

Volkers Chrashkurs Astronavigation

Vorwort

Dem einen oder anderen mag es in heutiger Zeit überflüssig vorkommen sich mit Astronomischer Navigation zu beschäftigen, wo es doch bereits viel komfortablere und genauere Navigationssysteme wie Loran, Omega und natürlich GPS gibt, welche die aktuelle Position einfach auf ihren Display anzeigen. Trotzdem ist und bleibt Astronavigation ein hoch interessantes und faszinierendes Hobby, zumal dafür keine komplizierten Satellitensysteme oder ähnliches erforderlich sind. Astronavigation gar nicht so schwer zu erlernen, wie der Laie vielleicht vermuten möchte. Trotzdem gehts nicht ganz ohne Mathematikkenntnisse und etwas "Gehirnakrobatik". Im Handel gibt es Tabellen, wie zum Beispiel das Nautische Jahrbuch zu kaufen. Diese ersparen eine Menge Arbeit, denn in ihnen stehen die Positionen der Gestirne für jeweils ein Jahr bereits fertig ausgerechnet. Leider gibt es kaum noch Menschen, die den Umgang mit dem Sextant beherrschen. Deshalb habe ich mich dazu entschlossen diesen Chrashkurs zu schreiben, um jedem der daran interessiert ist den Einstieg zu erleichtern.

Die Genauigkeit einer astronomischen Standlinie ist nicht nur von dem Sextanten, sondern auch sehr stark von dem Können des Navigators abhängig. Die meisten Weltumsegler schwören auf Metallsextanten. Für den Hobby-Astronavigator ist ein solcher Sextant ganz klar zu teuer. Ich verwende einen Plastiksextanten der gehobenen Preisklasse und erreiche damit in der Regel eine Genauigkeit von ungefähr 8 Seemeilen. Häufig beträgt sie sogar nur etwa 5 Seemeilen. Wichtig ist, daß sämtliche bekannte Fehler korrigiert werden, denn ein Sextant ist immer nur so gut, wie derjenige, der ihn bedient. Gewarnt sei an dieser Stelle vor Billigsextanten für 50 Euro. Diese Sextanten eignen sich vielleicht zum Erlernen der Astronavigation, werden Ihnen danach jedoch wenig Freude bereiten.

Die Polynesier kannten noch eine andere Art mit den Sternen zu navigieren: Sie benötigten keine Hilfsmittel wie Sextant oder Kompaß. Wenn sie beispielsweise von Tahiti nach Hawaii segeln wollten, fuhren sie zunächst direkt nach Norden, bis sie nachts genau die Sterne über sich sahen, die ihre Bahnen über dem Breitengrad von Hawaii ziehen. Tagsüber entnahmen die Polynesier den Kurs der Sonne und nachts den Sternen. Nach überqueren des Äquators reichte es dazu aus immer auf den Nordstern zu zufahren. Nachdem sie die Breite Hawaiis erreicht hatten, änderten sie ihren Kurs genau nach Westen und hielten Ausschau nach stillstehenden Türmchenwolken, von denen Sie wußten, daß sich unter ihnen Land befindet. Diese Wolken entstehen durch das Aufsteigen wasserhaltiger Luftmassen über der Insel die in höheren Luftschichten kondensieren.

Bei Fragen oder Unklarheiten stehe ich Ihnen gerne via Email zur Verfügung.

Volker Lotze

Kontakt:

Homepage: www.volker-lotze.de

Email: volker2000@gmx.de

Das Koordinatensystem der Erde

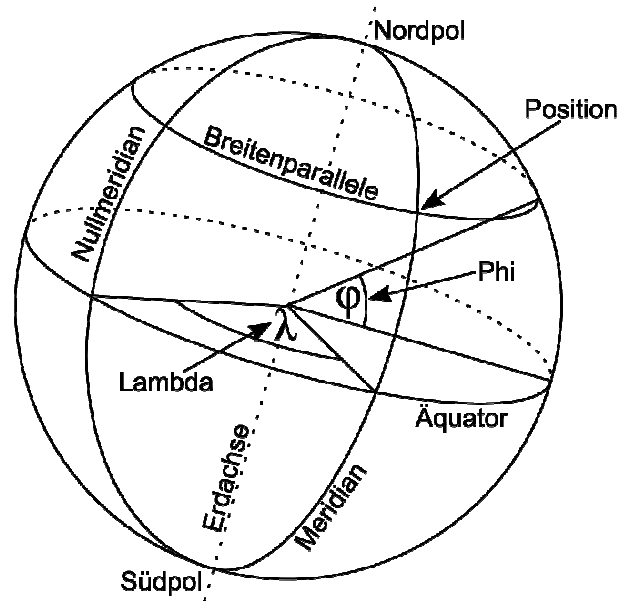
Um überhaupt astronomisch navigieren zu können, muß man zunächst einmal wissen wie das Gradnetz der Erde funktioniert. Mit Hilfe des Gradnetzes kann man jeder Position auf der Erde eine Länge (Meridian) und eine Breite (Breitenparallele) zuordnen:

