

Ergebnisse zu einigen Aufgaben im Beitrag

„Der Pendelquadrant – Wegweiser der Nautik“

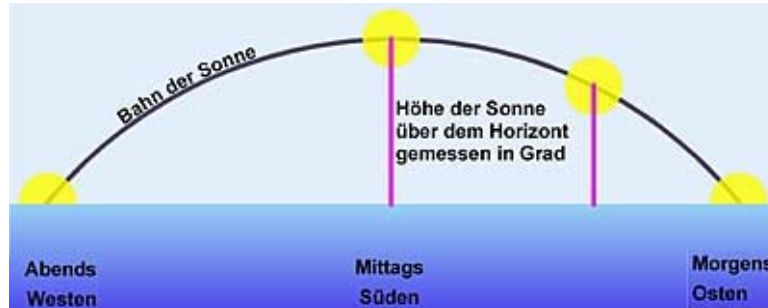
Florian Bade und Anne Väth

Es werden die Lösungen zu den Aufgaben gegeben, die unabhängig von den Messungen beantwortet werden können.

Für eine Musterlösung zu den Messungen werden die Nutzer des WiS!-Beitrags aufgerufen, diese an die WiS!-Redaktion (wis.heidelberg@yahoo.de) einzusenden.

Bestimmung des Laufes der Sonne und des Breitengrades

Vor allem für Seefahrer war es lebensnotwendig, aus dem Lauf der Sonne und der Beobachtung der Sterne die eigene Position zu bestimmen. Mit diesem Arbeitsblatt kannst du den Lauf der Sonne konstruieren, wie er vom Schulhof aus zu beobachten ist.



Aufgabe 1:

Trage zunächst in folgende Tabelle zu unterschiedlichen Tageszeiten (nutze hierfür alle Pausen (auch die 5-Minuten-Pausen) mit Hilfe des Quadranten die Höhe der Sonne ein. Übertrage die Werte in ein Diagramm (x-Achse: Zeit, y-Achse: Sonnenhöhe). Als Ergebnis erhältst du den Lauf der Sonne.

Zeit											
Sonnenhöhe in °											

Aufgabe 2:

Zu welcher Zeit hat die Sonne ihren höchsten Stand? Weshalb ist dies nicht um 12:00 Uhr der Fall?

Nur für alle Leute, die auf dem nullten Längengrad wohnen, also genau nördlich oder südlich von Greenwich (London), steht die Sonne um 12 Uhr wirklich genau am höchsten Punkt, wobei die 12 Uhr aber nach Greenwich-Zeit berechnet ist, die sich von unserer Normalzeit (Winterzeit) um eine Stunde unterscheidet, von der Sommerzeit sogar um 2 Stunden. Diese Zeitumstellung muss man bedenken und die Zeitverschiebung aufgrund des eigenen Längengrades mit verrechnen (s. Auswertung Messergebnisse Längengrad).

Aufgabe 3:

Ermittle anhand der Messdaten auf welcher geographischen Breite sich Dein Standort befindet! Vergleiche Deine Messdaten mit Daten aus dem Internet. Wie genau ist der Pendelquadrant?

$90^\circ - \text{gemessener Winkel} + 23,5^\circ \text{ (am 21.Juni!)} = \text{geographische Breite}$

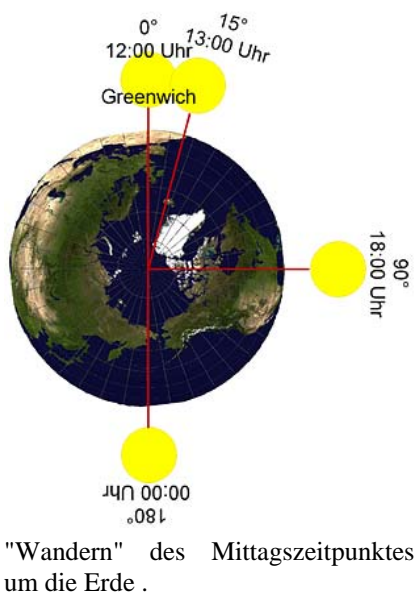
Lässt man beim Basteln des Pendelquadranten große Sorgfalt walten und misst gründlich, kann man eine erstaunlich hohe Präzision erreichen! Passt man den Neigungswinkel der Jahreszeit an, so können Ergebnisse erreicht werden, die nur um maximal 1° von der eigentlichen Position abweichen.

