

# Die Suche nach dem Längengrad



## Altersspanne

14 – 16 Jahre

## Materialien

- Arbeitsblätter
- Taschenrechner
- Bleistift
- Computer (für Software: „Längengraduhr“)
- Computer/Tablet/Smartphone mit Internetverbindung

## Stichworte

Erde, Navigation, Astronomie, Geschichte, Geografie, Sonne, Äquator, Breitengrad, Längengrad, Meridian, Himmelsnavigation, John Harrison, James Cook, Uhren

## Zusammenfassung

Die Schüler lernen, wie durch eine Zeitmessung der Längengrad auf der Erde bestimmt werden kann. Sie basteln sich dabei ihr Werkzeug teilweise selber. Sie erfahren etwas über die Geschichte der Suche nach dem Längengrad und folgen dem legendären Captain James Cook auf seiner zweiten Reise in den Pazifischen Ozean.

## Lernziele

Die Schüler lernen, dass eine Ortsbestimmung durch eine Zeitmessung erzielt werden kann. Sie wenden einfache Mathematik und astronomische Modelle zur Lösung von komplexen, abstrakten Problemen an. Dabei erfahren sie etwas über die Geschichte und Werkzeuge zur Navigation auf See.

## Einleitung

Es wäre vorteilhaft, diese Aktivität in einen größeren Kontext der Seefahrt, z. B. in den Fächern Erdkunde, Geschichte, Literatur, usw. einzubetten.

Tipp: Diese Aktivität könnte mit anderen Formen zur Aneignung von Wissen kombiniert werden, wie z. B. Vorträge zur Geschichte, Literatur oder Geografie in Verbindung zur Navigation. Das würde das Thema in einer interaktiveren Weise einleiten als durch simple Nennung der Fakten.

Tipp: Es gibt gute Dokumentationen, die die Arbeiten von John Harrison und die Geschichte der Suche nach dem Längengrad beleuchten.

Hier ist eine Auswahl:

„The Simple Geography - Koordinaten und das Gradnetz der Erde - Unser Planet 2“ (Deutsch, Dauer: 8:25)

<https://youtu.be/ieh-yGHD1HI>

„Längengrad und Breitengrad“, The Wobbix (Deutsch, Dauer: 2:02)

<https://www.youtube.com/watch?v=-1lfiQib2pM>

„Der Längengrad – Longitude“, TV-Film (Deutsch, Englisch, Dauer: 198 min)

<https://is.gd/AGQIIW>

“Longitude and latitude explained”, Australian National Maritime Museum (Englisch, Dauer: 2:33)

<https://www.youtube.com/watch?v=-8gg98ws2Eo>

“Determine Longitude”, Science Online (Englisch, Dauer 11:10)

<https://www.youtube.com/watch?v=b7yoXhbOQ3Y>

“The Clock That Changed the World (BBC History of the World)”, Leeds Museums (Englisch, Dauer 29:01)

<https://www.youtube.com/watch?v=T-g27KS0yiY>

Einige dieser Videos sollten die Schüler als Vorbereitung anschauen, entweder im Unterricht oder zuhause.

## Fragen, Antworten und Diskussion

Fragen Sie die Schüler, ob sie eine Vorstellung darüber hätten, wie lange der Mensch schon zur See fährt. Man könnte darauf hinweisen, dass der Mensch einst Inseln und isolierte Kontinente wie Australien besiedelte. Fragen Sie die Schüler, was nach ihrer Ansicht der Antrieb jener frühen Seefahrer gewesen könnte. Vielleicht kennt auch jemand historische Völker, die berühmte Seefahrer waren. Diese Idee könnte durch Nennung von Beispielen einiger antiker seefahrender Völker wie z. B. im Mittelmeer gefördert werden.

Fragen Sie die Schüler, wie sie täglich den Weg zur Schule finden. Woran orientieren sie sich, damit sie sich nicht verirren? Sobald Referenzpunkte (Gebäude, Ampeln, Kreuzungen, Haltestellen, usw.) genannt werden, fragen Sie sie, wie sich die frühen Seefahrer auf dem Meer zurecht fanden. Woran konnten sie sich orientieren? So lange sie in der Nähe der Küste blieben, haben sie Landmarken genutzt. Leuchttürme haben ebenfalls geholfen. Aber welche Orientierungspunkte gibt es auf offener See? Versuchen Sie, die Diskussion dahin zu lenken, dass astronomische Objekte wie die Sonne, der Mond oder die Sterne erwähnt werden.

Folgende Verständnisfragen leiten zum Problem der Bestimmung des Längengrads.

F: Wie sind die Zeit und die Rotation der Erde verknüpft?

F: Wie viele Stunden dauert ein Tag? Um wie viele Grad rotiert die Erde innerhalb einer Stunde?

F: Wie kann man durch Messung der Zeit den Längengrad bestimmen?

Sollten die Schüler die Dokumentation zu John Harrison gesehen haben, stellen Sie folgende Fragen.

F: Was waren die größten Hindernisse für den Bau eines nautischen Zeitmessers?

F: Welches Ereignis führte zum „Longitude Act“, einem Aufruf zur Entwicklung einer exakten Methode zur Bestimmung des Längengrads?

F: Wer löste das Problem der Bestimmung des Längengrads mit einer Uhr?

F: Woraus bestand das Uhrwerk von John Harrisons H1?

F: Worin unterscheiden sich H1 und H4?

F: Wo sind diese Uhren nun ausgestellt?

F: Welcher große Seefahrer testete und nutzte eine Kopie der H4 während seiner Weltreisen?

## Die Software: Längengraduhr

Wir haben eine JAVA-Version<sup>1</sup> dieser Uhr beigefügt, die in derselben Weise wie die gebastelte Längengraduhr funktioniert.

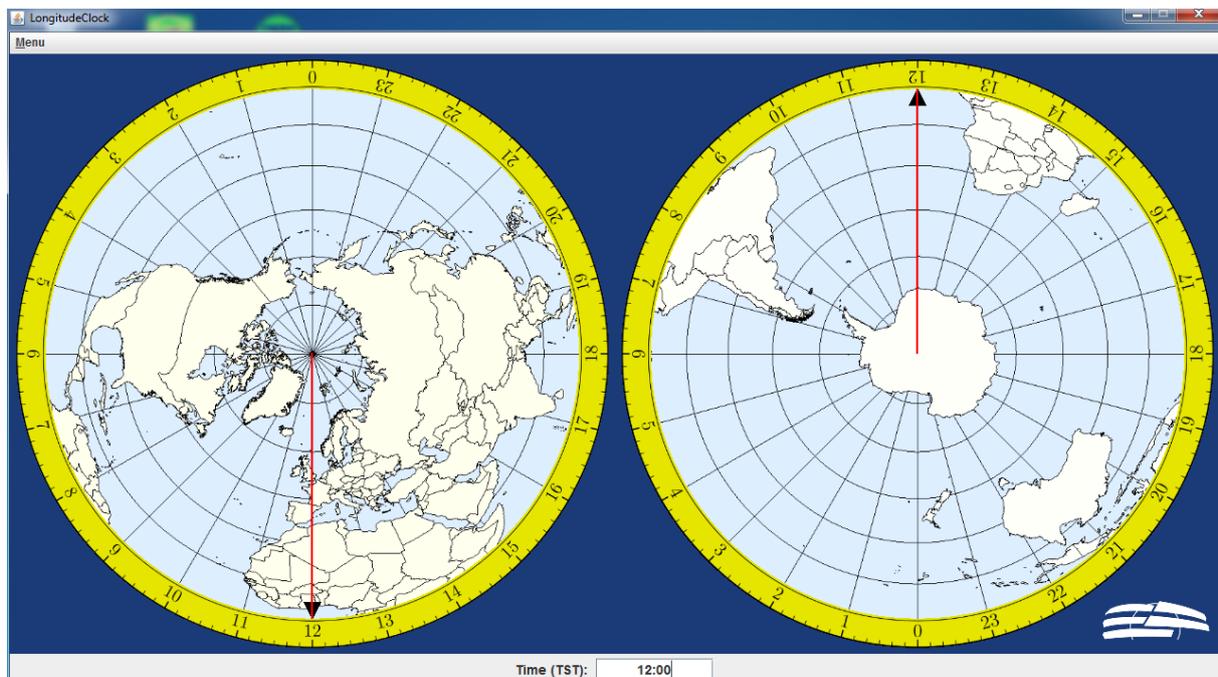


Abbildung 1: Bildschirmfoto der Software der Längengraduhr.

