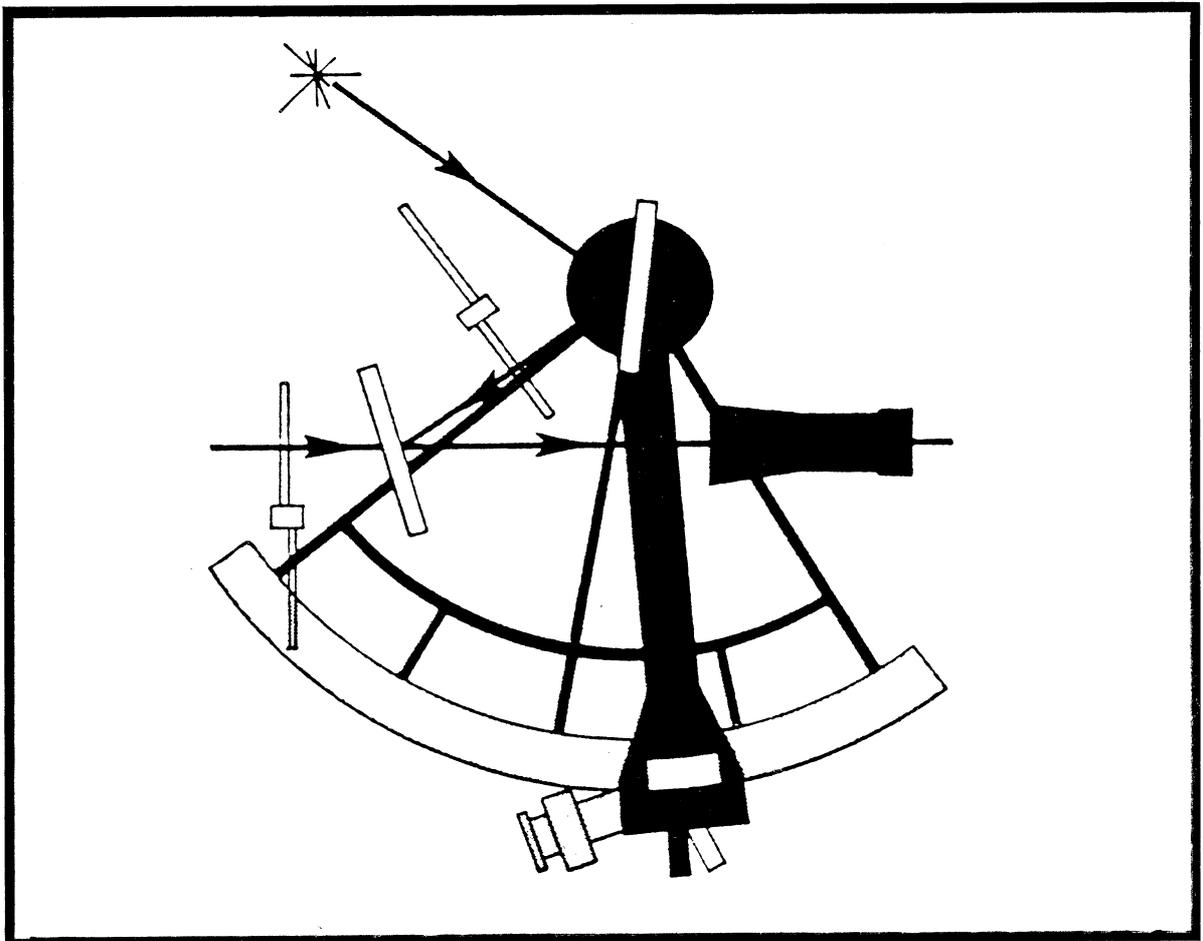


Astro-Navigation auf Yachten

- Verfahren und ihre Anwendungen in der Praxis -



Astro - Navigation auf Yachten

- Verfahren und ihre Anwendungen in der Praxis -

dem

Deutschen Segler-Verband

anlässlich der Prüfung zur

DSV - Segellehrerlizenz C

vorgelegt von

Guido Marx

Bonn 1994

I.	Einleitung	1
II.	Nordsternbreite	3
III.	Mittagsbreite	4
IV.	Chronometerlänge	5
V.	Höhendifferenzverfahren	6
V.1.	Semiversusformel	7
V.2.	H.O. - Tafeln	8
a.	H.O. - 249	9
b.	H.O. - 229	10
V.3.	Record Tables	11
VI.	Programmierbare Taschenrechner	11
VII.	Tagbogenverfahren	13
	Literaturverzeichnis	15

ausgearbeitet von :

Guido Marx



Astro - Navigation auf Yachten

- Verfahren und ihre Anwendungen in der Praxis -

I. Einleitung

Navigation ist wenn man trotzdem ankommt, und sicher anzukommen ist das Ziel jedes Schiffsführers. Eine entsprechend große Bedeutung hat demnach die Kunst des Navigierens.

Der Siegeszug der elektronischen Standortbestimmung auf See, so scheint es, ist nicht mehr aufzuhalten. Neben Decca und Loran setzt sich die Satellitennavigation per GPS (Global Positioning System) zunehmend auch auf kleinen Schiffen durch. In Vergessenheit geraten darüber, zu Unrecht, wie ich meine, die klassischen Methoden der Positionsfindung. Dabei gibt es auch auf dem Gebiet der Astronavigation mittlerweile zahlreiche Hilfsmittel.

