

Das Längengrad-Problem

- > Daten, Fakten, Hintergründe
- > Astronomische Navigation
- > Entwicklung der See-Chronometer



Der biologische Rhythmus der Lebewesen ist bestimmt durch den:

- > Wechsel zwischen Tag und Nacht (Erddrehung)**
- > Wechsel der Mondphasen (Mond um die Erde)**
- > Kreislauf der Jahreszeiten (Erde um die Sonne)**

Aus diesen *>astronomischen Fakten<* die von uns als naturgegeben hingenommen werden müssen, ergeben sich die 3 Grundeinheiten der Zeiterfassung bzw. die sogenannten natürlichen Zeitmaße:

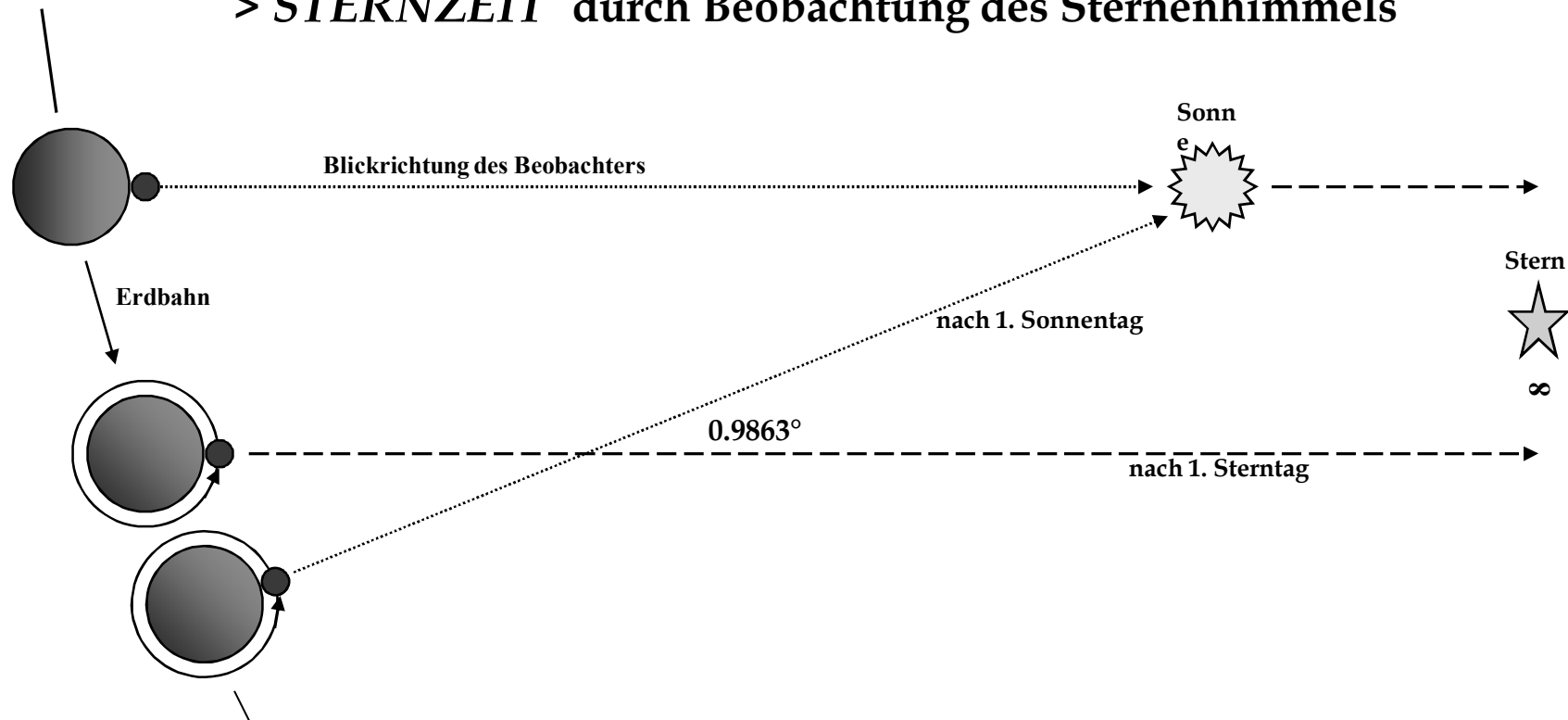
>>> Tag >>> Monat >>> Jahr

mit Untereinheiten wie Quartal, Woche, Stunde, Minute,

Basis ist grundsätzlich der Kreislauf des Kosmos, es ergeben sich jedoch unterschiedliche Tageslängen, nämlich:

> *SONNENZEIT* durch Beobachtung der Sonne

> *STERNZEIT* durch Beobachtung des Sternenhimmels



Der "wahre" Sonnentag (die wahre Ortszeit) ist bestimmt durch:

- > zwei aufeinanderfolgende Sonnendurchgänge durch den Ortsmeridian - genau von Mittag zu Mittag

Da Erdbahn und Erdäquator auf unterschiedlichen Ebenen und die Rotation der Erde um die Sonne auf elliptischer Bahn:

Der "wahre" Sonnentag ist deshalb unterschiedlich lang:

- > am 15.Feb. ist er 14 Min. 08 Sek. *hinter* unserer Zeit
- > am 03.Nov. ist er 16 Min. 25 Sek. *vor* unserer Zeit

An folgenden Tagen ist die "wahre" Sonnenzeit = unserer Zeit:

15.Apr. 13.Jun. 01.Sep. 25.Dez.

Unauffällig bis zum Auftreten der Räderuhr (Diff. < 30 Sek.)

Im 17.Jh. Steigerung der Genauigkeit der Räderuhr - Problematisch:

> Unterschiedliche Anzeigen von Sonnenuhr - Räderuhr

Errechnung des "mittleren" Sonnentags aus dem Jahresdurchschnitt

> 24 Std. und davon abgeleitet die Sek. als der 86.400 te Teil

> Ende 18.Jh. in Wissenschaft und in Alltagsleben eingeführt

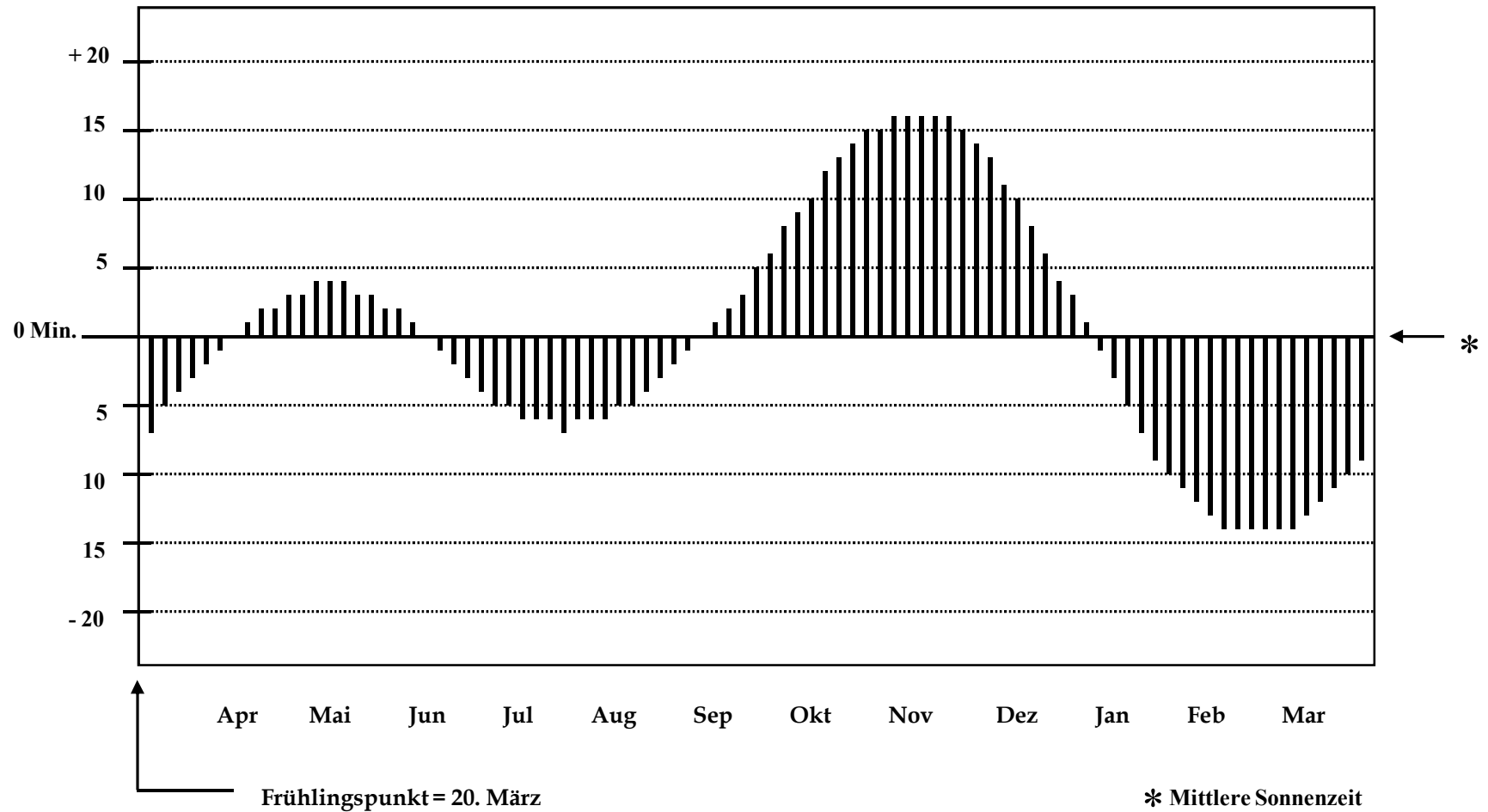
Die Grundlage der modernen (unserer gültigen) Zeiteinteilung:

>>> die "mittlere" Sonnenzeit <<<

Die Zeitgleichung: Differenz zwischen "wahrer" und "mittlerer" Zeit

> Tabellen (Äquationstafeln) Abweichung zur Sonnenuhranzeige

Bis 19.Jh. (Telegraph) Räderuhren nach der Zeitgleichung gestellt !!!



Zeitraum einer vollständigen Umdrehung der Erde um ihre Achse
>>> bezogen auf einen unendlich weit entfernten Stern <<<

Die Zeit zwischen 2 aufeinanderfolgende obere Kulminationen*

beträgt: >>> 23 Std. 56 Min. 04 Sek. <<<

Der Sterntag (Grundeinheit der Sternzeit) ist somit 03 Min. 56 Sek.
kürzer als unser mittlerer Sonnentag >> (86.400 - 236 = 86.164 Sek.)

Die Erde dreht sich jährlich 1x mehr um ihre Achse als der Anschein

>>> nämlich 366 mal !!! <<<

Daraus folgt: 365 Sonnentage entsprechen (ca.) 366 Sterntage

PPU in Sternwarten hatten 24 Std. Zifferblatt > Sterntag 00:00 - 24:00

* Kulmination: Größte Höhe eines Gestirns über dem Horizont

Sternzeituhren liefern demnach unmittelbar ein >Maß für die Rotation der Erde um ihre Achse. Eine Stunde Sternzeit ist 9.83 Sek. kürzer als eine Normalstunde

> eine Sternzeituhr muß deshalb 0.273 % schneller laufen !!!

Sternzeit entspricht dem Greenwicher Stundenwinkel des >Frühlingspunktes<

Zum Frühlingsanfang (Deklination* Sonne: 0°) ist der Greenw. Stundenwinkel von Sonne und Frühlingspunkt gleich groß. Die nach Sonnenzeit und Sternzeit

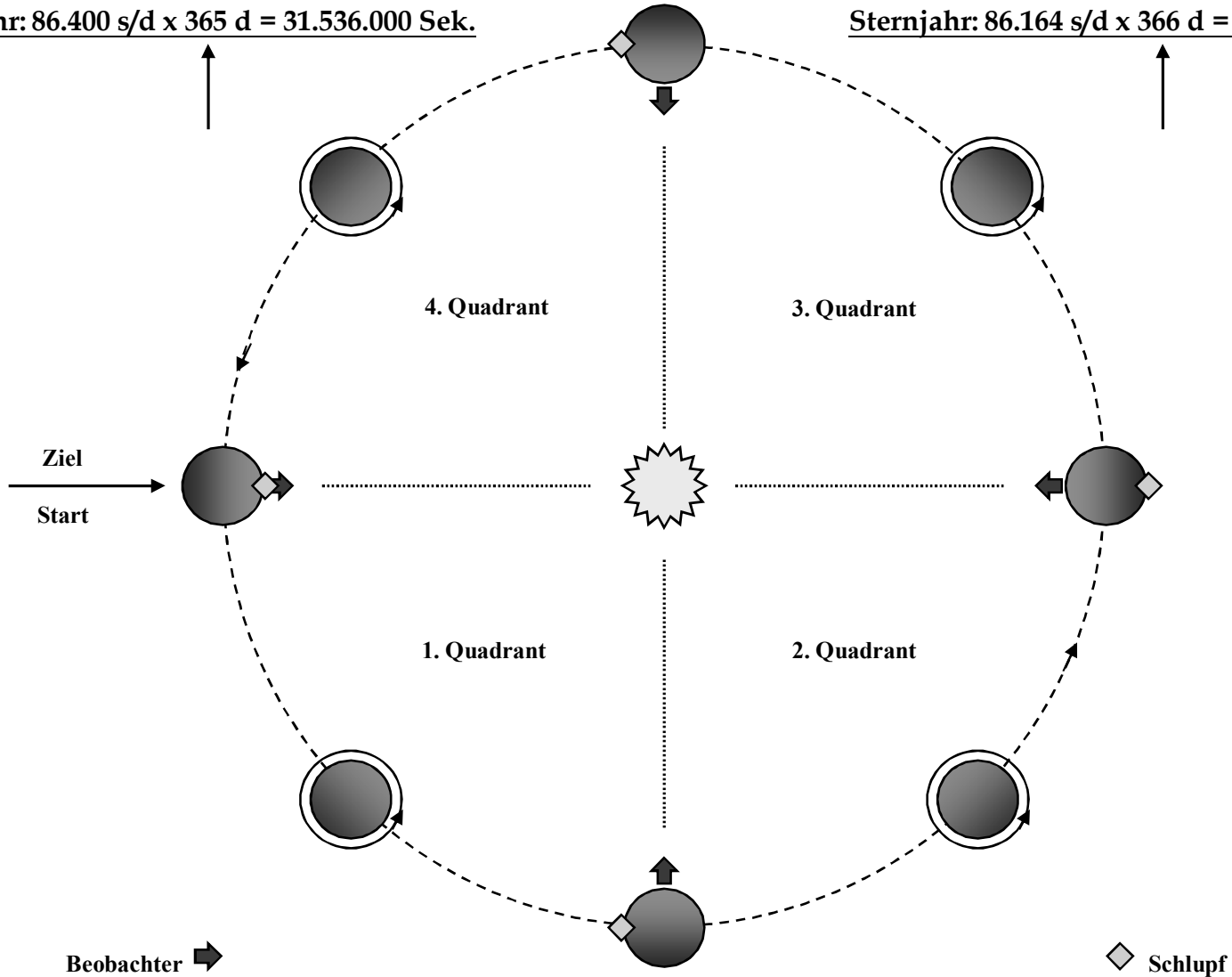
> regulierten Uhren zeigen jetzt die gleiche Zeit an !!!

Ab dann laufen die Uhren immer mehr auseinander: Die Sternzeituhr geht der Sonnenzeituhr voran (236 Sek./ Tag) bis der Unterschied in einem bürgerlichen Jahr auf einen Tag angewachsen ist und beide wieder die gleiche Zeit anzeigen

* Deklination: Abstand eines Gestirns vom Himmelsäquator (in Winkelgraden)

Sonnenjahr: 86.400 s/d x 365 d = 31.536.000 Sek.

Sternjahr: 86.164 s/d x 366 d = 31.536.024 Sek.



Der Umlauf des Mondes um die Erde umfaßt die 4 bekannten Phasen:

> Neumond, Erstes Viertel, Vollmond, Letztes Viertel

Problem: Gewissermaßen gibt es jedoch 2 Mondmonate, nämlich der:

> *Siderische* Monat mit 27,3 Tagen (ein vollständiger Erdumlauf)

> *Synodische* Monat mit 29,5 Tagen (Durchlauf der Mondphasen)

Der synodische Monat bei alten Kulturvölkern Zeitmaß für Mondjahr

> 354 Tage in 12 Monaten, alternierend 29 und 30 Tage lang

Übernahme der >7-Tage< Woche durch Christentum um das Jahr 329

> Einheit weder mit Mondumlauf noch mit Jahr im Einklang !!!

Der Umlauf der Erde um die Sonne mit den 4 bekannten Jahreszeiten:

> Frühling, Sommer, Herbst, Winter

Für uns gilt das tropische Sonnenjahr, es umfaßt (mittlere Sonnenzeit):

> 365 Tage 5 Stunden 48 Minuten und 46 Sekunden

Entspricht einem vollem Umlauf von Frühlingspkt. zu Frühlingspkt.

