

ASTRONOMISCHE NAVIGATION

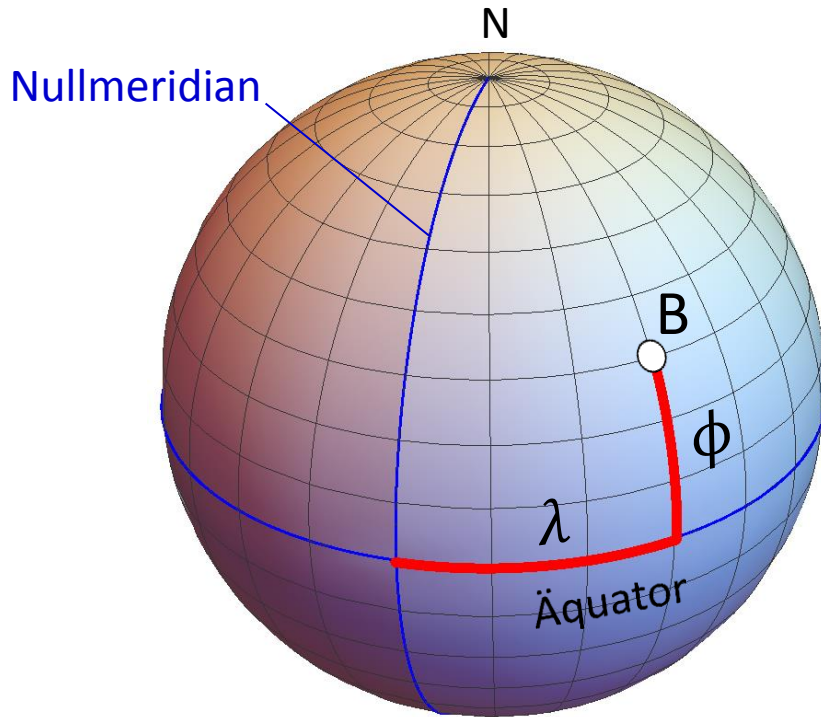


Zur Ortsbestimmung durch Gestirnsbeobachtung in der Seefahrt

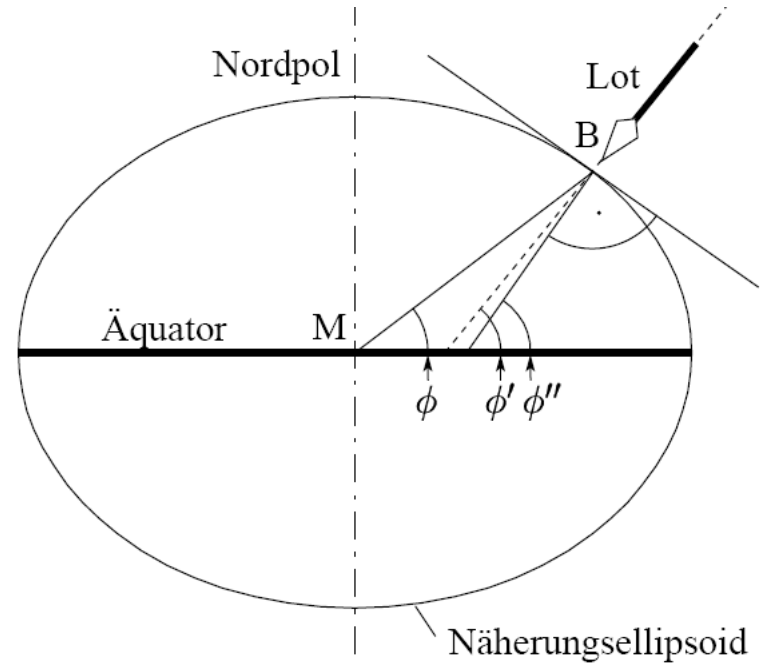
Wolfgang Steiner

FH OÖ, Fakultät für Technik und Umweltwissenschaften

Die Koordinaten eines Punktes B auf der Erdoberfläche:

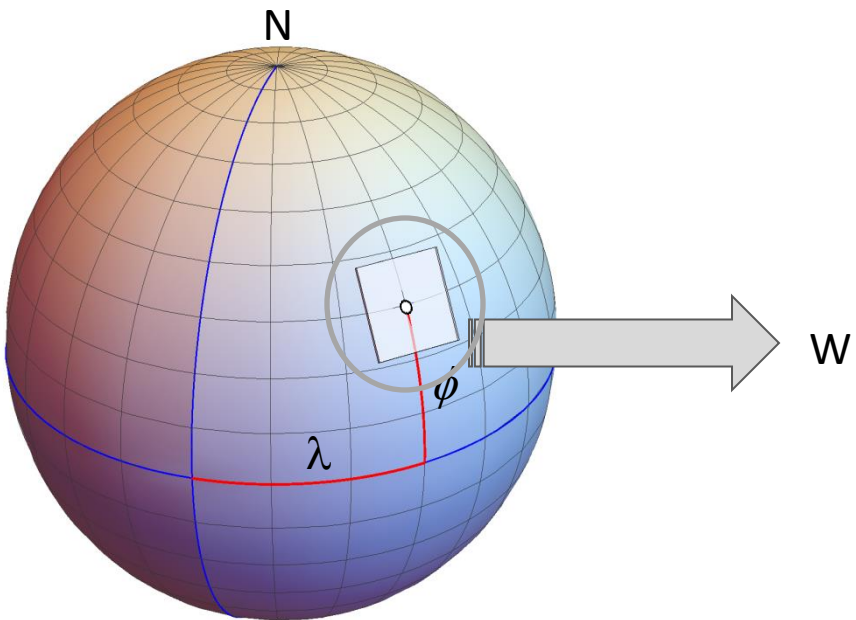


Die Erde ist eigentlich keine Kugel:

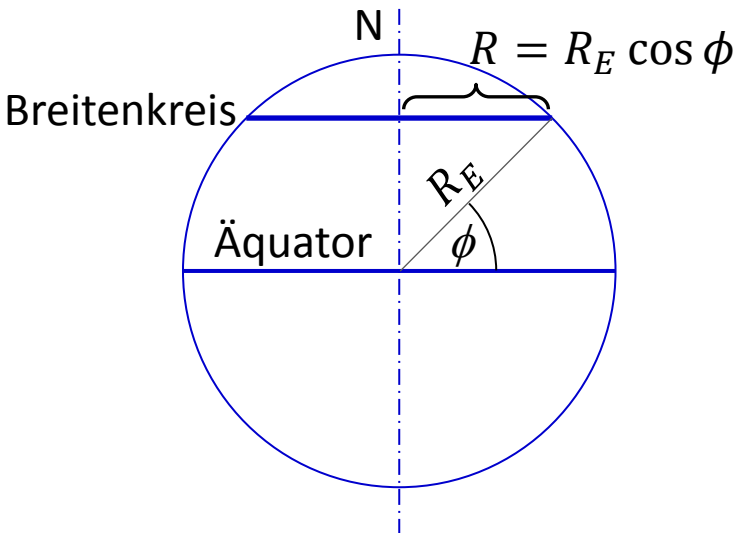
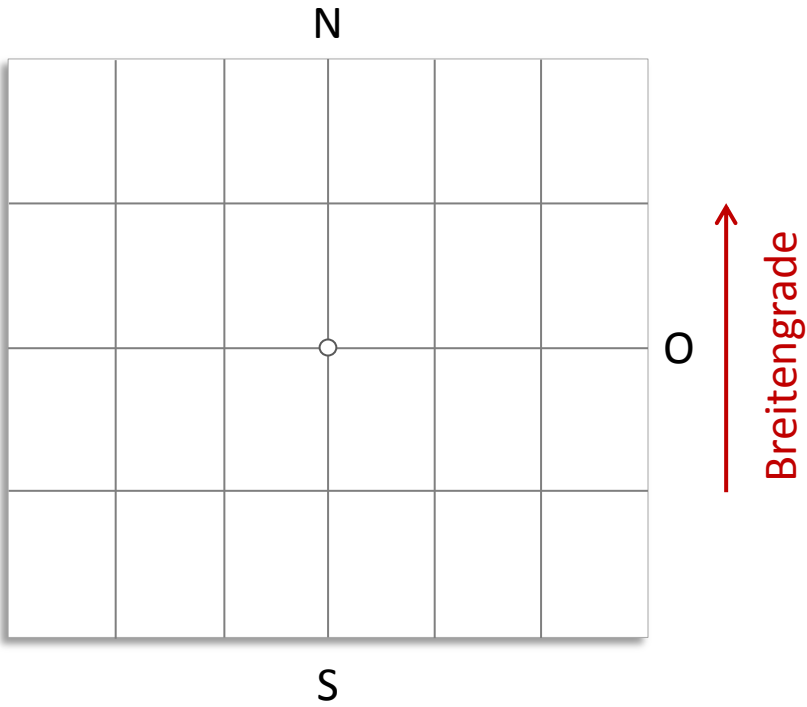


BEZEICHNUNG	Symbol	Bereich
LÄNGE (LONGITUDE)	λ	[180° W (-), 180° O (+)]
GEOZENTRISCHE BREITE (LATITUDE)	ϕ	[90° S(-), 90° N(+)]
ASTRONOMISCHE BREITE	ϕ'	
GEODÄTISCHE BREITE	ϕ''	

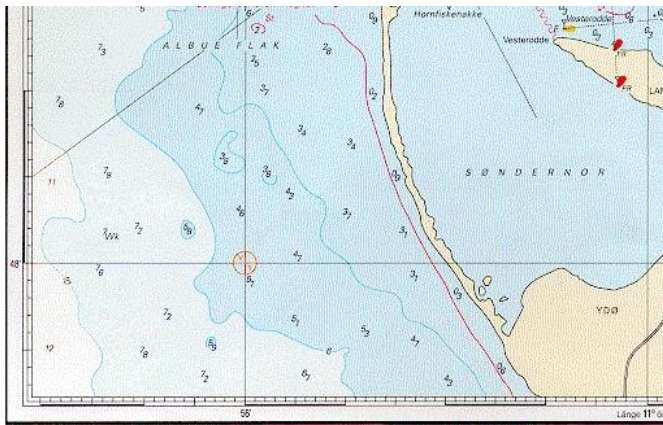
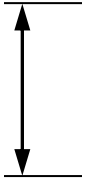
Die Seekarte



Längengrade



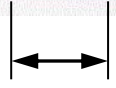
1 Bogenminute



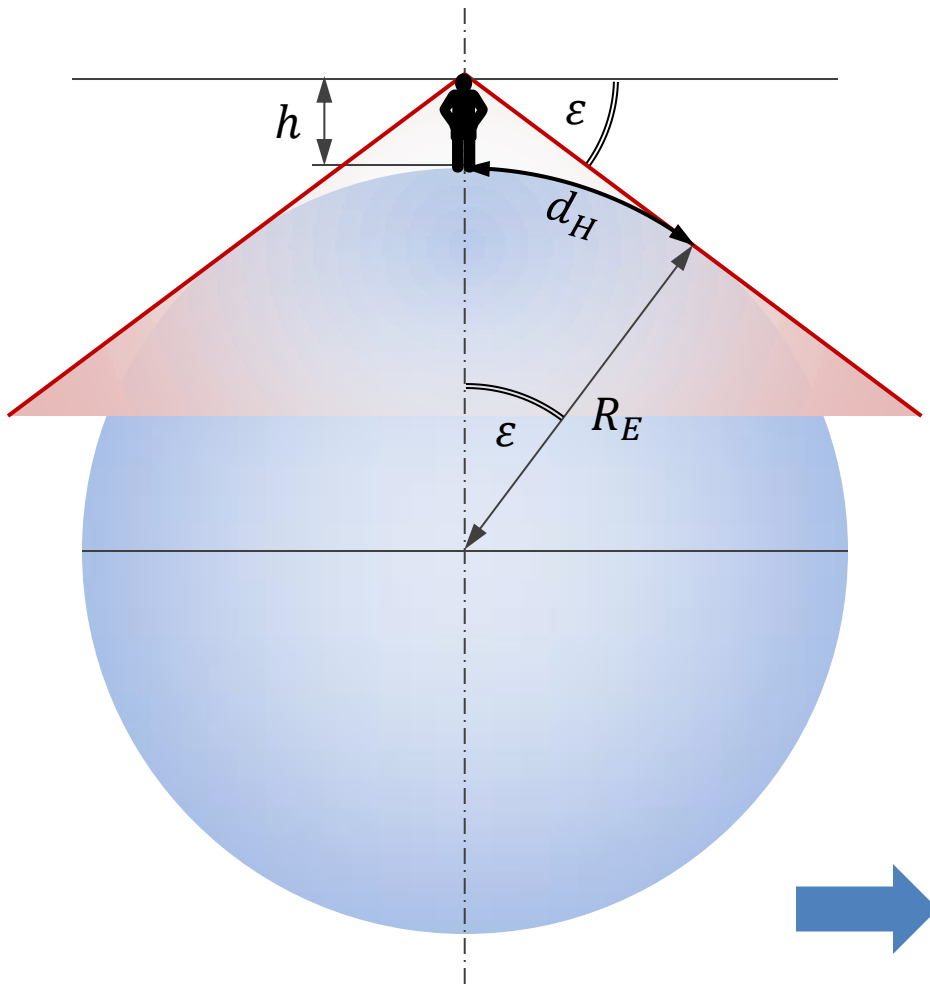
Stand: Januar 1998

Positions WGS 84

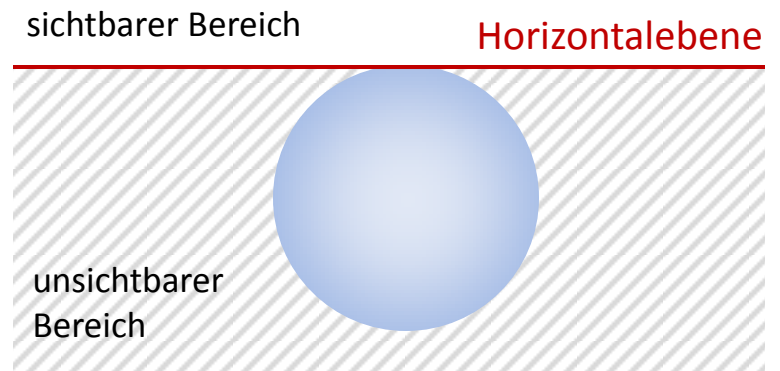
1 Bogenminute



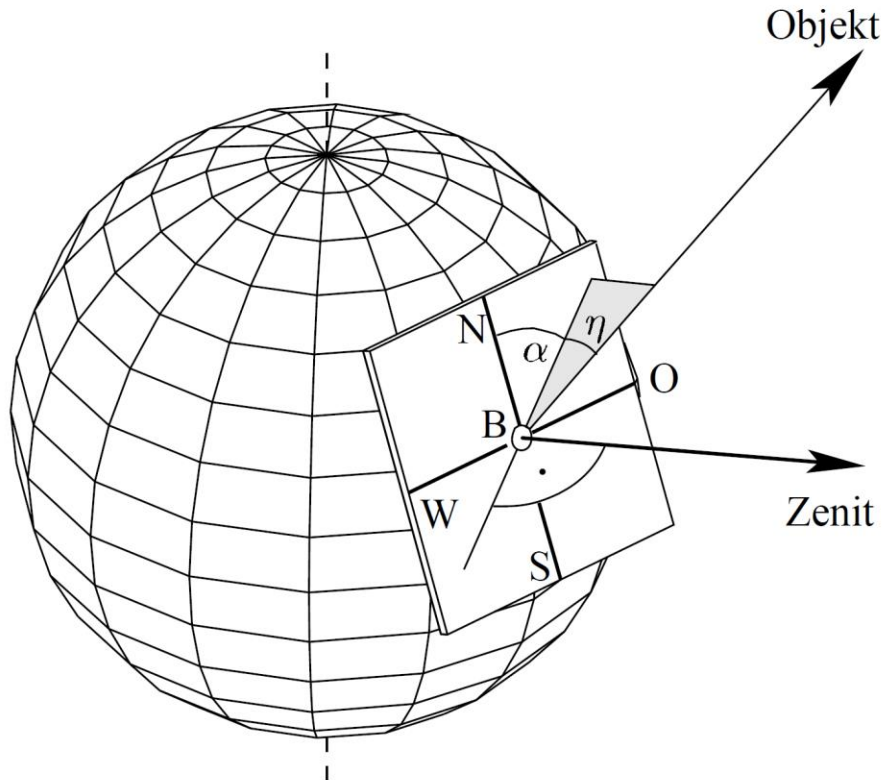
Was wir vom Himmel sehen können



h [m]	ϵ [arcmin]	d_H [km]
2	2,72	2,91
10	6,09	6,51
100	19,25	20,60
1000	60,87	65,13
10000	192,38	205,83



