

Am 22. Oktober 1707 kamen 1647 Seeleute der Royal Navy ums Leben, als die Schiffe ihrer Flotte auf der Heimreise gegen die Klippen der Scilly-Inseln vor der Südwestspitze Englands fuhren und innerhalb weniger Minuten sanken. »Dieses Unglück, das auf Fehler beim Ermitteln der Breite und Länge zurückzuführen war, machte das britische Parlament auf das Längengradproblem aufmerksam.« (Sobel/Andrewes, S. 23)

## Das Längengrad-Problem

Bestimmung der geographischen Breite mit Quadrant und Polarstern und der geographischen Länge mit einem Chronometer zur Anzeige der Greenwich-Zeit

Eine themenspezifische Materialsammlung

Jochen Sicars • [j.sicars@t-online.de](mailto:j.sicars@t-online.de) • [www.sicars-didactica.de](http://www.sicars-didactica.de)

## Struktur und Inhalt

1. Definition von Breiten- und Längengraden
2. Breitenkreise und Breitengrade
  - I. Breitengrade bei Ost-West-Ansicht der Erde
  - II. Breitengrade bei Nord-Süd-Ansicht auf die Erde
  - III. Der 50. Breitengrad (Mainz)
  - IV. Bestimmung des Breitengrades mit Hilfe eines Quadranten
  - V. Warum die Lichtstrahlen des Polarsterns im erdnahen Bereich parallel verlaufen
  - VI. Wie man den Polarstern findet
3. Längenkreise und Längengrade
  - I. Längenkreise, Meridiane und Zeitzonen
  - II. Längenkreise und die Erddrehung von West nach Ost
4. Bestimmung des Längengrades mit einer Schiffsuhr

### Definitionen: Breiten- und Längengrad

$\varphi$  ... Breitengrad-Winkel – Beispiel:  $\varphi = 30^\circ$

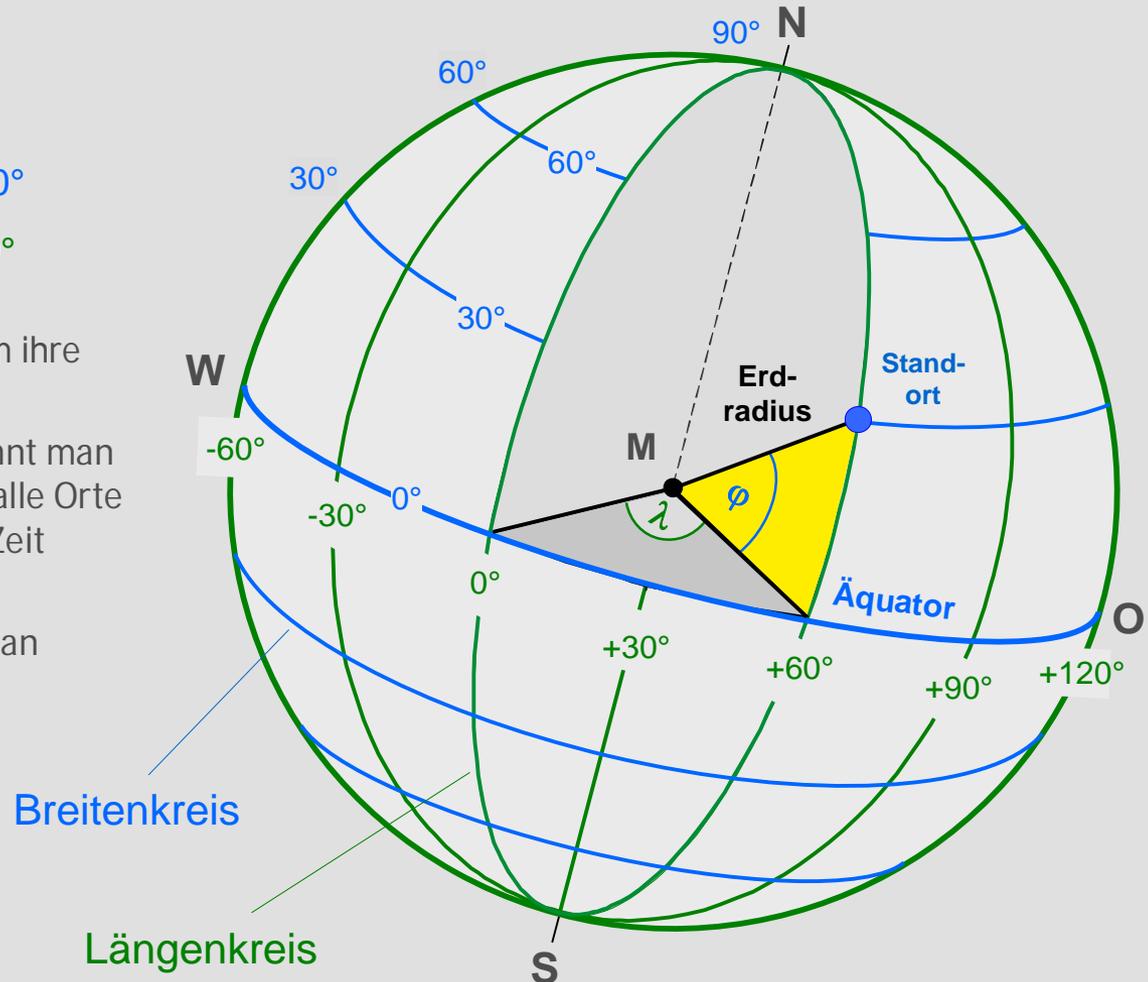
$\lambda$  ... Längengrad-Winkel – Beispiel:  $\lambda = 60^\circ$

Die Erde dreht sich mit den **Längengraden** um ihre eigene Achse von Westen nach Osten.

Den **Längengrad** zwischen den Polen nennt man **Meridian**. Meridian heißt Mittagslinie, denn alle Orte auf demselben Meridian haben zur gleichen Zeit Mittag.

Oder allgemeiner: Alle Orte auf einem Meridian haben stets die gleiche Zeit.

**M** ... Mittelpunkt der Erde



<sup>1</sup> Wikipedia: Geographische Breite

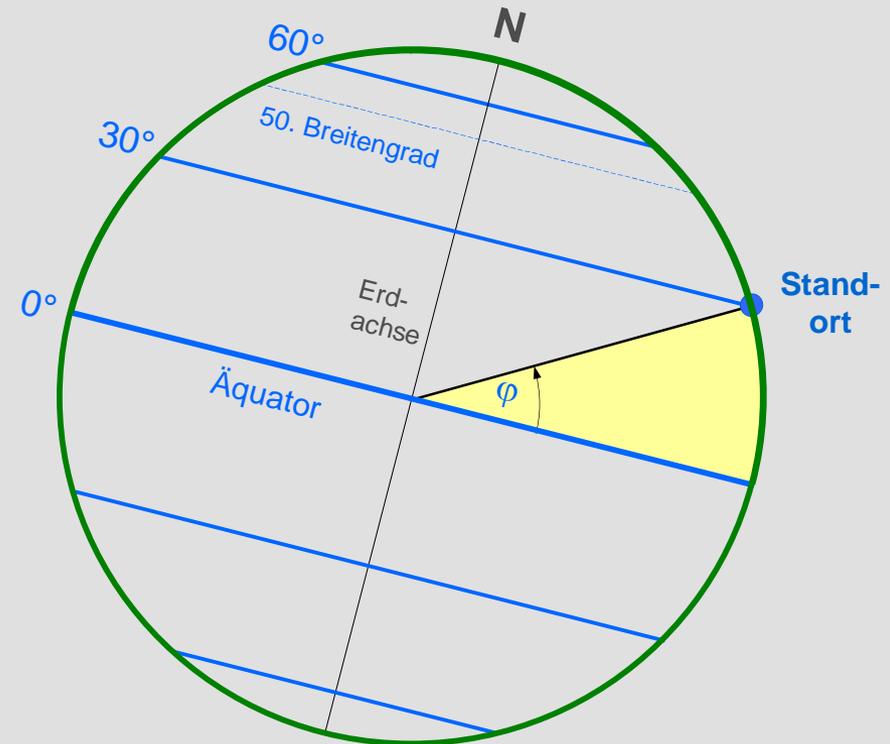
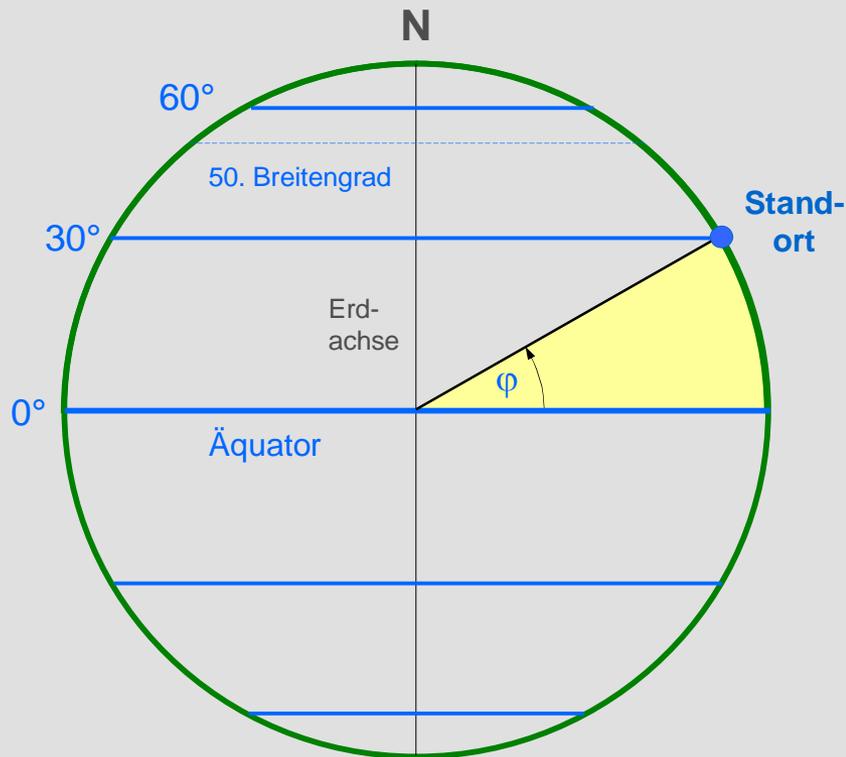


Wir betrachten im Folgenden zunächst  
allein die **Breitengrade**.

### Breitengrade bei Blick in Ost-West-Richtung auf die Erde

ohne Schrägstellung der Erdachse

mit Schrägstellung der Erdachse



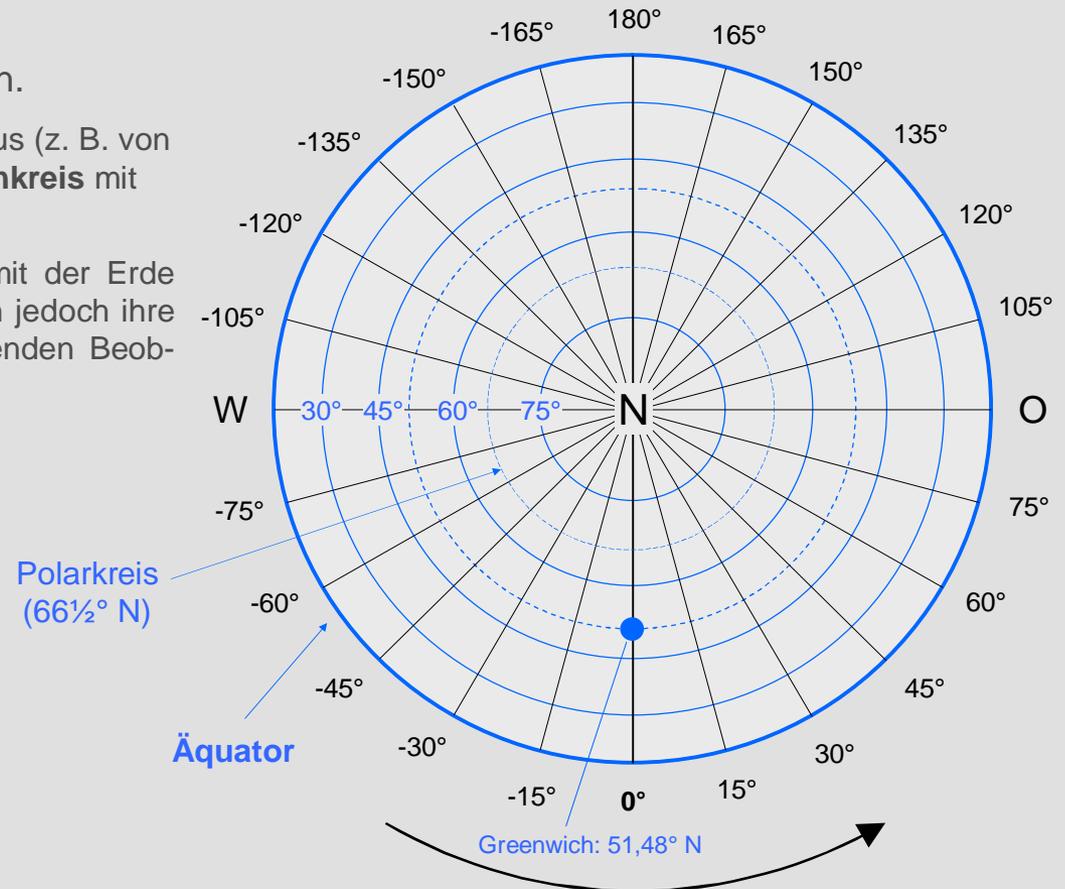
### Breitengrade bei Blick auf den Nordpol von oben

Die Erde dreht sich von Westen nach Osten.

