

Gerhard Standop

# Der *Longitude Act* 1714-2014



Die Suche nach der Bestimmung des Längengrades

With English abstract

# Inhalt

Vorwort .....	3
1 Die Ausgangslage .....	4
2 Die Navigation vor dem <i>Longitude Act</i> .....	6
2.1 Das geografische System .....	6
2.2 Welche Techniken der Navigation waren bis zum Beginn des 18. Jh gebräuchlich? .....	7
2.3 Frühe Versuche einer praktikablen Längengradbestimmung .....	10
2.3.1 Sonnen- und Mondfinsternisse .....	10
2.3.2 Jupitermonde als Himmelsuhr .....	11
2.3.3 Winkelabstand zwischen Mond und Sternen .....	13
3 Die Jagd nach dem Längengradpreis .....	15
3.1 Die konkurrierenden Methoden .....	15
3.2 Schall- und Rauch: Das <i>Ditton-Whiston</i> -Projekt .....	15
3.3 Magnetische Abweichungen .....	16
3.4 Dreimal täglich Finsternis .....	17
3.5 Die Monddistanzen .....	18
4 Harrisons Uhren .....	19
4.1 Pendeluhren und die H1 .....	19
4.2 Die Uhren H2 und H3 .....	20
4.3 Die H4 und ein erster Test .....	22
5 Die Konkurrenten schlafen nicht! .....	23
5.1 Tobias Mayer, der Tabellen-Mann .....	23
5.2 Beobachtungsstühle .....	24
5.3 Oktanten und Sextanten .....	25
6 Die Entscheidung .....	27
6.1 Drei Methoden unter Seebedingungen .....	27
6.2 Der <i>Longitude Act</i> von 1765 .....	27
6.3 Die Reproduktionen der Harrison-Uhr .....	28
6.4 James Cook auf Testfahrt .....	30
6.5 Die Uhrenmethode zur Längenbestimmung setzt sich durch .....	31
7 300 Jahre <i>Longitude Act</i> .....	34
English abstract .....	37
Literatur .....	39
Abbildungsverzeichnis .....	39

## Impressum

© Gerhard Standop  
eMail: [info@standop.net](mailto:info@standop.net)  
[www.standop.net/voiles](http://www.standop.net/voiles)



1. Auflage 2015  
ISBN 978-3-00-048315-8

Layout und Herstellung:  
**druckbar** Lüdecke e.K., Schwalmtal  
[www.druckbar-schwalmtal.de](http://www.druckbar-schwalmtal.de)

Bezugsquelle:  
[www.knoeterich-shop.de](http://www.knoeterich-shop.de)



### Abbildungen auf der Titelseite

Ramsden-Fernrohr und Ainsley-Sextant  
Kompass auf der Mariette of 1915  
Segelsetzen auf Mariquita, St. Tropez 2012



Abb. 1 Handhabung des Cross-Staff (Ausschnitt aus *Introductio Geographica*, Ingolstadt, 1533)

## Vorwort

2014 jährte sich zum 300. Mal der Erlass des *Longitude Act*, mit dem das britische Parlament 1714 einen finanziellen Anreiz für eine geeignete Methode auslobte, den Längengrad auf See zuverlässig bestimmen zu können. Aus diesem Anlass kam auch das englische Buch *Finding Longitude* heraus, das sich sehr ausführlich mit der Geschichte der Längengradbestimmung beschäftigt und mich auf die Idee brachte, das Thema einmal in einer kleinen Broschüre zusammenzufassen. Inhaltlich ist diese Broschüre daher an *Finding Longitude* angelehnt, aber auch angereichert durch Rechercheergebnisse aus anderen Quellen.

Wenn wir heute wie selbstverständlich von unseren GPS-Geräten den Standort an jeder Stelle der Welt in Sekundenschnelle und im Zentimeterbereich ablesen, soll nicht vergessen werden, wie die Suche nach der Längengradbestimmung manch ein-

fallsreichen, aber auch zuweilen sinnlosen und skurrilen Lösungsansatz hervorgebracht – und wie die Lösung selbst schließlich die Welt wie nur wenige andere Erfindungen nachhaltig verändert hat.

Ich danke dem *National Maritime Museum* in Greenwich für die Abdruckerlaubnis vieler Bilder aus dem Museum und auch den anderen Fotografen und Institutionen, die weiteres Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben. Weiterer Dank gebührt Hauke Heffels, Dr. Andreas Schrimpf und Ralf Wacker für wertvolle Hinweise zum Thema Uhrentechnik und Astronomie, Janine Müller für die Gestaltung von Grafiken, Dr. Thomas Minnes für die Übersetzung der Kurzfassung ins Englische sowie meinem Vater für die unermüdliche Durchsicht des Manuskripts.

Köln, im Januar 2015

GSt

# 1 Die Ausgangslage

Einen Tag im Herbst stellt man sich in britischen Gewässern unschwer mit Nebelschwaden, Nieselregen, ungemütlichem Wind, schlechter Sicht und schwierigen Gezeitenverhältnissen vor. An einem solchen Tag im Oktober 1707 kam Admiral Sir Cloudesley Shovell mit seiner Flotte von 21 Kriegsschiffen von Toulon am Mittelmeer, wo er an der Belagerung der Stadt – am Ende wegen Abbruchs der Aktion erfolglos – teilgenommen hatte, ins Königreich zurück. Der letzte exakt bekannte Standort war Gibraltar gewesen, die restliche Navigation auf einigermaßen vertrautem Kurs, jedoch bei schlechter Sicht und stürmischer See, wurde durch Mitkoppeln des Standortes, die Peilung bekannter Landmarken und das Nehmen der Mittagsbreite vorgenommen. Die Fahrt endete im Desaster: Statt in vermutet sicherem Gewässer auf etwa  $7^{\circ}\text{W}$  vor der Bretagne in der Nähe der Ile d'Ouessant zu sein und gefahrlos weiter nordöstlich laufen zu können, fuhr die komplette Flotte wenig später unter vollen Segeln auf dem gleichen Längengrad, aber rund  $1^{\circ}20'$  weiter nördlich, auf die Felsen vor den Isles of Scilly. Vier Schiffe versanken und rissen 1.500 Seeleute mitsamt ihrem Anführer in den Tod.

Wie konnte so etwas passieren? Das Wetter oder schwierige Gezeiten- und Strömungsverhältnisse allein schuldig zu sprechen wäre zu einfach gewesen. Informationen über die Küstenlinien und die navigatorischen Besonderheiten gab es ebenso wie die genauen Koordinaten des letzten Ausgangshafens Gibraltar. Bei der Messung der täglichen Mittagsbreiten wies das Logbuch bei späteren Untersuchungen aber schon Abweichungen von bis zu 25 Seemeilen auf. An vielen Tagen waren Sonne oder Sterne wegen schlechten Wetters gar nicht zu sehen. Daher wurde dann das sog. ‚dead reckoning‘, die Koppelnavigation, benutzt, um aus Kurs

und Geschwindigkeit den mutmaßlichen aktuellen Standort zu berechnen. Nachweislich des Logbuches gab es hier Abweichungen von bis zu 75 Seemeilen. Fehlerhafte Karten und Navigationstabellen und die Tatsache, dass die Bestimmung des Längengrades auf schwankenden Schiffen so gut wie unmöglich war, mögen mit ursächlich gewesen sein.

Der Standort eines Schiffes wird, wenn man außerhalb der Sichtweite von Landmarken und deren Peilungsmöglichkeiten ist, durch den Schnittpunkt der geografischen Breite und Länge, auf dem man sich befindet, bestimmt. Der Breitengrad konnte lange schon durch Messungen der Winkel zwischen Sonne und Horizont genau zur Mittagszeit (die sog. Mittagsbreite) oder bei Dunkelheit zwischen Nordstern und Horizont (die sog. Nordsternbreite) und mit ein paar einfachen Berechnungen relativ schnell und zuverlässig ermittelt werden.

Die Längenbestimmung auf hoher See war zu jener Zeit aber ein Problem, das seit langem bekannt, aber ungelöst war. Wie wollte man herausfinden, wie weit man östlich oder westlich eines bekannten Referenzpunktes oder des Ausgangshafens war? Man konnte zwar die Ortszeit bestimmen, doch die gab es ja an jedem Punkt der Erde einmal am Tag. Nur, wie viel Uhr war es dann am Referenzort?

Man wusste also, des Rätsels Lösung führte nur über die Kenntnis der Uhrzeit an einem Bezugsort mit bekannter geografischer Länge. Wenn man diese hätte, würde der Vergleich mit der Ortszeit an der Schiffspolition sehr leicht in den entsprechenden Längengrad umzurechnen sein. Ein Beispiel: Am Schiffsort ist es 12 Uhr mittags, an einem Referenzort mit bekannter Länge ist es 10 Uhr vormittags.

Das heißt, dass man sich zwei Stunden östlich des Referenz-Längengrades befindet, weil es dort noch vor Ortsmittag ist; wenn die Erde sich in einer Stunde um 15 Längengrade weiterdreht, muss man also zweimal  $15^\circ$  weiter östlich des Referenzortes sein. Allein, es gab damals keine seefähigen Zeitnehmer, die über viele Wochen einsamer Seegelfahrten über die Weltmeere hin ausreichend genau gewesen wären, um die Uhrzeit des Referenzortes so lange 'im Gedächtnis' zu haben.

Welche Möglichkeiten konnten also geeignet sein, die Zeit für einen Bezugsort, dessen Längengrad definiert war, zu ermitteln, wenn man an einer ganz anderen Stelle war? Das war die zentrale Frage.

Es gab etliche Ideen, aber der Durchbruch für die Praxis auf hoher See war bisher nicht gelungen. Überall wurde fortan die Suche nach der Technik der Längengradbestimmung forciert, zuerst in Spanien, Portugal und Holland, später folgten Frankreich und England. In Paris wurde 1667 die *Académie des Sciences* und in Greenwich 1675 die *Royal Society of London* mit astronomischen Observatorien gegründet. Auch in Berlin und anderen Städten gab es bald Sternwarten, und es wurde mit Nachdruck an der Längengradbestimmung geforscht. Spanien und Holland lobten Preise für die Längengradbestimmung aus. Neu gegründete Mathematikschulen in England, die jährlich bis zu 40 junge Leute für die Navy zu Navigatoren ausbildeten, wurden durch Persönlichkeiten wie Isaak Newton (1642-1727) oder die Astronomen John Flamsteed (1646-1790) und Edmond Halley (1656-1742) unterstützt.

Schließlich erließ das britische Parlament, immer noch erschüttert durch das Geschehen vor den Scillies, im Jahr 1714 den *Longitude Act*, ein Ge-

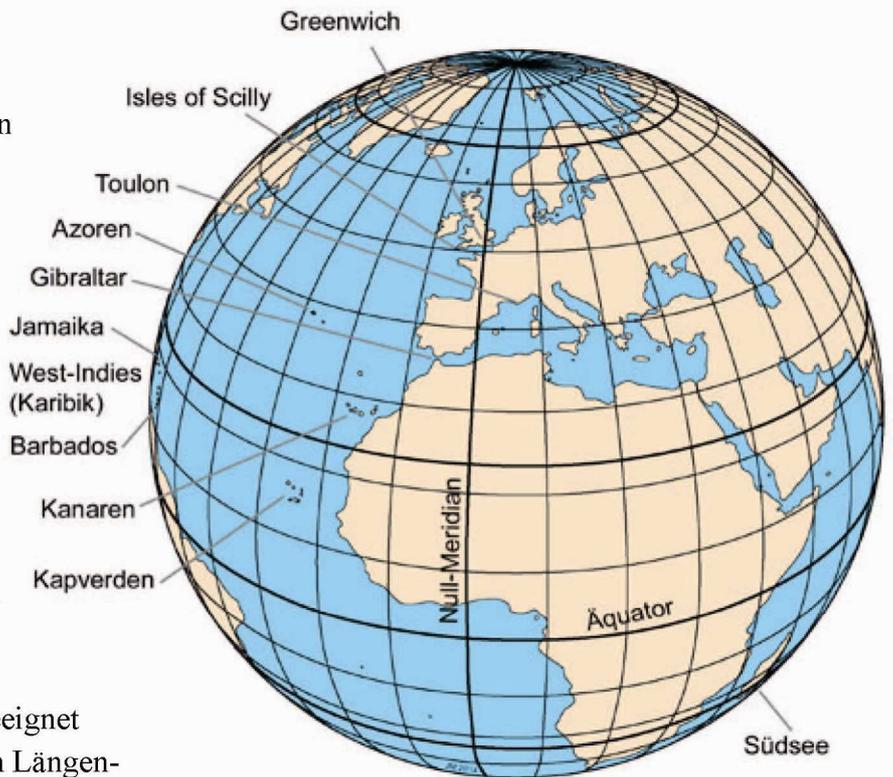


Abb. 2 Schema der Erde mit Längen- und Breitengraden, Äquator und Null-Meridians

setz, dass mit hohem finanziellen Anreiz die Suche nach einer geeigneten Methode der Längengradbestimmung auf See voranbringen sollte.

Ein Preisgeld von 10.000 Pfund sollte derjenige erhalten, dessen Erfindung auf einer Testfahrt von England zu den Westindischen Inseln (heute die Karibik) die Längengradbestimmung um nicht mehr als ein Grad oder 60 Meilen, gemessen am Großkreis, überschritt. 15.000 Pfund waren fällig bei einer Abweichung von maximal einem dreiviertel Grad, und das volle Preisgeld von 20.000 Pfund gab es bei einer maximalen Abweichung von einem halben Längengrad oder 30 Meilen. 20.000 Pfund waren damals ein Vermögen, und heute entspräche das einer Kaufkraft von etwa zwei bis drei Millionen Euro.

Wenn man für die Testfahrt etwa 40 Seetage veranschlagte und ein halbes Längengrad am Großkreis zwei Zeitminuten sind, so durfte man sich pro Tag gerade mal um drei Sekunden verrechnen, ein fast aussichtsloses Unterfangen, wie es schien.

## 2 Die Navigation vor dem *Longitude Act*

### 2.1 Das geografische System

Schon im Altertum gab es Darstellungen der damals bekannten Welt mit Linien, die Längen und Breiten darstellten, und etwa 150 nach Christus ergänzte der Astronom Ptolemäus sein Kartenwerk mit einem Katalog damals bekannter Orte mit den Koordinaten in Länge und Breite, zumindest so genau, wie das damals möglich war. Der Äquator und die südlichen und nördlichen Wendekreise wurden als wichtige, von der Sonne bestimmte Breitengrade definiert, und man zählte vom Äquator mit Null beginnend nach Norden und nach Süden jeweils 90 Grad. Die Längen-

grade, die *Meridiane* (von lat. *meridies*, Mittag), sind Linien zwischen Nord- und Südpol, auf denen die Sonne zu gleicher Zeit ihre Kulmination, den mittäglichen Höchststand, erreicht (Abb. 2). In Deutschland gibt es nur einen einzigen Schnittpunkt zwischen einem Haupt-Breiten- und Längengrad, nämlich in der Nähe von Arnstein im Main-Spessart-Kreis bei 50° Nord und 10° Ost. Dort hat man 1990 ein kleines Denkmal errichtet (Abb. 3).



Abb. 3 Schnittpunkt-Denkmal

Während die parallelen Breitengrade vom Äquator aus nach Norden und Süden als sog. Kleinkreise jeweils kürzer werden, sind die Längengrade Großkreise (der Äquator ist ebenfalls ein Großkreis) mit immer gleicher Länge, nämlich der Verbindungslinie zwischen den Polen über der Erdkrümmung. Bereits seit der Antike sind ein Kreis mit 360 Grad und der Tag mit 24 Stunden definiert. Einige geografische Zahlenbeziehungen sind in Abb. 4 dargestellt.

Ende des 15. Jh teilten Spanien und Portugal die Welt kurzerhand mit Hilfe von Großkreisen

in zwei Teile auf: Knapp westlich der Azoren und Kapverdischen Inseln setzten sie eine gedachte Linie von Pol zu Pol fest, westlich davon sollten alle Entdeckungen Spanien zugeschlagen werden, östlich Portugal. Als man später immer weiter Richtung Osten segelte und der Gewürzhandel mit den Molukken begann, bestimmte man in der östlichen Hemisphäre eine ähnliche Linie. In Ermangelung genauer Karten und unzulänglicher Technik der Ortsbestimmungen waren diese Vereinbarungen aber nicht von langer Dauer.

## 2.2 Welche Techniken der Navigation waren bis zum Beginn des 18. Jh gebräuchlich?

Seefahrt hat eine lange Tradition. Im Laufe der Jahrhunderte bewegte man sich immer weiter von angestammten Kursen entlang der Küsten in die freie See und zu neuen Kontinenten. Spätestens ab dem 17. Jh, der Zeit der Entdeckungen und des wachsenden Interesses an den Naturwissenschaften, wuchs die internationale Seefahrt spürbar und mit ihr die Notwendigkeit, dass man auch auf langen Strecken ohne Landsicht die Position des Schiffes und den Kurs in Richtung des gewünschten Ziels mit ausreichender Präzision bestimmen konnte. Neben natürlichen Hindernissen wie Untiefen, Felsen, Klippen usw. lauerten auch andere Gefahren wie zB feindliche Angriffe, Kaperungen oder Raub, denn mit wachsendem Handel hatte man es zunehmend auch auf das Transportgut abgesehen. Auch schlechte oder zu wenig Nahrung, Skorbut und sonstige Krankheiten sowie insgesamt zu lange Seereisen machten den Mannschaften zu schaffen und erforderten eine effizientere Navigation, damit die Fahrten kürzer und sicherer wurden.

Man begann zunächst, die Natur zu beobachten und Informationen über ortstypische Wetterverhältnis-

se, Strömungen, Gezeiten oder bewährte Segelkurse zu sammeln. Fische und andere Meerestiere, Pflanzen, Seevögel, Küstenlinien, Meeresböden und sogar Geschmack und Farbe des Wassers wurden beschrieben und in Büchern, die zum Teil in größeren Auflagen erschienen, notiert. In flachen Gewässern wurden mithilfe von Bleigewichten, die unten eine Öffnung hatten und an langen Leinen abgelassen wurden, Proben vom Meeresgrund genommen. Die Beschaffenheit von Sand und Steinen verglich man mit Aufzeichnungen früherer Fahrten und zog entsprechende Rückschlüsse auf den Schiffsstandort. Die Nationen hielten zwar die mühsam im Laufe vieler Jahre gesammelten Informationen streng geheim, dennoch fielen sie manchmal dem Gegner, oft genug zusammen mit wertvollen Seekarten und nautischen Geräten, in die Hände.