Geographische Länge

Meridiane sind vom Nordpol zum Südpol verlaufende Halbkreise. Der Mittelpunkt jedes Meridians ist der Erdmittelpunkt. Ein Meridian wird festgelegt, indem man den Winkel zwischen Nullmeridian/Erdmittelpunkt/Meridian auf der Äquatorebene angibt. In der Skizze wird dieser Winkel mit Lambda gekennzeichnet. Der Nullmeridian ist dabei der Meridian der durch die Sternwarte von Greenwich verläuft. Zusätzlich zu dem Winkel muß noch angegeben werden, ob sich die Position östlich oder westlich von Greenwich befindet. Der größtmögliche Wert für einen Meridian wäre also 180°. Dabei fallen 180° Ost und 180° West zu einem Meridian zusammen. In der Regel schreibt man jedoch nicht Ost und West sondern W für West und E (engl. East) für Ost um einer Verwechslungsgefahr mit einer Null vorzubeugen hinter die Koordinaten.

Geographische Breite

Breitenparallelen sind zum Äquator parallel verlaufende Kreise. Der Mittelpunkt einer Breitenparallele befindet sich immer auf der Erdachse, er ist jedoch nicht zwangsläufig auch der Erdmittelpunkt. Das ist nur beim Äquator selbst der Fall. Um eine Breitenparallele festzulegen, gibt man den Winkel zwischen Position/Erdmittelpunkt/Äquatorebene an. Neben diesem Winkel muß noch angegeben werden ob sich die Position auf der Nord- oder Südhalbkugel befindet. Das geschieht meistens mit den Buchstaben N und S. Die Breitenparallele entspricht dem Winkel Phi in der Skizze.



Grade, Minuten und Sekunden

In der Navigation ist es - anders als in der Mathematik - allgemein üblich, Winkel nicht in Dezimalgraden (also Winkelangaben mit Nachkommastellen) sondern in Graden und Minuten anzugeben. Eine Minute entspricht einem Sechzigstel Grad. Die Minuten werden mit einem Hochkomma abgekürzt. Eine Positionsangabe könnte zum Beispiel so aussehen:

Berlin:
52° 31,2' N
13° 24,6' E

Weniger üblich ist es dagegen geworden die Nachkommastellen der Minuten auch noch in Sekunden umzurechnen. Eine Sekunde entspricht wiederum einer Sechzigstel Minute. Eine Positionsangabe in Graden, Minuten und Sekunden könnte so aussehen:

Berlin:
52° 31' 12" N
13° 24' 36" E

Um Positionsangaben in Taschenrechnern verwenden zu können, müssen diese in Dezimalgrade umgerechnet werden. Dies geschieht mit folgender Formel:

$$\text{Dezimal grade} = \text{Grade} + \frac{\text{Minuten}}{60}$$

Diese Formel funktioniert nicht nur bei Positionsangaben sondern selbstverständlich auch bei allen anderen Winkeln, wie zum Beispiel dem Kimmabstand. Die Positionsangabe von Berlin würde dann so aussehen:

Berlin:
52,52° N
13,41° E

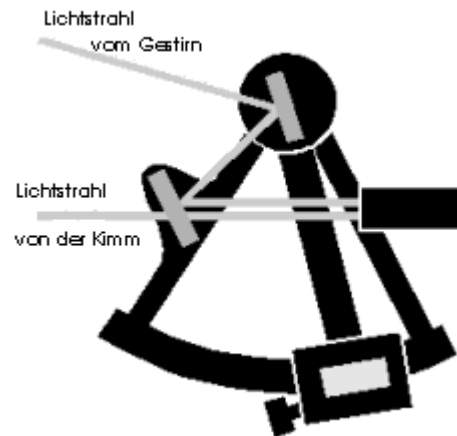
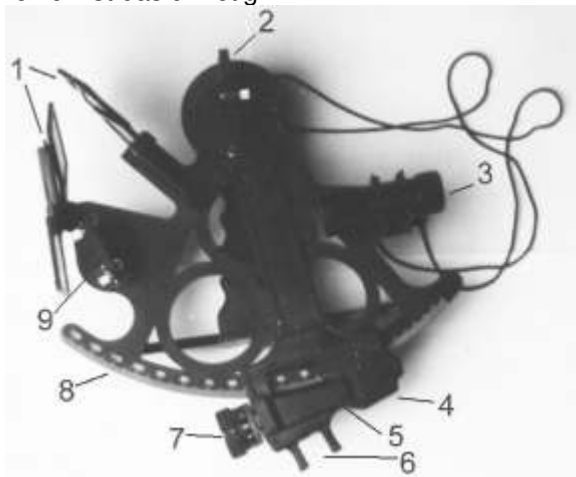
Die Seemeile

Unter einer Seemeile (sm) versteht man die Länge einer Breitengradminute. Der Nordpol wäre demnach $90 \cdot 60 = 5400$ sm von dem Äquator entfernt. Eine Seemeile entspricht 1,852 Kilometer.