Messungen der geographischen Länge

Auf hoher See ist es für Kapitän und Mannschaft lebenswichtig, ständig die genaue Position zu kennen. Heute werden Schiffe über satellitengestützte Navigationssysteme an ihr Ziel geleitet. Doch vor 250 Jahren waren es gefährvolle Fahrten ins Ungewisse. Jeder fähige Navigator konnte zwar mit dem Winkel zwischen Sonne und Horizont den Breitengrad bestimmen, doch den Längengrad verriet der Quadrant dem Seemann nicht. Weil sie ihre Position nicht hundertprozentig bestimmen konnten, liefen früher viele Schiffe auf Grund und sanken.

Im Juli 1714 verabschiedete das englische Parlament schließlich eine Verordnung, den so genannten Longitude Act: Ein fürstliches Preisgeld von 20.000 Pfund wurde für den Urheber eines Verfahrens ausgesetzt, das die Bestimmung des Längengrads ermöglichte. Die berühmtesten Gelehrten – von Galileo Galilei bis Isaac Newton – hatten über Jahrhunderte versucht, eine Antwort zu finden. Doch erst 1760 gelang der Durchbruch: Eine Erfindung, deren Bedeutung bis in unsere Zeit reicht. Der Schlüssel zur Bestimmung des Längengrades ist – damals wie heute – die Zeit.

Bestimmung des Längengrades mithilfe der Mittagsmethode



Im Prinzip können wir mit einer Messung des Sonnenhöchststandes, wie wir es zur Bestimmung des Breitengrads bereits durchgeführt haben, auch den Längengrad bestimmen. Da sich die Erde in ca. 24 Stunden einmal um sich selbst, also um 360° dreht, bedeutet das, dass es auf jedem Punkt der Erde einen exakten Zeitpunkt gibt, an dem die Sonne am höchsten am Himmel steht. Umgekehrt gilt: wenn man für einen unbekanntes Ort exakt sagen kann, wann die Sonne am höchsten steht, dann weiß man auch, wo auf der Erde man sich gerade befindet.

Innerhalb von 24 Stunden dreht sich die Erde einmal um sich selbst. Also legt sie in einer Stunde $1/24$ oder 15° zurück. Wenn man nun die genaue Zeit einer Stadt, deren Längengrad bekannt ist, kennt, kann man mit Hilfe der korrekten Zeit an einem anderen Ort dessen Längengrad bestimmen.

So erreicht z.B. am Nullmeridian in Greenwich immer um 12:00 Uhr (idealerweise, doch dazu später) die Sonne ihren Höchststand. Da sich die Erde mit 15° pro Stunde, das entspricht am Äquator 1666,8 km pro Stunde dreht, lässt sich daraus folgendes ableiten: Steht man z.B. an einer Position um 14:30 Uhr die Sonne am höchsten am Himmel, so befinde ich mich 2:30 westlicher als Greenwich, also auf $37,5^\circ$ W.

Es muss bei dieser Messung besonders darauf geachtet werden, dass der Sonnenhöchststand exakt bestimmt wird. Exakt meint hier möglichst sekundengenau, da bereits eine Minute Fehler einen im schlimmsten Fall (am Äquator) um fast 30 Kilometer (genauer: 15 Seemeilen) falschen Standort ergibt.