Die klassische Fachliteratur [1,18], soweit noch erhältlich, zeichnet sich durch eine Fülle mathematischer Detailinformationen und bedauerlichen Mangel an Anschaulichkeit aus. Speziell für den Yachtsegler sind in den letzten Jahren eine Vielzahl von Fachbüchern [4,7,9,12,17,20,21,25,27,28] auf den Markt gekommen, die sich um Verständlichkeit und die Vermittlung anwendbaren Wissens bemühen. Diese Bücher geben schwerpunktmäßig eine Antwort auf die Frage: Wie wird es gemacht? Theoretische Zusammenhänge, insbesondere Plausibilitätsnachweise anhand der Koordinatensysteme kommen dabei jedoch leider oft zu kurz. Um zukünftige Astronavigatoren nicht auf bestimmte Auswerteverfahren zu fixieren enthält die folgende Zusammenstellung eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden.

Um auf hoher See seinen Schiffsort zu bestimmen, beobachtet man die Gestirne, denn markante Landmarken oder Seezeichen, wie sie in der terrestrischen Navigation zur Konstruktion von Standlinien verwendet werden, gibt es hier nicht. Das Prinzip der astronomischen Navigation ist relativ einfach. In der terrestrischen Navigation lassen sich beispielsweise aus der beobachteten Höhe eines bekannten Leuchtturms, sowie aus dessen rechtweisender Peilung, zwei Standlinien konstruieren, deren Schnittpunkt dann den Schiffsort liefert. Analog ergibt sich aus der Beobachtung der Höhe und der rechtweisenden Peilung (Azimut) eines Gestirns ein astronomisch beobachteter Ort. Die Sache ist sogar noch einfacher als im Fall der terrestrischen Navigation, denn die Höhe unseres Leuchtturms müssen wir nicht erst im Leuchtturmerverzeichnis nachschlagen.

Abgesehen vom Mond, der unserer Erde am nächsten steht und daher eine Korrektur notwendig macht (→ Parallaxenfehler), kann man davon ausgehen daß die Sonne, die Planeten und natürlich insbesondere die Fixsterne unendlich weit von der Erde entfernt sind. Somit ist die Höhe unseres astronomischen Leuchtturms unendlich.

Während jedoch ein Leuchtturm seine Position an Land beibehält, bewegen sich die Gestirne, so daß es notwendig wird zunächst ihre Position zu bestimmen. Die Vorausberechnung der Position erfolgt mit Hilfe eines Fahrplanes dem sogenannten Nautischen Jahrbuch (Ephemeriden) [2,3]. Dafür muß man natürlich den exakten Zeitpunkt der Beobachtung kennen. Das machte die Entwicklung sehr genauer mechanischer Schiffschronometer notwendig. Heute jedoch besitzen selbst die einfachsten Quarzuhren eine so gute Ganggenauigkeit, daß die Bestimmung des Beobachtungszeitpunktes kein Problem mehr darstellt.

Da der Fußpunkt (Bildpunkt) des Gestirns, das Fundament unseres astronomischen Leuchtturms sozusagen, in der Regel jedoch sehr weit von unserem Schiffsort entfernt ist, würde bei einer Positionsbestimmung mit Hilfe von Abstand und Peilung schon ein sehr kleiner Fehler in der Peilung große Ungenauigkeiten im Schiffsort zur Folge haben. Daher verwertet man nur den gemessenen Höhenwinkel, erhält also auch nur eine Standlinie je Beobachtung.

Da wir mindestens zwei Standlinien benötigen um einen Schiffsort zu konstruieren, bedeutet das natürlich zwangsläufig, daß man tagsüber die Sonne mehrmals beobachten muß - ähnlich einer Versegelungspeilung - um so einen Schiffsort zu erhalten. Manchmal hat man tagsüber jedoch Glück und kann gleichzeitig mit der Sonne auch den Mond beobachten. Deshalb sollte der Mond als Grundlage für eine astronomische Standlinie, trotz des erforderlichen größeren Rechenaufwands, nicht vernachlässigt werden. In diesem Fall und auch während der Morgen- bzw. Abenddämmerung, wenn zur selben Zeit mehrere Fixsterne und Planeten am Himmel sichtbar sind, erhält man seinen Schiffsort unmittelbar - ähnlich einer Kreuzpeilung - aus den nahezu gleichzeitig gemessenen Höhenwinkel von mindestens zwei Gestirnen.

Der Höhenwinkel eines Gestirns wird mit dem Sextanten gemessen. Der am Sextant abgelesene Wert muß zunächst um den gerätbedingten Indexfehler korrigiert werden. Ferner müssen Refraktion, Kimmtiefe, Radius des Gestirns und gegebenenfalls ein Parallaxenfehler berücksichtigt werden. Damit diese Berichtigungen nicht einzeln angebracht werden müssen, sind sie in der Tabelle der Gesamtbeschildigung [3,15] bereits zusammengefaßt. Da Luftdruckschwankungen und Temperaturveränderungen die Refraktion insbesondere bei kleinen Höhen sehr stark beeinflussen, vermeidet der Navigator das Messen von Gestirnen deren Höhe kleiner als 15° ist.

I. Nordsternbreite

Eine der ältesten Methoden der astronomischen Navigation ist die sogenannte Nordsternbreite. In unmittelbarer Nähe des nördlichen Himmelspols befindet sich der sogenannte Nordstern (Polaris). Stünde der Polarstern genau über dem Pol, so wäre der gemessene Höhenwinkel identisch mit der geographischen Breite, auf der man sich befindet. Der Bildpunkt des Nordsterns liegt jedoch nicht genau auf dem Nordpol, sondern etwa 1° (60 sm) daneben, und läuft in diesem Abstand um den Nordpol herum. Je nachdem, wo sich der Bildpunkt gerade befindet, ändert sich also die Nordsternhöhe im Laufe eines Tages auch wenn der Beobachter seinen Standort beibehält. Der gemessenen Höhenwinkel muß also noch korrigiert werden.

