

Der Pendelquadrant – Wegweiser der Nautik

Florian Bade und Anne Väth



Schon im Altertum griffen die Menschen nach den Sternen und machten sie besonders in der Seefahrt zu ihren Wegweisern.
http://www.wilfriedbluhm.de/Landkarten/index.htm?geschichte_karten_2.htm

Insgesamt 88 Sternbilder hat die Internationale Astronomische Union festgelegt. Sie tragen wundersame Namen wie Schlangenträger, Haar der Berenike und fliegender Fisch. Das tägliche Verfolgen, Vermessen und Verbuchen der Gestirne ist für die Astronomen heute selbstverständlich. Die benötigte Technologie trägt jedoch ein langes geschichtliches Erbe.

Im Altertum war das Firmament der Wegweiser des Seefahrers. Anfangs waren die Messinstrumente einfach und wenig genau. Doch schon bald setzten Königshäuser Preisgelder aus, um die Erfindung präziser Navigationsmittel zu

erreichen und um das lukrative Geschäft der Seefahrt voranzutreiben. Ein nautischer Höhepunkt war hier die Erfindung des sogenannten Pendelquadranten. Mit diesem Gerät konnte auf hoher See der Breiten- und Längengrad berechnet werden. Dies war damals eine Revolution!

Aus diesem Grund wird im folgenden Artikel die unterliegende Theorie des Pendelquadranten mit einem Exkurs über Breiten- und Längengrade dargestellt, sowie eine Bastel- und Bedienungsanleitung mit dazugehörigen Messaufgaben angeboten. Bei den Materialien wurde darauf geachtet, dass sie insbesondere für die Mittelstufe zugänglich und attraktiv sind.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Astronomie	Astronomiegeschichte, Astropraxis, Positionsastonomie	Orientierung, Pendelquadrant, Positionsbestimmung, Zeitmessung, Höhe, Mittagsmethode, Ortszeit
Fächer- verknüpfung	Astro-Geo, Astro-Ma	Breitengrad, Längengrad, Zonenzeit, Winkelmessung

Quellen:

Basale Unterrichtseinheit:

<http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/nwt/unterrichtseinheiten/einheiten/weltall/pol2.html>

Abbildungen für Breitengrad:

http://www.kowoma.de/gps/astronav/breite_mittagsmethode.htm

Nautisches Jahrbuch:

<http://www.kowoma.de/gps/astronav/nautjahrbuch.htm>

Bastelvorlagen:

<http://www.astromedia.de/>

Anleitung zum Pendelquadranten für Fortgeschrittene:

<http://www.infodrom.north.de/~muh/Astronomie/Quadrant/>

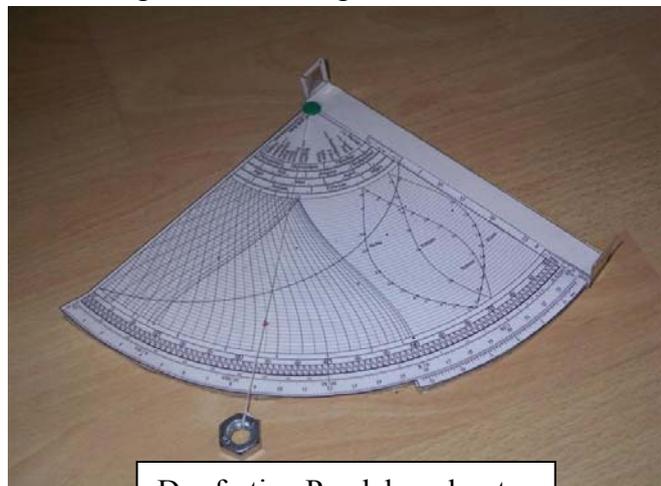
Herstellung eines Pendelquadranten

Benötigte Materialien:

- Schere	- Reißzwecke	- Gewicht mit Öse	- Sperrholz in DIN A4
- Klebstoff	- Stecknadel	- Ausdruck des Quadranten	- (Woll-) Faden
	- Nähgarn	- Sonnenfolie	- Klebefolie