Das Problem der Seefahrer in der Vergangenheit war, dass sie die Uhrzeit des Null-Längengrads in Greenwich als Referenzzeit nicht auf ihrem Schiff messen, bzw. feststellen konnten. Erst durch die revolutionären Konstruktion der H4, einer Uhr des Uhrmachers John Harrison, konnten seefahrttaugliche und konstant laufende Uhren an Bord von Schiffen transportiert werden, welche die Greenwicher Referenzzeit angaben. Das Problem der Längengradbestimmung war somit gelöst.

Aufgabe: Stellt mithilfe des gemessenen Sonnenhöchststands den Längengrad des aktuellen Standortes fest. Geht dabei vor wie im Text beschrieben.

Messung der Zeit

A) Grobe Zeitbestimmung - Ortszeitmessung

Mithilfe des Pendelquadranten kannst du auch die aktuelle Uhrzeit deines Standortes selbst messen. Dies ist sehr hilfreich wenn du deine Uhr mal verlieren solltest. Besonders wichtig aber war diese Möglichkeit einige Jahrhunderte zuvor, als es noch keine tragbaren Taschenuhren gab.

Wie funktioniert die Messung der Zeit? Nun, es ist etwas komplexer als der kurze Blick auf die Armbanduhr. Zunächst einmal brauchen wir die Sonne und als zweites Hilfsmittel natürlich den Quadranten. Wir werden die Uhrzeit aus der Sonnenhöhe bestimmen. Wie du bereits bei der Messung des Breitengrads festgestellt hast, verändert die Sonne ihren Stand im Laufe des Tages und wandert von Osten nach Westen. Je nachdem, wie hoch sie sich während ihres Laufs am Himmel befindet, kann die Tageszeit entsprechend abgelesen werden.

Aufgabe 1.: Lest den folgenden Text und findet die fett gedruckten Begriffe auf dem Pendelquadranten und vollzieht alle im Text genannten Schritte in einer „Trockenübung“ nach.

Mit dem Pendelquadranten kann man die Sonnenhöhe gut messen. Wer die Uhrzeit vom Sonnenstand ablesen möchte, muss jedoch das Datum berücksichtigen. Denn die Sonne steht in manchen Jahreszeiten tiefer als in anderen. Dazu dienen die **Datumsskalen**, in denen für jeden Monat alle Tage aufgeführt sind. Dabei ist jede Jahreszeit in einer eigenen Skala untergebracht. An der **Peilkante** findet ihr zu jeder Jahreszeit noch einen schwarzen oder weißen Kreis, der sich entweder links oder rechts von einem Schrägstrich befindet.

Als erstes müssen wir nun das Lot so über den Quadranten legen, dass es den heutigen Tag auf der Datumsskala des momentanen Monats schneidet. Der Schnittpunkt vom Lot und **Ekliptik-Linie** wird markiert, indem ihr die **Perle** genau hierhin schiebt.

Der Schnittpunkt liegt zwischen zwei **konzentrischen Kreisen**. Er ermöglicht uns später, die **Stundenlinien** an der richtigen Stelle abzulesen. Die Stundenlinien sind die von Innen nach Außen verlaufenden, geschwungenen Linien. Durchgezogene Linien stehen für halbe Stunden, gestrichelte Linien für Viertelstunden. Es gibt aber Stundenlinien, die nach rechts außen und andere, die nach links außen geschwungen sind. Dabei sind alle Stundenlinien an der Feldbegrenzung von rechts nach links mit Zahlen beschriftet: 1 bis 8 für die nach rechts außen geschwungenen, 1 bis 3 für die nach links außen geschwungenen. Die Stundenlinien 1 bis 3 gibt es doppelt. Rechts beider mit der Zahl 1 versehenen Stundenlinien findet ihr aber den Kreis wieder, den ihr bereits an der Datumsskala gesehen habt. Er gibt euch an, welche Stundenlinie auf dem **Stundenlinienfeld** ihr zu benutzen habt: Für Jahreszeiten mit dem weißen Kreis nehmt ihr die nach links geschwungenen Stundenlinien, für die Jahreszeiten mit dem schwarzen Kreis die nach rechts geschwungenen. (Die Kreise innerhalb des Stundenlinien-Feldes haben eine andere Bedeutung und sind hier nicht wichtig!)

