

## Zur Geschichte der Ortsbestimmung auf See

[Gekürzte Version des am 30.4.2021 auf dem V. Jost-Bürgi-Symposium gehaltenen Vortrags]

Navigation ist die Beantwortung zweier Fragen: Wo befinde ich mich? Wo ist mein Ziel? Wer sich in früheren Jahrhunderten auf die See hinauswagte, tat gut daran, sich in Sichtweite der Küste zu halten. Über lange Zeiträume erfolgte die Schifffahrt allein nach lokaler Kenntnis der Küstenlinie, Wind- und Meeresströmungen. Seit dem ausgehenden 12. Jahrhundert fand in Nordeuropa jedoch ein grundsätzlicher Wandel der Seeschifffahrt statt, der seine Ursache in im zunehmenden städtischen Handel mit seinen gesteigerten Bedürfnissen und Absatzmöglichkeiten hat. Die Rentabilität des Transports von Massengütern hing stark von der Schiffsgröße ab, und ausgehend von lokalen Boots- und Schiffbautraditionen entstanden Großschiffstypen, wie Kogge und Holk. Konnte man sich mit den kleinen Wasserfahrzeugen des frühen Mittelalters tagsüber im Schutz der Küste bewegen und diese nachts auf den Strand ziehen, bzw. dicht unter Land vor Anker gehen, war dies mit Großschiffen nicht mehr möglich. Deren Tiefgang und veränderten Segeleigenschaften geboten einen größeren Abstand zur Küste zu halten. Der Küstenverlauf mit unsicheren Wassertiefen und die – im Gegensatz zum Mittelmeer – starken Gezeitenströme erforderten eine ständige und hinreichend genaue Positionsbestimmung. Dabei waren Erfahrung und Ortskenntnis des Schiffers die Grundvoraussetzungen. Zur Ansteuerung von Häfen, engen Fahrrinnen usw. bediente man sich eines Lotsen. Ab dem 14. Jahrhundert treten neben die mündliche Tradierung auch schriftliche Segelanweisungen, die jedoch die lokalen Kenntnisse der Lotsen nicht zu ersetzen vermochten. Die frühesten dieser Segelanweisungen sind im Mittelmeerraum entstanden, in Nordwesteuropa sind sie erst im 15. Jahrhundert nachweisbar. Am umfassendsten informiert das etwa 1469/73 entstandene *Seebuch* in niederdeutscher Sprache über Gezeiten, Ansteuerung, Kurse, Tiefen, Grundbeschaffenheit des Seegebietes zwischen Gibraltar, der nördlichen Ostsee, Südnorwegen und der Westküste Englands. Zwischen 1502 und 1510 erschien in Rouen die erste gedruckte Segelanweisung, der *Routier de la Mer*, gefolgt von dem ab 1520 in zahlreichen Auflagen bis 1643 gedruckten *Grand Routtier* des Pierre Garcie.

Zunächst schätzte man die Schiffsgeschwindigkeit (das Log mit Leine und Sanduhr wurde erst 1574 von William Bourne beschrieben), und bei der sogenannten „Gissung“ (von englisch *to guess*, schätzen) spielte die Erfahrung (etwa Wasserfarbe, Strömung, Dünung, das Auftreten bestimmter Fisch- oder Vogelarten) eine wichtige Rolle. Das Lot diente als wichtigstes nautisches Hilfsmittel in relativ flachen Seegebieten mit unterschiedlichen Bodenarten zur Ermittlung der Wassertiefe, wie auch der Orientierung:

Die mit Talg oder Wachs gefüllte Aushöhlung an der Lotspitze ermöglichte es, Bodenproben zu nehmen, und mit den Beschreibungen der Segelanweisungen den Schiffsort zu bestimmen.

Im Laufe des 12. Jahrhunderts trat der Kompaß als nautisches Hilfsmittel hinzu. Damit war eine Richtungsbestimmung auch nachts und bei schlechtem Wetter möglich. Üblicherweise wird China als das Land angesehen, in welchem der Kompaß erfunden worden ist, und dessen Gebrauch ist dort zunächst in der Geomantik überliefert. Die Transmission der Kenntnisse über Magnetismus und den Kompaß scheint vor allem in der Astronomie und Landvermessung stattgefunden zu haben (wobei die Anwendung des Kompasses in der Seefahrt eine eigenständige Entwicklung war), und neuere Forschungen legen eher eine unabhängige europäische Entdeckung nahe. Ein genaues Datum der Erfindung des Schiffskompasses ist nicht bekannt, doch verwendeten europäische Seefahrer spätestens seit dem 12. Jahrhundert eiserne Kompaßnadeln in einem mit Wasser gefüllten Gefäß. Die Verbindung der Magnetnadel mit einer Wind- oder Strichrose aus Papier, also die Schöpfung der Seebussole, ist lange Zeit in das Jahr 1302 gesetzt und mit dem legendären Flavio Gioia aus dem italienischen Amalfi in Zusammenhang gebracht worden, doch lassen sich weder die Person, noch Zeit und Ort belegen. Vielmehr handelt es sich um eine Mischung aus irrigen Quellenlesungen und sukzessiver Mythenbildung, wie bereits Ende des 19. Jahrhunderts festgestellt worden ist. Die Verbindung von Magnetnadel und Windrose dürfte zwischen 1269 und 1386 erfolgt sein, ob dies jedoch in Italien geschehen ist, muß offenbleiben.