<sup>1</sup> programmiert von Thomas Müller, Haus der Astronomie

## Anleitung

Entpacke die Datei `LaengengradUhr.zip` in ein Verzeichnis eines Computers, auf dem Windows oder Linux installiert ist. Es wird ein neues Verzeichnis mit dem Namen `LongitudeClock` erzeugt. Öffne diese Verzeichnis und starte das passende Skript (Windows oder Linux). Eine detaillierte Anleitung ist beigefügt.

## Minimalanforderungen

- Java Version 7 oder höher
  - Grafikkarte, die OpenGL 3.3 unterstützt
- Beim Start der Anwendung wird die aktuell unterstützte OpenGL-Version in einem separaten Fenster angezeigt.

## Aktivität 1: Finde den Längengrad

Die Schülerinnen und Schüler werden mit dem Konzept vertraut gemacht, wie man mit Hilfe einer Zeitmessung den Längengrad bestimmt. Für den Zweck der Visualisierung der mathematischen Prozedur ist die Präzision ausreichend. Die Zeitauflösung ist jedoch unzureichend, um diese Uhr für die Navigation zu nutzen.

### Benötigtes Material:

- Arbeitsblatt
- Längengraduhr
- Taschenrechner
- Bleistift
- Computer (für Software: „Längengraduhr“)

Die Arbeitsblätter beinhalten eine Zusammenfassung der wichtigsten Konzepte, um diese Aktivität zu verstehen und durchzuführen.

### Einsatz der Längengraduhr

Navigiert man mit Sextant und Uhr, wird die lokale Zeit des Schiffs mit der Zeit am Nullmeridian verglichen. Zu diesem Zweck führten die Schiffe eine sehr präzise Uhr mit sich, die die Uhrzeit entlang der geografischen Länge von  $0^\circ$  anzeigt, also die Zeit am Königlichen Observatorium in Greenwich. Die Messungen wurden gewöhnlich zu Ortsmittag durchgeführt, d. h. wenn die Sonne ihre höchsten Punkt erreicht.

Der Nullmeridian ist auf der Längengraduhr angegeben. Um den Längengrad zu bestimmen, drehe man den Zeiger des Nullmeridians auf die angegebene Zeit. Der aktuelle Längengrad befindet sich dann bei der Zeitmarke von 12 Uhr. Die Längengrade sind in Abständen von jeweils  $15^\circ$  westlich und östlich des Nullmeridians eingezeichnet.

Beachten Sie, dass wir annehmen, dass die Zeiten in Wahrer Ortszeit (WOZ) angegeben sind.

## Übung

Im Arbeitsblatt befindet sich eine Tabelle mit fünf Beispielen von Zeitmessungen zum Ortsmittag (WOZ). Die Schüler benutzen die Längengraduhr, um die Zeitdifferenz und den daraus resultierenden Längengrad zu bestimmen. Jedes Ergebnis soll durch die entsprechende Rechnung gemäß den unten stehenden Gleichungen überprüft werden. Mit  $WOZ_0$  als der Wahren Ortszeit am Nullmeridian, beträgt die Zeitdifferenz zwischen dem eigenen Ortsmittag und  $WOZ_0$ :

$$\Delta t = 12 \text{ h} - WOZ_0$$

Die geografische Länge in Grad ist dann:

$$\lambda = \Delta t \cdot 15 \frac{^\circ}{\text{h}} = (12 \text{ h} - \text{WOZ}_0) \cdot 15 \frac{^\circ}{\text{h}}$$

Negative Werte bezeichnen westliche Längen, positive Werte entsprechen östlichen Längen.

Tabelle 1: Tabelle zum Eintragen der Ergebnisse.

Wahre Ortszeit in Greenwich (hh:mm)	$\Delta t$ (h)	$\lambda$ (°)
08:00		
23:00		
18:00		
00:00		
14:30		

## Aktivität 2: Die zweite Reise des Captain Cook

Mit dem Arbeitsblatt vollziehen die Schüler die zwei Reise von Captain Cook nach. Sie bestimmen Breiten- und Längengrade von sieben Positionen während seiner dreijährigen Reise und bestimmen sie auf einer Online-Karte.

### Benötigtes Material:

- Arbeitsblatt
- Taschenrechner
- Bleistift
- Computer/Tablet/Smartphone mit Internetverbindung

Die geografische Breite kann über beobachtete Himmelsobjekte bestimmt werden. Sie leitet sich aus dem Winkel zwischen der Himmelsposition jenes Objekts und dem Horizont ab, sofern dessen Position bekannt ist. Himmelsobjekte haben ihre eigenen Koordinaten. Wichtig ist in diesem Zusammenhang der Winkel zum Himmelsäquator, Deklination genannt. Lediglich an den beiden Polen fällt der Äquator mit dem Horizont zusammen.

Die geografische Breite  $\phi$  aus der Deklination  $\delta$  und der (Winkel-)Höhe  $h$  bestimmt.

$$\phi = \pm(90^\circ - h) + \delta$$

Das positive Vorzeichen vor der Klammer gilt dann, falls die Sonne ihre größte Höhe im Süden erreicht. Das negative Vorzeichen wird gewählt, falls die Sonne im Norden kulminiert. Der Vorzeichen von  $\phi$  ist positiv für nördliche und negativ für südliche Breiten. Leider ändert die Sonne ihre Deklination ständig. Sie kann aber berechnet werden. Für die sieben Messungen ist sie in der Tabelle 2 mit angegeben.

Tabelle 2: Liste der Navigationsmessungen an Bord Captain Cooks Flaggschiff HMS Resolution zu sieben Daten während seiner zweiten Reise. Die Messungen wurden jeweils zum lokalen Ortsmittag durchgeführt, also als die Sonne ihren höchsten Punkt am Tag erreichte. Die Zeiten wurden von der K1-Uhr abgelesen, die James Cook mit sich führte.

Datum	Deklination der Sonne (°)	Die Sonne steht im ...	Winkelhöhe der Sonne (°)	WOZ <sub>0</sub> (hh:mm:ss)
13. Juli 1772	21,7	Süden	61,3	12:16:24
30. Dezember 1772	-14,1	Norden	70,2	10:46:24
17. Mai 1773	19,3	Norden	29,7	00:22:48
15. August 1773	14,0	Norden	58,5	02:01:36
26. Januar 1774	-18,6	Norden	37,4	19:07:36
17. Dezember 1774	-23,4	Norden	60,0	17:05:14
30. Juli 1775	18,5	Süden	58,1	12:06:00

## Reisebericht

Captain James Cook begann seine zweite Weltreise am 13. Juli 1772. Seine Flotte bestand aus zwei Schiffen, der HMS Resolution und der HMS Adventure, letztere kommandiert von Captain Tobias Furneaux. Vor dem Setzen der Segel nahm Cook seine ersten Messungen vor.

Nach zwei Zwischenstopps auf Madeira und den Kapverden ankerte die Expedition am 30. Oktober 1772 an ihrem ersten großen südlichen Hafen. Die Schiffe navigierten um das Kap der Guten Hoffnung. Sie manövrierten sich durch Packeis und erreichten den südlichen Polarkreis am 17. Januar 1773.

Die beiden Schiffe sammelten sich am 17. Mai 1773. Von dort erkundeten sie den Pazifik, und am 15. August erreichten sie eine Insel, von wo aus der erste pazifische Inselbewohner, der Europa besuchen sollte, auf der HMS Adventure einschiffte.

Die Adventure kehrte früh nach England zurück, während Cook mit der Resolution weiter die See bereiste. Nach mehreren Versuchen, den südlichen Polarkreis zu überqueren, erreichte er seinen südlichsten Punkt am 30. Januar 1774, wo Eis die Weiterfahrt blockierte. Cook setzte seine Erkundungen des Pazifiks fort, entschloss sich dann aber doch, den Heimweg anzutreten. Er steuerte nach Osten, und seine Mannschaft sichtete Land am 17. Dezember 1774. Sie verbrachten Weihnachten in einer Bucht, die Cook später Christmas Sound taufte.

Er setzte seine Reise im Südatlantik fort und entdeckte dort Südgeorgien und die südlichen Sandwichinseln. Nach einem Zwischenstopp im südlichen Afrika erreichte das Schiff die Heimat am 30. Juli 1775.

Tabelle 2 gibt für sieben Ziele aus dem Kurzbericht die Messungen an, aus denen die Schüler sowohl den Breiten- als auch den Längengrad bestimmen sollen. Die Ergebnisse werden in Tabelle 3 eingetragen.