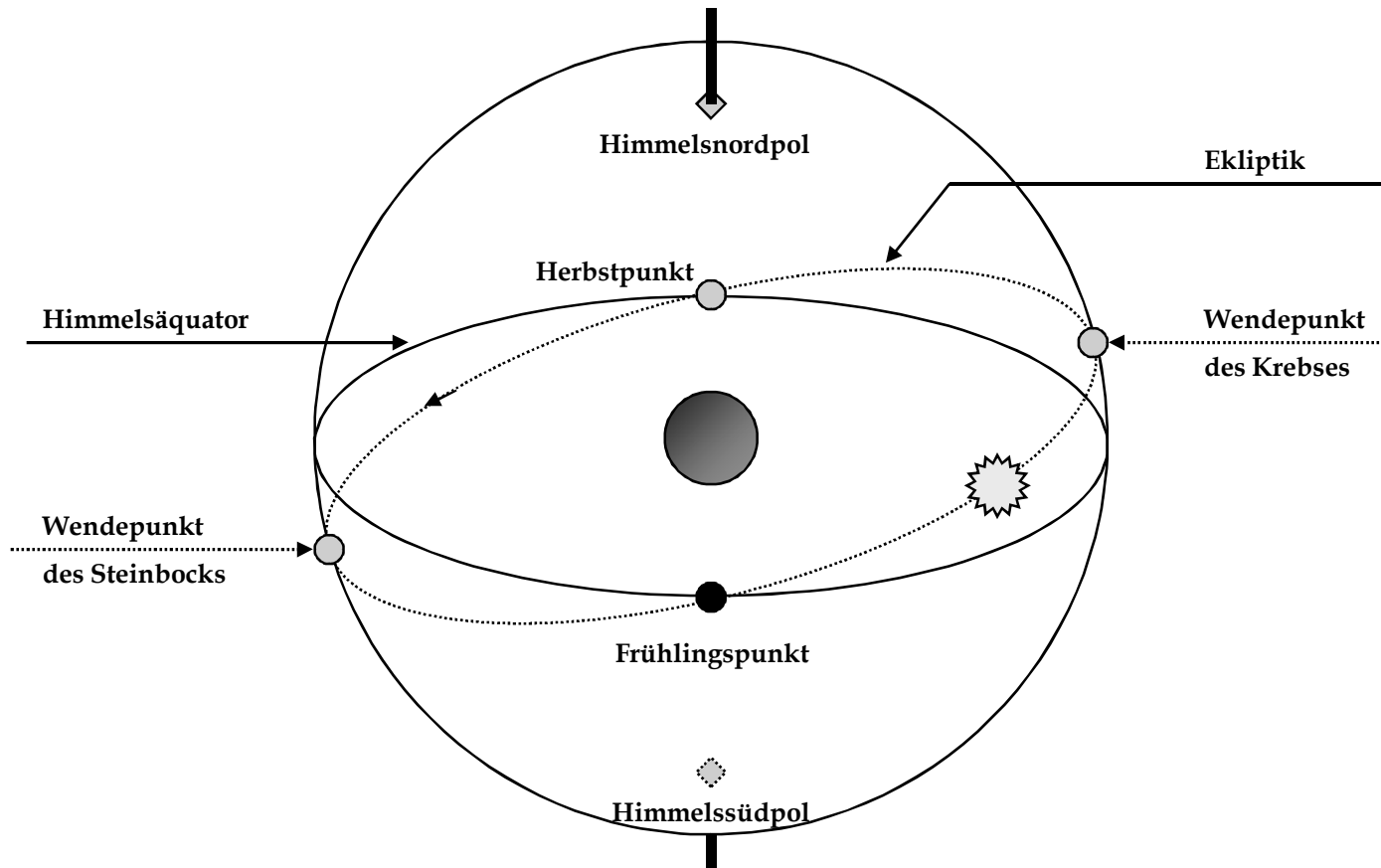
**Die Ekliptik: Großkreis des (scheinbaren) jährlichen Sonnenumlaufs
ca. $23,5^\circ$ gegen Himmelsäquator geneigt >Abweichung<**

> Bei Sommeranfang $23,5^\circ$ N (Wendepunkt des Krebses)

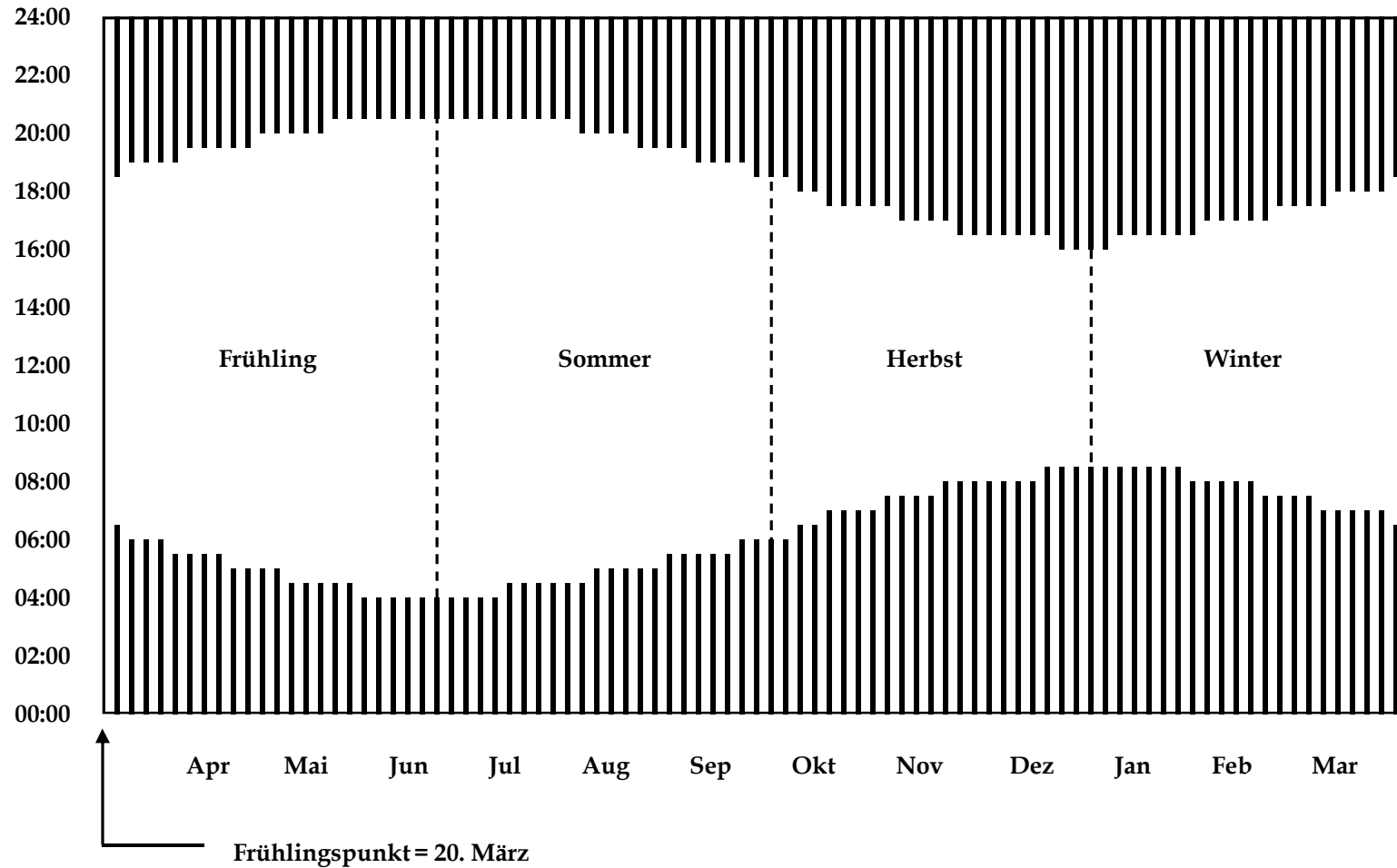
> Bei Winteranfang $23,5^\circ$ S (Wendepunkt des Steinbocks)

Bei Frühlingspunkt (Widderpkt.) und Herbstpunkt (Waagepkt.) = Null

Schnittpunkt der scheinbaren Sonnenbahn mit dem Äquator beim Übergang von südl. zu nördl. Deklination (Höhenposition Gestirn)



● >>> Nullpunkt des astronomischen Koordinatensystems



System zur Zeiteinteilung in großen Einheiten (Woche, Monat, Quart.)

- > Alle Kalender verwenden als Zeitmaß den Tag -
jedoch unterschiedlich viele Tage zu den größeren Einheiten

Sehr früh entstanden zwei verschiedene Kalendersysteme:

- > Sonnenkalender mit 365 Tagen (bereits in Ägypten $12 \times 30 + 5$)
- > Mondkalender mit 354 Tagen (heute noch in islam. Glaubenswelt)

Egal, ob Sonnen- oder Mondkalender, die 3 astronomischen Zyklen nämlich Jahr, Monat und Tag passen absolut nicht zusammen:

- > Immer bleibt ein (störender) Zeitrest übrig

Ständige Korrekturen am Kalender waren deshalb unumgänglich !!!

Um 500 v.Chr. (babylonische Priester nach langwierigen Beobachtungen) erfolgt die Verschmelzung von Mond- und Sonnenkalender:

> 19 Sonnenjahre entsprechen 235 synodischen Monaten (Mondzyklus)

Mondzyklus

Nach diesem Ablauf fallen die Mondphasen wieder auf dieselben Tage des Sonnenjahres

Sonnenzyklus

Durchläuft in 28-jähriger Wiederkehr die Zeitrechnung, die Wochentage fallen dann auf dieselben Monatsdaten

Zyklen sind heute noch zur Berechnung religiöser Feste von Bedeutung:

> Ostern: Der 1.Sonntag nach 1.Vollmond nach dem 21.März

Der ägyptische Sonnenkalender mit 365 Tagen großer praktischer Fortschritt

Gajus >Julius< Cäsar erkannte, daß die römischen Priester mit ihrem reinen Mondkalender (und auch wegen Manipulationen) total daneben lagen:

> Kluft zwischen geltendem Kalender und tatsächlicher Jahreszeit
>>> über 2 Monate !!! <<<

Cäsar hat 46 v.Chr. das "Jahr der Verwirrung" mit >445 Tagen< angeordnet und das Kalenderjahr zu 365 Tagen + alle 4 Jahre einen Schalttag festgelegt

Dieser Kalender für alle Staatsangelegenheiten des römischen Imperiums wurde nach dem Niedergang Roms von der christlichen Kirche übernommen

Der Fehler jedoch (rund 11 Min./Jahr) summierte sich, so daß im 16.Jh. der Kalender wiederum 10 Tage gegenüber der Jahreszeit zurückgeblieben ist

Anno 1582 hat Papst >Gregor< XIII das laufende Jahr um 10 Tage verkürzt

> Auf den 04.Okt. folgte der 15.Okt. (Fangfrage im Geschichtsunterricht)

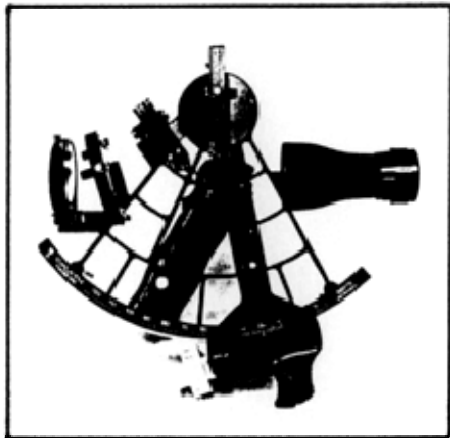
Gleichzeitig neues (unser heutiges) Schaltjahr-Korrektursystem eingeführt

> Die Genauigkeit nunmehr bis auf einen Tag innerhalb von 3000 Jahren

Das neue Kalendersystem sofort von katholischen Ländern übernommen,
die astronomischen Uhren erhielten neue, geänderte Kalenderscheiben

Die preußischen Territorialstaaten folgten 1775 (verbesserter Reichkalend.)

Die Sowjetregierung entschied sich schließlich 1918 (31.Jan. folgte 14.Feb.)



ISSN 0077-6211 Nr. 2175

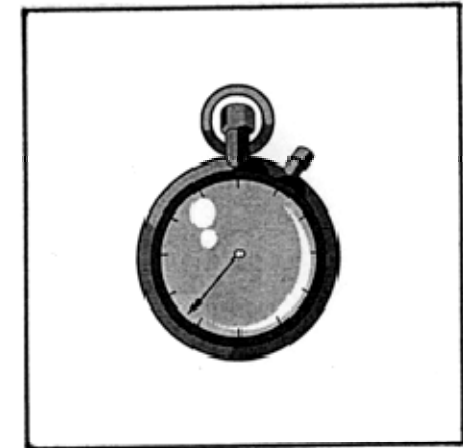
Nautisches Jahrbuch
oder
Ephemeriden und Tafeln
für das Jahr
1998

zur Bestimmung der Zeit, Länge und Breite auf See
nach astronomischen Beobachtungen

Herausgegeben vom
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie



Einhundertsiebenundvierzigster Jahrgang
Hamburg 1997 Rostock



Zu unserer engeren kosmischen Heimat gehören folgende Planeten:

> Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto

Sie bewegen sich auf (+/-) elliptischen Bahnen um die Sonne, werden von ihr beschienen, besitzen also nur "geborgtes" Licht:

> Planeten *ruhig* leuchtend - während Sterne *funkeln*

Planeten (relativ nahe zur Erde) verändern im Laufe der Zeit ihren Ort in Bezug auf die viel weiter entfernten Sterne:

> Planeten deshalb "Wandelsterne", andere "Fixsterne" genannt

Die Sonne (Zentralgestirn unseres Planetensystems) quasi, der für uns wirklich nächste Fixstern: *Proxima Centauri* ca. 4 Lichtjahre entfernt

Er ist im Vergleich 262.800 mal weiter von uns entfernt als die Sonne,

> Sonnenlicht benötigt für die 150 Mio km ca. 8 Min. bis zur Erde

Unter dem Aspekt der astronomischen Navigation entfallen die Planeten
> Merkur (Sonnennähe) und Uranus, Neptun, Pluto (zu weit entfernt)

Auch die Monde (Himmelskörper um den Planeten) da sie viel zu klein,
sind zur Navigation nicht geeignet - Ausnahme der Mond der Erde:

> Im Mittel nur 380.000 km von uns entfernt, sehr gut zu beobachten

Somit verbleiben für die astronomische Ortsbestimmung am Himmel:

> Sonne, Mond, Venus, Mars, Jupiter und Saturn

Daneben sind im "Nautischen Jahrbuch" noch 80 Fixsterne aufgeführt,
helle Sterne (Beobachtungssterne), die relativ leicht aufzufinden sind

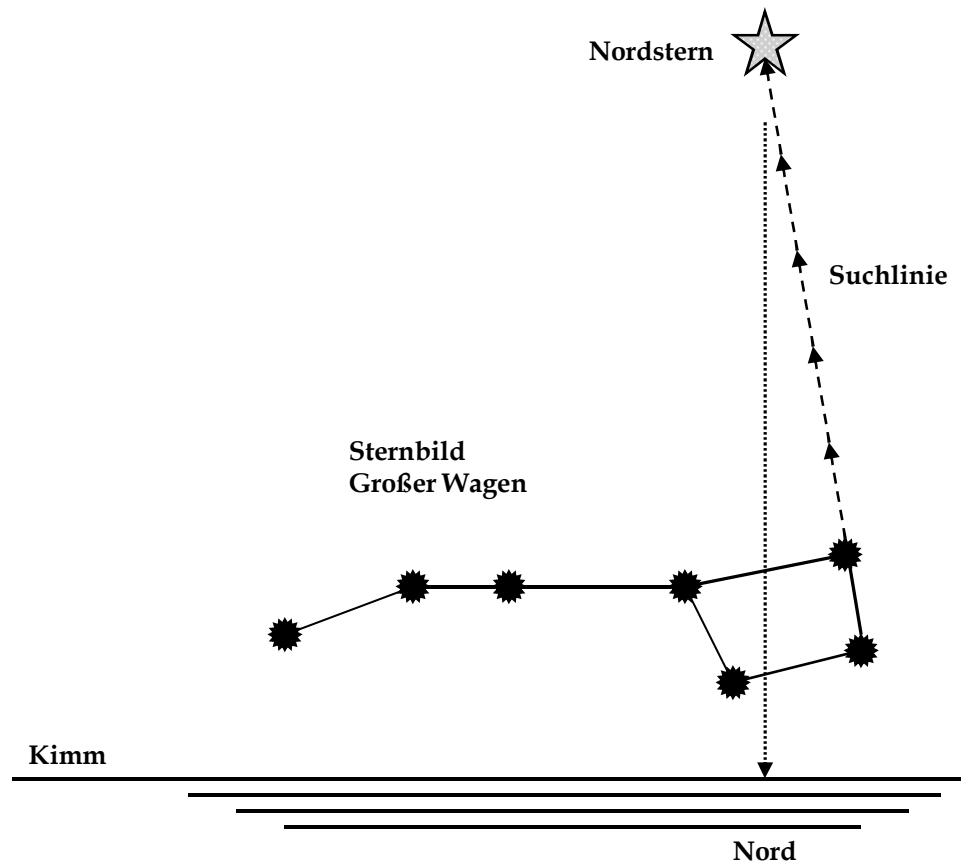
Bestimmte Sterngruppen werden zu Sternbildern zusammengefaßt:

> Sommersternbild: Schwan, Leier > Wintersternbild: Orion

Zum Auffinden von Sternen / Sternbildern "Suchlinien" eingeführt

Über dem Nordpol der Erde befindet sich (ca.) der Polarstern (Nordstern)

- > Beobachter am Nordpol: Genau über sich (90° über Horizont)
- > Beobachter am Äquator: Genau am Horizont (0° über Horizont)