In Portugal geschah ein entscheidender Schritt von enormer Tragweite für die Entwicklung der Hochseefahrt, denn hier wendete man erstmals (zumindest was die europäischen Territorien betrifft) astronomische Kenntnisse an, wobei gleichzeitig neue Beobachtungstechniken und Instrumente eingeführt wurden. Dazu traten Untersuchungen von Meeresströmungen, vorherrschenden Winden, der Gezeiten und Abweichung der Magnetnadel. All dies, und nicht zuletzt die Einführung eines neuen Schiffstyps, der „Karavelle“, führten dazu, daß das kleine Königreich im 15. Jahrhundert zur führenden Seemacht wurde.

Die Karavelle war ursprünglich ein nicht hochseetaugliches Fischerboot mit Lateinerbesegelung und wurde unter Einbeziehung von Bauelementen der Hanse-Kogge weiterentwickelt. Dieser Schiffstyp besaß eine deutlich verbesserte Manövrierfähigkeit, erlaubte dank des geringen Tiefgangs auch das Segeln in Küstennähe, und es konnte erstmalig gegen den Wind gekreuzt werden.

Prinz Heinrich, dem erst im 19. Jahrhundert der Name „der Seefahrer“ beigelegt wurde, veranlaßte etliche Entdeckungsfahrten entlang der afrikanischen Küste. Motivation war hierbei – wie so oft – schlichte Gier (die Suche nach sagenhaften Goldländern in Afrika, aber auch der Sklavenhandel). Daneben spielten aber auch religiöse Beweg-

gründe eine Rolle: Es ging um die Frage nach dem Ort eines sagenhaften, mächtigen christlichen Reiches des Priesterkönigs Johannes irgendwo im Osten, in dem ewige Jugend und Reichtümer im Überfluß, Amazonen und allerhand merkwürdige Geschöpfe wie Hundsköpfige, Faune und Riesen zu finden waren.

Entlang der afrikanischen Küste stießen portugiesischen Expeditionen immer weiter in Richtung Süden vor. Schließlich umrundete Bartholomeu Diaz 1488 das Kap der Guten Hoffnung und ebnete damit Vasco da Gamas Entdeckung der Route nach Indien den Weg, die zehn Jahre darauf erfolgte. An der ostafrikanischen Küste begegneten die Portugiesen einer hochentwickelten Wissenskultur muslimischer Navigatoren.

Bei einer historischen Würdigung der Taten Prinz Heinrichs ist jedoch stets zu berücksichtigen, daß uns diese in nicht unerheblich verzerrter Perspektive erscheinen, denn die Chronisten des „Goldenen Zeitalters“ Portugals hielten genau das fest, was er der Nachwelt überliefern wollte. Es ist bekannt, daß Prinz Heinrich niemals zur See fuhr, sieht man von vier kurzen Reisen nach Nordafrika ab, die im Zusammenhang mit Feldzügen zur Landerobung standen. Daß er selbst Anteil an den Fortschritten der Nautik und gar eine Akademie in Sagres gegründet haben soll, hat sich inzwischen als Wunschdenken späterer Chronisten und Historiker herausgestellt.

Auf ihren Reisen entlang der afrikanischen Küste nahmen die Portugiesen die ersten Breitenbestimmungen vor. Die älteste gesicherte Messung führte Diego Gomes de Cintra auf einer Reise nach Guinea im Jahre 1462 aus.

Im 15. Jahrhundert wurden zwei Methoden der Breitenbestimmung, nämlich aus der Höhe des Polarsterns und der mittels Astrolabium ermittelten Sonnenhöhe, entwickelt. Diese Verfahrensweisen sind in zwei Traktaten überliefert, von denen jeweils nur noch ein Exemplar existiert: Das um 1509 gedruckte *Regimento do estrolabio e do quadrante* befindet sich in der Bayerischen Staatsbibliothek, und eine weitere Version von ca. 1516 hat sich im portugiesischen Évora erhalten.

