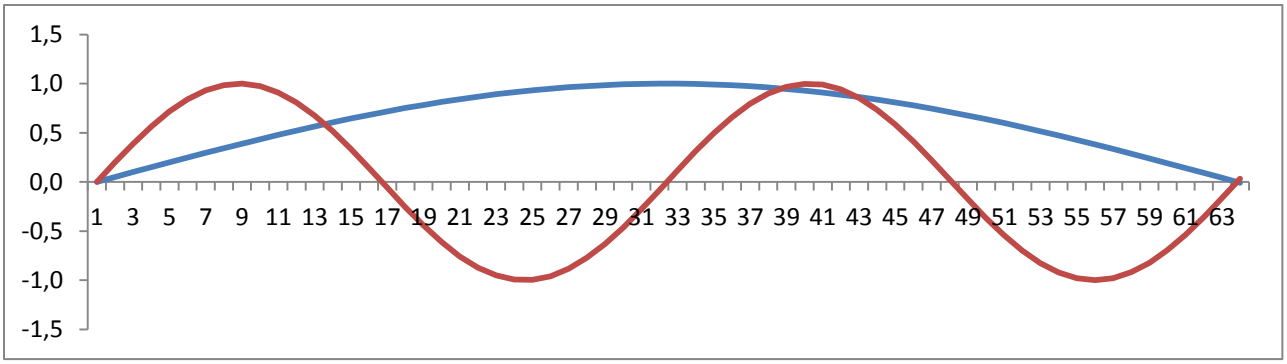
$$y = a * \sin(x)$$

und ist im obigen Fall 1



Die Frequenz bzw. Periode wird durch den Faktor *b* bestimmt, der *innerhalb* Arguments des Sinus steht:

$$y = \sin(b * x)$$



Durch

$$y = \sin(2 * x)$$

wird die Frequenz verdoppelt und die Periode halbiert.

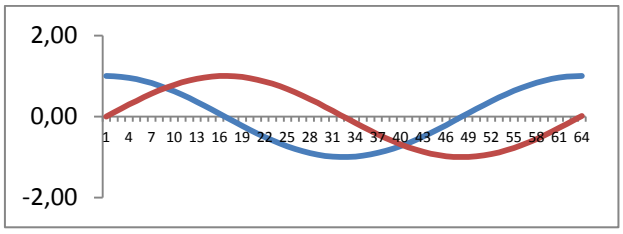
Durch

$y = \sin(0{,}5 * x)$ oder $y = \sin\left(\frac{0{,}5}{2}\right)$

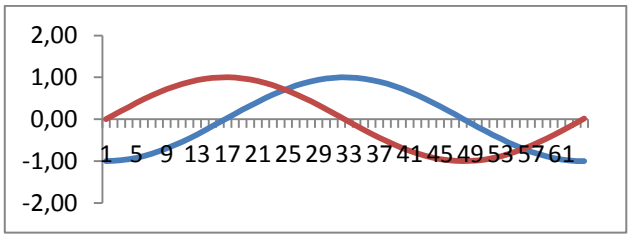
wird die Frequenz halbiert und die Periode verdoppelt.

Die Phasenlage wird durch Addition eines Bruchteils oder Vielfachen von 2*π verändert

$y = \sin\left(x + \frac{\pi}{c}\right)$ bzw. $y = \sin(x + \pi * c)$



$y = \sin(x + \pi * 0{,}5)$ oder $y = \sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right)$ führt zu einer Verschiebung von 90° nach links

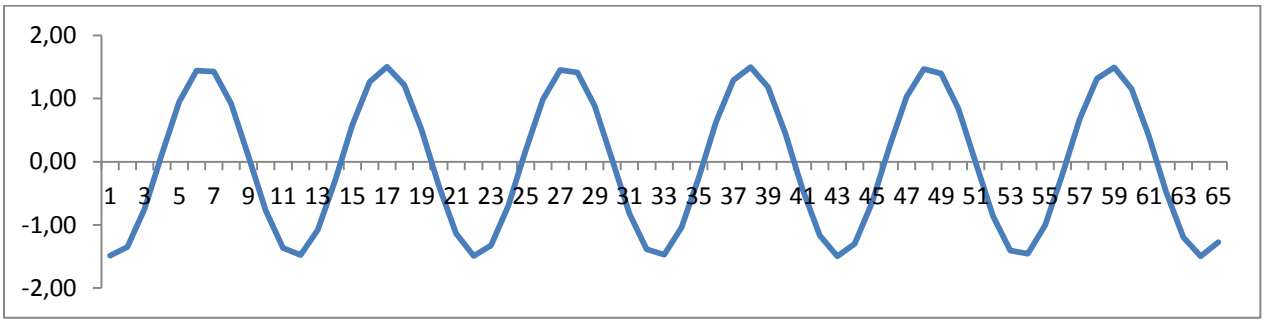


$y = \sin(x - \pi * 0{,}5)$ oder $y = \sin\left(x - \frac{\pi}{2}\right)$ führt zu einer Verschiebung von 90° nach rechts