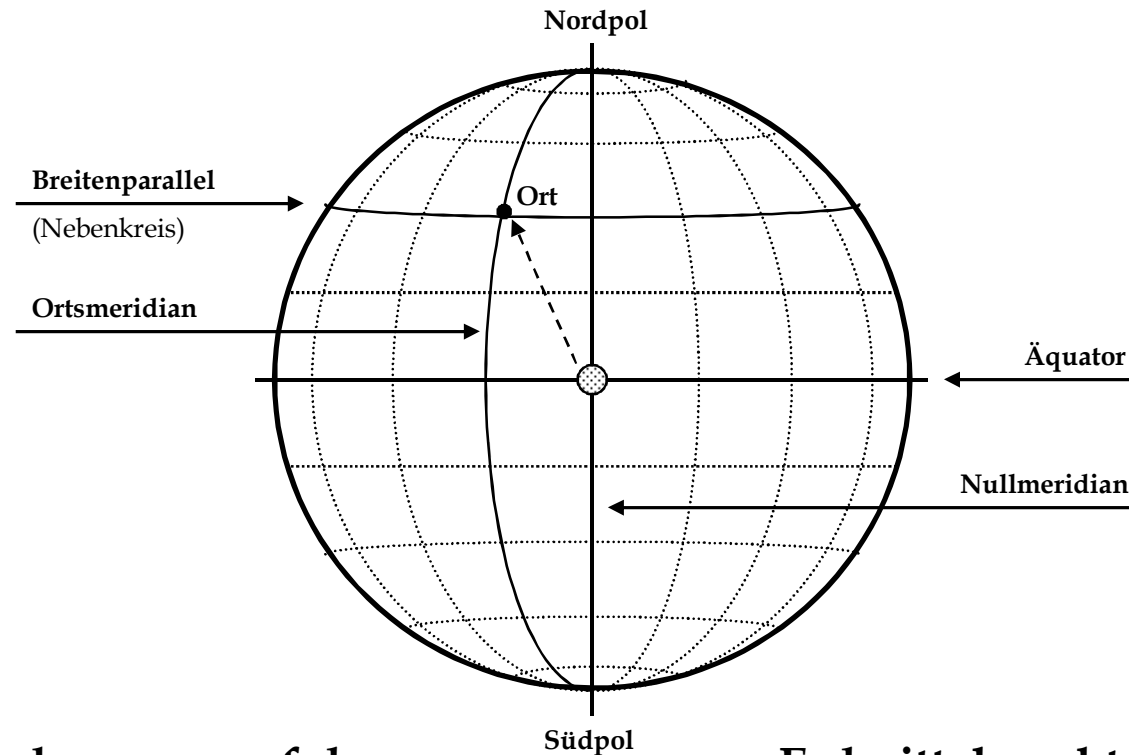
Seit den Anfängen der Navigation bekannt:

Höhe Polarstern über dem Horizont ist in guter Annäherung die

Geographische Breite

Beschreibung der Lage eines Ortes auf der Erdkugel durch die Koordinaten:

- > Geographische Breite (Phi) = Winkel* Breitenparallel zu Äquator
- > Geographische Länge (Lambda) = Winkel Ortsmeridian zu Nullmeridian



* Immer bezogen auf den \rightarrow Erdmittelpunkt \odot

Winkel am Erdmittelpunkt der Erdkugel zwischen Äquatorebene und dem Erdradius des Ortes:

> Polwärts von 0° bis 90° gezählt

Für Nordhalbkugel mit Zusatz "N" \longrightarrow Nordpol liegt auf 90°N

Für Südhalbkugel mit Zusatz "S" \longrightarrow Südpol liegt auf 90°S

>> Breitengrad ($^\circ$) >> 60 Breitenminuten ($'$) >> 60 Breitensekunden ($''$)

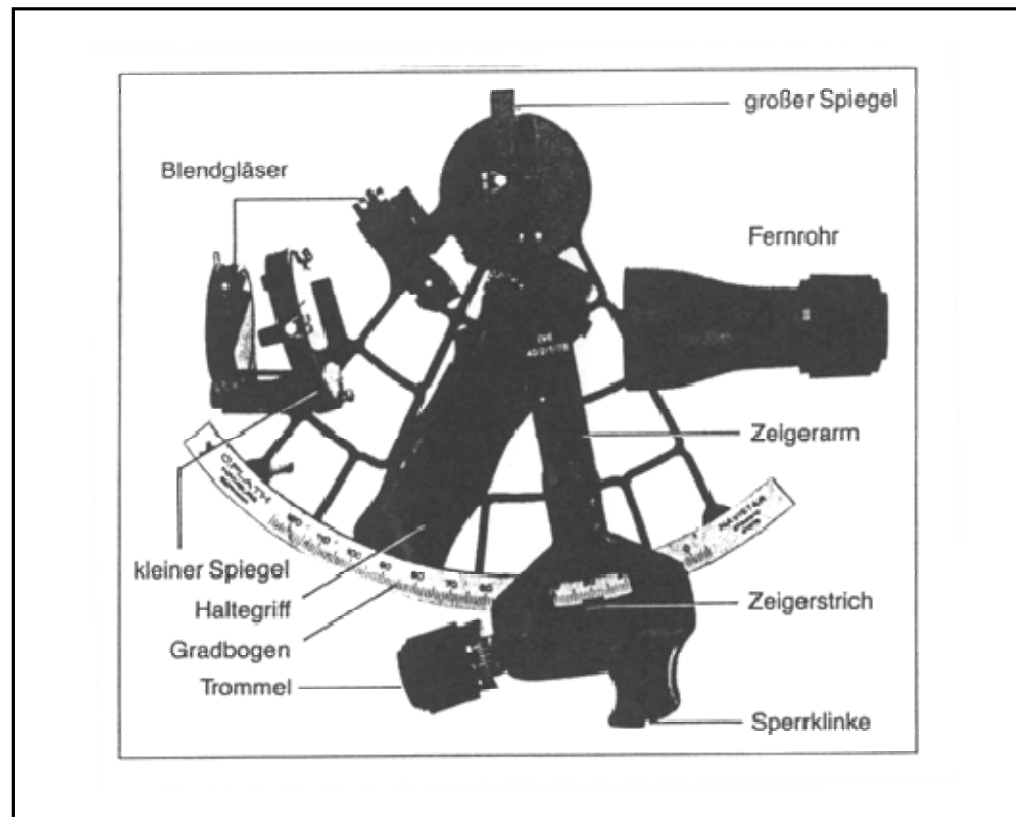
Konzentrische Kreise um die Erdachse >>> Breitenabstände immer gleich

Null-Breitengrad (Äquator) wird von den Naturgesetzen definiert, bereits 150 n.Chr. hat ihn Ptolemäus gekannt und in seinem Weltatlas dargestellt

Breitenbestimmung

Einfacher Vorgang > Winkelberechnungen u.a. aus der Höhe des Gestirns

Sehr genaues Winkelmeßgerät zur Bestimmung des Höhenwinkels
eines Gestirns: >>> Höhe über Horizont <<<



Sphärischer (räumlicher) Winkel zwischen dem Nullmeridian und dem Ortsmeridian:

> Halbkreisig von 0° bis 180° gezählt

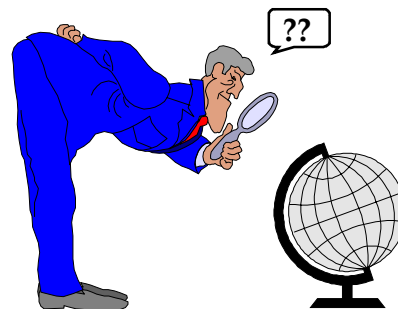
Nach Osten mit dem Zusatz "E" und nach Westen mit dem Zusatz "W"
Der 180. Längengrad (ca. bei Fidschi) >>> sowohl 180°W als auch 180°E

> Längengrad ($^\circ$) > 60 Längenminuten ($'$) > 60 Längensekunden ($''$)

Vertikalkreise gleichen Umfangs >>> Längenabstände immer ungleich

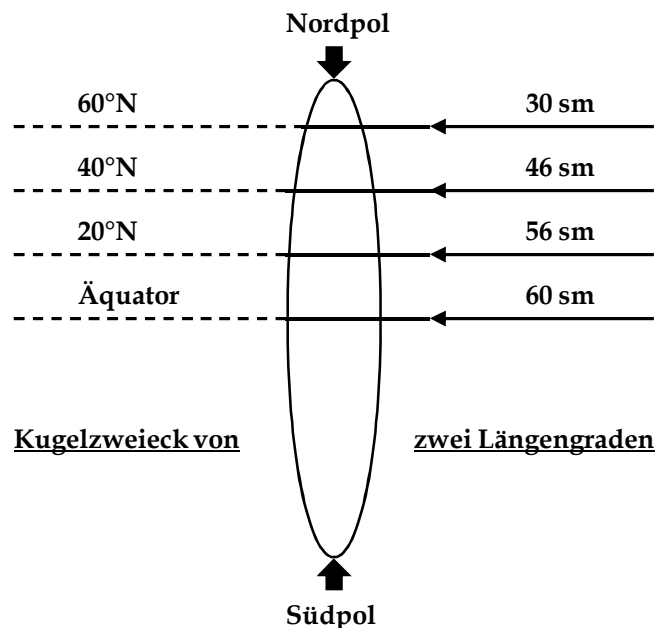
Seit 1883 Greenwich (östl. Stadtteil von London) als der "Nullmeridian" anerkannt. Vorher überall Ptolemäus z.B. legte ihn durch Madeira

Längenbestimmung



Abgeleitet aus dem Erdumfang am Äquator mit 40.000 Kilometern ergibt sich das Maßsystem für Entfernungen über See:

> 1 Seemeile (sog. nautische Meile) = 1 *Breitenminute* = 1,852 Kilometer



Nur am Äquator gilt:
1 *Längenminute* = 1 sm

Auf der ganzen Welt gelten folgende grundsätzlichen Zusammenhänge:

- >>> Abstand von Breitengrad zu Breitengrad immer 60 Seemeilen
- >>> Abstand von Längengrad zu Längengrad immer 4 Zeit-Minuten

Anblick des Himmels >Stellung der Gestirne< abhängig von der Position

> Für jeden bestimmten Ort einen charakteristischen Sternenhimmel !

Daraus folgt der Grundgedanke der astronomischen Navigation:

> Von einer *bekannt* Stellung der Gestirne auf *unbekannt* Position
des Beobachters zu schließen

Mehrere Möglichkeiten "Stellung der Gestirne" (Koordinaten) anzugeben:

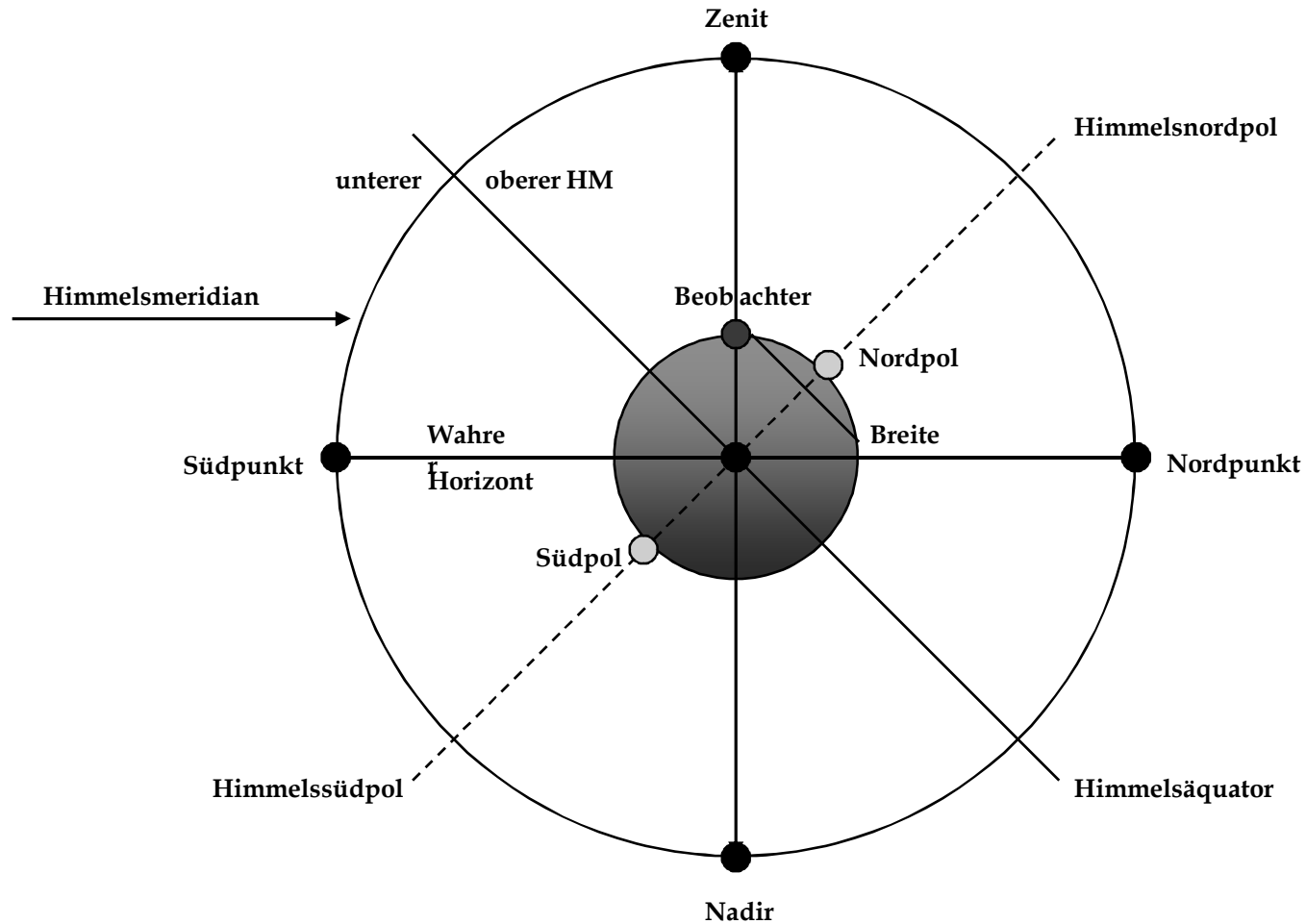
> Das Koordinatensystem des wahren Horizonts

> Das Koordinatensystem des Himmelsäquators

Die Sterne befinden sich auf der >Himmelskugel< die sich um die
stillstehende Erde dreht (Kopernikus und der anfahrende Zug)

Meridian > Gedachter Vertikalkreis (Halber Großkreis) auf der Erdkugel
bzw. Himmelskugel, der durch beide Pole -Nordpol und Südpol- verläuft

Drehachse (Himmelsachse) durch Himmelsnordpol und Himmels-südpol
Die >scheinbare< Drehrichtung ist von Ost nach West !!!



Die Beschreibung der Position eines Gestirns an der Himmelskugel,
nach dem System des Himmelsäquators:

Für *Planeten* (ändern ungleichförmig Position) durch die Koordinaten:

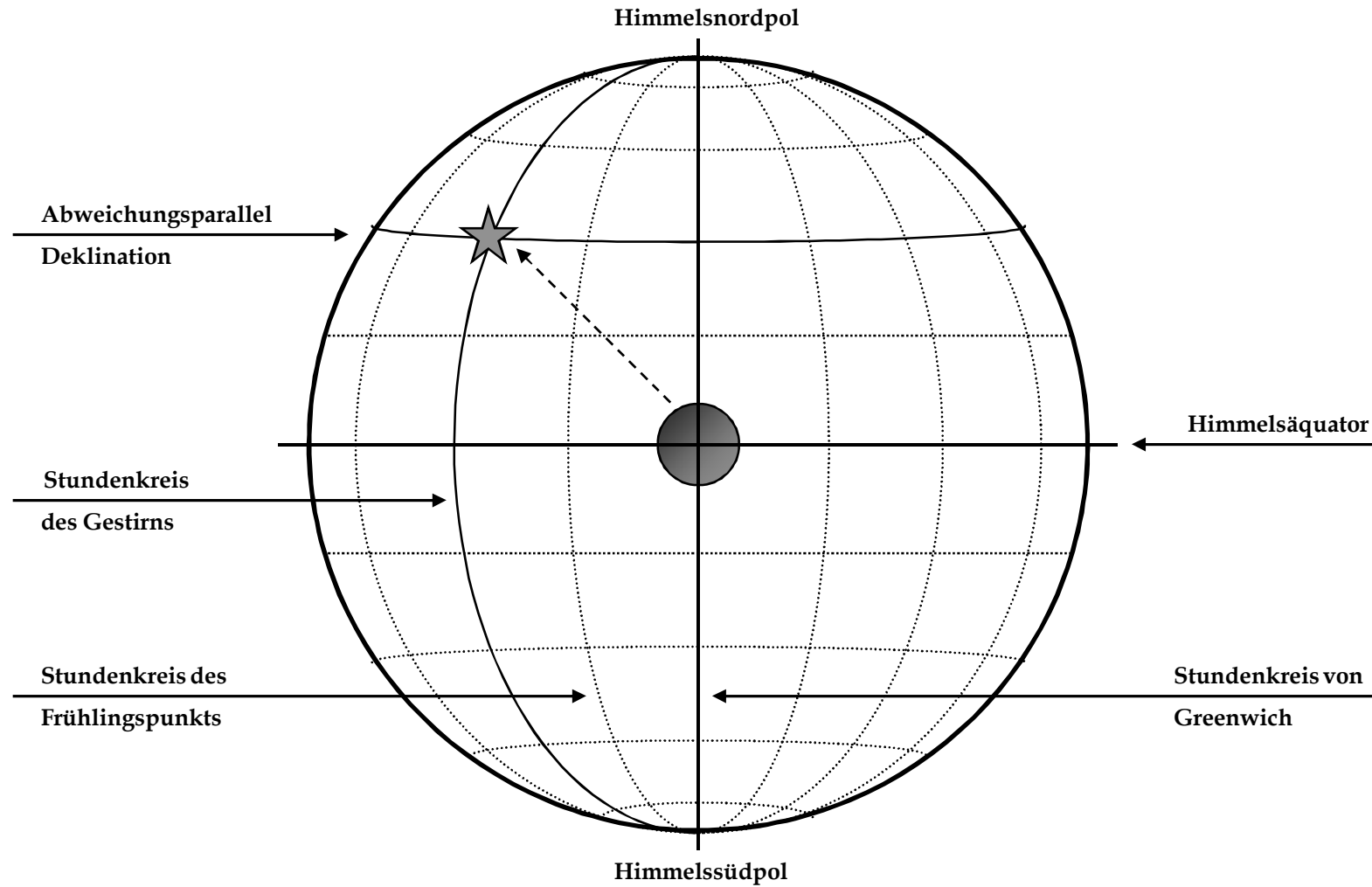
- > Abweichung = Winkel Abweichungsparallel zu Himmelsäquator
- > Ortsstundenwinkel* = Winkel Stundenkreis zu Himmelsmeridian

*Bezogen auf den Nullmeridian: Greenwicher Stundenwinkel (Grt)
Greenwicher Stundenkreis = Projektion Nullmeridian auf Himmelskugel

Für *Fixsterne* (ändern unmerklich Position) durch die Koordinaten:

- > Abweichung = Winkel Abweichungsparallel zu Himmelsäquator
- > Sternwinkel = Winkel Stundenkreis zu Std.Kreis des Frühlingspunkts

Mit dieser Vereinfachung wird Umfang des Naut. Jahrbuchs handhabbar



Zur Festlegung eines Zeitsystems zur Astronavigation ist die *wahre* Sonne absolut nicht geeignet (Ekliptik = ungleichförmige Geschwindigkeit)

Deshalb wird eine (imaginäre) *mittlere* Sonne herangezogen, die auf dem Himmelsäquator mit gleichbleibender Geschwindigkeit umläuft !!!