Der Breitengrad war mit Hilfe von astronomischen Beobachtungen, Tabellen und einfachen technischen Geräten zu ermitteln. Der Cross-Staff zB (Abb. 1) war ein einfaches Winkelmess-Instrument, ein Holz- oder Elfenbeinstab mit Skala und einem auf diesem hin- und herschiebbaren

### Geografische Relationen

- Erdumfang 360 Grad/24 Std. → 1 Std. = 15°, die Erde bewegt sich also pro Stunde über 15 Längengrade hinweg oder am Großkreis um 900 Seemeilen (sm).
- 1 Grad = 60 Bogenminuten = 4 Zeitminuten = 60 sm am Großkreis
- 1 Bogenminute = 1 Seemeile (sm) = 1,852 km am Großkreis
- 40000 km Großkreis-Länge / 360 Grad / 60 Minuten = 1 Bogenminute = 1 sm = 1,852 km
- 1 Minute Fehlmessung am Großkreis →  $360/24/60 = 0,25$  Grad oder 15 Bogenminuten oder 15 sm Fehler
- 10 Sekunden Fehlmessung am Großkreis →  $360/24/60/60 \cdot 10 = 0,042$  Grad oder 2,5 Bogenminuten oder 2,5 sm Fehler
- 1 Grad Fehlmessung bei der Längenbestimmung → am Großkreis 60 sm oder vier Zeitminuten Fehler
- Ein halbes Grad Fehlmessung bei der Längenbestimmung, die Maximalforderung des *Longitude Act*, am Großkreis = 30 sm oder zwei Zeitminuten Fehler

Abb. 4 Geografische Relationen



Abb. 5 Segeln vor Saint-Tropez: Die Sonne als Bezugspunkt zur Bestimmung der Breite und der Ortszeit



Abb. 6 Der Nordstern in einer Strichspuraufnahme. Gut ist die Wanderung des Nordsterns dicht um den geografischen Nordpol zu sehen, auf den die Kamera exakt ausgerichtet ist

Querstab. Der Backstaff (Abb. 9) war eine Weiterentwicklung und hatte drei Peilscheiben und zwei Bögen mit Gradeinteilung. Man stand hier mit dem Rücken zum Objekt (Back), die Technik war deutlich präziser als beim simplen Cross-Staff – und auch augenschonender, denn man blickte nur noch auf den Sonnenschatten, nicht in die Sonne direkt hinein<sup>1</sup> (Abb. 5).

Mit beiden Geräten konnte man Winkel zwischen (Himmels-)Körpern untereinander oder zum Horizont bestimmen. Nach der Peilung war der Winkel leicht abzulesen, und Tafeln mit Werten, an welchen Tagen zum Beispiel die Sonne mittags am Äquator, der Bezugslinie, wie hoch stehen musste, halfen bei der Berechnung des Ergebnisses.

Bei Dunkelheit war der Nordstern die Referenz, mit dessen Hilfe der Breitengrad zu ermitteln war (Abb. 10). Dass er nicht ganz im Norden stand, sondern knapp um den Himmelspol wanderte (Abb. 6), war lange bekannt, und es gab schon entsprechende Korrekturtabellen.



Abb. 9 Backstaff

Über den mittäglichen Höchststand der Sonne konnte man sowohl den Breitengrad bestimmen als auch die genaue Ortszeit (Abb. 10, 11). Mit Hilfe von Sanduhren, den sog. Stundengläsern, und zwei Messungen vor und nach dem mittäglichen Sonnenhöchststand war die Ortszeit recht schnell bestimmt. Mit dieser Methode konnte man auch Pendeluhrn, die bei längerem Verweilen an Land aufgestellt wurden, justieren. Der niederländische Astronom und Physiker Christiaan Huygens (1629-1695) hatte solche sehr exakte Uhren, sog. Regulatoren, erfunden, die in den Sternwarten als Referenzinstrumente für die genaue Uhrzeit dienten.

Wenn Expeditionen unterwegs waren, stellte man an Land zur astronomischen Beobachtung Zelte auf, in denen Fernrohr, Winkelmesser und ein Regulator aufgestellt wurden. Ganz ähnliche Präzisionspendeluhrn werden auch heute noch gebaut.

Eine praktische Lösung der Navigation über längere Strecken war die sog. Breitengrad-Navigation. Man fuhr entlang der Küste bis zu demjenigen Breitengrad, der in West-Ost-Richtung zum Ziel



Abb. 7 Kompass auf der Moonbeam of Fife



Abb. 8 Logge mit Rad, Verbindungsseil und dreistelliger Anzeige, ca. 1830

führte und den man problemlos ermittelte, bog dort ab und schipperte entlang diesem Breitengrad, den man über die Mittags- oder Nordsternbreite täglich kontrollierte. Nur: potenzielle Feinde oder Gegner kannten diesen Trick auch und warteten geduldig auf dem Breitengrad des Ankunftsortes, um die Ankommenden dort aufzubringen. Wenn man zum Beispiel ums Kap der Guten Hoffnung nach Indien fahren wollte, fuhr man zunächst am afrikanischen Kontinent nordwärts bis zum 10. Breitengrad, um den gefährlichen 8. oder 9. rund um die Malediven zu vermeiden. Doch die Piraten warteten dann eben auf dem 10. Breitengrad.

Die sichere Ermittlung des Längengrades und damit einer zweiten brauchbaren Standlinie neben dem Breitengrad blieb aber das größte Problem. Lösungen dafür waren nicht in Sicht oder nur extrem aufwändig und unter Inkaufnahme vieler Fehlerquellen zu bewerkstelligen. Man versuchte eine Ermittlung durch die Koppelnavigation, das ‚dead reckoning‘. Mit Loggen und Kompass (Abb. 7, 8) ermittelte man Geschwindigkeit und Richtung und trug den entsprechenden Kurs und die Standorte in eine Karte ein. Da gab es natürlich etliche Ungenauigkeiten, die umso gravierender wurden, je länger die Reise dauerte.

### Nordsternbreite

- Winkelhöhe des Nordsterns über dem Horizont in Grad messen, zB mit dem Sextanten
- Korrekturfaktoren anbringen
- Ergebnis = geografische Breite in Grad

### Mittagsbreite

- Winkelhöhe Sonne über Horizont in Grad messen, zB mit dem Sextanten
- Zenitdistanz =  $90^\circ$  minus gemessene Höhe in Grad
- Korrekturfaktoren anbringen
- Korrigierte Zenitdistanz plus oder minus Deklination (Winkelhöhe der Sonne über dem Horizont, Vorzeichen je nach Sonnenstand nördlich oder südlich des Äquators) = geografische Breite in Grad

### Ermittlung der wahren Ortszeit (Mittagslänge/ Meridian mit zwei gleichen Höhen)

- Etwa zwei bis vier Stunden vor dem vorausgeschätzten Zeitpunkt der mittäglichen Sonnenkulmination die Winkelhöhe der Sonne mit dem Winkelmessinstrument nehmen und Stoppuhr starten, zum Beispiel ein Stundenglas.
- Kulmination und die wieder sinkende Sonne beobachten und Stoppuhr/Stundenglas anhalten, sobald die Sonne nach der Kulmination wieder die gleiche Höhe wie zu Beginn der Beobachtung bzw. vor der Kulmination hat. Ablesen der gestoppten Zeit. Gleichzeitig Start eines zweiten Stundenglases.
- Gestoppte Zeit geteilt durch zwei ergibt den Zeitpunkt des wahren Mittags bzw. der Kulmination der Sonne.
- Die Uhrzeit kann man nun mithilfe eines weiteren Stundenglases, abzüglich der halben gestoppten Zeit, bis zur nächsten Mittagsbestimmung ablesen.

Abb. 10 Nordstern- und Mittagsbreite

Abb. 11 Ermittlung der wahren Ortszeit

## 2.3 Frühe Versuche einer praktikablen Längengradbestimmung

Für die Ermittlung des Längengrades waren die notwendigen Parameter seit Langem bekannt. Man benötigte die Ortszeit (durch Sonnenbeobachtung zumindest einmal am Tag kein Problem, und bis zum nächsten Tag war das Stundenglas, die Sanduhr, hinreichend genau) und entweder die Zeit an

einem Referenzort oder ein astronomisches Ereignis an jenem Referenzort, dessen zeitlicher Eintritt bekannt war. Daraus konnte man den Längengrad berechnen.

Die Methode mit einer Uhr wäre sicher die einfachste gewesen – wenn man nur einen geeigneten Zeitmesser gehabt hätte. Waren solche mit den zur Verfügung stehenden Regulatoren an Land praktikabel, so waren die damaligen Uhren auf schwankenden Schiffen zum Versagen verurteilt, weil Hitze, Kälte, Feuchtigkeit, Seegang und etliche andere Einflüsse für erhebliche Ungenauigkeiten sorgten.

### 2.3.1 Sonnen- und Mondfinsternisse

Man bemühte sich also zunächst um eine andere Lösungsmöglichkeit: die Nutzung von Mond- und Sonnenfinsternissen (Abb. 12).

Durch Plinius und Ptolemäus war diese Methode schon im 1. und 2. Jh angewendet worden, und im 16. Jh war sie zur Längenbestimmung an Land allgemein gebräuchlich. So konnte man zum Beispiel die Ortszeit des Eintritts der totalen Phase einer Finsternis nach Anbringung einiger Korrekturfaktoren mit der für einen definierten Längengrad vorhergesagten Zeit vergleichen. Aus der Zeitdifferenz wurde die Längendifferenz und somit der Längengrad am Schiffsort errechnet (Abb. 13).

Das Verfahren stellte sich jedoch schnell als unbrauchbar heraus. Abgesehen von den sehr komplizierten Berechnungen und ungenauen Messmethoden waren die Finsternisse zu selten, zu unregelmäßig oder einfach nur durch eine Wolckendecke nicht sichtbar, als dass sie für die tägliche Navigation überhaupt taugten.

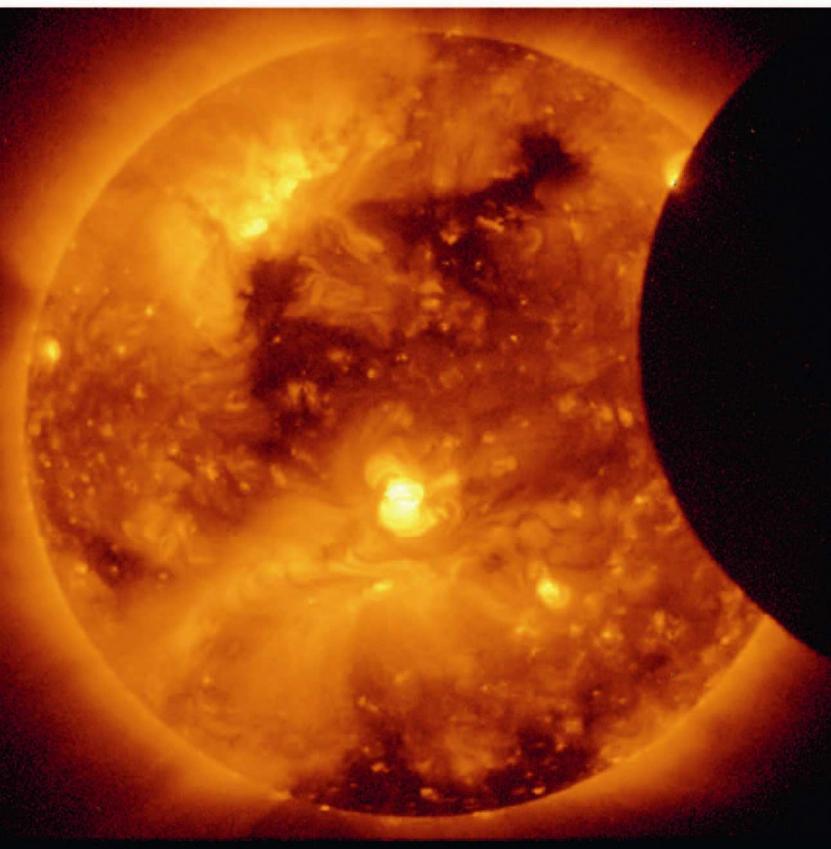


Abb. 12 Partielle Sonnenfinsternis am 6.1.2011

#### Längenbestimmung mit Finsternissen

- Beobachtung von Mond- oder Sonnenfinsternissen an einem Referenzort, zum Beispiel in Greenwich
- Vorausberechnung der Eintrittszeit, der totalen Phase o.ä. der Finsternis am Referenzort
- Beobachtung des Ereignisses am Schiffsort
- Ermittlung der Ortszeit am Schiffsort für den Zeitpunkt des Ereignisses
- Berücksichtigung von Korrekturfaktoren
- Vergleich der Referenzzeit mit der Ortszeit
- Umrechnung der Differenz der Zeit in Längengrade

Abb. 13 Systematik der Längenbestimmung mit Finsternissen

Zum ausgehenden 17. Jh gelang es immerhin, während einer Schiffsexpedition im Süden Argentiniens das Cap Blanco durch eine Mondfinsternis-Beobachtung auf  $69^{\circ}16'W$  zu bestimmen, der tatsächliche Längengrad ist  $69^{\circ}45'W$ . Also war zumindest der Beweis erbracht, dass man solche Messungen mit – für jene Zeit – einigermaßen hinlänglicher Genauigkeit und auch unter Berücksichtigung aller Unbilden auf See durchführen konnte.

### 2.3.2 Jupitermonde als Himmelsuhr

1610 machte Galileo Galilei (1564-1642) eine sensationelle Entdeckung: Er beobachtete mithilfe eines neuen Instruments, dem Teleskop, das zwei Jahre zuvor der Holländer Hans Lipperhey erfunden und Galilei weiterentwickelt hatte, dass Monde den Planeten Jupiter umkreisten. Vier konnte er durch sein Fernrohr sehen, und er nannte sie nach Figuren der griechischen Mythologie *Io*, *Europa*, *Ganymed* und *Kallisto* (Abb. 14, 17)<sup>2</sup>. Seine Beobachtung beendete gleichzeitig das seinerzeit vielfach noch gültige Weltbild der Erde als Zentrum des Weltalls, um die sich alles drehen sollte. Nikolaus Kopernikus hatte das schon hundert Jahre zuvor als falsch beschrieben<sup>3</sup>.

Die Beobachtungen, die Galilei machte, waren auch im wahrsten Wortsinne bahnbrechend, wenn man sich die Dimensionen des Sonnensystems und unserer Planeten vor Augen führt. Von der Sonne bis zum kleinsten Planeten Pluto<sup>4</sup> sind es



Abb. 14 Jupiter und sein nächster Mond Io, Durchmesser ca. 3.600 km. Deutlich ist der Schatten los auf der Jupiteratmosphäre zu sehen. Aufnahme des Hubble-Teleskops, 1999

rund 5,9 Mrd. Kilometer, von der Erde dorthin rund 4,5 Mrd. Kilometer. Das Licht oder ein Funk-signal vom Pluto zur Erde ist über vier Stunden unterwegs (Abb. 15)<sup>5</sup>. Die Planeten sind von unterschiedlicher Größe, wobei Jupiter einen etwa zwölfmal so großen Durchmesser wie die Erde hat. Jupiters größter Mond Ganymed ist etwa ein-einhalb Mal so groß wie der Erdenmond (Abb. 16).

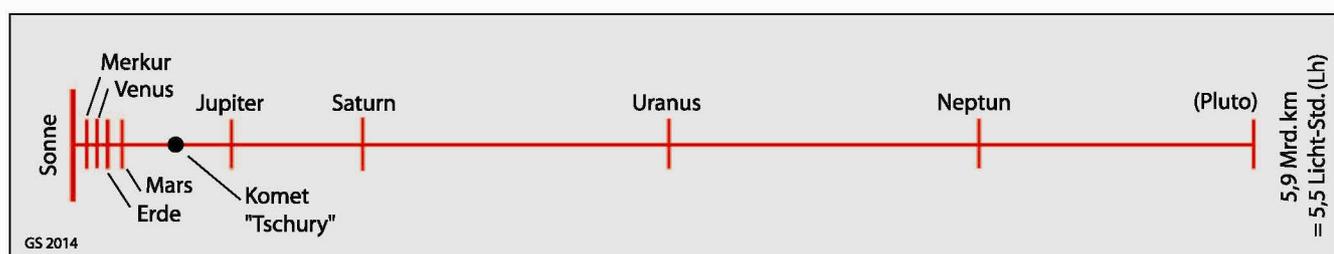


Abb. 15 Das Sonnensystem im Maßstab

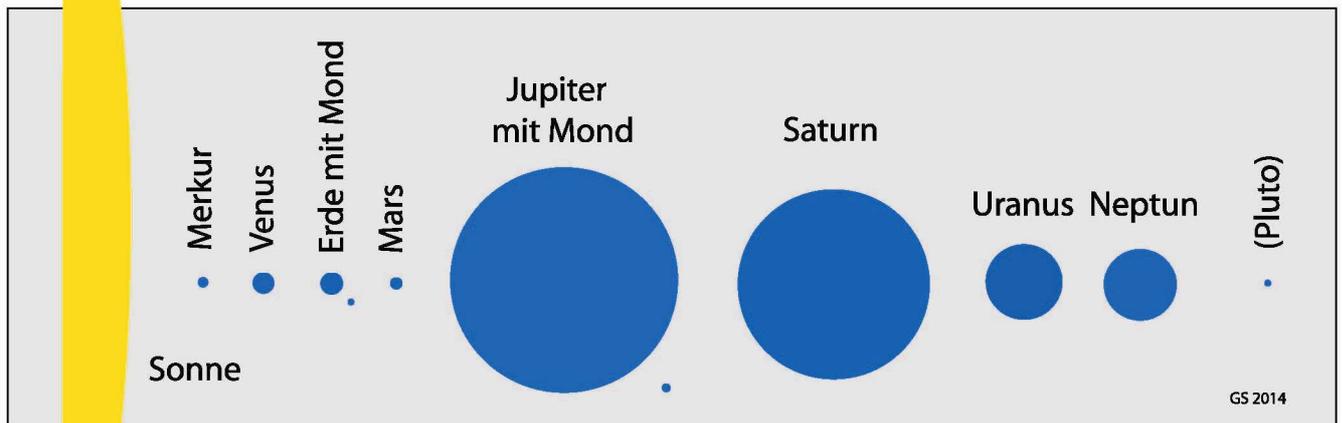


Abb. 16 Die Planeten unseres Sonnensystems im Größenvergleich

Die kaum fassbaren Dimensionen unseres Sonnensystems seien an einem Beispiel erläutert: Wenn wir uns den Jupiter mit 142.000 km Durchmesser (der Erddurchmesser beträgt 12.700 km) als einen Fußball mit gut 20 cm Durchmesser vorstellten, läge er – im gleichen Maßstab – 9,26 km vom Betrachter entfernt. Die Galileischen Monde haben im Schnitt einen Durchmesser von etwa 4.000 km, das entspräche dem Kopf einer etwas größeren Stecknadel mit 5,6 mm Durchmesser, die wir auf 9,26 km erkennen und beobachten können müssten. Ein Verkehrsflugzeug fliegt in einer Höhe von rund zehn Kilometern, und wir sehen es als kleinen

Punkt. Dort läge auf dem Boden ein Fußball und neben ihm eine Stecknadel. Mit seinem Fernrohr würde Galilei den Stecknadelkopf gesehen haben, wie er über den Boden rollt und hinter dem Ball verschwindet!