Der Sextant

Ein Sextant ist im Prinzip nichts anderes als ein sehr genaues Winkelmessinstrument. Er wird im wesentlichen dazu gebraucht, um den Winkel zwischen dem Horizont (der Seemann nennt ihn Kimm) und einem Gestirn zu messen. Bei Sonne und Mond wird dabei zwischen Ober- und Unterrand

unterschieden. Bei Planeten und Fixsternen, die uns sowieso nur als kleiner Punkt am Himmel erscheinen ist das unnötig.



Die Einzelteile eines Sextanten

1. Lichtfilter
2. Indexspiegel
3. Fernrohr
4. Alhidade (Zeigerarm)
5. Sichtfenster mit Zeigerstrich
6. Sperrklinke
7. Trommel
8. Limbus (Gradbogen)
9. Horizontspiegel

Der Kippfehler des Indexspiegels

Bevor wir mit dem Messen von Gestirnen beginnen, müssen wir noch ein paar Fehler an dem Sextanten beheben. Da wäre zunächst einmal der Kippfehler des Indexspiegels. Er tritt auf, wenn der Indexspiegel nicht genau senkrecht auf dem Sextanten montiert ist und beeinträchtigt den Sextanten in seiner Genauigkeit. Um festzustellen ob ein solcher Fehler vorliegt, reicht es aus, die Alhidade etwa in die Mitte zu stellen und aus der Richtung, aus der normalerweise der Lichtstrahl vom Gestirn einfällt, in den Indexspiegel zu gucken. In der rechten Hälfte spiegelt sich neben dem Horizontspiegel ein Teil des Gradbogens. Wenn man jetzt rechts an dem Indexspiegel vorbeischaut, sieht man auf den Nullpunkt der Gradskala. Wenn diese beiden Gradbogenausschnitte nahtlos ohne eine Stufe ineinander übergehen, liegt kein Kippfehler vor. Andernfalls muß der Indexspiegel durch Drehen der Justierschrauben in die richtige Stellung gebracht werden.

Der Indexfehler

...tritt auf, wenn der Horizontspiegel nicht richtig geneigt ist. Um zu überprüfen ob ein Indexfehler vorliegt, stellt man die Alhidade auf $0^{\circ} 00'$. Volle Grade werden dabei durch Auskuppeln der Sperrklinke und Verschieben der Alhidade, Gradminuten durch Drehen der Trommel eingestellt. Steht der Sextant in Nullstellung? Gut. Wenn wir jetzt durch das Fernrohr auf ein möglichst weit entferntes Objekt (am besten die Kimm) blicken, müßte sofern der Horizontspiegel nur auf einer Seite verspiegelt ist, die Kimm als eine durchgehende Linie erkennbar sein. Ist das nicht der Fall, muß der Horizontspiegel durch Drehen einer Justierschraube in die richtige Stellung gebracht werden. Bei einem modernen Vollsichtspiegel sieht man (sofern ein Indexfehler vorliegt) zwei Kimmlinien direkt übereinander, die es durch Justieren des Horizontspiegels in Deckung zu bringen gilt.

Der Kippfehler des Horizontspiegels

Setzen Sie den Sextanten noch nicht ab. Wir müssen zuerst noch einen Fehler beheben, der auftritt, wenn der Horizontspiegel nicht genau senkrecht steht. Blicken wir dazu wieder durch den Sextanten auf den Horizont. Die Kimm ist nach Beseitigen des Indexfehlers als durchgehende Linie zu sehen. Kippen wir jetzt den Sextanten um etwa 45° aus der Senkrechten. Wenn sich jetzt wieder eine Stufe in

der Kimm befindet müssen Sie nochmals die Neigung des Horizontspiegels (diesmal um die andere Achse) mit der anderen Justierschraube korrigieren.

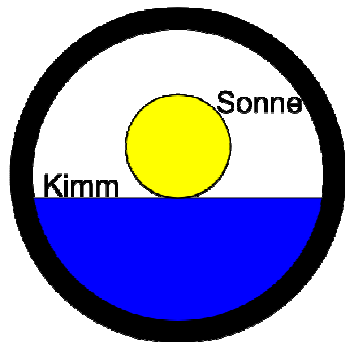
Um ein Ausleiern der Justierschrauben zu vermeiden sollte man nicht unnötig viel an diesen herumdrehen.