Von einem außenstehenden ruhenden Standort aus (z. B. von der Sonne aus) betrachtet dreht sich jeder **Längengreis** mit der Erde und um  $15^\circ$  pro Stunde.

Die **Breitenkreise** drehen sich zwar ebenfalls mit der Erde und damit auch die Orte auf ihnen, sie verändern jedoch ihre Position gegenüber einem außenstehenden ruhenden Beobachter nicht in Abhängigkeit von der Zeit.

- Längengreise
- Breitenkreise

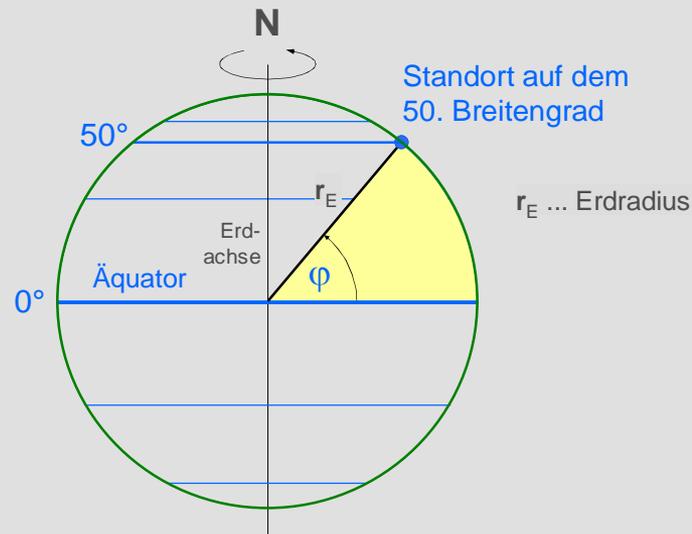


Die Erde dreht sich von Westen nach Osten.



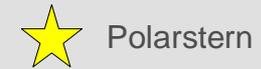
Der 50. Breitengrad in Mainz

Wir gehen im Folgenden von einem Standort auf dem 50. Breitengrad aus (z. B. Mainz) und betrachten dazu die Nordhalbkugel der Erde ohne Schrägstellung der Erdachse.



### Bestimmung des Breitengrades mit Hilfe eines Quadranten

Lichtstrahlen vom sehr weit entfernten Polarstern verlaufen im erdnahen Bereich parallel

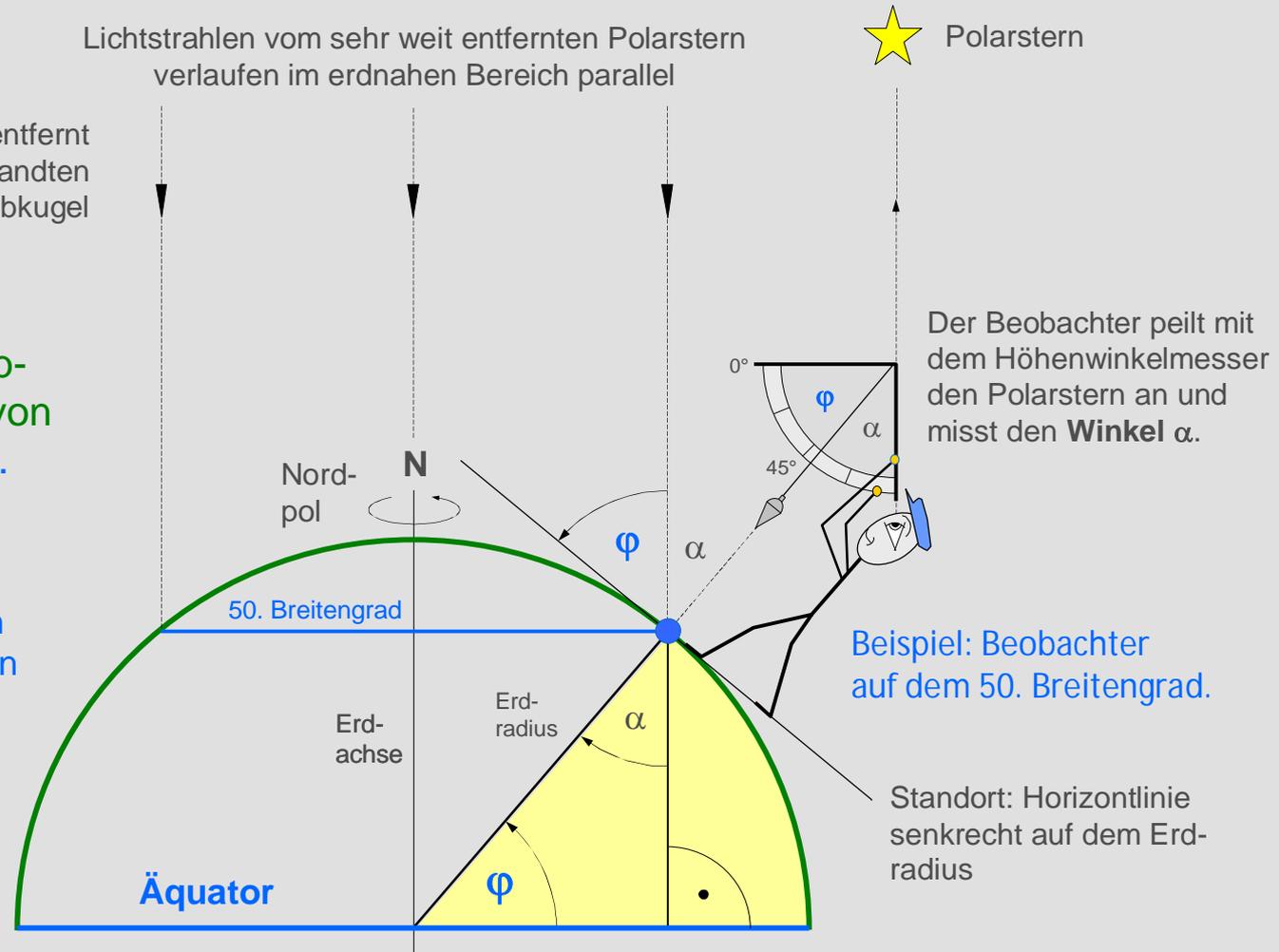


Da der Polarstern sehr weit entfernt ist, treffen die von ihm ausgesandten Lichtstrahlen auf der Nordhalbkugel der Erde parallel auf.

Wir betrachten die Nordhalbkugel der Erde und gehen von einem Standort auf dem 50. Breitengrad aus

Mit Hilfe des Winkels  $\alpha$  kann der Breitengradwinkel  $\varphi$  dann wie folgt berechnet werden:

$$\varphi = 90^\circ - \alpha$$



### Warum die Lichtstrahlen des Polarsterns im erdnahen Bereich parallel verlaufen

Aufgrund der sehr großen Entfernung des Polarsterns von der Erde (ca. 460 Lichtjahre) treffen die vom Polarstern ausgesandten Lichtstrahlen so gut wie parallel auf die Nordhalbkugel auf. Damit verlaufen auch alle Sehstrahlen, die von irgendeinem Ort auf der Nordhalbkugel aus auf den Polarster gerichtet sind, parallel.

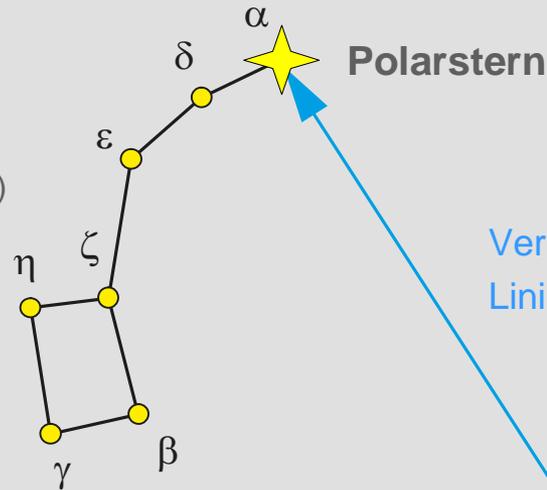


<sup>1</sup> Wikipedia *Polarstern*: 431 ± 27 Lichtjahre • dtv-Atlas Astronomie: 470 Lichtjahre

**Achtung: Nichtmaßstäbliche Darstellung!**

Wie man den **Polarstern** findet

Kleiner Bär  
(auch: kleiner Wagen)



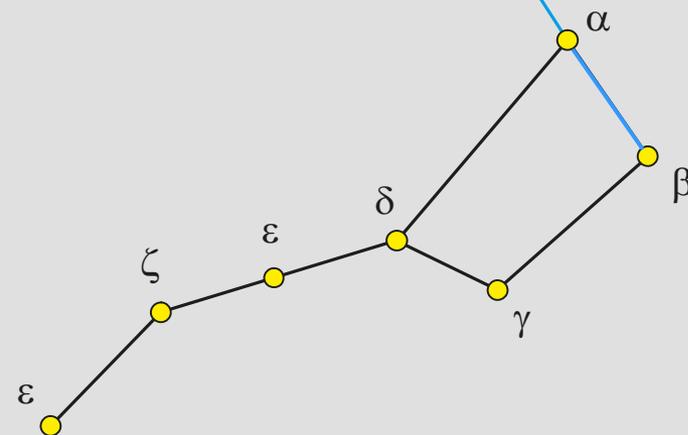
Verlängerung der gedachten  
Linie von  $\beta$  nach  $\alpha$ .

Der Polarstern ist der hellste Stern im Sternbild Kleiner Bär.

Um den Polarstern zu finden geht man am besten von dem Sternbild Großer Bär (auch: Großer Wagen) aus, weil er sehr deutlich und in nördlichen Breiten ganzjährig am Himmel zu sehen ist.