Hierzu sind im Nautischen Jahrbuch insgesamt drei Berichtigungstabellen enthalten, die als Tafeleingang den Ortstundenwinkel des Frühlingspunktes benötigen. Denn ob der Nordstern zum betrachteten Zeitpunkt, ober- oder unterhalb, links oder rechts vom Nordpol steht hängt einzig vom Ortsstundenwinkel des Nordsterns, und somit natürlich auch vom Ortsstundenwinkel des Frühlingspunktes Υ ab. Frühere Navigatoren, die noch keine genau gehenden Uhren hatten, erkannten an der Stellung der übrigen Sterne, wo der Nordstern gerade stand und korrigierten ihre gemessenen Werte dementsprechend.

Nordsternbreite	
Vorteile	⇒ es wird nur das Nautische Jahrbuch benötigt
	⇒ man erhält unmittelbar die geogr. Breite φ , eine Seekarte wird nicht benötigt
Nachteile	⇒ ohne künstlichen Horizont ist man zeitlich beschränkt auf die Morgen- bzw. Abenddämmerung
	⇒ wegen seiner nur geringen Helligkeit ist der Nordstern in der Dämmerung schwer zu finden
	⇒ nur auf der Nordhalbkugel anwendbar

Dieses Verfahren war vor allem früher sehr beliebt, weil die Berechnung wesentlich einfacher ist als z.B. die Anwendung des Semiversusverfahrens. Wegen seiner geringen Helligkeit ist der Nordstern jedoch auf kleinen, unruhigen Booten während der Dämmerung nur schwer zu finden und im Blickfeld zu behalten.

II. Mittagsbreite

Die Auswertung einer astronomischen Beobachtung ist immer dann besonders einfach, wenn das Gestirn genau im Norden oder Süden steht, sich der Bildpunkt also auf demselben Meridian befindet, dann nämlich ist der Ortsstundenwinkel gerade 0° . In diesem Fall beträgt das Azimut 0° bzw. 180° und die Standlinie verläuft breitenparallel. Zum Zeitpunkt der Kulmination, dann wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht, ermittelt man zunächst die beobachteten Höhe H_b , und bestimmt hieraus die Zenitdistanz Z ($90^\circ - H_b$). Mit der aus den Ephemeriden [2,3] bekannten Deklination der Sonne läßt sich dann unmittelbar die Mittagsbreite berechnen. Da sich die Deklination der Sonne ständig ändert, muß bei der Berechnung der Breite zwischen den drei, in der folgenden Tabelle aufgeführten, Möglichkeiten unterschieden werden.

Die geographische Breite φ und die Deklination δ sind		
gleichnamig	ungleichnamig , wobei	
	Breite $\varphi >$ Deklination δ	Breite $\varphi <$ Deklination δ
$\varphi = Z - \delta$	$\varphi = \delta + Z$	$\varphi = \delta - Z$

Die Mittagsbreite eignet sich für besonders zuverlässige Messungen, denn der Navigator hat, was sonst nie der Fall ist, die Möglichkeit eine einzige Höhe (die Mittagshöhe) mehrere Minuten lang zu beobachten und kann sich so von der Richtigkeit seiner Messung überzeugen. Im übrigen ist es wesentlich leichter ein Gestirn genau zu messen, wenn es ruhig am Himmel steht, als wenn es vergleichsweise schnell steigt oder fällt. Ferner ist zur Schiffsmittagszeit die Chance am größten, daß die Sonne bei bedecktem Himmel die Wolkendecke durchbricht.

Mittagsbreite	
Vorteile	\Rightarrow es wird nur das Nautische Jahrbuch benötigt, keine weiteren Rechentafeln erforderlich
	\Rightarrow man erhält unmittelbar die geogr. Breite φ , eine Standlinie muß nicht konstruiert werden
	\Rightarrow die genaue Beobachtungszeit muß nicht bekannt sein
Nachteil	\Rightarrow dieses Verfahren ist nur einmal am Tag, nämlich zum Zeitpunkt der Kulmination anwendbar

III. Chronometerlänge

Die Chronometerlänge liefert zusammen mit der Mittagsbreite einen fertigen Standort nach Länge und Breite, ohne daß eine Standlinie in der Seekarte zeichnerisch konstruiert werden müßte. Zum Zeitpunkt der Kulmination steht die Sonne nämlich genau im Süden bzw. Norden und damit liegt der Bildpunkt auf dem Meridian, auf dem sich auch der Beobachter befindet. Kennt man die sekundengenaue Mittagszeit, also den Zeitpunkt, an dem die Sonne ihren höchsten Stand erreicht, dann kann man mit Hilfe des Nautischen Jahrbuchs den zugehörigen Greenwich Stundenwinkel (Grw.Stw.) der Sonne bestimmen, und erhält damit unmittelbar die Mittagslänge. Der vollkreisige Stundenwinkel muß lediglich noch, gemäß der folgenden Tabelle, in eine halbkreisige W- bzw. E-Länge umgewandelt werden.