An dieser Stelle sei auch auf die Dimensionen des Weltalls über unser Sonnensystem hinaus hingewiesen, die noch weniger greifbar sind und die nicht mehr in Kilometern, sondern in Zeiten ausgedrückt werden, die das Licht von diesen Himmelskörpern zu uns benötigt (Abb. 19). Die Lichtgeschwindigkeit beträgt rund 300.000 km pro Sekunde.

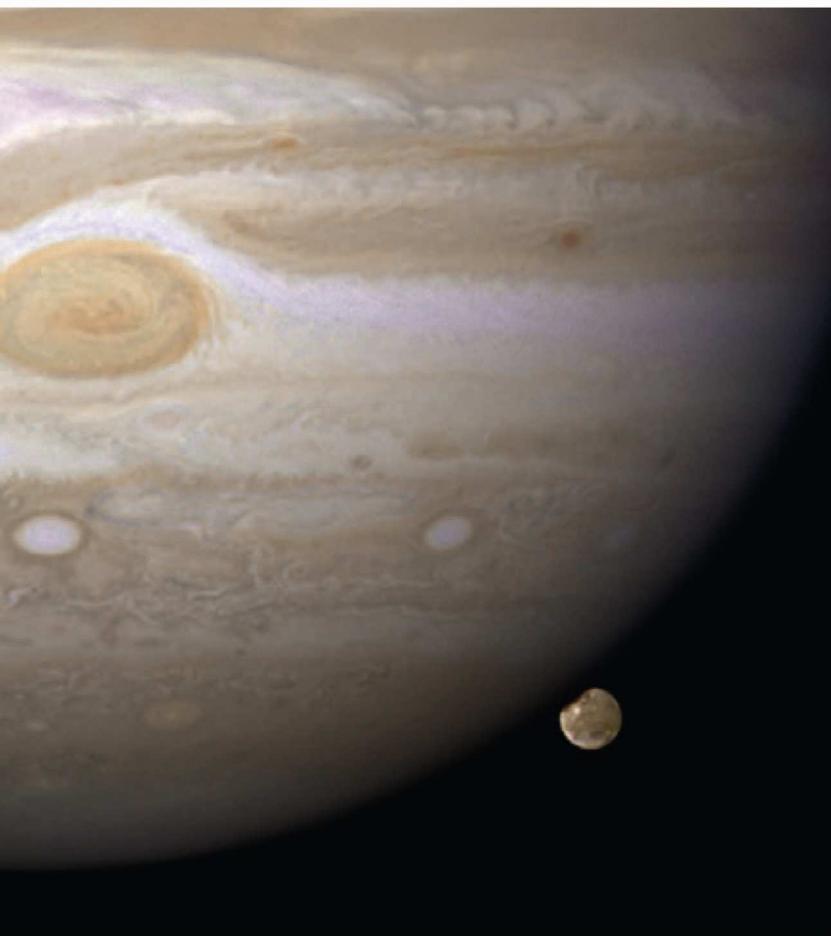


Abb. 17 Jupiter und Mond Ganymed

Galilei fand heraus, dass die vier Monde insgesamt bis zu tausendmal pro Jahr hinter den Jupiter treten und sich verfinstern oder aus seinem Schatten wieder hervortreten, das sind etwa drei Ereignisse pro Tag. Wie eine ferne, aber sehr präzise Himmelsuhr, die überall auf der Erde die gleiche Zeit anzeigt, sollte man sich den Tanz der vier Jupitermonde und ihre Verfinsterungen vorstellen – die Idee war durchaus verlockend! Über Monate stellte Galilei Tabellen mit den Zeiten der des Ein- und Austritts der Trabanten in den Jupiterschatten auf und erkannte, dass die Zeitpunkte ausgesprochen gut vorhersehbar waren. An Land wurde die Methode, wie auch vorher schon die Finsternisse des Erden-Mondes, zur Längengradbestimmung verwendet, und die Kartografie machte mit dieser Methode große Fortschritte<sup>6</sup>.

## 2.3.3 Winkelabstand zwischen Mond und Sternen

1514 bereits hatte der deutsche Astronom Johannes Werner (1468-1522) aus Nürnberg erkannt, dass die Position des Mondes in Bezug auf Sonne oder Sterne für die Längengradermittlung brauchbar sei. Der Mond bewegt sich vor dem Hintergrund der Sterne recht schnell, er legt etwa  $0,5^\circ$  pro Stunde von West nach Ost zurück, das entspricht etwa seinem scheinbaren Durchmesser. Dadurch hatte man unzählige verschiedene Konstellationen, die man in Tabellen und Tafeln als Grundlage der Längenbestimmung sammelte.

Allerdings hatte man nach den Messungen, und das war gar nicht einfach, drei Korrekturen anzubringen:

- 1) Die Tabellen und Formeln haben als Bezugspunkt den Mondmittelpunkt, man kann bei der Messung aber nur den Mondrand exakt anpeilen. Daher muss über die Messung des Monddurchmessers ein Korrekturfaktor für diese Differenz berücksichtigt werden.
- 2) Die Refraktion bzw. Lichtbrechung an der Atmosphäre bewirkt, dass Mond und Sterne gar nicht genau dort stehen, wo man sie wahrnimmt. Der Korrekturfaktor ist abhängig vom jeweiligen Höhenwinkel und für Mond und Sterne anzuwenden.
- 3) Die in den nautischen Tabellen vorausgerechneten Mondstrecken beziehen sich auf den wahren Winkelabstand Mond-Gestirn und auf den wahren Höhenwinkel von Mond und Gestirn am Erdmittelpunkt. Die tatsächliche Messung des Höhenwinkels erfolgt dagegen am jeweiligen Schiffsstandort auf der Erdkrümmung. Dieser Unterschied bewirkt eine Parallaxe, sodass der gemessene Höhenwinkel mit einem Korrekturwert berichtigt werden muss. Dementsprechend ändert sich auch die gemessene scheinbare Distanz zwischen den beiden Objekten zur wahren Distanz. Der Berichtigungsfaktor ist abhängig von der gemessenen Höhe. Für den Mond, dessen Abstand zur Erde im Verhältnis zu ihrem eigenen Durchmesser relativ gering ist, beträgt diese sog. Höhenparallaxe null (Mond im Zenit) bis etwa ein Grad (Mond am Horizont), das entspricht etwa der Strecke von zwei Monddurchmessern. Der Maxi-

malwert am Horizont wird Horizontalparallaxe genannt und im Nautischen Almanach mit H.P. bezeichnet. Der Tabellenwert schwankt geringfügig und liegt meist bei knapp unter  $1^\circ$ . Die Höhenparallaxe ist das Produkt aus dem Wert H.P. und dem Cosinus des Refraktionsbereinigten Höhenwinkels. – Die scheinbar unendlich weit entfernten Sterne erfordern dagegen eine allenfalls geringe, eher theoretische Parallaxe-Korrektur, sodass man sie bei der Mondstrecke-Bestimmung vernachlässigen kann. Bei Sonne und Planeten hingegen sind ebenfalls Berichtigungen notwendig. – Den Effekt der Parallaxe kann man beim Mond gut beobachten, denn er erscheint vor dem gleichen Sternenhintergrund deutlich verschoben, wenn man ihn zwar zur gleichen Referenzzeit, aber von unterschiedlichen Orten aus beobachtet<sup>7</sup>.

Die Ermittlung der Mond- oder Lunardistanzen machte man sich bei der Bestimmung des Längengrades zunutze. Mit dem Cross- oder Backstaff wurden alle notwendigen Winkelabstände und die Höhenwinkel von Mond und Gestirn gemessen (Abb. 18) und mit den notwendigen Berichtigun-

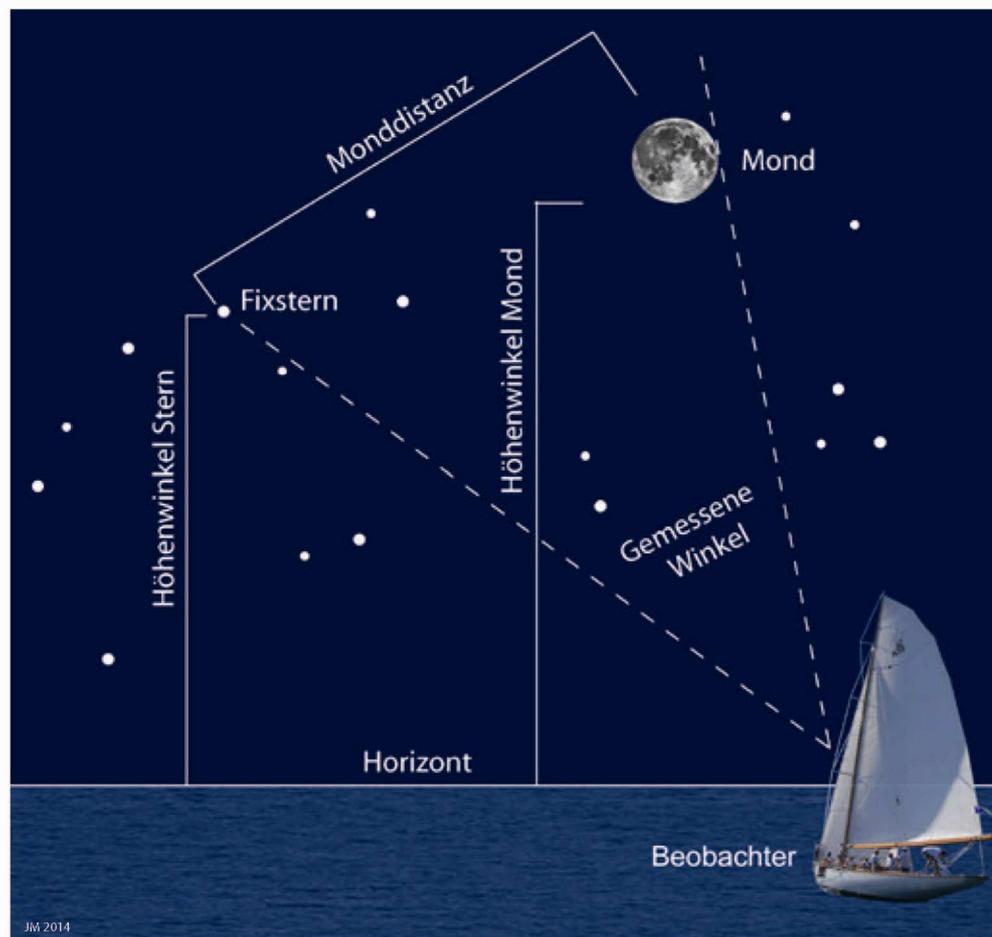


Abb. 18 Schema der Mondstrecke-Ermittlung

## Astronomische Entfernungen

Erde-Mond	1 Lichtsekunde
Durchmesser Sonne	4,6 Lichtsekunden
Erde-Sonne	8,3 Lichtminuten
Erde-Komet Tschury	28 Lichtminuten
Erde-Jupiter	35 Lichtminuten
Erde-Pluto	4,2 Lichtstunden
Alpha Centauri C, nächster Stern nach der Sonne	4,2 Lichtjahre
Sirius, hellster Stern am Himmel	8,6 Lichtjahre
Nordstern	430 Lichtjahre
Betelgeuze im Wintersternbild Orion	700 Lichtjahre
Dicke der Milchstraße, im Mittel	9.000 Lichtjahre
Durchmesser der Milchstraße	110.000 Lichtjahre
Andromeda-Nebel, außerhalb der Milchstraße bei guten Bedingungen als entferntester Ort mit bloßem Auge sichtbar	2,5 Mio. Lichtjahre
Am weitesten entfernte Sternensam- mlung, die bisher bekannt ist (Anfang des 21. Jh entdeckt), ist ein schwach leuchtender Sternhaufen.	13 Mrd. Lichtjahre

Abb. 19 Einige astronomische Entfernungen im Vergleich

gen versehen. Das Ergebnis, die wahre Mondstanz, verglich man mit den Mondtafeln, in denen die genau vorherbestimmte Position des Mondes zu besonders hellen Sternen oder der Sonne für eine definierte Zeit an einem definierten Referenzort verzeichnet war, zum Beispiel für Greenwich. Hatte man eine Konstellation x unter Kenntnis der Ortszeit – dies war immer Voraussetzung – beob-

achtet und dokumentiert, musste mit Tabellen und Berechnungen ermittelt werden, wie viel Uhr es bei dieser Konstellation am Referenzort war. Die Differenz der wahren Ortszeit zur ermittelten Referenzzeit konnte dann mühelos in die Längendifferenz des Beobachtungsortes zum bekannten Bezugsort umgerechnet werden.

Auch wenn die Theorie der Messmethoden und der letzte Rechenschritt von der Zeit zur Länge einfach waren, machte das Verfahren zunächst aber endlose Beobachtungen und Aufzeichnungen notwendig, denn vor einer praktischen Nutzung stand die Herstellung entsprechender Tabellenwerke und praktischer Rechenformeln. Die errechneten Tafeln und die verwendeten nautischen Instrumente waren jedoch von geringer Präzision. Der Rechenweg war extrem aufwändig und kompliziert und überforderte den einfachen Navigator. Erschwerend kam noch hinzu, dass man die Position mancher Sterne, die man kartieren wollte, noch nicht genau genug kannte und dass die Mondlaufbahn durch Gravitationseinflüsse zwischen Sonne, Mond und Sternen etliche Unregelmäßigkeiten aufwies. Man hatte das Phänomen durchaus erkannt, fand aber keinen Weg, wie man das rechnerisch in den Griff bekommen könnte.

Trotzdem wurde diese Methode lange Zeit wenigstens an Land verwendet, ehe sie später und im Laufe der Längengraddiskussion noch einmal in den Vordergrund rücken sollte.

- 1 Auf [www.dehilster.info](http://www.dehilster.info) gibt es zahlreiche interessante Erläuterungen zu den historischen Navigationsinstrumenten und zu deren Nachbauten. Lühhing 2010: 108 berichtet unter Verweis auf diese Internetseite auf Versuchsreihen, in denen der Backstaff dem Crossstaff oder Jakobsstab an Genauigkeit unterlegen gewesen sei.
- 2 Heute sind 67 Jupitermonde bekannt. Während die vier Galileischen Jupitermonde einen Durchmesser zwischen 3.100 und 5.200 km haben, sind die übrigen mit Durchmessern von einem bis 170 km deutlich kleiner.
- 3 Die Schwierigkeiten, die sich Galilei durch seine Beobachtungen mit der römischen Inquisition einhandelte und Stoff für manche Geschichten brachte, sind hinlänglich bekannt.
- 4 Pluto wurde erst 1930 entdeckt, 2006 wurde er aufgrund einer Neudefinition des Begriffs ‚Planet‘ aus dem Kreis der Planeten verbannt. Neuerdings ist die Rückführung in den

Planetenstatus wieder in der Diskussion, weshalb er auch in der vorliegenden Schrift erwähnt wird.

- 5 Im November 2014 wurde von der europäischen Raumsonde *Rosetta* der Landeroboter *Philae* auf dem Kometen Tschurjumow-Gerasimenko (kurz ‚Tschury‘ genannt) abgesetzt, der sich zu der Zeit zwischen Mars und Jupiter befand. Es war die bisher von der Erde weitest entfernte Landung auf einem Himmelskörper und erste auf einem Kometen, die erste auf einem Kometen überhaupt, und sie wurde von vielen Fachleuten als mindestens so bedeutend wie die Mondlandung 1969 eingeschätzt.
- 6 Mancher Landesherr wunderte sich nicht schlecht, wenn nach den damals neuesten Vermessungsmethoden plötzlich sein Territorium viel kleiner war als er angenommen hatte! Es ging das Wort „durch die Vermessung habe ich mehr Land verloren als durch meine ärgsten Feinde“!
- 7 Siehe hierzu auch Lühhing 2010 und Umland 2011.

# 3 Die Jagd nach dem Längengradpreis

## 3.1 Die konkurrierenden Methoden

Zur Ermittlung der Zeit für einen Referenzort als Voraussetzung für die Längengradbestimmung diskutierte man nach Erlass des Longitude Act über fünf mögliche Wege:

- 1) Eine Uhr, die seetauglich sein musste, unterschiedliche Schwerkraftdifferenzen je nach Breitengrad kompensieren und thermischen Belastungen und Schiffsbewegungen standhalten konnte und besonders gleichmäßige Gangwerte hatte;
- 2) Die Bestimmung der Finsternisse und Durchgänge der Jupitermonde mit Vorausberechnung der Zeitpunkte dieser Ereignisse für einen Referenzort;
- 3) Die Berechnung von Mondstrecken, Aufstellung umfangreicher Tabellen mit Werten zur Längengrad-Berechnung;
- 4) Die Bestimmung über akustische oder optische Signale;
- 5) Die Bestimmung über die sog. Magnetabweichungen.

Isaak Newton, zweiter Inhaber des berühmten und prestigeträchtigen Lucasischen Lehrstuhls für Mathematik des *Trinity College* in Cambridge<sup>8</sup> und seinerzeit Präsident der Royal Society, saß in dem mit dem Longitude Act gegründeten *Board of Longitude*, der die Organisation bei der Abwicklung des Längengradpreises übernehmen sollte. Newton hatte sich schon geraume Zeit mathematischen und astronomischen Theorien gewidmet und recht früh geäußert, dass er nur den ersten drei Lösungswegen grundsätzliche Aussicht auf Erfolg für den Längengradpreis einräume.

Daneben wurden dem *Board of Longitude* manche unrealistische oder skurrile Idee vorgestellt, die im besten Fall ein Schmunzeln, im schlechtesten nur Entsetzen hervorbrachte und sonst keine weitere Beachtung bewirkte. So ist ein Vorschlag überliefert, dass einem Hund mit einem Messer eine Wunde zugefügt und er dann an Bord mitgenommen werden solle. An Land wollte man daraufhin die „Tatwaffe“ zu festgelegten Zeiten mit einem geheimnisvollen Wundpulver bestreuen, woraufhin der Hund an Bord vor Schmerz aufheulen und damit die Referenzzeit anzeigen sollte.