Jetzt sind alle wichtigen Fehler des Sextanten korrigiert und wir können mit dem Messen anfangen. Es gibt natürlich noch weitere Fehler wie den Exzentrizitätsfehler, der auftritt wenn der Drehpunkt der Alhidade nicht genau mit dem Mittelpunkt des Limbus zusammenfällt. Solche Fehler können jedoch nur mit speziellen Meßgeräten nachgewiesen werden, und können von uns nicht berücksichtigt werden.

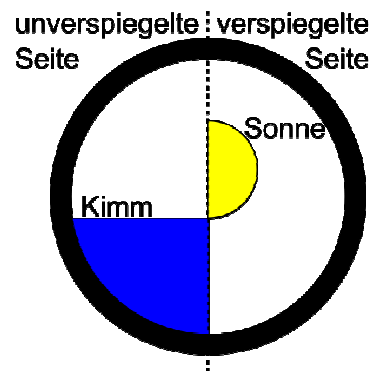
Die erste Sonnenmessung

Wie bereits angedeutet, gibt es zwei Arten von Horizontspiegeln: Halbspiegel und Vollsichtspiegel. Wir stellen nun die Alhidade auf ungefähr 45° und blicken durch den Sextanten. Bei einem Halbspiegel sehen wir jetzt ein geteiltes Bild. Das hängt damit zusammen, daß der Horizontspiegel nur auf der rechten Seite verspiegelt ist. Die andere Seite ist durchsichtig. Versuchen wir einmal den Sonnenunterrand zu messen: Dazu klappen wir einige Lichtfilter zum Schutz vor dem Sonnenlicht in den Strahlengang. Die Sicht durch den unverspiegelten Teil des Horizontspiegels sollte frei von Lichtfiltern sein.

Schauen wir nun durch den Sextanten und halten ihn so, daß wir im unverspiegelten Teil die Kimm sehen. Jetzt kuppeln wir die Alhidade aus und versuchen durch schnelles hin und her bewegen dieser und durch langsames ändern der Blickrichtung die Sonne zu finden. Dann bringen wir den Sonnenunterrand durch drehen der Trommel mit der Kimm in Deckung (siehe Bild).



Bei einem Vollsichtspiegel ist der Spiegel halbdurchlässig. Dadurch ist das Bild nicht geteilt und wir können gleichzeitig Sonne und Kimm in einem Bild sehen. Wenn Sie noch keinen Sextanten haben sollten Sie sich auf jeden Fall einen mit Vollsichtspiegel zulegen. Damit ist es bei Seegang um einiges leichter genaue Messungen durchzuführen.



Bevor wir jetzt den Sextanten absetzen, müssen wir noch überprüfen, ob wir wirklich den kleinsten Winkel zwischen Kimm und Sonne erwisch haben. Wenn wir den Sextanten nämlich nicht absolut senkrecht halten ist der Winkel, den wir gemessen haben, nämlich etwas zu groß. Dazu kippen wir den Sextant etwas zu beiden Seiten und behalten dabei die Sonne im Sichtfenster. Wenn der Unterrand der Sonne unter die Kimmlinie wandert müssen wir ihn durch Drehen der Trommel wieder mit der Kimm in Deckung bringen. Dieser Vorgang nennt sich Pendeln.

Haben Sie den kleinsten Winkel gefunden? Dann können wir den Sextanten jetzt absetzen und den Winkel ablesen. Die ganzen Grade werden dabei im Sichtfenster der Alhidade und die Minuten auf der Trommel angezeigt. Haben wir einen Winkel von beispielsweise $21^\circ 38,0'$ gemessen dann schreibt man das so:

☉ $21^\circ 38,0'$

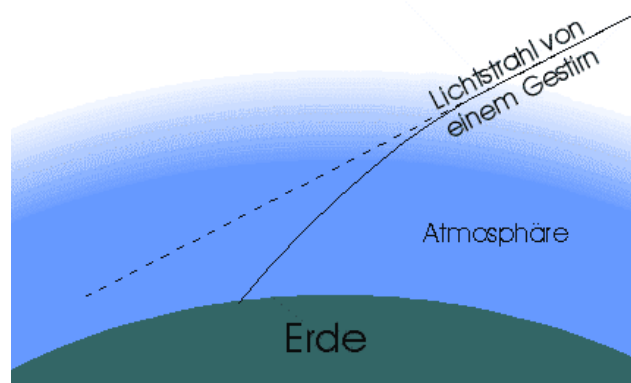
Dabei steht das Zeichen ☉ für die Sonne. Die beiden Balken unter dem Kreis zeigen, daß es sich um den Sonnenunterrand und um einen unbeschrifteten Winkel handelt. Das bedeutet wir haben die Lichtbrechung der Atmosphäre und andere Faktoren noch nicht berücksichtigt. Der von Ihnen gemessene Winkel nennt sich übrigens Kimmabstand des Sonnenunterrandes.

