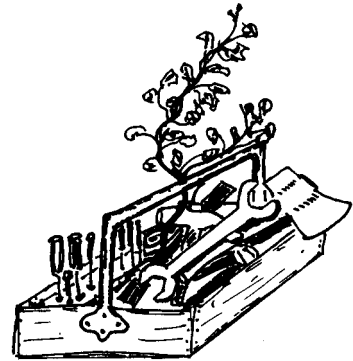


Unterrichtsprojekte Natur und Technik

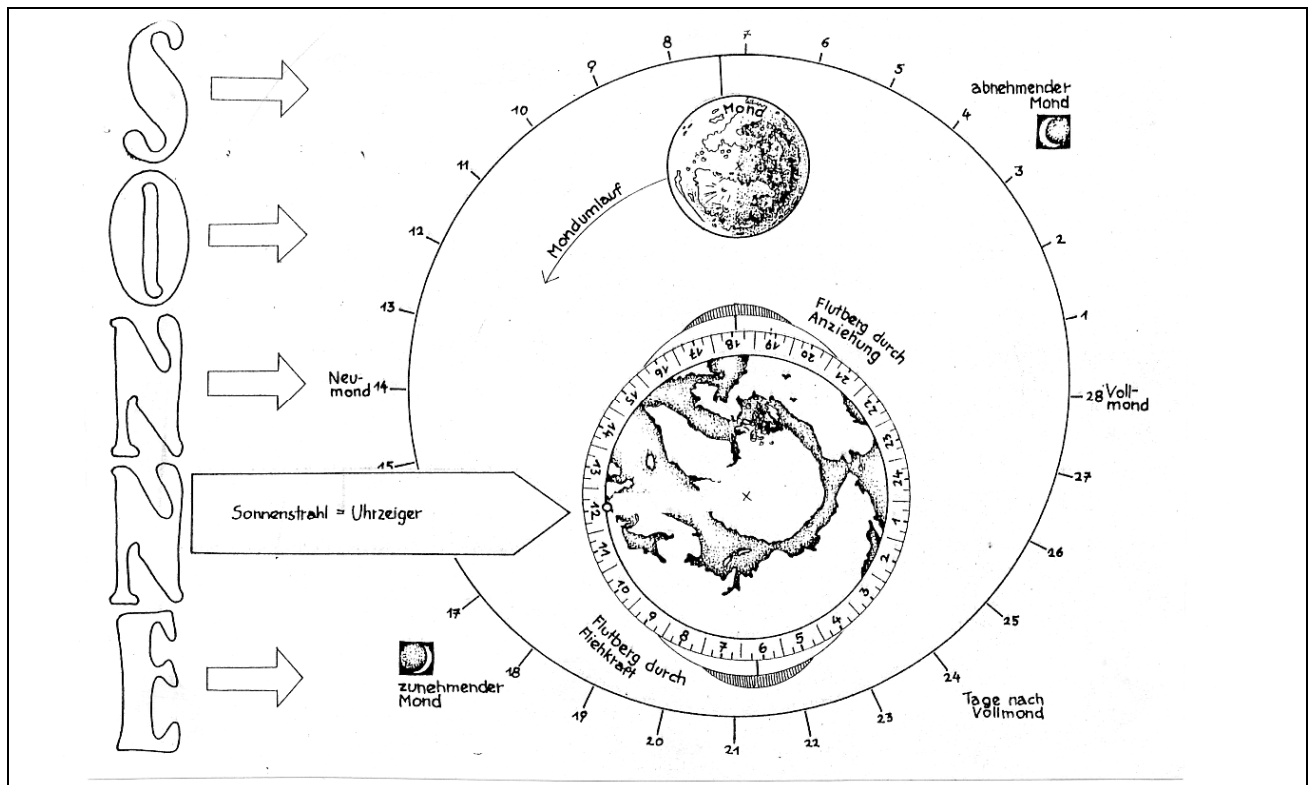
Hrsg.: Landeshauptstadt Hannover, Schulamt
Schulbiologiezentrum
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover; Tel. : 168-7665/7

19.13

Zum Selbstbau
für Arbeitsgemeinschaften, Projektwochen
und Landheimfahrten:



Ebbe und Flut: Eine einfache Uhr zur Veranschaulichung der Gezeiten erzeugenden Kräfte



Der tägliche Wechsel von Hoch- und Niedrigwasser gehört an Ozean- und Randmeerküsten zu den auffälligsten Erscheinungen. Eine vielfältige Zahl von Organismen lebt in dieser, von Ebbe und Flut geprägten Landschaftsform und hat sich im Laufe der Evolution an diesen Rhythmus angepasst.