Es gab Sponsoren und Geldgeber und natürlich auch Lobbyisten, die bei der Royal Society oder den Politikern Einfluss nehmen wollten. Man versuchte, die Entscheider mal deutlich, mal subtil, mal auch recht plump – der Gattin Maskelynes wurde beispielsweise ein Kopfschmuck mit appliziertem Sonnensystem aus Draht geschenkt – für sich einzunehmen und einflussreiche Leute auf seine Seite zu holen. In den Kaffeehäusern und in den Gazetten der Stadt wurde jedenfalls eifrig debattiert und gewitzelt – kurz, der Längengrad war für viele Jahre ein Thema der öffentlichen Diskussion.

## 3.2 Schall- und Rauch: Das Ditton-Whiston-Projekt

Humphrey Ditton (1675-1715) war Lehrer an der königlichen Mathematikschule, sein streitbarer Kollege William Whiston (1667-1752) war der Nachfolger Newtons auf dem Mathematik-Lehrstuhl der Uni Cambridge. Die beiden Erfinder waren inspiriert durch die großen Feuerwerke auf der Themse, die anlässlich des Endes des Spanischen Erbfolgekrieges 1713 abgefeuert wurden. Die Idee war, dass Pontons oder Schiffe, die an bestimmten bekannten Positionen ankerten, zu festgeleg-



Abb. 20 Verbreitung von Schall- und Rauchsignalen nach Ditton und Whiston 1738

ten Zeiten Granaten senkrecht etwa 2.000 Meter in die Luft feuerten. Wenn die Seeleute dieses sahen, sollten sie die Richtung mit dem Kompass peilen, die Zeit zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Knalls messen und daraus die Entfernung zum eigenen Standort errechnen.

Ditton und Whiston dachten, dass große Feuerwerkskörper mehrere hundert Meilen zu sehen seien. Und wenn die Pontons aufgrund zu großer Wassertiefe näher an Land ankern müssten, sollten auch die Schiffe auf dem Breitengrad näher an Land fahren. Ein Argument der Erfinder war, dass gerade in relativer Küstennähe größere Gefahren lauerten und dort die Bestimmung des Längengrades essenziell sei.

Um das alles zu untermauern, wurde ein Versuch in der Nähe von Greenwich unternommen. Von dort waren es etwa 90 geografische Meilen bis auf die französische Seite des Kanals im Bereich Calais/Dünkirchen (Abb. 20). Bei guten Bedingungen konnte man die Signale dort zwar wahrnehmen, aber allein die Probleme beim Ankern in tieferen Gewässern weiter vor den Küsten oder die Überlegung, was denn sei, wenn potenzielle Feinde die Pontons kaperten, brachten das Projekt schließlich zum Scheitern. Da half auch der Hinweis seiner Erfinder, dass das Scilly-Drama sich mit ihrer Idee nicht ereignet hätte, nichts.

### 3.3 Magnetische Abweichungen

Whiston brachte noch eine weitere Idee zur Diskussion: die magnetische Variation<sup>9</sup> und die Inklination (Neigung). Seine Überlegungen basierten auf den Beobachtungen zum Magnetfeld der Erde, die schon Edmond Halley angestellt hatte.

Es gibt eine durch Unregelmäßigkeiten des Erdmagnetfeldes erzeugte Winkeldifferenz zwischen dem magnetischen Nordpol, den man auf dem Kompass abliest, und dem wahren oder geografischen Nordpol, der durch die Stellung der Erdachse definiert ist und im praktischen Gebrauch auch über den mittäglichen Sonnenhöchststand oder Sternpositionen gefunden werden kann. Wenn zB die Sonne kulminierte, weisen die gedachte Linie Sonne-Beobachter und der Schatten genau in Süd-Nord-Richtung.

Eine positive Variation bedeutet, dass der magnetische Nordpol östlich des wahren Nordpols ist, eine negative westlich. In Kenntnis dieser Abweichungen wurden spezielle Karten der Weltmeere angefertigt, auf denen Linien gleicher Variation verzeichnet waren (Abb. 21). Mit Hilfe dieser Angaben konnte man den Kompass oder Kurs korrigieren und günstigstenfalls auch die geografische Länge bestimmen<sup>10</sup>, nämlich dann, wenn die Linien

unterschiedlicher Variation möglichst *Längengrad*-parallel verliefen. Hatte man die Breite über Nordstern oder Sonnenstand ermittelt, suchte man in der Karte die Linie gleicher Variation, die mit dem abgelesenen Wert am Kompass übereinstimmte, und konnte dann den entsprechenden *Längengrad* bestimmen.

Weiterhin gibt es die sog. *Inklination*. Das Phänomen beschreibt, dass die Kompassnadel sich umso mehr aus der Waagerechten nach unten neigen möchte, desto näher sie an Nord- und Südpol gelangt. Dort wäre die *Inklination*  $90^\circ$ , also senkrecht nach unten<sup>11</sup>, am Äquator ist sie  $0^\circ$ . Da die *Inklination* also zwischen dem Äquator und den Polen deutlich ansteigt, konnte man die Kartenwerte gut zur *Breitengrad*-Bestimmung verwendet. Wichtig war natürlich das Vorhandensein eines höhenempfindlichen Kompasses, der überhaupt die vertikale Abweichung der Nadel anzeigen konnte. Solche Geräte wurden seinerzeit in verschiedenen Ausführungen entwickelt. Man hätte also tatsächlich mit nur einem einzigen Instrument an Bord, dem entsprechend ausgerüsteten Kompass, Länge und Breite ermitteln können.

Für die Kartierung gab es damals ein spezielles Forschungsschiff unter dem Kommando von Edmond Halley. Er veröffentlichte Karten mit magnetischer Variation und *Inklination*, die die Grundlage für die Ermittlung der Position sowie zur Korrektur des Kompasses und zur Kurskorrektur bildeten.

Auch wenn die Theorien lange bekannt waren, scheiterte letztendlich der praktische Gebrauch an mangelnder Genauigkeit. Das Ablesen einer zapelnden Magnetnadel auf kleinste Abweichungen hin war auf See kaum machbar, die Kompasswa-

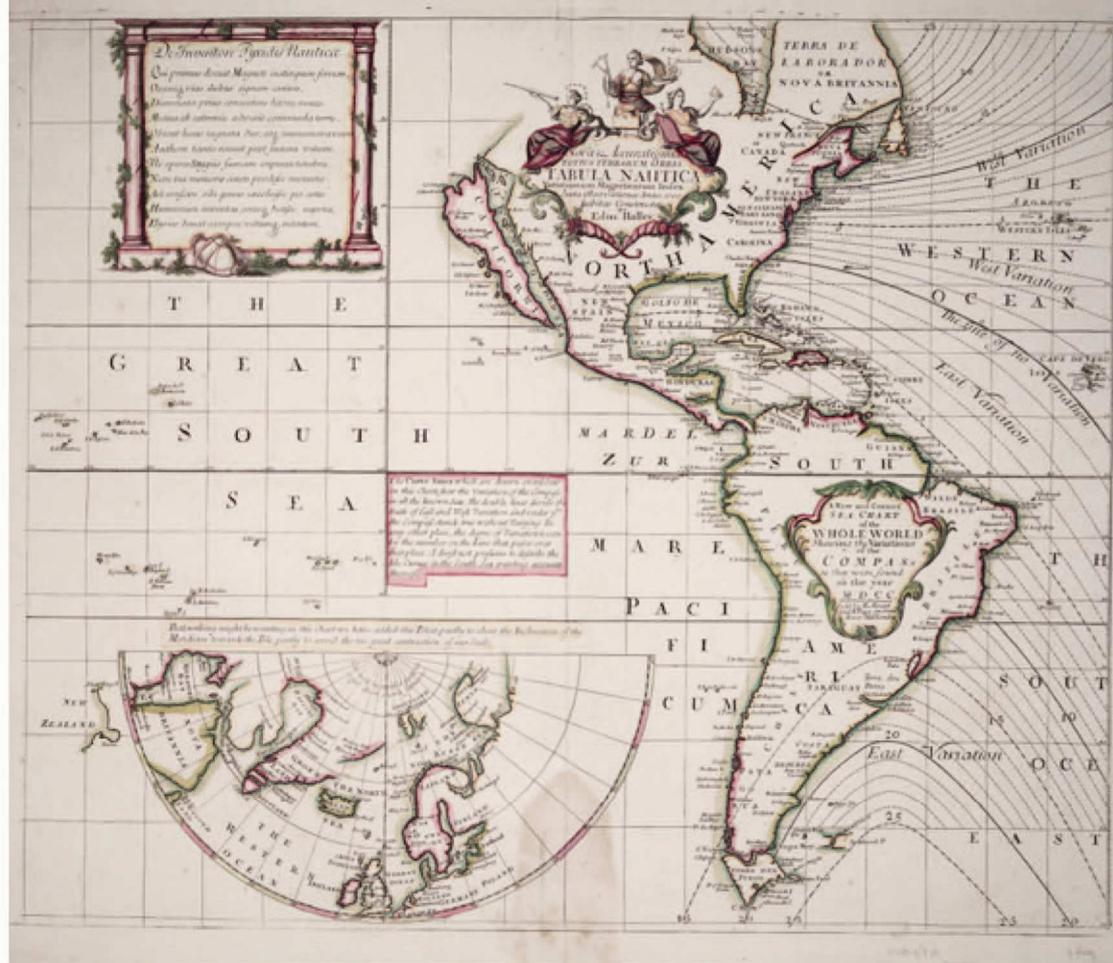


Abb. 21 Karte mit den Linien gleicher magnetischer Variation, Edmond Halley 1702

ren in ihrer Technik und mit der sensiblen Nadel sehr anfällig, und die Karten waren viel zu ungenau und konnten kaum aktuell gehalten werden. Oft genug waren sie schon vor Rückkehr einer Expedition aufgrund erneuter Veränderungen des Magnetfeldes veraltet.

### 3.4 Dreimal täglich Finsternis

Newton war überzeugt, dass allein die astronomischen Methoden zur Bestimmung der Länge geeignet seien, schon gar, wenn man die Bezüge zum Land oder zu Seekartenpositionen verloren hätte. Ein gravierender Nachteil aller astronomischen Methoden blieb allerdings, dass sie nur bei Nacht und bei wolkenfreiem Himmel angewendet werden konnte, sodass man zur Sicherheit nach wie vor die Koppelnavigation verwendete.

Die Längenbestimmung mithilfe der Finsternisse der Jupitermonde war schon geraume Zeit bekannt, und sie war nicht einmal unpräzise. Der Vorteil dieser Methode war, dass man die Verfin-

terungen der Monde von allen Stellen der Erde zur gleichen Zeit beobachten konnte, da die beobachteten Himmelskörper einen ausreichend weiten Abstand zur Erde und gleichzeitig einen relativ nahen Abstand zueinander hatten, sodass eine Parallaxe zwar theoretisch gegeben, praktisch aber zu vernachlässigen war (vgl. Mondparallaxe, Kap. 2.3.3). Verlockend war auch, dass die Ereignisse im Durchschnitt etwa dreimal täglich stattfanden, da sollte doch wenigstens eine brauchbare Messung pro Tag bei klarem Himmel möglich sein.

Die langen Teleskope, die man zur Beobachtung brauchte, waren allerdings auf einem schwankenden Schiff kaum einsetzbar; sie waren so unhandlich, dass man sie weder richtig auf den Planeten ausrichten, noch seine Monde zuverlässig beobachten konnte. Selbst Erfindungen wie ein kardatisch aufgehängter ‚Marine-Chair‘ oder schwimmende Beobachtungsplattformen (siehe Kap. 5.3) brachten keinen Erfolg; die Methode war für die Seefahrt ungeeignet.

Dennoch hatte man in der Zwischenzeit die Zahlenwerke, die Galilei begonnen hatte, deutlich verbessert und ergänzt, und 1668 hatte Giovanni Cassini (1625-1712) als Direktor des Pariser Observatoriums recht genaue Tabellen veröffentlicht. Der Gründungsdirektor des neu gegründeten Observatoriums in Greenwich, John Flamsteed (1646-1719), brachte 1683 seine ersten eigenen Tabellen mit Angaben zu den Jupiter-Monden heraus.

### 3.5 Die Mondstrecken

Die Mondstrecken waren gemeinsam mit der Jupitermond-Methode an Land weit verbreitet, und die Notwendigkeit intensiver Beobachtungen und

Forschungen führte dazu, dass überall in Europa neue Sternwarten gegründet wurden, so in Greenwich 1675 die Royal Society mit dem Royal Observatory (Abb. 31), erbaut von Sir Christopher Wren, dem Architekten der St. Paul's Cathedral. Der erste königliche Astronom, der *Astronomer Royal*, war John Flamsteed. In Paris folgte 1667 der Bau der ersten Sternwarte, in Berlin 1706.

Die Observatorien waren bestens mit Gerät ausgestattet, und ihre Aufgabe war es zunächst, die Bahn des Mondes zu erforschen und die Tabellen für die Mondstrecken zu erstellen. Im Octagon Room in Greenwich (Abb. 46), der allerdings eher repräsentativen Charakter hatte und in dem vor allem Gäste Sterne beobachten und Winkel messen durften, gab es drei von Thomas Tompion 1676 nach Vorbild der Uhren von Christiaan Huygens gebaute Präzisionspendeluhren, deren Referenzzeit ebenfalls Eingang in die Tabellen fand. Auf dem Bild sind die Uhren hinten an der Wand zu sehen, das Uhrwerk und die langen Pendel lagen hinter der Verkleidung. Auch Fernrohre und Winkelinstrumente neuester Bauart gehörten zur Grundausstattung. Personell waren die Sternwarten bestens besetzt, und man arbeitete mit Hochdruck an der Erstellung von Sternkarten und Tabellenwerken – alles mit dem Ziel, die astronomischen Längenbestimmungen praktikabel zu machen.

Newton hoffte, dass mit Hilfe der immer besseren astronomischen Beobachtungen und berechneten Tabellenwerte die vom Longitude Act geforderte Genauigkeit der Längenbestimmung zu erzielen sein werde. Er ahnte seinerzeit noch nicht, dass ein Nicht-Astronom überhaupt eine bessere Lösung präsentieren könnte.

8 Er wurde 1663 durch den Unterhaus-Abgeordneten Henry Lucas gestiftet, der der Universität Landbesitz zur Finanzierung schenkte. Auch der bekannte Mathematiker und Astrophysiker Stephen Hawking war 1979-2009 Inhaber dieses Lehrstuhls.

9 Oft wird auch von Abweichung oder Deklination gesprochen. Die Deviation dagegen ist eine Abweichung, die durch Metallteile in der Kompass-Umgebung erzeugt wird.

10 Auch heute noch wird die Variation als sog. Missweisung in der Kompassnavigation berücksichtigt.

11 Fuhr man bevorzugt in hohen Breiten, wurde die Kompassnadel, wenn sie nicht speziell die Inklination messen sollte, oft mit Gewichten so austariert, dass sie einigermaßen waagrecht blieb und die Spitze nicht ständig mit der Kompassrose kollidierte.

# 4 Harrisons Uhren

## 4.1 Pendeluhren und die H1

John Harrison (1693-1776) war Tischler und Uhrenbauer und arbeitete in Barrow in Lincolnshire. Standuhren und einfache Taschenuhren waren in jener Zeit bereits gebräuchlich, das Uhrenprinzip (Abb. 22) schien im Grunde ausgereift. Mit 20 Jahren baute Harrison seine erste große Pendeluhr, und Anfang der 1720er Jahre entwickelte er für solche Uhren zwei geniale Neuerungen: Die erste war eine vollkommen neuartige Hemmung, das „Dosierorgan“ in der Uhr, das verhinderte, dass die Uhr unkontrolliert und in einem Stück abließ. Es nannte sich „Grasshopper-Hemmung“ und erinnerte an merkwürdig springende Bewegungen der Grashüpfer. Die Technik der Hebel und Zahnräder war so angelegt, dass sie praktisch reibungsfrei arbeiteten, was ein großer Vorteil war. Denn die gebräuchlichen Öle hatten die unangenehme Eigenschaft, dass sie sich verbrauchten und bei unterschiedlichen Temperaturen auch von unterschiedlicher Konsistenz waren, was im rauen Seealltag der Präzision der Uhr nicht förderlich sein würde.

Die zweite große Erfindung Harrisons war das sog. Rostpendel. Es sah aus wie ein Gitterrost und hatte mehrere parallel liegende Metallstäbe, die abwechselnd aus Eisen und Messing und im Längenverhältnis 3:2 angeordnet waren. Die unterschiedlichen Ausdehnungseigenschaften der beiden Metalle hoben sich aufgrund der darauf abgestimmten Längen bei sich ändernden Temperaturverhältnissen gegenseitig auf, sodass die wirksame Länge des Pendels als Regulierorgan gleich blieb. Die Uhr war auf diese Weise weitgehend unempfindlich gegen Temperaturschwankungen, ob es kalt oder warm war.

1726 hörte Harrison erstmals vom Längengradpreis und machte sich an die Überlegungen zur Konstruktion spezieller Schiffsuhren. Ausgestattet mit ersten Zeichnungen und Modellen nahm er 1728 zu Edmond Halley, Nachfolger Flamsteeds als *Astronomer Royal*, Kontakt auf, der ihn zum Londoner Uhrmacher George Graham (1673-1751) schickte. Dieser hatte beste Kontakte zur Royal Society. Er sollte zeitlebens ein Förderer Harrisons und seiner Ideen werden und ihm auch bei der Vorstellung seiner Uhren vor der Kommission helfen. Denn Harrison war in Diskussionen und Schriftstücken äußerst kompliziert und umständlich.