Verlängert man die **gedachte Verbindungslinie zwischen den beiden hellen hinteren Sternen  $\beta$  und  $\alpha$**  des Großen Wagens um etwa das Fünffache, gelangt man fast direkt zum Polarstern, der ca. 1,5 Mond-durchmesser neben der gedachten Linie liegt.<sup>1</sup>

Großer Bär  
(auch: großer Wagen)

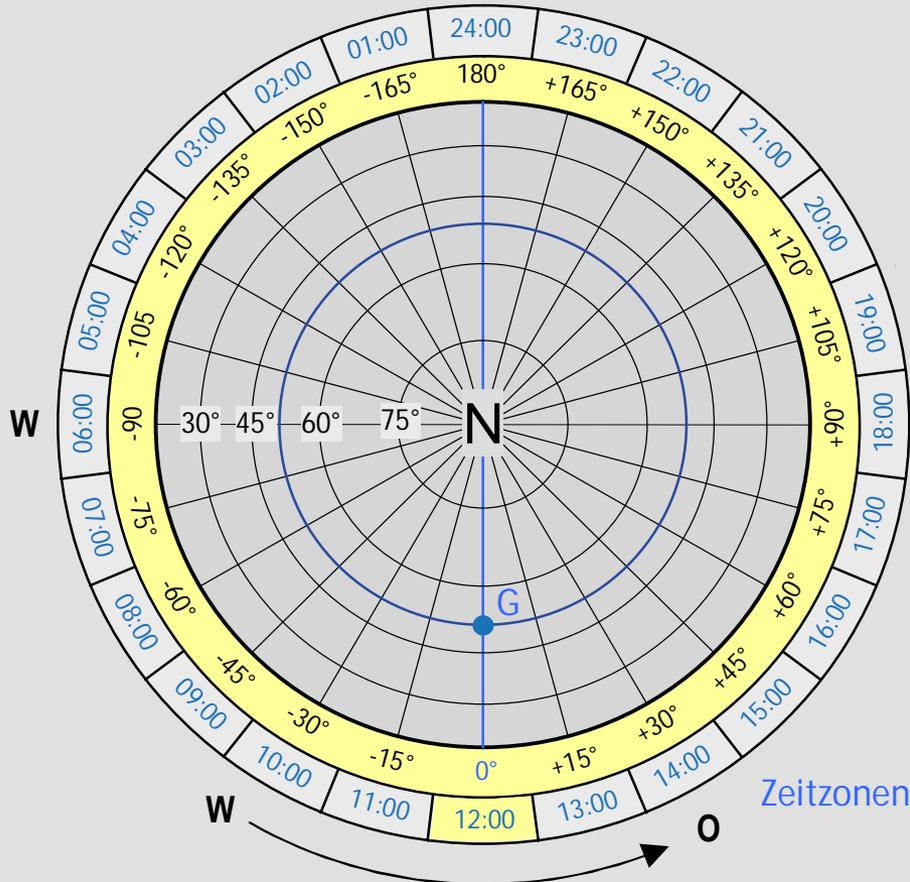


<sup>1</sup> Wikipedia: *Polarstern*



Wir konzentrieren uns in der folgenden Darstellung auf die **Längengrade**.

### Draufsicht auf die Nordhalbkugel: Die Erde sei ein Kreis um den Nordpol.



In Greenwich (G) ist es 12:00 Uhr. Ebenso ist es auf allen Orten des Null-Meridians 12:00 Uhr.

Die Breitenkreise sind konzentrische Kreise um den Nordpol.

Die Längengrade sind gerade Linien durch den Nordpol.

Der erste Längengrad ist unser Referenzkreis; wir bezeichnen ihn mit 0°. Im weiteren betrachten insgesamt 24 Längengrade, also Meridiane.

Der nächste Meridian schließt mit dem Null-Meridian einen Winkel von 15° ein, denn der Vollwinkel von 360° dividiert durch 24 ergibt 15°.

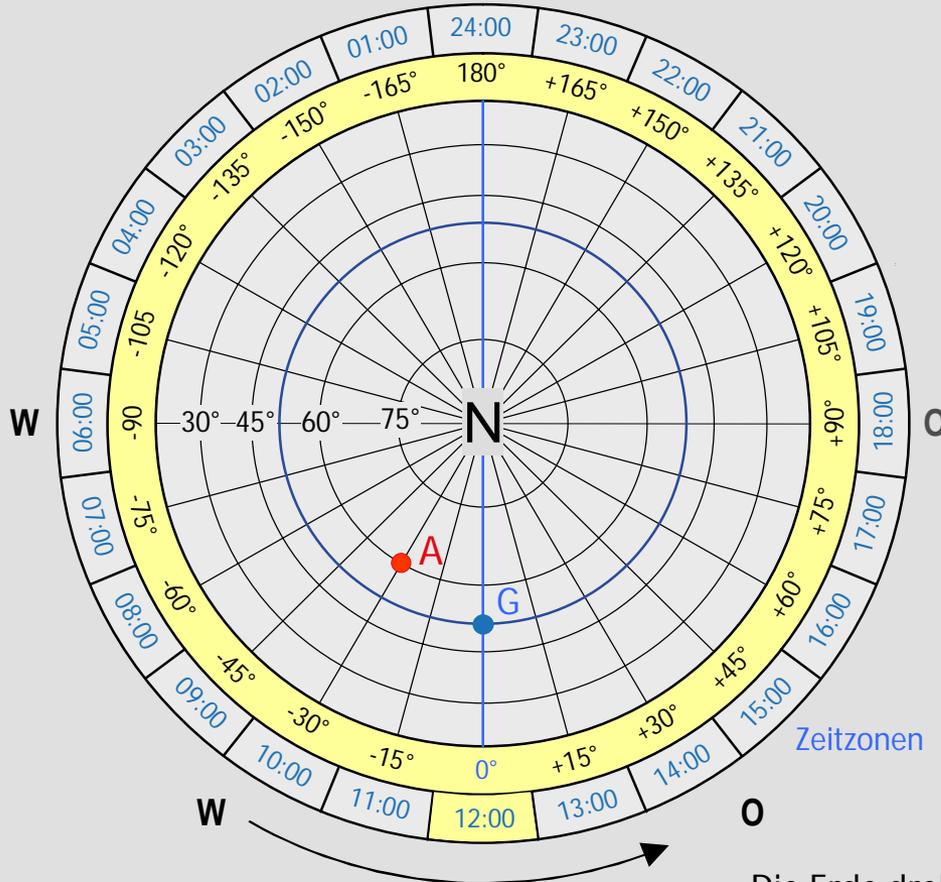
Der Null-Meridian verläuft vereinbarungsgemäß durch Greenwich G (nahe London). Wir nehmen an, in Greenwich sei es 12:00 Uhr mittags.

Dann ist auf den Orten des östlich gelegenen 15°-Meridian 1 Stunde später, nämlich 13:00 Uhr und auf dem westlich gelegenen -15°Meridian ist es erst 11:00 Uhr. Diese Zeiten gehören zu dem Zeitzone, den man sich um die Erde herum angeordnet vorstellen kann.

Dieser Zeitzone ist gewissermaßen ortsfest gegenüber der sich um die eigene Achse drehenden Erde.

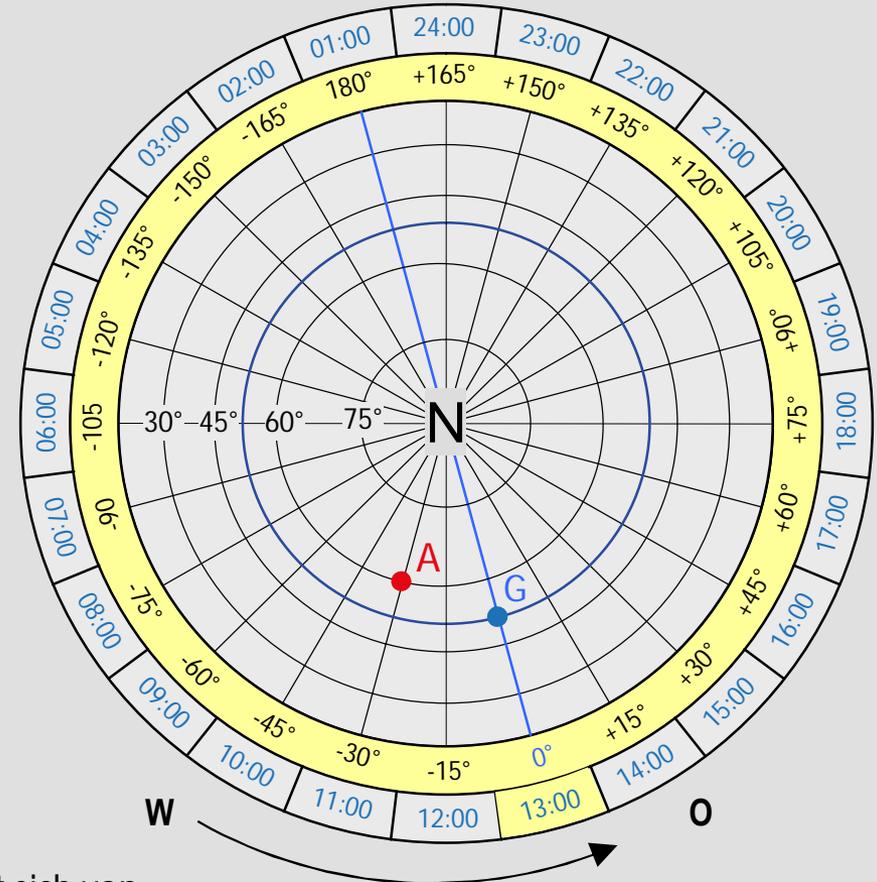
Die Erde indessen dreht sich um ihre eigene Achse von Westen nach Osten, in einer Stunde um 15°.

### Draufsicht auf die Nordhalbkugel mit Längengraden und Breitenkreisen



In Greenwich (G) ist es 12:00 Uhr. Ebenso ist es auf allen Orten des Null-Meridians 12:00 Uhr.

Die Erde dreht sich von Westen nach Osten. In einer Stunde um 15°.



In Greenwich (G) ist es jetzt 13:00 Uhr. Alle Längengrade haben sich um 15° von West nach Ost gedreht.

### Zum Problem der Positionsbestimmung in der Seefahrt

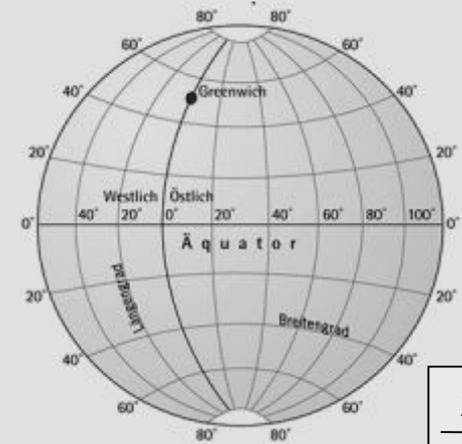
- Der **Breitengrad** ist bei wolkenlosem Himmel relativ einfach über die Höhe des Polarsterns zu bestimmen (siehe Folie *Breitengrad IV*).
- Der **Längengrad**: kann ermittelt werden durch einen Vergleich der auf dem Schiff herrschenden lokalen Sonnenzeit  $t_L$  (bestimmt durch die Sonnenhöhe) mit der Referenzzeit  $t_0$  eines Ortes mit bekanntem Längengrad (z.B. Greenwich auf dem 0-Meridian). Für den Längengrad  $\lambda$  gilt dann:

$$\lambda = (t_L - t_0) \cdot (360^\circ/24 \text{ h})$$

- Zur Bestimmung der **Referenzzeit**  $t_0$  wurden verschiedene Lösungsmethoden diskutiert und ausprobiert. Durchgesetzt hat sich die mit einer **genauen Schiffsuhr**. Auf ihr wurde bei Abfahrt die Greenwich-Zeit eingestellt. Sie konnte somit auf Fahrt jederzeit abgelesen werden.

Eine Sekunde Ungenauigkeit der Referenzzeit führt am Äquator zu einer Längenabweichung von 0,46 km. So dauerte z. B. die Fahrt von England nach Jamaika etwa 61 Tage. Bei 2 Sekunden Ungenauigkeit **pro Tag** betrüge die Abweichung **56,12 km**.