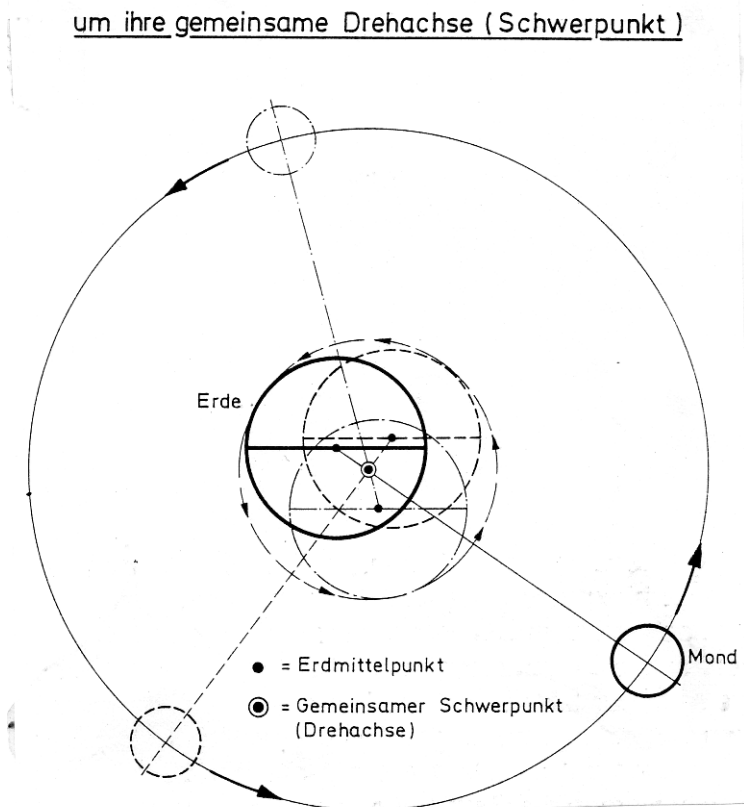
Der Gezeitenwechsel hat seine Ursache in den Schwerkrafteinflüssen, die der Mond und die Sonne auf die Erde ausüben und in der Fliehkraftbeschleunigung des sich um die eigene Achse drehenden Systems Erde-Mond. Mit der Eigenrotation der Erde hat dies, wie oft fälschlich dargestellt, nichts zu tun!

Der Zeitpunkt von Ebbe und Flut, der Höhenunterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser (Tidenhub) und die Geschwindigkeit des auf- bzw. ablaufenden Wassers sind im einzelnen sehr stark an lokale Gegebenheiten und Wetterbedingungen gebunden. Etwa 300 Elemente gehen in die exakte (heute computergestützte) Berechnung der Gezeiten ein. Für die exakten Zeitpunkte von Hoch- und Niedrigwasser muss auf die jährlich vom Deutschen Institut für Hydrographie und Seeschifffahrt herausgegeben und im Buchhandel erhältlichen Gezeitentabellen für die Deutsche Nordseeküste verwiesen werden. Aber selbst diese Vorhersagen sind nur eingeschränkt gültig: So z.B. verzögert aufländiger starker Wind den Eintritt der Ebbe oder lässt die Flut früher und höher eintreten als berechnet. Dies gilt besonders für trichterartige Buchten (etwa die Elbmündung). Im Rahmen dieser Arbeitshilfe können nur die Grundelemente herausgehoben werden.