Und so wird's gemacht:

1. **Das Schnittmuster** – Zunächst muss der Quadrant ausgeschnitten werden. Der Umriss dieses Schnittmusters wird dann auf das Sperrholz wie eine Schablone gelegt und auf das Sperrholz übertragen – außer an den überstehenden Peilvorrichtungen. Danach wird der Umriss aus dem Sperrholz heraus gesägt. Fertig ist damit die Grundplatte des Quadranten. An den Rändern werden spitze Kanten und Splitter vom Sägen mit Schmirgelpapier abgerundet.
2. **Aufkleben** – Klebe nun das Kurvenfeld auf den Untergrund auf, indem die ganze Fläche mit Klebstoff bestrichen wird und stelle dabei die Peilvorrichtungen auf. Am besten ihr foliert danach das Kurvenfeld mit durchsichtiger Klebefolie, damit das Papier während der Messvorgänge nicht geschädigt wird.
3. **Die Peilvorrichtungen** – Als nächstes werden die Peilvorrichtungen gefaltet. Sie bestehen jeweils aus zwei Quadraten mit einem Kreuz und befindet sich an den Ecken der geraden kante. Wenn du die Vorlage so vor dich hältst, dass auf der Gradskala die 90°-Marke unten ist, sind die Waagerechten Linien der Peilvorrichtungen die Faltnlinien. Falte sie so, dass sich die mittlere der drei Faltnlinien beider Peilvorrichtungen nach oben erhebt – die Peilvorrichtungen werden also aufgestellt. Die Peilvorrichtung ist mit Kreuzen versehen. Um den Mittelpunkt des Peilkreuzes bei der Lotaufhängung muss ein größeres Feld ausgeschnitten werden (Durchmesser ca. 1 cm). Anschließend wird mit zwei Bindfäden, die über das Loch geklebt werden, und den Kreuzlinien folgen, ein Fadenkreuz gebaut. Am anderen Peilkreuz wird in der Mitte nur ein sehr feines Loch mit der Nadel gestochen. Über dieses Loch kann ein Stück Sonnenfilterfolie geklebt werden, damit auch bei schlechterem Wetter die Sonne mit dem Auge direkt angepeilt werden kann ohne Augenschäden zu verursachen.
4. **Das Lot** – Für das Lot benötigst du ein kleines Gewicht, das ein Loch hat, durch welches das Nähgarn gezogen werden kann. Das Nähgarn muss länger als der Radius des Quadranten sein. Binde das Gewicht daran fest. Stecke nun eine Nadel in die eingezeichnete Ecke des Quadranten (um sie ist ein kleiner Kreis gezeichnet). Achte darauf, dass der aufgehängte Faden genau auf den Linien liegen kann, die zu 0° bzw. 90° der Gradskala laufen; dies ist für die Genauigkeit sehr wichtig.
5. **Die „Perle“** – Zur Vollendung fehlt die „Perle“: Binde einfach mit einem Doppelknoten einen Wollfaden um das Lot und kürze die überhängenden Fäden etwas. (Die Perle fehlt auf dem Photo).



Der fertige Pendelquadrant.

Messung der geographischen Breite

Glückwunsch – Du hast jetzt erfolgreich einen Pendelquadranten gebastelt. Aber so richtig klar, wie man mit diesem Ungetüm umgehen soll, ist Dir wahrscheinlich noch nicht. Man kann mit dem Pendelquadranten tolle Sachen berechnen: die Höhe von Gegenständen, den Breitengrad (Nord-Süd-Ausrichtung eines Standpunktes) und den Längengrad (Ost-West-Ausrichtung eines Standpunktes). Aber wie genau soll das gehen? Um das genau zu verstehen, müssen wir uns als erstes die Erde genauer angucken und danach den Pendelquadranten selbst.