Während der Messung müssen wir uns die Uhrzeit merken (aufschreiben!), zu der die Messung durchgeführt wurde. Aber das wird im Abschnitt „Verschiedene Zeiten“ noch besprochen.

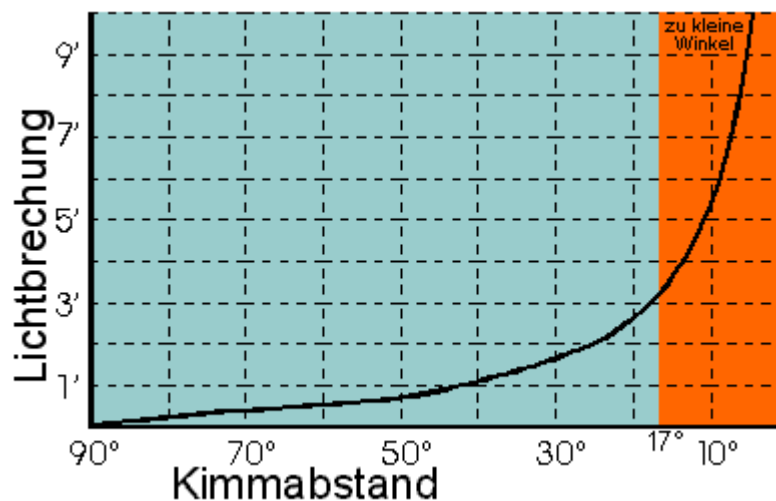
Winkelbeschickung

Der gemessene Kimmabstand läßt sich wie bereits angedeutet noch nicht ohne weiteres verwenden. Er muß zunächst beschickt werden. Das bedeutet, daß er um einige vorhersehbare Meßfehler korrigiert wird. Welche Faktoren das im einzelnen sind lesen Sie hier:

Atmosphärische Lichtbrechung

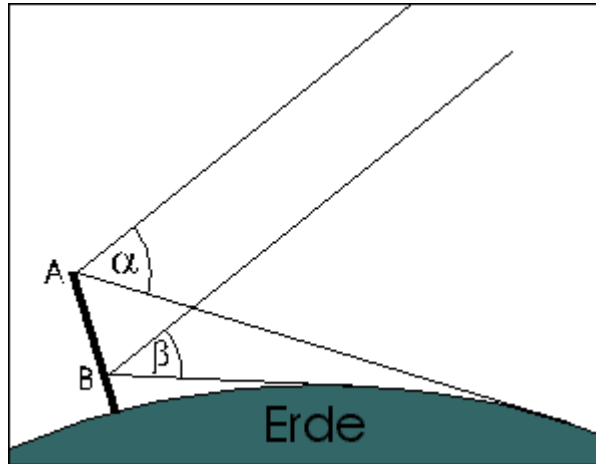


Wie die obige Grafik verdeutlicht wird jeder aus dem Weltraum kommende Lichtstrahl von der Erdatmosphäre gebrochen. Das bedeutet, daß wir ein Gestirn immer etwas höher am Himmel sehen als es in Wirklichkeit steht. Die Lichtbrechung macht in den meisten Fällen nicht mehr als ein paar Minuten aus. Je kleiner der Kimmabstand, also der Winkel zwischen Gestirn und Kimm ist desto größer ist die Lichtbrechung, da der Lichtstrahl einen längeren Weg durch die Atmosphäre zurücklegt. Weil der Luftdruck in den einzelnen Luftschichten sich jedoch ständig ändert, kann man die Lichtbrechung nicht genau vorhersagen sondern nur annähern. Gemessene Winkel die kleiner als etwa 17° sind lassen sich für die Astronavigation aus diesem Grund nicht mehr verwenden.



Das obige Diagramm zeigt den Verlauf der Lichtbrechung mit abnehmenden Kimmabstand. Bei einem Kimmabstand von 90° beträgt die Lichtbrechung $0'$ - logisch: das Gestirn steht genau über dem Beobachter. Bei einem Kimmabstand von nur 5° beträgt die Lichtbrechung dagegen schon $10'$ Minuten. Weil das jedoch nur eine Annäherung ist die um ein paar Minuten schwanken kann, ist sie für die Astronavigation zu ungenau.

Berücksichtigung der Augenhöhe



Wie man auf dieser Grafik erkennen kann, mißt der Beobachter A mit dem Winkel Alpha einen größeren Kimmabstand als Beobachter B mit dem Winkel Beta, obwohl beide die gleiche Position auf der Erde haben. Das bedeutet wir müssen auch noch die Augenhöhe in unserer Winkelbeschreibung berücksichtigen.