Ursachen von Ebbe und Flut:

Erde und Mond bilden durch ein ausbalanciertes System von Anziehungs- und Fliehkräften ein Zweikörpersystem, dessen gemeinsamer Schwerpunkt sich etwa 1500 km unter der Erdoberfläche befindet.

Umlauf von Erde und Mond
um ihre gemeinsame Drehachse (Schwerpunkt)

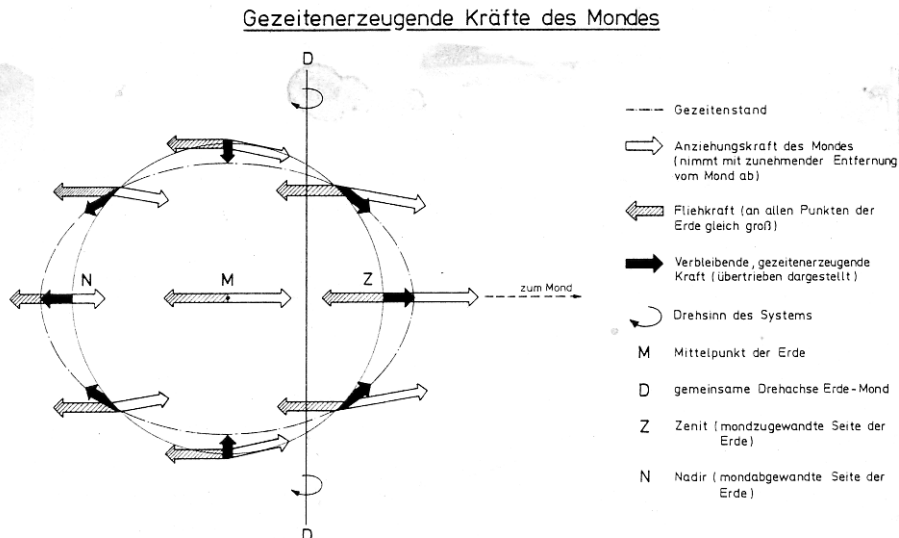


Dieser Schwerpunkt rotiert mit der Bewegung der beiden Körper. Die asymmetrische Schwerpunktlage führt zu einer unterschiedlichen Verteilung der durch die Rotation des Systems hervorgerufenen Fliehkräfte auf der Erdoberfläche: Während die dem Mond zugewandte Seite der Erdkugel der Anziehungskraft des Mondes stärker ausgesetzt ist, überwiegt auf der dem Mond abgewandten Seite die Fliehkraft. Das bedeutet, dass die abgewandte Seite vom Mond (und von der Erde) wegstrebt, die dem Mond zugewandte Seite sich zum Mond hin (und von der Erde weg) bewegt. Mit menschlichen Sinnesorganen nicht feststellbar hebt und senkt sich die Erdkruste (also der Boden, auf dem wir stehen) und die Lufthülle unter diesen Kräften um etwa 40 cm. Beobachtbar ist dies jedoch allein beim beweglichen und massereichen Medium Wasser.

Das Ergebnis auf einer nur von Wasser bedeckten Erde wäre ein Flutberg auf der dem Mond abgewandten und ein Flutberg auf der dem Mond zugewandten Seite. Diese Verhältnisse werden durch die unregelmäßige Verteilung von Landmassen und Ozeanen (und Randmeeren) vielfältig kompliziert.

Der Gezeitenwechsel zeigt eine tägliche Verschiebung um etwa 50 Minuten. Der Grund dafür ist in der Bewegung des Mondes um die Erde zu suchen. Die Erde dreht sich in fast exakt 24 Stunden, von Westen nach Osten bewegend um die eigene Achse.

Im Laufe dieser Zeit ist der Mond auf seiner Bahn um die Erde in gleicher Bewegungsrichtung ein Stück weitergewandert. Er benötigt ca. 28 Tage für einen Erdumlauf.