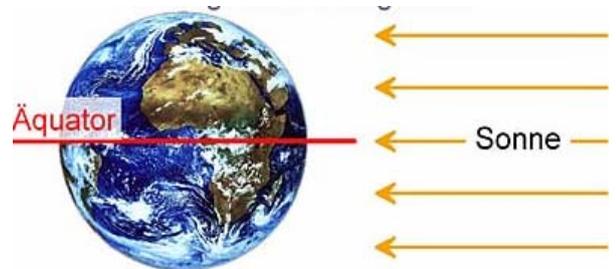
I Die Breitengrade: die Querstreifen der Erde

Schon früh hatten Seefahrer gelernt, dass man die Gestirne, besonders die Sonne, zur Berechnung des Standortes hinzunehmen konnte. Dir ist klar, dass die Sonne im Verlauf des Tages unterschiedlich hoch am Himmel steht. Für die Nordhalbkugel gilt der Merksatz: Im Osten geht die Sonne auf, nach Süden nimmt sie ihren Lauf, im Westen wird sie untergehen, im Norden ist sie nie zu sehen. Um aber diesen Zusammenhang zwischen Sonnenstand und Breitengrad genau verstehen zu können, muss man ein kleines Gedankenexperiment vornehmen:

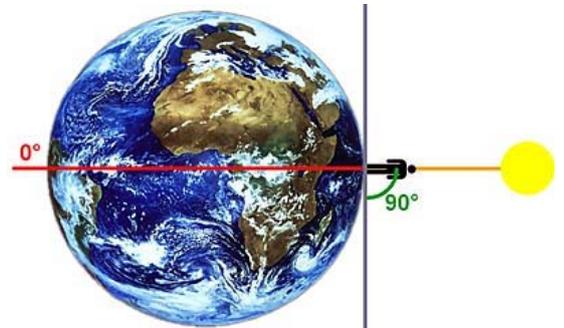


Stell Dir vor, dass Du Deine besten Freunde an unterschiedlichen Punkten der Erde aus dem Weltall betrachtest.

Bevor Du Deine Freunde findest, wird Dir erst einmal klar, dass die Entfernung zwischen Sonne und Erde riesengroß ist (ca. 147-153 Millionen Kilometer). Das bedeutet, dass die Sonnenstrahlen immer parallel auf die Erde eintreffen.



So, jetzt suchst Du Deinen ersten Freund auf der Erde und entdeckst ihn direkt am Äquator auf einem Badehandtuch am Sandstrand, sich sonnend. Für Deinen Freund ist es Mittag und die Sonne hat ihren Höchststand, den sogenannten Zenith, erreicht. Schaut Dein Freund auf den Horizont des Meeres so ist die Sonne genau 90°, also im rechten Winkel, über ihm. Dies entspricht auf der ganzen Erde dem maximalen Sonnenhöchststand. Nun beginnt ein einfacher Rechenschritt. Man nimmt den maximalen Sonnenhöchststand und subtrahiert den (z.B. mit dem Pendelquadranten) gemessenen Sonnenhöchststand. Das Ergebnis ist dann schon der Breitengrad, auf dem sich Dein Freund befindet.



$$h_{\max} - h_{\text{zen}} = \text{Bgrad}$$

Am Äquator sind diese Sonnenstände identisch. Daraus folgt: $90^\circ - 90^\circ = 0^\circ$

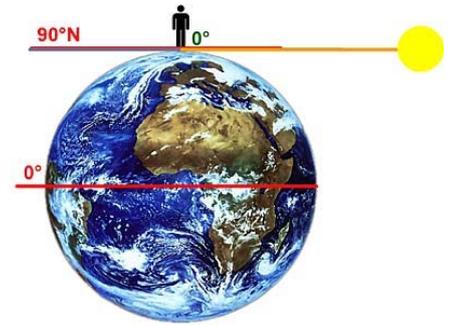
Dein Freund bräunt sich also gerade auf dem nullten Breitengrad, dem Äquator.