Greenwich Stundenwinkel $< 180^\circ$	Greenwich Stundenwinkel $> 180^\circ$
Mittagslänge $\lambda = (\text{Grw.Stw.}) W$	Mittagslänge $\lambda = (360^\circ - \text{Grw.Stw.}) E$

Die Mittagszeit kann jedoch nicht ohne weiters sekundengenau festgestellt werden, denn die Mittagshöhe scheint über mehrere Minuten hinweg gleich zu bleiben. Hier behilft man sich mit einem Trick und zwar mißt man die Sonne wenn diese noch stark im Steigen ist, also etwa eine Stunde vor der Kulmination, und wartet nach der Kulmination solange bis sie wieder unter demselben Winkel erscheint. In der Mitte zwischen diesen beiden Meßzeitpunkten liegt dann der gesuchte Mittagszeitpunkt.

Bewegt sich die Yacht zwischen den Messungen in nördlicher oder südlicher Richtung, dann muß der voreingestellte Höhenwinkel noch korrigiert werden. Für jede Seemeile, die sich die Yacht auf die Sonne zubewegt wird der am Sextanten voreingestellte Winkel um eine Minute vergrößert, bewegt sich die Yacht dagegen von der Sonne weg, so verringert man den Winkel entsprechend.

Chronometerlänge	
Vorteile	⇒ es wird nur das Nautische Jahrbuch benötigt, keine weiteren Rechentafeln erforderlich
	⇒ zusammen mit der Mittagsbreite erhält man sofort die Mittagsposition, ohne eine Standlinie zu konstruieren
Nachteil	⇒ Fehler, die durch die Versegelung entstehen

IV. Höhendifferenzverfahren

Das Höhendifferenzverfahren wurde ca. 1875 von dem französischen Admiral Marcq St. Hilaire entwickelt. Es verarbeitet jede Sextantmessung zu einer Standlinie, die mit einer weiteren, gegebenenfalls auch terrestrisch gewonnenen, Standlinie schließlich zeichnerisch den Schiffsort liefert.

Zunächst einmal liegen alle Punkte, von denen aus man ein Gestirn in dergleichen Höhe sieht auf einem Kreis (Höhengleiche), dessen Mittelpunkt der Bildpunkt des Gestirns und dessen Radius die Zenitdistanz in Seemeilen ist. Um eine solche Standlinie zu zeichnen muß sich der Bildpunkt des Gestirns (Mittelpunkt des Abstandskreises) in der Seekarte einzeichnen lassen. Wegen des riesigen Abstandes zwischen Bildpunkt und Schiffsort hätte die zur Navigation verwendete Seekarte allerdings einen so großen Maßstab, daß dieses Verfahren nicht praktikabel ist.

Der Trick besteht nun darin, daß man bei der Konstruktion der Standlinie nicht vom Bildpunkt, sondern vom geiten Schiffsort ausgeht. Für diesen Ort berechnet man die Höhe und das Azimut unter dem man das beobachtete Gestirn sehen müßte. Dann vergleicht man diese errechnete Höhe H_c mit der tatsächlich beobachteten Höhe H_b und ermittelt die Höhendifferenz $\Delta H = H_b - H_c$.

Wenn die beobachtete Höhe H_b größer ist als die errechnete, dann wäre man entsprechend der Höhendifferenz ΔH näher am Bildpunkt als ursprünglich angenommen, wobei eine Höhendifferenz von einer Winkelminute genau einer Versetzung von einer Seemeile entspricht. Ausgehend vom geiten Schiffsort trägt man, in Richtung des Azimuts, die Höhendifferenz ΔH in Seemeilen ab und zeichnet senkrecht zum Azimut die Standlinie ein.

Eigentlich müßte man hier einen Kreisbogen zeichnen, da der Radius dieses Kreises jedoch sehr groß ist, kann man die Krümmung vernachlässigen und die Standlinie als Gerade zeichnen. Diese Näherung gilt allerdings nur solange die Zenitdistanz nicht zu klein ist. Deswegen sind Gestirnsbeobachtungen in Höhen von mehr als 75° nicht mehr empfehlenswert.

Um mit Hilfe des Hhendifferenzverfahrens eine astronomische Standlinie zu konstruieren ist es notwendig Höhenwinkel und rechtweisende Peilung (Azimut) eines Gestirns vorauszuberechnen. Hierzu wurden eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren entwickelt.

IV.1. Semiversusformel

Vielen Seglern erscheint die Astronomische Navigation auf Grund des mathematischen Aufwands als zu kompliziert. Tatsächlich mußte man sich in der Vergangenheit mit umfangreichen Formelwerken, Semiversustabellen [15] etc. herumschlagen. Beim Semiversus, abgekürzt „sem“, handelt es sich um eine trigonometrische Funktion, die nur für Navigationszwecke geschaffen wurde, es gilt : $\text{sem}(\alpha) = \sin^2(\alpha/2)$.

Die Formel zur Berechnung der Zenitdistanz Z (90° - Höhe) nach Semiversus lautet :

$$\text{sem } Z = \text{sem}(\varphi - \delta) + \text{sem } Y$$

$$\text{sem } Y = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \text{sem } t$$

Mit den Bezeichnungen :

Z = Zenitdistanz = 90° - Höhe des Gestirns

φ = geogr. Breite des Koppelortes

δ = Deklination des Gestirns

t = Ortsstundenwinkel = Greenwich Stundenwinkel \pm geogr. Länge des Koppelortes

Mit einer Logarithmentafel der trigonometrischen Funktionen (Tafel 16 der Nautischen Tafeln von Fulst), oder bequemer mit der Höhentafel (Tafel 17) berechnet man zunächst logarithmisch den Summanden $\lg \text{sem } Y = \lg \cos \varphi + \lg \cos \delta + \lg \text{sem } t$.