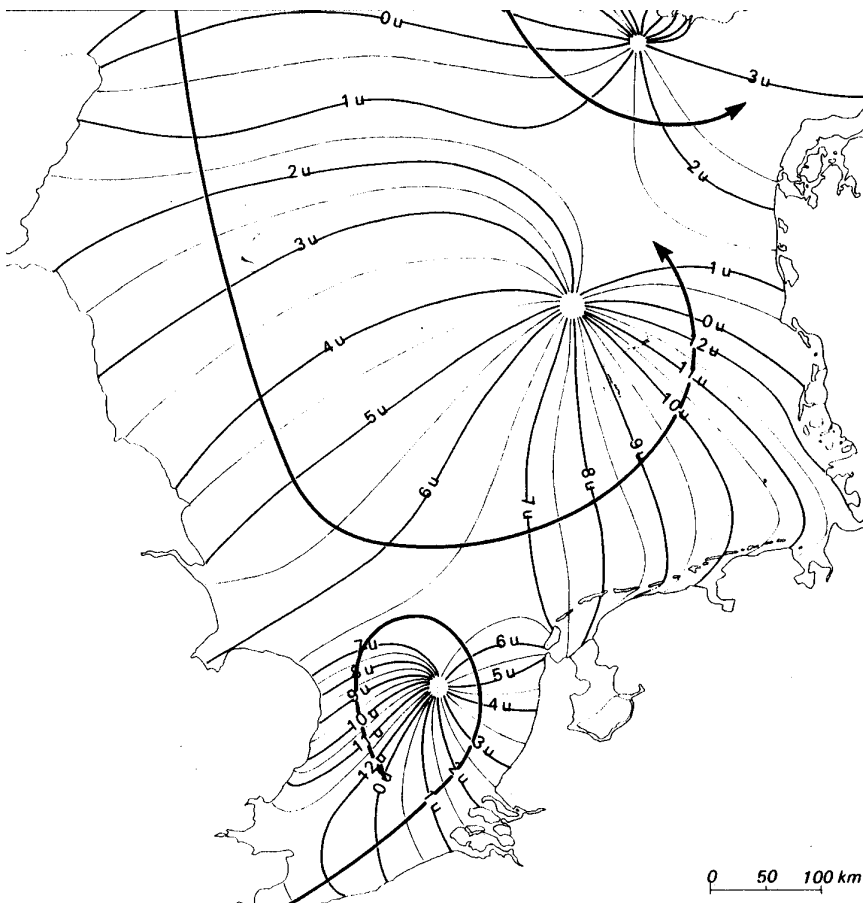
Nach dieser Zeit steht der Mond zur gleichen Zeit am gleichen Ort, allerdings vor dem Hintergrund anderer Sterne, weil in der Zwischenzeit die Erde auf ihrem Weg um die Sonne gut ein zwölftel des Weges vorangekommen ist. Auf der Erde beobachtbar erreicht der Mond seinen Höchststand über dem Horizont täglich 50 Minuten später. Dies gilt natürlich auch für die Aufgangs- und Untergangszeiten.

Da die Erde im Laufe von 24 Stunden unter beiden Flutbergen hindurchrotiert, haben wir in diesem Zeitraum zweimal Flut und zweimal Ebbe. Der Höchststand zweier aufeinanderfolgender Fluten ist damit um etwa 12 Stunden und 25 Minuten versetzt.