Nun peilt ihr die Sonne an, wie ihr es schon zuvor gemacht habt. Allerdings lest ihr nun nicht die Sonnenhöhe ab, sondern direkt die Anzahl der Stunden, die den aktuellen Zeitpunkt von Sonnenhöchststand trennen. Das geht mithilfe der Stundenlinien: Verfolgt die Stundenlinie, die vom Lot auf der Höhe der Perle geschnitten wird, bis zum Rand des Stundenlinienfeldes und lest sie ab.

Mit dem abgelesenen Wert habt ihr die Anzahl der Stunden ermittelt, die zwischen Messzeit und Sonnenhöchststand liegen. Um die sogenannte Ortszeit zu erhalten, ist vormittags die abgelesene Stundenzahl von 12 Uhr abzuziehen und nachmittags hinzuzuzählen. Der Sonnenhöchststand wird hier auf 12 Uhr gesetzt, da die Ortszeit zunächst isoliert betrachtet wird.

Aufgabe 2: Messt nun mithilfe des Pendelquadranten und anhand des Sonnenstands die Ortszeit wie es im Text beschrieben wird.

Messung der Zeit

B) Genaue Zeitbestimmung: die mittlere Ortszeit

Die Zeitdauer zwischen zwei Sonnenhöchstständen, also einem Tag, ist jedoch alles andere als konstant! Mal sind es etwas mehr als 24 Stunden, mal etwas weniger. Dadurch kann bei der Messung des Sonnenstands die ermittelte Ortszeit von der tatsächlichen Uhrzeit um einige Minuten abweichen

Es gibt zwei Ursachen für die Gangungenauigkeit der Sonne: Die Form der Erdbahn und die Neigung der Erdbahn gegen den Äquator. Diese beiden Aspekte machen eine Abweichung der messbaren "wahren Ortszeit" zur berechenbaren "mittleren Ortszeit" von insgesamt bis zu plus-minus 16 Minuten aus. Nur aus der mittleren Ortszeit können wir anschließend durch Hinzufügen oder Abziehen von Minuten die Zonenzeit bestimmen, die mit unseren Armbanduhren zu vergleichen ist.

Als Voraussetzung für die Bestimmung der genauen Uhrzeit muss vorher die Zeitdifferenz zwischen wahrer Ortszeit und mittlerer Ortszeit in einer Zeitgleichung berücksichtigt werden. Deshalb wird ein Zwischenschritt in die Zeitmessung eingeschoben, wodurch die Zeitgleichung erfolgt.

Messung der Mittleren Ortszeit:

Dazu benötigen wir wieder die Datumsskala und die vier **Jahreszeitenkurven**, die rechts des Stundenlinienfeldes liegen und mit jeweils einer Jahreszeit beschriftet sind. Diese Kurven bilden zusammen die **Zeitgleichungsskala** (ZGL-Skala) mit deren Hilfe man die Abweichung in Minuten ablesen kann, die man hinzuzählen oder abziehen muss. Wieder bereiten wir unsere Zeitmessung vor, indem wir das Datum mit der Ekliptiklinie einstellen.

Nun machen wir einen Zwischenschritt: Legt den Faden so, dass die Perle auf der Zeitgleichungskurve liegt, die für die gerade aktuelle Jahreszeit gilt. Lest an der ZGL-Skala die Anzahl der Minuten ab, die ihr auf eure gemessene Uhrzeit hinzuzählen müsst (Negativwert bedeutet, dass die Anzahl abgezogen werden muss: -5 bedeutet 5 Minuten abziehen). Die weiteren Schritte sind die selben, wie vorher beschrieben.

Aufgabe: Ermittelt die mittlere Ortszeit mithilfe der ZGL-Skala.