Beschickung auf den Sonnenmittelpunkt

Zuletzt müssen wir noch den halben Sonnendurchmesser zu dem Winkel hinzuaddieren weil wir für die weitere Auswertung den Kimmabstand des Sonnenmittelpunkts benötigen.

Winkelbeschreibung mit dem Nautischen Jahrbuch

Das Nautische Jahrbuch (NJ) wird gegen Ende jedes Jahres für das jeweils nächste Jahr vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie herausgegeben. Es stellt alle für die Astronavigation erforderlichen Tabellen zur Verfügung. Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt der Tabelle zur Gesamtbeschreibung für den Sonnenunterrand aus dem NJ von 1999. An dem weißen Balken und am Ende habe ich die Tabelle gekürzt.

42

Gesamtbeschreibung für den Kimmabstand des Sonnenunterrandes

Kimmabstand	Augeshöhe in Meter																				
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
3	+ 1,8	-0,9	-2,0	-2,8	-3,6	-4,2	-4,8	-5,3	-5,7	-6,2	-6,6	-7,0	-7,4	-7,8	-8,2	-8,5	-8,8	-9,2	-9,5	-9,8	-10,1
3,5	+ 3,2	+0,6	-0,5	-1,3	-2,0	-2,6	-3,2	-3,7	-4,2	-4,7	-5,1	-5,5	-5,9	-6,3	-6,6	-6,9	-7,3	-7,6	-7,9	-8,2	-8,5
4	+ 4,4	+1,8	+0,7	-0,1	-0,8	-1,4	-2,0	-2,5	-3,0	-3,4	-3,8	-4,2	-4,6	-5,0	-5,4	-5,7	-6,0	-6,4	-6,7	-7,0	-7,3
20	+13,5	11,0	9,9	9,1	8,4	7,8	7,3	6,8	6,4	5,9	5,5	5,1	4,8	4,4	4,1	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5	2,2
22	+13,8	11,2	10,2	9,4	8,7	8,1	7,6	7,1	6,6	6,2	5,8	5,4	5,0	4,7	4,3	4,0	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5
24	+14,0	11,4	10,4	9,6	8,9	8,3	7,8	7,3	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,9	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	3,0	2,7
26	+14,2	11,6	10,6	9,8	9,1	8,5	8,0	7,5	7,0	6,6	6,2	5,8	5,4	5,1	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5	3,2	2,9
28	+14,3	11,8	10,8	10,0	9,3	8,7	8,2	7,7	7,2	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,9	4,6	4,2	3,9	3,6	3,3	3,1
30	+14,5	11,9	10,9	10,1	9,4	8,8	8,3	7,8	7,3	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5,0	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5	3,2

Nachdruck mit Genehmigung des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) - Hamburg und Rostock -8095-2/01 N34

Angenommen Sie haben den Sonnenunterrand unter einen Winkel von $22^{\circ} 29'$ aus einer Augenhöhe von 2 Metern gemessen. Der Tabelle nach müssen Sie jetzt noch $11,3'$ hinzuaddieren um den Winkel zu beschicken. In der Regel ist es überflüssig mit Nachkommastellen zu rechnen, weil das Ergebnis dadurch nicht merklich genauer wird. Wir schreiben also:

$$\begin{array}{r}
 \odot \quad 22^{\circ} 29' \\
 \quad \quad \quad + 11' \\
 \hline
 \ominus \quad 22^{\circ} 40'
 \end{array}$$

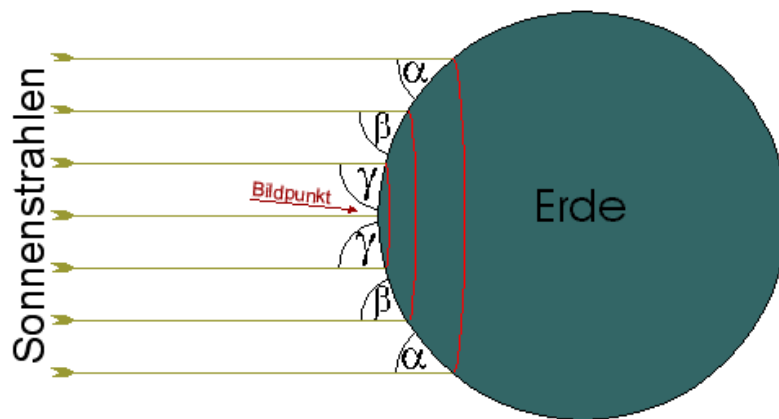
Die beiden Balken rechts und links von dem Sonnensymbol beim Ergebnis bedeuten, daß der Winkel auf den Sonnenmittelpunkt beschickt wurde.