Mit dem See- oder Marineastrolabium, das mit seiner Reduktion auf die reine Winkelmessung gewissermaßen eine „Kümmerform“ des seit der Antike bekannten, für astronomisch-astrologische Zwecke vielfältig nutzbaren Astrolabiums darstellt, konnte man die Höhe der Sonne oder eines Sterns über dem Horizont messen. Die erste gedruckte Beschreibung datiert von 1545 (in Pedro de Medinas *Arte de Navegar*). Es war nicht einfach, Astrolabien auf See zu benutzen. Die Genauigkeit der Breitenbestimmung lag bei etwa 1–2° auf See; wurde auf dem Festland beobachtet, konnte der Fehler auf 0,5° und weniger reduziert werden.

Zu Beginn des 16. Jahrhunderts hatte die portugiesische Navigation einen hohen Entwicklungsstand erreicht.

Der Jakobsstab ist neben dem Sextanten wohl das allgemein bekannteste nautische Instrument. Es wurde auch als *Radius astronomicus* oder „Kreuzstab“ bezeichnet und be-

reits von dem in der Provence lebenden Juden Levi ben Gerson im 14. Jahrhundert beschrieben, der es möglicherweise auch erfunden hat. Das Instrument scheint erst zu Beginn des 16. Jahrhunderts in allgemeineren Gebrauch gekommen zu sein; jedenfalls datieren die ersten Erwähnungen in gedruckten Werken zur Navigation aus dieser Zeit, und die weitaus meisten erhaltenen Jakobsstäbe stammen aus dem 18. Jahrhundert. Möglicherweise hat die Bekanntschaft mit dem orientalischen Kamāl, das die Portugiesen „Indische Tafeln“ nannten, am Beginn des 16. Jahrhunderts zur Einführung des bis dahin nur in der Astronomie verwendeten Jakobsstabes in der Seefahrt beigetragen. Die Bedeutung dieses Instruments für die Navigation im Zeitalter der Entdeckungen ist in der Historiographie allerdings lange Zeit überbewertet worden, und die Vermutung, wonach Martin Behaim den Jakobsstab auf der iberischen Halbinsel eingeführt und dort die Entwicklung der astronomischen Navigation überhaupt erst vorangebracht habe, hat sich als haltlos erwiesen.

Jakobsstäbe waren mit bis zu drei Absehen ausgestattet, besaßen also mehrere Meßbereiche. Beobachtungen der Sonne waren schwierig und gelangen in der Regel nur, wenn dunkle Wolken das Sonnenlicht dämpften. Bedingt durch die Skalenteilung ließen sich größere Winkel nur sehr ungenau ablesen.

Ein weitverbreitetes Instrument war im 17. Jahrhundert der Davis-Quadrant oder Backstaff, welcher von John Davis entwickelt und von diesem 1594 beschrieben wurde. Die Ermittlung der Sonnenhöhe geschieht hier durch Beobachtung ihres Schattens bei gleichzeitigem Anvisieren des Horizonts. Es handelte sich um ein relativ billiges, robustes Gerät, das mehr als 150 Jahre hindurch gerne verwendet wurde, und zwar auch noch nach der Erfindung des Spiegelsextanten.

Zur Orientierung sind nicht nur Instrumente, sondern auch Karten vonnöten. Hier sind zunächst die geheimnisumwitterten Portulankarten zu erwähnen. Der Begriff Portulan (aus dem italienischen *portolano*, abgeleitet von *portus*, Hafen), bezeichnete ursprünglich ein Buch mit nautischen Informationen wie Landmarken, Leuchttürmen, Strömungen und Hafenverhältnissen. Ab dem 16. Jahrhundert erweiterte sich die Begriffsbedeutung und umfaßte fortan nicht nur den Text, sondern auch die ihn begleitenden Seekarten.

Die ältesten überlieferten Portulankarten entstanden in der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts. Diese frühen, auf Pergament gezeichneten Karten liegen entweder als einzelne Exemplare oder auch in Form gebundener Atlanten vor und umfaßten hauptsächlich das Mittelmeer und das Schwarze Meer. Sie besitzen keine aus Meridianen und Breitenparallelen bestehenden Koordinaten, sondern ein Liniennetz, welches aus verschiedenfarbigen Geraden, auch Rhumbenlinien genannt, besteht, die sowohl vom Zentrum der Karte als auch von 16 oder 32 gleichmäßig auf einer Kreislinie verteilten Punkten (Windrosen) ausstrahlen. Der Verlauf der Küstenlinien des Mittelmeeres und

Schwarzen Meeres ist bereits in verblüffender Präzision wiedergegeben. Die Karten enthalten darüberhinaus Informationen über gefährliche Untiefen, Anker- und Anlegeplätze usw. Wenn ihm die auf der Karte enthaltenen Angaben nicht ausreichten, konnte der Seemann den ausführlichen Begleittext zur Hand nehmen.