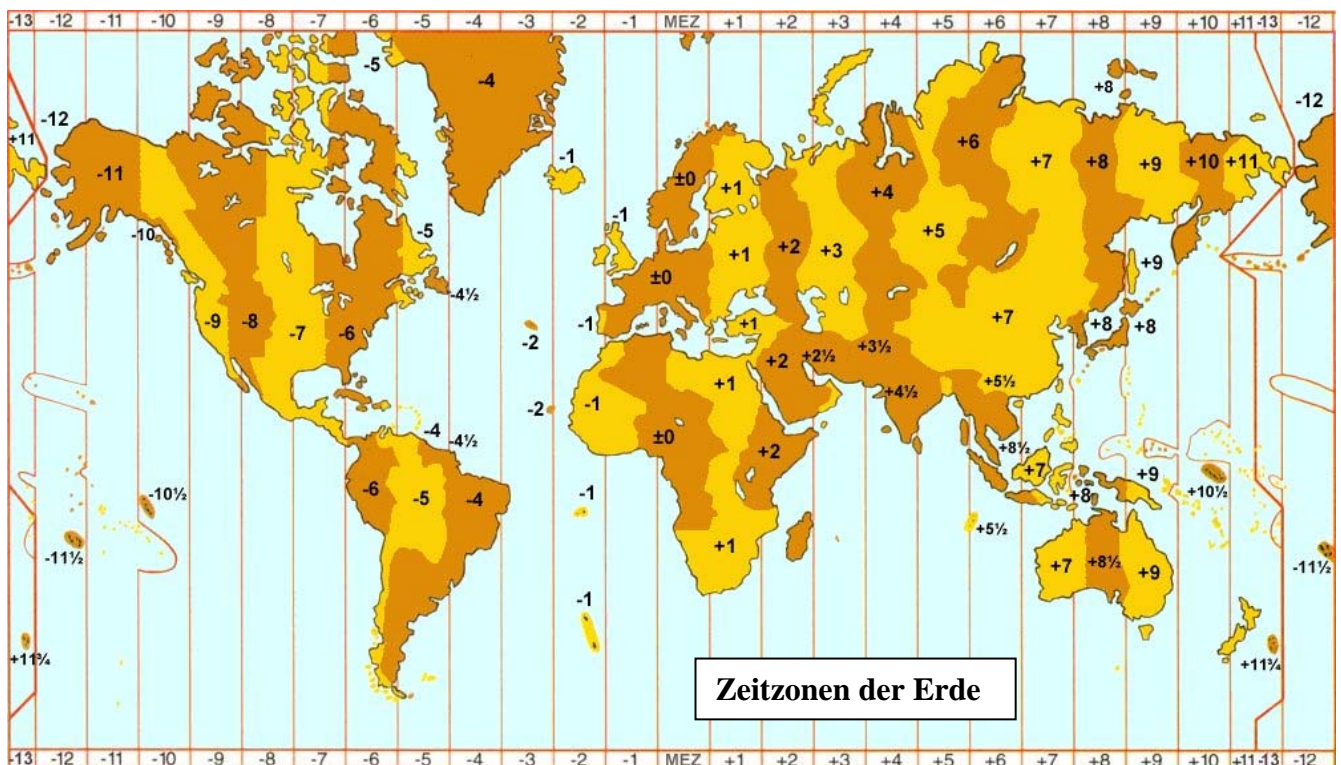
Messung der Zeit

C) Uhrzeitbestimmung

Zonenzeit

Wie wir wissen, dreht sich die runde Erde um sich selbst. Das heißt, dass die Sonne nicht an allen Punkten der Erde zur gleichen Zeit am höchsten stehen kann. Sie kann dieses nur an allen Punkten eines Längengrades. Die Sonne erreicht also von Ost nach West aufeinanderfolgend auf der ganzen Welt den Sonnenhöchststand.