Durch Aufsuchen des erhaltenen Wertes „ $\lg \text{sem } Y$ “ findet man in der Nachbarspalte den „ $\text{sem } Y$ “ selbst und addiert hierzu den ebenfalls aus der Tafel zu entnehmenden Wert für „ $\text{sem}(\varphi - \delta)$ “, dabei muß allerdings beachtet werden daß φ und δ verschiedene Vorzeichen besitzen, falls diese ungleichnamig sind. In diesem Fall wird dann nicht subtrahiert sondern addiert. Mit dem erhaltenen Wert für „ $\text{sem } Z$ “ geht man ein letztes Mal in die Tafel und findet schließlich die Zenitdistanz Z , aus der man nun letztlich die rechnerische Höhe H_c bestimmt.

Die Formel zur Berechnung des Azimutes mit Hilfe der ABC-Tafel lautet :

$$\cot Az \cdot \sec \varphi = \tan \delta \cdot \text{cosec } t - \tan \varphi \cdot \cot t$$

Die einzelnen Glieder dieser Formel werden durch Buchstaben wie folgt ersetzt :

$$A = - \tan \varphi \cdot \cot t$$

$$B = \tan \delta \cdot \text{cosec } t$$

$$C = \cot Az \cdot \sec \varphi$$

Man erhält damit die sogenannte ABC - Formel :

$$A + B = C$$

Die Werte von A, B und C sind in der Tafel 19 der Nautischen Tafeln von Fulst tabelliert. Beim Entnehmen der Werte sind Vorzeichenregeln zu berücksichtigen, die am Rand der Tafeln angegeben sind. Das so gefundene Azimut ist zunächst viertelkreisig, und muß noch in ein vollkreisiges Azimut umgewandelt werden. Ist C positiv so ist die Hauptrichtung des Azimutstrahls gleichnamig mit der Breite φ ; ist C dagegen negativ, so ist das Azimut ungleichnamig mit der Breite φ . War der errechnete Ortsstundenwinkel westlich ($t < 180^\circ$), dann ist der viertelkreisige Azimutwinkel nach Westen zu zählen ; bei östlichem Ortsstundenwinkel ($t > 180^\circ$) entsprechend nach Osten.

Semiversusformel	
Vorteile	⇒ sehr genaue Ergebnisse
	⇒ nur ein Tafelwerk notwendig
Nachteile	⇒ schwieriger zu erlernen
	⇒ längerer Rechenweg
	⇒ Gefahr von Flüchtigkeitsfehlern

Der logarithmische Rechenweg, das sogenannte Semiversusverfahren, ist mittlerweile als nautische Antiquität zu betrachten, obwohl viele alte Hasen noch darauf schwören. Zwar werden mit dem Semiversusverfahren sehr genaue Ergebnisse erzielt, doch ist die Gefahr von Flüchtigkeitsfehlern sehr groß, da man sehr viele Zahlen in Tabellen nachschlagen, diese miteinander addieren oder subtrahieren, und schließlich dabei auch noch umständlich zwischen vielen Werten interpolieren muß.

IV.2. H.O. - Tafeln

Einen erheblichen Beitrag zur Erleichterung der Rechenarbeit leisten die vom amerikanischen Hydrographic Office (H.O.) herausgegebenen sogenannten H.O. - Tafeln [10,11]. Die amerikanischen Ausgaben sind mit einer Spiralbindung versehen, die identischen englischen Tafeln (AP 3270) in einem festen Leineneinband gebunden. Die Vereinfachung der astronomischen Berechnungen wurde durch eine Rechentafel möglich, bei der man unmittelbar, nach Eingabe der geographischer Breite φ , der Deklination δ und des Ortsstundenwinkels t , die errechnete Höhe H_c sowie das zugehörige Azimut Z_n erhält.

Der Umfang eines solchen Tafelwerkes konnte durch geschickte Vereinfachung auf ein geringes Maß reduziert werden. Während bei der Berechnung von Höhe und Azimut mit Hilfe des Semiversus - Verfahrens vom tatsächlichen Koppelort ausgegangen wird, konstruiert man nun einen sogenannten Rechenort. Dieser zeichnet sich dadurch aus, daß seine geogr. Breite φ_R ganzgradig auf - bzw. abgerundet wurde, und dessen geogr. Länge λ_R darüberhinaus gerade so gewählt wurde, daß der zugehörige Ortsstundenwinkel t (= Greenwich Stundenwinkel Grw. Stw. \pm geogr. Länge λ_R) ebenfalls ganzgradig ist.

Durch diese Vereinfachung sind die Tafeleingänge geogr. Breite φ_R (LAT : latitude) und Ortsstundenwinkel t (LHA : local hour angel) automatisch ganzgradig, und es muß lediglich noch bei der Deklination δ (DEC : declination) interpoliert werden.

Bei der Konstruktion der Standlinie geht man im folgenden nicht mehr vom Koppelort aus, sondern trägt den Azimutstrahl vom benachbarten Rechenort (φ_R, λ_R) ab. Diese Näherung ist zulässig, solange der Rechenort einigermaßen in der Nähe des Schiffsortes liegt. Da der tatsächliche Schiffsort ohnehin nur selten genau mit dem Koppelort übereinstimmt kann man auch gleich mit dem nächstgelegenen Rechenort arbeiten, was die Rechnungen erheblich vereinfacht.