Amplitude, Frequenz und Phasenlage lassen sich miteinander kombinieren

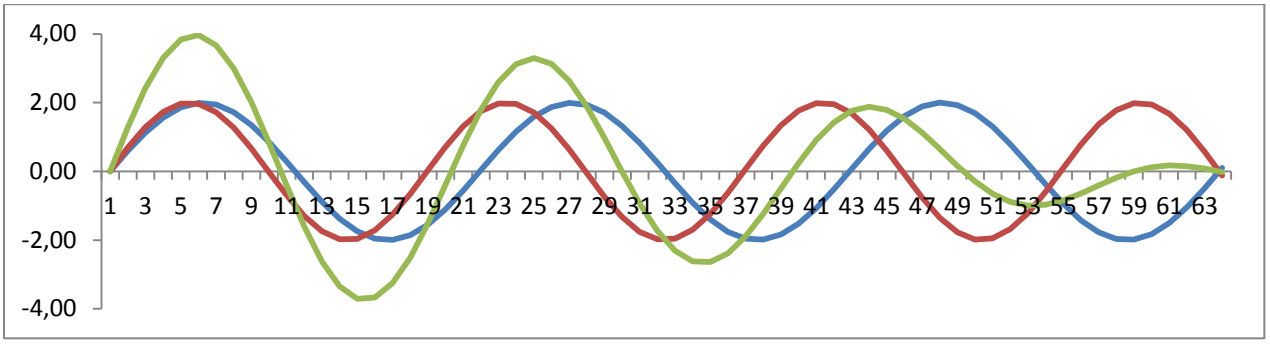
$$y = a * \sin\left(b * x + \frac{\pi}{c}\right)$$

$$y = 1{,}5 * \sin\left(6 * x - \frac{\pi}{4}\right)$$



Interferenz durch Überlagerung:

Durch Addition zweier Kurven erhalt man eine Überlagerungskurve. Die Interferenz führt bei gleicher Phasenlage zur Addition, bei entgegengesetzter Phasenlage zur Subtraktion.

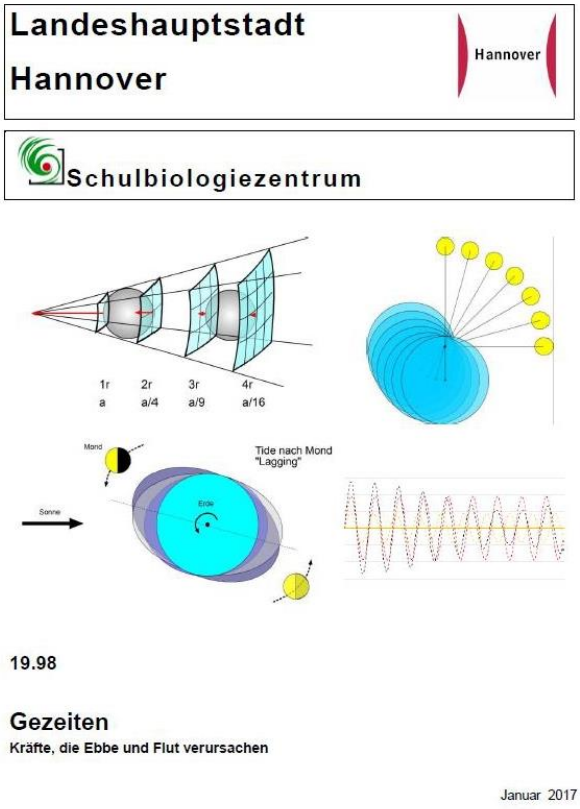


Die Verschiebung entlang der x-Achse geschieht durch

$$y = sin\left(\frac{2 * \pi}{T} + \frac{2 * \pi * Tage}{T}\right)$$

Zusätzliche Hinweise zum Thema finden Sie in unserer Unterrichtshilfe

"Gezeiten: Kräfte die Ebbe und Flut verursachen"



www.schulbiologiezentrum.info

"Arbeitshilfen", "Natur und Technik"