Damit Harrisons Uhr aber seefähig würden, musste er statt der üblichen hängenden Aufzugsgewichte eine Metallfeder einbauen, die man mit einem Schlüssel aufzog und spannte. Das Pendel ersetzte er durch eine Balkenunruhe mit Spiralfeder und kugelförmiger Schwungmasse, die so aussahen wie Hanteln. Er ordnete sie so an, dass sich ihre



Abb. 22 Schema der Uhr

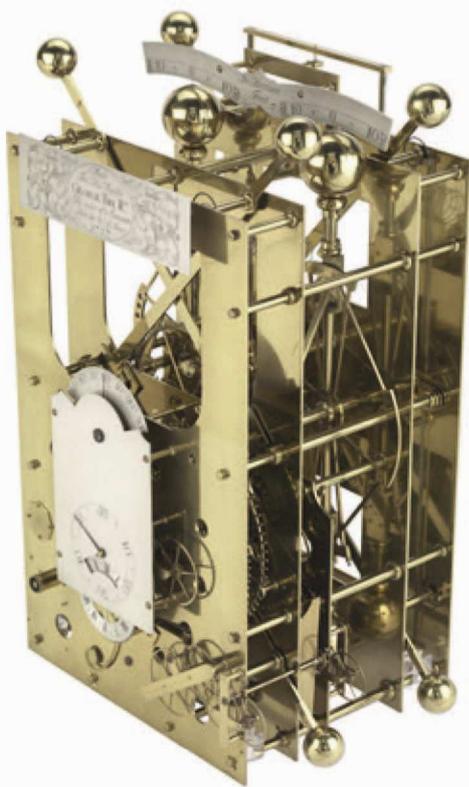


Abb. 23 Die H2 von Harrison, 1739

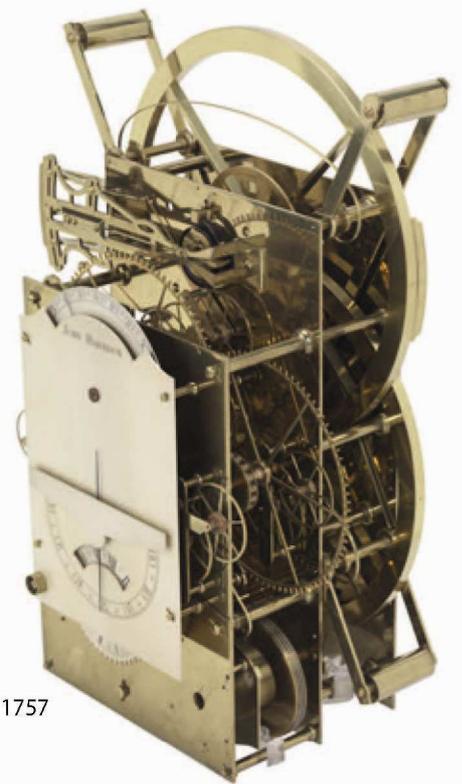


Abb. 24 Die H3 von Harrison, 1757

Hin-und-Her-Bewegungen gegenseitig stabilisierten und die Uhr bei Schiffsschwankungen kaum aus dem Takt geriet. Über ein Zwischenstück ähnlich dem des Rostpendels erzielte er aber auch bei dieser Unruhe eine Konstanz in Bezug auf Temperaturschwankungen.

Nachdem Harrison seine Uhr, die 0,60 mal 0,60 Meter maß, 33 kg schwer war und nicht weniger als 1.400 Einzelteile hatte (einzelne Kettenglieder gar nicht mitgerechnet), auf dem River Humber getestet hatte, führte er sie 1735 dem Board of Longitude vor (Abb. 45), und man war dort von der Erfindung des Tischlers ausgesprochen angetan. 1736 ging Harrison mit seiner Uhr H1 an Bord der *Centurion* und fuhr nach Lissabon<sup>12</sup>. Auf dem Hinweg litt Harrison an Seekrankheit, und die Uhr lief nicht besonders genau. Aber auf der Rückfahrt

mit dem Schiff *Oxford* war sie ausgesprochen präzise, und Harrison wies die Schiffsleitung darauf hin, dass man anstelle von *Start Point* im Süden Englands *Lizard Point* 60 Meilen weiter westlich vor sich habe – und er hatte recht. Die Admiralität war des Lobes voll.

## 4.2 Die Uhren H2 und H3

Nach Hause zurückgekehrt, erhielt Harrison 1737 für seine Erfindung von der ausgelobten Geldsumme durch die Kommission 500 Pfund zugesprochen, das entsprach etwa dem fünfzigfachen Jahreslohn eines einfachen Arbeiters. Auflage war jedoch, dass er innerhalb zweier Jahre eine verbesserte Version bauen müsse. Er zog daraufhin nach London und baute in nur zwei Jahren die H2, die er 1739 fertigstellte (Abb. 23). Wie die Vorgängeruhr

Abb. 27 Zeitstrahl 1600 bis 1900 mit den wichtigsten Ereignissen zum Longitude Act

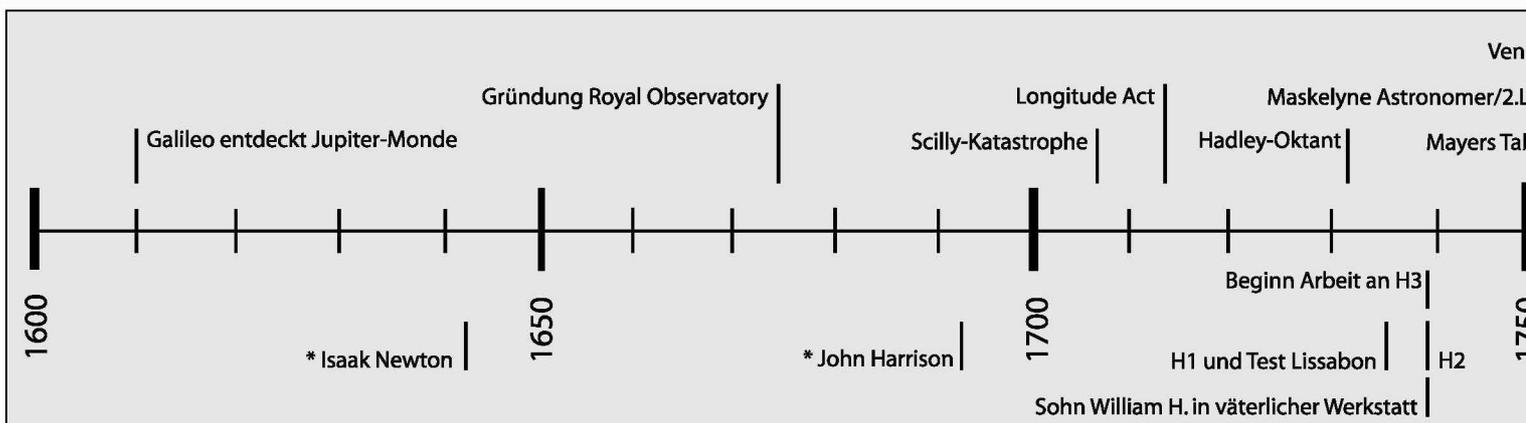




Abb. 25 Die H4 von Harrison, 1779



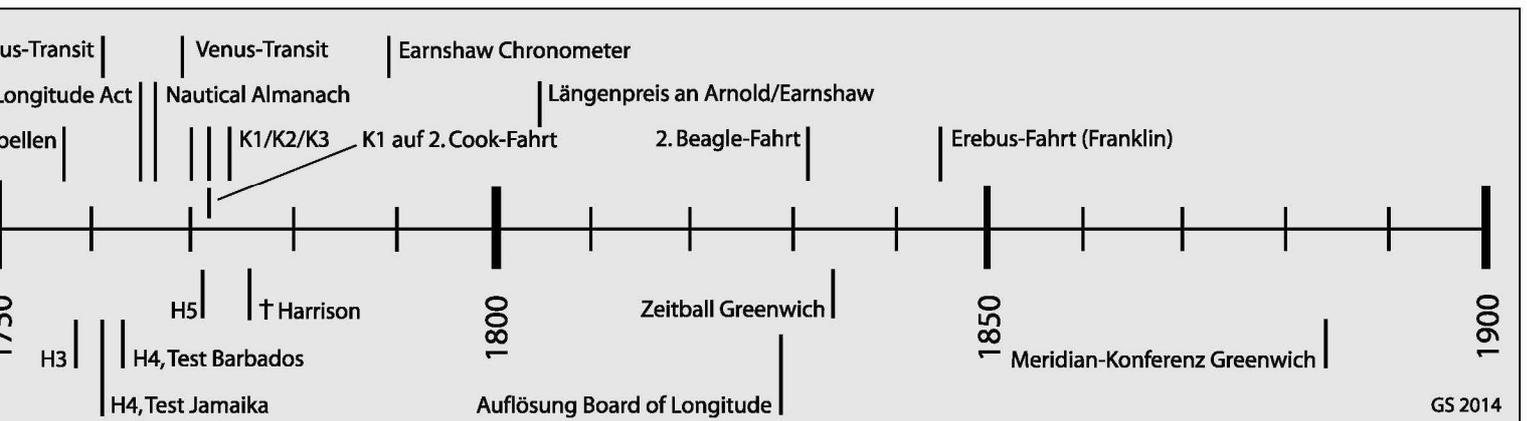
Abb. 26 Harrisons H4, Werkansicht

hatte sie die Grasshopperhemmung, eine rostartige Temperaturkompensation aus verschiedenen Metallstäben, und ihre beweglichen Teile waren weitgehend reibungsfrei und brauchten kein Öl. Die Uhr war dennoch deutlich kompakter und hatte weniger Einzelteile.

Damit die Uhr beim Aufziehen nicht stehenblieb und das Gangverhalten mit Ablauf der Feder nicht spürbar nachließ und somit unregelmäßig wurde, baute er ein sog. Remontoir ein. Das ist ein zusätzlicher, zweiter Aufzugsmechanismus, der betätigt werden konnte, ohne die eigentliche Aufzugsfeder anzuhalten, und die in regelmäßigen Abständen eine immer gleich dosierte Kraft an Räderwerk, Hemmung und Unruhe weitergab<sup>13</sup>.

Aber Harrison war mit dem Ergebnis unzufrieden und gab die H2 nicht für weitere Versuche frei, sondern entwickelte ab 1739 die H3 mit weiteren

Verbesserungen (Abb. 24). Eine war die Erfindung eines Bimetallstreifens anstelle des Metallrostes. Zwei Messing- und Eisenstreifen wurden an einem Ende fixiert, das andere Ende griff in die Unruh-Feder ein und justierte sie automatisch je nach Temperatur<sup>14</sup>. Eine weitere Idee waren Rollenlager in ‚Käfigen‘, die sehr reibungsarm arbeiteten. Obwohl Harrison fast 19 Jahre an der Uhr gearbeitet hatte, bekam er sie nicht so ans Laufen, wie er es sich vorgestellt hatte, und reichte auch diese Version nicht offiziell bei der Kommission ein. Dennoch kam er durch die Verleihung der Copley-Medaille, die auf seine Anregung hin dann seinem Sohn William verliehen wurde, durch die Royal Society für seine neue Uhr zu höchsten Ehren. William war 1738 nach London gezogen und half dem Vater in der Werkstatt. An der H3 und später an der H4 und H5 hatte er sicher maßgeblichen Einfluss.



Um das Jahr 1751 bestellte er beim Londoner Uhrmacher John Jefferys<sup>15</sup> (1701-1754) für sich selbst eine Taschenuhr, wie sie damals durchaus schon üblich waren. Sie ging überraschend genau und bewog Harrison zu einem vollkommen neuen Konzept für sein neuestes Uhrenprojekt, weg von den Maschinen, wie er sie nannte, hin zu etwas handlicheren Zeitmessern.

### 4.3 Die H4 und ein erster Test

Harrisons viertes Modell hatte die Form einer solchen Taschenuhr, war aber mit 13 cm Durchmesser und 1,45 kg Gewicht deutlich größer als die bis dahin üblichen Modelle anderer Hersteller. 1759 stellte er seine neue Uhr vor, die H4. Sie war radikal anders. Ihre Schlagzahl war höher, fünfmal pro Sekunde<sup>16</sup>. Das bedeutete einerseits eine höhere Präzision, weil sich die Einflüsse aus Schiffsbewegungen nicht besonders auf die Ganggenauigkeit auswirken würden. Andererseits war jetzt doch Öl notwendig, weil man bei der Miniaturisierung der Einzelteile trotz der Verwendung von Edelsteinen als Lager keine Reibungsfreiheit erzielen konnte (Abb. 25, 26).

Schließlich erlaubte die Kommission 1761 die Testfahrt von England nach Jamaika, und William Harrison kam anstelle seines Vaters, dessen fortschreitendes Alter ihm langsam zu schaffen machte, an Bord. Die H3, die eigentlich auch getestet werden sollte, ließ William zu Hause, wahrscheinlich war er mit den Gangwerten nicht mehr recht zufrieden. Beeindruckt war die Schiffsscrew, dass William mithilfe der H4 einen Landfall auf Madeira korrekterweise früher bestimmte, als es der Navigator mit der Koppelnavigation berechnet hatte. Am Zielort schließlich hatte die H4 einen

Fehlgang von gerade mal 95 Winkelsekunden, ein sensationeller Wert in Bezug auf die Forderung von maximal 30 Winkelminuten!

Aber als William nach London zurückkehrte, verschlechterte sich das bisher gute Verhältnis der Harrisons zur Kommission zusehends. Denn die Mitglieder des Board of Longitude waren fast allesamt entweder Mathematiker oder Astronomen. Diesen wurde die Geschichte mit einer genau gehenden Uhr, die auch noch von einem gewöhnlichen Handwerker erfunden worden war, immer suspekter, zumal keiner die Uhr in ihrer Funktionsweise und ihrem komplexen Aufbau verstand.

Die Kommission war plötzlich der Meinung, dass die Tests nicht ausgereicht hätten. Angeblich sei der Längengrad von Port Royal auf Jamaika vorher nicht präzise genug bekannt gewesen, sodass ein Vergleich mit Harrisons ermitteltem Wert unmöglich gewesen sei. Darüber hinaus habe man im Vorhinein keine Übereinkunft über die zu erreichende Ganggenauigkeit festgehalten. Harrison protestierte vergebens, aber immerhin wurde die H4 als eine herausragende Erfindung bezeichnet.

Unter dem Strich wurde entschieden, dass ein zweiter Test auf See notwendig sei. Da die Methode der Mondstanz-Messungen und die Bestimmung der Finsternisse der Jupitermonde inzwischen weitere Fortschritte gemacht hatten, entschied man schließlich, dass diese beiden Methoden zusammen mit Harrisons Uhr noch einmal auf Testfahrt gehen müssten. Lühning 2010 stellt in diesem Zusammenhang dar, dass die Lunar-Methode seinerzeit zu Recht als gleichwertig gegenüber der Uhrenmethode angesehen wurde und kritisiert Dava Sobel, die sich in ihrem Buch etwas einseitig auf die Seite Harrisons schlage.

12 Die Bezeichnungen H1 bis H5 und später K1, K2 usw. wurden in den 1920er Jahren hinzugefügt, als man die Uhren in einem Lagerraum fand und sie erstmalig seit der Zeit Harrisons instandsetzte.

13 Jost Bürgi (1552-1632) und Christiaan Huygens (1629-1695) hatten schon ähnliche Mechanismen gebaut, wobei unklar ist, ob Harrison diese kannte oder sein Remontoir quasi ein zweites Mal erfand.

14 Harrisons Erfindung ist bis heute bei elektrischen Schaltern, zum Beispiel in Toastern, gebräuchlich.

15 Larcum Kendall, vom dem später noch die Rede sein wird, ging bei Jefferys in die Lehre.

16 Das entspricht einer Schlagzahl von 36.000 pro Stunde, man nennt solche Uhren heute Schnellschwinger. Gebräuchlich sind bei mechanischen Uhren Schlagzahlen von in der Regel 21.600 oder 28.800.

# 5 Die Konkurrenten schlafen nicht!

## 5.1 Tobias Mayer, der Tabellen-Mann

Ausgerechnet in jenen Jahren, als Harrison sich mit seinen immer wieder innovativen Ideen große Hoffnungen auf den Längengrad-Preis machte, meldete sich 1756 ein junger Astronom zu Wort, Tobias Mayer (1723-1762). Er forschte und lehrte an der Universität in Göttingen. Im Zusammenhang mit den Mondstrecken interessierte ihn vor allem die Wechselwirkung der Gravitation zwischen Erde, Mond und Sonne, das sog. Drei-Körper-Problem. Gegenseitige Gravitationseinflüsse machten eine Vorhersage des Bahnverlaufs von drei in Konstellation stehenden, aber unterschiedlich großen Himmelskörpern so gut wie unmöglich, die Bewegungen waren in gewisser Weise chaotisch und im wahrsten Sinne nahezu unberechenbar. Newton kannte dieses Problem ebenso, war aber nicht zu einer brauchbaren Lösung gekommen. Ebenso hatte Johannes Werner 200 Jahre zuvor die Distanzmethode theoretisch beschrieben, sie hatte sich aber zur Anwendung auf Schiffen aufgrund unzureichend genauer Instrumente und Tafeln und der komplizierten Rechenwege nicht durchgesetzt.

Mayer jedoch verfeinerte die Mondbeobachtungen, und schließlich konnte er die Mondbewegungen viel genauer als bis dahin möglich vorhersagen. Es gelang ihm, bekannte mathematische Modelle zu korrigieren und neue, sehr exakte Mond- und Sonnentabellen aufzustellen. Er griff dabei auch auf Überlegungen zurück, die der Schweizer Freund und Mathematiker Leonhard Euler (1707-1783) angestellt und damit Newtons Ideen zu den Himmelskörper-Bewegungen überholt hatte. James Bradley (1693-1762), der dritte *Astronomer Royal* in Greenwich, stellte Mayer eine Fülle von aktuellen Beobachtungsdaten zur Verfügung.

Mayer war selber allerdings nicht der Meinung, dass man auf See die Länge bestimmen könne, schon gar nicht über die Mondstrecken. Er hatte auch Zweifel, dass der Board of Longitude einem Nicht-Engländer überhaupt den Preis zusprechen würde. Euler überredete ihn schließlich, seine Arbeit dennoch einzureichen. Sicher war dabei auch hilfreich, dass das Haus Hannover (wie auch heute noch) beste Kontakte zur britischen Krone hatte: Schließlich war der englische König Georg III. der Prinz von Hannover. Und Göttingen, die Forschungsstätte Mayers, war nicht weit von Hannover entfernt.

So waren es Mayers Tabellen und die inzwischen vorhandenen und recht genauen Oktanten und Sextanten, die präzise Längengradmessungen mit Abweichungen von weniger als einem Grad ermöglichten und die Mondstreckemethode in Bezug auf den Longitude Act von 1714 konkurrenzfähig machte.

Nevil Maskelyne (1732-1811), Mathematiker aus Cambridge und einflussreiches Mitglied der Royal Society, nahm Mayers Ideen dankbar auf, indem er, ausgerüstet mit einem Sextanten und Mayers Tafeln sowie dem französischen astronomischen Almanach, die Tabellenwerte weiter verbesserte. Er berichtete, dass man vor Anker Messungen vorgenommen habe, die mit nur  $1,5^\circ$  Abweichung deutlich besser als die Koppelnavigation mit Fehlern bis zu  $10^\circ$  gewesen seien. Die Herstellung der Tabellen war allerdings extrem langwierig: Mit hohem Personalaufwand wurden Beobachtungen notiert, Werte berechnet und diese durch spezielle Vergleiche noch einmal kontrolliert. Die Aufgabe



Abb. 28 Der Marine Chair von William Chavasse, 1812

war so umfangreich, dass es überall im Land Beobachtungs- und Berechnungsteams gab.