Deine beste Freundin hingegen ist gerade in Schwierigkeiten. Sie muss am Nordpol vor einem Eisbär fliehen. Sie versucht sich an der Sonne zu orientieren, um nicht zu weit von ihrem Hotel abzukommen. Die Sonne scheint direkt am Horizont zu stehen. Der Höchststand der Sonne ist also quasi gleich dem Horizont. Das entspricht 0° . Schnell berechnet sie:

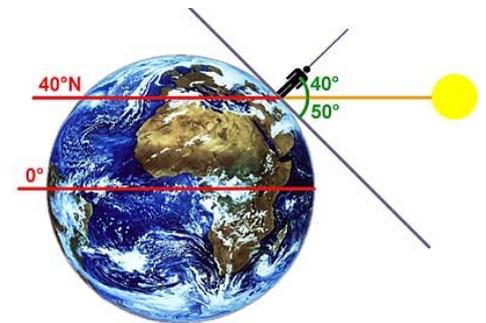
$$h_{\max} - h_{\text{zen}} = \text{Bgrad}$$

$$90^\circ - 0^\circ = 90^\circ$$

Sie befindet sich also am 90° Breitengrad. Da sie weiß, dass es Eisbären nur am Nordpol gibt. Ist sie am 90° Grad nördlicher Breite. Puh – da ist schon das Hotel. Endspurt, Tür auf, Freundin rein, Tür zu, Eisbär draußen. Gerettet – das war knapp!



Als letztes willst Du aus dem Weltall Deine Brieffreundin aus Norwegen sehen. Da ist sie ja! Und Du siehst wie sie aus dem Fenster auf den Horizont schaut und sich wundert, warum Du schon so lange nicht mehr geschrieben hast. „Melanie, Zeit zum Mittagessen!“, ruft ihre Mutter. Wie Du aus dem Weltall sehen kannst, steht für Deine Brieffreundin die Sonne nicht direkt über ihr wie am Äquator, aber auch nicht so niedrig wie am Nordpol. Am höchsten Punkt hat die Sonne bei Deiner norwegischen Freundin ungefähr einen Winkel von ca. 50° Grad. Umgerechnet bedeutet das:

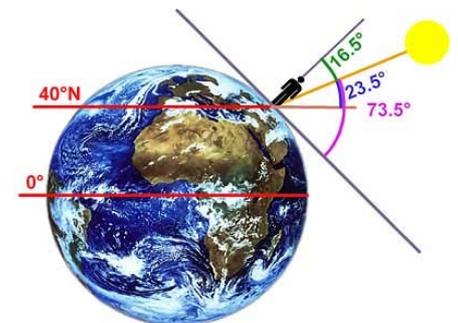


$$h_{\max} - h_{\text{zen}} = \text{Bgrad}$$

$$90^\circ - 50^\circ = 40^\circ$$

Es scheint so, als ob sich Deine norwegische Brieffreundin auf dem 40° nördlicher Breite befände.

So weit ist wohl alles klar. Aber Dir ist vielleicht schon aufgefallen, dass wir ein kleines, aber wichtiges Detail vergessen haben. Die Erdachse ist ja nicht hundertprozentig gerade, sondern etwas geneigt. Die Neigung beträgt $\epsilon = 23,5^\circ$. Daraus folgt, dass die Sonne manchmal bis zu $23,5^\circ$ weiter nördlich oder $23,5^\circ$ weiter südlich steht. Das müssen wir in unserer Berechnung natürlich berücksichtigen:



Für die Berechnung des Breitengrades nehmen wir einfach halber das Datum des 21. Juni an. Dies ist der längste Tag auf der Erde, die Sommersonnenwende. An diesem Tag beträgt die Verschiebung des Sonnenwinkels genau $23,5^\circ$ nach Norden. Du musst also den Winkel zu Deiner Messung hinzuaddieren.

$$h_{\max} - h_{\text{zen}} + \epsilon_{\text{Erde}} = \text{Bgrad}$$

$$\text{Für das nebenstehende Beispiel ergibt sich dann: } 90^\circ - 16,5^\circ + 23,5^\circ = 73,5^\circ$$

Wir befinden uns also auf $73,5^\circ$ nördlicher Breite.