Mit Hilfe der Sonnenstellung ist eine Zeitangabe möglich, denn die

> Sonne wandert pro Stunde 15° (Längengrade) von Ost nach West

Die Zeitzählung (00:00) beginnt bei Durchgang Sonne - unterer Meridian

Sonnenzeit ist gleich dem Winkel zwischen unterem Meridian und dem Stundenkreis der Sonne >>> Zeitwinkel <<<

Wenn für einen Beobachter auf Meridian von Greenwich der Zeitwinkel:

> 105° (180°) beträgt, dann ist dort 07:00 (12:00) mittlere Sonnenzeit

Mittlere Sonnenzeit für einen bestimmten Meridian ist: *Mittlere Ortszeit*

> MOZ vom Nullmeridian definiert als UT (Universal Time: Weltzeit)

Westlich von Greenwich ist es immer früher, östlich ist es immer später

Für die Umrechnung von MOZ nach UT >> Umwandeln "Länge in Zeit"

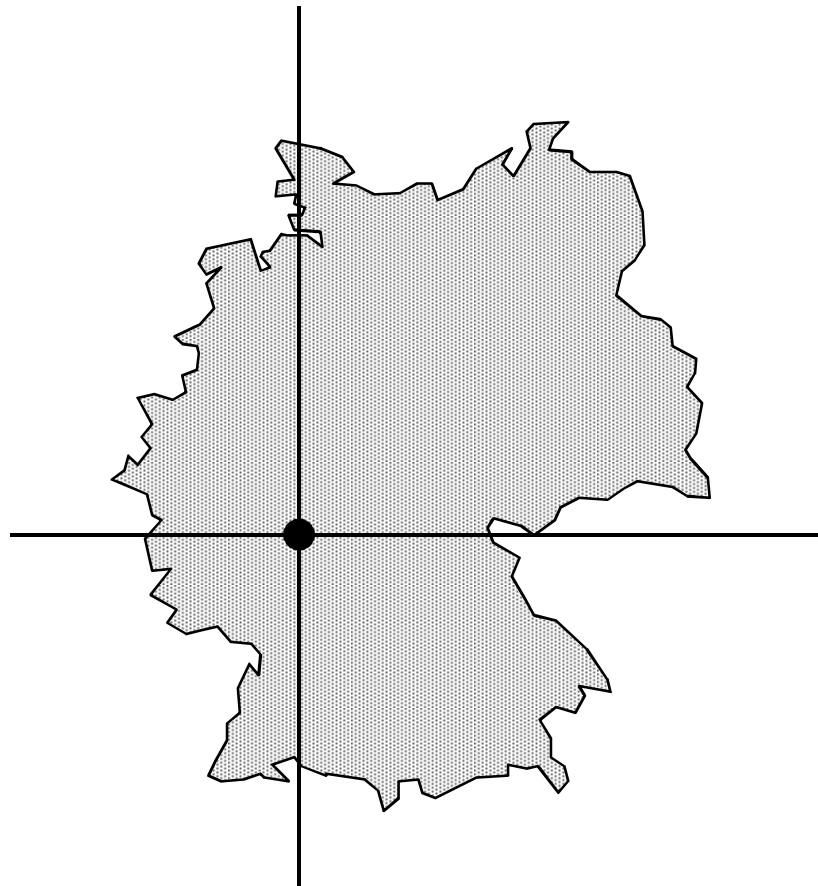
> wobei: $15^\circ = 1 \text{ Std.}$ $15' = 1 \text{ Min.}$ $15'' = 1 \text{ Sec.}$ entsprechen

Im täglichen Leben wäre mittlere Sonnenzeit eine "mittlere" Katastrophe

> Einführung der 24 Zeitzonen (MEZ = Meridian von $15^\circ\text{E} = \text{UT}+1 \text{ Std.}$)

Alle nautischen Unterlagen beziehen sich auf >UT1< (korrigierte UT) d.h. auf die englische Normalzeit (Big-Ben-Zeit) *Schiffsuhren gehen nach UT1*

Heutige Zeitsignale UTC (Universal Time Coordinated) von Atomuhren



Die Lage: 50° 08' N, 008° 20' E

Länge in Zeit: 33 Min. 20 Sek.

Zeitgleichung für den:

14. Apr. 00 Min. 19 Sek.

13. Okt. 13 Min. 43 Sek.

Mittlere Ortszeit: 20:30:00

Wahre Ortszeit (14.04.) 20:30:19

Wahre Ortszeit (13.10.) 20:43:43

Weltzeit UT bei MOZ 19:56:40

Die Verbindungslinie von einem Gestirn an der Himmelskugel hin zum Erdmittelpunkt durchstößt die Erdoberfläche >>> *Bildpunkt* des Gestirns

> Die Abweichung (Deklination) entspricht der Breite, der Greenwich Stundenwinkel entspricht der Länge des Bildpunktes

Sieht ein Beobachter einen Stern in einer Höhe von 90° (Zenit), dann steht er exakt auf Bildpunktposition. Alle Beobachter die Stern zur gleichen Zeit in gleicher Höhe von z.B. 60° sehen, befinden sich auf einem

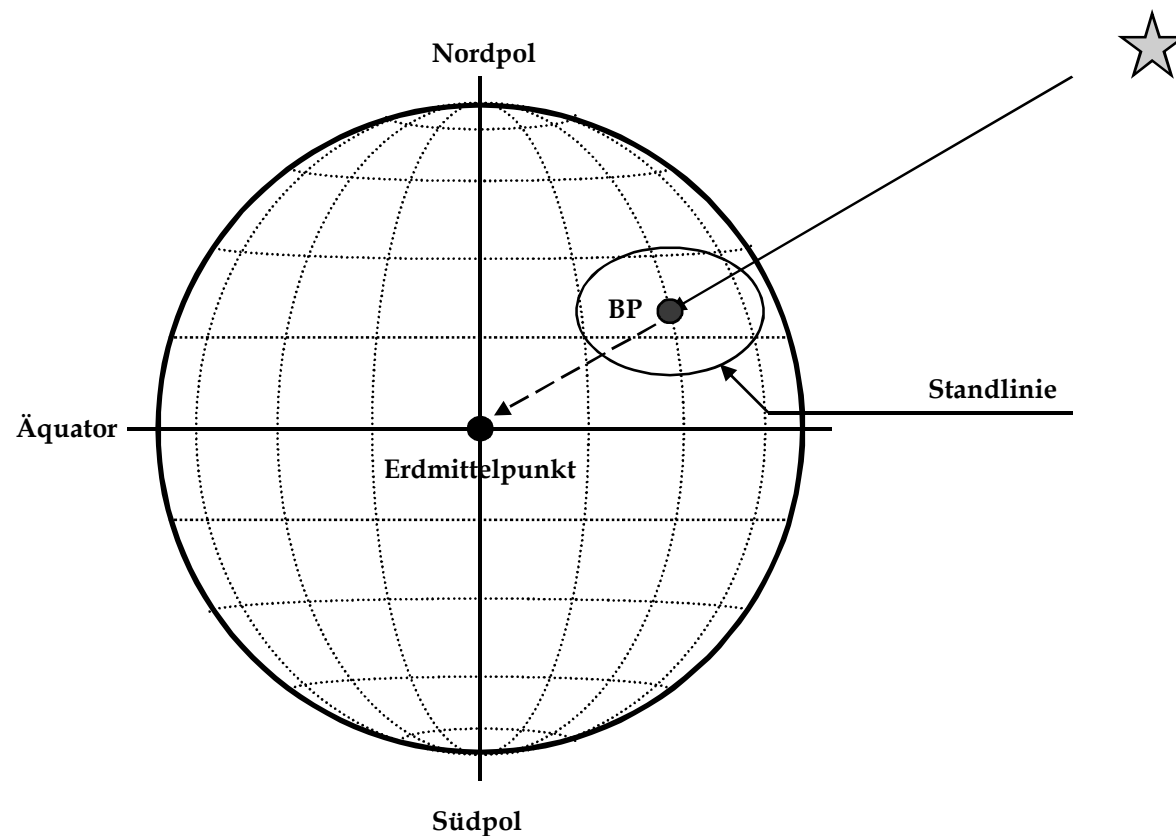
> Kreis um den Bildpunkt = *Standline*

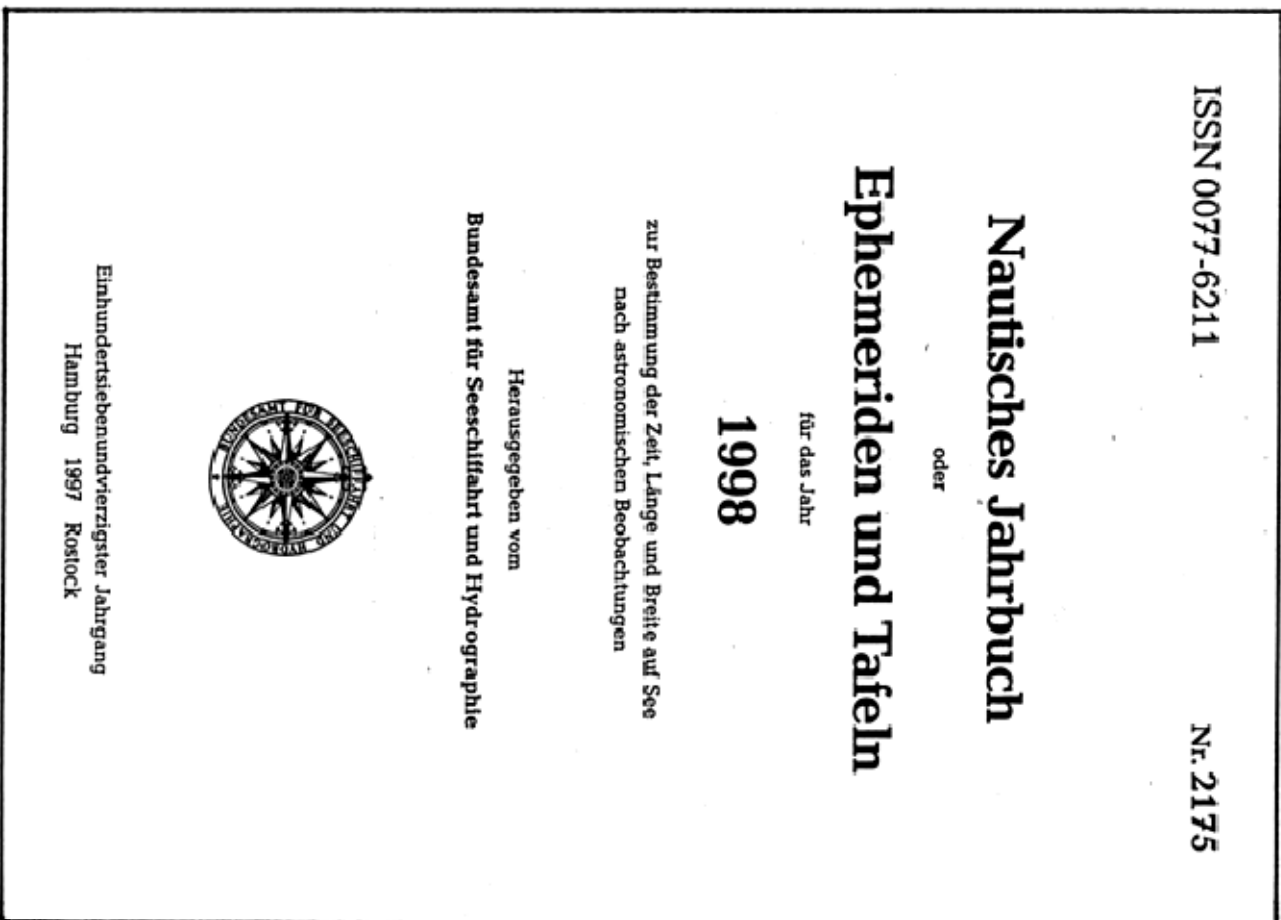
Anmerkung zur Geschwindigkeit der Gestirnsbildpunkte: Es rast z.B. der Sonnenbildpunkt am 23.Sept. auf dem Äquator entlang und legt in 24 Std.

> 21.600 Seemeilen zurück: In jeder Minute bewegt er sich um 15 sm !!!

Die Breite verändert sich im Gegensatz zur Länge nur ganz unwesentlich

Die Standlinie (auch Höhengleiche genannt) ist für die Astronavigation von grundlegender Bedeutung; sie besitzt einen *gekrümmten* (d.h. einen sphärischen) Radius der als >>>Zenitdistanz<<< bezeichnet wird





1998, Fixsterne

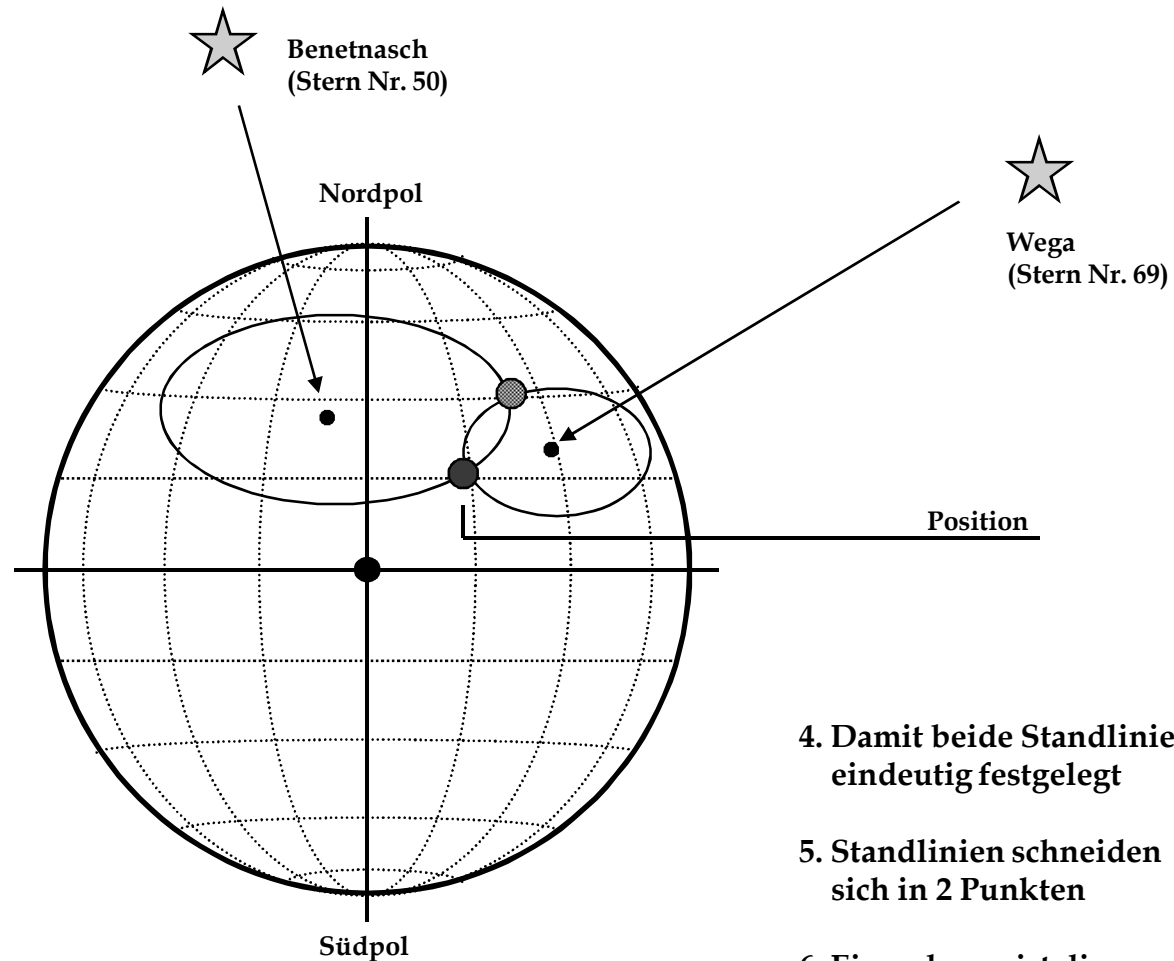
Orter der Sterne

Nr	Name und Größe	Sternzeit	Declination
41	α Ursae majores (Dubhe)	2,0	194 05,8
42	β Leonis (Denebola)	2,2	182 45,4
43	α Crucis (Rigel)	1,1	173 22,2
44	γ Crucis (Saiph)	1,6	172 13,7
45	β Crucis (Mikatsuki)	1,5	168 05,4
46	ε Ursae majores (Alioth)	1,7	166 30,9
47	ε Virginis (Zosma)	3,0	164 28,6
48	ζ Ursae majores (Mizar)	2,2	159 02,3
49	α Virginis (Spica)	1,2	158 43,4
50	η Ursae majores (Benetnasch)	1,9	153 08,0
51	β Centauri (Gacrux)	0,9	149 04,2
52	φ Centauri (Acrux)	2,3	148 21,1
53	α Bootis (Arcturus)	0,2	146 06,2
54	α Centauri (Rigil Kent)	0,1	140 07,3
55	ε Bootis (Mirak)	2,7	138 46,3
56	α' Librae (Zubenelgenub)	2,9	137 18,2
57	β Ursae minoris (Kochab)	2,2	137 19,7
58	β Librae (Zubeneshamali)	2,7	130 46,2
59	α Coronae borealis (Gemma)	2,3	128 20,8
60	α Serpentis (Unuk)	2,6	123 57,2
61	α Scorpuli (Antares)	1,2	112 40,4
62	α Trianguli australis	1,9	107 52,6
63	ε Scorpuli	2,4	107 29,1
64	λ Scorpuli	1,7	96 37,5
65	α Ophiuchi (Ras Alhaque)	2,1	96 17,1
66	φ Scorpuli	2,0	95 42,0
67	γ Draconis (Etamin)	2,4	90 51,5
68	ε Sagittarii	2,0	83 59,1
69	α Lyrae (Wega)	0,1	80 46,7
70	α Sagittarii	2,1	78 12,6
71	α Aquilae (Altair)	0,9	62 19,5
72	α Pavonis	2,1	53 37,4
73	α Cygni (Deneb)	1,3	49 39,3
74	α Cephei (Alderamin)	2,6	40 21,7
75	ε Pegasi (Enif)	2,5	33 58,4
76	α Gnuis	2,2	27 58,2
77	β Gnuis	2,2	19 21,6
78	α Pictis australis (Fomalhaut)	1,3	15 36,7
79	β Pegasi (Scheat)	2,6	14 04,5
80	α Pegasi (Markab)	2,6	13 49,8