"Einfache" Regeln, die nicht überall gelten

Für die Nordfriesischen Inseln gibt es eine grobe Regel: Geht der Mond auf oder unter, dann ist Ebbe, erreicht er seinen Höchststand über dem Horizont oder befindet er sich (für uns unsichtbar) genau hinter uns auf der anderen Seite der Erdkugel, dann ist Flut. Damit gilt (ganz leicht merkbar): Bei Voll- und Neumond haben wir früh abends und morgens früh Flut, Mittags und um Mitternacht Ebbe. Bei zunehmendem wie abnehmendem Halbmond ist Mittags und gegen Mitternacht Ebbe. Für manchen Sylter z.B. hängt das ganz einfach so zusammen: Steht der Mond oben, dann zieht er das Wasser hoch, steht er am Horizont, dann zieht er das Wasser seitlich weg. Dieser einfache Zusammenhang zwischen Mondlauf und Gezeit scheint hier direkt auf die Ursache der Gezeiten hinzuweisen: Nur leider, die oben genannten. Regeln gelten nur lokal und schaffen letztlich falsche Vorstellungen über den Ursprungsort der gewaltigen Hebe- und Senkbewegungen. Zwar wirkt der Mond auch auf die Nordsee, entscheidend sind aber die Wasserbewegungen auf den Ozeanen. Hier werden die Gezeiten gemacht, die nur in das relativ kleine Randmeer Nordsee hineinspülen und von den Küsten zurückgeworfen werden. Jede Flut innerhalb der Nordsee wurde also schon "geboren" bevor der Mond über der Nordsee steht und stellt nur das "Echo" auf weit entfernte Wasserbewegungen dar. Daher treten Spring- und Nipptiden (s. u.) erst drei Tage nach den sie verursachenden Mond-/Sonne- und Erdkonstellationen auf. Ihren Ursprungsort haben sie im südlichen Indischen Ozean!

Gezeiten in der Nordsee



Der Fluteinstrom in die Nordsee erfolgt zunächst in breiter Front zwischen Schottland und Südwestnorwegen. An der steil abfallenden NO-Küste Schottlands kommt die Flutwelle erheblich schneller voran als an den deutschen und dänischen Flachküsten, wo sich die Reibung verzögernd bemerkbar macht.

Die von Norden kommende Flutwelle wird in der Deutschen Bucht zurückgeworfen. Darüber hinaus trifft sie im Süden auf eine zweite, durch den Kanal von Dover aus dem Atlantik einströmende Flutwelle. Die Bewegung der Wasserteilchen wird entscheidend durch die Eigenrotation der Erde und die Massenträgheit des

Wassers beeinflusst: Durch die Erdrotation werden auf der nördlichen Erdhalbkugel alle Strömungen nach rechts abgelenkt (Corioliskraft). Das bedeutet, dass der Flutstrom wie an der Innenwand eines Topfes, in dem Wasser kreisend bewegt wird, gedrückt wird, und zwar gegen den Uhrzeigersinn von Norden einströmend an die englische Küste, dann als Rückstrom von Süden kommend gegen die deutsche und dänische Küste. Dazwischen, etwa im Bereich nördlich von Helgoland gibt es eine Region, die von dieser Bewegung kaum oder nicht beeinflusst wird, der sog. amphidromische Punkt. (Dieser ist im Wassertopf auch sichtbar)

Der an der Südwestküste Norwegens einlaufende Flutkamm wird durch den Rückstrom an der Ostseite der Nordsee aufgehalten und entfaltet seine Wirkungen praktisch nur im Skagerak und Kattegat.

Als Ergebnis bedeutet das eine von der schottischen und englischen Ostküste über die holländische, deutsche und schließlich dänische Nord- bzw. Westküste voranschreitende Zeitverzögerung des Flut- und Ebbeintritts. Die einfache, für Sylt anwendbare Regel gilt schon in Cuxhaven oder Westjütland nur noch, wenn man die Zeitunterschiede kennt und hineinrechnet. Der Zeitpunkt des mittleren Tidehochwassers liegt z.B. an der ostfriesischen Küste ca. 2 Stunden früher. Genauerem Aufschluss über die Zeitverschiebungen erhalten wir durch die sog. Flutstundenkarte. Darin können wir ablesen, wie viele Stunden nach dem Nullmeridiandurchgang des Mondes das mittlere Tidehochwasser zu erwarten ist.

Spring- und Nipptiden: Die im Vergleich zu Erde und Mond riesige Sonne hat eine dem Mond vergleichbare, wenn auch erheblich schwächere Gezeitenwirkung: Sie beträgt nur etwa 46% der des Mondes. Stehen Sonne, Mond und Erde bei Neu- und Vollmond in einer Linie, dann addieren sich diese von der Sonne ausgehende Kräfte zu denen des Mondes. Der Flutberg fällt dann erheblich höher aus, was als Reflex zu einer tieferen Ebbe führt (Springtide).