Beobachtung von Himmelsobjekten



Theoretisch sind von jedem Objekt messbar:

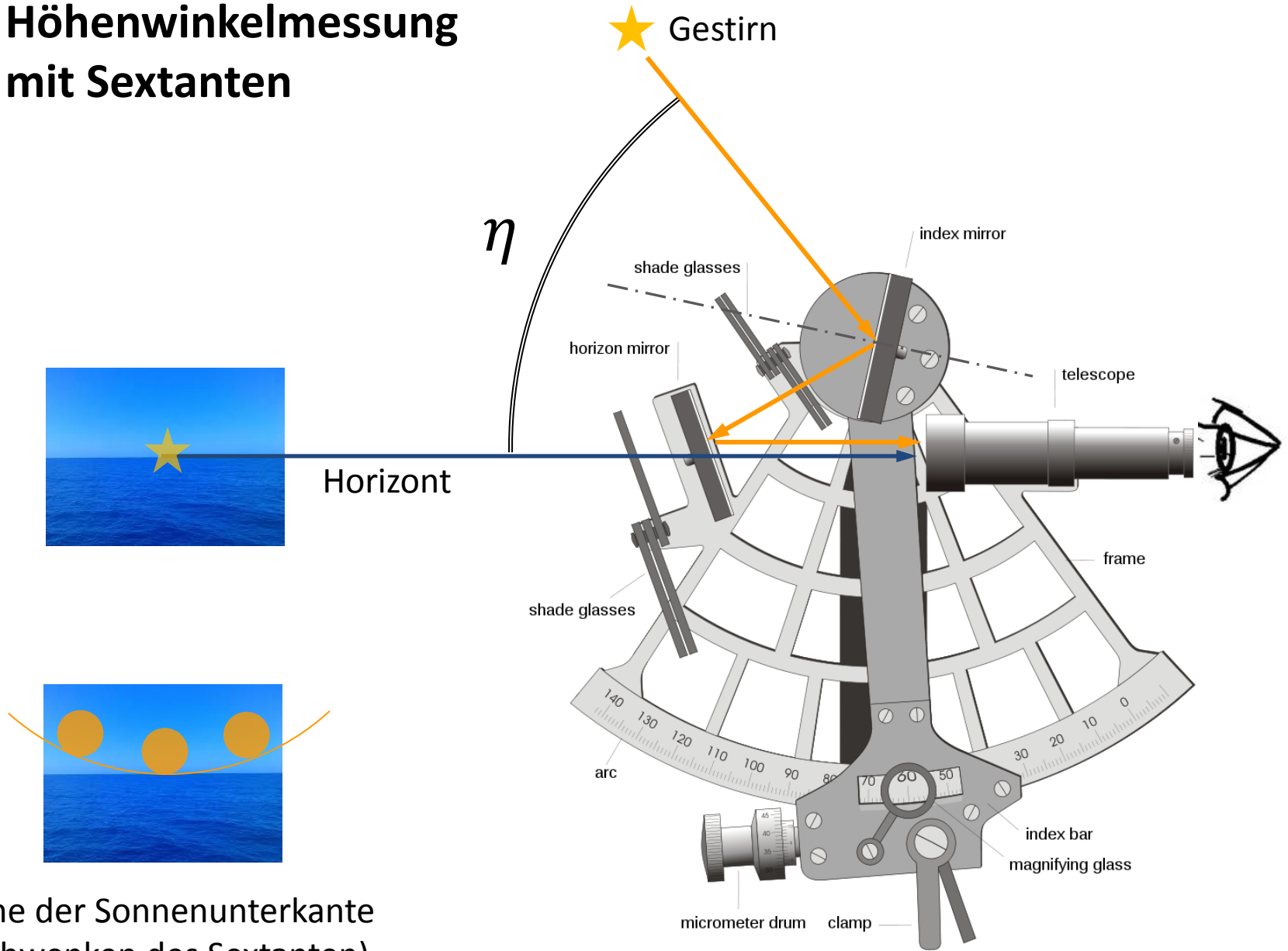
1. Höhenwinkel: $\eta \in [0, 90^\circ]$

- Einfache Messung mit Sextanten
- Kann im Idealfall auf einige Bogensekunden genau gemessen werden
- Muss ev. um „Kimmtiefe“ ε korrigiert werden.

2. Azimut: $\alpha \in [0, 360^\circ]$

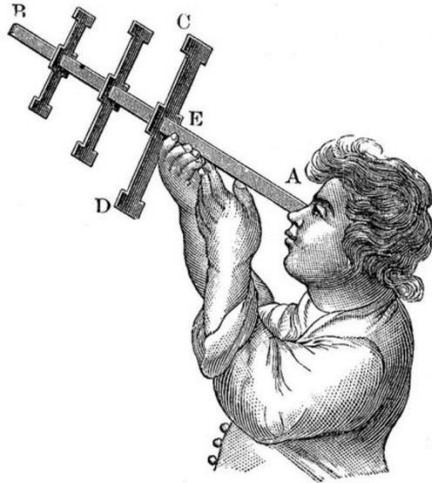
- Messung mit Kompass
- Sehr ungenaue Messung auf schwankenden Schiffen
- Als Messwert unbrauchbar für die Standortbestimmung

Höhenwinkelmessung mit Sextanten

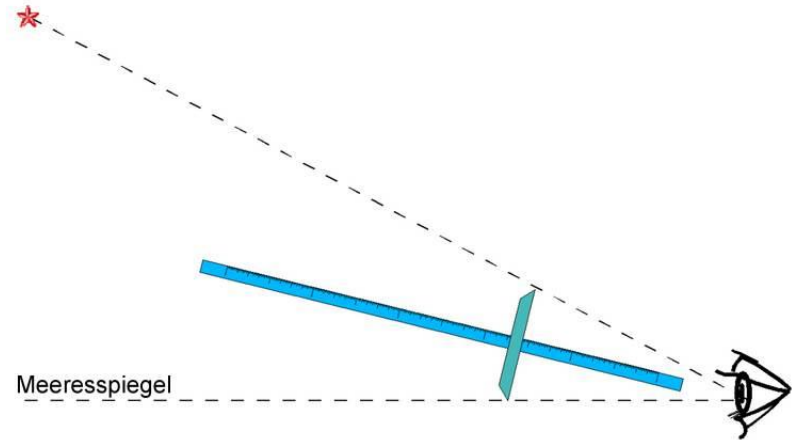


Höhe der Sonnenunterkante
(Schwenken des Sextanten)

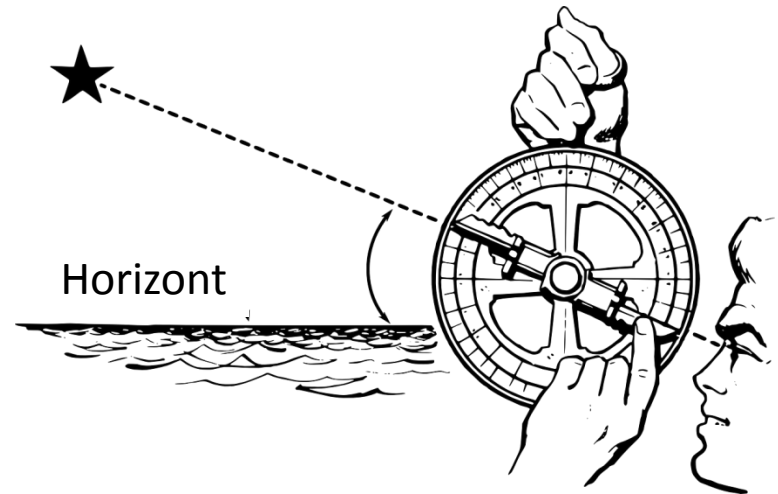
Höhenwinkelmessung in früheren Zeiten



Jakobsstab



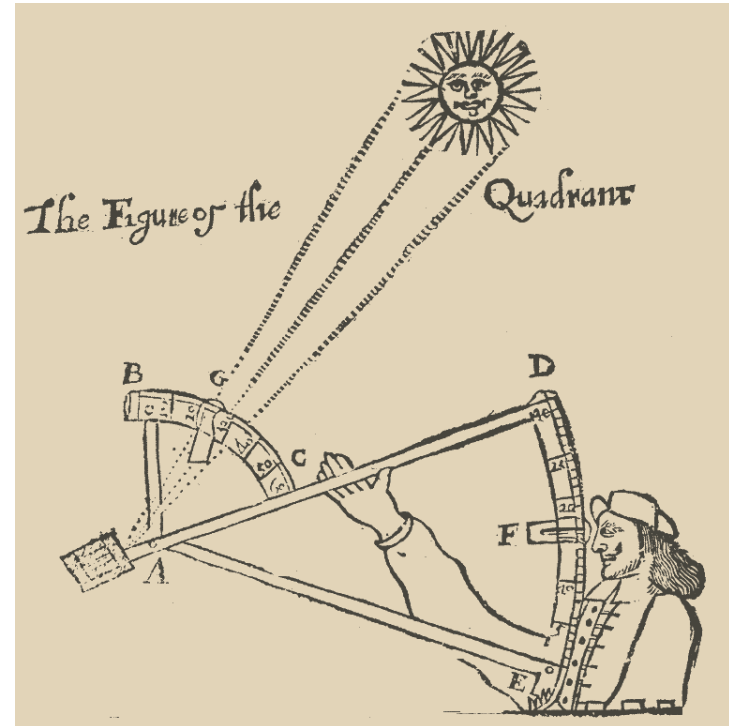
Astrolabium



Höhenwinkelmessung in früheren Zeiten

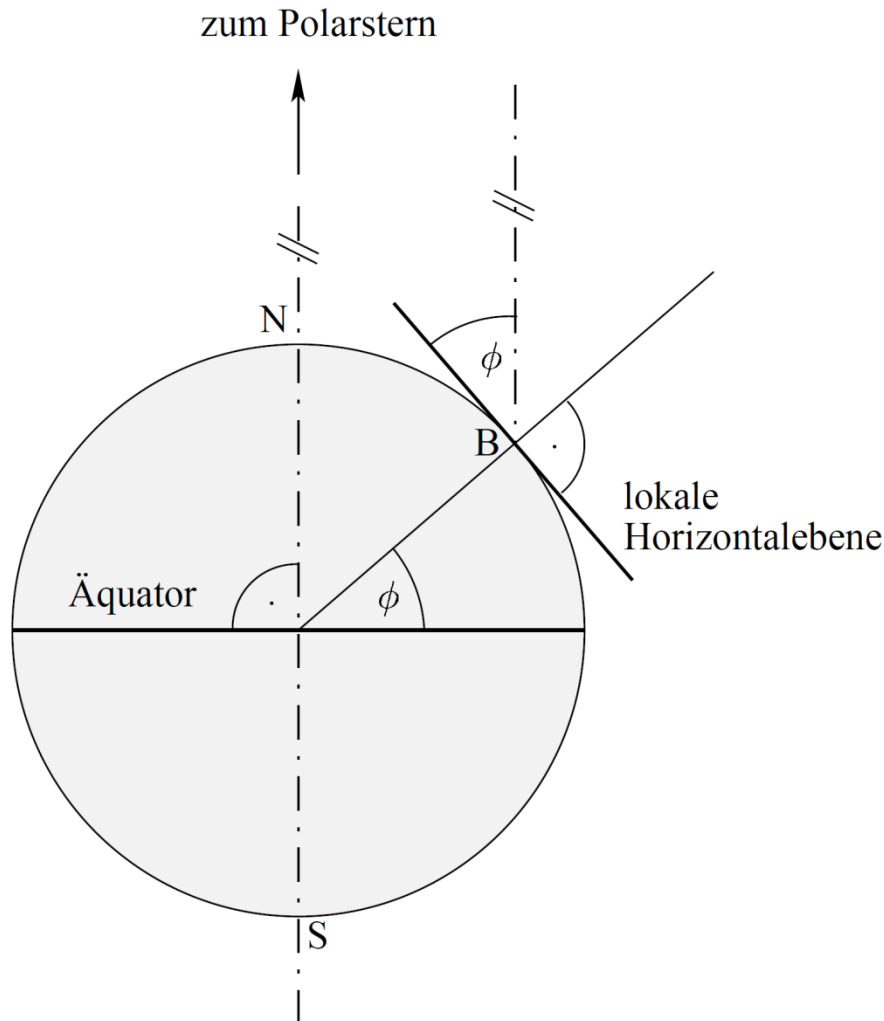


Quadrant von Hevelius (1644)



Davis-Quadrant (John Davis 1594)

Einfachste Standortbestimmung: Nordstern-Breite



Genauigkeit:

$360^\circ \equiv 40.000 \text{ km}$ (Erdumfang)

$1' \equiv 1,852 \text{ km}$ (1 Nautische Meile)