Für die Berechnung der Längengrade können die Gleichungen aus Aktivität 1 benutzt werden. Die Zeiten müssen dafür in Stunden mit Dezimalstellen umgerechnet werden.

Tabelle 3: Tabelle zum Eintragen der Ergebnisse.

Datum	Breite (°)	Länge (°)	Kartenposition
13. Juli 1772			
30. Dezember 1772			
17. Mai 1773			
15. August 1773			
26. Januar 1774			
17. Dezember 1774			
30. Juli 1775			

**Beispiel:**

Die erste Messung wurde an Cooks Heimathafen gemacht. Sie wurde am 13. Juli 1772 um 12:16:24 vorgenommen. Das entspricht 12 Stunden, 16 Minuten und 24 Sekunden. Um die Zeit in Stunden umzurechnen, geht man wie folgt vor:

12 Stunden

16/60 Stunden

24/3600 Stunden

Gerundet beträgt sie Summe: 12,2733 Stunden

Mit den Gleichungen aus Aktivität 1 erhält man:

$$\lambda = (12 \text{ h} - 12,2733 \text{ h}) \cdot 15 \frac{\circ}{\text{h}} = -4,1^{\circ}$$

Damit beträgt die geografische Länge  $-4,1^{\circ}$  oder  $4,1^{\circ}$  West.

Die geografische Breite berechnet man wie folgt (Nordhalbkugel, d. h. die Sonne steht im Süden):

$$\phi = (90^{\circ} - h) + \delta = (90^{\circ} - 61,3^{\circ}) + 21,7^{\circ}$$

Falls möglich, kann mit einem Online-Kartendienst die Position auf der Erde bestimmt werden. In Google Maps gibt man lediglich Breitengrad und Längengrad getrennt mit einem Komma ein. Beachte, dass in den Zahlen das Komma durch einen Punkt ersetzt werden muss (englische Schreibweise).

## Webanwendung: Himmelsnavigation mit Captain Cook (optional)

Vergleichbare Schritte können in einem Onlinespiel „Himmelsnavigation mit Captain Cook“ vollzogen werden. Der Weblink lautet:

<https://www.planet-schule.de/sf/multimedia-lernspiele-detail.php?projekt=cook>

Die Berechnungen aus Aktivität 2 werden hier grafisch im Dialog mit Captain Cook nachvollzogen.

## Abschluss

Die Schüler werden ermuntert zu diskutieren, wie genau diese Methode ist. Die Diskussion kann entlang den folgenden Fragen verlaufen.

F: Welche Schritte werden benötigt, um einen Schiffskurs auf See bestimmen?

F: Wie wird das vom Wetter beeinflusst?

F: Welche Kenntnisse sind notwendig, um ein Schiff gemäß Aktivität 2 zu navigieren?

F: Welche Kenntnisse sind erforderlich, um per GPS zu navigieren?

## Lösungsbeispiele

### Fragen, Antworten und Diskussion

*Fragen Sie die Schüler, ob sie eine Vorstellung darüber hätten, wie lange der Mensch schon zur See fährt.*

Man weiß sicher, dass Schiffe seit 3000 v. Chr. genutzt wurden, um größere Distanzen zurück zu legen. Sehr wahrscheinlich aber auch schon deutlich früher, denn Australien wurde schon vor etwa 50.000 Jahren besiedelt.

*Fragen Sie die Schüler, was nach ihrer Ansicht der Antrieb jener frühen Seefahrer gewesen könnte.*

Suche nach neuen Rohstoffen und Nahrung, Handel, Entdeckergeist, Neugier

*Fragen Sie die Schüler, wie sie täglich den Weg zur Schule finden. Woran orientieren sie sich, damit sie sich nicht verirren?*

Bekannte Landmarken wie Straßen, Gebäude, Ampeln, Kreuzungen, Haltestellen, also Referenzpunkte

*Fragen Sie sie, wie sich die frühen Seefahrer auf dem Meer zurechtfinden. Woran konnten sie sich orientieren?*

Kompass (recht späte Erfindung), Segeln entlang Küstenlinien und Leuchttürmen (Referenzpunkte), Himmelsobjekte (Sonne, Mond, Sterne)

*F: Wie sind die Zeit und die Rotation der Erde verknüpft?*

A: Die Ortszeit, wie wir sie nutzen, ist verknüpft mit dem scheinbaren täglichen Weg der Sonne. Zwei aufeinander folgende Mittagge sind durch 24 Stunden getrennt. Während dieser Zeit rotiert die Erde ungefähr einmal um ihre Achse. Diese Rotation lässt die scheinbar über den Himmel wandern. Die geografische Länge, über die die Sonne scheint, ändert sich laufend.

*F: Wie viele Stunden dauert ein Tag? Um wie viele Grad rotiert die Erde innerhalb einer Stunde?*

A: 1 Tag = 24 Stunden; 15° pro Stunde

*F: Wie kann man durch Messung der Zeit den Längengrad bestimmen?*

A: Die Zeitdifferenz in der die Sonne scheinbar an zwei beliebigen Orten den Meridian kreuzt entspricht über die Rotation der Erde der Winkeldifferenz der Längengrade dieser Orte.

*F: Was waren die größten Hindernisse für den Bau eines nautischen Zeitmessers?*

A: Sie waren zu ungenau und funktionierten auf See nicht. Die Hauptgründe sind die Schiffsbewegungen, die mit den damals üblichen Pendeln wechselwirkten, die großen Temperaturschwankungen sowie die Schmierung.

*F: Welches Ereignis führte zum „Longitude Act“, einem Aufruf zur Entwicklung einer exakten Methode zur Bestimmung des Längengrads?*

A: Das Schiffsdesaster von 1707 bei den Scilly Inseln

*F: Wer löste das Problem der Bestimmung des Längengrads mit einer Uhr?*

A: Der Uhrmacher John Harrison

F: Woraus bestand das Uhrwerk von John Harrisons H1?

A: Holz

F: Worin unterscheiden sich H1 und H4?

A: Die H1 ist eine große, schwere Uhr, während die H4 ähnlich kompakt wie eine Taschenuhr gebaut ist.

F: Wo sind diese Uhren nun ausgestellt?

A: in den Museen am Greenwich Observatory

F: Welcher große Seefahrer testete und nutzte eine Kopie der H4 während seiner Weltreisen?

A: James Cook

## Aktivität 1: Finde den Längengrad

Tabelle 4: Tabelle mit Ergebnissen aus Aktivität 1.

Wahre Ortszeit in Greenwich (hh:mm)	$\Delta t$ (h)	$\lambda$ (°)
08:00	+4	60 Ost
23:00	-11	165 West
18:00	-6	90 West
00:00	+12	180 West/Ost
14:30	-2,5	37,5 West

## Aktivität 2: Die zweite Reise des Captain Cook

Tabelle 5: Tabelle mit Ergebnissen aus Aktivität 2.

Date	Breite (°)	Länge (°)	Kartenposition
13. Juli 1772	50,4 N	4,1 W	Plymouth
30. Oktober 1772	33,9 S	18,4 O	Kap der Guten Hoffnung/Table Bay
17. Mai 1773	41,0 S	174,3 O	Queen Charlotte Sound (NZ)
15 August 1773	17,5 S	149,6 O	Tahiti
30. Januar 1774	71,2 S	106,9 W	Südlichster Punkt, nahe der Antarktis
17. Dezember 1774	53,4 S	76,3 W	Westlich von Patagonien Magellanstraße
30. Juli 1775	50,4 N	1,5 W	Ärmelkanal, nahe der Isle of Wight



## Abschluss

*F: Welche Schritte werden benötigt, um einen Schiffskurs auf See bestimmen?*

A: Entweder Peilung und Geschwindigkeit oder die Winkelhöhe der Sonne bei Ortsmittag und die Zeit am Nullmeridian

*F: Wie wird das vom Wetter beeinflusst?*

A: Die Sonne muss sichtbar sein, um die geografische Breite zum Ortsmittag messen zu können. Wind und Sturm können die Messung beeinträchtigen.

*F: Welche Kenntnisse sind notwendig, um ein Schiff gemäß Aktivität 2 zu navigieren?*

A: einfache Mathematik, Verständnis für geografische Breite und Länge, Winkelmessung von Himmelsobjekten, usw.