Will man zu jeder Jahreszeit, den genauen Wert berechnen, kann man in schlaun Büchern wie dem nautischen Jahrbuch, die genaue Ausrichtung von Sonne zu Erde nachschlagen.

Messung der Sonnenhöhe

So weit die Theorie, nun kommt die Praxis. Wie wenden wir den Pendelquadranten an? Wir haben bereits herausgefunden, dass wir den Sonnenhöchststand messen müssen.

Wie halte ich dazu den Quadranten?

Stell Dich ins Freie und halte den Quadranten mit einer Hand, so dass die Kurvenfläche vertikal ausgerichtet ist, die runde Seite in Richtung Boden zeigt und Du auf das Kurvenfeld sehen kannst. Du hältst den Quadranten dann richtig, wenn der Lotfaden nicht durch die Quadrantenkante geknickt wird und auch nicht von der Kurvenfläche absteht.

Wie peile ich die Sonne an?

Ganz wichtig ist hier, dass Du wie beim Jakobsstab die Sonne NIE direkt anpeilst! Dreh Dich jetzt so weit, dass die Kurvenfläche des Quadranten gerade noch oder gerade nicht mehr von der Sonne beschienen wird. Der Quadrant muss dabei aber weiterhin so gehalten werden wie oben beschrieben. Hast Du alles richtig gemacht, ist der Quadranten nun azimuthal ausgerichtet, d.h. die Himmelsrichtung stimmt.

Als nächstes musst Du die Neigung des Quadranten ändern, bis Licht aus der oberen Peilvorrichtung (bei der Lotaufhängung) auf die Mitte der unteren Peilvorrichtung (bei den Skalen) fällt und das Fadenkreuz der oberen Peilvorrichtung auf das Kreuz der unteren Peilvorrichtung fällt. Hast du allerdings ein Stück Sonnenfilterfolie hinter die untere Peilvorrichtung geklebt, kannst u nun auch direkt die Sonne anpeilen, ohne dass deine Augen Schaden nehmen (siehe Abbildung unten). Das Lot sollte nun immer noch gerade so frei über der Kurvenfläche pendeln und zum Stillstand kommen (notfalls mit der freien Hand etwas nachhelfen).

Wie lese ich die Sonnenhöhe ab?

Halte das Lot an der runden Quadrantenkante mit dem Daumen fest (ohne es zu verschieben) und betrachte die Höhenskale auf der Kurvenfläche des Quadranten. Dort siehst Du Linien, die zur Aufhängung zeigen und zum Teil mit Zahlen beschriftet sind. Die Linien sind ganzzahlige Winkelgrade für die Höhe. Zur leichteren Orientierung sind einige Winkelgrade mit den dazugehörigen Zahlwerten angegeben. Zusätzlich gibt es schräge Linien zwischen den Gradlinien. Diese sollen helfen, Bruchteile eines Grades abzulesen. Der Schnittpunkt einer schrägen Linie mit der Mittellinie der Gradskala markiert ein halbes Grad. Nach der Peilung der Sonne liegt der Faden des Lotes auf der Höhenskala. An ihr kannst Du nun einen Wert, die Höhe der Sonne, ablesen.

Peilen und Messen mit dem Pendelquadranten (mit Sonnenfilterfolie):



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.



Aufgabe1:

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 °											

Aufgabe2:

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

Aufgabe3:

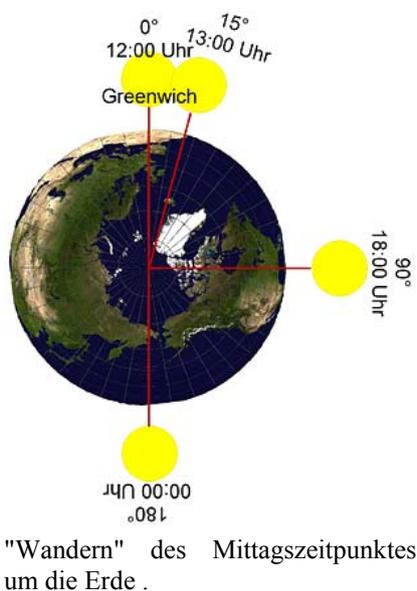
Ermittle, auf welcher geographischen Breite die Sonne heute im Zenit steht. (z.B. über das Internet) und bestimme mit Hilfe deines Diagramms, auf welcher geographischen Breite sich deine Schule befindet.