Maskelyne wurde so einer der glühendsten Verfechter der Mondstanz-Methode. Sein Verdienst war es sicher, dass er anstelle komplizierter Formeln und Berechnungen große Tabellenwerke schuf, die auf See für den Navigator einfacher zu handhaben waren und nicht viel mathematisches Wissen erforderten. Er veröffentlichte den *British Mariner's Guide*, der neue Versionen von Mayers Tafeln und Anweisungen enthielt. Gleichwohl musste er einräumen, dass die Messungen und Berechnungen durchaus nicht einfach zu bewerkstelligen waren. Es waren Formeln, die großes mathematisches Verständnis, Kenntnisse der sphärischen Geometrie und eine große Portion Geduld verlangten. Erstmals kamen daher Ideen auf, die Mondstanzungen und ihre Ergebnisse systematisch vorzuberechnen und in nautischen Büchern zu verzeichnen, damit die entsprechenden Rechenwege kürzer und einfacher würden.

## 5.2 Beobachtungsstühle

Während Mayers Überlegungen vor allem auf dem Wege der Politik und über einflussreiche Persönlichkeiten den Zugang zur Längengrad-Kommission erlangten, gab es auch öffentliche Strategien, die nicht ganz ohne Erfolg blieben. Christopher Irwin zum Beispiel war ein Verfechter der Jupitermondmethode, und er schlug einen Marinestuhl vor, der mit Gegengewichten ausgestattet so auf einem Schiff beweglich zu befestigen war, dass der Beobachter ungestört von Schiffsbewegungen die Monde durchs Fernrohr sehen konnte. Er lancierte Berichte in Zeitungen und Zeitschriften, warb in Clubs und Gaststätten für seine Ideen, traf sich mit Personen, die Kontakte zu Entscheidungsträgern herstellen konnten.

Immerhin schienen seine öffentlichen Auftritte, die sich schnell herumgesprochen hatten, die Kommission beeindruckt zu haben, denn 1762 boten sie ihm 500 Pfund für weitere Experimente und erneute Versuche auf See an.

Ähnliche Konstruktionen waren auch schon vorher bekannt, zB eine Art hängender Stuhl auf dem erhöhten Achterdeck eines Schiffs. William Chavasse stellte um 1812 eine Vorrichtung auf einer schwimmfähigen Halterung und am Meeresgrund verankert zur Diskussion. Man versprach sich davon eine weitgehend schwankungsfreie Beobachtungsmöglichkeit (Abb. 28).

### 5.3 Oktanten und Sextanten

Für die Ermittlung des Breitengrades, der Mondstrecken oder der lokalen Mittagszeit benutzte man lange Zeit den Crossstaff oder den Backstaff, beide waren jedoch für genaue Messungen nicht besonders geeignet. 1730 fand John Hadley (1682-1744), der Vizepräsident der *Royal Society*, heraus, dass die sog. Doppelreflexion deutliche Präzisionsvorteile gegenüber herkömmlichen Geräten habe: Das beobachtete Objekt wurde durch zwei Spiegel umgelenkt, sodass man weder geblendet wurde, noch den Horizont aus den Augen verlor, denn Horizont und Objekt waren nebeneinander zu sehen. Durch die Benutzung von zwei Spiegeln war gegenüber der Mess-Skala auf dem beweglichen Arm, der Alhidade, aufgrund der Strahlengesetze (an beiden Spiegeln jeweils Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel) ein doppelt so großer Winkel messbar. Die Einstellung selbst erfolgt zunächst grob durch Bewegen der Alhidade, danach fein mittels eines Stellrades (Abb. 29). 1731 stellte Hadley seinen Prototyp der Royal Society vor.

Im Nachlass von Newton fand man später ähnliche Überlegungen wie die von Hadley, die er gleichwohl zu seinen Lebzeiten nicht veröffentlicht hatte, sodass letzterer als Erfinder des sog. Oktanten<sup>17</sup> gilt, zusammen mit Thomas Godfrey, der zur sel-

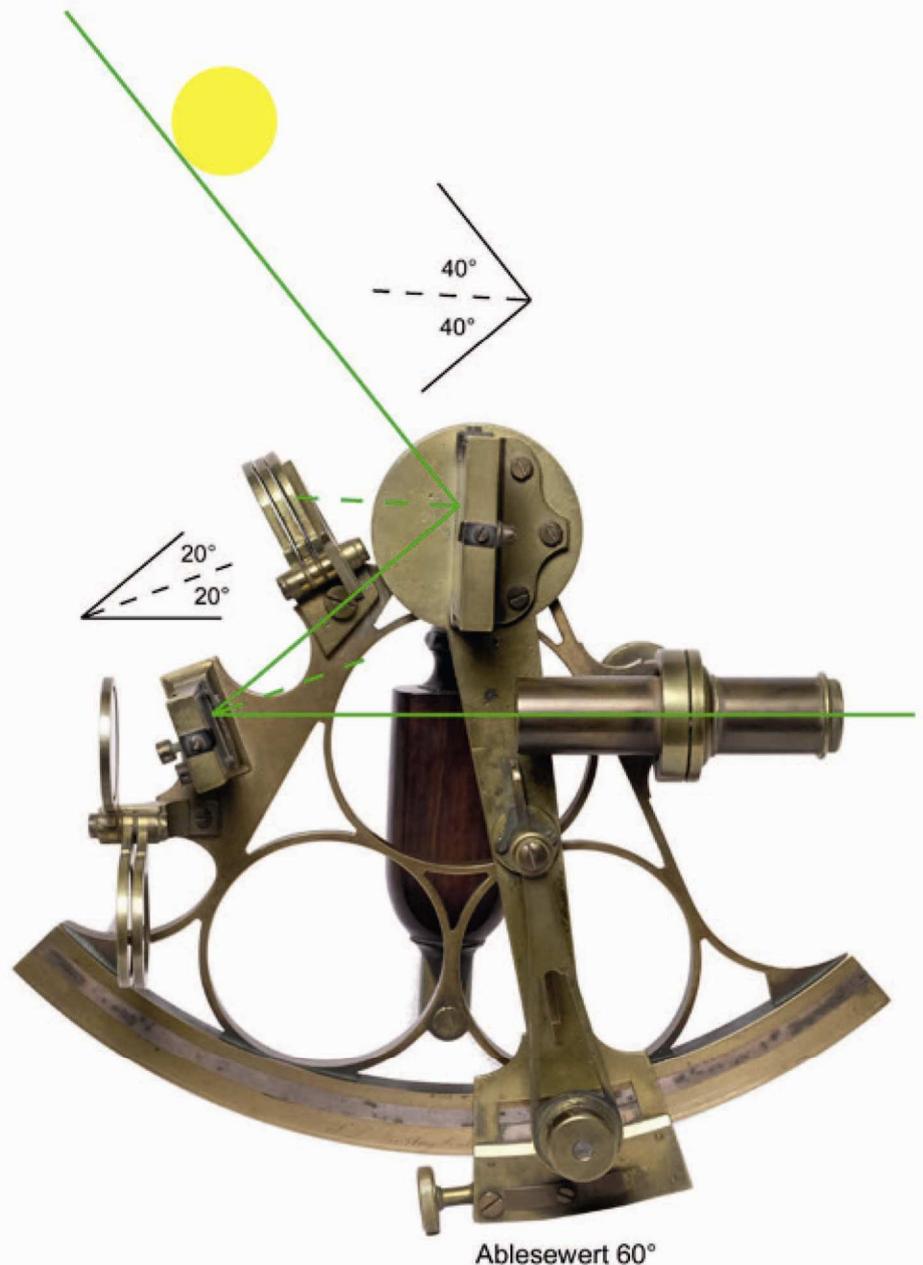


Abb. 29 Sextant von T. L. Ainsley, Cardiff, ca. 1860. Der Strahlengang ist für einen Winkel von 60° dargestellt

ben Zeit ein ähnliches Gerät in Amerika entwickelt hatte. Der Name bezeichnet die Skalengröße des Instruments, es war ein Achtel des Kreises, also 45°, der Messbereich und auch die Beschriftung auf der Alhidade somit aufgrund der Doppelreflexion 90°.

Der Oktant war der Vorläufer des heute noch gebräuchlichen Sextanten und im Wesentlichen mit ihm baugleich, nur dass die Skalengröße mit 60° den sechsten Teil des Kreises betrug, sodass der Messbereich 120° groß war.



Abb. 30 Fernrohr von Jesse Ramsden

Anfangs waren die Beobachtungsinstrumente reichlich groß, damit man überhaupt die Skalen eingravieren oder auftragen konnte. Dies änderte sich ab etwa 1770 mit der Einführung eines Instruments, das die Maßstäbe und Skalierungen vereinfacht übertragen konnte. Jesse Ramsden (1735-1800), ein englischer Optiker und Hersteller mathematischer und optischer Instrumente sowie von Sextanten und Fernrohren (Abb. 30), begann als Erster mit der Entwicklung solcher Geräte. 1774 baute er eine Maschine, die sich in der Praxis bewährte und von der auch Hadley bei der Entwicklung seines Oktanten profitierte. 1777 erhielt er darauf eine Geldzahlung durch den Board of Longitude. Im Gegenzug musste er bis zu zehn Kollegen in der Herstellung dieser Geräte unterweisen. Gegen Gebühren stellte er für Dritte die Skalen auf seiner Maschine her und kennzeichnete sie mit deren Kürzel.

Schnell hatte sich die Methode herumgesprochen, und zahlreiche Hersteller von Beobachtungsinstrumenten bauten ihre eigenen Maschinen zur Herstellung der Skalen, zum Teil mit entsprechenden Verbesserungen gegenüber den Ramsden-Geräten. Durch die Verwendung von präzisen Maschinen konnten die Oktanten und Sextanten fortan deutlich kleiner gebaut werden, weil die Skalen mit ausreichender Präzision hergestellt werden konn-

ten. Ramsden brachte seine Handwerker alle unter ein Dach in der Picadilly Factory in London unter. Man könnte diese serienweise Herstellung als frühe fabrikähnliche Produktion ansehen, auch wenn seine Handwerker alle spezialisiert waren.

Durch die Serienproduktion waren die Geräte bald in jeder Stadt und zu erschwinglichen Preise erhältlich. Jeder Marineoffizier, der etwas auf sich hielt, hatte schließlich sein persönliches Instrument.

Es ist ein wenig Ironie des Schicksals, dass ausgerechnet in den Jahren, in denen John Harrison seine Uhrenerfindungen mit Nachdruck vorantrieb, auch die Messgeräte für die astronomischen Standortbestimmungen verbessert wurden, was den Stand Harrisons bei der Längengradkommission nicht gerade förderte. Denn die Kommission war ausgesprochen angetan von der Erfindung des Oktanten und meinte, man könne die Mondstrecken jetzt viel genauer messen, wodurch das Längenproblem eigentlich gelöst sei.

17 Manchmal ist auch vom Headley-Quadranten die Rede ( $360/4 = 90^\circ$  Messbereich), im Grunde waren Quadranten aber einfache und schon sehr lange bekannte Viertelscheiben mit Skala und Lot zum Ablesen von Winkeln bis zu  $90^\circ$ , vgl. Abb. 46, im *Octagon Room* links am geöffneten Fenster.

# 6 Die Entscheidung

## 6.1 Drei Methoden unter Seebedingungen

1763 brach eine Expedition in Richtung Barbados auf. Maskelyne war bei dieser Fahrt als leitender Astronom anwesend. Auf der Fahrt war die Lunar-distanzmethode recht erfolgreich, Maskelyne notierte eine Abweichung von maximal  $0,5^\circ$ . Allerdings hatte die Methode neben der Notwendigkeit umfangreicher Tabellenwerke sowie komplizierter Berechnungen und Messungen einen weiteren Nachteil: Ein paar Tage vor und nach dem Neumond waren keine Messungen möglich, weil der Mond dann in Sonnennähe stand und kaum oder gar nicht zu sehen war.

Auch Irwins Marine-Chair nahm man mit und probierte ihn aus. Die Vorrichtung war letztlich aber doch nicht geeignet, denn selbst in ruhigem Wasser bewegten sich die Jupitermonde zu schnell, als dass man zuverlässige Messungen hätte vornehmen können. Allein eine einzige brauchbare Messung gelang mit dem Marine-Chair. Maskelyne fand diese Erfindung nutzlos; sie wurde nicht weiter verfolgt.

William Harrison vertrat erneut seinen Vater, der vielleicht auch schon etwas zermürbt von den Querelen mit der Kommission war, reiste getrennt von Maskelyne und verließ mit der H4 im Gepäck im Frühjahr 1764 London auf dem Weg zu den westindischen Inseln. Die Uhr funktionierte bestens und verfehle einen guten Eindruck beim Kapitän nicht. So war die Enttäuschung Harrisons groß, als er Mitte Mai auf Barbados an Land ging und ihm berichtet wurde, dass nicht er, sondern Maskelyne durch die Kommission als Kandidat für den Längengradpreis bestimmt worden sei. Dieser hatte ja nicht einmal eine eigene Idee beigesteuert, sondern nur Mayers Tabellen verwendet und allenfalls verbessert. Das Verhältnis zwischen Vater und Sohn Harrison einerseits und der Kommission mit

der astronomischen Gemeinschaft und Maskelyne als ihrem Repräsentanten andererseits war nun vollends zerrüttet.

So kehrten beide Kontrahenten auf getrennten Schiffen nach London zurück. Zu allem Überfluss für Harrison wurde Maskelyne auch noch als fünfter *Astronomer Royal* bestimmt, sodass er nunmehr kraft seines Amtes eines der Kommissionsmitglieder war.

Derweil empfahl die Kommission, dass Mayers Witwe (er selbst war inzwischen gestorben) 5000 Pfund des Preisgeldes erhalten solle. Ebenso bestätigte sie allerdings, dass Harrisons Uhr die Zeitbestimmung und somit auch die Bestimmung des Längengrades in den 1714 gesetzten Grenzen eingehalten habe. Der Gangfehler bei der Ankunft auf Barbados war gerade einmal 39,2 Sekunden oder 9,8 Meilen, bezogen auf die wochenlange Fahrt waren das sensationelle Werte! Andererseits führte die Kommission aus, dass die Methode im Ganzen noch zu wenig verständlich sei. Sie empfahl, dass Harrison 10.000 Pfund erhalten solle, wenn er das Prinzip seiner Uhr öffentlich demonstriere und offenlege. Weitere 10.000 Pfund abzüglich gezahlter Leistungen waren ausgesetzt, wenn er seine Methode so erklärte, dass ein anderer Uhrmacher die Uhr nachbauen könne, und wenn diese Nachbauten ihre Tauglichkeit nachgewiesen hätten.

## 6.2 Der Longitude Act von 1765

Harrison war sehr bestürzt, weil die Kommission erneut die Regeln im Nachhinein verschärft hatte. Sicher war hier der Einfluss Maskelynes spürbar, der von der Uhrenmethode wenig hielt. Schließlich kamen die neuen Vorschläge des Board of



Abb. 31 Royal Observatory in Greenwich

Longitude ins Parlament und wurden 1765 als Fortschreibung des *Longitude Act* von 1714 Gesetz. Allerdings kürzte man die Auszahlung für die Mondstanzmethode auf 3.000 Pfund, lobte aber zusätzliche 5.000 Pfund für denjenigen aus, der in der Lage war, Mayers Tafeln und Tabellen weiter zu verbessern. Gleichzeitig wurde die Kommission damit beauftragt, einen nautischen Almanach mit Tafeln und Tabellen zu publizieren.

Die astronomische Methode der Längengradbestimmung war, obwohl sie nicht ganz einfach war, die einzige Möglichkeit, den Längengrad 'wiederzufinden', wenn man ihn verloren hatte, zum Beispiel durch das Versagen einer Uhr. Und sie war auch geeignet zur Überprüfung der Uhren an Bord. Unter idealen Beobachtungskonditionen an Land war es eine durchaus genaue Methode. Daher legte der *Longitude Act* von 1765 fest, dass Mayers Mondtafeln für den generellen und praktischen Gebrauch in nautischen Büchern zusammenzufassen und die Tafeln jährlich und in Vorausberechnungen für die nächsten Jahre fortzuschreiben seien. Zudem sollten sie in gedruckter Form jedermann öffentlich zugänglich und zu kaufen sein.

Aber auch Hilfestellungen zur Benutzung von Uhren auf See waren in den neuen nautischen Büchern enthalten. Es gab Informationen, wie man

die örtliche Zeit nehmen, diese mit einer Borduhr vergleichen und so ihren täglichen Stand kontrollieren konnte. Gleichwohl hatte die Methode mit den Uhren einen gravierenden Nachteil, denn es gab bislang nur eine einzige funktionierende Uhr. Der Bau größerer Stückzahlen zu niedrigeren Kosten wurde als notwendig angesehen.

### 6.3 Die Reproduktionen der Harrison-Uhr

Der Kommission war wichtig, dass die Herstellungsmethode der H4 öffentlich erläutert werden und zu einem Nachbau durch andere Uhrmacher geeignet sein müsse. So fand im August 1765 in Harrisons Londoner Atelier eine sechstägige Sitzung statt, auf der er der Kommission unter Leitung von Maskelyne Rede und Antwort stand und die Funktionsweise und das Bauprinzip erläuterte. Eines der Kommissionsmitglieder war der Uhrmacher Larcum Kendall (1719-1790), der bei Jeffrys in die Lehre gegangen war und das Vertrauen Harrisons genoss. Harrison übergab schließlich gegen seinen Willen ein Exemplar der Uhr der Admirali-tät, und die Uhr wurde zu weiteren Überprüfungen nach Greenwich gebracht (Abb. 31). Von nun an waren die Sternwarten für die Überwachung und das Testen von Marineuhren zuständig.

Im Folgejahr wurde die H4 einer zehnmonatigen Überprüfung gegen den offiziellen Observatoriums-Regulator unterzogen. Die Uhr musste täglich aufgezogen werden, meist durch Maskelyne persönlich, immer in Anwesenheit eines Zeugen, der den zweiten Schlüssel für die Holzbox verwahrte. Die Ganggenauigkeit der H4 während dieser Zeit war leidlich. Verschiedene Einstellungen und Justierungen waren notwendig. So hatte Maskelyne erneut Zweifel, dass die Uhr tatsächlich seefähig sein könnte, zum Beispiel auf langen Reisen zu den Westindischen Inseln (Karibik). Manche meinten auch, die Uhr sei verhext oder Maskelyne habe die schlechten Ergebnisse der H4 durch Manipulation herbeigeführt. Aber er sah sie immerhin als brauchbare und wertvolle Erfindung an, auch wenn er meinte, dass sie allenfalls eine Ergänzung der Lunardistanz-Methode sei.

Um den Nachweis der Reproduzierbarkeit zu erbringen, nahm Kendall mit Einverständnis und nach den Plänen Harrisons einen Nachbau in Angriff. Die Kommission war aber an einer noch weiter verbreiteten Herstellung der Uhren interessiert.