- Die Schiffsuhr-Lösung war möglich geworden, weil **John Harrison** 1759 eine außerordentlich genaue und zuverlässige Uhr fertiggestellt hatte. Sie wurde H-4 genannt. Auf einer 71 Tage dauernden Reise nach Jamaika 1761/1762 (siehe Folie **19**) zeigte sie insgesamt lediglich eine Abweichung von 5,1 Sekunden. James Cook bestätigt die Qualität einer exakten Kopie dieser Uhr auf seiner 2. Reise in den Pazifik 1772-1775. Harrison erhielt 1773 nach langem Kampf drei Jahre vor seinem Tod 8.750 £ Preisgeld (Ursprünglich waren 20.000 £ versprochen worden). Vgl. Sobel a.a.O., S.181



$$\frac{\lambda}{360^\circ} = \frac{t_L - t_0}{24 \text{ h}}$$



Schiffsuhr H-4 von John Harrison



# Bestimmung von Breitengrad und Längengrad

## Bestimmung des Längengrades mit einer Schiffsuhr II

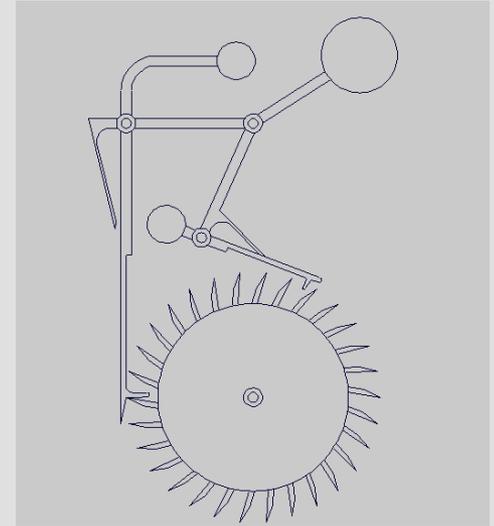
### Die Längengrad-Uhr H-4 von John Harrison aus dem Jahre 1759



John Harrison entwickelte die H-4 seit 1755 und vollendete sie 1759. Auf zwei Seereisen (1761/62 nach Jamaika und 1764 nach Barbados) wurden sie erstmals als Schiffs- und Längengrad-Uhren auf ihre Navigationstauglichkeit erprobt.

Die Genauigkeit dieser Uhr lag bei 1 bis 0,09 s pro Tag. Während der ersten Erprobungsfahrt soll die Abweichung in 71 Tagen nur 5,1 Sekunden und damit 0,072 Sekunden pro Tag betragen haben.\*

Nach einer zweiten Erprobung auf einer 145 Tage dauernden Fahrt nach Barbados 1764 soll die H-4 nur um 54 Sekunden vorgegangen und mit ihrer Hilfe der Längengrad von Barbados bis auf zehn Meilen genau bestimmt worden sein.



John Harrisons Grasshopper-Hemmung wurde entwickelt, um die Reibung und Abnutzung zu minimieren. Die kreuzweise angeordneten Arme erinnern an die Beinbewegung von Heuschrecken. (Sobel/Andrewes, a.a.O., S.93 f., Graphik: Wikipedia, John Harrison)

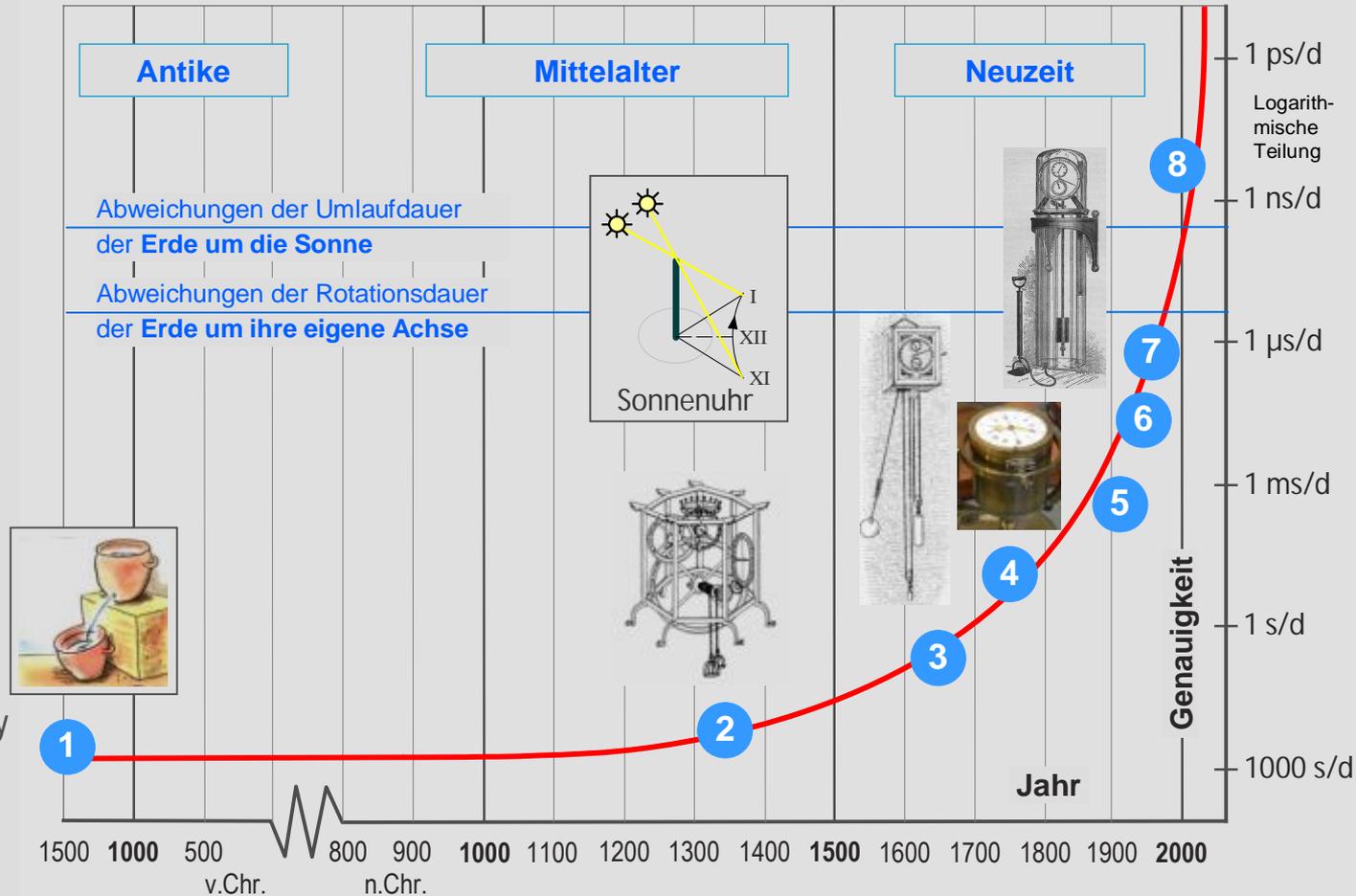
#### John Harrisons Längengrad-Uhr H-4

(Bildquelle: Royal Museum Greenwich, a.a.O.)

\* Die diesbezüglichen Angaben auf der John-Harrison-Seite von Wikipedia (a.a.O.) sind insofern falsch, als allein die Hinfahrt der 1. Reise zur Erprobung der H-4 nach Jamaika vom 18.11.1761 bis 27.3.1762 und damit 71 Tage (incl. 8 Tage Aufenthalt in Jamaika) dauerte. Berechnet nach den Reisedaten von Sobel/Abdrewes, a.a.O., S. 149.

### Die Genauigkeit der Längengraduhr H-4 von John Harrison im historischen Vergleich<sup>1</sup>

- 1 seit 1550 v. Chr.: Wasseruhren: 1000 s/d = 17 min/d
- 2 um 1300: Räderuhren: 3600 (60 min) bis 500 s/d
- 3 1637/1656: Pendeluhrn von Galilei und Huygens: 100 bis 1 s/d
- 4 1759: John Harrison baut eine Längengrad-Uhr (Chronometer): 1 bis 0,09 s/d
- 5 1920: Präzisionspendeluhr von Riefler: ca. 0,003 s/d
- 6 1932: Quarzuhr der PTR mit 200 µs/d und 1949: Erste Atomuhr des NBS (USA) mit 150 µs/d
- 7 1955: Erste Cäsium-Uhr National Physical Laboratory (England): 100 µs/d
- 8 1994 und 1999 Cäsium-Fontänenuhren in Paris und in der PTB: 10 ns/d



<sup>1</sup> PTB (2005), S. 28, Koch (1989), S. 81 und Abeler (1994), S. 13, Trapp (1998), S. 55

### Exemplarische Bestimmung eines Längengrades mit einer Schiffsuhr

Bei der Darstellung der Methode zur Bestimmung eines Längengrades mit einer genauen Schiffsuhr wählen wir exemplarisch die Insel *Désirade* in der Karibik aus. Sie gehört verwaltungspolitisch zu dem französischen Überseedépartement *Guadeloupe*, einer der neun Inseln der *Kleinen Antillen* (vgl. Folie 19).

Dorthin segelte am 18.11.1761 von *Portsmouth* aus die H.M.S. *Deptford* unter Leitung ihres Kapitäns *Dudley Digges*. Die Reise diente der Erprobung der Schiffsuhr H-4, die *John Harrison* speziell zur Bestimmung von Längengraden entwickelt hatte. Diese Uhr war bei der Abfahrt auf die Ortszeit von *Greenwich* eingestellt worden. Durch *Greenwich* verläuft der Null-Meridian und die Greenwich-Zeit soll hier als Referenzzeit  $t_0$  dienen.

Die *Deptford* erreicht am 11.1.1762 die Insel *Désirade*. Der erste Offizier ermittelt mit dem Sextanten (siehe Folie 26) einen Sonnenhöhenwinkel von  $h = 9,26^\circ$  und berechnet daraus eine lokale Ortszeit von 07:22 Uhr (bzw.  $t_L = 7,37$  h).

Gleichzeitig lesen der Astronom *John Robinson* und der Uhrmacher *William Harrison* (Sohn von John Harrison) als technisch-wissenschaftliche Betreuer der auf die Greenwich-Zeit eingestellten Schiffsuhr H-4 eine Greenwich-Zeit von 11:18 Uhr (bzw.  $t_0 = 11,3$  h) ab.

Daraus berechnen sie den Längengrad  $\lambda_L$  der Insel *Désirade* nach folgender Formel:

$$\frac{\lambda_L - \lambda_0}{t_L - t_0} = \frac{360^\circ}{24 \text{ h}} \quad \Rightarrow \quad \lambda_L = t_L - t_0 \cdot \frac{360^\circ}{24 \text{ h}}$$

$t_L$  ... lokale Ortszeit am Ort, dessen Längengrad bestimmt werden soll

$t_0$  ... Referenzzeit (= Ortszeit in Greenwich)

$\lambda_L$  ... lokaler Längengrad, der bestimmt werden soll

$\lambda_0$  ... Referenz-Längengrad (hier Greenwich =  $0^\circ$ )

Vor der Insel *Désirade* (Karibik) ermittelte Zeiten:

$t_L = 7,37$  h (über Sonnenhöhenbestimmung)

$t_0 = 11,3$  h (Greenwich-Zeit der Schiffsuhr)