IV.2.a H.O. 249

Unter Seglern am beliebtesten sind die drei ursprünglich für die Air Force entwickelten Bände der " Sight Reduction Tables for Air Navigation ", kurz H.O. 249 [10]. In Zusammenhang mit den Ephemeriden des " Nautischen Jahrbuches " [2,3] ermöglichen diese Tafeln die Bestimmung der Höhen und Azimute mit minimalen Rechenaufwand.

Band II (geogr. Breite $0^\circ - 39^\circ$) und Band III (geogr. Breite $39^\circ - 89^\circ$) werden benötigt für Sonne, Mond und Planeten und umfassen die Werte für die Deklination $0^\circ - 29^\circ$.

Mit dem Band I " Selected Stars " lassen sich die Standorte ausgewählter Sterne für einen bestimmten Beobachtungszeitpunkt vorausberechnen und dann mit dem Sextanten leicht finden. Die Sonne kann man sicher nicht verwechseln, Sterne dagegen gibt es am Himmel unendlich viele, und alle sehen sich zum verwechseln ähnlich. Welcher Navigator weiß schon wo man Arcturus, Spica oder Riegel findet ? Dank der H.O. - Tafeln 249 Bd. I braucht man das nun auch nicht mehr zu wissen, denn diese Tafel liefert für jeweils sieben besonders günstig stehende Fixsterne unmittelbar Höhe und Azimut. Sogenannte Sternfinder [26] zur Vorausberechnung von Sternstellungen und zur Namensbestimmung beobachteter Sterne werden nicht mehr benötigt.

H.O. 249 (Bd. I " Selected Stars ")	
Vorteile	⇒ leichtere Vorbereitung der Sternbeobachtung
	⇒ wesentlich einfachere Auswertung
Nachteile	⇒ der Bd.I " Selected Stars " gilt nur für jeweils fünf Jahre und muß dann neu gekauft werden
	⇒ für Beobachtungen die nicht im Jahr der Herausgabe gemacht werden ist eine kleine Korrektur notwendig
	⇒ die Sternbezeichnungen weichen von den Bezeichnungen im Nautischen Jahrbuch ab, manche Sterne sind im NJ sogar überhaupt nicht erfaßt

Die Vorteile des Verfahrens sind gewichtiger und haben die H.O. - Tafeln 249 zu den am weitesten verbreiteten astronomischen Rechentafeln gemacht.

Ein weiterer Vorteil besteht darin , daß die einzelnen Seiten der H.O. 249 , anders als z.B. die der H.O. 229, nach der geographischen Breite sortiert sind. Wer also sein Fluggepäck reduzieren möchte, der kopiert lediglich die wirklich benötigten Seiten (max. 8 pro Breitengrad) aus dem Tafelwerk heraus.

IV.2.b H.O. 229

Die sechs Bände der " Sight Reduction Tables for Marine Navigation " [11] umfassen jeweils für 15 Breitengrade (Bd.I (0°-15°) bis Bd.VI (75°-90°)) die Werte für die Deklination 0° - 90° . Im Gegensatz zu den Rechentafeln H.O. 249 die im Band II / III auf Deklinationen 0° - 29° beschränkt sind, sind die H.O. 229 - Tafeln für alle möglichen Werte der Deklination (0° - 90°) ausgelegt. Ein spezieller Band für die Berechnung von Fixsternen ist daher nicht erforderlich. Ebenso wie die H.O. 249 Bd. I/II behalten die H.O. 229 Bd. I - VI ihre Gültigkeit und müssen nicht erneuert werden.

Die Rechentafeln H.O. 229 besitzen gegenüber den H.O. 249 eine gesteigerte Rechengenauigkeit, was damit zusammenhängt, daß die Minuten der Deklination nicht mehr auf- bzw. abgerundet werden. Allerdings erhöht sich dadurch auch die benötigte Rechenzeit geringfügig. Berücksichtigt man, daß die Beobachtung des Höhenwinkels mit einem Sextanten an Bord einer schwankenden Yacht ohnehin nur eine maximale Genauigkeit von ca. einer Winkelminute (1' = 1sm) besitzt, so sind die einfacher zu handhabenden H.O. 249 - Tafeln allemal ausreichend.

H.O. 229 (Bd. I - Bd. VI)	
Vorteile	⇒ erhöhte Rechengenauigkeit ($\approx 0,1$ sm)
	⇒ umfaßt alle Werte der Deklination ($0^\circ - 90^\circ$)
	⇒ immerwährend gültig
Nachteile	⇒ insgesamt sechs Bände notwendig, um alle Breitengrade abzudecken
	⇒ gesteigerte Rechengenauigkeit bedingt aufwendigere Interpolation von Tafelwerten

IV.3. Record Tables

Wem der Stauraum fehlt, der besitzt mit den " Record Tables " [14] eine Alternative zu den amerikanischen Höhentafeln H.O. 249 und H.O. 229. Durch Aufschlagen von maximal drei Tafelseiten ist es möglich schnell und sicher Höhe und Azimut eines Gestirns zu errechnen. Die Tafel ist immerwährend gültig und berücksichtigt alle Breitengrade ($0^\circ - 90^\circ$) und alle Deklinationen ($0^\circ - 90^\circ$) in einem Band.

Record Tables	
Vorteile	⇒ ein Band umfaßt alle Breitengrade ($0^\circ - 90^\circ$) und alle Werte der Deklination ($0^\circ - 90^\circ$)
	⇒ die Tafel ist immerwährend gültig
	⇒ günstiger Preis
Nachteil	⇒ der Rechenverlauf ist weniger übersichtlich

V. Programmierbare Taschenrechner

Die Entwicklung preiswerter und leistungsfähiger Taschenrechner mit entsprechender Speicherkapazität erlaubt die Berechnung von Höhe und Azimut aus den Ephemeriden [2,3] mittels zweier, relativ leicht überschaubarer, Formeln der sphärischen Trigonometrie.