Andererseits: Stehen der Mond und die Sonne im rechten Winkel zur Erde, was bei Halbmond der Fall ist, dann sind von den durch den Mond induzierten Kräften diejenigen der Sonne abzuziehen. Eine solche Nipptide zeigt niedrigere Fluthöchststände und höhere Niedrigwasserstände. Sowohl bei der Spring- als auch der Nippflut müssen wir für die Nordsee mit etwa drei Tagen Verspätung rechnen.

Die vorgeschlagene Gezeitenuhr ist eine Idee der **Station Umwelterziehung Iffens** in Butjadingen. Wir möchten diesen, von uns mit gutem Erfolg ausprobierten Bastelbogen gerne weitervermitteln, haben aber den Begleittext völlig neu verfasst, da er unserer Meinung nach in wesentlichen Punkten zu sehr vereinfacht.

Die Uhr vermittelt ein sehr vereinfachtes Bild der wirklichen Verhältnisse. Wenn man mit ihr umgehen kann und ihre Grenzen kennt, ist sie aber ein gutes Hilfsmittel, um die Wasserbewegungen aus den Bewegungen der Erde und des Mondes heraus verstehen zu lernen.

Für Wattwanderungen u. ä. Vorhaben muss in jedem Fall auf die Daten der offiziellen Gezeitentabellen zurückgegriffen werden!

Benötigt wird:

Der beigelegte Bastelbogen (Vorder- und Rückseite auf zwei Blätter kopieren!), Pappe, Schere, Nagelschere, 3 Spreiz- ("Musterbeutel-")-klammern, Faden ca. 20 cm lang

So wird's gemacht:

Zunächst wird der Bogen mit Buntstiften gefärbt: Die Sonnenstrahlen und der Uhrzeigerstrahl gelb, die Flut- und Springflutberge blau, die Erde blau (Meere), grün und braun (Landflächen) und weiß (arktische Gebiete). Der Bogen mit der Sonne bleibt unzerschnitten und wird auf ein passendes Stück Zeichenkarton geklebt. Aus dem zweiten Bogen schneiden wir den Sonnenstrahl-Uhrzeiger, den Mond, die Erde und die Erde-Mond-Drehscheibe aus und kleben die sie auf Pappe.

Mit einer spitzen Nagelschere werden vorsichtig die schraffierten Flächen auf der Erde-Mond-Drehscheibe ausgeschnitten. Stecke nun die Spreizklammer durch das Zentrum dieser Scheibe - Noch nicht befestigen, denn zunächst müssen Mond und Erde an den gekennzeichneten Stellen, ebenfalls mit Spreizklammern, befestigt werden. Jetzt wird die ganze Anordnung auf der Grundplatte montiert (Kreuzmarkierung!). Der Sonnenstrahl-Uhrzeiger muss beweglich bleiben. Damit er nicht verloren geht, muss er mit ca. 20 cm Faden in der linken oberen Ecke des Grundbogens befestigt werden.

Die Gezeitenuhr wird eingesetzt:

Die Sonne ist nur durch parallele Strahlen, von links kommend, angedeutet. Ihr Durchmesser und ihre Entfernung sind zu groß um maßstabsgerecht auf dem Papier untergebracht werden zu können. Die der Sonne zugewandte Seite des Mondes ist beleuchtet. Mit der Spreizklammer drehbar auf der Unterlage gelagert, lässt er sich auch bei seinem Weg um die Erde stets so einstellen (Hier sind die Verhältnisse unrichtig dargestellt, denn der Mond, der zur Eigenrotation die gleiche Zeit benötigt wie für einen Umlauf um die Erde, wendet der Erde stets die gleiche Seite zu!).

Stelle die Erde-Mond-Drehscheibe so ein, dass Sonne, Mond und Erde in einer Linie stehen: Jetzt ist Neumond, vielleicht haben wir jetzt sogar eine Sonnenfinsternis (was allerdings nur dann geschieht, wenn der Mond seinen Schatten auf die Erde wirft. Die Mondbahn ist in Bezug auf die Sonnenumlaufbahn der Erde etwas geneigt, daher liegt der Schatten meistens etwas über oder unter der Erde). Bei Neumond addieren sich die gezeitenwirksamen Kräfte des Mondes und der Sonne, es kommt zu einer Springflut. Für den Vollmond gilt in Bezug auf die Springflut das gleiche.