Würden wir unsere Uhren also nach der Sonne stellen, wie es bis zum 1.4.1893 gemacht wurde, müssten wir bei einer Zugreise die Uhren um einige Minuten verstellen, wenn wir von Heidelberg nach München mit der Eisenbahn fahren. Eben deshalb entschloss man sich die Erdkugel in Zeitzonen einzuteilen. Eine **Zeitzone** ist ein Abschnitt der Erdoberfläche, auf dem zu einem gegebenen Zeitpunkt dieselbe Uhrzeit und dasselbe Datum gelten. Beim nullten Längengrad beginnend, definierte man in 15 Grad-Abständen Zeitzonen, die sich durch Hinzuzählen oder Abziehen von ganzen Stunden ineinander umrechnen lassen. Von der Flugreise kennen wir, dass wir die Uhren um ganze Stunden verstellen müssen.



In Deutschland gilt laut Gesetz die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) für den 15. Längengrad und seit 1997 von März bis Ende Oktober die Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ). Die MESZ geht der MEZ um eine Stunde voraus, d.h., MEZ plus eine Stunde ist MESZ.

Exkurs: Die Regeln für die Zeitumstellung: Für die Sommerzeit gilt: Die Zeitumstellung findet am letzten Sonntag im März statt. Dabei wird um 2:00 Uhr die Uhr um **eine Stunde vorgestellt**. Das bedeutet: "Die Nacht ist eine Stunde kürzer".

Für die Winterzeit (Normalzeit) gilt: Die Zeitumstellung findet am letzten Sonntag im Oktober statt. Um 3:00 Uhr wird die Uhr um eine Stunde zurückgestellt. Das bedeutet: "Die Nacht ist eine Stunde länger".

Messung der Zeit

Mithilfe unseres Quadranten haben wir bereits die Ortszeit sowie den Längengrad bestimmt. Wir benötigen jetzt nur noch die Zonenzeit unserer Zeitzone. Nun ist es so, dass man bei bekanntem Längengrad mithilfe der durch den Quadranten gemessenen Ortszeit auf die Zonenzeit = Uhrzeit schließen kann. Andersherum ist es dabei auch möglich, bei bekannter Uhrzeit sehr genau den Längengrad des Standortes zu bestimmen.

Zur Bestimmung der Uhrzeit unseres Standortes müssen wir den berechneten Längengrad miteinbeziehen, um zu wissen in welcher Zeitzone wir uns tatsächlich befinden.

Aufgabe: Bestimmung der Zeitzone und der Uhrzeit

1. Füllt den Lückentext entsprechend Eurer Ergebnisse aus:

LÖSUNGEN FÜR MITTELEUROPÄISCHEN BEREICH (restliche Lücken individuelle Messungen):

Unser Standort befindet sich auf dem _____ Längengrad östlich (östlich/westlich) von Greenwich. Da die Zeitzonen nur in 15 Längengrad-Abschnitten aufgeteilt sind, befinden wir uns in der Zeitzone des 15. Längengrads = MEZ

Wir berechnen nun erst einmal die Winterzeit unserer Zeitzone, indem wir die Differenz unseres eigenen Längengrades zum 15. Längengrad unserer Zeitzone berechnen. Die Differenz beträgt _____ Grad. Dieses Ergebnis multiplizieren wir mit vier, weil die Erde sich in vier Minuten um ein Grad dreht. Wir erhalten dadurch _____ Minuten. Diese Anzahl von Minuten zählen wir zu unserer gemessenen mittleren Ortszeit hinzu, wenn unser Ort westlich des 15. Längengrads liegt. Liegt der Ort östlich des 15. Längengrads ziehen wir die Minuten von der Uhrzeit ab. Befinden wir uns in der Sommerzeit, müssen wir als letzten Schritt noch eine Stunde addieren – und wir haben unser Ziel erreicht:

Die Uhrzeit unseres Standortes beträgt: _____

2. Kontrolle: Wie groß ist nun die Abweichung der gemessenen mittleren Ortszeit zur Armbanduhrzeit? Mehr als 15 Minuten sollte sie nicht betragen.

Die Abweichung zwischen unserer gemessenen mittleren Ortszeit und der Armbanduhrzeit beträgt _____ Minuten.