1998 APRIL 14 Dienstag											
Nr	FIXSTERNE	SONNE		MOND		JUPITER		SATURN		UT1	Gr
		UT1	Gr	UT1	Abstr	UT1	Abstr	UT1	Abstr		
43	173 216	0	179 53,3	336 34,8	13,7	12 13,7 S	7,3	201 57,9	0,1	179 27,8	7 00,4 N
44	172 13,3	1	194 53,5	331 07,5	13,7	12 21,0	7,3	217 00,4	0,1	194 30,0	7 00,5
46	169 30,4	2	209 53,5	5 40,2	13,7	12 28,3	7,3	232 02,8	0,1	208 32,2	7 00,7
49	159 43,2	3	224 53,8	20 12,9	13,6	12 35,6	7,2	247 05,3	0,1	224 34,3	7 00,6
50	153 07,8	4	239 54,0	34 45,5	13,6	12 42,8	7,1	262 07,8	0,1	229 36,5	7 00,9
51	149 03,8	5	254 54,1	49 18,1	13,5	12 49,9	7,1	277 10,2	0,1	254 38,7	7 01,0 N
53	146 06,1	6	269 54,3	63 50,6	13,5	12 57,0	7,1	292 12,7	0,1	269 40,8	7 01,1
54	140 07,1	7	284 54,4	78 23,1	13,5	13 04,1	6,9	307 15,1	0,1	284 43,0	7 01,2
56	137 18,0	8	299 54,6	92 55,6	13,4	13 11,0	7,0	322 17,6	0,1	299 45,2	7 01,3
57	137 18,6	9	314 54,7	107 28,0	13,4	13 18,0	6,8	337 20,1	0,1	314 47,3	7 01,4
59	126 20,6	10	329 54,9	122 00,4	13,4	13 24,8	6,8	352 22,5	0,1	329 49,5	7 01,6 N
61	112 40,3	11	344 55,0	136 32,8	13,3	13 31,6	6,8	7 25,0	0,1	344 51,7	7 01,7
62	107 52,3	12	359 55,2	151 05,1	13,2	13 38,4	6,7	22 27,5	0,1	359 53,9	7 01,8
64	96 37,5	13	14 55,4	165 37,3	13,2	13 45,1	6,6	37 29,9	0,1	374 56,1	7 01,9
65	96 17,1	14	29 55,5	180 09,6	13,1	13 51,7	6,6	52 32,4	0,1	429 58,2	7 02,0
67	90 51,4	15	44 55,7	194 41,7	13,2	13 58,3	6,5	67 34,9	0,1	474 60,3	7 02,1 N
69	80 46,8	16	59 55,8	209 13,9	13,1	14 04,8	6,5	82 37,3	0,1	519 62,4	7 02,2
71	62 15,6	17	74 56,0	223 46,0	13,0	14 11,3	6,4	97 39,8	0,1	564 64,5	7 02,3
72	53 37,7	18	89 56,1	238 18,0	13,1	14 17,7	6,3	112 42,3	0,1	609 66,6	7 02,4
73	49 39,5	19	104 56,3	252 50,1	12,9	14 24,0	6,3	127 44,7	0,1	654 68,7	7 02,5
75	33 58,7	20	119 56,4	267 22,0	13,0	14 30,3	6,2	142 47,2	0,1	699 70,8	7 02,6
76	27 58,7	21	134 56,6	281 54,0	12,9	14 36,5	6,2	157 49,6	0,1	744 72,9	7 02,7
78	15 37,1	22	149 56,8	296 25,9	12,8	14 42,7	6,1	172 52,1	0,1	789 75,0	7 02,8
80	13 50,2	23	164 56,9	310 57,7	12,8	14 48,9	6,0	187 54,6	0,1	834 77,1	7 02,9

UT1	VENUS		MARS		JUPITER		SATURN	
	Gr	Abstr	Gr	Abstr	Gr	Abstr	Gr	Abstr
0	222 06,5	8 31,4 S	173 16,6	11 28,3 N	214 25,1	6 23,4 S	179 27,8	7 00,4 N
1	237 00,4	8 30,6	189 17,3	11 29,3 N	229 27,1	6 23,2	194 30,0	7 00,5
2	252 06,3	8 29,8	203 18,0	11 29,6	244 29,0	6 23,0	208 32,2	7 00,7
3	267 06,1	8 29,0	218 18,7	11 30,6	259 31,0	6 22,8	224 34,3	7 00,6
4	282 06,0	8 28,2	233 19,4	11 31,0	274 33,0	6 22,6	239 36,5	7 00,9
5	297 05,9	8 27,4 S	248 20,1	11 31,7 N	289 34,9	6 22,4 S	254 38,7	7 01,0 N
6	312 05,7	8 26,6	263 20,8	11 32,3	304 36,9	6 22,2	269 40,8	7 01,1
7	327 05,6	8 25,8	278 21,5	11 33,0	319 38,9	6 22,0	284 43,0	7 01,2
8	342 05,5	8 24,9	293 22,1	11 33,7	334 40,8	6 21,8	299 45,2	7 01,3
9	357 05,4	8 24,1	308 22,8	11 34,4	349 42,8	6 21,6	314 47,3	7 01,4
10	12 05,2	8 23,3 S	323 23,5	11 35,0 N	4 44,8	6 21,4 S	329 49,5	7 01,6 N
11	27 05,1	8 22,5	338 24,2	11 35,7	19 46,7	6 21,2	344 51,7	7 01,7
12	42 05,0	8 21,7	353 24,9	11 36,4	34 48,7	6 21,0	359 53,9	7 01,8
13	57 04,8	8 20,9	8 25,6	11 37,1	49 50,6	6 20,8	14 56,0	7 01,9
14	72 04,7	8 20,1	23 26,3	11 37,7	64 52,6	6 20,6	29 58,2	7 02,0
15	87 04,6	8 19,3 S	38 27,0	11 38,4 N	79 54,6	6 20,4 S	45 00,4	7 02,1 N
16	102 04,5	8 18,4	53 27,7	11 39,1	94 56,5	6 20,2	60 02,5	7 02,2
17	117 04,3	8 17,6	68 28,3	11 39,7	109 58,5	6 20,0	75 04,7	7 02,3
18	132 04,2	8 16,8	83 29,0	11 40,4	125 00,5	6 19,8	90 06,9	7 02,5
19	147 04,1	8 16,0	98 29,7	11 41,1	140 02,4	6 19,6	105 09,0	7 02,6
20	162 03,9	8 15,2 S	113 30,4	11 41,8 N	155 04,4	6 19,4 S	120 11,2	7 02,7 N
21	177 03,8	8 14,4	128 31,1	11 42,4	170 06,4	6 19,2	135 13,4	7 02,8
22	192 03,7	8 13,5	143 31,8	11 43,1	185 08,3	6 19,0	150 15,5	7 02,9
23	207 03,6	8 12,7	158 32,5	11 43,8	200 10,3	6 18,7	165 17,7	7 03,1

1. Bestimmung der wahren Höhe der beiden Fixsterne (Sextant)
2. Damit kennt man Zenitdistanz* d.h. den Radius der Standlinie
3. Das Nautische Jahrbuch liefert Koordinaten der Bildpunkte



4. Damit beide Standlinien eindeutig festgelegt
5. Standlinien schneiden sich in 2 Punkten
6. Einer davon ist die von uns gesuchte Position**

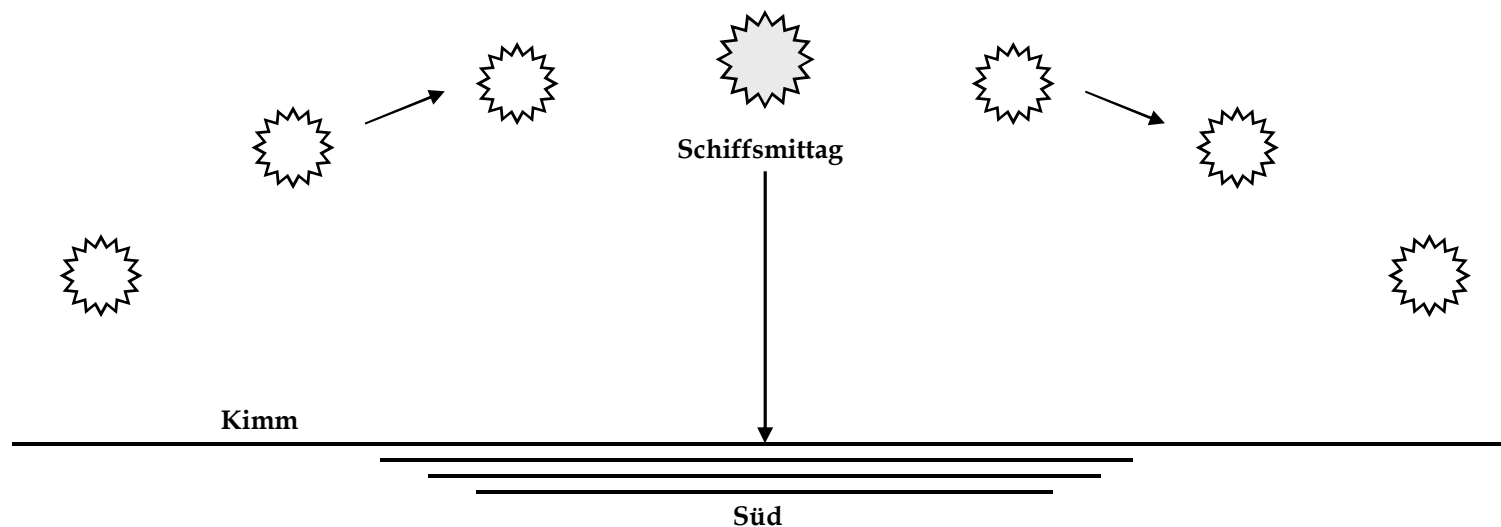
* : Zenitdistanz = 90° - wahre Höhe

** : Schnittpunkte liegen so weit auseinander, daß grobe Kenntnis der Position (Koppelnavigation) ausreicht !!!

Älteste, einfachste und genaueste Methode zur Ermittlung einer Standlinie

Schiffsmittag ist, wenn die Sonne ihren höchsten Punkt auf ihrer Laufbahn erreicht hat:
>>> Sie steht dann genau im Süden <<<

Sonnenbildpunkt und Schiff befinden sich dann genau auf gleicher Länge !



Einzigster Sonderfall der astronomischen Navigation, bei dem die Kenntnis der genauen Zeit nicht notwendig ist. > Stellung der Sonne = Zeitsignal <



Segelt ein Schiff genau nach Süden oder Norden, so kann der geogr. Breitengrad durch Beobachtung der Himmelskörper

>>> exakt aufgefunden werden <<<

Die Ermittlung (=Berechnung) aber des zur Positionsbestimmung notwendigen geogr. Längengrades (2. Koordinate) ist

>>> nicht ohne weiteres möglich <<<

Lange Zeit konnte deswegen auf offener See (.... wie auch an Land !!!)

> der Standort nicht genau bestimmt werden

>>> Die frühen Seeleute blieben deshalb stets in Küstennähe <<<

Etwa Anno 1470 begann in Europa der *Wettlauf* mehrerer Nationen

> die Erde und insbesondere die Ozeane zu erkunden

Spanien und Portugal gründeten Reiche, England und Frankreich setzten alle Macht daran (in blutigen Kriegen) ihnen gleichzutun

Der Äquator wurde überschritten und von 1519 bis 1521 umrundete Magellan zum ersten Mal die Erde (und fand die Magellan-Strasse)

Alle seefahrenden Nationen erlitten jedoch durch das Problem der (nur grob möglichen) Standortermittlung auf See

> ernsthafte Verluste an Menschen und Material

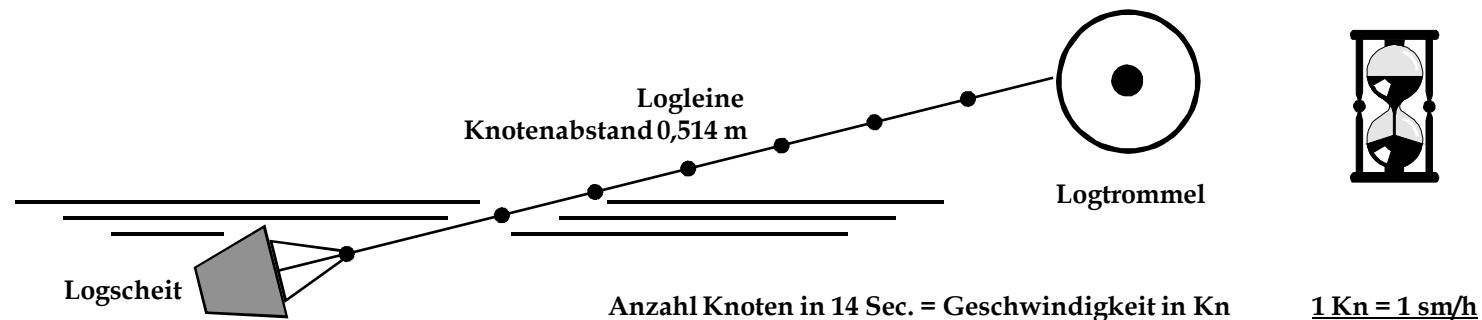
Die exakte Bestimmung des geograph. Längengrades wurde zu einer

>>> Existenzfrage der Seefahrt <<<

Wie navigierten damals Kolumbus, Magellan oder Drake auf ihren Reisen ?

Man segelte zunächst in Nord / Süd-Richtung bis zur gewünschten Breite, und dann auf dieser Breite nach Osten oder Westen !!!

> Mit dem *Log* die Geschwindigkeit (mit Hilfe der Sanduhr) gemessen



Im >Logbuch< zur Koppelnavigation Geschwindigkeit, Richtung und Dauer eines Kurses eingetragen >>> damit dann den zurückgelegten Weg ermittelt

Wachablösung war an Bord im 4-Stunden-Rhythmus, Sanduhr nach jeweils 30 Min. gedreht und mit Schiffsglocke angekündigt > 1-8 Schläge (Glasen)

Handels-, Kriegs- und Piratenschiffe drängten sich auf den bekannten Routen >>> wo die einen den anderen zum Opfer fielen <<<

Anno 1592 z.B. fiel engl. Kriegsschiffen vor den Azoren eine portug. Galeone in die Hände: Gold, Silber, Perlen ... Pfeffer, Nelken, Zimt ...

> Wert der Ladung: 1/2 Mio Pfund - ein enormer Verlust !!!

Wer also als erster eine sichere Methode fand, neu entdeckte Gebiete exakt wieder aufzufinden und wer gleichzeitig in der Lage war auch

> zuverlässige Seeverbindungen für größere Flottenverbände

zu schaffen, der gewann auch die Vorherrschaft auf den Meeren !!!

Die Lösung des Längenproblems (Longitudinalproblems) hatte damit unmittelbaren Einfluß auf die Entwicklung der

> *politischen Machtverhältnisse* im 18. und 19.Jh. in der alten Welt

Selbst die größten Kapitäne (trotz bester Karten und Kompass) waren im Zeitalter der Entdeckungen auf See mehr oder weniger > orientierungslos

> Menschenverluste, Irrfahrten und Schiffskatastrophen häuften sich

Am 22.10.1707 verlor die engl. Kriegsflotte wegen fehlerhafter Navigation
> über 2.000 Seeleute und 4 Kriegsschiffe !!!
vor der Südwestküste Englands, auf Grund gelaufen bei den Scilly-Inseln

Am 07.03.1741 geriet die H.M.S. *Centurion* (!) mit 5 Begleitschiffen bei Kap Hoorn in einen Sturm, der 58 Tage andauerte. Nach dem langen Unwetter
> die Begleitschiffe und hunderte Seeleute waren verloren !!!
segelte die *Centurion* (auf der Suche nach Land) über 2 Wochen auf dem
> 35. Breitengrad hin und her - es starben dabei 80 Mann an Skorbut !!!

etc. etc. etc.