Portulankarten tauchen im Verlauf des 13. Jahrhunderts ganz plötzlich in Italien auf, ohne daß sich irgendwelche Vorbilder benennen lassen. Derartige Phänomene haben für den Historiker immer etwas Beunruhigendes, und die Frage nach der Entstehung und möglichen Vorläufern ist ein in der Forschung seit langem kontrovers diskutiertes Thema. Unlängst gezeigt werden, daß den Portulankarten eine Kartenprojektion zugrundeliegt und diese mosaikartig aus kleineren, sehr genauen Regionalkarten zusammengesetzt worden sind, die ihrerseits auf ältere – möglicherweise antike – Vorbilder zurückgehen. Entgegen älteren Thesen hat der Kompaß bei ihrer Konstruktion keine Rolle gespielt, und eine Übernahme aus dem arabisch-islamischen Kulturkreis gilt als sehr unwahrscheinlich.

Neben den Portulankarten benutzte man sogenannte Plattkarten mit abstandstreuer Zylinderprojektion von Marinus von Tyrus (um 110 n. Chr.), wobei der die Kugel umschließende Zylinder den Äquator berührt. Auf einer Plattkarte – der Name rührt daher, daß das Kartenbild eigentümlich flach aussieht – ist der Äquator längentreu, und äquatornahe Gebiete werden ziemlich winkel- und flächentreu dargestellt. Die Meridiane sind genauso lang wie der Äquator dargestellt, und damit ist die Karte auch in Nord-Südrichtung längentreu. Dadurch, daß der Abstand von jeweils zwei benachbarten Breitengraden und Längengraden gleich ist, kommt es in den mittleren Breiten jedoch zu relativ starken Verzerrungen in Ost-West-Richtung. Das Problem war nun, den Kurs eines Schiffes auf einer Plattkarte einzutragen. Es handelt sich um eine doppeltgekrümmte Kurve, die auf dem Globus scheinbar geradlinig ausfällt, und so glaubten die Steuerleute, ihre Kurse nach Winkel und Entfernung auch auf der Plattkarte als Geraden einzeichnen („absetzen“) zu können. Weder wußten sie, daß sich ihre Kurswinkel nicht als gleichgroße Winkel in die Plattkarte eintragen ließen, noch ahnten sie, daß nur auf den Meridianen und auf einem einzigen Breitenkreis, nämlich dem Äquator, die Entfernung zwischen zwei Orten korrekt abgesetzt werden konnte. Daraus ergaben sich stark fehlerhafte Bestecke (Zusammenstellung der Meßwerte von Kurs (-winkel), Geschwindigkeit und Zeit, bzw. Distanz).

Das Ungenügen der Plattkarten stellte sich in dem Augenblick heraus, als man sich über den von den Portulankarten abgedeckten Bereich des Mittelmeeres, der Atlantikküste und Küste Englands hinaus auf lange überseeische Entdeckungsreisen begab. 1533 benannte Martim Afonso de Sousa das Problem nach der Rückkehr von einer 1530/32 durchgeführten Südamerikafahrt: Obgleich er den geraden Kurs auf der Plattkarte mittels Kompaß beständig eingehalten hatte, war auf der Hinfahrt der Rio de la

Plata um hunderte Meilen nach Norden verfehlt worden. Sousa wunderte sich zudem, daß er auf der Heimfahrt den Äquator nicht dort überquerte, wo er es erwartet hatte. Die Ursache hierfür fand der portugiesische Mathematiker und Astronom Pedro Nunes im Jahre 1537. Er unterschied zwischen *Orthodromen* (d. i. die kürzeste Verbindung zweier Punkte auf einer Kugeloberfläche) und *Loxodromen* (wobei diese Bezeichnungen erst später von dem Niederländer Willebrord Snellius eingeführt worden sind). Die Loxodrome ist die Kurve auf einer Kugeloberfläche, welche die Meridiane im geographischen Koordinatensystem stets unter dem gleichen Winkel schneidet und daher auch Kursgleiche oder Kurve konstanten Kurses genannt wird. Bei Schnittwinkeln größer  $0^\circ$  und kleiner als  $90^\circ$  ist die Loxodrome nicht geschlossen; sie windet sich unendlich oft spiralförmig um die Erde herum und nähert sich dabei den Polen an, ohne sie jemals zu erreichen. Beim Schnittwinkel  $0^\circ$  ist die Loxodrome selbst ein Meridian und somit Großkreis, sie verläuft in Nord-Süd-Richtung, geht also durch die Pole. Beim Schnittwinkel  $90^\circ$  ist die Loxodrome ebenfalls geschlossen, bildet also ein Breitenparallel und verläuft in Ost-West-Richtung. Abgesehen von diesen Sonderfällen ist die Strecke der Loxodrome stets länger als die der Orthodrome, aber dafür muß man bei ersterer nicht ständig einen neuen Kurswinkel berechnen. Nunes' Ansichten wurden jedoch von den Seeleuten kritisiert und fanden keine Verbreitung.