*F: Welche Kenntnisse sind erforderlich, um per GPS zu navigieren?*

A: sehr wenige

## Hintergrundinformation

### Breitengrad und Längengrad

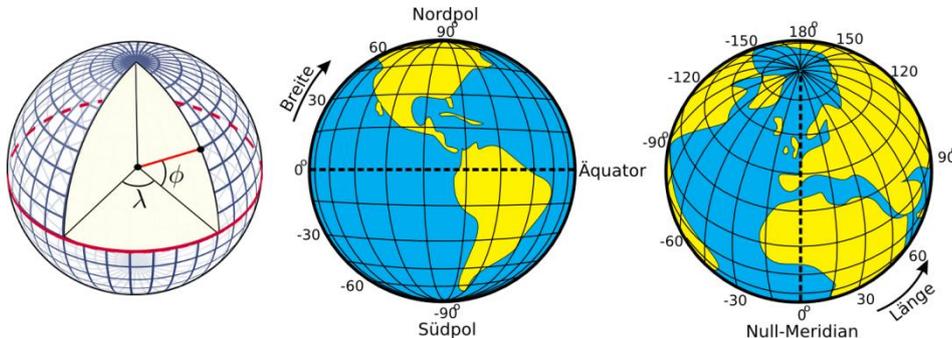


Abbildung 2: Definition der geografischen Länge und Breite (Peter Mercator, djexplo, CC0).

Jeder Punkt auf einer Fläche wird durch zwei Koordinaten eindeutig definiert. Die Oberfläche einer Kugel stellt eine gekrümmte Fläche dar. Jedoch sind Koordinaten im Stile von oben, unten, links und rechts nicht sinnvoll, da eine Kugel weder einen Anfang noch ein Ende hat. Stattdessen führt man sphärische Polarkoordinaten ein, die ihren Ursprung im Zentrum der Kugel haben. Der Radius ist dabei konstant (Abbildung 2). Es verbleiben zwei Winkelkoordinaten, die für die Erde Breitengrad und Längengrad oder auch geografische Breite und Länge genannt werden, wobei die Rotation die Symmetrieachse vorgibt. Der Nordpol ist der Punkt, an dem die gedachte Rotationsachse die Oberfläche durchstößt. Betrachtet man diesen von oben, vollzieht sich die Rotation gegen den Uhrzeigersinn. Der gegenüber liegende Punkt ist der Südpol. Der Äquator ist definiert als der Großkreis<sup>2</sup>, der auf halbem Weg zwischen den beiden Polen liegt.

Die Breitengrade sind Kreise parallel zum Äquator. Man zählt sie von 0° am Äquator bis  $\pm 90^\circ$  an den Polen. Die Längengrade sind Großkreise, die die beiden Pole der Erde verbinden. Für einen beliebigen Ort auf der Erde wird der Längengrad, der durch den Zenit geht – der Punkt senkrecht nach oben – Meridian genannt. Dies ist die Linie, die die Sonne scheinbar<sup>3</sup> zum Ortsmittag kreuzt. Der Ursprung der Längengrade wurde auf den Meridian von Greenwich festgelegt, also am Ort des Königlichen Observatoriums von England. Von dort zählt man die Längengrade von 0° bis  $\pm 180^\circ$ .

Beispiel: Heidelberg in Deutschland befindet sich bei  $49.4^\circ$  Nord und  $8.7^\circ$  Ost.

### Polhöhe

Projiziert man das Koordinatensystem mit Breiten- und Längengrad an den Himmel, so erhält man das äquatoriale Koordinatensystem des Himmels. Der Erdäquator wird zum Himmelsäquator, und die geografischen Pole werden so an die Himmelskugel verlängert, dass sie die Himmelspole ergeben. Macht man ein Foto mit einer Langzeitbelichtung des Nordhimmels, so würden wir sehen, dass die Sternstrichspuren um einen gemeinsamen Punkt kreisen. Das ist der nördliche Himmelspol (Abbildung 3).

Auf der Nordhalbkugel gibt es einen relativ hellen Stern nahe am Himmelspol, den Polarstern oder Polaris. Stünde man genau auf dem geografischen Nordpol, würde Polaris immer im Zenit stehen. Man kann sagen, dass seine Winkelhöhe (oder kurz: Höhe) dann – nahezu –  $90^\circ$  beträgt. Mit diesen Schilderungen wird das lokale, horizontale Koordinatensystem eingeführt (Abbildung 4).

<sup>2</sup> Ein Kreis mit dem Radius der Kugel

<sup>3</sup> Scheinbar in dem Sinne, dass sich tatsächlich die Erde dreht



Abbildung 3: Sternstrichspuren nach einer Belichtung von etwa 2 Stunden (Ralph Arvesen, Live Oak star trails, <https://www.flickr.com/photos/rarvesen/9494908143>, <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>)

Das ist die natürliche Referenz, die wir täglich nutzen. Wir, die Beobachter, sind der Ursprung dieses Koordinatensystems, welches sich auf einer gedachten Ebene befindet, dessen Rand der Horizont ist. Der Himmel wird als eine Halbkugel betrachtet, die sich darüber wölbt. Der Winkel zwischen einem Himmelsobjekt und dieser Ebene oder dem Horizont wird Winkelhöhe oder schlicht Höhe genannt. Die Richtung innerhalb der Ebene zu einem gedachten Punkt am Horizont ist das Azimut, welches üblicherweise von Norden aus in Uhrzeigerrichtung gemessen wird. In der Navigation wird dies auch als Peilung bezeichnet. Der Meridian ist dann die Linie, die den Nordpunkt mit dem Südpunkt am Horizont durch den Zenit verbindet.

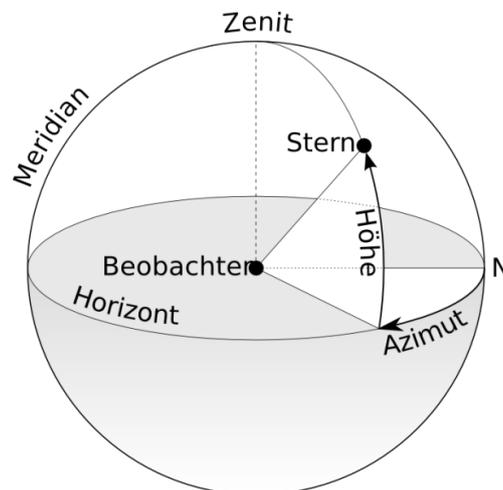


Abbildung 4: Das horizontale Koordinatensystem. Der Beobachter befindet sich im Ursprung der Koordinaten, die mit Azimut und Höhe bezeichnet werden (TWCarlson, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Azimuth-Altitude\\_schematic.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Azimuth-Altitude_schematic.svg), „Azimuth-Altitude schematic“, Übersetzung von Markus Nielbock, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

Für jede andere Position auf der Erde erscheint der Himmelspol unter einem Winkel, der geringer als  $90^\circ$  ist. Am Äquator würde er gerade eben am Horizont erscheinen, also bei einer Höhe von  $0^\circ$ . Der Zusammenhang mit dem Breitengrad (Nordpol =  $90^\circ$ , Äquator =  $0^\circ$ ) ist nicht zufällig. Abbildung 5 kombiniert die drei genannten Koordinatensysteme. Für einen beliebigen Beobachter auf der Erde berührt das lokale Horizontsystem das terrestrische, sphärische Koordinatensystem an einem tangential anliegenden Punkt. Die Grafik verdeutlicht, dass die Höhe des Himmelspols, auch Polhöhe genannt, genau der geografischen Breite des Beobachters entspricht.

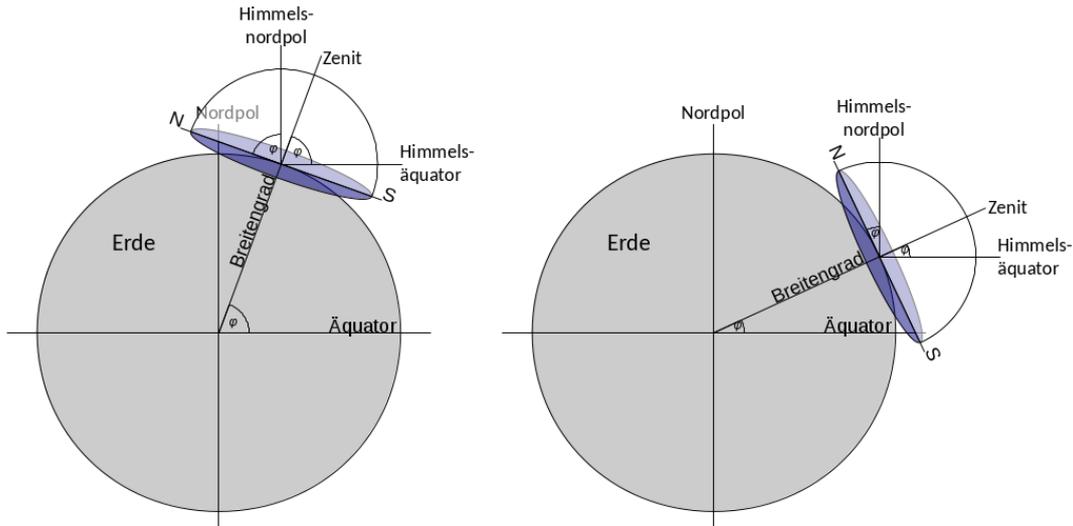


Abbildung 5: Verbindet man die drei Koordinatensysteme (sphärisch geografisch, äquatorial und horizontal), wird deutlich, dass der Breitengrad des Beobachters der Polhöhe entspricht (M. Nielbock, eigenes Werk).