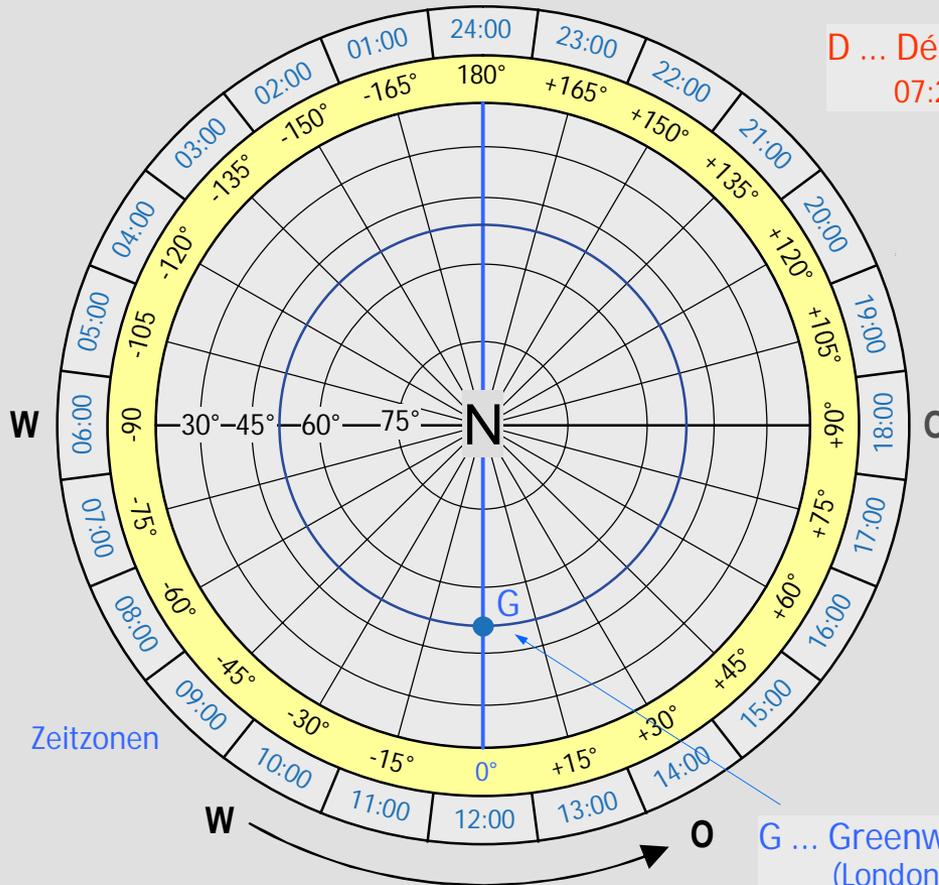
Berechnung des Längengrads  $\lambda_L$  der Insel *Désirade* (mit  $\lambda_0 = 0^\circ$ )

$$\begin{aligned} \lambda_L &= (t_L - t_0) \cdot (360^\circ/24 \text{ h}) \\ &= (07,37 \text{ h} - 11,3 \text{ h}) \cdot 15^\circ/\text{h} \\ &= -4,07 \text{ h} \cdot 15^\circ/\text{h} \\ \lambda_L &= -61,05^\circ \end{aligned}$$

Zur exemplarischen Bestimmung des Längengrades mit einer Schiffsuhr: **Die Längengrade**

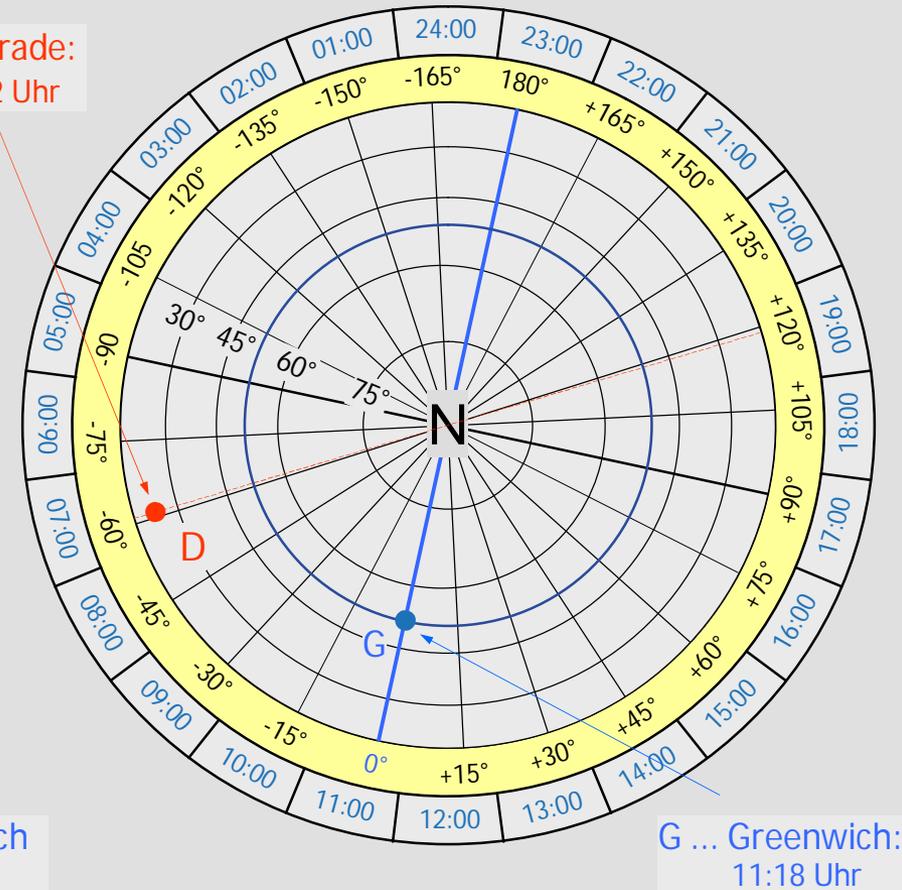
Start der *Deptford* in Portsmouth (18.11.1761):

Ankunft in der Karibik (vor Désirade am 11. 1.1762):



Beim Start der *Deptford* am 18.11.1761 in Portsmouth zeigt die auf die Zeit von Greenwich (G) eingestellte Harrison-Uhr genau auf 12:00 Uhr.

D ... Désirade:  
07:22 Uhr



In unmittelbarer Nähe von Désirade bestimmt der Kapitän Dudley Digges mit einem Sextanten die Sonnenhöhe von 9,26° und ermittelt daraus eine Ortszeit von 07:22 Uhr. Die Harrison-Uhr zeigt in diesem Moment eine Greenwich-Zeit von 11:18 Uhr an. Die Differenz beider Uhrzeiten ergibt 4,07 h.

### Die erste Erprobungsfahrt der Längengrad-Uhr H-4 von John Harrison 1761/62 nach Jamaika

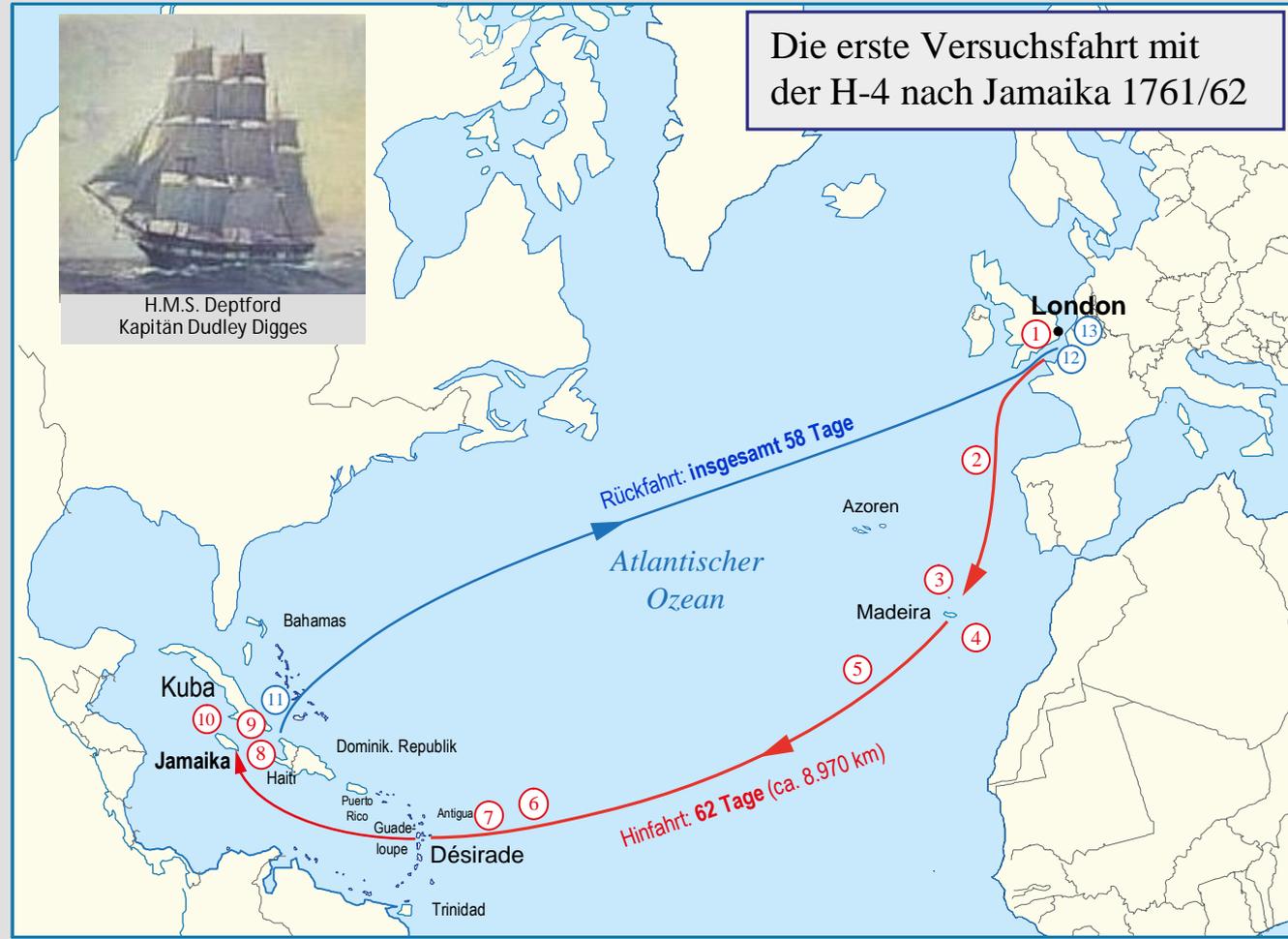
Am 18.11.1761 sticht die H.M.S. *Deptford* von *Portsmouth* aus in See. Die Reise nach Jamaika dauert insgesamt 128 Tage. Sie soll zeigen, dass der von John Harrison entwickelte Schiffschronometer H-4 geeignet ist, Längengrade für die Schiffsnavigation hinreichend genau zu bestimmen.

Die Harrison-Uhr H-4 wird erprobt und gewartet von dem Astronomen John Robinson und von William Harrison, dem Sohn John Harrisons.

Nach einer 7.374 km lange Fahrt wird am 11.1.1762 die erste Karibik-Insel gesichtet. Es handelt sich um das 10 km östlich vor Guadeloupe gelagerte Eiland La Désirade. Für die Reise bis dahin benötigt die *Deptford* 53 Tage und ca.19,6 Stunden. Sie segelte dann weiter nach *Port Royal* auf *Jamaika*.

Nach einem etwa 1-wöchigen Aufenthalt in *Jamaika* beginnt am 28. 1.1762 die 59 Tage dauernde Rückfahrt nach *Portsmouth*.

Die auf der Fahrt erprobte Schiffsuhr soll in den 128 Tagen seit der Abfahrt von England nur eine Minute und 54,5 Sekunden nachgegangen sein. Spätere Berechnungen durch William und seinen Vater ergaben, dass die H-4 auf der 71 Tagen dauernden Hinfahrt nur 5,1 Sekunden nachgegangen sei.



Die Nummerierungsziffern entsprechen denen auf dem folgenden Bereich. Die Graphik wurde erstellt nach Vorlage der Karte von: Sobel, Dava/ Andrewes, William J.H., a.a.O., S 149.