Der Schritt lag nahe, Karten mit einer Projektion zu entwerfen, auf der sich der Kompaßkurs über weite Strecken als Gerade einzeichnen ließ, um nicht ständig den Fahrtwinkel anpassen zu müssen. Gerhard Kremer, genannt Mercator, verwendete die nach ihm benannte Zylinderprojektion 1569 erstmals für seine Weltkarte. Wie bei der Plattkarte wird um die Erde ein Zylinder gelegt, der diese am Äquator berührt, aber in Nord-Süd-Richtung auseinandergezerrt (die Abstände der Breitenkreise werden im umgekehrten Verhältnis des Cosinus der geographischen Breite, dem Secans, vergrößert). Da der Äquator die Berührungslinie von Zylinder und Globus ist, wird dieser längentreu abgebildet. Zum Nord- und Südpol hin werden die Verzerrungen immer größer, und die Pole können nicht abgebildet werden, da der projizierte Punkt im Unendlichen liegen würde. Auf einer Mercator-Karte entspricht etwa die Insel Grönland in ihrer Fläche annähernd dem Kontinent Afrika, der jedoch in Wahrheit etwa fünfzehnmal so groß ist. Die Mercator-Projektion ist also nicht flächentreu, wohl aber winkel- und achsentreu. Damit bietet sie für die Navigation unschätzbare Vorteile, denn Loxodromen werden als gerade Linien abgebildet, und die auf der Karte abgelesenen Winkel lassen sich direkt nutzen. Bei einer Atlantiküberquerung (beispielsweise von der Südwestküste Englands nach Nordostbrasilien) muß man im Ausgangshafen lediglich den Kurswinkel zum Zielhafen ermitteln und steuert das Schiff die ganze Fahrt über stets in diesem Winkel (relativ zur Nordrichtung).

Trotz ihrer Vorzüge brauchte die neue Kartenprojektion über ein Jahrhundert, ehe sie sich durchsetzen konnte. Auf welche Art und Weise Mercator sie gefunden hat, ist nicht überliefert und trotz manch scharfsinniger Überlegungen und Hypothesen ungeklärt. Der englische Mathematiker Edward Wright hat 1599, also erst dreißig Jahre nach dem Erscheinen von Mercators Weltkarte, die mathematische Begründung und Berechnung sozusagen nachgereicht.

Im Gegensatz zur Breitenbestimmung bot die genaue Ermittlung der geographischen Länge über Jahrhunderte hinweg unüberwindliche Schwierigkeiten. Zunächst dachte man, daß es möglich sei, durch Ablesung des Kompasses unter Zuhilfenahme von Seekarten, auf denen Kurven gleicher magnetischer Mißweisung (Isogonen) verzeichnet waren, die geographische Länge zu ermitteln. Da die Mißweisung jedoch nicht konstant ist und es keine theoretische Grundlage für jene Veränderungen gab, erwies sich dieses Verfahren rasch als ungeeignet. Die einzig ausführbare Methode war die sogenannte Koppelnavigation (*Dead Reckoning*), d. h., es wurden die durchsegelten Strecken zwischen den astronomischen Beobachtungen durch Schätzung (*Gissung*) aus dem Kompaßkurs und der mittleren Geschwindigkeit des Schiffes bestimmt. Zwar ließ sich mittels Sanduhr und Log die Geschwindigkeit des Schiffes einigermaßen genau ermitteln, die Abdrift durch Strömungen vermochte man jedoch nur zu schätzen. Vor allem auf längeren Reisen war die Längenbestimmung daher mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

1514 schlug der Nürnberger Astronom Johann Werner die Ermittlung der Ortslänge durch Sternbedeckungen des Mondes vor. Kennt man die wahre Bewegung des Mondes und außerdem die genaue Position bestimmter Sterne in Nähe der Mondbahn, läßt sich der Längenunterschied zweier Orte A und B berechnen. In A wird der Abstand des Mondrandes von einem Stern mittels des Jakobsstabes gemessen. Teilt man die Entfernung durch den wahren Mondlauf, so ergibt sich die Zeitspanne, die bis zur Bedeckung des Sterns durch die Mondscheibe verstreichen wird oder bereits verstrichen ist. Ist die Ortszeit der Bedeckung ermittelt, schlägt man die Bedeckungszeit für den Ort B in vorausberechneten Tafeln nach und aus der Zeitdifferenz ergibt sich der Längengrad des Beobachtungsortes. Die Mondstanzmethode erscheint von der Überlegung her bestechend einfach, sofern man über hinreichend genau bestimmte Sternpositionen und über eine präzise Theorie der Mondbewegung verfügt. Von beidem konnte im 16. Jahrhundert indes nicht die Rede sein. Auch Mondfinsternisse zur Längenberechnung herangezogen werden, doch da sich derartige Phänomene nicht eben häufig ereignen, war diese Methode nicht praktikabel. Columbus machte 1494 und 1504 zwei (allerdings sehr ungenaue) Versuche, mittels Finsternisbeobachtungen den Abstand Westindiens vom europäischen Kontinent zu bestimmen.