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.

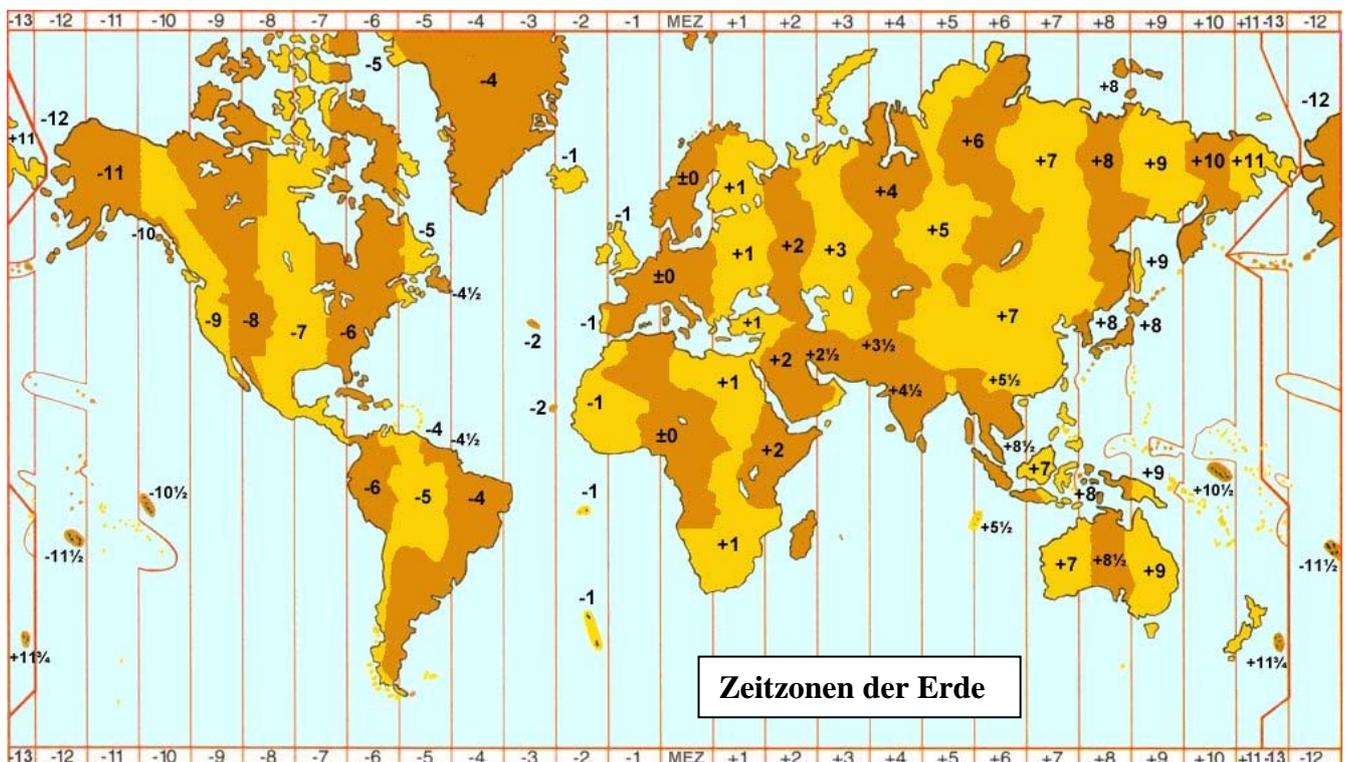
Messung der Zeit

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:

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

Wir berechnen nun erst einmal die Winterzeit unserer Zeitzone, indem wir die Differenz unseres eigenen Längengrades zum _____ 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.