Die Zeit verging - die Suche nach Lösungen nahm legendäre Ausmaße an

Früh begannen die seefahrenden Nationen hohe Preise für die Lösung des Längenproblems auszuloben:

- > 1598 ... Spanien 6.000 Dukaten (und lebensl. Rente)
- > 1610 ... Niederlande 100.000 Gulden
- > 1711 ... Frankreich 100.000 Livres

Und 1675 gründete England die Sternwarte von Greenwich, um dort

- > *der Seefahrt dienliche astronomische Beobachtungen anzustellen !*

Die ausgesetzten Preise entfachten fieberhafte Aktivitäten - aus den vielen Diskussionen ergaben sich 2 grundsätzliche Lösungsansätze:

- > Das Verfahren der Mondstrecken (Lunardistanzen)
- > Das Verfahren der Zeitdifferenz (Ortszeit - Bezugszeit)

Viele andere Überlegungen z.B. Jupitermondereignisse, zwar logisch - aber auf einem schwankenden Schiff absolut nicht praktikabel !!!

Verfahren bei klarem Himmel und sichtbarem Mond immer anwendbar

> Anno 1514 von J. Werner (Nürnberg) vorgeschlagen verwendet die Messung der Entfernung Mond zu Sternen, Planeten und Sonne

Da der Mond relativ schnell am Himmel wandert, so kann er in diesem Zusammenhang als >Uhrzeiger< betrachtet werden

Voraussetzung war jedoch die genügend genaue Vorausberechnung der Mondposition (relativ zu den Gestirnen) mit Hilfe der >Mondtafeln<

Erst 1755 legte der Göttinger Mathematiker Tobias Mayer (!) wesentlich verbesserte (hinreichend genaue) Mondtafeln vor - trotzdem, für gute

> Ergebnisse arbeiteten 4 Leute - die Auswertung dauerte Stunden !!!

Verfahren bis Anfang 20.Jh. in Gebrauch; früher (noch 1916) waren im Nautischen Jahrbuch die Mondstrecken vertafelt

Bereits 1530 hat der Niederländer Rainer Gemma (>Frisius<) herausgefunden:

> Längenbestimmung = Bestimmung der Zeitdifferenz Ortszeit - Bezugszeit

Ist es irgendwo im Atlantik >Schiffsmittag< d.h. 12:00 Ortszeit und wäre es dann z.B. in Hamburg genau 17:00 Uhr, dann ist (Wandlung Zeit in Länge) der

> Schiffsstandort exakt $75^{\circ} 0,0'$ westlich von Hamburg

Woher weiß ein Kapitän auf hoher See die momentane Ortszeit von Hamburg ?

> Er muß eine Uhr mit Hamburger Zeit mitführen

Wie genau muß diese Uhr die Hamburger Zeit dem Kapitän anzeigen ???

> Sekundengenau, denn 1 Sec. = 463 m 4 Sec. = 1 sm 1 Min. = 27,8 km !!!

Aber zur Zeiten Frisius war die genaueste Uhr auf einem Schiff nunmal eine Sanduhr - seine Theorie war für die Praxis (bis Anf. 18.Jh.) nicht verwertbar

Rund 40 Jahre nach der Gründung der Sternwarte Greenwich wurde vom engl. Parlament 1714 das sog. Längenbüro (B.o.L.) ins Leben gerufen:

> Sachverständigenrat, das sofort einen öffentlichen Wettbewerb: *Methode zur Bestimmung des Längengrads* ausschrieb >>> (Longitude-Act)

Als Test war eine Seereise von England nach Westindien vorgeschrieben, die Belohnung für eine anerkannte Berechnungsmethode war gestaffelt:

- > 20.000 Pfund für Abweichung bis 30 Seemeilen (entspricht $0,5^\circ$)
- > 15.000 Pfund für Abweichung bis 40 Seemeilen
- > 10.000 Pfund für Abweichung bis 60 Seemeilen (entspricht $1,0^\circ$)

Dafür mußte aber (z.B.) ein Zeitmesser abgeliefert werden, der nach einer 6 Wochen dauernden Schiffsreise keine größere Differenz als plus/minus

> 3 Sek. pro Tag aufweisen durfte !!!

um eine (für die damalige Zeit unglaublich hohe) Summe zu ergattern !!!

Die Kommission (9 Personen) ... Wissenschaftler, Marineoffiziere und Regierungsbeamten ... mit ihrer Finanzhoheit (Quorum war 5 Mitgl.)

> wohl die erste staatl. Forschungs- und Entwicklungsbehörde !!!

Prominentestes Mitglied war zu Anfang (mittlerweile 72-jährig) der Physiker, Mathematiker und Astronom >>> Isaac Newton <<<

In der Längenkommission saßen nun die Vertreter beider Richtungen: Der Positionsbestimmung durch astronom. Messungen wie auch der

>>> *durch Zeitmeßinstrumente* <<<

Beide hatten jedoch bis dato >keine< praktikable Lösung vorzulegen, obwohl es seit Chr. Huygens (1629-1695) genaue Uhren gab !!!

Die Kommission bestand bis 1828 (also über 100 Jahre) und hat bis zur Auflösung

> mehr als 100.000 Pfund an Prämien vergeben !

Die Längenkommision wurde massiv mit (betrügerischen und ehrlichen) Vorschlägen eingedeckt die Länge zu finden, u.a. mit Hilfe von
> Böllerschüssen oder erhitzten Kompassnadeln

Sehr konkret stellte *Jeremy Thacker* seine von ihm entwickelte neuartige Uhr dem Gremium vor; in Anspielung auf die vielenmeter, nannte er sie >>> *Chronometer* <<< diese Wortschöpfung hat bis heute Bestand

Diese Uhr verfügte über 2 wichtige Neuerungen/ Erfindungen, nämlich
> eine gläserne Vakuumkammer (...Luftdruck und Feuchtigkeit)
> zwei gekoppelte Aufziehstäbe (...Antriebserhaltung)

Ein ungelöstes Problem (trotz Korrekturtabellen) an dem alles scheiterte:
>>> Temperaturschwankungen <<< ließen keine besseren Ergebnisse als
+ / - 6 Sek. pro Tag zu

Es war aber der beste Vorschlag, den die brit. Kommision im ersten Jahr ihres Bestehens prüfte ... die große Ernüchterung. Für Newton stand fest:
Die Lösung ist in den Sterne zu finden !!!

Im Gegensatz zu den >Sterndeutern< machte sich ein Tischler namens:

> John Harrison an die Arbeit eine >mechanische< Lösung zu finden !

Geboren 24.03.1693 in Yorkshire und ein uhrmacherischer Autodidakt

Bereits 1725 stellte er mit seinem Bruder James hochgenaue Standuhren (Abweichung um 1 Sek. pro Monat !!!) mit Werken aus Holz her:

- > Hemmungssystem: Grashüpfer-Gang (Kreuzschlag nach Jost Bürgi)
- > Gangregler: Rostpendel (Erfindung von James Harrison !!!)

Zur Person: Genialer Mechaniker von einf. Stand und hoher Intelligenz

Umtriebig: Spielte Gambe, läutete / stimmte Glocken, Chordirigent,

Wißbegierig: Kopierte wiss. Lehrbücher, verfaßte Zeitgleichungstabelle

Umständlich: Ein Satz (ohne Punkt und Komma) über 25 Seiten !!!

Anno 1726 hörte Harrison zum ersten Mal vom gewaltigen Preis des B.o.L. und beschäftigte sich fortan mit der Entwicklung von >>>Seeuhren<<<

> 1730 ging er nach London und stellte George Graham seine Pläne vor

Der war von den Entwürfen so begeistert, daß er ihm ein Darlehen anbot

> 1735 war der 1. Seechronometer der Welt fertiggestellt !!!

Ein Monstrum aus Messing: mehr als 32 Kilo schwer, 90 cm breit wie hoch

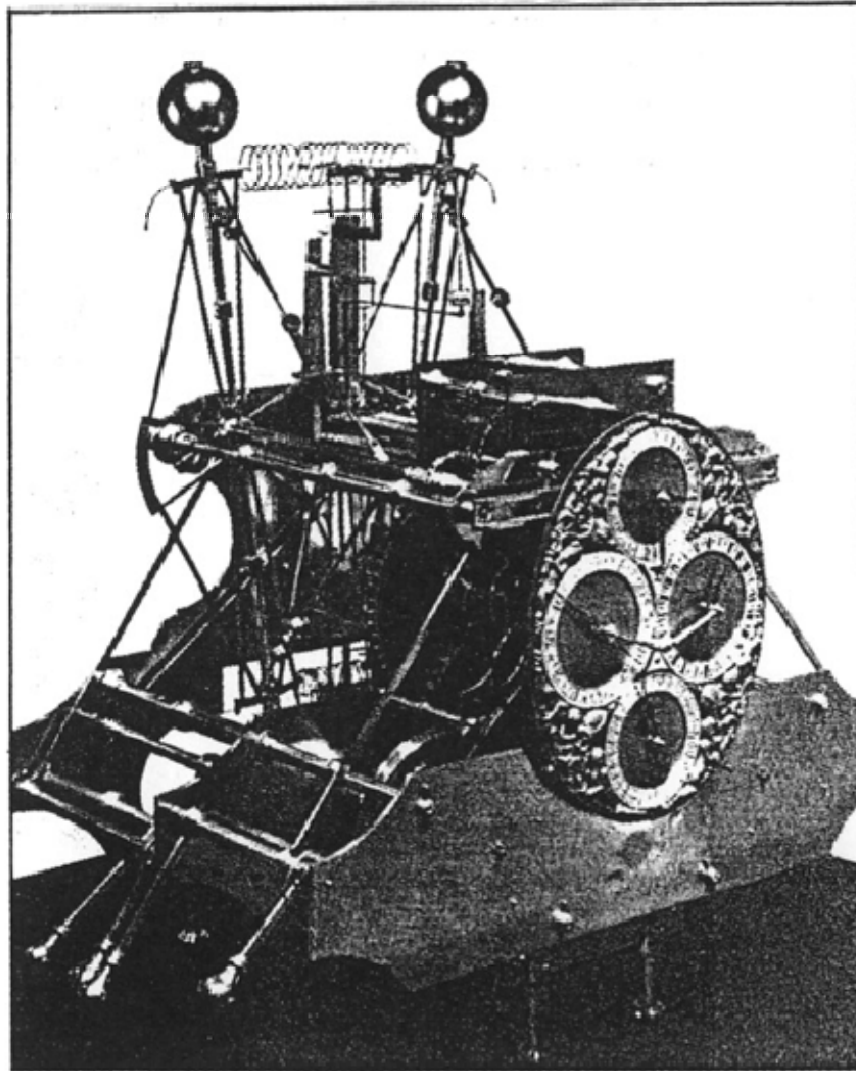
Diese jedoch legendäre >>> H1 <<< noch mit Grashüpfer-Gang besaß:

> Räder aus Pockholz (...Selbstschmierung)

> Federgekoppelte Schwingstäbe mit Rostsystem (...Temperaturkomp.)

> Gegengesperr (...Antriebserhaltung bei Aufzug)

Alle Teile der von Kompliziertheit strotzenden >>Zeitmaschine<< waren von höchster handwerklicher Vollendung



Erste Erprobung der H1 erfolgte an Bord eines Lastkahns auf dem Humber dann 1735 in London unter großem Beifall der >Royal Society< vorgestellt

Im Mai 1736 begann die offizielle Erprobung an Bord H.M.S. *Centurion* (!) Statt nach Westindien ging es ...nach Lissabon - jedoch mit großem Erfolg

> Die Uhr überstand die mehrwöchige Reise besser als J. Harrison !!!

Am 30.06.1737 trat das B.o.L. das erste Mal vollständig zusammen und J.H. präsentierte die H1 und die Ergebnisse der Lissabon-Reise unter Vorbehalt

> Der Perfektionist wies auf die Schwächen der H1 hin

bekam aber wunschgemäß von der Kommission 250 Pfund und 2 Jahre Zeit

Es war ein entscheidender Schritt getan ... Es war erwiesen, daß die präzise Bestimmung des Längengrads (und damit auch eine Schiffsposition) mit

> Hilfe eines Zeitmessers möglich ist ... und daß es ihn gibt !!!

Die Harrisons begannen sofort mit dem Bau der H2 (Fertigstellung 1739) die Jan.1741 mit folgenden Verbesserungen dem B.o.L. präsentiert wurde

- > neuer Mechanismus für gleichmäßigeren Antrieb
- > optimierte Temperaturkompensation

Die H2 wog zwar 39 Kilo !! war jedoch wesentlich kleiner als die H1 und sie bestand mit Bravour alle Tests zu Hitze, Kälte und Erschütterungen !!

Trotzdem genügte sie nicht den hohen Ansprüchen des John Harrison, er zog (mittlerweile 48-jährig) nach London und verschwand für viele Jahre

- > in seiner Werkstatt um an der *>kuriosen dritten Maschine<* zu arbeiten

Zwischenzeitlich (1739) hatte er sich von seinem Bruder James getrennt !!!

Auch die Verfechter der Methode der Mondstrecken machten 1731 mit der Erfindung des *>Spiegelquadranten<* große Fortschritte

Ununterbrochen arbeitete Harrison 19 Jahre (bis 1759) an der H3 ???
Bereits mit hohem Bekanntheitsgrad erhielt er 1749 von der Royal Society

> Die Copley-Goldmedaille (... später auch A.Einstein) und das Angebot
ein (prestigeträchtiger) F.R.S. zu werden. Er verzichtete zu Gunsten seines

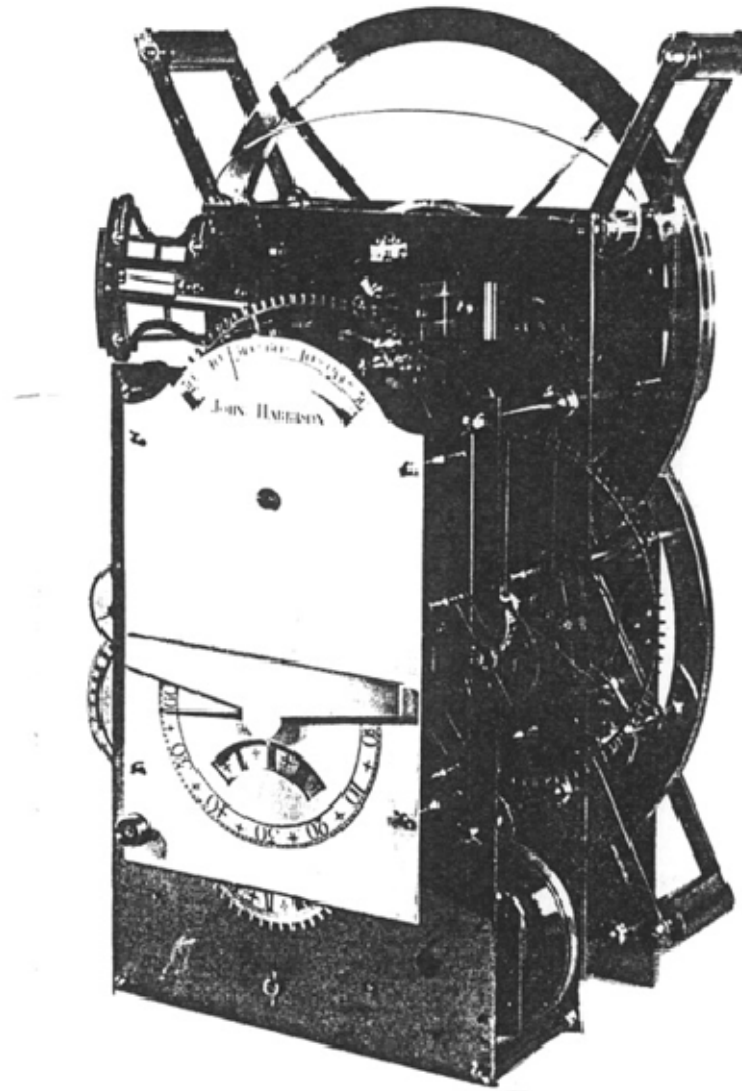
> Sohnes und neuen Partners >> William << der mit der H3 groß wurde

Die Uhr bestand aus 753 Einzelteilen und war wieder voller Neuerungen:

- > Statt Unruhstäbe mit Kugeln >bimetallische< Unruhreife
- > 2 runde gegeneinanderschwingende Unruhreife (...stabiler Gang)
- > Kugelgelagerte Zapfen (...wesentliche Reibungsverminderung)

Wiegt "*nur*" noch 28 Kg, ist 30 cm breit, 60 cm hoch. Die Harrisons lebten
in dieser Zeit von Zuschüssen des B.o.L. Insgesamt gab es 5 mal 500 Pfund

Aber John Harrison war immer noch nicht zufrieden



Harrison lernte den Londoner Uhrmacher John Jefferys kennen, der fertigte ihm 1753 (nach seinen Angaben !) eine Taschenuhr zum privaten Gebrauch:

> Mit Bimetallstreifen und Gegengespeirr

Diese Uhr erwies sich als überaus robust, zuverlässig und ganggenau und

> ist eigentlich die erste >wahre< Präzisionstaschenuhr !!!

John Harrison trug diese Uhr täglich und während der Fertigstellung der H3

> beeinflusste sie seine Vision der optimalen Längenuhr

Bereits 1755 machte er der Längenkommision entsprechende Andeutungen !