Es gab jedoch auch noch die Möglichkeit der Längenbestimmung mittels einer Uhr: Aus der gemessenen Höhe der Sonne oder des Mondes läßt sich der genaue Zeitpunkt ermitteln, in dem sich der jeweilige Himmelskörper in genau jener Winkelstellung am Beobachtungsort befindet. Man erhält also die Ortszeit des Beobachtungsortes, und verfügt man dazu über eine genau gehende Uhr, welche die Zeit des Ausgangshafens anzeigt, läßt sich aus der Zeitdifferenz die geographische Länge errechnen ( $15^\circ$  in Länge entsprechen 1 h). Genau dieses Verfahren schlug der flämische Instrumentenbauer und Astronom Gemma Frisius bereits 1530 vor, doch mußte es aufgrund der viel zu geringen Ganggenauigkeit der damals verfügbaren Uhren Theorie bleiben.

Bereits im ausgehenden 16. Jahrhundert wurden Anläufe zur Lösung des Längenproblems unternommen. 1598 versprach König Philipp III. von Spanien demjenigen, der den Längengrad finden konnte, eine einmalige Prämie von 6.000 Dukaten, verbunden mit einer lebenslangen jährlichen Pension von 2.000 Dukaten. Auch in Holland wurde eine Summe ausgelobt, ohne daß es zu nennenswerten Erfolgen gekommen wäre. Christian Huygens versuchte 1660, eine für den Seegebrauch taugliche Pendeluhr zu konstruieren. Erste Versuche verliefen zwar vielversprechend, aber bei Seegang war es mit der Herrlichkeit vorbei.

Die Gründung der Sternwarte Greenwich im Jahre 1675 erfolgte zu dem Zweck, genaue Fixsternpositionen zu erlangen und die Bewegungen der Planeten (vor allem des Mondes) zu untersuchen.

1714 kam es in England zu einem Parlamentsbeschluß zwecks Findung einer „*practical and useful solution*“ (brauchbaren und praktikablen Lösung) des Problems der Längenbestimmung auf See. Der sogenannte „Queen Anne Act“ sah die Auszahlung eines Preisgeldes in drei Staffeln vor, und zwar £ 10.000, wenn die Methode bis auf  $1^\circ$  (entsprechend 60 nautischen Meilen), £ 15.000 auf  $2/3^\circ$  (entsprechend 40 nautischen Meilen) und £ 20.000 auf  $1/2^\circ$  (entsprechend 30 nautischen Meilen) genau war. Diese für die damaligen Verhältnisse exorbitanten Summen verdeutlichen, wie brennend das Längenproblem zu Beginn des 18. Jahrhunderts geworden war.

Auf die Geschichte John Harrisons und die Entwicklung des Schiffschronometers hier näher einzugehen, bedürfte eines eigenen Vortrags – hier möge der Hinweis genügen, daß er 1761 nach lebenslangen Bemühungen und ungeheuren technischen, wie auch administrativen Schwierigkeiten endlich eine Uhr präsentieren konnte, die nach eingehender Erprobung allen Anforderungen genügte.

Im 18. Jahrhundert kam ein weiteres wichtiges und bis heute verwendetes Instrument zur Ausrüstung des Navigators hinzu: Der Oktant, aus dem wenig später der Sextant hervorging. Die Erfindung des Oktanten geschah unabhängig voneinander und nahezu gleichzeitig durch John Hadley in England und Thomas Godfrey in Philadelphia um 1731. Ein Vorläufergerät hatte Isaac Newton bereits 1700 konzipiert, das jedoch erst

1742 posthum publiziert wurde. Ein Oktant ( $1/8$ -Kreisbogen) mißt Winkel bis zu  $90^\circ$  Grad und reicht zur Beobachtung von Himmelskörpern über dem Horizont hin. Beim Messen von Mondstrecken können jedoch größere Winkel auftreten. Daher wurde der Meßbereich bis  $120^\circ$  vergrößert, und es entstand der Sextant ( $1/6$ -Kreisbogen). Bei Sternen wird der Winkel zwischen Stern und Horizont gemessen, also Horizont und Stern im Spiegel zur Deckung gebracht, im Fall des Mondes oder der Sonne wird die Ober- oder Unterkante „auf den Horizont gesetzt“. Die Meßgenauigkeit betrug etwa 1 Bogenminute; moderne Instrumente besitzen eine Genauigkeit von 10–20 Bogensekunden (auf See lassen sich allerdings nur selten Meßgenauigkeiten unter einer Bogenminute erzielen). Schon bald ging man dazu über, statt des zunächst bei Oktanten verwendeten Hartholzes, das sich durch Feuchtigkeit leicht verziehen konnte, Sextanten aus Metall zu fertigen.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts war es möglich geworden, die geographische Länge ebenso genau zu bestimmen wie die Breite. Durch den Sextanten wurden Jakobsstab und Astrolabium rasch verdrängt und dieser wiederum verlor erst mit dem Aufkommen der Satellitennavigation an Bedeutung.