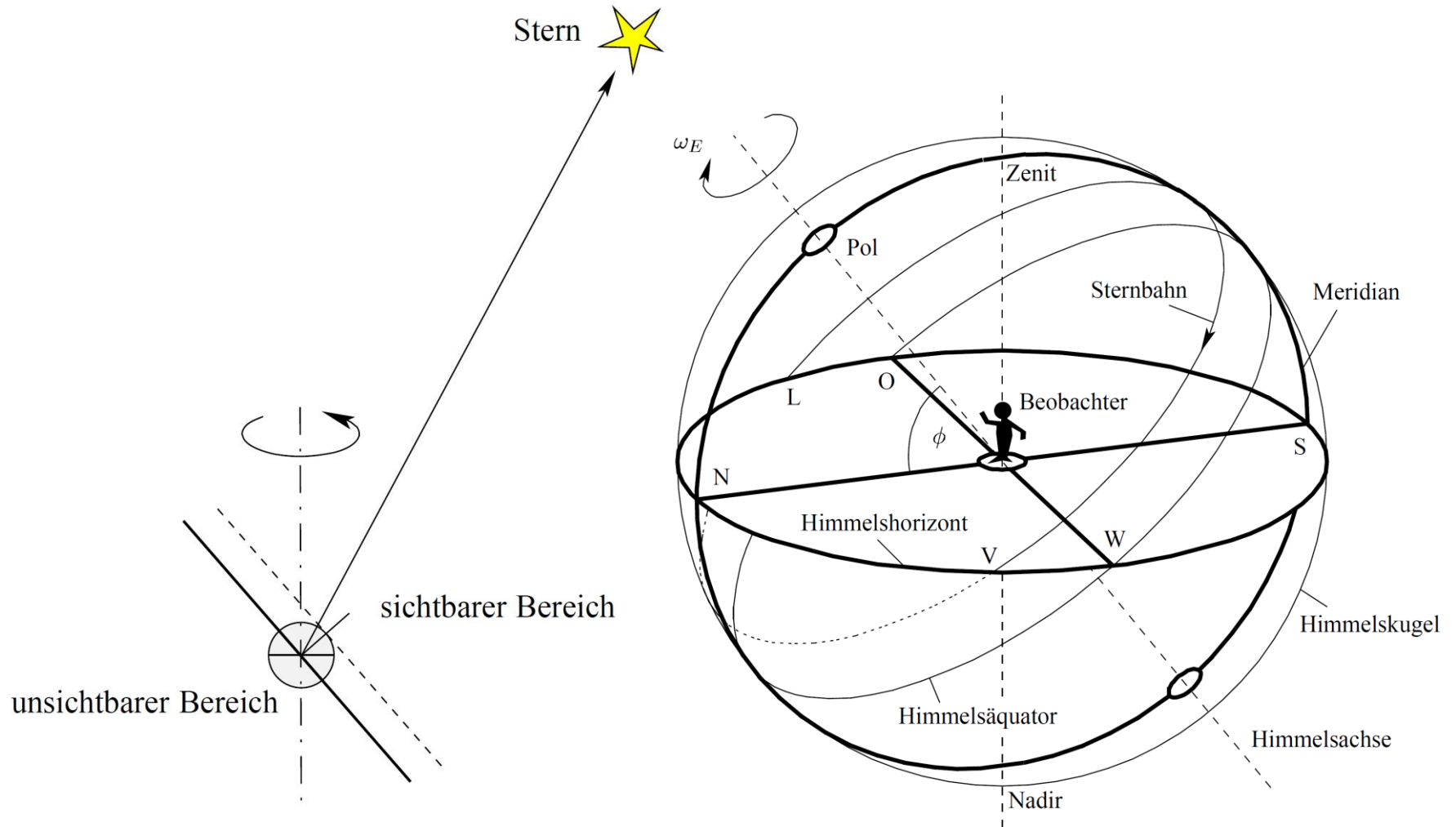
Ein Messfehler von 1° bewirkt eine Nord/Süd-Abweichung von $\pm 111 \text{ km}$

Probleme:

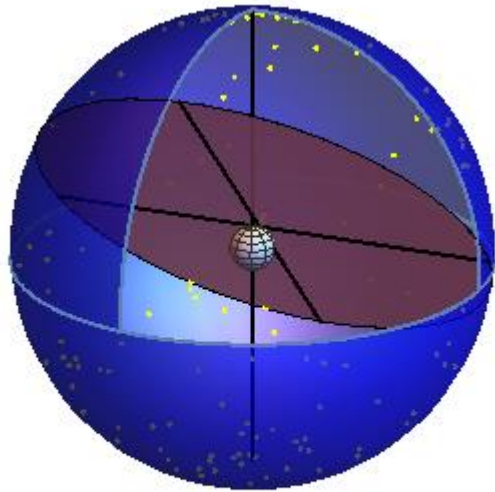
1. Polarstern ist nicht genau im Himmelspol. Abweichung: $0,7^\circ$
2. Höhenwinkelmessung in der Nacht schwierig, da der Horizont kaum sichtbar ist.

Höhenwinkel des Polarsterns = geografische Breite

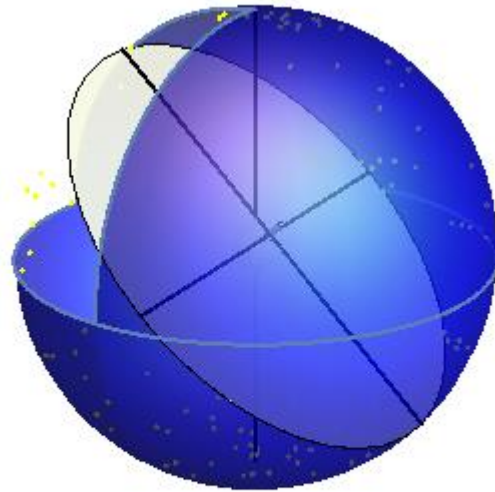
Zur Wahrnehmung der Erddrehung



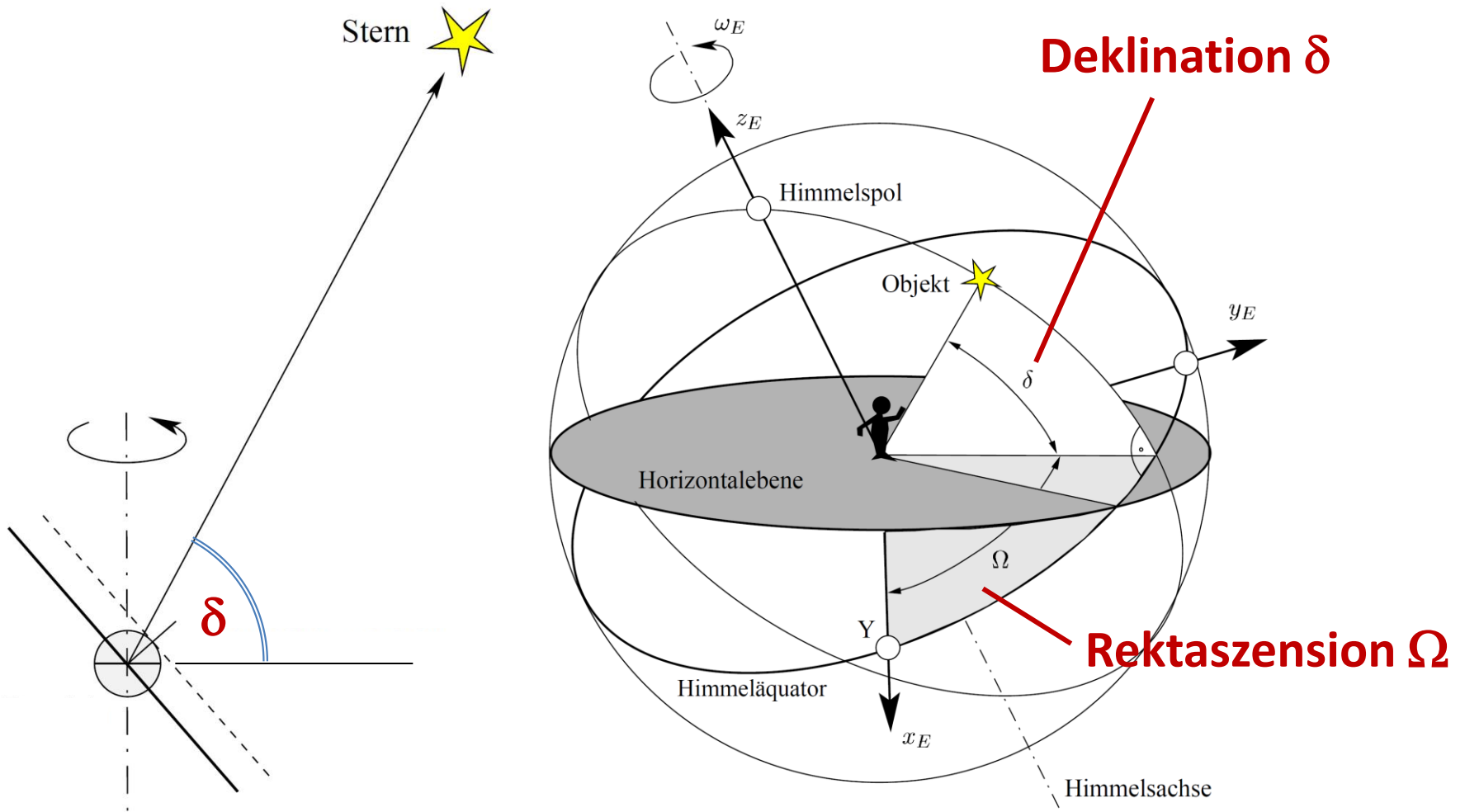
Drehung der Erde



Drehung des Himmels

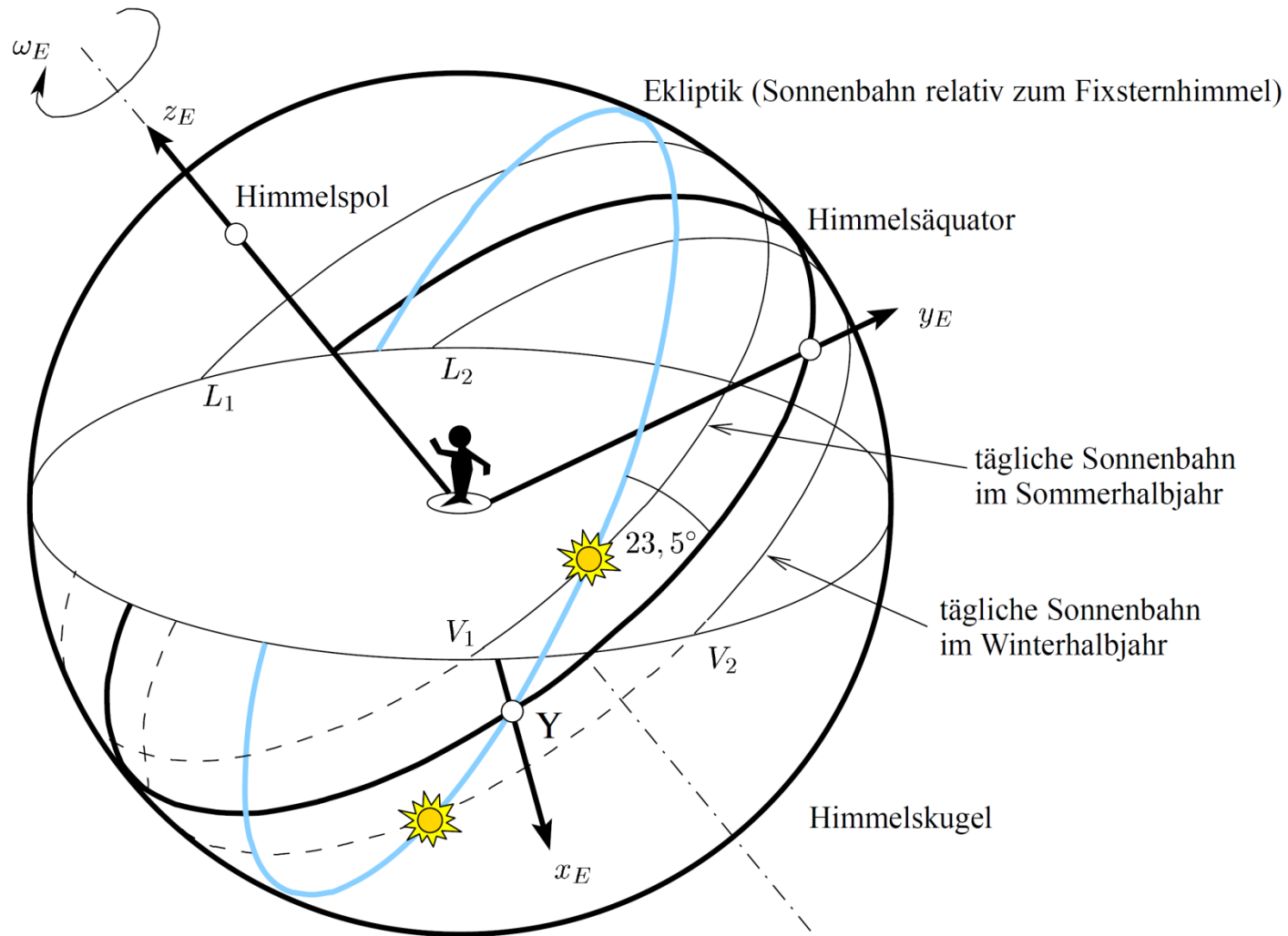


Rektaszension und Deklination eines Himmelsobjekts



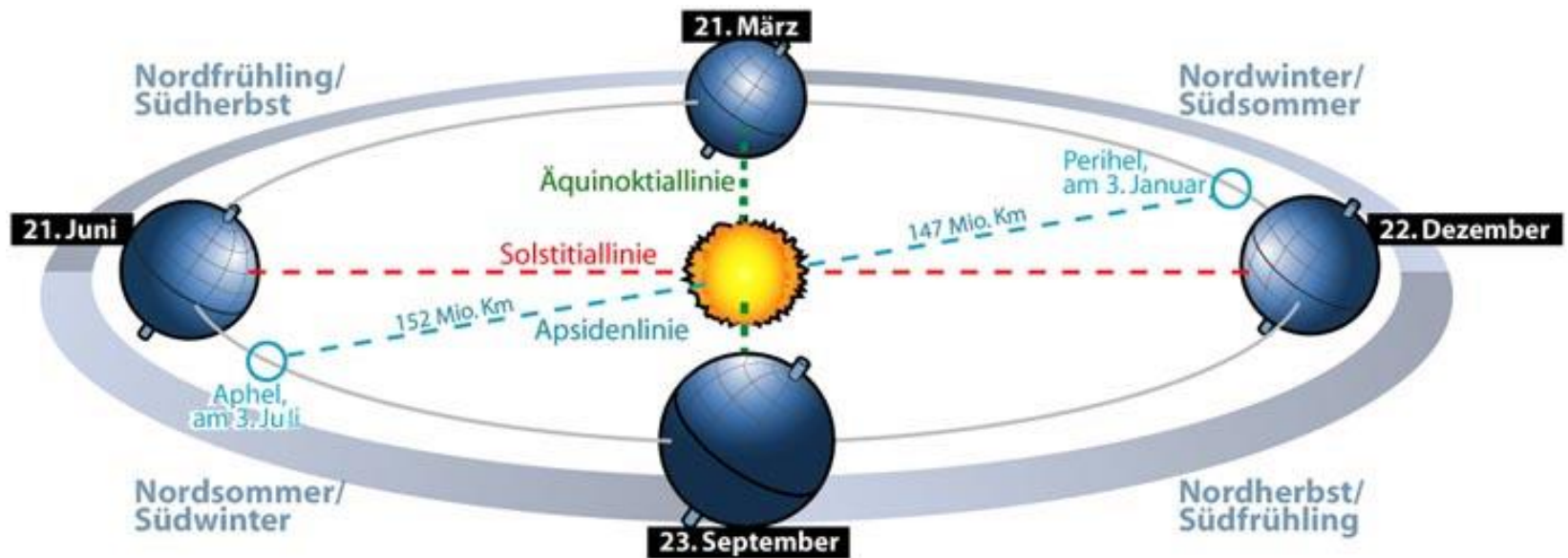
Fixsterne: Deklination und Rektaszension haben unveränderliche Werte