Für die berechnete Höhe (H_c) erhält man :

$$H_c = \arcsin (\sin DEC \cdot \sin LAT + \cos DEC \cdot \cos LAT \cdot \cos LHA)$$

mit den Bezeichnungen :

DEC (declication) = Deklination δ

LAT (latitude) = geißte Breite φ

LHA (local hour angel) = Ortsstundenwinkel $t = \text{Grw. Stw.} \pm \text{geißte Länge } \lambda$

Für den Azimutwinkel (Z) erhält man :

$$Z = \arctan \left(\frac{- \sin LHA}{\tan DEC \cdot \cos LAT - \sin LAT \cdot \cos LHA} \right)$$

Südliche Breite (LAT , φ) und Deklination (DEC , δ) müssen in diesen Formeln negativ eingesetzt werden, und der Ortsstundenwinkel (LHA , t) wird hier immer vollkreisig ($0^\circ - 360^\circ$) gezählt.

Es gibt noch andere Azimutformeln, aber die hier genannte ist die praktischste, denn sie ist für Nord- und Südhalbkugel gleich und gibt als positives Ergebnis gleich das Azimut (Z_n) aus. Ist das Ergebnis negativ so gilt : $Z_n = 360^\circ - Z$.

Wer sogar einen programmierbaren Taschenrechner besitzt, kann auch ganz ohne Tabellenwerk arbeiten. Die im Nautischen Jahrbuch für jeweils ein Jahr im voraus berechneten Ephemeriden können dann nämlich selbst berechnet werden. Neben einer ganzen Reihe von fertigen Navigations - Programmen [6,24] gibt es auch Programmsammlungen für Selbstprogrammierer [8,19], die nach eigenen Wünschen beliebig modifiziert werden können. Selbst für PC's oder Laptops gibt es mittlerweile entsprechende Software [16,22].

Auch der Umgang mit den klassischen Rechentafeln kann per Computer geübt werden. Für die Kontrollrechnung von Übungsaufgaben gibt es mittlerweile entsprechende Astro - Übungsprogramme [16,23], deren Software die Daten der H.O. 249 - Tafeln sowie die des Nautischen Jahrbuches enthält.

Programmierbare Taschenrechner , PC's und Laptops	
Vorteile	⇒ schnell und bequem zu bedienen
	⇒ hohe Rechengenauigkeit , keine Interpolation von Tafelwerten erforderlich
Nachteile	⇒ von Stromquellen abhängig
	⇒ störanfällige Elektronik

Bei elektronischen Instrumenten an Bord ist jedoch grundsätzlich zu bedenken, daß diese Stromquellen benötigen und relativ anfällig für Störungen sind. Auf See ist man also gut beraten, wenn man sich zum einen nicht blind auf die Ergebnisse der elektronischen Navigationshilfen verläßt und zum anderen notfalls in der Lage ist die Position per Hand zu ermitteln.

Für die Astronavigation bedeutet das : Astronavigation per Tabellenwerk, also mittels Nautischem Jahrbuch und Höhentafeln bzw. Semiversustabellen. Damit die Arbeit übersichtlich bleibt, und selbst dann noch gelingt wenn die Theorie schon einige Jahre zurückliegt, kann man auf vorgedruckte Formulare zurückgreifen.

Unter Verwendung der bereits erwähnten H.O. 249 Tafeln gibt es für sämtliche gängigen Verfahren der Astronavigation wasserfest eingeschweißte Arbeitstafeln [5]. Über einfache Zwangsrechenwege gelangt der Benutzer relativ schnell und, bei entsprechender Sorgfalt, fehlerlos zum gewünschten Ergebnis. Auf der Rückseite dieser Formulare befindet sich ein sogenannter Skipper - Spickzettel, hier wird jeder einzelne Rechenschritt im Klartext und überaus leicht verständlich erklärt.

VI. Tagbogenverfahren

Das Tagbogenverfahren ist ein völlig neues Verfahren der astronomischen Navigation. Es wurde von dem Physikstudenten Ralf Lampalzer entwickelt [13], der dafür beim Bundeswettbewerb " Jugend forscht ", Fachbereich Geo- und Raumwissenschaften, mit dem ersten Platz ausgezeichnet wurde.

Leider jedoch wird dieses Verfahren bisher von der Fachwelt zu wenig beachtet. Dabei ist die Idee die hinter diesem neuen Verfahren steht relativ einfach zu verstehen. Jeder Beobachtungsposition auf der Erde entspricht eine ganz bestimmte sichtbare Bahn des Gestirns am Himmel (Tagbogen).

Mißt man nun den Höhenwinkel eines Gestirns zu verschiedenen Zeiten, dann kann man aus diesen Daten die Bahn des Gestirns rekonstruieren und erhält rückschließend aus dieser Kurve die Beobachungsposition. Allerdings ist hierfür in jedem Fall ein programmierbarer Taschenrechner notwendig, denn eine tabellengestützte Auswertung, wie beim Höhendifferenzverfahren, ist nicht möglich.