Achtung

Wie bereits gesagt entsprechen 60 Minuten einem Grad. Das bedeutet, daß $22^\circ 55' + 11' = 23^\circ 06'$ sind. NICHT: $22^\circ 66'$!!!

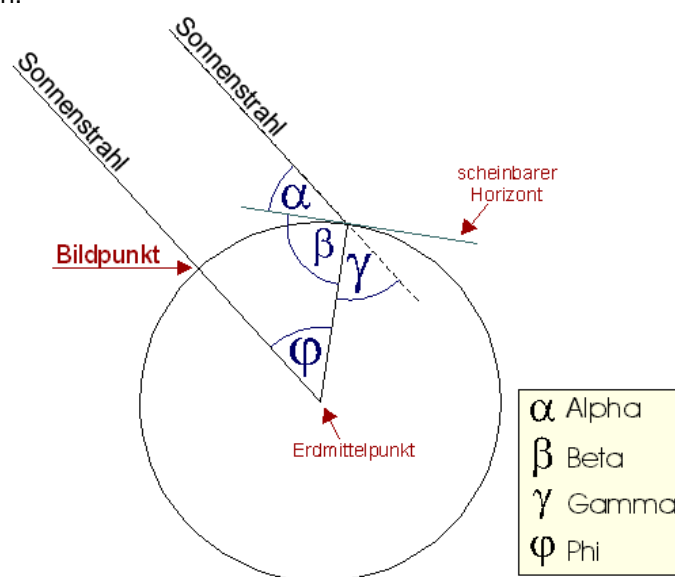
Los geht's: Das Grundprinzip

Zu jedem Gestirn gehört ein Ort auf der Erde, an dem ein Beobachter das Gestirn genau senkrecht über sich sehen kann. Bei der Sonne ist das der Ort, an dem ein genau senkrecht im Boden steckender Stab keinen Schatten wirft. Diesen Ort bezeichnet man als *Bildpunkt*. Der Sonnenbildpunkt befindet sich immer zwischen den beiden Wendekreisen.



Wie man in der Grafik sehen kann, verlaufen alle Orte, an denen man die Sonne unter dem gleichen Winkel sehen kann kreisförmig (in der Zeichnung die roten Linien) um den Bildpunkt. Das bedeutet, daß wir aus dem mit dem Sextanten gemessenen Winkel errechnen können, wie weit wir von dem Bildpunkt entfernt sind. Wir erhalten also eine kreisförmige Standlinie.

Als Standlinie bezeichnet man die Menge (oder Summe) aller Orte, an denen sich der Beobachter befinden kann. Wenn man 2 Standlinien zur Verfügung hat, befindet sich der Beobachter an dem Schnittpunkt derselben.



Auf der Skizze sehen wir, daß die Winkel Alpha, Beta und Gamma zusammen 180° ergeben. Der scheinbare Horizont ist nichts anderes als eine Tangente an die Erdoberfläche. Beta ist demnach 90°

groß. Daraus folgt, daß $\alpha + \gamma = 90^\circ$ sind. Weil die Sonne praktisch unendlich weit entfernt ist, können wir davon ausgehen, daß die Sonnenstrahlen auf der Erde überall parallel einfallen. Der Winkel ϕ ist demnach genauso groß wie γ (Wechselwinkel). Also ist $\phi = 90^\circ - \alpha$

ϕ entspricht dem Abstand zum Bildpunkt in Grad. Wenn wir dem Abstand in Seemeilen (Winkelminuten) wissen möchten, müssen wir das Ergebnis noch mit 60 multiplizieren. Es gilt also folgende Formel um die Distanz zwischen Beobachter und Bildpunkt in Seemeilen zu berechnen:

$$\varphi = (90^\circ - \alpha) \cdot 60$$

Selbstverständlich muß der Kimmabstand (der Winkel zwischen Sonne und Horizont) zuerst in Dezimalgrade umgerechnet werden. Wie das geht, wurde bereits im Abschnitt „Koordinatensystem der Erde“ erklärt.

Verschiedene Zeiten

Wer astronomisch Navigieren will, befindet sich meistens nicht immer in der gleichen Zeitzone. Das bedeutet wir brauchen ein Zeitsystem, das überall auf der Erde gleich ist. "Jetzt kommt UTC" wird der eine oder andere nun denken und ist damit schon dicht dran. In der Astronomie verwendet man in der Regel UT1 (Universal Time 1). UTC (Universal Time Coordinated) wird mit Hilfe von Atomuhren erzeugt. UT1 orientiert sich dagegen an der Erdrotation. Weil die Erde jedoch nicht immer gleich schnell rotiert, schwankt demnach auch die Länge einer UT1-Sekunde im Gegensatz zur UTC-Sekunde, die als eine feste Größe definiert ist. Deshalb wird in UTC jedesmal eine Schaltsekunde eingefügt, sobald UTC mehr als 0,9 Sekunden von UT1 abweicht.