Am 17. Dezember 1837 geschah auf einem amerikanischen Segler in stürmischer See etwas, das die Navigation revolutionieren sollte. Es war eine jener wissenschaftshistorischen Sternstunden, in denen ein an sich unscheinbares Phänomen von einem aufmerksamen Beobachter wahrgenommen und sogleich scharfsinnig interpretiert wurde. Der aus Boston stammende Kapitän Thomas Sumner segelte von Charleston in South Carolina kommend in den Englischen Kanal ein, doch hatte er aufgrund schlechten Wetters für längere Zeit auf astronomische Beobachtungen verzichten und daher seine Position koppelnd müssen. Am Vormittag kam die Sonne durch eine Wolkenlücke kurz zum Vorschein, und Sumner nahm mit dem Sextanten eilig die Höhe. Daraus ergab sich, daß die Abweichung von der gezielten Position nur wenige Meilen betrug und sein Schiff offenbar genügend weit von der gefährlichen irischen Küste stand. Doch war er sich über die Genauigkeit seiner Beobachtung unsicher und berechnete mögliche Positionen mit zwei weiteren angenommenen Breiten. Als Sumner die drei Punkte auf der Karte einzeichnete, stellte er zu seiner Überraschung fest, daß diese auf einer Geraden lagen, und mit einem Geistesblitz zog er daraus sogleich die richtige Schlußfolgerung: Irgendwo auf der Erdoberfläche stand die Sonne zum Zeitpunkt der Beobachtung im Zenit, und um diesen Punkt mußte es einen Kreisbogen geben, auf dem diese für jeden Beobachter in gleicher Höhe sichtbar war. Der kurze Kreisbogenabschnitt, auf dem sich das Schiff offenbar befand, ließ sich auf der Seekarte näherungsweise als Gerade einzeichnen, und diese sogenannte Standlinie (*Line of position*) führte zufälligerweise geradewegs auf ein Leuchtfeuer an der walisischen Küste. Sumner segelte nun in dieser Richtung weiter und sichtete dieses tatsächlich kurze Zeit später.

1843 publizierte er seine Erkenntnisse in einem schmalen Büchlein, doch leider war dem genialen Kapitän – Sumner hatte in Harvard Mathematik studiert – kein glückliches Leben beschieden. Kurze Zeit später fiel er in geistige Umnachtung und vegetierte bis zu seinem Tod im Jahre 1876 im Irrenhaus dahin.

Der französische Admiral Marcq Blond de St. Hilaire und andere Nautiker brachten die Methode Sumners schließlich in jene Form, in der sie noch heute angewendet wird.

Es brauchte allerdings Jahrzehnte, bis die „neue Navigation“ Eingang in die navigatorische Praxis fand. Erst im Jahre 1899 nahm man die Methode von Marcq Saint-Hilaire in das Navigationslehrbuch für die preußische Handelsmarine auf, doch wurden Varianten der Standlinienmethode bereits in der ersten Auflage des *Handbuchs der Navigation* für die Kaiserliche Marine von 1879 ausführlich behandelt.

Bereits kurz nach der Einführung der drahtlosen Telegraphie experimentierte man mit der Ortsbestimmung durch Funkpeilungen. Noch erwies sich die Technik allerdings als räumlich zu eng begrenzt, und die Ergebnisse fielen zunächst sehr ungenau aus.

Die Entwicklung der Funknavigation erfuhr im Zweiten Weltkrieg einen mächtigen Schub. Das britische Unternehmen Decca entwickelte ein benutzerfreundliches Funkortungssystem, bei dem sich die Position direkt an einem Anzeigergerät ablesen ließ. Decca wurde auch nach dem Krieg bis zu seiner endgültigen Abschaltung im Jahre 2000 vor allem in der küstennahen Fischerei vielfach genutzt.

Bis Ende der 80er Jahre war das von der U.S. Navy eingeführte LORAN-System (*Long Range Aid to Navigation*) in Betrieb. Ein System von Sendern strahlte kontinuierlich Funksignale aus, und ein Empfänger an Bord berechnete aus der Laufzeitdifferenz zweier Signale die Position. Dies ist auch das Grundprinzip der Satellitenortung.