Bei einer Positionsbestimmung mit Hilfe des Höhendifferenzverfahrens muß man zwischen den einzelnen Beobachtungen der Sonne eine gewisse Zeit (ca. 2 - 3 Stunden) verstreichen lassen, um so einen brauchbaren Schnittwinkel der Standlinien zu erhalten (das Azimut der Sonne ändert sich etwa 15° pro Stunde). Dagegen liefert das Tagbogenverfahren aufgrund der verwendeten statistischen Methoden bereits nach etwa einer Stunde einen hinreichend genauen Standort, und das ohne einen Koppelort einzugeben. Das ist natürlich insbesondere dann wichtig, wenn bei aufziehender Bewölkung in einigen Stunden keine Beobachtung mehr möglich sein wird.

Tagbogenverfahren	
Vorteile	⇒ es wird kein Koppelort benötigt
	⇒ durch viele Einzelmessungen (max. 15) kann der Meßfehler verringert werden, einzelne fehlerhafte Messungen können erkannt und verworfen werden
	⇒ der benötigte Zeitraum für eine Positionsbestimmung mit Hilfe der Sonne wird deutlich verkürzt
	⇒ für den Standort wird eine Genauigkeit angegeben
	⇒ das Verfahren arbeitet exakt kugelgeometrisch
Nachteile	⇒ man erhält keine Einzelstandlinie, die man mit anderen Standlinien (Funkpeilung, Tiefenlinie, Kurslinie etc.) zeichnerisch kombinieren könnte
	⇒ von Stromquellen abhängig
	⇒ störanfällige Elektronik

-
- [1] Joachim Böhme, Walter Steinfatt, Lothar Böhme; " *Astronomische Navigation* ", VEB Verlag für Verkehrswesen , Berlin (1987)
- [2] Britisch Admiralty / US - Navy (Hrsg.) ; " *The Nautical Almanac* ",
- [3] Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (Hrsg.); "*Nautisches Jahrbuch*", BSH - Verlag , Hamburg
- [4] Deutscher Hochseesportverband Hansa e.V.(Hrsg.); " *Seemannschaft* ", Delius Klasing Verlag , Bielefeld (1985)
- [5] Christian von Eckartsberg ; " *Astro - Arbeitskarten* " , Seefreunde - Verlag , München (1992)
- [6] Wilfried Erdmann ; " *Astro-Navigationsprogramm* " , Eckardt und Messtorff , Hamburg (1991)
- [7] Wolfgang Friederichsen (Hrsg.) ; " *Das Segelhandbuch* " , Hoffmann und Campe, Hamburg (1986)
- [8] H. Gudehus ; " *Astronomische Positionsbestimmung ohne Koppelort* " , Seewart , Bd. 5 S.235 ff. , (1981)
- [9] Gunther Herdam ; " *Astronomische Navigation für das Sporthochseeschifferzeugnis und den Führerschein C des DSV* " , Eigenverlag (030/3234412) , Berlin (1987)
- [10] Hydrographic Office (Hrsg.) ; " *Sight Reduction Tables for Air Navigation* " , Publication 249 Bd. 1-3, Defense Mapping Agency USA , Washington (1987)
- [11] Hydrographic Office (Hrsg.); "*Sight Reduction Tables for Marine Navigation*", Publication 229 Bd 1-6 , Defense Mapping Agency USA, Washington (1980)
- [12] Helmut Knopp ; " *Astronomische Navigation* " , Busse & Seewald Verlag , Herford (1986)
- [13] Ralf Lampalzer ; " *Bestimmung der geographischen Position aufgrund mehrerer astronomischer Messungen mit Fehlerrechnung* " , Deutsche Hydrographische Zeitschrift Bd. 41, (1988)

-
- [14] J.C. Lieuwen ; " *Record Tables für astronomische Navigation* " ,
- [15] Johannes Lütjen , Walter Stein , Gerhard Zwiebler (Hrsg.) ; " *Fulst - Nautische Tafeln* " , Arthur Geist Verlag , Bremen (1981)
- [16] MicroConsult ; " *NaviCalc / Astro* " , Version 1.0 , Berlin (1991)
- [17] Uwe D. Minge ; " *DSV Segellehrplan 5 - Führerscheine Bk und C* " , BLV Verlagsgesellschaft , München (1983)
- [18] Oberkommando der Kriegsmarine und des Reichsverkehrsministeriums (Hrsg.); " *Lehrbuch der Navigation* " , Teil 2 , Arthur Geist Verlag , Bremen (1943)
- [19] Karl-Günter Prusseit ; " *Navigationsprogrammammlung für Pocket Computer*" , Fischel GmbH , Berlin (1992)
- [20] Bobby Schenk ; " *Yachtnavigation* " , Delius Klasing Verlag , Bielefeld (1981)
- [21] Bobby Schenk ; " *Astronavigation - ohne Formeln praxisnah* " , Delius Klasing Verlag , Bielefeld (1991)
- [22] Bobby Schenk ; " *Navtools* " , Version 2.1 , Delius Klasing Verlag , Bielefeld, (1991)
- [23] Bobby Schenk ; " *Astro mit Bobby Schenk* " , Delius Klasing Verlag , Bielefeld (1991)
- [24] Bobby Schenk ; " *Navigationsmodul für den Sharp - PC1600* " ,
- [25] W.F. Schmidt ; " *Astronomische Navigation* " , Springer Verlag , Berlin (1991)
- [26] " *Star Finder and Identifier* " , H.O. 2102-D
- [27] Walter Stein , Werner Kumm ; " *Astronomische Navigation* " , Delius Klasing, Bielefeld (1989)
- [28] Michael Wesener ; " *Führerschein C für Seefahrt*" , Delius Klasing Verlag, Bielefeld (1981)