Scheinbare jährliche Bewegung der Sonne auf der Himmelskugel

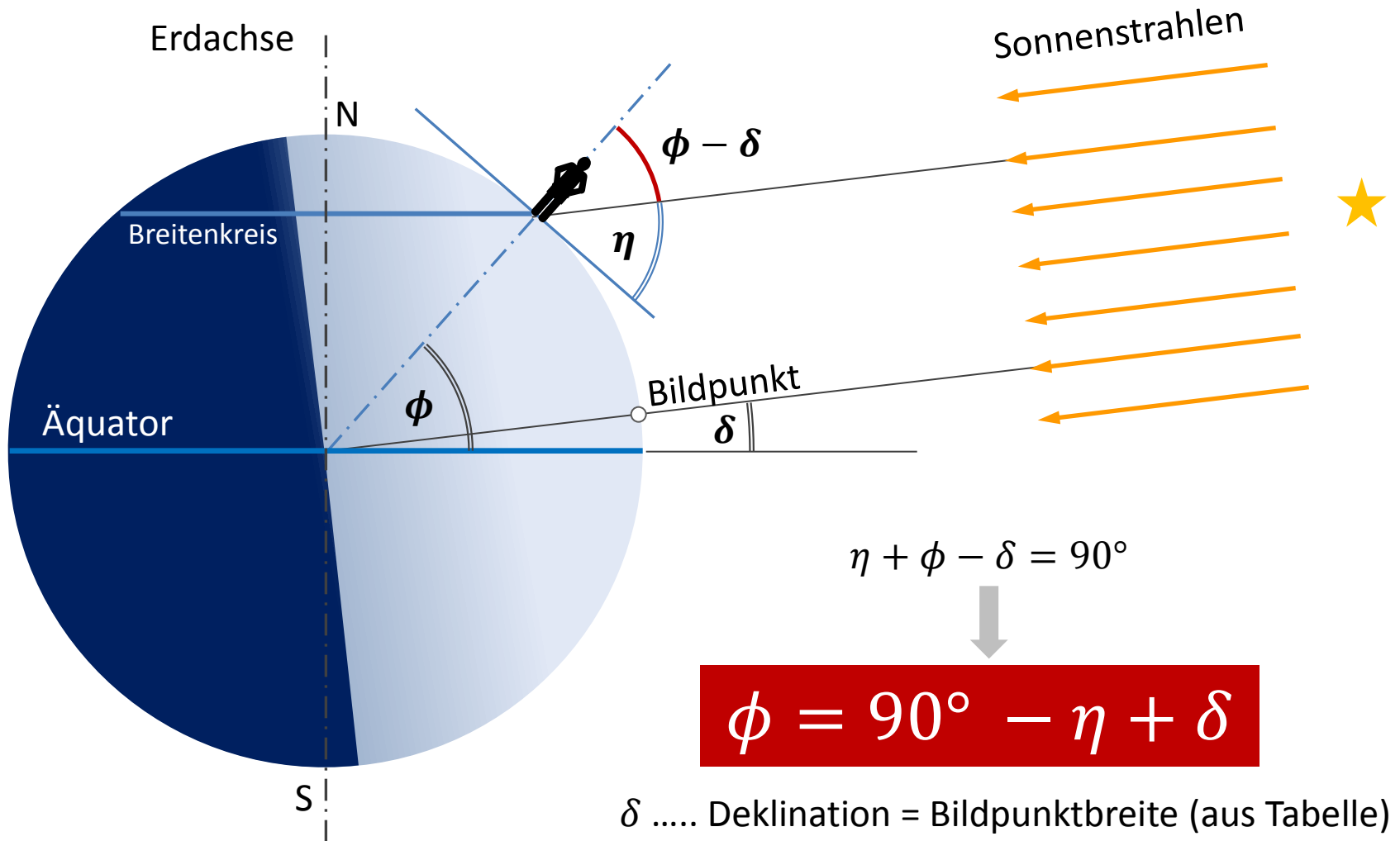


Deklination und Rektaszension ändern sich!

Erklärung der veränderlichen Deklination der Sonne



Standortbestimmung mit Sonne: Mittagsbreite



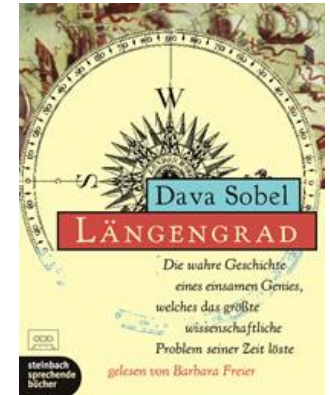
Nachteil: Messung muss genau zu Mittag erfolgen!

348 UT1	SONNE			MOND					FRÜHLP.
	Grt ° ' "	δ ° ' "		Grt ° ' "	Unt ' "	δ ° ' "	Unt ' "	HP ' "	Grt ° ' "
0	181 26.1	23 10.3	S	112 25.9	8.8	16 56.2	4.3	57.4	112 25.9
1	196 25.8	23 10.5		127 28.4	8.8	16 51.8	4.4	57.5	127 28.4
2	211 25.5	23 10.6		142 30.8	8.8	16 47.4	4.5	57.5	142 30.8
3	226 25.2	23 10.8		157 33.3	8.8	16 42.8 S	4.6	57.5	157 33.3
4	241 24.9	23 10.9		172 35.7	8.8	16 38.2	4.7	57.5	172 35.7
5	256 24.6	23 11.1	S	187 38.2	8.8	16 33.4	4.8	57.5	187 38.2
6	271 24.3	23 11.2		202 40.7	8.8	16 28.6	4.9	57.6	202 40.7
7	286 24.0	23 11.4		217 43.1	8.8	16 23.6	5.0	57.6	217 43.1
8	301 23.7	23 11.5		232 45.6	8.9	16 18.6 S	5.1	57.6	232 45.6
9	316 23.4	23 11.7		247 48.1	8.9	16 13.5	5.2	57.6	247 48.1
10	331 23.1	23 11.9	S	262 50.5	8.9	16 08.2	5.3	57.6	262 50.5
11	346 22.8	23 12.0		277 53.0	8.9	16 02.9	5.4	57.6	277 53.0
12	001 22.5	23 12.2		292 55.5	8.9	15 57.5	5.5	57.7	292 55.5
13	016 22.2	23 12.3		307 57.9	8.9	15 52.0 S	5.6	57.7	307 57.9
14	031 21.9	23 12.5		323 00.4	8.9	15 46.4	5.7	57.7	323 00.4
15	046 21.6	23 12.6	S	338 02.9	8.9	15 40.7	5.8	57.7	338 02.9
16	061 21.3	23 12.7		353 05.3	9.0	15 34.9	5.9	57.7	353 05.3
17	076 21.0	23 12.9		008 07.8	9.0	15 29.0	6.0	57.8	008 07.8
18	091 20.7	23 13.0		023 10.2	9.0	15 23.0 S	6.1	57.8	023 10.2
19	106 20.4	23 13.2		038 12.7	9.0	15 16.9	6.2	57.8	038 12.7
20	121 20.1	23 13.3	S	053 15.2	9.0	15 10.8	6.3	57.8	053 15.2
21	136 19.8	23 13.5		068 17.6	9.0	15 04.5	6.3	57.8	068 17.6
22	151 19.5	23 13.6							
23	166 19.2	23 13.8							

Deklination der Sonne bei Winterbeginn (negativ)

81 UT1	SONNE			MOND					FRÜHLP.	
	Grt ° ' "	δ ° ' "		Grt ° ' "	Unt ' "	δ ° ' "	Unt ' "	HP ' "	Grt ° ' "	
0	178 12.2	00 19.2 N							178 56.6	
1	193 12.4	00 20.2	Deklination der Sonne bei Frühlingsanfang							193 59.0
2	208 12.6	00 21.2	053 30.2	13.8	08 27.7	8.5	54.9		209 01.5	
3	223 12.8	00 22.2	068 03.1	13.9	08 19.1	8.6	54.8		224 04.0	
4	238 13.0	00 23.2	082 35.9	13.9	08 10.6	8.6	54.8		239 06.4	
5	253 13.2	00 24.1 N	097 08.8	13.9	08 02.0 N	8.6	54.8		254 08.9	
6	268 13.3	00 25.1	111 41.8	14.0	07 53.4	8.7	54.8		269 11.4	
7	283 13.5	00 26.1	126 14.8	14.0	07 44.7	8.7	54.8		284 13.8	
8	298 13.7	00 27.1	140 47.8	14.0	07 36.0	8.7	54.8		299 16.3	
9	313 13.9	00 28.1	155 20.8	14.1	07 27.3	8.7	54.8		314 18.7	
10	328 14.1	00 29.1 N	169 53.9	14.1	07 18.6 N	8.8	54.7		329 21.2	
11	343 14.3	00 30.1	184 27.0	14.1	07 09.8	8.8	54.7		344 23.7	
12	358 14.5	00 31.1	199 00.2	14.2	07 01.0	8.8	54.7		359 26.1	
13	013 14.7	00 32.0	213 33.4	14.2	06 52.2	8.8	54.7		014 28.6	
14	028 14.8	00 33.0	228 06.6	14.2	06 43.4	8.9	54.7		029 31.1	
15	043 15.0	00 34.0 N	242 39.8	14.3	06 34.5 N	8.9	54.7		044 33.5	
16	058 15.2	00 35.0	257 13.1	14.3	06 25.6	8.9	54.7		059 36.0	
17	073 15.4	00 36.0	271 46.4	14.3	06 16.7	8.9	54.6		074 38.5	
18	088 15.6	00 37.0	286 19.7	14.4	06 07.7	9.0	54.6		089 40.9	
19	103 15.8	00 38.0	300 53.1	14.4	05 58.8	9.0	54.6		104 43.4	
20	118 16.0	00 38.9 N	315 26.4	14.4	05 49.8 N	9.0	54.6		119 45.9	
21	133 16.2	00 39.9	329 59.9	14.4	05 40.8	9.0	54.6		134 48.3	
22	148 16.3	00 40.9	344 33.3	14.5	05 31.7	9.0	54.6		149 50.8	
23	163 16.5	00 41.9	359 06.8	14.5	05 22.7	9.1	54.6		164 53.2	

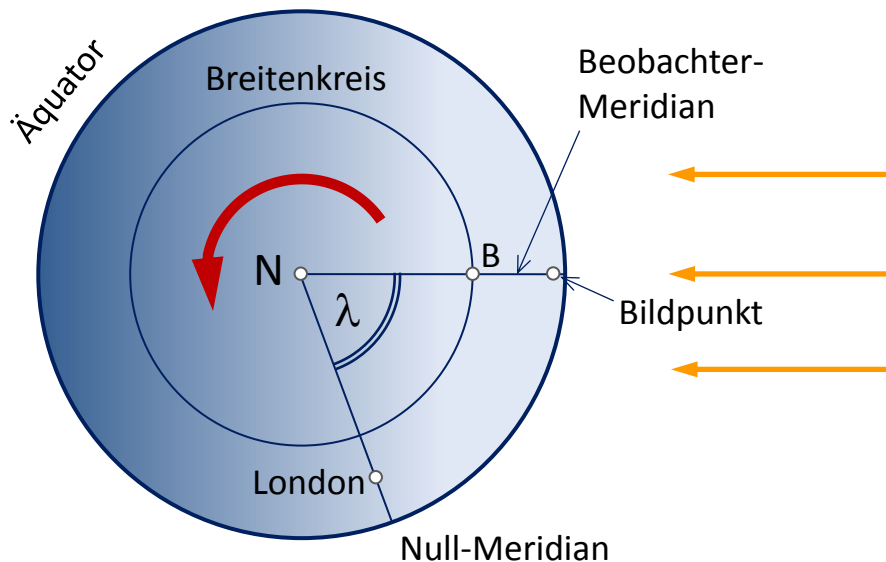
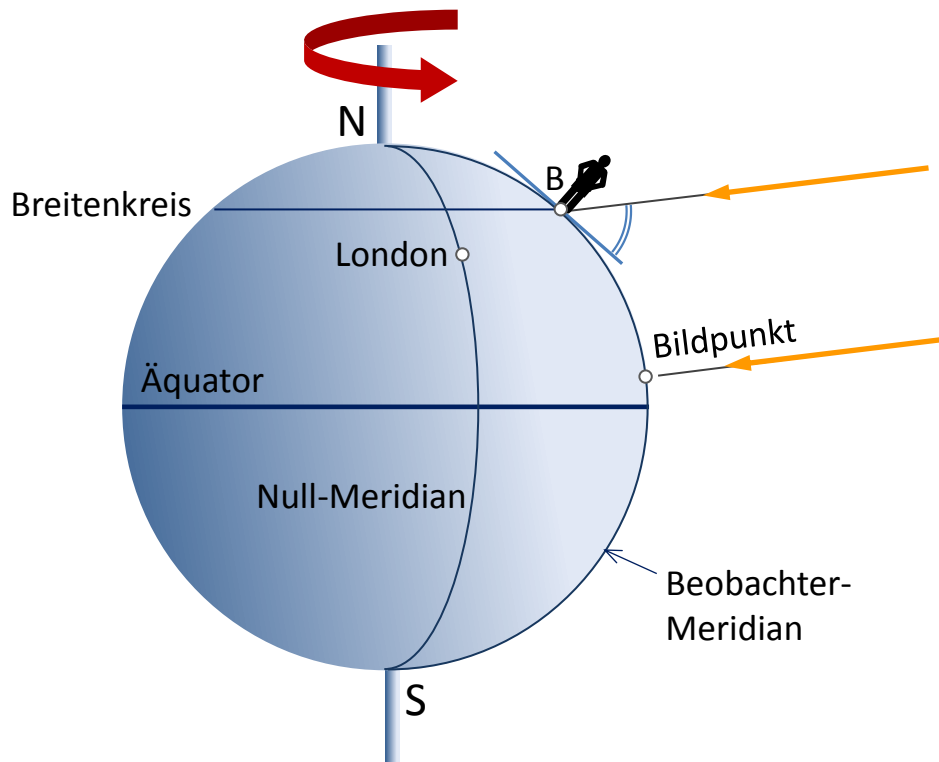
Das Längengradproblem



Bisherige Erkenntnis: Die geografische Breite lässt sich relativ einfach durch Höhenmessung der Sonne zu Mittag oder durch Höhenmessung des Polarsterns ermitteln.

Problem: Wie kann man die geografische Länge ermitteln?

Antwort: Indem man eine Uhr mit der Ortszeit des Nullmeridians mit auf die Reise nimmt!



Mittagslänge:

1. Stelle fest, wann die Sonne bei dir am höchsten steht.
2. Lies den Zeitpunkt T_0 des Sonnenhöchststandes auf der Uhr mit der Ortszeit von London ab (z.B. $T_0 = 9:00$ Uhr „UT“).
3. Dann befindet sich der Bildpunkt nach $12 - T_0$ Stunden am Null-Meridian, und in London wird Mittag sein.