### Reisedaten der ersten Versuchsfahrt mit der H-4 nach Jamaika 1761/62

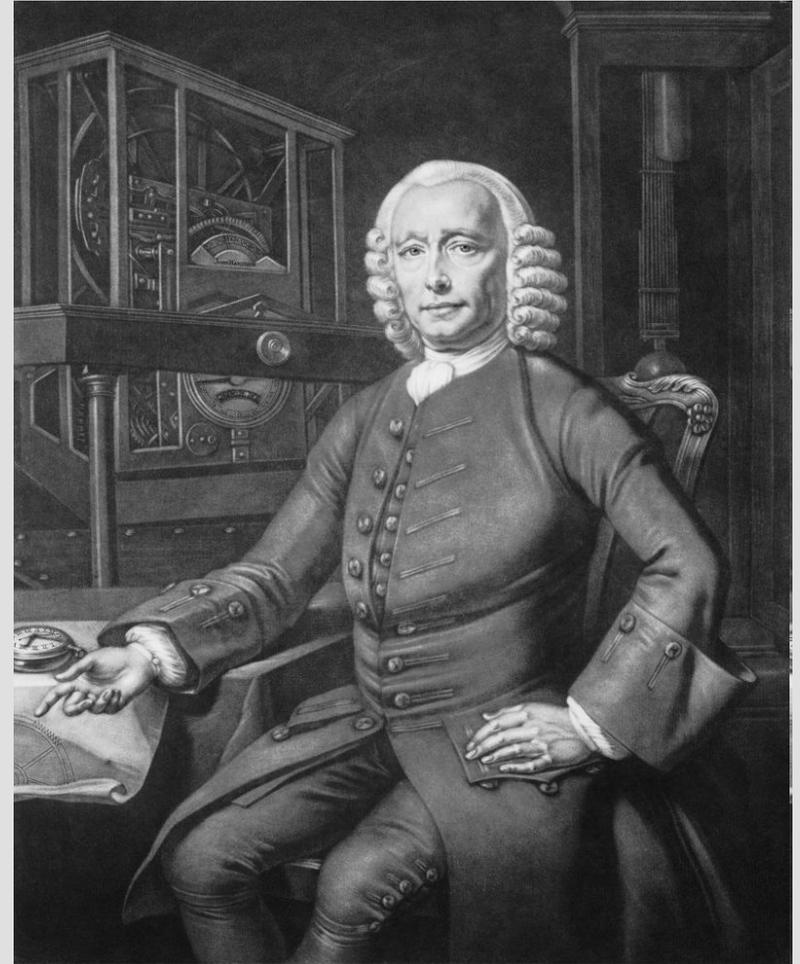
- 1) 18. November: William Harrison mit der H-4 und Astronom John Robison segeln mit der *Deptford* von Portsmouth ab.
- 2) 8. Dezember: Kapitän Digges ist sich über die Position des Schiffs unklar. Aufgrund der Zeit, die die H-4 zeigt, nimmt William Harrison an, daß sie sich 100 Meilen weiter westlich befinden, als der Navigator vermutet. Widerwillig folgt Kapitän Digges dem Kurs, den die Anzeige der H-4 verlangt.
- 3) 9. Dezember: Wie die H-4 vorhergesagt hat, wird um 7 Uhr früh die Insel Porto Santo gesichtet, später ankert die *Deptford* in Madeira.
- 4) 12. Dezember: Der Ruhm der H-4 wächst, als die *Beaver*, die England zehn Tage vor der *Deptford* verlassen hat, in Madeira eintrifft, nachdem ihr schwere Navigationsfehler unterlaufen sind.
- 5) 18. Dezember: Die *Deptford* segelt nach Jamaika ab.
- 6) 10. Januar: William Harrison bestimmt mit Hilfe der H-4, daß die Insel Désirade am nächsten Morgen um 10 Uhr in Sicht kommen werde. Nach der Schätzung des Navigators sind sie 150 Meilen weiter von der Insel entfernt.
- 7) 11. Januar: Um 6.30 Uhr wird *Désirade* gesichtet, gegen Mittag *Guadeloupe* und um 2 Uhr nachmittags *Antigua*.
- 8) 19. Januar: *Jamaika* gesichtet. Abends in *Port Royal* auf *Jamaika* geankert.
- 9) 20. Januar: William Harrison und John Robison gehen an Land, um einen geeigneten Ort zur Feststellung der Ortszeit und der geographischen Länge von *Port Royal* zu finden.
- 10) 26. Januar: Harrison und Robison führen Messungen durch.
- 11) 28. Januar: Harrison und Robison segeln mit der H-4 an Bord der *Merlin* nach England ab.
- 12) 26. März: Nach einer rauen 59-Tage-Fahrt (58) Ankunft in Spithead.
- 13) 27. März: Harrison und Robison gehen in Portsmouth an Land.

Die Nummerierungsziffern entsprechen denen auf der Karte (siehe vorherige Folie). Die Angaben sind entnommen aus: Sobel, Dava/Andrewes, William J.H., a.a.O., S 149.



## Bestimmung von Breitengrad und Längengrad Die Längengrad-Uhr H-4 von John Harrison im Praxistest III

John Harrison mit seiner Schiffsuhr H-4 auf einem Gemälde von 1768



John Harrison (1693-1776) - gemalt von P. L. Tassaert

Quelle: Royal Museum Greenwich - <http://imageweb-cdn.magnoliasoft.net/nmm/supersize/2090.jpg>

### Literaturverzeichnis

- Bauer, Ludwig/Bergler, Hermann/Ludwig, Wilhelm: Erde und Mensch, Allgemeine Geographie und Landschaftsgürtel, München Düsseldorf 1963<sup>3</sup> (Verlag R. Oldenbourg).
- Herrmann, Joachim: dtv-Atlas zur Astronomie, München 1983<sup>7</sup> (Deutscher Taschenbuch Verlag).
- Internetquellen  
 Sonnenhöhenwinkel: <http://www.sonnenverlauf.de>  
 Royal Museum Greenwich, Collection »John Harrison and the Longitude«:  
<http://prints.rmg.co.uk/index.cfm?event=catalogue.category&categoryKey=john-harrison-and-the-longitude&pageStart=49>
- Sobel, Dava/ Andrewes, William J.H.: Längengrad – Die wahre Geschichte eines einsamen Genies, welches das größte Problem seiner Zeit löste, Illustrierte Ausgabe, Berlin 20076 (Berlin Verlag).
- Wagner, Julius: Physische Geographie, Harms Erdkunde Band VII, Frankfurt u.a. 1958<sup>3</sup> (Atlantik-Verlag Paul List).
- Wikipedia-Artikel  
 Astronomie Koordinaten: [https://de.wikipedia.org/wiki/Astronomische\\_Koordinatensysteme](https://de.wikipedia.org/wiki/Astronomische_Koordinatensysteme)  
 Geographische Breite: [https://de.wikipedia.org/wiki/Geographische\\_Breite](https://de.wikipedia.org/wiki/Geographische_Breite)  
 Geographische Länge: [https://de.wikipedia.org/wiki/Geographische\\_L%C3%A4nge](https://de.wikipedia.org/wiki/Geographische_L%C3%A4nge)  
 Gnomon: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gnomon>  
 Harrison, John: [https://de.wikipedia.org/wiki/John\\_Harrison\\_\(Uhrmacher\)](https://de.wikipedia.org/wiki/John_Harrison_(Uhrmacher))  
 Himmelskugel: <https://de.wikipedia.org/wiki/Himmelskugel>  
 Längenproblem: <https://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4ngenproblem>  
 Längenuhr: <https://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4ngenuhr>  
 Sextant: <https://de.wikipedia.org/wiki/Sextant>  
 Sonnenstand: <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstand>  
 Sonnenstandsdiagramm: <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstandsdiagramm>  
 Sonnenuhr: <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenuhr>  
 Zeitgleichung: <https://de.wikipedia.org/wiki/Zeitgleichung>

Vielen Dank  
für Ihr Interesse.

Falls Sie noch Fragen haben:

**[j.sicars@t-online.de](mailto:j.sicars@t-online.de)**

Unterrichtsmaterialien (demnächst): **[www.sicars-didactica.de](http://www.sicars-didactica.de)**

## Anhang 1

# Tagbögen der Sonne

## Sonnenhöhe bestimmen

- mit Schattenstab und Klinometer
- mit Sextant

Von der Erde aus betrachten wir den Lauf der Sonne während eines Tages<sup>1</sup>

Wahrnehmung:

Zu jeder Stunde erscheint uns die Sonne an einem anderen Ort und in unterschiedlichen Höhen.

Wir können uns durch die Stunden-Positionen der Sonne eine Kurve gezeichnet denken und sagen: Die Sonne dreht sich im Laufe eines Tages auf einer kurvenförmigen Bahn von Osten nach Westen um die Erde.

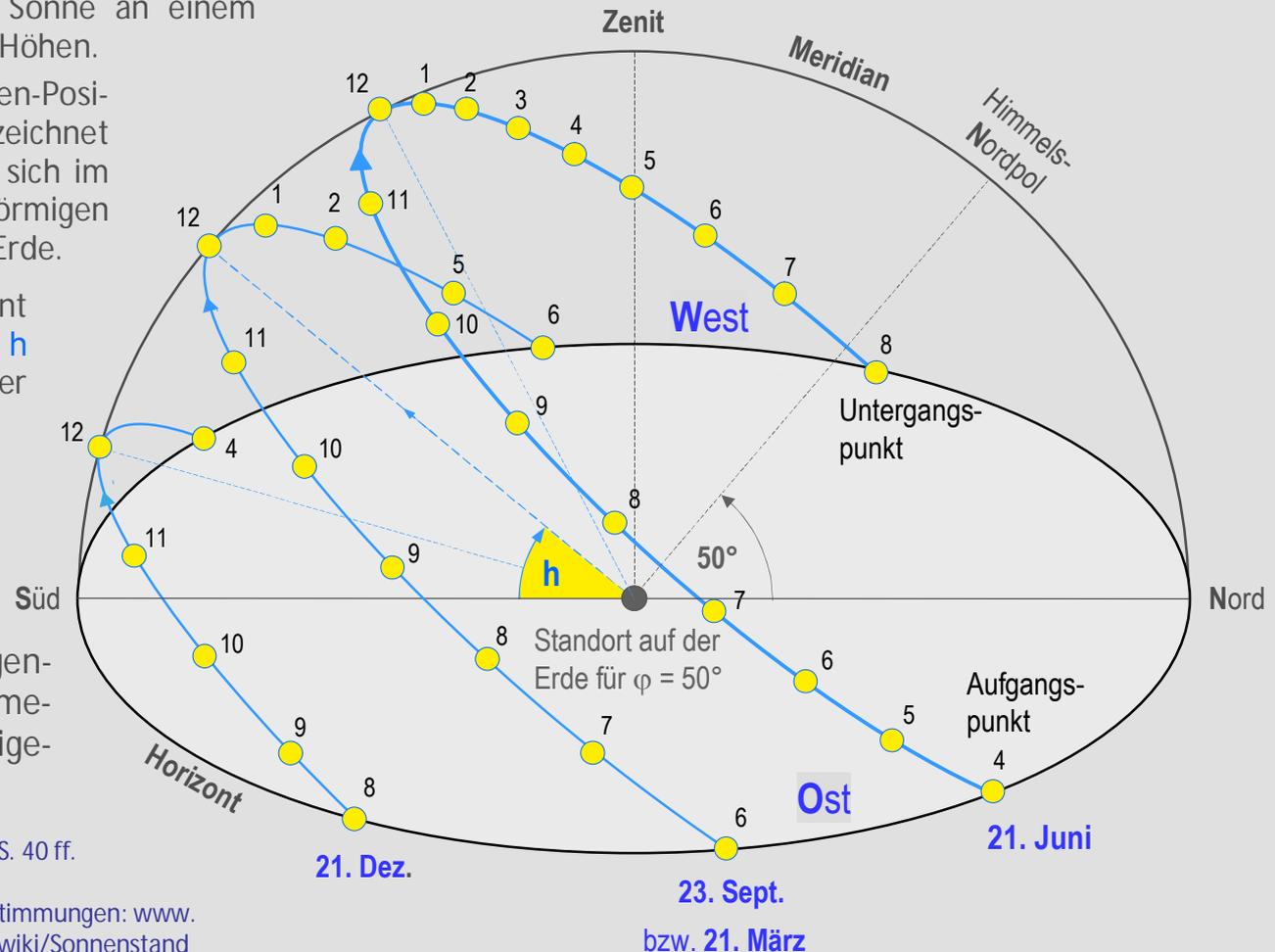
Die Höhe der Sonne über dem Horizont können wir als **Sonnenhöhenwinkel  $h$**  angeben und mit einem Winkelmesser (Klinometer) bestimmen:<sup>2</sup>

21.6.:	$h = 90^\circ + 23,5^\circ - 50^\circ = 63,5^\circ$
21.3./23.9.:	$h = 90^\circ - 50^\circ = 40,0^\circ$
21.12.:	$h = 90^\circ - 23,5^\circ - 50^\circ = 16,5^\circ$

Deutung:

In Wahrheit dreht sich die Erde gegenüber der als stillstehend angenommenen Sonne einmal täglich um die eigene Achse.