Abb. 32 Die K2 von Larcum Kendall, 1772

So entschloss sich Maskelyne 1767, die Zeichnungen und Beschreibungen kurzerhand zu veröffentlichen, ein Affront gegen Harrison. 500 Exemplare wurden gedruckt und Übersetzungen ins Französische und Dänische angefertigt. Derweil stellte Kendall 1770 die exakte Kopie der Uhr Harrisons, später K1 genannt, für 450 Pfund fertig und präsentierte sie der Kommission. Gleichzeitig bot er an, anstelle eines Nachbaus eine eigenständige Uhr zu

bauen, die bei gleicher Qualität nur halb so teuer sei. Diese Uhr, später K2 genannt (Abb. 32), lieferte er zwei Jahre später für 200 Pfund aus. Das extrem komplizierte Remontoir hatte er zugunsten eines günstigeren Preises, aber zulasten der Ganggenauigkeit weggelassen.

Maskelyne schickte unabhängig von den Gesprächen mit Kendall dem jungen Londoner Uhrmacher John Arnold (1736-1799), den er für ein großes Talent hielt und der als Intellektueller beste Kontakte zur Oberschicht und Marine pflegte, eine Kopie der Harrison-Pläne. Arnold baute eine Uhr, die noch einige weitere Verbesserungen aufwies, die er schon zum Teil in Frankreich bei Abraham-



Abb. 33 John Arnolds  
„Marine-Timekeeper“, 1771



Abb. 34 Die H5 von Harrison, 1772



Abb. 35 Die K3 von Larcum Kendall, 1774

Louis Breguet gesehen hatte, und setzte, indem er auf einen Vorschlag Harrisons zu einem geschützteren Gehäuse für eine seegängige Uhr zurückgriff, das Werk in eine hölzerne Box statt in ein silbernes Gehäuse ein. Mit 63 Pfund war der Preis deutlich unter dem der zweiten Kendall-Uhr. Arnold verfehlte den Eindruck bei der Kommission nicht und erhielt 500 Pfund als Ansporn für seine weitere Arbeit.

Kurz später, 1774, brachte Kendall für 100 Pfund ein noch weiter vereinfachtes Modell heraus, heute unter der Bezeichnung K3 bekannt (Abb. 35). Es hatte jedoch enttäuschende Gangergebnisse. Die Idee, die Uhr in einer Holzbox zu schützen, hatte er vielleicht bei Arnold und mit ihm bei Harrison abgeschaut.

Maskelyne bestimmte, dass Arnolds Uhr (Abb. 33) zusammen mit der K1 von Kendall auf der zweiten Reise von James Cook in den Pazifik getestet werden sollte.

Man kann sagen, dass die Übernahme von Harrisons Ideen ein erster Fall von Industriespionage sein könnte, indem wesentliche Details an Dritte bekanntgegeben wurden, die das Objekt dann nachbauen und verbessern konnten. Harrison selber, in den späten Siebzigern seines Lebens, baute derweil selber noch eine weitere Uhr, die H5, die er 1771 fertigstellt (Abb. 34).

Im Januar 1772 hatte Harrison Gelegenheit, diese in König Georg III. privatem Observatorium in Kew testen zu lassen. Der König war begeistert und wird später mit dem Ausruf „By God, Harrison, I will see you righted!“ zitiert. Die Uhr ging bei den Tests hervorragend, über zehn Wochen hin verlor sie durchschnittlich nicht mehr als eine Sekunde in drei Tagen.

Harrison wandte sich daraufhin erneut an die Kommission und berichtete über den Ausgang der jüngsten Tests mit der H5. Man machte ihm jedoch klar, dass man keinen Anlass sehe, die beschlossene Vorgehensweise weiterer notwendiger Versuche auf See fallenzulassen. Erst als Georg III.

androhte, persönlich vor dem Parlament zu erscheinen, billigte man Harrison 1773, drei Jahre vor seinem Tod, weitere 8.750 Pfund zu. Gleichzeitig erreichte die Kommission Kendalls Angebot, seine dritte Uhr zur Verfügung zu stellen, und auch John Arnold bot zwei weitere Exemplare seiner Uhren zum Test an.

## 6.4 James Cook auf Testfahrt

Die drei Reisen von James Cook (1728-1779) in die südliche Hemisphäre und den Pazifik waren für Tests der Längengradbestimmung bestens geeignet. Auf der ersten Reise 1768-1771 mit der *Endeavour* beobachtete man den seltenen *Venus-Transit*, den Vorüberzug der Venus vor der Sonne<sup>18</sup> (Abb. 36), und nebenbei gab es eine geheime Order, nach einem südlichen Kontinent zu suchen. Die zweite Reise von 1772 bis 1775 mit der *Resolution* und der *Adventure* sollte noch einmal überprüfen, ob es den südlichen Kontinent gab. Die dritte Reise 1776 bis 1780, deren Ende Cook nicht mehr erlebte, sollte herausfinden, ob es eine Nordwestpassage nördlich des amerikanischen Kontinents gebe.

Auf der ersten Reise gelang es einem Navigator, der zufälligerweise auch John Harrison hieß, eine genaue Längengradbestimmung im Pazifik unter Zuhilfenahme des Oktanten und des *British Mariner Guide* vorzunehmen. Man maß die Winkelabstände zwischen Mond und Sonne und berechnete den Längengrad nach den Tabellen und Vorgaben von Maskelyne, die man freilich nicht verstand, sondern nur stur anwendete.

Die Uhren, die Cook bei seiner zweiten Reise mitführte, waren Kendalls K1 und drei Uhren von John Arnold. Letztere waren eigenständige Uhren mit Konstruktionselementen von Harrisons H4 und H5, allerdings in reduzierter und vereinfachter Form. Es gab aber auch etwas Neues: Auf der Grundlage von Harrisons Überlegungen setzte Arnold erstmalig seine Erfindung, die sog. Kompensationsunruh, ein.

Jeweils drei Personen besaßen die unterschiedlichen Schlüssel für die Kisten, in denen die Uhren gelagert waren. Der Bordastronom musste die Ganggenauigkeit der Uhren überprüfen und mit den Ergebnissen der Koppelnavigation, der Lunar-Abstände und anderer astronomischer Beobachtungen an Land vergleichen.

Die Uhr von Arnold funktionierte nicht so recht, manchmal vergaß man auch den täglichen Aufzug. Zwei andere Uhren Arnolds gaben ihren Dienst während der Reise auf<sup>19</sup>. Demgegenüber funktionierte Kendalls Uhr, die exakte Harrison-H4-Kopie, hervorragend. Als Cook auf dem Heimweg 1775 das Kap der guten Hoffnung passierte, schrieb er an den Sekretär der Admiralität, dass er inzwischen Verfechter der Uhrenmethode sei und sie allenfalls mit Mondbeobachtungen korrigiere. Wenig später vertraute Cook mehr auf die Uhr als auf das gewöhnliche Breitengrad-Segeln, das bis dahin noch vielfach üblich war. Mit den neuen Methoden korrigierte man inzwischen auch Seekarten, und man überprüfte die Genauigkeit der Mondabstanzmethode und der Uhrenmethode auch gegenseitig.

Als sich die dritte Reise Cooks 1779 dem Ende neigte, war die K1 zusehends schlechter gelaufen. 1786 konnte Kendall die K1 der Cook-Reise jedoch reparieren, und er übergab sie einem Schiffskommandanten, der noch weitere Testreisen machte. Auch Kendalls K2 wurde auf diesen Reisen getestet, jene Uhr, die später ihren Dienst eine Zeit lang auch auf der berühmten *Bounty* tat.

1791 gelangten die K3 von Kendall und eine weitere Uhr von Arnold auf Schiffe, die die Nordwestküste Amerikas vermessen sollten. Der Kapitän dieser Expedition war allerdings ein Befürworter der Mondabstanzmethode und nahm nicht weniger als 12 Sextanten mit, die er bei dieser Reise testete.

Man erkennt, dass es die neue Uhrenmethode nicht leicht hatte, als vollwertige Längenmethode gegenüber den astronomischen Methoden akzeptiert zu werden. Immerhin waren seit der Entwicklung der H1 durch Harrison inzwischen über 60 Jahre vergangen.



Abb. 36 Der Venus-Transit am 5. Juni 2012, aufgenommen von der ISS-Raumstation

## 6.5 Die Uhrenmethode zur Längenbestimmung setzt sich durch

Die Zahl der Befürworter der Uhren als nautische Instrumente wuchs trotz aller konservativer Bedenken Zug um Zug, und es wurde notwendig, die Produktion auch in größeren Stückzahlen und zu bezahlbaren Preisen zu ermöglichen. Harrison hatte gezeigt, dass er in der Lage war, eine geniale und außergewöhnlich komplexe und gleichermaßen präzise Uhr zu bauen, aber die Kopie durch fremde Uhrmacher erschien kaum möglich, schon gar nicht in großer Stückzahl.

In Paris stellte der Uhrmacher Pierre Le Roy 1765 seinen *montre marine* vor, den viele mit ihrer sog. freien Chronometerhemmung und der Kompensationsunruh als Durchbruch zum modernen Chronometer sehen (Lühning: 165). Einer derjenigen, die sich auf die Suche nach einer einfacheren Herstellung der Zeitmesser machten, war Thomas Mudge (1715-1794). Zwei Jahre vor Harrisons Tod stellte er 1774 seine erste Marineuhr vor. 1780 wurden zwei Uhren von Mudge in Greenwich getestet, aber sie waren nicht gut genug, um an den

ausgelobten Preisgeldern teilzuhaben oder für weitere Versuche ausgewählt zu werden. Letztendlich hatte sich Mudgetts Version immer noch als zu komplex herausgestellt und war für eine Fabrikation in größeren Stückzahlen nicht geeignet.

Demgegenüber entwickelte John Arnold zusammen mit Thomas Earnshaw (1749-1829)<sup>20</sup> eine Uhr, die wesentliche Elemente des Designs von Harrison und Kendall übernahm, jedoch immer weitere Vereinfachungen und Verbesserungen enthielt (Abb. 37). Earnshaw kam, anders als Arnold, aus kleinen Verhältnissen und wurde als einfacher Handwerker unterschätzt, baute am Ende aber die besseren Uhren. Beide entwarfen die Marinechronometer in der Art, wie wir sie heute noch kennen. Der Auszug aus dem Gangschein des Gorch-Fock-Bordchronometers von 1959 zeigt, dass solche Uhren damals wie heute nach gleichen Prüfkriterien in den Observatorien geprüft wurden und die Anforderungen in ihren engen Grenzen erfüllten (Abb. 38, 39).

Arnold hatte seinerzeit einen guten Kontakt zur East India Company, deren Fahrtgebiet vor allem die Malaysische Inselgruppe zwischen Indien und dem Pazifik nördlich Australiens war, und die Gesellschaft kaufte einige seiner Uhren und testete sie auf ihren Schiffen. Arnold notierte, dass seine Kontakte zur East India Company erstmals den Namen ‚Chronometer‘ für seine Uhren verwendeten. Seither ist diese Bezeichnung für Uhren, die eine bestimmte Norm, heute die sog. Chronometernorm, erfüllen, gebräuchlich.

Im Gegensatz zu Arnold, der immer neue Versuche und Experimente zur Verbesserung seiner Uhren machte, legte sich Earnshaw bald auf ein Design fest, das später Standard für alle Marinechronometer sein sollte. Er vereinfachte Harrisons Entwurf auf nur noch 128 Teile! 1789 beeindruckte seine Uhr den Astronomen Maskelyne derart, dass dieser Earnshaws Idee förderte und etliche der Uhren auf Versuchsreisen und Expeditionen schickte. Earnshaw warb leidenschaftlich für seine Uhr und



Abb. 37 Schiffschronometer von Thomas Earnshaw

dafür, dass er doch vom Board of Longitude einen Geldpreis erhalten müsse.

Schließlich wurden auf Initiative des Boards weitere Uhren von Earnshaw und Arnold jr. hergestellt. Man schrieb eine Art Bauanleitung nieder und machte sie anderen bekannten Uhrmachern zugänglich. Earnshaws Uhren wurden in großer Stückzahl produziert, Arnold dagegen hatte zusammen mit einigen anderen Uhrmachern auf feine Einzelstücke gesetzt, die alle in Londoner Werkstätten gebaut wurden.

Insgesamt bauten die beiden Uhrmacher mehr als 2.000 Uhren, fast die Hälfte des britischen Bedarfs. Im Vergleich dazu nahm sich die Zahl der in Frankreich produzierten Zeitmesser mit gerade einmal wenigen hundert Exemplaren gering aus. Arnold und Earnshaw erhielten 1804 für ihre Verdienste gemeinsam den Längenpreis, den letzten, den die Kommission vergab, bevor der Board of Longitude 1828 aufgelöst wurde.

Die Observatorien hatten sich inzwischen neben ihrer Funktion als Herausgeber der nautischen Bücher und Tabellen zu Prüfstellen für alles nautische



Abb. 38 Schiffschronometer des deutschen Marine-Segelschulschiffs *Gorch Fock*, um 1960

Gerät wie Kompass, Sextanten usw. entwickelt, und auch die regelmäßige Uhrenkontrolle und –regulierung oblag ihnen. 1818 schlug Captain Robert Wauchope (1788-1862) vor, dass man für die Kontrolle und das Regulieren der Bordchronometer nicht nur unpraktische astronomische Beobachtungen vornehmen sollte, sondern dass an bestimmten Punkten an Land (zum Beispiel in Sichtweite der Häfen) sog. *Time Balls* installiert werden könnten. So bestünde auch von Schiffen aus die Möglichkeit, die Uhren zu kontrollieren, ohne sie von Bord bringen zu müssen. Zehn Jahre harter Lobbyarbeit dauerte es, bis schließlich der erste dieser ‚Zeitbälle‘ im Hafen von Portsmouth installiert wurde. In der Regel wurde das Signal um 13 Uhr Greenwich-Zeit bedient, fünf Minuten vorher auf halbe Höhe gezogen und kurz vor der festgelegten Signalzeit

Letzte Reinigung: \_\_\_\_\_ Vorgem. Empf.:

Chronometer: 6. N. 6588 geliefert an: \_\_\_\_\_

	Stand	Gang	Bemerkungen		Stand	Gang
15. 8. 57	- 6. 18. 50	+ 6. 30	S: 0.08	Eing.: 10. 4. 59	Fertige Prüfung	
17. 8. 57	- 6. 19. 00	+ 6. 30	S: 0.18	überholen	Gang u. Stand	
18. 8. 57	- 6. 19. 20	+ 6. 30	S: 0.35	erhalten von:		
19. 8. 57	- 6. 19. 30	+ 6. 30	T: 6.62	Reed.	Gorch Fock	
20. 8. 57	- 6. 19. 40	+ 6. 30	W: - 6.62	Schiff:		
21. 8. 57	- 6. 19. 50	+ 6. 30	K: - 0.30	Auftr.		
22. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30	C: 0.59			
23. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30	N:			
24. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30	Z:			
25. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30	Z:			
26. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30	Dre: 25. Aug. 1959			
27. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30	Größe: 1041			
28. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30	bestanden			
29. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
30. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
31. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
32. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
33. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
34. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
35. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
36. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
37. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
38. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
39. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
40. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
41. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
42. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
43. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
44. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
45. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
46. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
47. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
48. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
49. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
50. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
51. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
52. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
53. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
54. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
55. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
56. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
57. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
58. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
59. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
60. 8. 57	- 6. 19. 55	+ 6. 30				
Stand:						

Abb. 39 Gangschein der Chronometerprüfung des Deutschen Hydrographischen Instituts von 1959

ganz hochgezogen, sodass man sich auf das Signal rechtzeitig einstellen konnte.

1833 folgte der Zeitball in Greenwich (Abb. 31), gut für die Schiffe auf der Themse sichtbar. Noch heute wird das Signal täglich um 13 Uhr gesetzt, jedoch eher als Attraktion für die Besucher. Zwischen 1830 und 1840 gab es weitere Zeitbälle auf Mauritius, in St. Helena, am Kap der Guten Hoffnung, in Madras und Bombay. Die genaue Zeit für die Ball-Signale wurde über optische Signale nahegelegener Observatorien oder über einen Regulator im gleichen Gebäude ermittelt. Auf diese Weise waren die Chronometer an vielen Orten der Welt sehr gut zu regulieren und gaben eine exakte Referenzzeit.

- 18 Die Venus schiebt sich zwischen Sonne und Erde und bewirkt eine partielle Sonnenfinsternis, die Venus ist als schwarzer Punkt zu sehen, bei guten Bedingungen sogar ohne Teleskop. Dieser sog. Venustransit ist sehr selten, nach 1769 war er in den Jahren 1874, 1882, 2004 und 2012 zu sehen. Der nächste Durchgang ist 2117. Aufgrund der unterschiedlich geneigten Bahnen von Erde und Venus gibt es abwechselnd kurze und lange Wiederholungsintervalle.
- 19 Heffels 2011 erläutert, dass Arnolds Uhren gegenüber denen von Earnshaw mit ähnlicher Hemmungskonstruktion einen

Konstruktionsfehler hatten, sodass der Ausfall der Uhren nach heutiger Einschätzung nicht verwunderlich sei.

- 20 George Graham, John Arnold und Thomas Earnshaw – unter diesen klingvollen Namen werden auch heute noch oder wieder Uhren angeboten, und es entsteht schnell der Eindruck, dass sich die Familienunternehmen bis heute erhalten hätten. Meist werden in solchen Fällen die Markenrechte gekauft und ganz neue Firmen gegründet, die außer dem Namen nichts mit dem einstigen Gründer der Marke zu tun haben. Dennoch können solche Uhren natürlich durchaus qualitativ sein.

## 7 300 Jahre *Longitude Act*

1775 kehrte Captain James Cook von seiner zweiten Südseereise zurück. In seinem Tagebuch hatte er seine Feststellung notiert, dass ein Fehler bei der Bestimmung des Längengrades nicht groß sein könne, wenn man eine Uhr wie die Kendalls K1, einen „nie versagenden Führer“, an Bord habe. Da die H4 aufgrund der Tests in London nicht auf die Reise gehen konnte, sondern nur die exakte Kopie der K1, war Harrison natürlich enttäuscht.

Dennoch sollte er acht Monate vor seinem Tod die Genugtuung verspürt haben, dass sich seine Idee einer seefähigen Uhr mit den Jahren immer mehr durchgesetzt hatte, und zwar auch bei den Astronomen, die so lange wie möglich an ihren Methoden der Mondstrecken oder Jupitermonde festgehalten hatten. Harrison verstarb 1783 als eigenbrötlerischer und zuweilen etwas starrsinniger Tüftler und Erfinder und als wohlhabender Mann. Sein Verdienst war es, mit dem Bau seiner Zeitmesser bewiesen zu haben, dass Uhren den täglichen Unbilden von Wetter und Klima auf einem weltweit fahrenden Schiff standhalten konnten und auch unter ungünstigsten Bedingungen die tägliche Gangabweichung in einem Bereich von nur wenigen Sekunden gehalten werden konnte.