4. Bis dahin muss sich die Erde um λ (= Längengrad von B) drehen

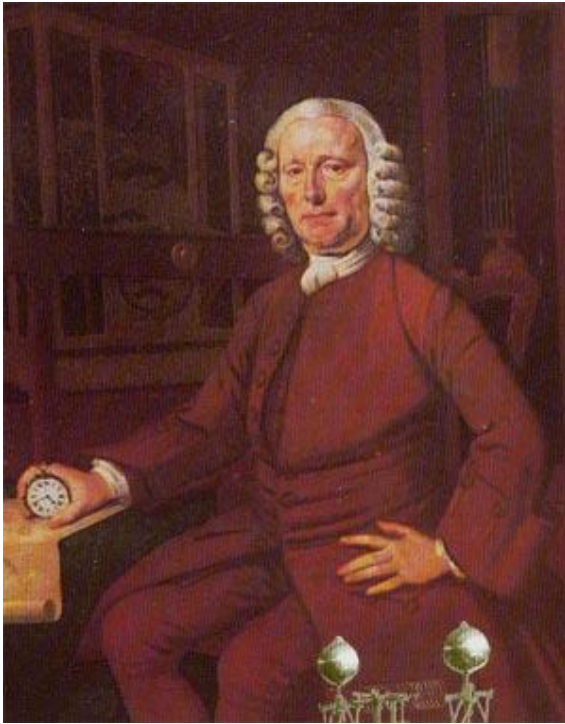
5. Da sich die Erde in 24 Stunden um 360° dreht gilt:

$$\lambda = 360^\circ \times \frac{12 - T_0}{24} \quad \begin{array}{l} + \dots \text{Ost} \\ - \dots \text{West} \end{array}$$

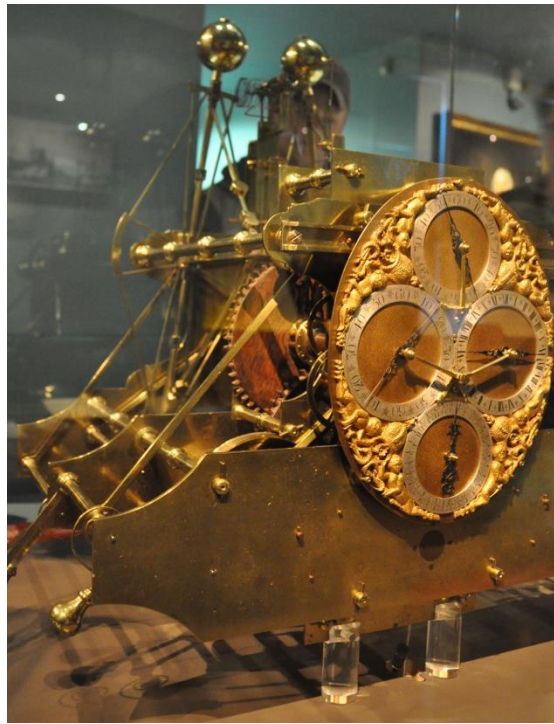
(z.B. $T_0 = 9:00$ Uhr $\rightarrow \lambda = 45^\circ$ Ost)

Problem 1: Wie baut man eine Uhr, die über viele Monate genau mit der Erddrehung synchronisiert bleibt, auch wenn sich die Uhr auf einem schwankenden Schiff befindet?

Lösung: Erst im 18. Jahrhundert durch **John Harrison!**



J. Harrison (1693-1776)



H1 (1730-1735)

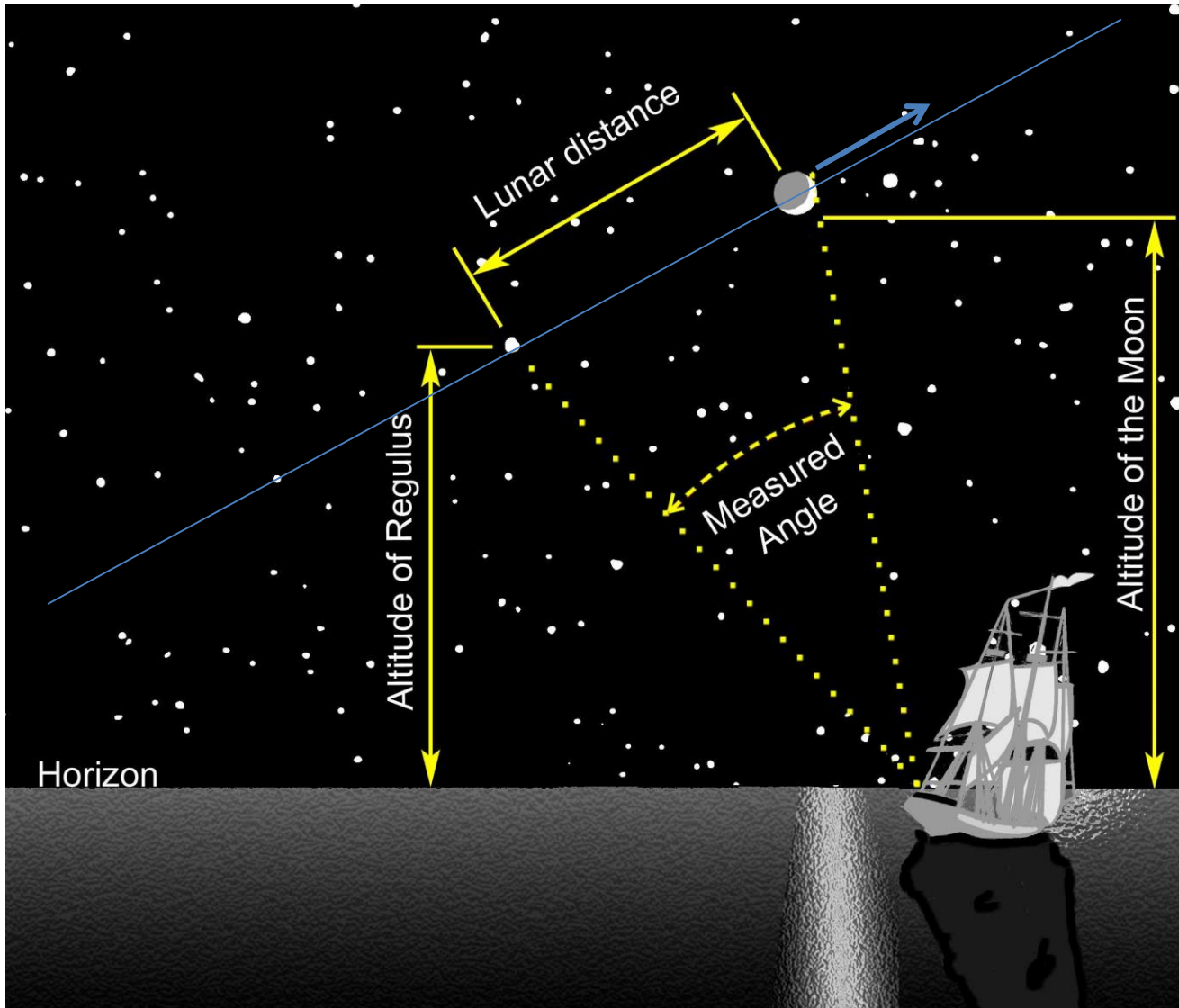


H4 (1753-1759)

Fehler: 5 Sekunden in 81 Tagen

Alternative Lösung: „Monddistanz“ (Verwendung des Mondes als Uhr)

Der Mond durchwandert die Himmelskugel in 27,3 Tagen, d.h. er legt in 1 Stunde 30' zurück.

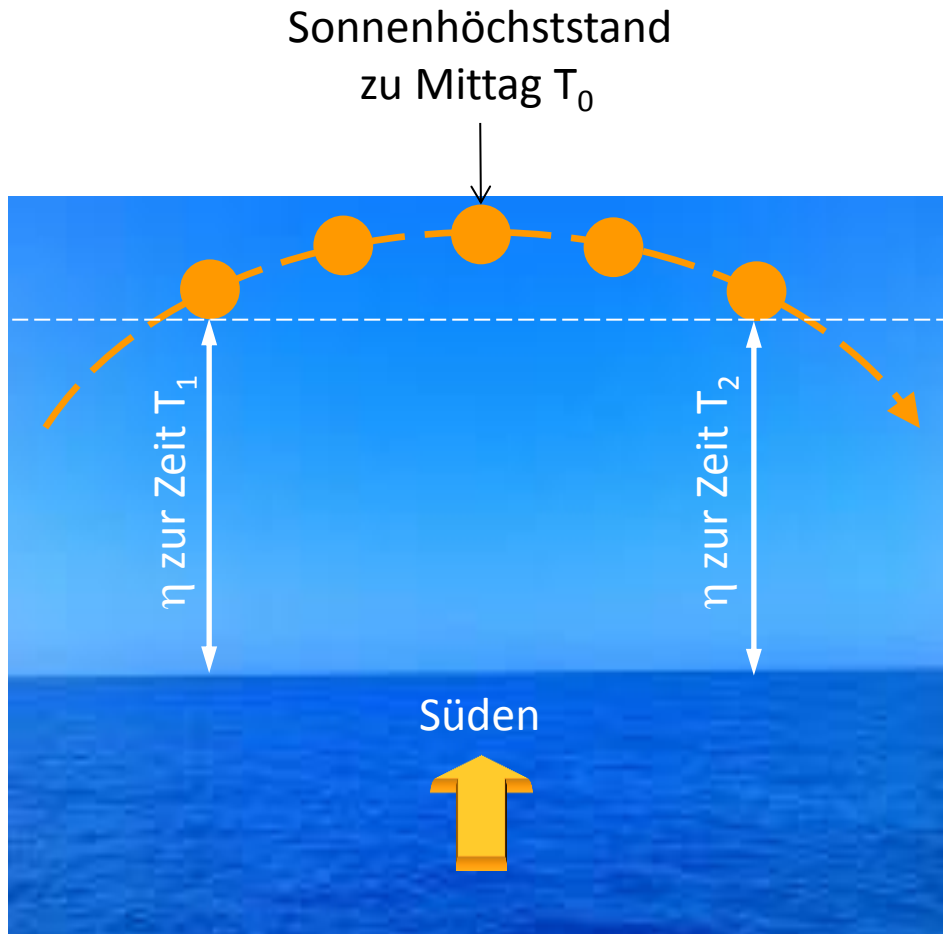


Dieses Verfahren wurde von *Joshua Slocum* bei der ersten Einhand-Weltumsegelung (1895-1898) im Pazifik benutzt.



Problem 2:

Wie findet man heraus wann genau die Sonne an höchsten steht?



1. Miss die Höhe der Sonne zum Zeitpunkt T_1 (Greenwich-Zeit), z.B. etwa eine Stunde vor Mittag.
2. Lass die gemessene Höhe η am Sextanten eingestellt.
3. Stelle den Zeitpunkt T_2 (Greenwich-Zeit) fest, wann die Sonne wieder die Höhe η erreicht.
4. Der Mittagszeitpunkt T_0 liegt genau zwischen T_1 und T_2 :

$$T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

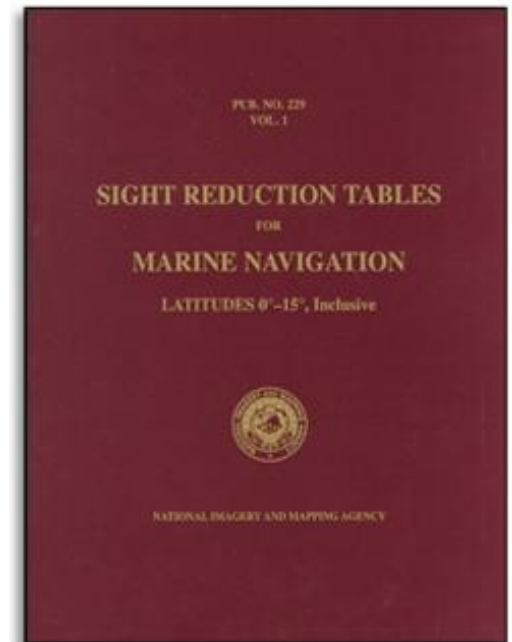
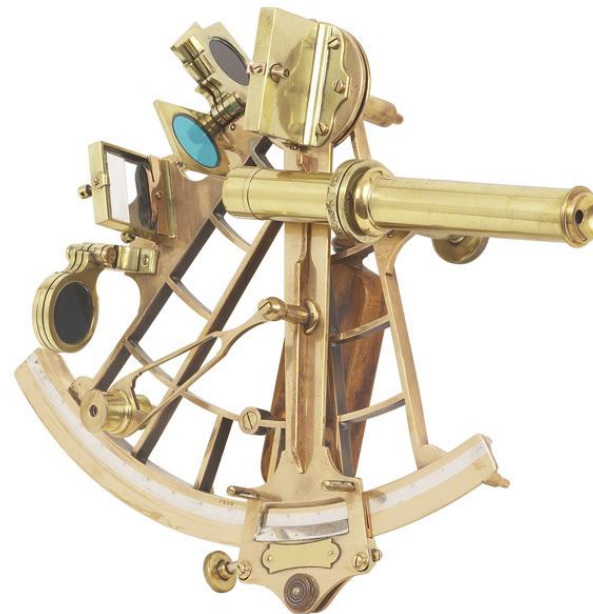
Aber: Was tun, wenn sich das Schiff zwischen den Messungen bewegt hat?

Das allgemeine Verfahren zur astronomischen Standortbestimmung



Nautisches Jahrbuch

Ephemeriden und Tafeln für das Jahr 2015
(Abbildung ähnlich)

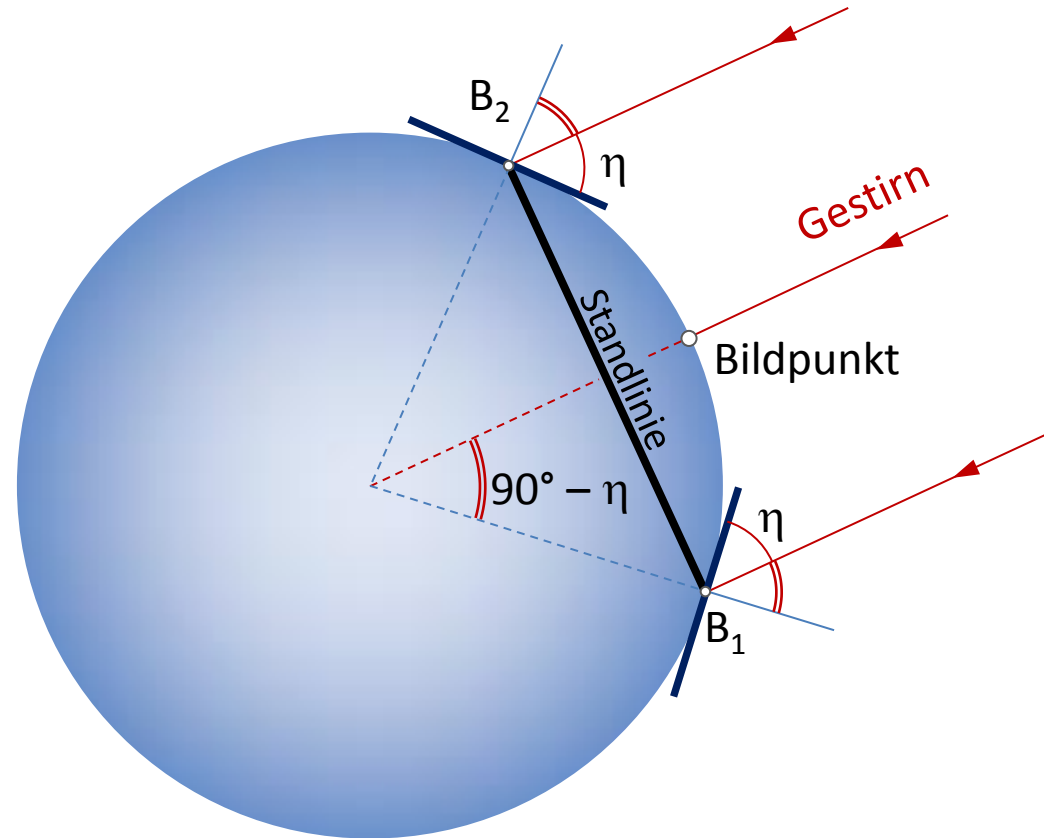
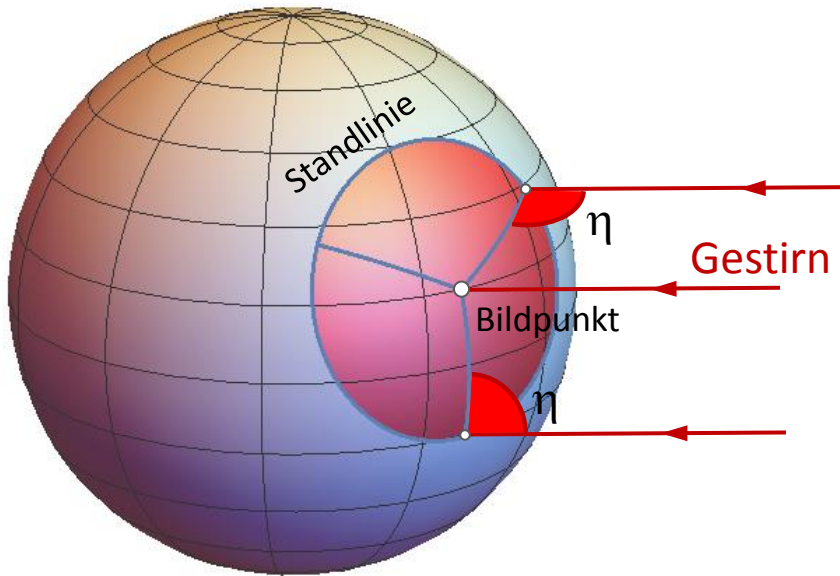