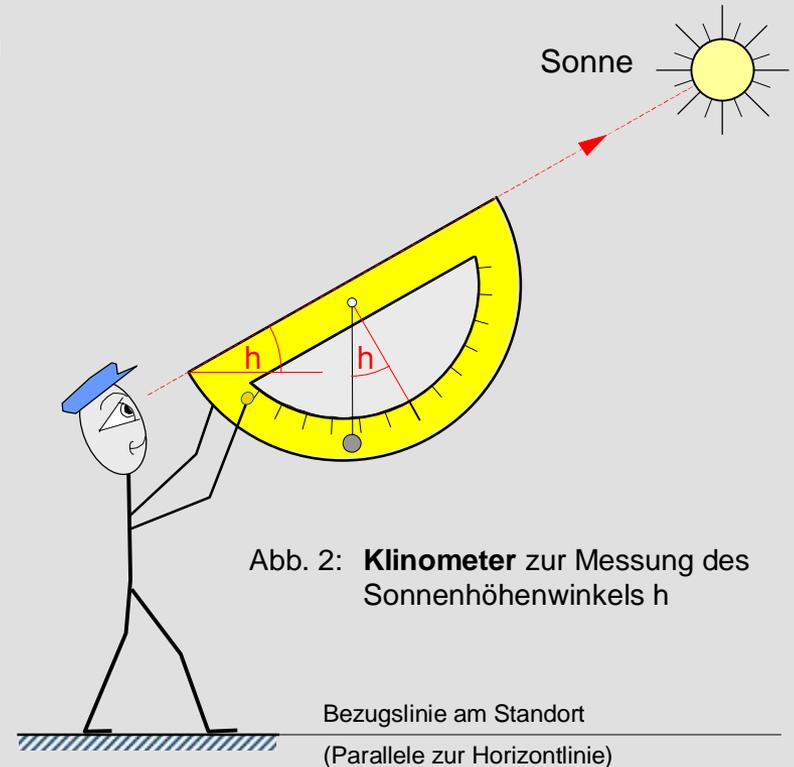
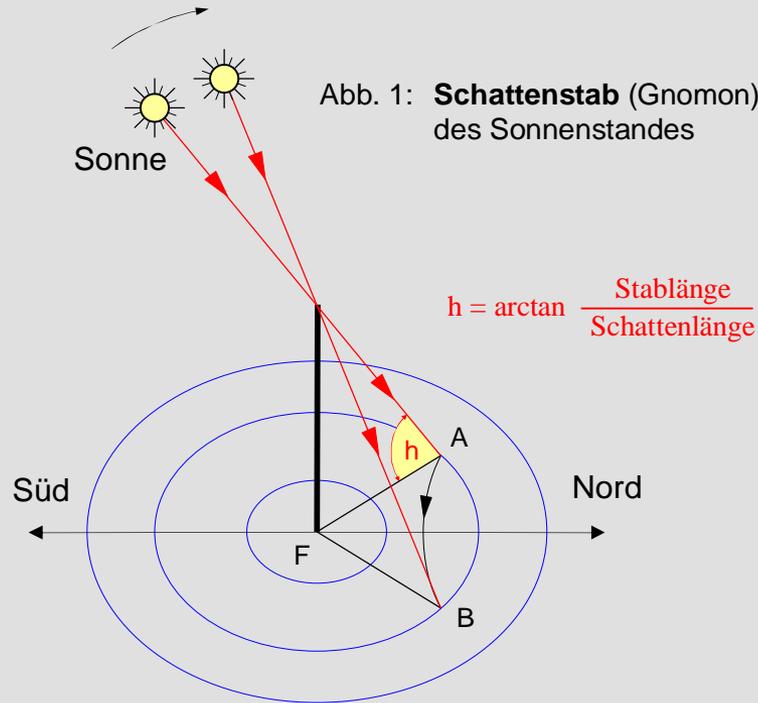
Annahme: Standort auf dem 50. Breitengrad (Mainz)



<sup>1</sup> dtv-Atlas zur Astronomie, S. 42, Wagner, a.a.O., S. 40 ff. und Bauer, a.a.O., S. 9 f.

<sup>2</sup> Dies sind grobe Näherungswerte. Genauere Bestimmungen: [www.sonnenverlauf.de](http://www.sonnenverlauf.de) und <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstand>

Der Sonnenhöhenwinkel  $h$  kann mit einem **Schattenstab** (+ Winkelmesser) oder mit Hilfe eines **Klinometers** bestimmt werden.<sup>1</sup>

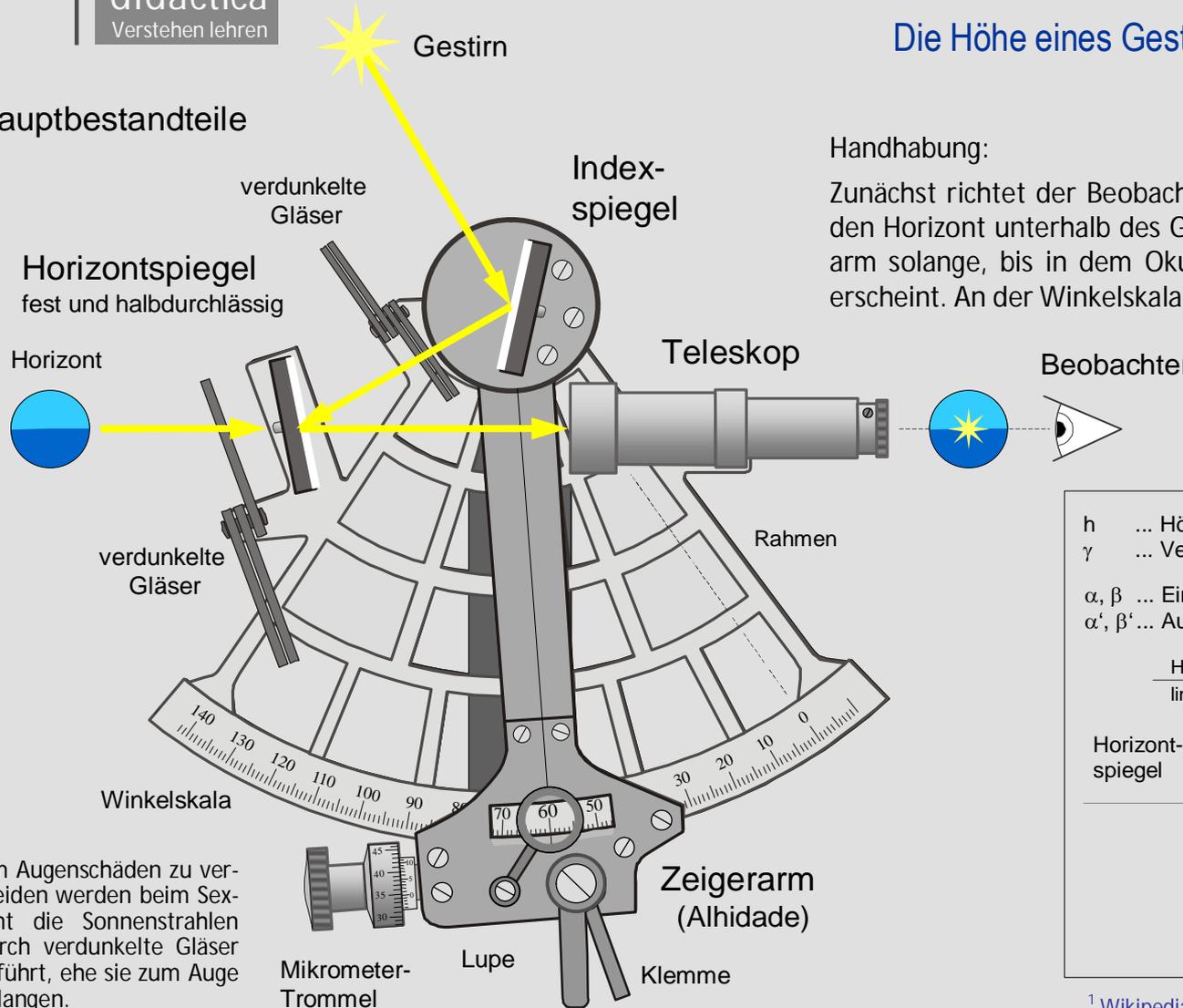


Problem: Bei dieser Methode kann die Sonne nicht ohne erhebliche Augenschäden angepeilt werden! Daher werden dafür Sextanten verwendet, bei denen die Sonnenstrahlen durch abgedunkelte Scheiben geführt werden ehe sie zum Auge gelangen.

<sup>1</sup> Wagner, a.a.O., S. 16 f. und Bauer, a.a.O., S. 5.

Die Höhe eines Gestirns kann sehr präzise mit einem **Sextant** bestimmt werden.<sup>1</sup>

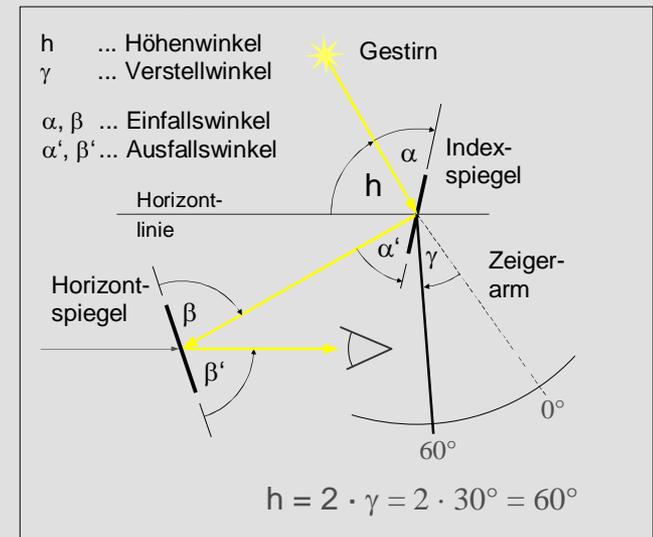
### Hauptbestandteile



### Handhabung:

Zunächst richtet der Beobachter den Blick durch das Teleskop auf den Horizont unterhalb des Gestirns und verstellt dann den Zeigerarm solange, bis in dem Okular das Gestirn auf der Horizontlinie erscheint. An der Winkelskala kann er den Höhenwinkel ablesen.

### Strahlengang im Sextanten



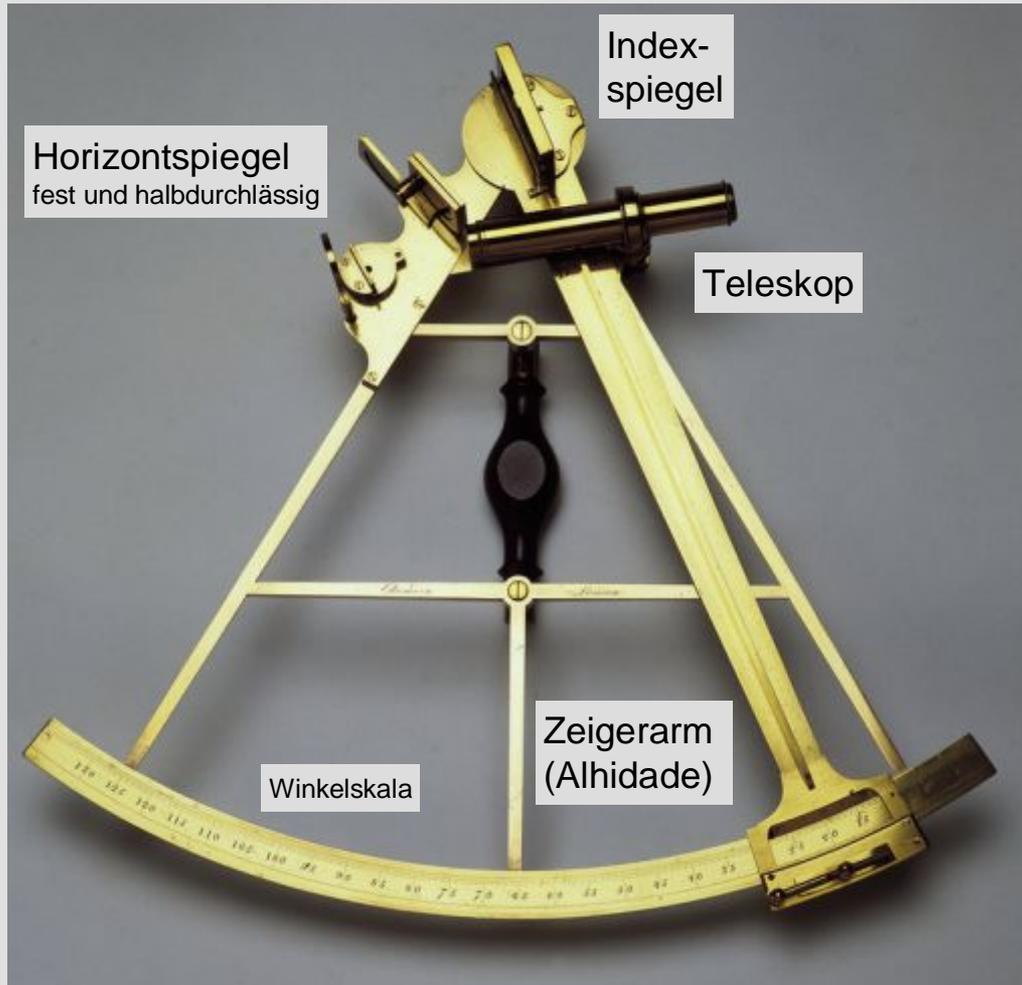
Um Augenschäden zu vermeiden werden beim Sextant die Sonnenstrahlen durch verdunkelte Gläser geführt, ehe sie zum Auge gelangen.