### Mittlere und wahre Ortszeit

Innerhalb von etwa 24 Stunden dreht sich die Erde einmal um ihre Achse. Dies entspricht dem Weg von Position 1 zu 2 in Abbildung 6. Nach einer kompletten Rotation zeigt der Ort, der bei Position 1 zur Sonne weist, zum selben Punkt am Sternenhimmel. Während dieser Rotation bewegt sich die Erde jedoch auf ihrem Orbit um die Sonne. Daher befindet sich zu diesem Zeitpunkt die Sonne an einem anderen Ort am Himmel. Damit die Sonne wieder am selben Punkt steht (z. B. zum nächsten Ortsmittag), muss sich die Erde noch ein wenig weiter drehen (Position 3). Aus diesem Grund dauert der Sonnentag einige Minuten länger als die Erde für eine Rotation benötigt. Der Sonnentag dauert nahezu exakt 24 Stunden.

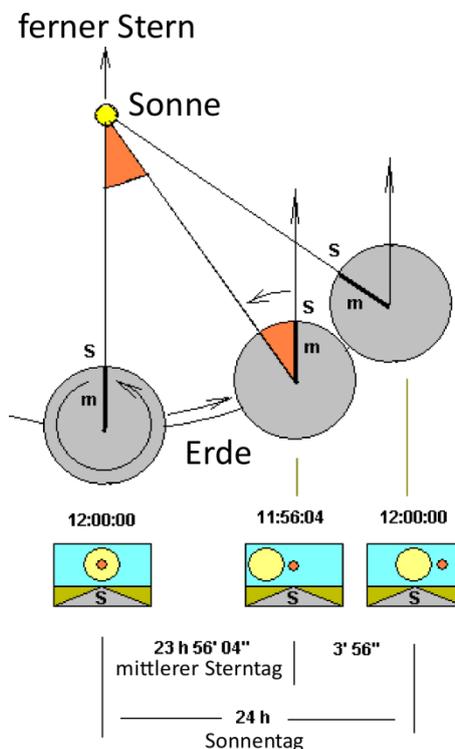


Abbildung 6: Illustration zum Unterschied zwischen dem Sonnentag und dem siderischen Tag (Francisco Javier Blanco González, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tiempo\\_sidéreo.en.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tiempo_sidéreo.en.png), Übersetzung durch M. Nielbock, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode>).

Allerdings ist die Geschwindigkeit der Erde auf ihrem Orbit um die Sonne während eines Jahres nicht konstant. Sie ist schneller am Perihel<sup>4</sup> als am Aphel<sup>5</sup>.

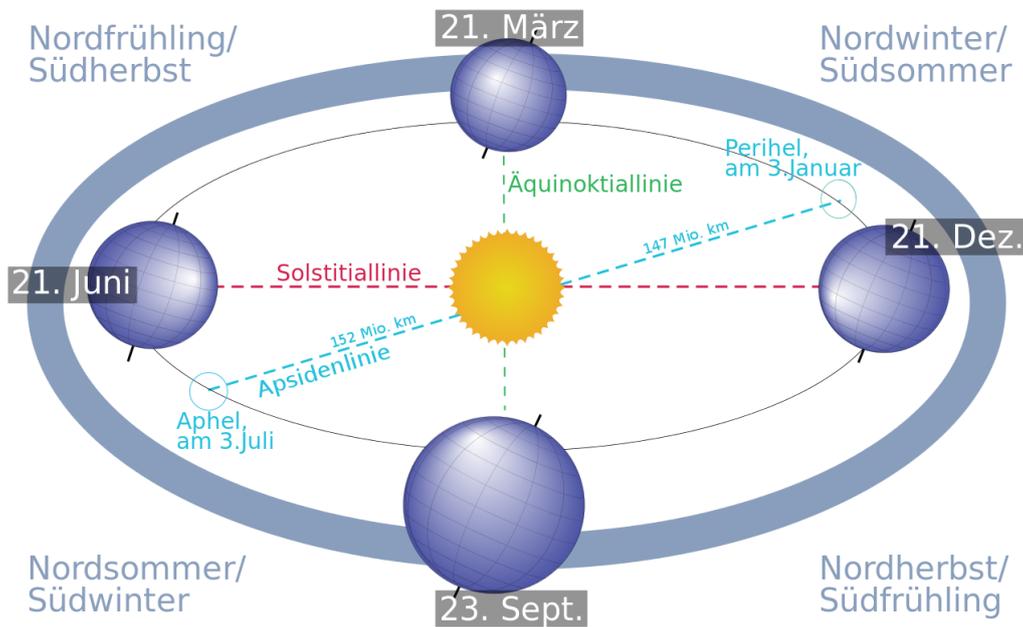


Abbildung 7: Schematische Darstellung des elliptischen Orbits der Erde um die Sonne. Die sonnennächste Position ist das Perihel, während der sonnenfernste Punkt das Aphel ist (Horst Frank, Gothika, Jonobo, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Four\\_season\\_german\\_infotext.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Four_season_german_infotext.svg), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

Deswegen variiert die Dauer des Sonnentags ständig. Dies spiegelt sich im Unterschied zwischen Wahrer Ortszeit (WOZ) und Mittlerer Ortszeit (MOZ) wider. Die WOZ bezieht sich auf den tatsächlichen scheinbaren<sup>6</sup> Lauf der Sonne am Himmel. Daher ist 12 Uhr WOZ genau dann, wenn die Sonne exakt auf dem Meridian steht.

Im Mittel dauert der Sonnentag 24 Stunden. Wenn man annimmt, dass diese Dauer für einen jeden Tag des Jahres gilt, konstruiert man auf diese Weise die Mittlere Ortszeit (MOZ). Die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation während eines Sonnentages beträgt im Mittel:

$$\omega = \frac{360^\circ}{24 \text{ h}} = 15 \frac{^\circ}{\text{h}}$$

## Lokale Zeit und Zeitzonen

Die Sonne erreicht ihren höchsten Punkt während eines Tages, wenn sie den Meridian kreuzt. Auf der Nordhalbkugel ist das im Süden, während er auf der Südhalbkugel im Norden liegt. Diese Situation definiert den Ortsmittag. Da die Erde kontinuierlich rotiert, ändert sich die scheinbare Position der Sonne am Himmel ebenfalls. Das bedeutet, dass zu einem beliebigen Zeitpunkt der Ortsmittag tatsächlich nur für einen Längengrad definiert ist. Uhren zeigen jedoch eine andere Zeit. Neben anderen Effekten liegt das an der Sommerzeit und den künstlich geschaffenen Zeitzonen. In diesem Fall ereignet sich der Mittag an vielen Längengraden gleichzeitig. Dennoch ist es offensichtlich, dass die Sonne den Meridian nicht gleichzeitig an all diesen Orten passieren kann. Daran erkennt man, dass die von gewöhnlichen Uhren angezeigte Zeit unabhängig vom natürlichen Lauf der Zeit ist, wie er beispielsweise von Sonnenuhren angezeigt wird.