Wegen des Siebenjährigen Krieges wurde (vermutlich) die H3 nicht erprobt
Angst, daß das Schiff untergeht oder daß die Uhr Feinden in die Hände fällt

Anno 1759 hatte J.Harrison auch die H4 (...letztlich der Längengradpreis) fertiggestellt. >>>Ein Quantensprung im Vergleich zu H1 bis H3<<<

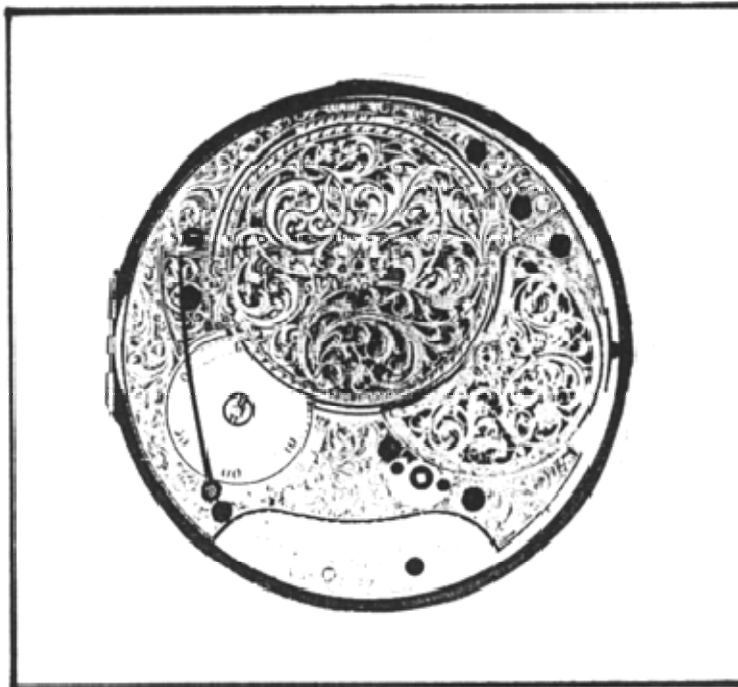
> "Taschenuhr" mit 132 mm Durchmesser im Silbergehäuse

Nur noch 3 Pfund schwer, weißes Zifferblatt und 3 Zeiger aus der Mitte, verziert (!) mit floralen Schmuckmotiven. "The Watch" wird später zum >>>Inbegriff von Eleganz und Präzision<<

Neuerungen/ Erfindungen, die die Harrisons in die H4 einbrachten sind

- > Spezial-Spindelhemmung (Werk mit 30 Std. Gangreserve)
- > Rubingelagerte Zapfen, diamantene Hemmungsflächen
- > Zwischenaufzug für konstanten Antrieb (Remontoir)
- > Verbesserte (bimetallische) Temperaturkompensation

Neu war aber auch, daß die H4 >geölt< werden mußte. Bisher
Im Jahr 1760 entschloß sich Harrison die >neue< H4 und nicht die H3 der offiziellen Prüfung zu unterziehen !!!



Am 18.Nov.1761 begann (...die Astronomen mauerten...) die Testreise der H4 William Harrison (!) in Portsmouth mit H.M.S. *Deptford* Richtung Jamaika

> Gesichert in einer Kiste mit 4 verschiedenen Schlössern

Die Reise dauerte fast 3 Monate, das Schiff erreichte am 19.Jan.1762 endlich

> Jamaika ... und nach 81 Tagen auf See ... nur 5,1 Sek. Verlust !!!

Die Rückreise mit der H.M.S. *Merlin* endete am 26.Mar.1762 in England und

> die Fehlanzeige von Hin- und Rückfahrt: knapp 2 Minuten

Die Uhr hatte also die vom B.o.L. geforderten Bedingungen mehr als erfüllt,
>die verdiente Auszeichnung blieb Harrison jedoch versagt<

Die Längenkommision (... Zauberkasten ... Zufall ...) stellte im Aug.1762 fest:

> Die mit der Uhr gemachten Experimente sind nicht ausreichend !!!
Trotzdem erhielt Harrison als Anerkennung 1.500 Pfund !

Harrison (ohne jede Schulbildung) führte einen einsamen Kampf gegen das wissenschaftliche Establishment: Allen voran...Bösewicht Nevil Maskelyne

> Hochgebildet, königl. Astronom und Mitglied der Längenkommission !

Als >Monddistanzler< sehr aktiv und auch erfolgreich; bestätigte die Tafeln von Tobias Mayer (!) der 1755 (posthum) 5.000 Pfund zuerkannt bekam !!!

Die Längenkommission änderte immer wieder die Wettbewerbsbedingungen um den Astronomen (... die wahre Wissenschaft) einen Vorteil gegenüber den >Mechanikern< zu verschaffen !!!

..... trotz Wolkendecken und im Sturm stampfenden Schiffen

Der Interessenkonflikt weitete sich aus, gleichwohl sich um die H4 nationale Sicherheitsinteressen entwickelten >>>es steckte Potential in dieser Uhr<<<

Trotzdem gelang Harrison mit der H4, was Newton für *unmöglich* gehalten !!!

Die Längenkommission verlangte eine erneute (.. und verschärfte) Testreise
Am 28.3.1764 ging W. Harrison (der Vater 71-jährig) mit H.M.S. *Tartar* auf
> Überfahrt nach Barbados ... empfangen am 15.Mai von N. Maskelyne !

Die Abweichung der H4 betrug >>>39,2 Sek. entsprechend 9,8 Meilen<<<

Das B.o.L. ließ sich wieder Monate Zeit für eine Stellungnahme, dann die
Bestätigung: >>>Zeit hinreichend genau angezeigt<<<

Im Herbst 1764 wurde J.Harrison 10.000 Pfund angeboten - Voraussetzung:

> Sämtliche Schiffsuhren herausgeben und Detailbeschreibung der H4
Das volle Preisgeld gab es, wenn er noch >2 Kopien< der H4 anfertigt !!!

Nach langem hin und her, willigte Harrison ein - am 14.08.1765 begann das
>Uhrmachertribunal< in seiner Werkstatt mit dabei Thomas Mudge (!)

> Unter Eid erklärte er die Funktion jedes Bestandteils der H4 !
Endlich bekam er die 10.000 Pfund, und die H4 bekam die Admiralität !

Eingefädelt vom Hauptdrahtzieher N. Maskelyne ließ das B.o.L im April 1766 die drei *>Längenapparate<* (H1 - H2 - H3) beschlagnahmen, wobei beim *> Abtransport die H1 "versehentlich" fallengelassen !!!*

Der Uhrmacher Larcum Kendall (Lehrling von J. Jefferys) in 1768 vom B.o.L. beauftragt eine Kopie der H4 anzufertigen ... die er im Januar 1770 ablieferte

> Die K1 ... ein Ebenbild der H4 ging mit Kapitän Cook auf Weltreise !!!

Im hohen Alter (79) hatte J. Harrison 1772 die H5 (=1.Kopie) fertiggestellt, der geforderte 2. Nachbau war aber nicht mehr zu schaffen die Zeit zerrann !!!

> Mit dem Rücken an Wand Eingabe direkt an den König

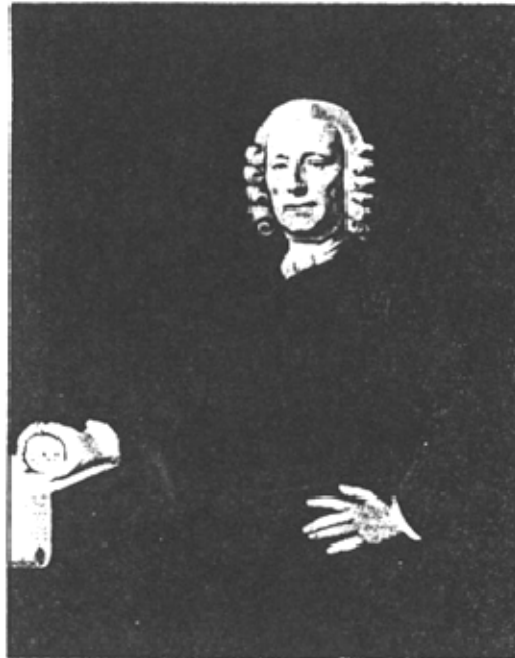
George III erlaubte, die H5 in seiner Privatsternwarte in Richmond zu testen: Nach 10 Wochen täglicher Beobachtung: Abweichung *>> 0,3 Sec. pro Tag<<*

Auf Druck des Königs beschloss das englische Parlament am 27. April 1773 8.750 Pfund Preisgeld zu zahlen !!!

John Harrison, mittlerweile eine Berühmtheit, starb 83-jährig am 24.03.1776

>>>Der Mann, der die Länge fand<<<

Taschenuhr von
John Jefferys (!)



Ölgemälde von Thomas King um 1765

Nach dem Erfolg der H4 verlegten sich scharenweise die Uhrmacher im In- und Ausland auf den Bau von Schiffschronometern !

> J. Harrison genoß unter ihnen den Ruf eines Märtyrers !!!

Und in England selbst entwickelte sich ein boomender Industriezweig
Trotzdem ... Schiffsuhren blieben vorerst unerschwinglich - sie waren

> viel zu kompliziert (und damit zu teuer) für massenhaften Nachbau
Für ca. 20 Pfund gab es einen guten Sextant und die Mondtabellen

L. Kendall baute die K2 (1774) die aber nur schwache Leistungen zeigte
(kein Remontoir) ... aber eine der berühmtesten Reisen in den Annalen
der Schifffahrt begleitete:

> 1789 unter Kapitän William Bligh auf der >>>Bounty<<<

Auch T. Mudge (Lehrling bei G. Graham und Erfinder des Ankergangs)
baute mehrere Schiffsuhren !

Die Ehre der Pionierleistungen im Chronometerbau teilt sich J. Harrison mit

> dem Hofuhrmacher Ludwig XV Pierre Le Roy aus Paris

Obwohl 1738 in London bei G. Graham die H1 bewundert, ging er technisch neue >richtungsweisende< Wege, die 1764 bei Versuchen auf See eindeutig bessere Leistungen als die der H4 erbrachten !!!

- > Erstmalige Anwendung der >freien< Chronometerhemmung
- > Einführung der bimetallkompensierten Unruhe
- > Einfache Konstruktion der Werkelemente

Permanent detailverbessert (1766 - 1771) zeigten weiterentwickelte Seeuhren mit nur ca. 1,5 Sek. täglicher Fehlweisungen: >hervorragende Resultate<

Wie Harrison hat Le Roy nur wenige Seeuhren hergestellt und wie Harrison in England mußte Le Roy in Frankreich lange Jahre um die finanzielle
> Anerkennung seiner Leistungen kämpfen

Oft wird Le Roy als der eigentliche Vater des See-Chronometers angesehen !

Le Roy's größter Rivale war der (Schweizer) F. Berthoud der 1763 nach London zur H1 pilgerte. Arbeitete bei Julien Le Roy ... Experimentator / Fachschriftst.

> Entwickelte überwiegend gewichtsgetriebene Seeuhren

Eingebaut in runden, 50 cm langen, kardanisch aufgehängten Messingrohren !!
Der Chronometer >MM Nr.3< (1763 erprobt) brachte sehr gute Leistungen

Ohne Erfolg 1766 bei J. Harrison für 500 Pfund um private Vorführung der H4 nachgesucht ... dafür hat T. Mudge alle Details ausgeplaudert !!!

1771 erregte Berthoud Aufsehen mit (freier) Chronometerhemmung mit Wippe und um 1780 entwickelte er eine verbesserte Chronometerhemmung mit Feder

> Hier zeigte die Temperaturkompensation eindeutig Harrison-Technologie !

Rund 70 Seeuhren mit Gewichtsantrieb hat er hergestellt - jede jedoch anders
Seine Publikationen mit einmaligen zeichnerischen Darstellungen von ganzen Uhrwerken und Ausführungsdetails sind legendär !!!

Konzipierte 1759 (?) den *>freien Ankergang<* heutiges Standard-Hemmungssystem

> Hat aber den Siegeszug seiner Erfindung nicht erlebt !!!

Er wurde 1765 Mitglied des B.o.L. und war Teilnehmer am *>Uhrmachertribunal<* und hat (... eitel ?) Konstruktionsdetails der H4 an Ferdinand Berthoud verraten

Seinen ersten See-Chronometer (The Blue) hat er 1777 und kurz darauf seinen 2. (The Green) zur Überprüfung bei der Längenkommision eingereicht, jedoch

> Beide Uhren versagten letztlich beim Test in Greenwich

Sie waren zu kompliziert ... und ungeeignet zur Anfertigung großer Stückzahlen
Trotz harter Auseinandersetzungen mit der Längenkommision wurden ihm doch
>>>2.500 Pfund Prämie zugesprochen<<<

Neben der Entwicklung von *>Hemmungen mit konstanter Kraft<* viele technische Besonderheiten ausgedacht u.a. der Antrieb von 2 hintereinandergeschalteten
>Federn<

Ab 1775 gab es nur noch Prüfungen von 2 Seeuhren gleicher Konstruktion !

> deshalb von T.Mudge das "*Blaue*" und das "*Grüne*" Seechronometer, unterschieden nach den Gehäusefarben, bei Längenkommision eingereicht

Nach mehreren Prüfungen in Greenwich (1779 ... 1793) sind beide Uhren
> nach 3-monatiger Testfahrt 1796 auf der *Sans Pareil* verschollen

Angeboten von einem Schweden, der es angebl. in St.Petersburg erstanden tauchte das "Blaue" Chronometer 1922 in London wieder auf und wurde in
> 1925 für 4.000,- RM vom Math.-Physik. Salon zu Dresden angekauft

Dort gab es bereits seit 1803 (!) ein Nachbau (1796 durch T.Mudge jun.) von dem "väterlichen" *Timekeeper* : Ein Geschenk des sächsischen Gesandten in London und Freund von T.Mudge: >> Hans Moritz Graf von Brühl <<

Das "Grüne" Chronometer wurde 1976 bei Christies in Genf versteigert und befindet sich heute im Time Museum in Rockford, Illinois

Während Kendall und Mudge zu Lebzeiten je 3 Schiffsuhren bauten, stellte J. Arnold (.. methodisch und zielstrebig) hunderte Uhren hoher Qualität her

> Routinearbeit machten andere die Regulierung machte er !!!

Er präsentierte dem B.o.L. 3 Chronometer (mittlerweile etablierter Begriff) die Kapitän James Cook (... neben der K1) auf seine Weltreise 1772 - 1775 in

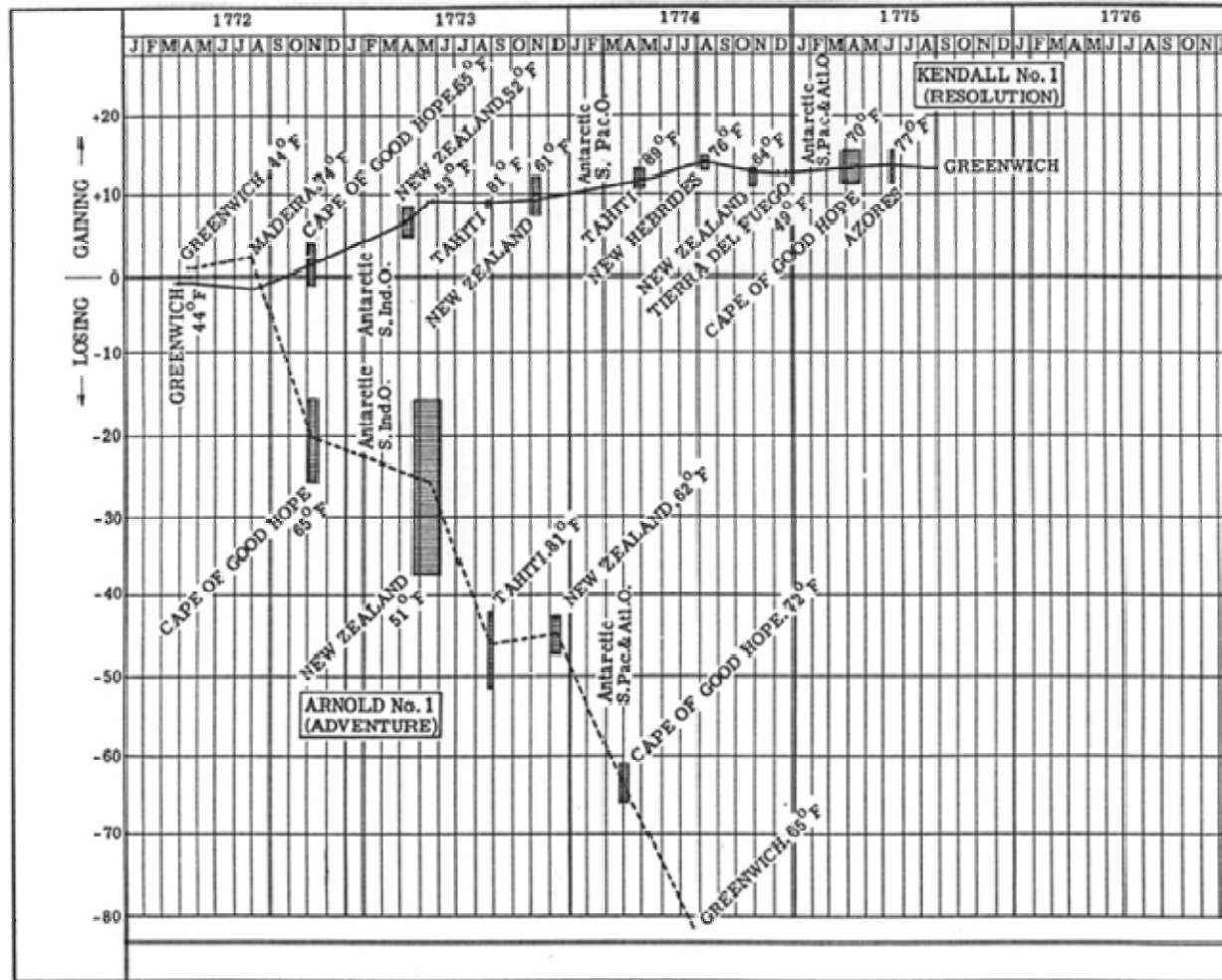
> Antarktis und Südpazifik mitnahm

Während die K1 exzellente Werte ablieferte fielen J. Arnolds Uhren den
>Widrigkeiten des Klimas< zum Opfer

Dies spornte den jungen Uhrmacher an *neue* Ideen zu entwickeln. Er erfand

- > 1775 die bimetallische Unruhe mit zylindrischer Spirale
- > 1781 eine optimierte Chronometerhemmung mit Feder

Arnold & Sohn eröffneten 1785 bei London die erste Uhrenfabrik in UK !!!