Ablesen der Tide mit der Uhr:

Stelle die aktuelle Mondphase fest (Beobachtung/Kalender). Als Beispiel sei hier der 4tägige zunehmende Mond gewählt (18 Tage nach Vollmond). Stelle die Erd-Mond-Drehscheibe so ein, dass der Mond auf der entsprechenden Markierung liegt. Drehe jetzt die Erde so, dass die Sonne direkt über der Nordsee steht, es ist jetzt 12 Uhr Mittags (Sommerzeit s. u.). Nimm nun den Sonnenstrahl-Uhrzeiger und halte ihn in dieser Mittagsposition fest. Die Erde dreht sich weiter (gegen den Uhrzeigersinn!), z.B. so lange, bis es 15 Uhr 30 ist (Uhrzeiger!). Jetzt steht der Mond über der Nordsee, nach unserer Gezeitenuhr ist Flut. Diese Aussage ist prinzipiell richtig, haben wir jetzt doch im Bereich der Deutschen Bucht in diesem Zeitraum tatsächlich Hochwasser. Der Zeitpunkt des Fluthöchststandes tritt jedoch von Westen nach Osten verschoben ein (s. o.). Die von der Uhr abgelesenen Werte müssen daher noch korrigiert werden. Die Zeiten, die zu addieren bzw. zu subtrahieren sind, können in der Karte abgelesen werden. Sie gibt die Flutstundenlinien (Isorhachien) wider, also Linien gleicher Hochwasserzeitpunkte nach dem Durchgang des Mondes durch den Nullmeridian in Greenwich. Der Fluthöchststand z.B. an der Sylter Nordwestküste fällt also fast mit dem Nullmeridiandurchgang zusammen. Hier liegt der Wert "12 h" sehr nahe, der zunächst verwirren könnte. Erinnern wir uns aber daran, dass der aktuellen Flut die nächste schon auf dem Fuße folgt. Ist der Scheitel dieser Flut bei Nullmeridiandurchgang noch an der Nordostküste Schottlands, dann ist er etwa 12 Stunden später bei Sylt angekommen.

Grenzen unserer Gezeitenuhr:

Beim Gebrauch der Uhr und der Flutstundenkarte sind, wenn die Aussage exakter sein soll, einige weitere Dinge zu berücksichtigen:

- In der Deutschen Bucht gilt die Mitteleuropäische Zeit, es ist also stets eine Stunde später als in London (GMT), und auf den Nullmeridiandurchgang des Mondes bezieht sich die Flutstundenkarte ja.
- Im Sommer stellen wir (und die Briten) die Uhr noch eine Stunde weiter (Mitteleuropäische Sommerzeit, bzw. British Summer Time).
- Die Deutsche Bucht liegt etwa auf $7 \frac{1}{2}$ östlicher Länge. In einer Stunde dreht sich die Erde um 15 Grad in östliche Richtung (360 Grad : 24 Stunden). Daraus folgt, dass der Mond (wie die Sonne) über der Deutschen Bucht etwa eine halbe Stunde früher als in Greenwich seinen Höchststand erreicht.
- Die Lehrbuchweisheit, dass die tägliche Verschiebung der Tiden etwa 50 Minuten beträgt, stimmt nur eingeschränkt. Tatsächlich ist dies ein Schnittwert, der durch unterschiedliche Konstellationen zwischen Erde, Mond und Sonne zwischen 45 und 55 Minuten variieren kann.
- In der Nordsee tritt die Springflut erst drei Tage nach Neumond ein (s. o.), vergleichbares gilt für die Nipptiden.

Ingo Mennerich, Schulbiologiezentrum Hannover, 1. Auf., September 1994

Inhaltlich unveränderte Neuauflage: Oktober 2011 (Ingo Mennerich)