<sup>4</sup> Sonnennächster Punkt auf der Bahnellipse

<sup>5</sup> Sonnenfernster Punkt auf der Bahnellipse

<sup>6</sup> Im Sinne von: eigentlich rotiert die Erde unter der Sonne hinweg

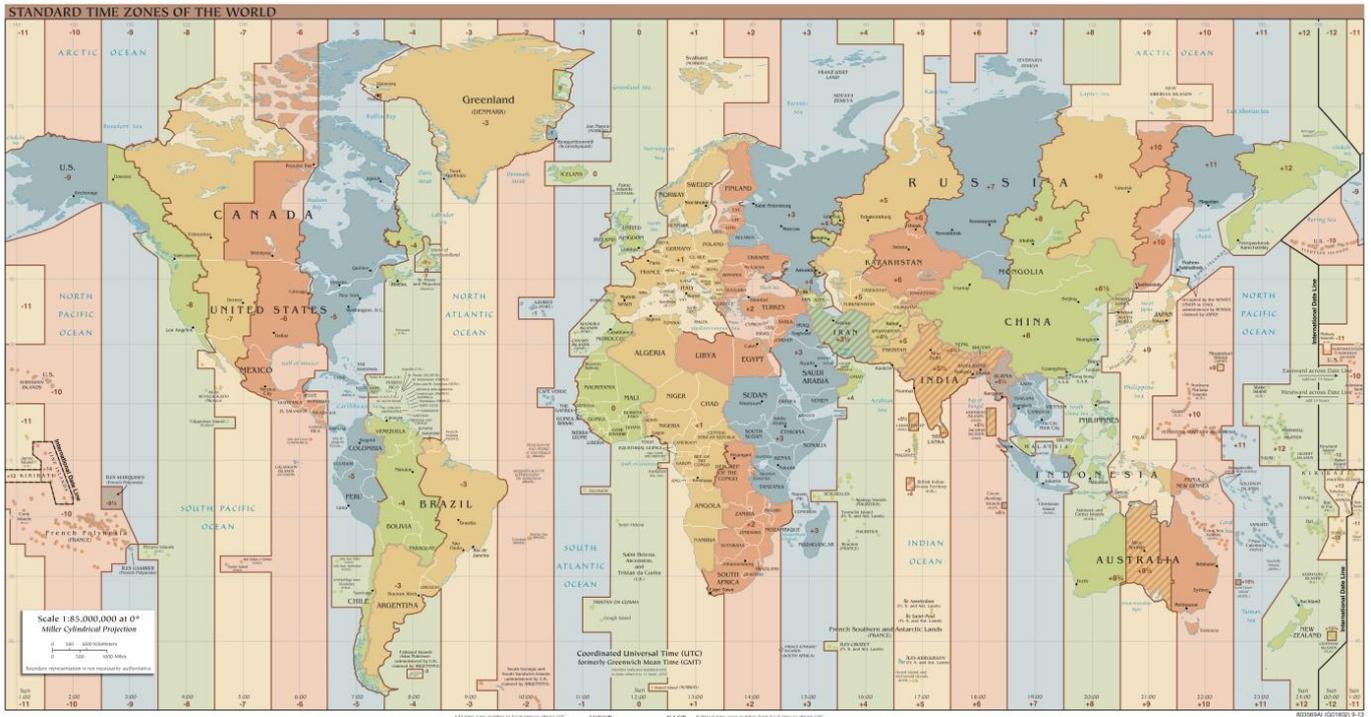


Abbildung 8: Zeitzonen der Erde. Statt der wahren Ortszeit, die auf dem scheinbaren Lauf der Sonne am Himmel basiert und stets nur für einen einzigen Längengrad gilt, zeigen gewöhnliche Uhren eine Zeit an, die auf Zeitzonen basiert. Diese bezieht sich auf viele Längengrade gleichzeitig (TimeZonesBoy, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard\\_World\\_Time\\_Zones.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard_World_Time_Zones.png), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>).

## Bestimmung des Längengrads

Mit Hilfe dieser Rotationsrate lässt sich der Längengrad bestimmen, falls sowohl die Zeit am Nullmeridian als auch die lokale Zeit bekannt sind. Berechnet man die Differenz zwischen diesen Zeiten in Stunden, ermittelt man den Längengrad mittels Dividieren durch 15.

Mehrere Methoden wurden im Laufe der Geschichte versucht und genutzt, diese Zeitdifferenz zu bestimmen. Viele davon beinhalten die exakte Voraussage von astronomischen Ereignissen, die von vielen Orten auf der Erde gesehen werden können (Finsternisse, Mondstrecken zu bekannten Sternen, Konstellationen der Galileischen Monde des Jupiter). Auf Schiffsreisen wurde Tabellen mitgeführt, die deren Zeitpunkt für eine geografische Länge von 0° angaben. Doch erwiesen sich diese Methoden oft als wenig praktikabel, da sie Beobachtungen auf einem schwankenden Schiff beinhalteten.

Der Durchbruch kam mit John Harrison, einem Uhrmacher des 18. Jahrhunderts, der äußerst genaue Uhren erfand und baute, die sogar auf Schiffen funktionierten. Seine vierte Uhr dieser Reihe, die H4, hatte das Design einer modernen Taschenuhr, die ständig die WOZ von Greenwich, oder präziser, des Nullmeridians anzeigte.

Die Aufgabe des Navigators bestand lediglich darin, die lokale WOZ zu bestimmen, was üblicherweise zum Ortsmittag geschah, wenn die Sonne ihren höchsten Stand beim Kreuzen des Meridians erreicht. Die Zeitdifferenz zwischen dem lokalen Ortsmittag und der WOZ des Nullmeridians ( $WOZ_0$ ) beträgt:

$$\Delta t = 12 \text{ h} - WOZ_0$$

Die geografische Länge in Grad ist dann:

$$\lambda = \Delta t \cdot 15 \frac{^\circ}{\text{h}} = (12 \text{ h} - WOZ_0) \cdot 15 \frac{^\circ}{\text{h}}$$

## Die Suche nach dem Längengrad

Während die Bestimmung des Breitengrads relativ einfach ist, stellten Werkzeuge und Methoden zur Bestimmung des Längengrads lange ein beträchtliches Problem in der Navigation dar. Bis ins 18. Jh. konnten Navigatoren meist lediglich auf ihre Erfahrung vertrauen. Die einzige einigermaßen funktionierende Methode, die bereits von den frühen europäischen Entdeckern wie Christoph Columbus eingesetzt wurde, ist die Koppelnavigation (engl.: dead reckoning), auch Gissen genannt. Diese Methode wird genutzt, um den Kurs des Schiffs durch wiederholtes Messen von Peilung und Geschwindigkeit zu bestimmen. Die dazu eingesetzten Werkzeuge waren der Kompass und das Log. Letzteres besteht aus einem einfachen Holzbrett, das an einem langen Tau befestigt ist, welches auf einer Trommel aufgewickelt ist. Dieses Tau besaß Knoten in festen Abständen. Wirft man das Log über Bord, entrollt sich das Tau. Zählt man die passierenden Knoten für eine festgelegte Zeit, erhält man die Geschwindigkeit des Schiffs in Knoten (Seemeilen pro Stunde).



Abbildung 9: Kupferstich aus dem 18. Jh., dass den Untergang der HMS Association bei den Scilly Islands 1707 zeigt ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HMS\\_Association\\_\(1697\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HMS_Association_(1697).jpg), public domain).

Leider verfälschen verschiedene Einflüsse auf hoher See (Wind, Strömungen) Kurs und Geschwindigkeit. Diese Einflüsse sind schwer abzuschätzen, was oft zu fehlerhaften Bestimmungen und nicht selten zu katastrophalen Ereignissen führte.

Ein besonders einschneidendes Beispiel ist der Verlust einer britischen Flotte bei den Scilly Inseln im Jahre 1707. Am 22. Oktober 1707 glaubten die Navigatoren an Bord des Flaggschiffs des Oberkommandierenden der britischen Marine, Sir Cloudesley Shovell, der HMS Association, sie würden soeben in den Ärmelkanal nahe der Bretagne einfahren. Allerdings gehörte die gesichtete Insel zu den Scilly Inseln westlich von Cornwall (Sobel, 2013). Als sie ihren Fehler bemerkten, war es bereits zu spät. Vier der fünf Schiffe sanken und mit Ihnen etwa 1500 Seeleute. Der Legende nach wurde Shovell, der sich gerade noch an Land retten konnte, von einer Strandpiratin wegen eines kostbaren Rings an seiner Hand erschlagen (Pickwell, 1973; Sobel, 2013).

Diese Katastrophe in der Seefahrt war wahrscheinlich das Ereignis, das die britische Regierung davon überzeugte, dass eine bessere Methode zur Bestimmung des Längengrads notwendig war. Im Jahre 1714 wurde vom Parlament des Vereinigten Königreichs der „Longitude Act“ verabschiedet (Higgitt & Dunn, 2015; Sobel, 2013). Er wies

eine Belohnung von £ 20.000 für denjenigen aus, der eine Methode fand, die es Navigatoren erlaubt, den Längengrad innerhalb eines halben Grads zu bestimmen. Ein Ausschuss beriet und entschied über die Eingaben.