1801 machte sich erneut eine Expedition in die Arktis auf, um die Nordwestpassage zu finden, von der man sich schnellere Seewege versprach. John Franklin (1786-1847) nahm auf der *Trent* an dieser

Expedition in Richtung Nordpol teil. Modernste Uhren, Instrumente und Jahrbücher wurden mitgeführt, und man unternahm etliche Experimente und Forschungen in allen möglichen wissenschaftlichen Disziplinen. Die große Zeit der Polarexpeditionen begann. Während einer Forschungsfahrt 1829-1833 wurde durch Captain Clark Ross der magnetische Nordpol lokalisiert. John Franklin dagegen kam bei einer weiteren Expedition 1845 mit den Schiffen *Terror* und *Erebus* mit seiner kompletten 129-köpfigen Besatzung bei der Erforschung des Magnetismus und der Suche nach der Nordwestpassage ums Leben<sup>21</sup>.

1831 fuhr die *Beagle*, das wohl bekannteste Forschungsschiff des 19. Jh, auf ihrer zweiten Forschungs-

fahrt zur Vermessung der Kontinente in die Gewässer von Patagonien und Kap Horn. An Bord war kein Geringerer als Charles Darwin (1809-1882), der als Geologe und Naturforscher mitfuhr. Nicht weniger als 22 Chronometer, einige gebaut von John Arnolds Sohn John Roger, führte die *Beagle* mit, ein Zeichen der Wichtigkeit solcher Vermessungsexpeditionen.

Bei einer Antarktisexpedition von Ernest Shackleton (1874-1922) wurde sein Schiff *Endurance* 1916 vom Packeis zerstört, und er segelte mit einem umgebauten Rettungsboot *James Caird* zu einer 800 Seemeilen entfernten Walfangstation<sup>22</sup>, holte dort



Abb. 40 Greenwich, Royal Observatory, Meridian-Skulptur

Hilfe und konnte so seine gesamte Mannschaft retten. An Bord war ein Schiffschronometer des Londoner Uhrmachers Thomas Mercer (1822-1900).

In jenen Jahren wurden durch verbesserte und vereinfachte Fertigungsmethoden Hunderte von Schiffschronometern gebaut, die gegenüber dem Preis der K1 mit 500 Pfund jetzt gerade mal 70 Pfund kosteten, sodass zur Mitte des 19. Jh jedes Schiff der Royal Navy mit wenigstens einem Chronometer ausgestattet war.

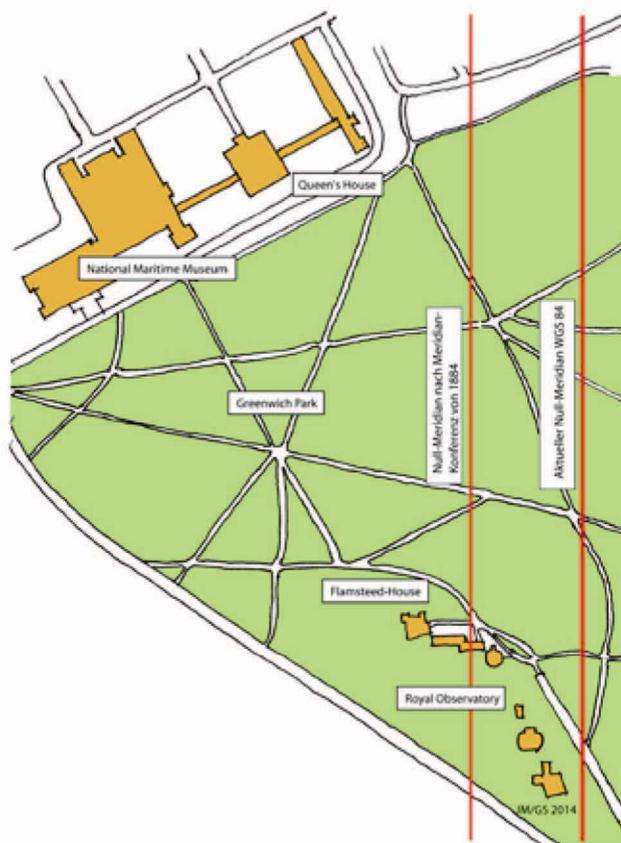


Abb. 41 Greenwich Park, Lage des historischen und des aktuellen Null-Meridians

Die Bestimmung des Längengrades war jetzt mit einigermaßen einfachen und preiswerten Mitteln möglich, sodass es konsequent war, auch den Null-Meridian für alle Länder einheitlich zu definieren. 1884 tagte eine internationale Konferenz, auf der der Null-Meridian als derjenige bestimmt wurde, der genau durch die Sternwarte von Greenwich verläuft (Abb. 40). Heute gilt der Standard WGS 84 (World Geodetic System 1984), der nicht mehr an die Erdoberfläche gebunden ist. Die Breiten- und Längengrade und die Pole schweben vielmehr wie ein virtuelles Netz über der Erdoberfläche. Auf diese Weise bleibt das System trotz der Einflüsse von Gezeitenkräften oder Kontinentalverschiebungen rechnerisch immer an der gleichen Stelle. Der tatsächliche Null-Meridian liegt daher heute etwa 100 Meter östlich der Sternwarte, mitten im Greenwich-Park (Abb. 41).

Natürlich hat sich in der praktischen Seefahrt einiges verändert, zB gab es seit Beginn des 20. Jh die Aussendung von Zeitzeichen über Funk, später elektrische und elektronische Borduhren. Inzwi-

sehen gibt es das *Global Positioning System* (GPS), das – nach wie vor zeitgestützt – mit Präzision im Zentimeterbereich aus der Navigation nicht mehr wegzudenken ist.

In der Raumfahrt dagegen zählt man nach wie vor auf mechanische Uhren mit Handaufzug. So ist bis heute nur eine einzige Uhr durch die NASA für den Gebrauch außerhalb der Raumfähren oder Raumstationen zugelassen, die *Omega Speedmaster Professional* (Abb. 42, 43). Sie geht auf Entwicklungen im Jahre 1942 zurück, 1962 wählte

die Raumfahrtbehörde sie aus mehreren getesteten Fabrikaten zur offiziellen Ausrüstung ihrer Astronauten aus. 1969 war eine *Speedmaster* auf dem Mond, und noch heute wird die Uhr bei Arbeiten außerhalb geschützter Raumfähren benutzt – und ist auch als ganz normale Armbanduhr mit Chronographenfunktion erhältlich. Design und Technik haben sich nur wenig verändert – über 50 Jahre ist die Uhr nahezu gleich geblieben und so ein Designklassiker unserer Tage.

Weiterhin brachte Omega 1974 eine Uhr auf den Markt, die als erste Armbanduhr die Qualifizierung *Marinechronometer* erhielt (Abb. 44). Sie hat anstelle einer Unruhe einen mit 2,4 Megahertz Frequenz schwingenden Quarzkristall<sup>23</sup>. Diese Uhr war und ist bisher in ihrer Gangpräzision unübertroffen, wenn man von Funkuhren absieht<sup>24</sup>. Das *Marinechronometer* läuft mit einer monatlichen Gangabweichung von maximal einer Sekunde. Nur 10.000 Uhren dieses Typs wurden hergestellt. Der bekannte Meeresforscher Jacques Cousteau trug eine solche Uhr auf seinen Forschungsfahrten.



Abb. 42 + 43 Omega Speedmaster Professional, die sog. „Moonwatch“; 1996. Mechanisches Handaufzugwerk Kal. 1863

Auch auf dem Segelschulschiff *Gorch Fock* der deutschen Bundesmarine tat ab Indienststellung 1958 viele Jahrzehnte lang ein mechanisches Schiffschronometer seinen Dienst. Die regelmäßige Gangkontrolle wurde, wie bei den Uhren zur Zeit Harrisons oder Arnolds, von Hand auf den Gangscheinen dokumentiert (Abb. 38, 39).

300 Jahre nach Erlass des *Longitude Act* hat das Schiffschronometer zu Zeiten von GPS und weiterer Navigationshilfen in der See- und Raumfahrt vielleicht nicht mehr die Bedeutung wie zu jener Zeit, aber es ist als Ersatzsystem bei Ausfall von elektronischen Instrumenten oder der Stromversorgung durchaus noch in Gebrauch. Nicht unerwähnt bleiben soll auch, dass die mechanischen Uhren in den letzten Jahrzehnten mit ihren ästhetisch gestalteten Werken und ihrer feinmechanischen Präzision eine Renaissance erlebt haben, die man angesichts viel genauer gehenden Quarzuhren nicht für möglich gehalten hätte. So hat John Harrison mit seinen Ideen eine technische Entwicklung eingeleitet, die auch heute noch nichts von ihrer Attraktivität und ihrem Gebrauchsnutzen eingebüßt hat.



Abb. 44 Omega Marinechronometer, Quartzwerk, Kal.1516

- 21 2014 wurde berichtet, dass nach jahrzehntelanger vergeblicher Suche eines der Schiffswracks in der *Victoria Strait* geortet worden sei. Die genauen Umstände, wie Franklin und seine Mannschaft zu Tode kamen, sind aber weiter ungeklärt.
- 22 Arved Fuchs hat im Jahr 2000 mit der nachgebauten *James Caird II* die Fahrt Shackletons ein zweites Mal unternommen.

- 23 Zum Vergleich: Harrisons H5 schlug mit einer Frequenz von fünf Hertz.
- 24 Funkuhren sind letztlich auch nur normale Quarzuhren, die sich jedoch in regelmäßigen Abständen mithilfe empfangener Zeitsignale selbst justieren.

## English abstract

In autumn of 1707 a fleet of 21 British ships was on return voyage from hostilities with the French off Toulon in the Mediterranean. The officers in command imagined themselves in safe waters near the French Ile d'Ouessant in Brittany, but in fact the fleet was 40 sea miles further to the west and heading under full sail for the Isles of Scilly southwest of Great Britain. Four ships came to grief on the rocks and sank, with a loss of more than 1500 lives. The cause of the disaster was clear enough: the navigation was wrong. The last known position had been Gibraltar; from there navigation had been by so-called dead reckoning. Using compass and log, the navigator determined course and speed and calculated the vessel's probable position during the voyage. This was rarely a reliable method out of sight of land, with errors of up to 75 sea miles.

In order to determine a vessel's position out of sight of land, one must know the ship's exact latitude and longitude. Calculating geographical latitude was not such a big problem. Using a crossstaff or backstaff, later a sextant, the navigator could measure the angle between the horizon and the North Star or the sun and calculate the latitude with the help of a few simple formulas.

Determining longitude, on the other hand, was tricky: apart from the exact time, which could be established at noon and 'conserved' with a hourglass until the next day, one needed the time for a point of reference of known longitude. If noon was known on board ship and it was also known (for instance) that noon had been two hours earlier at the point of reference, it was possible to calculate longitude from the time difference. The earth revolves 360 degrees in 24 hours, i.e., 15 degrees longitude per hour. If noon on board ship was two hours later than at the point of reference, the ves-

sel was 30 degrees west of that point. There were other ways to determine longitude, but they functioned basically only on land and not on ships tossing on the high seas.

The tragic event on the rocks of the Scilly isles motivated His Majesty's Government to promulgate the *Longitude Act* in 1714, a law promising lucrative rewards for anyone able to solve the so-called longitude problem for ships at sea.

For ascertaining the time of reference, various ideas were in vogue. A simple clock which, at the beginning of the journey, would have been set according to the place of reference, would suggest itself in the first place. But existing clocks and watches were useless on a pitching and rolling ship, since they were much too unexact; incorrectnesses up to 20 minutes and more a day were by no means uncommon.

A further method of timing was by observing the eclipses of the four big satellites of Jupiter, which Galileo had discovered. He counted around 1000 events per day, amounting to around three a day. On the average, once a day one of the moons disappeared behind its planet and another one turned up out of its shadow – with a quasi astronomical regularity. But with a lot of unwieldy telescopes and a heap of necessary tables and calculations this method was just as unsuited for practical purposes as were the clocks – quite apart from the necessity of a cloudless sky during observations.

Apart from various other odd ideas, the method of measuring Lunar distances was to be taken seriously. The moon moves very rapidly, on the background of the sky with the fixed stars, from West to East – roughly  $0,5^\circ$  per hour,  $13^\circ$  per day or in a little over 27 days once around the Earth. Each an-

gle between the moon and a star occurs only once a month in exactly that constellation and can be watched from any place on Earth – in case of good visibility – in exactly the same way. If the constellation changes, time has changed; the place of observation is irrelevant. If one listed the data for a place of reference in tables and observed the constellation at the place of the ship (with the time at the moment of observation known), one could calculate the longitude by means of the temporal difference. The problem of this method consisted in practicability: in the production of tables and lists with a vast number of data and in the difficult observations. In addition, the moon by no means follows a regular course, but – difficult to understand at the time – is influenced by powers of gravitation, originating by movements of Sun and Earth.

Observatories were founded in many places in Europe, including the Royal Observatory in Greenwich, where astronomers and mathematicians worked observing the moon and stars and produced large quantities of tables and calculations which were collected in nautical almanacs.

In the midst of the astronomers' arcane efforts a London carpenter and clockmaker named John Harrison proposed a solution to the longitude problem requiring only a seaworthy timekeeper. He first heard about the Longitude Prize in 1726; in 1735 he presented his design H1 to the Board of Longitude, which assessed proposed solutions to the problem. He experimented with new ideas 24 more years and invented features which made his timekeeper, now known as a chronometer, largely immune to temperature changes and constant motion. He also developed a special winding system to guarantee the uninterrupted functioning of his chronometer.

The astronomers made ever-increasing demands on Harrison, perhaps not wanting to admit that the solution had been found by a simple craftsman and not by learned astronomers and mathematicians.

But Harrison was not to be deterred. His chronometer H4 fulfilled the criteria of the Longitude Act on a test voyage to the West Indies. Nevertheless, his astronomical nemesis Nevil Maskelyne induced Parliament in 1765 to renew the Longitude Act with stricter criteria. For example, H4 had to be constructed so that it could be built by other clockmakers. Harrison agreed to let a friend, the clockmaker Larcum Kendall, make an exact copy of his chronometer, the K1. James Cook took along K1 on his second voyage of exploration to the South Seas and declared on his return in 1775 that he had become an adherent of the chronometer method and thought that the lunar method might be used only to confirm it.

The first chronometers were priceless instruments requiring months of painstaking assembly, but Harrison's successors simplified the technology and, without sacrificing quality, produced affordable chronometers that became standard seafaring equipment specifically for the determination of longitude.

The lunar method and particularly that applied to the Jupiter satellites were also improved and came to be a worthy competitor of the chronometer method – but only on land. Long telescopes, poor visibility for the observation of moon and stars, complex tables and complicated calculations made astronomical methods unsuitable for use at sea.

Thus a carpenter and inventor from London is to be thanked for the revolution in navigation in the 18<sup>th</sup> century. Until the invention of radio timekeeping and, most recently, GPS navigation, ship's chronometers remained the irreplaceable navigation instruments in international seafaring.

## Literatur

- Borlenghi, Carlo; Gianni Gini. 2012. *Navigation durch die Jahrhunderte*. Bielefeld: Delius Klasing.
- Dunn, Richard; Rebekah Higgitt. 2014. *Finding Longitude*. Glasgow: HarperCollins [Publishers].
- Fuchs, Arved. 2000. *Im Schatten des Pols*. Bielefeld: Delius Klasing.
- Gould, Rupert Thomas. <sup>4</sup>1973 [<sup>1</sup>1923]. *The Marine Chronometer. Its History and Development*. London: Potter.
- Heffels, Hauke. 2011. *Uhren mit Remontoir und constant force escapements*. [Unveröffentlichtes Manuskript.]
- Krause, Stefan. 2013. <http://www.mondfinsternis.net/geschichte.htm>. [Mondfinsternis.]
- Lühning, Felix. 2010. *Längengrad – Kritische Betrachtung eines Bestsellers*. In: Beiträge zur Astronomiegeschichte, Bd. 10 [2010]. Hg. Wolfgang R. Dick, Hilmar W. Duerbeck, Jürgen Hamel. Frankfurt: Harri Deutsch.
- Muser, Stefan. Ohne Jahr. [http://www.uhren-muser.de/documents/Huygens\\_BMP2\\_D.pdf](http://www.uhren-muser.de/documents/Huygens_BMP2_D.pdf). [Unlängst entdeckt: Huygens' Längengraduhr mit perfekter Unruh „BMP2“]
- N.N. *Sanduhr*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Sanduhr>. [Geschichte der Sanduhren und Stundengläser.]
- Reymondin, Charles-André et. al. 2001. *Theorie der Uhrmacherei*. Hg. Fédération des Ecoles Techniques, Le Sentier, Schweiz.
- Schrimpf, Andreas et. al. *Monddistanzen*. <http://www.parallaxe-sterzeit.de/sterzeit/sterbedeckungen/monddistanzen>
- Sobel, Dava. <sup>3</sup>1998. *Längengrad*. Berlin: Berlin [Verlag].
- Standop, Gerhard. 2011. *The Renaissance of the J Class Yachts*. Wuppertal: KSP-Verlag.
- Standop, Gerhard. 2014. *Die International Rule und die 12-mR-Jachten*. [Broschüre]
- Umland, Henning. 2011 (<sup>1</sup>1997). *A Short Guide to Celestial Navigation*. [<http://www.celnav.de/page2.htm>]
- Wesener, Michael. <sup>5</sup>1992. *Führerschein C für Seefahrt und Sporthochseeschifferzeugnis*. Bielefeld: Delius Klasing.

## Abbildungsverzeichnis

Joshua Bury, NASA: 6. Cambridge University Library: 28. Gridge, Wikimedia Commons: 34. Hinode Mission, NASA: 12. E. Karkoschka, NASA, ESA: 17. Martin Minder: Titelseite (2), 29, 30. Janine Müller: 2, 18, 29, 41. NASA: 36. National Maritime Museum, Greenwich, London (NMM): 1, 8, 9, 21, 23-26, 32, 35, 37, 45, 46. John Spencer, Lowell Observatory, NASA: 14. Gerhard Standop: Titelseite (2), 5, 7, 15, 16, 20, 27, 31, 40-44. Martina Standop: 3. The Royal Society, London: 33.

### Abbildungen auf der letzten Umschlagseite

Abb. 45 Die H1 von Harrison, 1735

Abb. 46 Der Octagon Room im Observatorium in Greenwich. Links am Fenster ein Quadrant, in der Mitte in der Wand drei Regulator-Zifferblätter, rechts ein Beobachter mit Fernrohr. Frances Plate, ca. 1676