Der Höhenkreis

(Kreis gleicher Höhe)

Definiert durch:

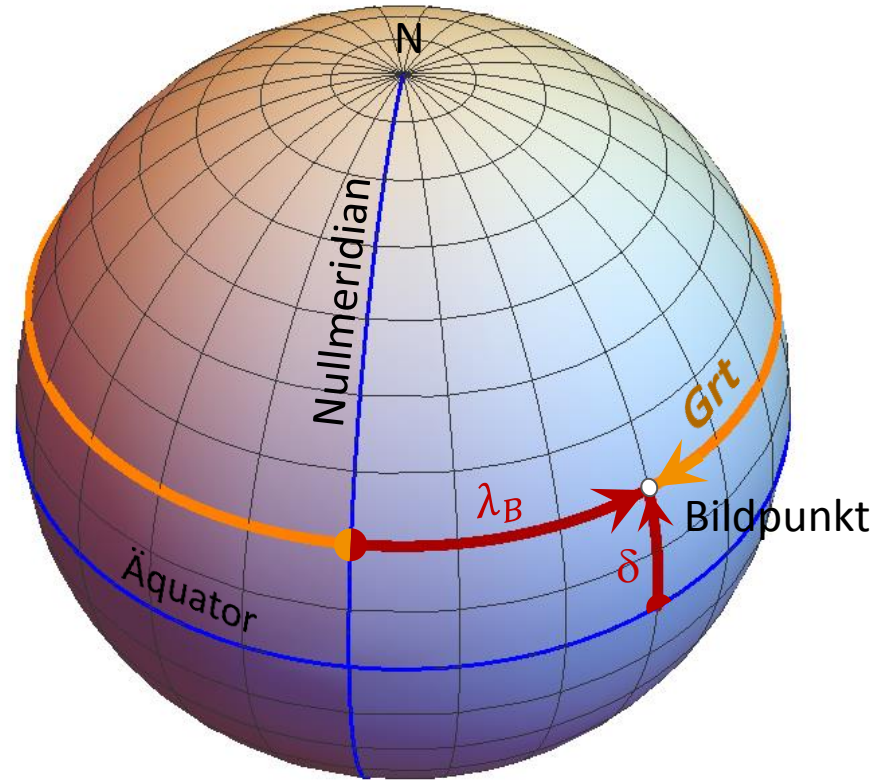
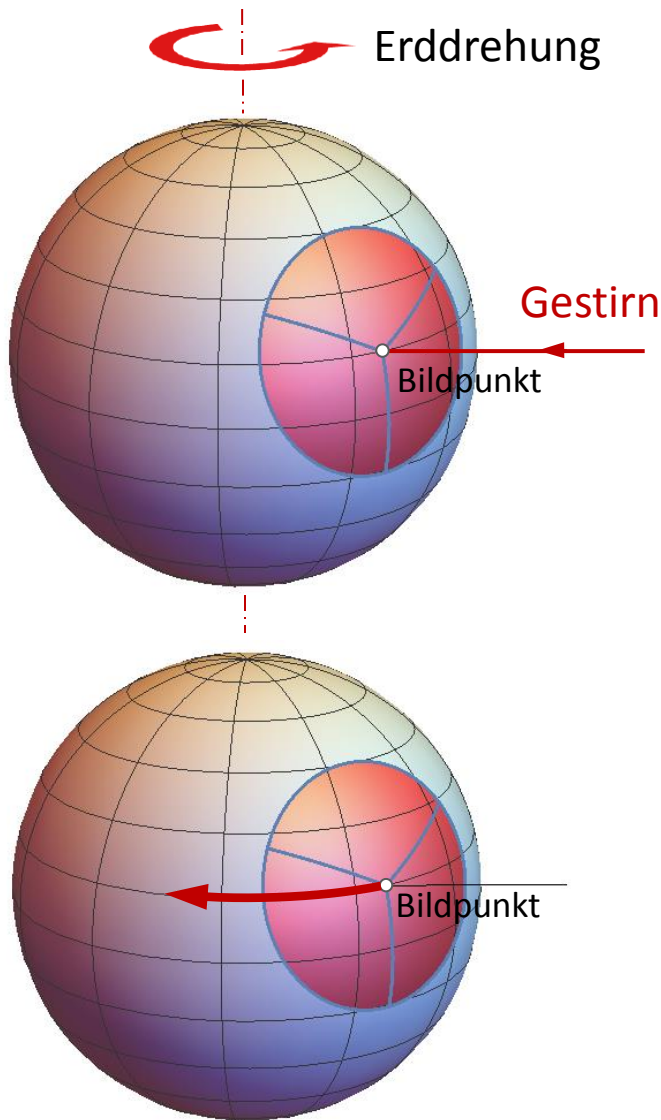
- Bildpunktskoordinaten
- Höhenwinkel



Bestimmbar durch:



Deklination, Länge und Stundenwinkel des Bildpunktes



δ Bildpunktbreite (Deklination)

λ_B Bildpunktlänge

Grt Greenwich Stundenwinkel (GHA)

Scheinbare Bewegung des
Bildpunktes auf der Erde

$$\lambda_B = 360^\circ - \text{Grt}$$

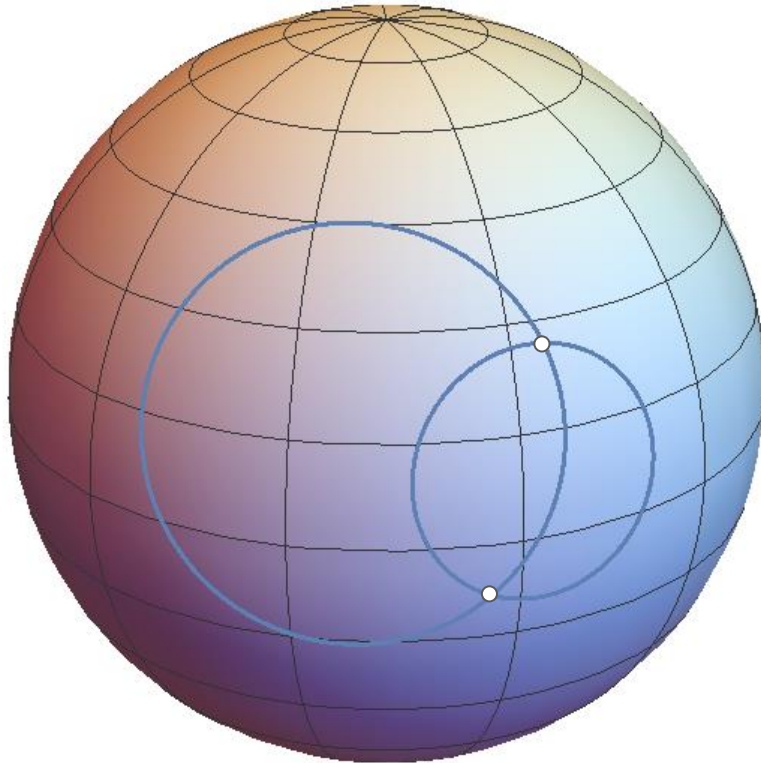
81	SONNE			MOND					FRÜHLP.		
UT1	Gr ^t		δ	Gr ^t	Unt	δ	Unt	HP	Gr ^t		
	°	'	°	°	'	°	'	'	°	'	
0	178	12.2	00 19.2 N	053	30.2	13.8	08 27.7	8.5	54.9	178	56.6
1	193	12.4	00 20.2	068	03.1	13.9	08 19.1	8.6	54.8	193	59.0
2	208	12.6	00 21.2	082	35.9	13.9	08 10.6	8.6	54.8	209	01.5
3	223	12.8	00 22.2	097	08.8	13.9	08 02.0 N	8.6	54.8	224	04.0
4	238	13.0	00 23.2	111	41.8	14.0	07 53.4	8.7	54.8	239	06.4
5	253	13.2	00 24.1 N	126	14.8	14.0	07 44.7	8.7	54.8	254	08.9
6	268	13.3	00 25.1	140	47.8	14.0	07 36.0	8.7	54.8	269	11.4
7	283	13.5	00 26.1	155	20.8	14.1	07 27.3	8.7	54.8	284	13.8
8	298	13.7	00 27.1	169	53.9	14.1	07 18.6 N	8.8	54.7	299	16.3
9	313	13.9	00 28.1	184	27.0	14.1	07 09.8	8.8	54.7	314	18.7
10	328	14.1	00 29.1 N	199	00.2	14.2	07 01.0	8.8	54.7	329	21.2
11	343	14.3	00 30.1	213	33.4	14.2	06 52.2	8.8	54.7	344	23.7
12	358	14.5	00 31.1							359	26.1
13	013	14.7	00 32.0							014	28.6
14	028	14.8								029	31.1
15	043	15.0								044	33.5
16	058	15.2	00 35.0	257	13.1	14.3	06 25.6	8.9	54.7	059	36.0
17	073	15.4	00 36.0	271	46.4	14.3	06 16.7	8.9	54.6	074	38.5
18	088	15.6	00 37.0	286	19.7	14.4	06 07.7	9.0	54.6	089	40.9
19	103	15.8	00 38.0	300	53.1	14.4	05 58.8	9.0	54.6	104	43.4
20	118	16.0	00 38.9 N	315	26.4	14.4				119	45.9
21	133	16.2	00 39.9	329	59.9	14.4				134	48.4
22	148	16.3	00 40.9	344	33.3	14.5	05 31.7	9.0	54.6	149	50.8
23	163	16.5	00 41.9	359	06.8	14.5	05 22.7	9.1	54.6	164	53.2

Breite des Bildpunkts (= „Deklination“)

360° – Länge des Bildpunkts („Greenwich Stundenwinkel“)

Interpolation mit Hilfe von Schalttafeln!

Ortsbestimmung durch Schnitt zweier Höhenkreise



Mögliche Anwendung:

1. Zur einer Zeit zwei verschiedene Gestirne messen (nur Nachts möglich)
2. Zu zwei Zeiten das selbe Gestirn messen (z.B. 2 mal Sonne)
3. Zu zwei Zeiten zwei verschiedene Gestirne messen

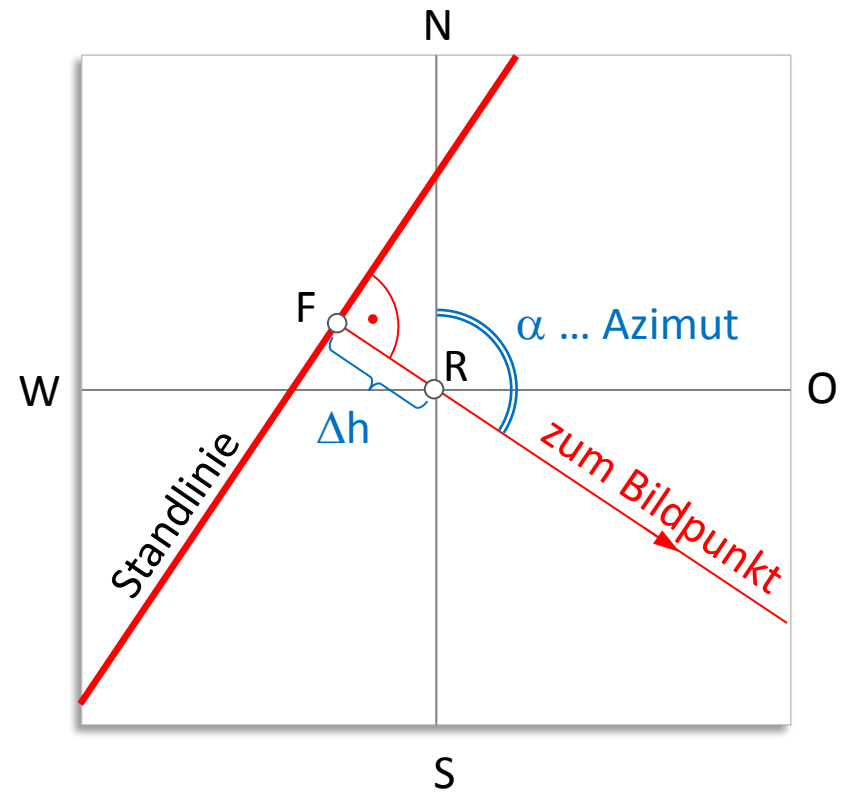
Probleme:

1. Zwei Lösungen (Entscheidung aber meistens einfach)
2. Nur rechnerisch durchführbar, da die Bildpunkte nicht auf der Seekarte liegen.
3. Wegen komplexer Rechenoperationen nur mit Computerunterstützung ermittelbar (früher nicht verfügbar)
4. Versegelung bei Methode 2 und 3 schwierig zu berücksichtigen

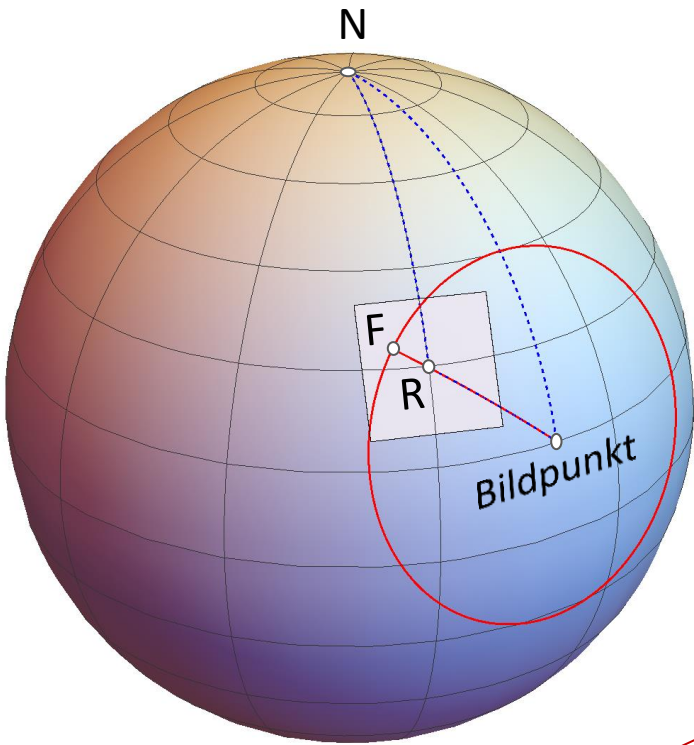
Idee: Annahme eines ungefähren Aufenthaltsortes (Rechenort R) und lokale Annäherung des Höhenkreises durch eine Gerade.