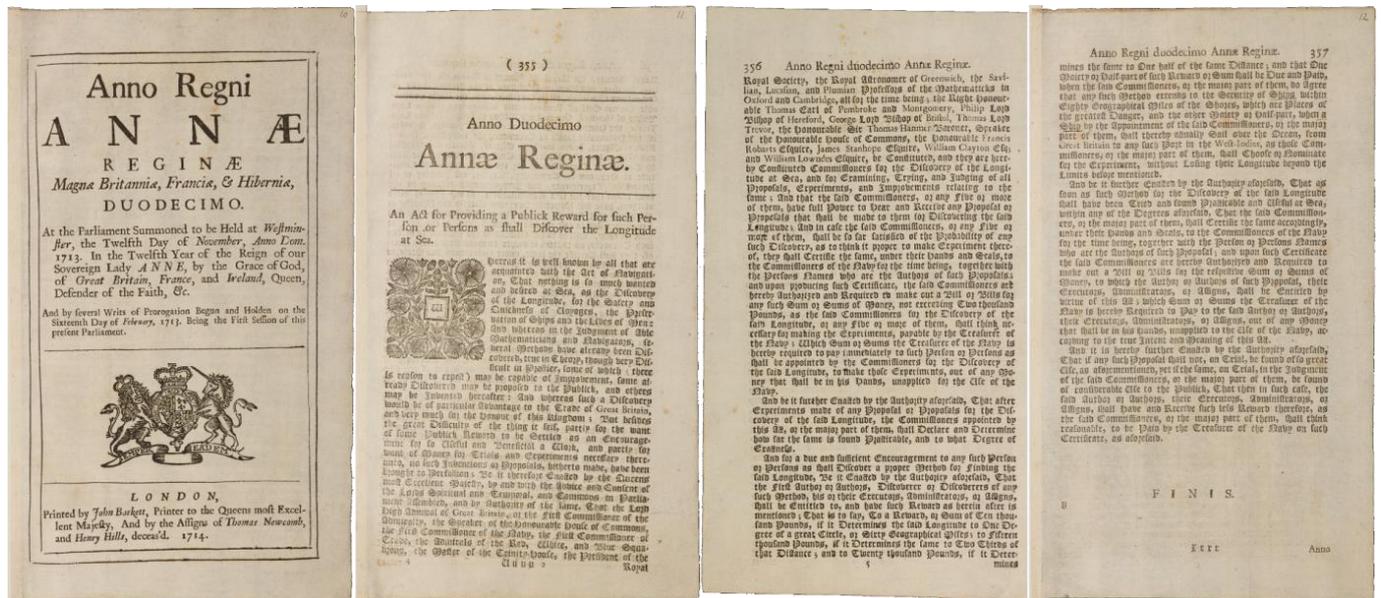


Abbildung 10: Abschrift der Urversion des Längengrad-Gesetzes von 1714 (Cambridge University Library, <https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-RGO-00014-00001/19>, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/legalcode>).

Astronomische Methoden waren vorhanden, doch sie waren entweder nicht genau genug oder für die Schifffahrt unpraktisch. Eines hatten sie jedoch gemeinsam: Die Bestimmung der Zeitdifferenz der Wahren Ortszeiten des Nullmeridians und der eigenen Position. Dadurch kann man den Winkel bestimmen, den die Erde zwischen den Ortsmittagen der beiden Längengrade rotiert hat.

Die vielversprechendste Methode war die der Mondstanzungen. Jedoch waren weder die exakte Bahn des Mondes noch die Sternörter genau genug bekannt, um eine ausreichende Genauigkeit der Bestimmung des Längengrads zu erzielen. Um diese Situation zu verbessern, wurden in Europa mehrere neue Sternwarten gegründet.

Eine viel einfachere Methode wäre es gewesen, eine Uhr mit auf die Reise zu nehmen, die stets die Zeit des Nullmeridians anzeigt. Allerdings waren die Uhren des frühen 18. Jh. weder genau genug noch für Seereisen geeignet. Dies alles änderte sich mit einer Person: John Harrison

### John Harrison

John Harrison war ein außerordentlich versierter englischer Uhrmacher des 18. Jahrhunderts. Er machte viele Erfindungen (Taylor & Wolfendale, 2007), die den Weg zu den Seechronometern ebneten, die die Navigation revolutionierten (Royal Museums Greenwich, 2015; Sobel, 2013).

Nachdem er mehrere Pendel- und Kirchturmuhren mit einer bis dahin unerreichten Genauigkeit und Langlebigkeit baute, die zudem nur wenig Wartung beanspruchten (McArthur-Christie, 2015), präsentierte er 1735 seinen ersten nautischen Zeitmesser, die **H1** (Betts, 2006; Sobel, 2013). Seine Tauglichkeit wurde erfolgreich während einer Seereise nach Lissabon und zurück überprüft. Harrison bekam daraufhin mehrere Zuschüsse vom eingesetzten Ausschuss über den Längengrad, um seine Arbeit fortzusetzen und das Modell zu verfeinern. Schließlich konnte er 1759 eine revolutionär neue Konstruktion einer kompakten Uhr vorstellen, die **H4** (Shepherd, 2013). Sein Sohn, William, nahm sie mit auf eine Überfahrt nach Jamaika, die ihre außergewöhnliche Eignung demonstrierte. Die Uhr ging nach 81 Tagen auf See lediglich fünf Sekunden nach (Sobel, 2013).

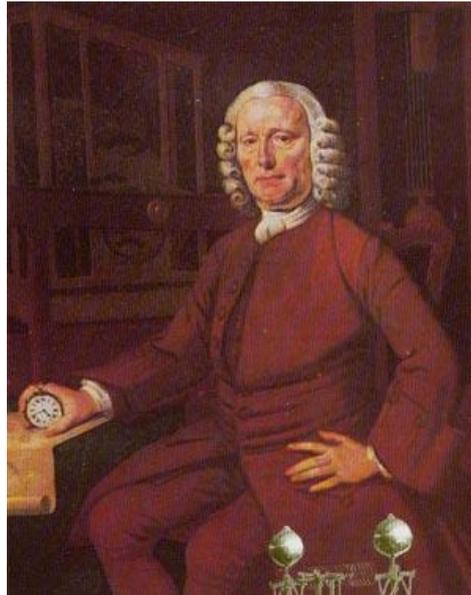


Abbildung 11: Portrait von John Harrison (Ölgemälde von Thomas King, 1767, Science Museum, London, UK).

## Captain James Cook

Captain James Cook war ein britischer Forschungsreisender, Navigator und Kartograph des 18. Jahrhunderts und Kapitän der königlichen Marine. Er wurde durch seine drei Reisen durch den Pazifik berühmt. Auf seiner ersten Reise konnte Cook als Erster die gesamte Küste von Neuseeland und die Ostküste von Australien kartieren. Er machte auch als erster Europäer Bekanntschaft mit den dort lebenden Aborigines. Er landete an einem Ort, den man heute als Botany Bay nahe Sydney kennt (Cook, 2014).



Abbildung 12: Portrait von Captain James Cook (Ölgemälde von Nathaniel Dance-Holland, 1775-1776, National Maritime Museum, London, UK).

Jedoch ist für unsere Zwecke Cooks zweite Reise (Abbildung 13) von 1772 bis 1775 bedeutsam (Cook, 1772). Er nahm eine Kopie von John Harrisons H4 mit, um ihre Genauigkeit und ihre Fähigkeit zur Bestimmung des Längengrads zu ermitteln. Diese Kopie wurde 1769 von Larcum Kendall gebaut und ist als [K1](#) bekannt (Betts, 2006). Sie zeigte sich als sehr zuverlässig trug zum Erfolg der Uhren zur Bestimmung des Längengrads bei. Diese Methode hat sicher auch eine wesentliche Rolle beim Erfolg des Britischen Imperiums gespielt, das hauptsächlich auf der Fähigkeit basierte, die Ozeane und den interkontinentalen Handel zu kontrollieren.