<sup>1</sup> Wikipedia: Sextant und eigene Ergänzungen



## Bestimmung von Breitengrad und Längengrad Bestimmung der Sonnenhöhe III

Sextant von 1770 wie ihn James Cook auf seiner 3. Reise in den Pazifik 1776-80 verwendet hatte.<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Quelle: National Maritime Museum, Greenwich, London.

## Anhang 2

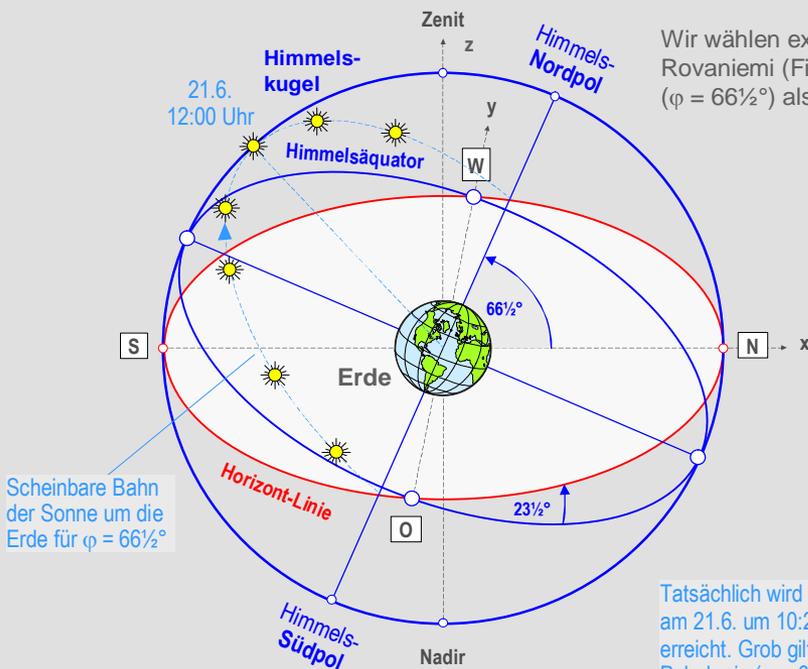
# Himmelskugel

- Geozentrische Version mit Horizontsystem
- Heliozentrische Version mit Ekliptik

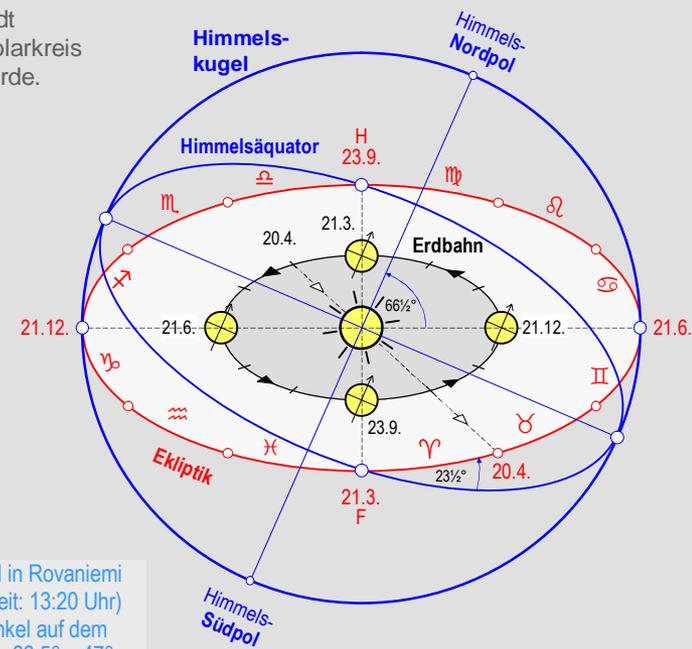
Die Himmelskugel ist kein wirklicher Gegenstand der Erfahrung, sondern eine gedachte Hohlkugel mit sehr großem Durchmesser. Wir unterscheiden zwei Versionen:

1. In der geozentrischen Version umgibt die Himmelskugel die Erde und dient mit ihrem Koordinatensystem der Orientierung und Ortsbestimmung von Gestirnen (wie Sterne, Sonne etc.) am Himmel. Bezugspunkt ist stets der Standort des Beobachters auf der Erde, d.h. die Himmelskugel ist topozentrisch (topos = der Ort). Der Beobachter rotiert mit der Erde im Verlauf eines Tages um deren eigene Achse. Für ihn dreht sich die Sonne scheinbar auf dem Tagbogen um die Erde.

2. In der heliozentrischen Version umgibt die Himmelskugel die Sonne. Auch hier dient das darauf bezogene Koordinatensystem der Ortsbestimmung von Gestirnen (wie Sterne, Sonne etc.) am Himmel. Bezugspunkt ist auch hier der Standort des Beobachters auf der Erde, der mit der Erde im Verlauf eines Jahres die Sonne umrundet. Er beobachtet dabei von seinem Standort aus, wie die Sonne auf der Ekliptik scheinbar durch den Fixsternhimmel wandert.



Wir wählen exemplarisch die Stadt Rovaniemi (Finnland) auf dem Polarkreis ( $\varphi = 66\frac{1}{2}^\circ$ ) als Standort auf der Erde.



Tatsächlich wird der Sonnenhöchststand in Rovaniemi am 21.6. um 10:20 Uhr (UTC-Zeit, Ortszeit: 13:20 Uhr) erreicht. Grob gilt für den Sonnenhöhenwinkel auf dem Polarkreis ( $\varphi = 66\frac{1}{2}^\circ$ ):  $h = 90^\circ + 23,5^\circ - 66,5^\circ = 47^\circ$

### Schritte der Konstruktion:

0. Wir wählen exemplarisch als Standort einen Ort auf dem  $66\frac{1}{2}$  Breitengrad (Polarkreis).

1. Horizontlinie: Großkreis um den Standort

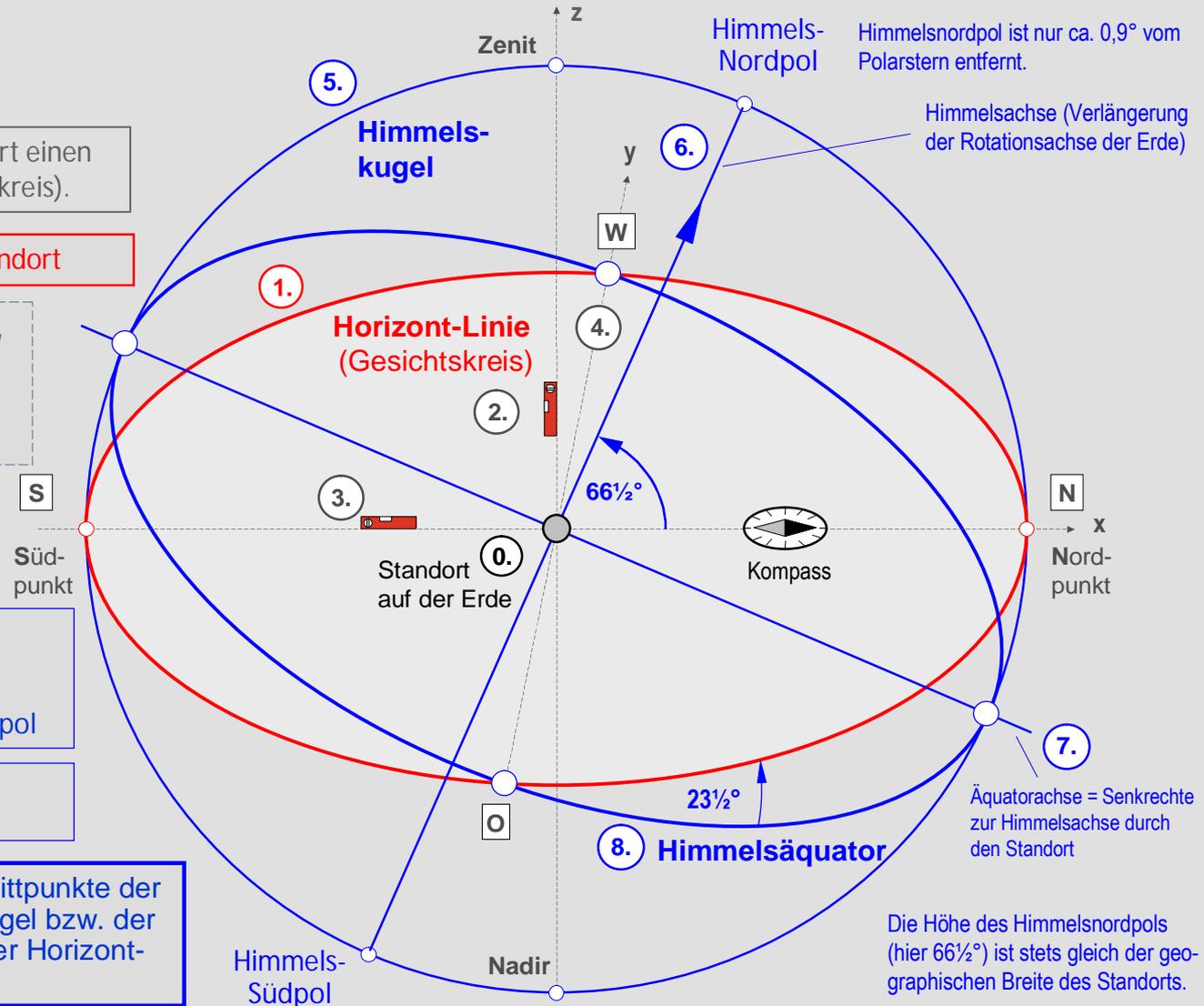
2. Vertikale z-Achse mit Wasserwaage,  
3. S-N-Linie (x-Achse) und  
4. O-W-Linie (y-Achse) mit Kompass und Wasserwaage einzeichnen

5. Himmelskugel um den Standort durch Süd- und Nordpunkt mit Zenit und Nadir

6. Himmelsachse als Gerade durch den Standort und das Drehzentrum der Fixsterne (fast im Polarstern) mit Himmels-Nordpol und Himmels-Südpol

7. Äquatorachse als Senkrechte zur Himmelsachse durch den Standort

8. Himmelsäquator durch die Schnittpunkte der Äquatorachse mit der Himmelskugel bzw. der Ost-West-Linie (= y-Achse) mit der Horizontlinie



**Ekliptik** und **Himmelsäquator** schneiden sich im **Frühlings- und Herbstpunkt**

**Ekliptik (rot)**

**Himmelsäquator (blau)**

Begriff des Jahres:



- Das **Jahr beginnt**, wenn sich die Sonne auf ihrer scheinbaren Bahn durch den Fixsternhimmel (Ekliptik) im **Frühlingspunkt** (21.3.) befindet,
- es **endet** wenn sie nach Ablauf eines vollen Umlaufs auf der Ekliptik wieder den Frühlingspunkt erreicht.