Das *Global Positioning System* (kurz GPS) ist ein aus dem amerikanischen Verteidigungsministerium hervorgegangenes System mit zahlreichen Satelliten, welche die Erde in einer Höhe von 20200 km umkreisen. Aus den Laufzeitunterschieden der Signale jener Satelliten zum Standort eines Empfängers kann dessen Position mit sehr hoher Genauigkeit bestimmt werden kann. GPS wird sowohl in der Luft- und Seefahrt, wie auch bei der Landvermessung und sämtlichen Anwendungen eingesetzt, bei denen es auf genaue Positionsbestimmung ankommt. Die Einrichtung des GPS-Systems geht auf das Jahr 1973 zurück, als die U.S. Air Force und die U.S. Navy den Beschluß zur Entwicklung eines satellitengestützten Navigationssystems faßten. Dessen Finanzierung war jedoch immer wieder gefährdet und die Nutzung ausschließlich auf den militärischen Bereich beschränkt. Im Sommer 1995 war schließlich die volle Betriebsbereitschaft des GPS erreicht. Parallel dazu entwickelte die Sowjetunion seit 1972 ihr „Glonass“-System, das 1993 betriebsbereit und drei Jahre darauf vollausgebaut war.

Die Europäische Union und die Europäischen Weltraumorganisation (ESA) bauen derzeit mit „Galileo“ ein eigenes Satellitennavigations- und Zeitgebungssystem mit 30 Sa-

telliten auf, das jedoch unter ziviler Kontrolle steht. Auch China arbeitet an einem eigenen System, das den Namen „Beidou“ („Großer Bär“) trägt.

Damit scheint das Problem der Ortsbestimmung endgültig erledigt zu sein. Mit einem mobilen Telefon läßt sich der eigene Standort jederzeit mit höchster Präzision abfragen, jede Bewegung kann allerdings auch vortrefflich verfolgt werden.

Ist die astronomische Navigation damit endgültig *ad acta* gelegt? Oder hat sie noch eine Zukunft? Werfen wir abschließend einen Blick auf die Vorzüge und Nachteile.

Astronomische Navigation ist nur zeitweise verfügbar und hängt natürlich von den Wetterbedingungen ab. Selbst wenn diese günstig sind, kommen nicht alle Zeiten für eine Ortsbestimmung in Frage. Mit Hilfe einer genauen Uhr, eines aktuellen nautischen Jahrbuches und eines handelsüblichen Sextanten vermag ein geübter Beobachter bei idealen Bedingungen Sternhöhen mit einer Genauigkeit von 1' zu messen, und die Abweichungen von der tatsächlichen Position werden in der Größenordnung von 1–2 Seemeilen liegen. In der Praxis sind die Bedingungen jedoch selten ideal: Die Meßgenauigkeit kann durch das Schwanken des Schiffes, wie auch durch Wolken und Dunstschleier beeinträchtigt sein. Zwar reichen die zahlreichen im Jahrbuch aufgeführten Navigationssterne auch bei teilweise bedecktem Himmel aus, doch lassen sich diese nicht immer sicher identifizieren. Zudem erscheint der Nachthimmel nicht deutlich heller als die Kimm, so daß Höhenmessungen unsicher sind, auch wenn die Kimm scheinbar gut wahrnehmbar ist. Mit dem Sextanten sind daher Sterne und Planeten nur in der Morgen- und Abenddämmerung meßbar. Tiefstehende Gestirne sind im Sextanten zwar leichter zu finden als hohe, aber deren Position ist durch die starke Lichtbrechung (Refraktion) in Horizontnähe unsicherer. Die mittels astronomischer Navigation erreichbare Genauigkeit ist also im Vergleich zu den Möglichkeiten des GPS eher mäßig.

Diesen Nachteilen und Begrenzungen stehen jedoch gewichtige Vorzüge gegenüber: Astronomische Navigationsverfahren werden nicht von politischen oder militärischen Organisationen kontrolliert, und sie sind gegen äußere Störungen und Manipulationen geschützt.

Bei der U.S. Navy hatte man die klassische, scheinbar veraltete Navigationsausbildung 2006 ganz eingestellt, aber dann dämmerte es den Verantwortlichen, daß im Krisenfall das GPS durch Hacker-Angriffe, Satellitenstörungen oder die gänzliche Abschaltung des Systems nicht mehr verfügbar sein könnte. Auch ist stets mit Systemfehlern und Stromausfällen zu rechnen, und daher sind 2011 wieder Kurse in astronomischer Navigation eingeführt worden. Diese dürfte also bei aller Bequemlichkeit und Genauigkeit der Positionsbestimmung auf elektronischem Wege nicht gänzlich verschwinden.