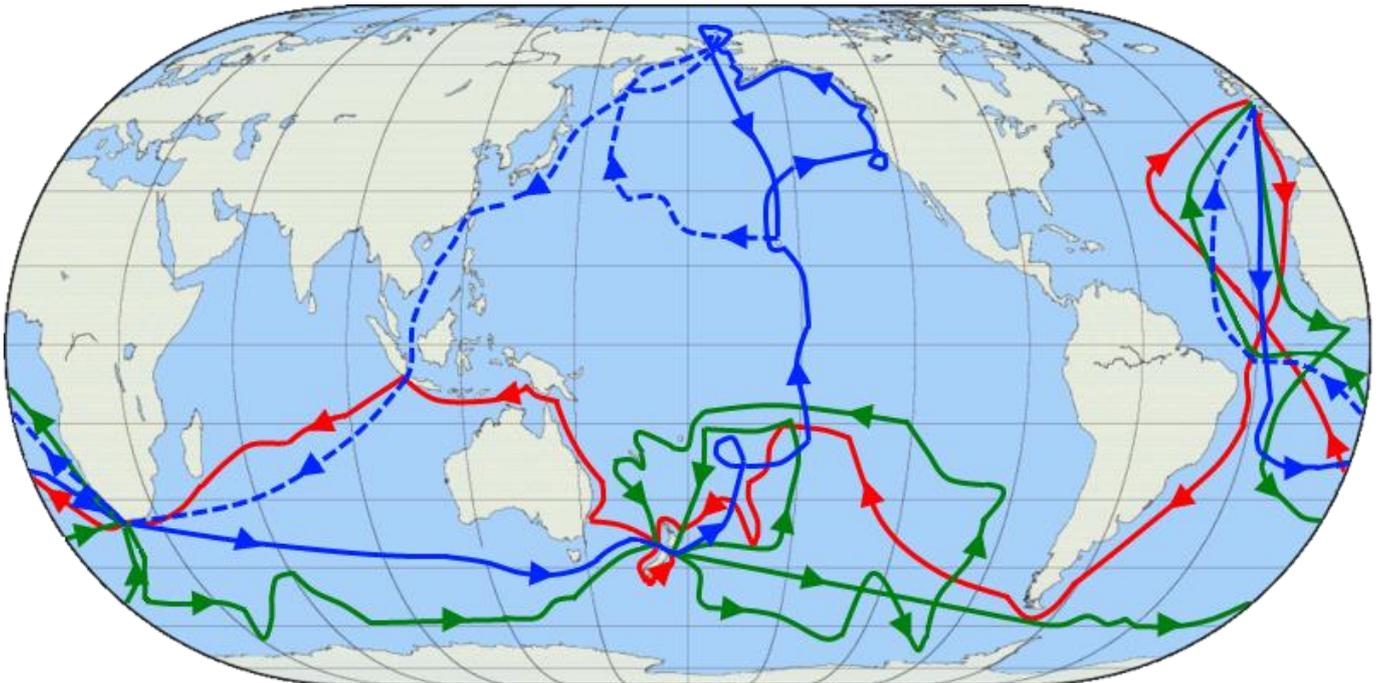


Abbildung 13: Karte der drei Reisen von Captain James Cook. Die erste Reise ist in rot dargestellt, die zweite in grün und die dritte in blau. Die Route nach seinem Tod ist als gestrichelte Linie wiedergegeben (Jon Platek. Blank map by en:User:Reisio. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cook\\_Three\\_Voyages\\_59.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cook_Three_Voyages_59.png), „Cook Three Voyages 59“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

## Literatur

- Betts, J. (2006). *Time Restored: The Harrison timekeepers and R.T. Gould, the man who knew (almost) everything*. Oxford University Press.
- Cook, J. (1772). *Journal of Captain Cook's voyage round the world in HMS Resolution* (Journal). National Maritime Museum. Abgerufen von <http://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-JOD-00020/1>
- Cook, J. (2014). *Captain Cook's Journal during his First Voyage round the World, made in H.M. Bark Endeavour, 1768–71*. (W. J. Lloyd Wharton, Hrsg.). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Higgitt, R., & Dunn, R. (2015). Introduction. In R. Dunn & R. Higgitt (Hrsg.), *Navigational Enterprises in Europe and its Empires, 1730-1850* (S. 1–10). Palgrave Macmillan.
- McArthur-Christie, M. (2015). The 240 Year Old Pendulum Clock That's More Accurate Than your Watch. Abgerufen 25. Juli 2016, von <http://wornandwound.com/the-240-year-old-pendulum-clock-thats-more-accurate-than-your-watch/>
- Pickwell, J. G. (1973). Improbable Legends surrounding Sir Cloudesley Shovell. *The Mariner's Mirror*, 59(2), 221–223. <https://doi.org/10.1080/00253359.1973.10657899>
- Royal Museums Greenwich. (2015). Longitude found: John Harrison. Abgerufen 25. Juli 2016, von <http://www.rmg.co.uk/discover/explore/longitude-found-john-harrison>
- Shepherd, D. (2013). Our Trusty friend, the Watch. In *Mapping Our World: Terra Incognita to Australia* (S. 185). National Library of Australia.
- Sobel, D. (2013). *Längengrad (Longitude)*. (M. Fienbork, Übers.) (Paperback). Munich: Piper Verlag GmbH.
- Taylor, J. C., & Wolfendale, A. W. (2007). John Harrison: clockmaker and Copley Medalist. A public memorial at last. *The Royal Society Journal of the History of Science: Notes and Records*, 61(1), 53–62. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2006.0164>

## Glossar

### Elevation

Winkelabstand zwischen einem Himmelsobjekt und dem Horizont.

### Gnomon

Jedes Objekt, das einen Schatten wirft.

### Großkreis

Ein Kreis auf einer Kugel, deren Radius mit dem Radius der Kugel identisch ist.

### Himmelsrichtungen

Hauptrichtungen, d.h. Nord, Süd, West, West, Ost

### Kulmination

Durchgang von Himmelskörpern durch den Meridian. Diese Objekte erreichen dort ihre höchste oder niedrigste Höhe.

### Meridian

Eine Linie, die Nord und Süd am Horizont über den Zenit verbindet.

### Polhöhe

Elevation eines Himmelspols. Sein Wert ist identisch mit dem Breitengrad des Beobachters auf der Erde.

### Präzession

Neben der Rotation eines drehenden Körpers bewegt sich die Rotationsachse oft auch im Raum. Dies wird als Präzession bezeichnet. Dadurch ändert die Rotationsachse ständig ihre Ausrichtung und zeigt auf verschiedene Punkte im Raum. Der vollständige Zyklus der Präzession der Erdachse dauert etwa 26.000 Jahre.

### Scheinbare Bewegung

Bewegung von Himmelsobjekten, die tatsächlich durch die Rotation der Erde verursacht wird.

### Sphärische Polarkoordinaten

Das natürliche Koordinatensystem einer flachen Ebene ist kartesisch und misst Entfernungen in zwei Richtungen (vorwärts, rückwärts, links, rechts). Für eine Sphäre ist das nicht sehr nützlich, weil sie weder Anfang noch Ende hat. Stattdessen ist der Fixpunkt das Zentrum der Kugel. Wenn man von der zentralen Position aus nach außen projiziert, kann jeder Punkt auf der Oberfläche der Kugel durch zwei Winkel bestimmt werden, wobei einer von ihnen mit der Symmetrieachse in Beziehung steht. Diese Achse definiert zwei Pole. Hinzu kommt der Radius, der die dritte Dimension des Raumes repräsentiert, der es erlaubt, jeden Punkt innerhalb einer Kugel zu bestimmen. Hiermit werden die sphärischen Polarkoordinaten definiert. Bei der Definition von Punkten auf der Oberfläche einer Kugel bleibt der Radius konstant.

### Sonnenuhr

Ein Stab, der von der Sonne beleuchtet wird und einen Schatten wirft. Die Orientierung und Länge des Schattens erlaubt es, Zeit und geografische Breite zu bestimmen.



## Tagundnachtgleiche

Dies ist die Konfiguration, wenn die Sonne den Äquator anscheinend überquert. Dies geschieht zweimal im Jahr. Zu diesen Zeitpunkten befindet sich die Sonne am Erdäquator genau im Zenit. Diese beiden Daten definieren den Beginn des Frühlings und des Herbstes.

## Zenit

Punkt am Himmel direkt über uns.

## Zirkumpolar

Eigenschaft von Himmelsobjekten, die nie den Horizont unterschreiten.

Dieses Material gehört zu einer größeren didaktischen Sammlung genannt „Navigation im Laufe der Geschichte“ die verschiedene historische und moderne Navigationstechniken beleuchtet.