Lokale Seekarte (Tangentialebene)



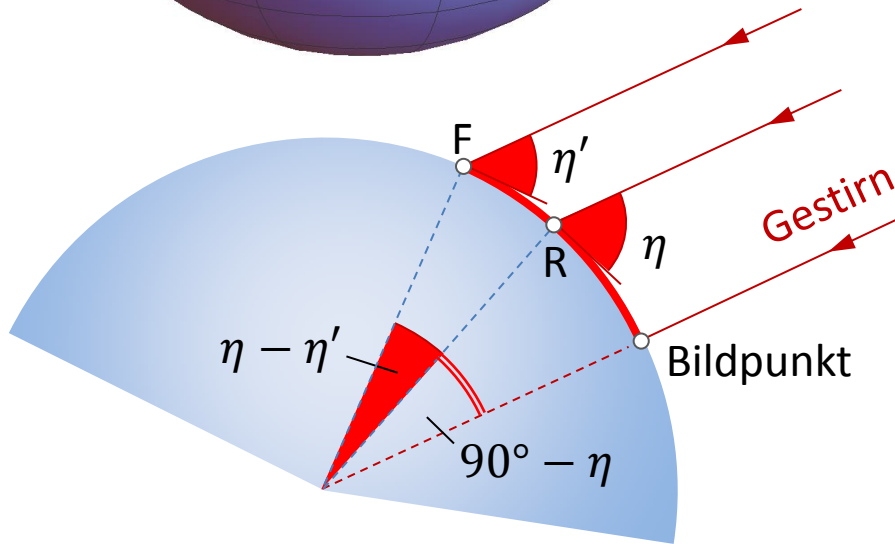
Δh ... Abstand der Standlinie von R



Berechnung des Abstandes $\Delta h = F-R$:

$$\Delta h = \frac{\text{Erdumfang}}{360^\circ} \times (\eta - \eta') \quad \begin{array}{l} + \dots \text{ vom Bildpunkt} \\ - \dots \text{ zum Bildpunkt} \end{array}$$

η' Gemessener Höhenwinkel für Punkt F
 η theoretischer Höhenwinkel für Punkt R



Ansicht auf Großkreis Bildpunkt – R – F

In nautischen Einheiten:

1 Bogenminute am Großkreis
 \equiv 1 Nautische Meile (= 1,852 km)

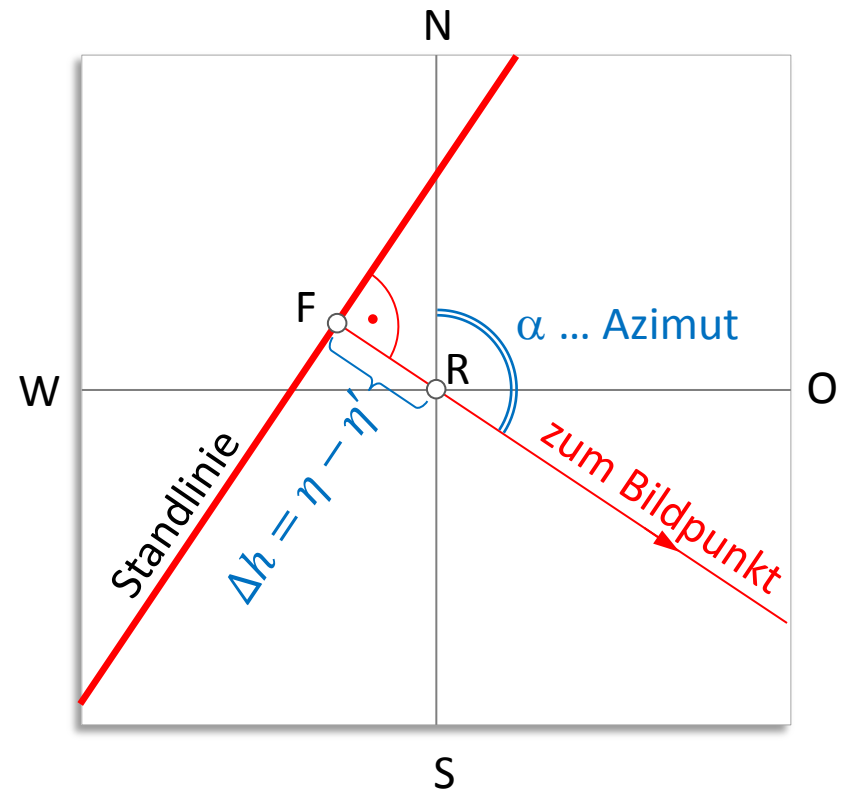
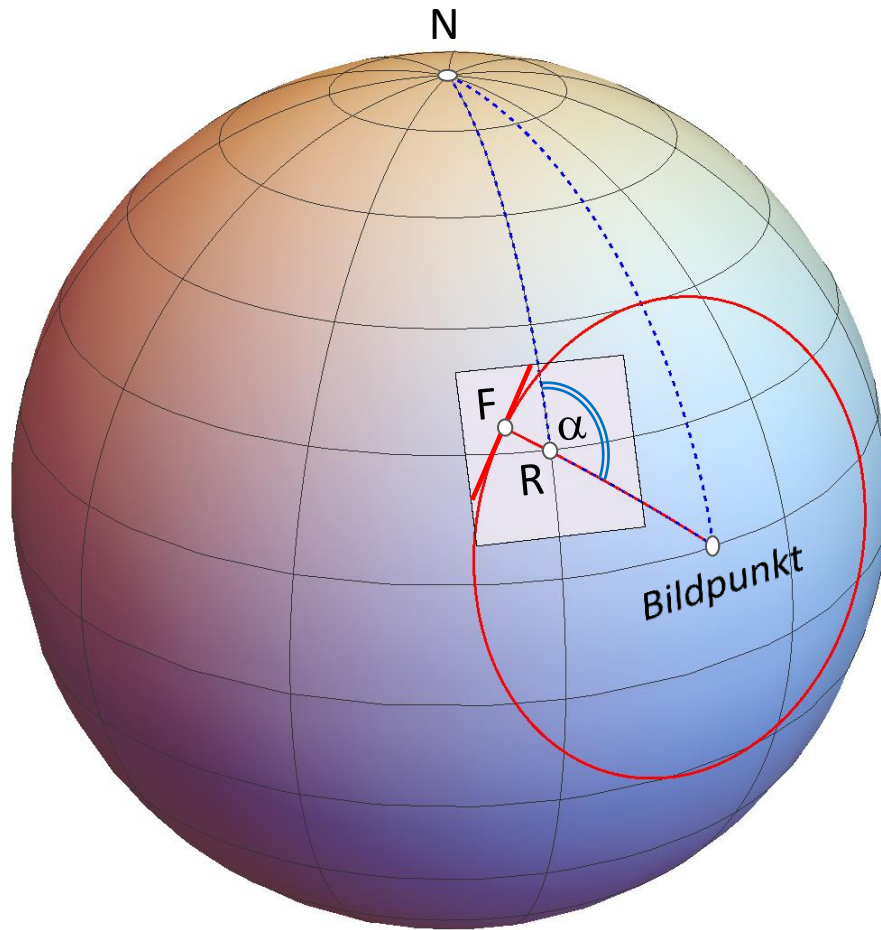
$$\Delta h = \eta - \eta'$$

Δh in nautischen Meilen

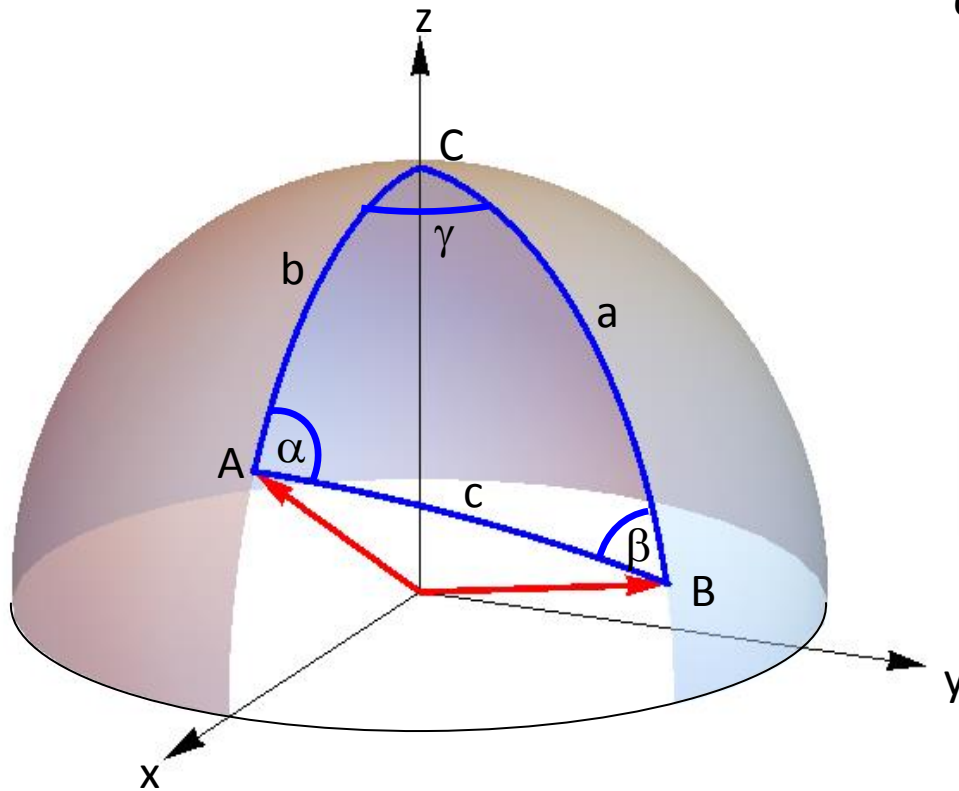
η, η' in Bogenminuten

Wenn $\Delta h < 0$, so liegt F näher beim Bildpunkt als R

Aufgabe: Berechnung von theoretischem Azimut α und theoretischer Höhe η für den Rechenort R.



Exkurs: Sphärische Trigonometrie (auf Einheitskugel)



Die Seiten a, b, c werden als Winkel
im Bogenmaß angegeben!

$$\vec{OA} = \begin{pmatrix} \sin b \\ 0 \\ \cos b \end{pmatrix} \quad \vec{OB} = \begin{pmatrix} \sin a \cos \gamma \\ \sin a \sin \gamma \\ \cos a \end{pmatrix}$$

$$\cos c = \vec{OA} \cdot \vec{OB}$$



Sphärischer Cosinus-Satz:

$$\begin{aligned} \cos c &= \sin a \sin b \cos \gamma + \cos a \cos b \\ \cos a &= \sin b \sin c \cos \alpha + \cos b \cos c \\ \cos b &= \sin c \sin a \cos \beta + \cos c \cos a \end{aligned}$$



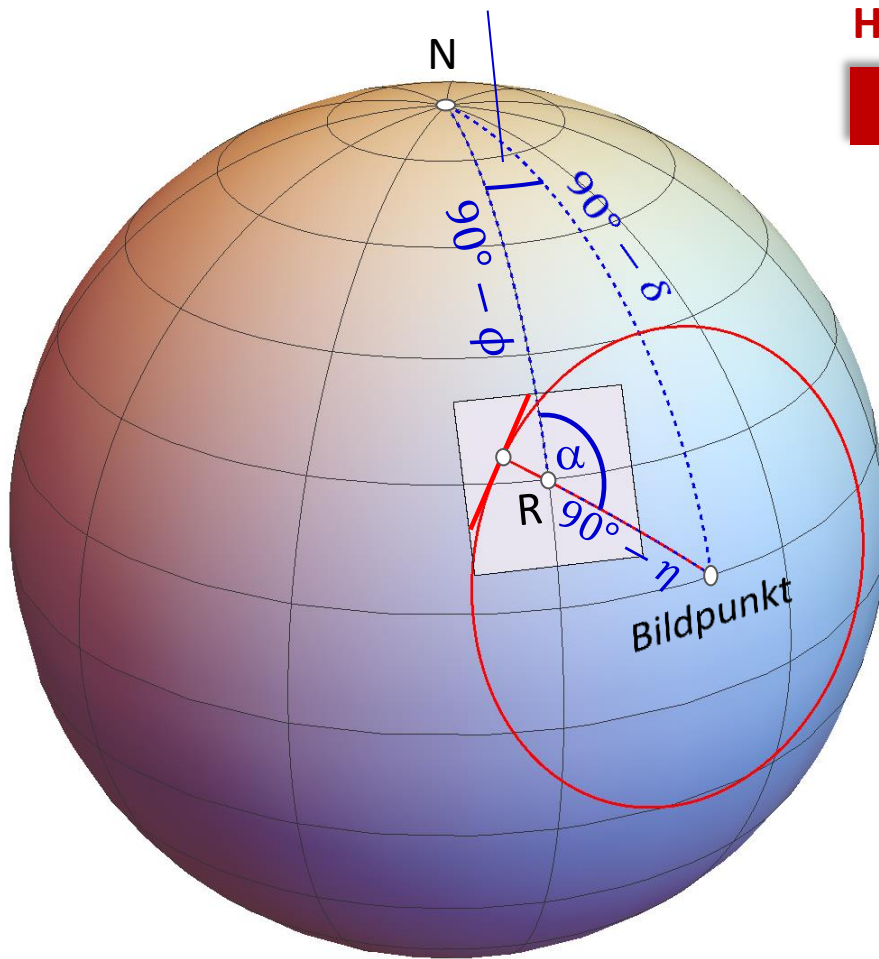
Sphärischer Sinus-Satz:

$$\frac{\sin a}{\sin \alpha} = \frac{\sin b}{\sin \beta} = \frac{\sin c}{\sin \gamma}$$

Ermittlung von Azimut α und Höhe η für den Rechenort R:

„lokaler Stundenwinkel“:

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_R$$



aus Cosinus-Satz:

$$\cos c = \sin a \sin b \cos \gamma + \cos a \cos b$$

Höhenformel:

$$\sin \eta = \cos \delta \cos \phi \cos \Delta\lambda + \sin \delta \sin \phi$$

aus Sinus-Satz:

$$\frac{\sin a}{\sin \alpha} = \frac{\sin c}{\sin \gamma} \rightarrow \sin \alpha = \frac{\sin a}{\sin c} \sin \gamma$$

Azimutformel:

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta}{\cos \eta} \sin \Delta\lambda$$

$$\Delta\lambda > 0: \alpha \in [0, 180^\circ]$$

$$\Delta\lambda < 0: \alpha \in [180^\circ, 360^\circ]$$

Gegeben:

δ, λ_B Breite und Länge des Bildpunktes B

ϕ, λ_R Breite und Länge des Rechenorts R

Ermittlung von Azimut α und Höhe η für R mit HO-Tafeln („Sight reduction tables“):