Thomas Earnshaw (... wenig Raffinesse und Geschäftssinn) entwickelte einen vereinfachten Werksaufbau und ebnete den Weg für eine Serienfertigung, der

> quasi bis heute die Standardkonstruktion von See-Chronometern darstellt

T. Earnshaw und J. Arnold waren persönlich >verfeindete< Konkurrenten und suchten sich mit Neuerungen / Verbesserungen zu übertreffen !!!

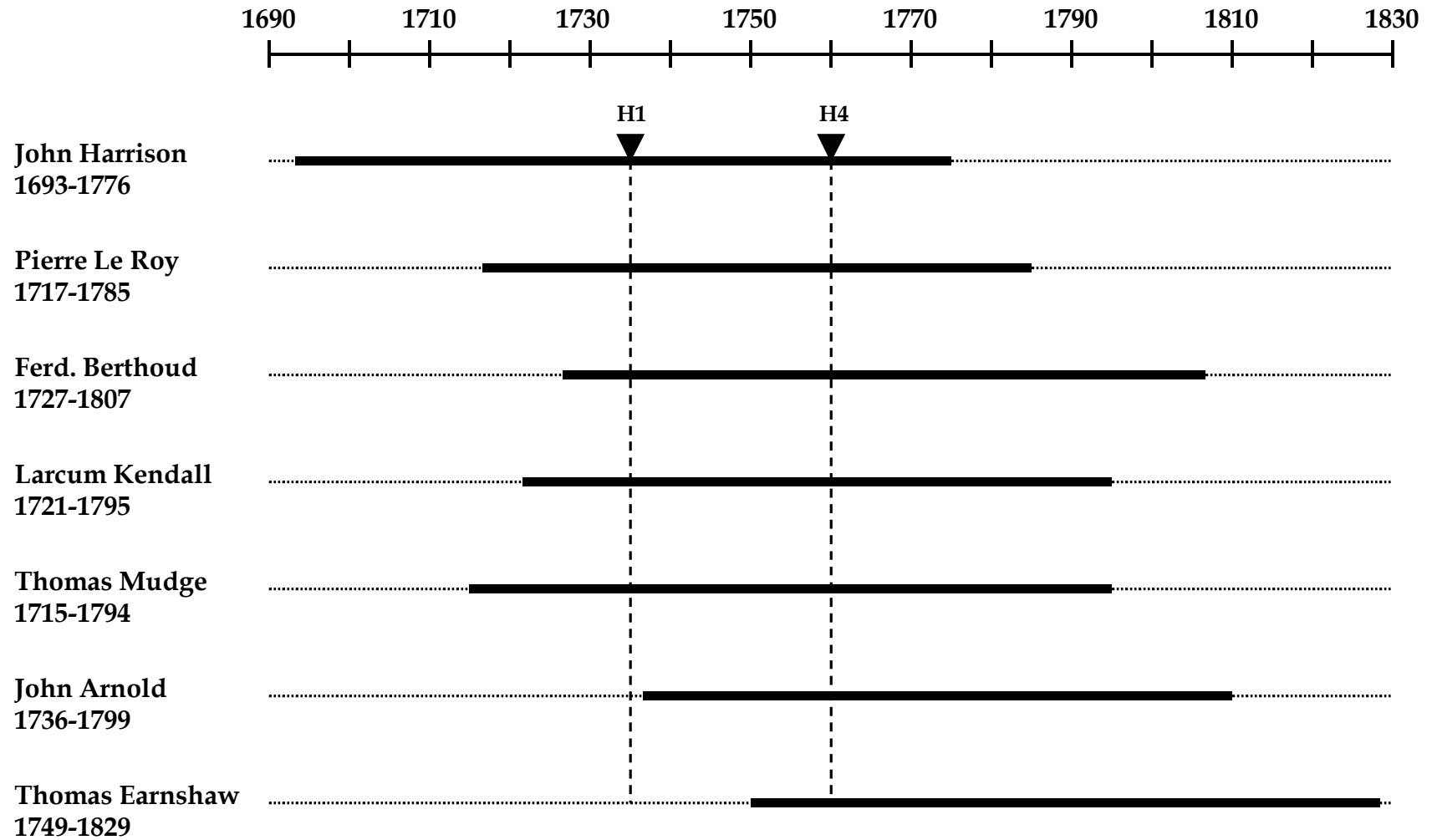
Hauptkonflikt: Wer war der Erfinder der Chronometerhemmung mit Feder ?

- > Earnshaw, der (scheinbar) die Idee hatte - oder
- > Arnold, der sie sich patentieren ließ

Noch heute streiten sich die Historiker > wer ... wann... wo ... von wem ...

In 1803 erklärte die Längenkommision: Earnshaws Chronometer die Besten !!!
Trotzdem 1805 auch Arnold (posthum) >>3.000 Pfund Prämie<< zugesprochen
Earnshaw befreundete sich mit N. Maskelyne ... und betreute die Sternwarte !!

>Die Entwicklung des See-Chronometers war im wesentlichen abgeschlossen<



Auf dem Höhepunkt des Arnold-Earnshaw-Streits um das Jahr 1780 kostete
> ein Arnold Chronometer 80 Pfund einer von Earnshaw 65 Pfund !!!

Immer mehr Flottenoffiziere erwarben Schiffsuhren und 1791 gab es von der East-India Company Logbücher mit Extraspalte : Länge mittels Chronometer

Um die Jh.-Wende hatte die brit. Marine bereits Chronometerdepot und 1815 gab es etwa 1.500 Zeitmesser, die bis zur Auflösung (1828) vom B.o.L. geprüft

> Reparatur, Regulierung und Überlandtransport übernahm das Hyd.Dept.

Die H.M.S. *Beagle* brach 1831 zur Vermessung der >geogr. Länge unbekannter Territorien< auf, an Bord hatte sie 22 Chronometer (... und Charles Darwin)

1860 hatte die Royal Navy etwa 200 Schiffe ... und 800 eigene Chronometer !!!
>>>Die Harrisonsche Methode hatte sich endgültig durchgesetzt<<<

Und Nevil Maskelyne, der 5. königl. Astronom, legte seinen Bezugsmeridian
> durch Greenwich, der 1884 als *internationaler Nullmeridian* anerkannt !

Es war also endgültig gelungen die Sicherheit und Aktionsfähigkeit von
> Marine und Handelsschiffahrt deutlich zu erhöhen !!!

England nutzte den Einsatz von Chronometern entschieden; dies half mit
die britische Vorherrschaft auf den Weltmeeren zu erringen und auch den
> Kolonialbesitz im vergangenen Jh. zu sichern und zu erweitern

Vor jedem Antritt einer Seereise mußte das Chronometer auf die genaue
Ausgangszeit -ermittelt auf astronomischer Basis- ausgerichtet werden:

> Dazu notwendig ganggenaue, tragbare Uhren kleinen Formats

die im *Observatorium* auf Regulatorzeit (Ortszeit) eingestellt wurden und
uns als >Beobachtungsuhr< oder Deck-Watches geläufig sind

> Ein Chronometer muß so gehen wie er aus der Werkstatt kommt !!!

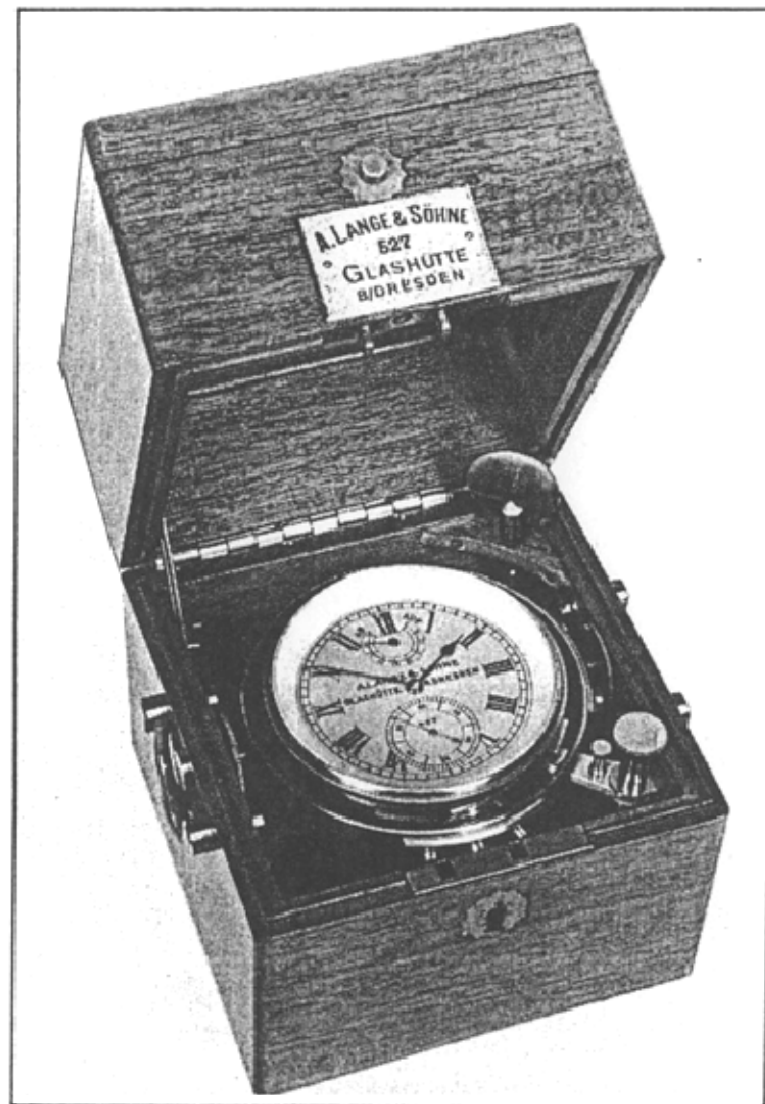
Ein Nachstellen / Nachregulieren ist nicht praktikabel, vielmehr muß die
Fehlweisung (Daily Rate) Tag für Tag berechnet und protokolliert werden

>>> Die Zeitbestimmung erfolgt rechnerisch-dokumentarisch<<<

- Abraham Louis Breguet* Paris Hemmung, Spirale, Tourbillon
- Edward John Dent* London magnetische Einflüsse (gläserne Unruhe)
- William Dutton* London Präzisions-Chronometer
- Johann Friedrich Gutkaes* Dresden Präzisions-Chronometer
- Urban Jürgensen* Kopenhagen Chronometerhemmung mit 2 Hemmungsrädern
- Johannes Heinrich Kessels* Altona 8-Tage Werk, Federstandanzeige (Auf-Ab)
- Theodor Knoblich* Hamburg Präzisions-Chronometer
- Viktor Kullberg* London Spezialkompensationsunruhe, Kronenaufzug
- Richard Lange* Glashütte Präzisions-Chronometer
- Friedrich Tiede* Berlin Präzisions-Chronometer

Anfang dieses Jh. waren alle wesentlichen techn. Probleme prinzipiell gelöst und man begann den Chronometerbau zu vereinheitlichen (.... Stückzahlen)

- > *Dent* London
- > *Arnold & Frodsham* London
- > *A. Lange & Söhne* Glashütte
- > *Wempe* Hamburg
- > *Tavannes Watch Co* La Chaux-de-Fonds
- > *Ditisheim* La Chaux-de-Fonds
- > *Mercer* St. Albans
- > *Ulysse Nardin* Le Locle
- > *Hamilton Watch Co* Lancaster PA



- 01 : Titel
- 02 : Zeiterfassung - Die 3 Himmelszyklen
- 03 : Zeitmessung - Die 2 verschiedenen Tage
- 04 : Der Sonnentag - Der Wahre
- 05 : Der Sonnentag - Der Mittlere
- 06 : Die Zeitgleichung
- 07 : Der Sterntag - Zeitmaß der Astronomen
- 08 : Die Sternzeit
- 09 : Die Umdrehungen der Erde
- 10 : Der Tag - Seine Unterteilung
- 11 : Der Monat - 2. natürliches Zeitmaß
- 12 : Das Jahr - 3. natürliches Zeitmaß
- 13 : Der Frühlingspunkt
- 14 : Tag und Nacht
- 15 : Kalendergrundlagen
- 16 : Mond- und Sonnenzyklus
- 17 : Der Julianische Kalender
- 18 : Der Gregorianische Kalender
- 19 : Astronomische Navigation - Die Utensilien
- 20 : Das Sonnensystem
- 21 : Der Sternenhimmel
- 22 : Der Polarstern
- 23 : Koordinatensystem der Erdkugel
- 24 : Der Breitengrad
- 25 : Der Sextant
- 26 : Der Längengrad
- 27 : Die Seemeile
- 28 : Astronomische Grundlagen
- 29 : Die Himmelskugel
- 30 : Koordinatensystem der Himmelskugel
- 31 : Koordinatensystem Himmelsäquator
- 32 : Der Zeitwinkel
- 33 : Die Weltzeit
- 34 : Am Dornbusch
- 35 : Der Bildpunkt
- 36 : Die Standlinie
- 37 : Nautisches Jahrbuch (N.J.)
- 38 : N.J. - Fixstern-tabelle
- 39 : N.J. - Ephemeriden (Tagebücher)
- 40 : Ortsbestimmung - Gaußsches Verfahren
- 41 : Sonne und Schiffsmittag
- 42 : Die antiken Seefahrer
- 43 : Die Eroberung der Welt
- 44 : Koppelnavigation
- 45 : Die Machtpolitik
- 46 : Die Katastrophen
- 47 : Die Preisgelder
- 48 : Die Mond-distanzen
- 49 : Die Zeitdifferenz
- 50 : Board of Longitude

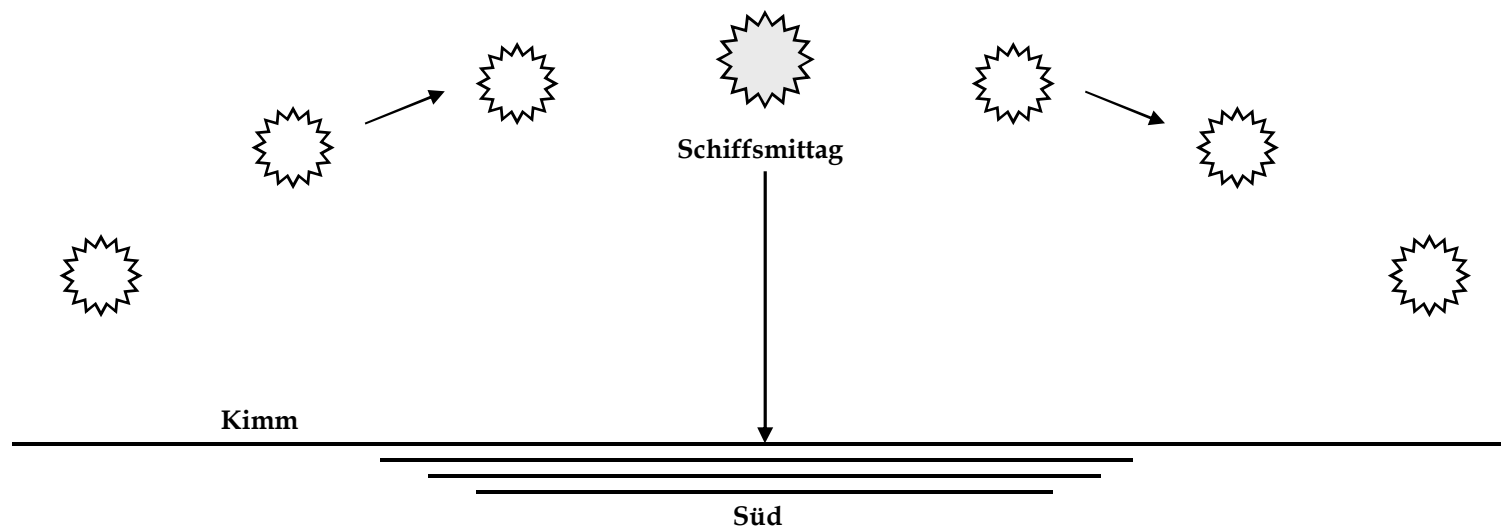
51 : Besetzung der Längenkommission	76 : Die Pioniere
52 : Der Chronometer - Begriff	77 : Der praktische Nutzen
53 : John Harrison	78 : Der praktische Einsatz
54 : Die Harrisons No.1	79 : Berühmte Chronometermacher
55 : Das Denkmal	80 : Berühmte Firmen
56 : Die Reise nach Lissabon	81 : Höhepunkt des Chronometerbaus
57 : Die H2	82 : Inhaltsverzeichnis I
58 : Die H3	83 : Inhaltsverzeichnis II
59 : Die Sackgasse	84 :
60 : Der Zufall	85 :
61 : Die H4	86 :
62 : Das Meisterstück	87 :
63 : Die Reise nach Jamaika	88 :
64 : David und Goliath	89 :
65 : Die Reise nach Barbados	90 :
66 : Die Nachbauten	91 :
67 : Der Meister - Anno 1765	92 :
68 : Der Durchbruch	93 :
69 : Pierre Le Roy	94 :
70 : Ferdinand Berthoud	95 :
71 : Thomas Mudge	96 :
72 : Das "Blaue Seechronometer"	97 :
73 : John Arnold	98 :
74 : Gangprotokoll von James Cook	99 :
75 : Thomas Earnshaw	



Älteste, einfachste und genaueste Methode zur Ermittlung einer Standlinie

Schiffsmittag ist, wenn die Sonne ihren höchsten Punkt auf ihrer Laufbahn erreicht hat:
>>> Sie steht dann genau im Süden <<<

Sonnenbildpunkt und Schiff befinden sich dann genau auf gleicher Länge !



Einzigster Sonderfall der astronomischen Navigation, bei dem die Kenntnis der genauen Zeit nicht notwendig ist. > Stellung der Sonne = Zeitsignal <