ϕ Breite des Rechenortes

N. Lat. { L.H.A. greater than 180°Zn=Z
L.H.A. less than 180°.....Zn=360-Z

LHA	0°			1°			2°		
	Hc	d	Z	Hc	d	Z	Hc	d	Z
0	70 00	60	180	71 00	60	180	72 00	60	180
1	69 59	59	177	70 58	60	177	71 58	60	177
2	69 54	60	174	70 54	60	174	71 54	59	174
3	69 47	59	171	70 46	60	171	71 46	59	170
4	69 37	59	168	70 36	59	168	71 35	59	167
5	69 25	58	166	70 23	58	165	71 21	58	164
6	69 09	58	163	70 07	57	162	71 04	57	161
7	68 51	57	160	69 48	57	159	70 45	56	158
8	68 31	56	158	69 27	56	157	70 23	55	156
9	68 09	55	155	69 04	54	154	69 58	54	153

DECLINATION (0° – 14°) SAME NAME AS LATITUDE

LAT 20°

LAT 20°

0°			1°			2°			3°			4°			5°			6°			7°			8°			9°			10°			11°			12°			13°			14°			LHA																										
	Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z		Hc	d	Z
0	70 00	60	180	71 00	60	180	72 00	60	180	73 00	60	180	74 00	60	180	75 00	60	180	76 00	60	180	77 00	60	180	78 00	60	180	79 00	60	180	80 00	60	180	81 00	60	180	82 00	60	180	83 00	60	180	84 00	60	180	360																									
1	69 59	59	177	70 58	60	177	71 58	60	177	72 58	60	177	73 58	60	176	74 58	60	176	75 58	60	176	76 58	60	176	77 58	59	175	78 57	60	175	79 57	60	174	80 57	60	174	81 57	59	173	82 56	59	172	83 55	60	171	359																									
2	69 54	60	174	70 54	60	174	71 54	59	174	72 53	60	173	73 53	59	173	74 52	60	172	75 52	59	172	76 51	60	171	77 51	59	171	78 50	59	170	79 49	59	169	80 48	58	168	81 46	59	166	82 45	57	164	83 42	57	162	358																									
3	69 47	59	171	70 46	60	171	71 46	59	170	72 45	59	170	73 44	59	169	74 43	59	169	75 42	59	168	76 41	58	167	77 39	58	166	78 37	58	165	79 35	58	163	80 33	57	162	81 30	56	160	82 26	55	157	83 21	53	154	357																									
4	69 37	59	168	70 36	59	168	71 35	58	167	72 33	59	167	73 32	58	166	74 30	58	165	75 28	58	164	76 26	57	163	77 23	57	162	78 20	57	160	79 17	56	158	80 13	55	156	81 08	53	154	82 01	52	151	82 53	50	147	356																									
5	69 25	58	166	70 23	58	165	71 21	58	164	72 19	57	163	73 16	58	162	74 14	57	161	75 11	56	160	76 07	57	159	77 04	56	157	78 01	55	155	79 00	54	154	80 00	51	148	81 01	49	145	82 00	46	141	355																												
6	69 09	58	163	70 07	57	162	71 04	57	161	72 01	57	160	72 58	56	159	73 54	56	158	74 50	55	157	75 45	55	155	76 40	54	153	77 34	53	151	78 27	51	149	79 18	50	146	80 08	49	143	80 57	45	140	81 42	42	135	354																									
7	68 51	57	160	69 48	57	159	70 45	56	158	71 41	56	157	72 36	56	156	73 32	54	155	74 26	54	153	75 20	53	151	76 13	52	150	77 05	51	147	77 56	49	145	78 45	48	142	79 33	45	139	80 18	43	135	81 01	39	131	353																									
8	68 31	56	158	69 27	56	157	70 23	55	156	71 18	54	154	72 12	54	153	73 06	53	152	73 59	53	150	74 52	51	148	75 43	50	146	76 33	49	144	77 22	47	141	78 09	46	138	78 55	42	135	79 37	40	131	80 17	36	127	352																									
9	68 09	55	155	69 04	54	154	69 58	54	153	70 52	53	152	71 45	53	150	72 38	52	149	73 30	50	147	74 20	50	145	75 10	49	143	75 59	47	140	76 46	45	138	77 31	42	135	78 13	41	131	78 54	37	128	79 31	33	123	351																									

N. Lat. { L.H.A. greater than 180°Zn=Z
L.H.A. less than 180°.....Zn=360-Z

LHA	0°			1°			2°		
	Hc	d	Z	Hc	d	Z	Hc	d	Z
0	70 00	60	180	71 00	60	180	72 00	60	180
1	69 59	59	177	70 58	60	177	71 58	60	177
2	69 54	60	174	70 54	60	174	71 54	59	174
3	69 47	59	171	70 46	60	171	71 46	59	170
4	69 37	59	168	70 36	59	168	71 35	59	167
5	69 25	58	166	70 23	58	165	71 21	58	164
6	69 09	58	163	70 07	57	162	71 04	57	161
7	68 51	57	160	69 48	57	159	70 45	56	158
8	68 31	56	158	69 27	56	157	70 23	55	156
9	68 09	55	155	69 04	54	154	69 58	54	153

δ Deklination des Bildpunktes

α Gestirnsazimut am Rechenort

Wert für Deklinationsinterpolation

η Gestirns Höhe am Rechenort

Tafeln können nur für ϕ und $\Delta\lambda$ in ganzen Grad verwendet werden. Der Rechenort muss entsprechend gewählt werden!

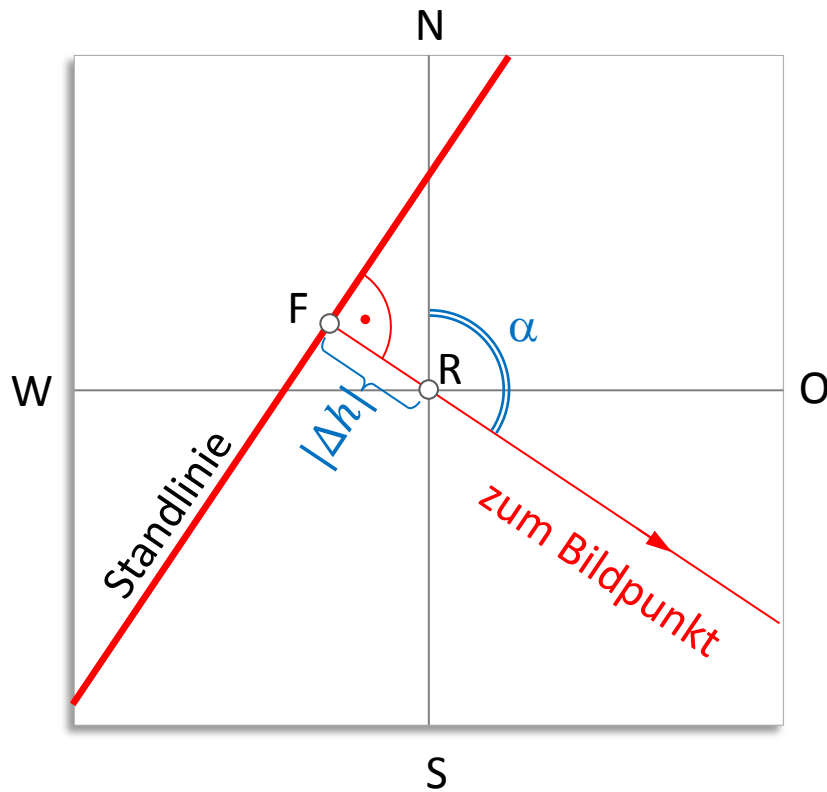
$\Delta\lambda$ Lokaler Stundenwinkel

Die Schritte zur Konstruktion einer astronomischen Standlinie:

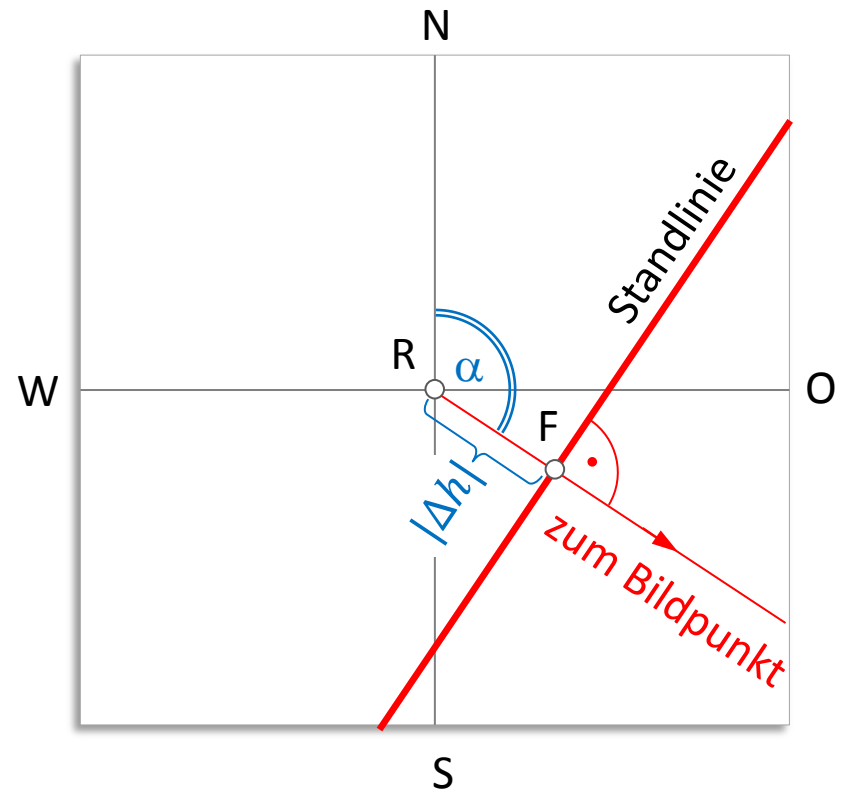
1. Messe die Höhe η' der Unterkante des Gestirns (meistens die Sonne) und notiere den genauen Zeitpunkt (UT) der Messung.
2. Korrigiere die Höhe um die Kimmtiefe (abhängig von der Aughöhe) und um den Gestirnsradius (nur bei Sonne und Mond)
3. Ermittle die Deklination δ und die Bildpunktlänge λ_B (bzw. den Greenwich-Stundenwinkel „Grt“) des Gestirns zum Messzeitpunkt aus dem nautischen Jahrbuch.
4. Wähle in deiner Umgebung einen Rechenort R mit ganzzahliger Breite ϕ und einer Länge λ_R , so dass der lokale Stundenwinkel $\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_R$ ganzzahlig ist.
D.h. man wähle zuerst einen ganzzahligen Wert für $\Delta\lambda$ und setze
$$\lambda_R = \lambda_B - \Delta\lambda = 360^\circ - \text{Grt} - \Delta\lambda.$$
5. Ermittle das Azimut α und die Höhe η für den Rechenort mit Hilfe von HO-Tafeln oder mit einem Taschenrechner aus Azimut- und Höhenformel.
6. Bilde die Differenz Δh zwischen der Höhe η am Rechenort und der gemessenen Höhe η' in Bogenminuten (=nautische Meilen am Großkreis).

Die Schritte zur Konstruktion einer astronomischen Standlinie:

7. Trage den Rechenort in eine Seekarte ein und konstruiere mit Hilfe von α und $|\Delta h|$ die Standlinie auf folgende Weise:

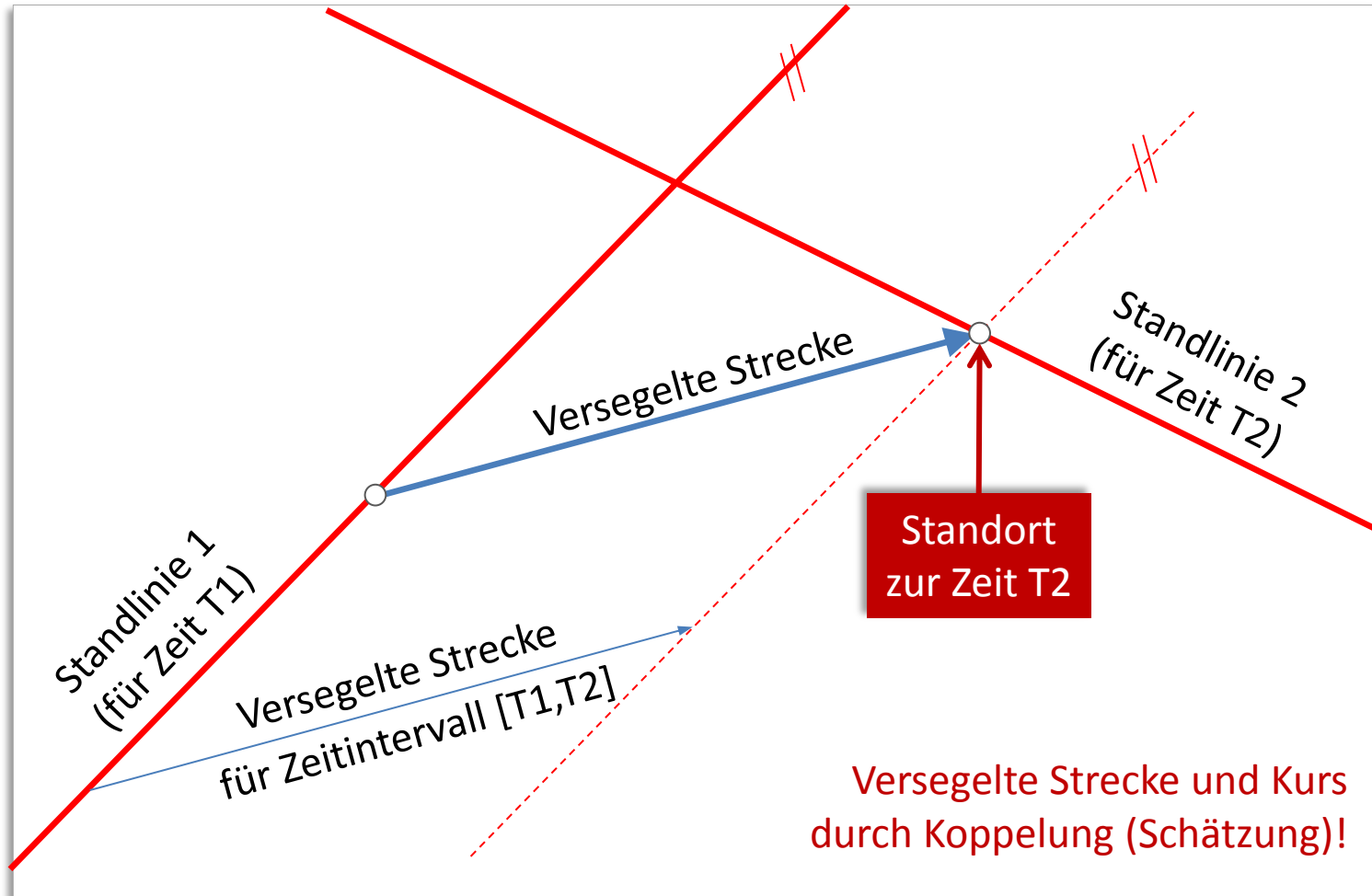


Falls $\Delta h > 0$



Falls $\Delta h < 0$

Positionsbestimmung durch zwei Standlinien und Versegelung:



Historische Anmerkungen:

Das Verfahren der astronomischen Standlinie wurde durch den US-amerikanischen Handels-Kapitän **Thomas Hubbard Sumner** (1807-1876) in den Jahren 1837-1843 entwickelt .

Sumner hatte 1837 nach tagelangem Schlechtwetter vor Wales nur kurz Gelegenheit , die Sonne zu beobachten. Er ermittelte auf Basis angenommener Breiten und der gemessenen Höhe drei Standorte, die auf einer Linie lagen.