Wir können den Zeitunterschied zwischen UT1 und UTC also vernachlässigen, da er stets kleiner als 0,9 Sekunden ist.

UTC bzw. UT1 liegt eine Stunde vor unserer Winterzeit (MEZ) und zwei Stunden vor unserer Sommerzeit (MESZ). Das bedeutet 12:00MESZ ist gleich 11:00MEZ ist gleich 10:00UTC ist gleich 10:00UT1. Jetzt sollte es kein Problem mehr für Sie sein eine Zeit in eine andere umzurechnen. Am einfachsten ist es einfach eine Uhr auf UTC einzustellen und diese für die Astronavigation zu verwenden. Dann erspart man sich das Umrechnen.

Wichtig:

Der Sonnenbildpunkt bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 0,25 Seemeile pro Sekunde auf der Erdoberfläche. Es ist daher wichtig, daß wir bei der Sonnenmessung die sekundengenaue Uhrzeit ermitteln an der die Messung durchgeführt wurde. Wir müssen also darauf achten, daß unsere Uhr immer die Sekundengenaue Uhrzeit hat, denn von der Genauigkeit der Zeit hängt auch die Genauigkeit der Position ab die wir aus ihr ermitteln werden. Wenn wir eine Sonnenmessung in Äquatornähe machen, beträgt der Fehler in der Position sogar volle 0,25 Seemeilen pro Sekunde Zeitfehler!

Am besten ist es, wenn jemand anders auf die Uhr schaut, während Sie die Messung machen. Wenn Sie die Sonne dann genau auf der Kimm haben, rufen Sie laut "JETZT" und ihr Partner schreibt die Zeit auf.

Berechnung des Bildpunkts

Der Sonnenbildpunkt wird einzig und allein aus der Zeit errechnet. Mit dem Nautischem Jahrbuch geht das ganze recht einfach. Wenn Sie die Bildpunktposition zu einer vollen Stunde wissen möchten, so können Sie die Koordinaten direkt aus dem NJ ablesen. Werfen Sie einmal einen Blick auf die Seite für den 30.Juni aus dem NJ für 1999 (siehe Anhang). Oben links sehen Sie die Koordinaten für die Sonne. Wenn Sie beispielsweise die Position des Sonnenbildpunktes um 17:00Uhr UT1 wissen möchten, so suchen Sie in der Spalte UT1 die Zahl 17 und finden links daneben die Koordinaten. In unserem Fall befindet sich der Sonnenbildpunkt auf der Position:

74° 5,9' GRT
23° 10,0' N

Das N bedeutet, daß sich der Bildpunkt auf der Nordhalbkugel befindet. Ein S würde also Südhalbkugel bedeuten. Der Winkel vor dem N wird als Deklination bezeichnet. Er entspricht der geographischen Breite der Position. Der Winkel vor dem GRT ist der Greenwicher Stundenwinkel. Er entspricht der geographischen Länge der Position in westlicher Richtung. Wir könnten also auch wie wir es von anderen Positionsangaben her kennen die Koordinaten so aufschreiben:

23° 10,0' N
74° 5,9' W

Achtung:

Wenn der Greenwicher Stundenwinkel größer ist als 180° müssen wir ihn in eine östliche Länge umrechnen. Das geschieht, indem wir ihn von 360° abziehen. Um 9:00Uhr UT1 beträgt der Winkel beispielsweise 314° 6,9'GRT. Umgerechnet wären das dann $360° 0' - 314° 6,9' = 45° 53,1'E$. Denken Sie daran, daß sich ein Grad aus 60 Minuten zusammensetzt. Die Position des Bildpunkts wäre also:

23° 11,2' N
45° 53,1' E

Berechnung des Bildpunkts zwischen den vollen Stunden

Nur in den absoluten Ausnahmefällen wird ein Navigator seine Messung zu exakt einer vollen Stunde durchführen. In den meisten Fällen benötigen wir daher die Position des Bildpunkt zu einer "krummen" Uhrzeit, müssen also zwischen den Stunden interpolieren. Mit Hilfe der Schalttafeln am Ende des Nautischen Jahrbuchs geht das ganz einfach.

Im Folgendem werden wir zusammen die Position des Sonnenbildpunkt am 30.Juni 1999 um 12:10:23UT1 berechnen: Ausgangspunkt für diese Rechnung ist die Bildpunktposition zur letzten vollen Stunde, also um 12:00:00UT1. Der Tabelle entnehmen wir dazu folgende Koordinaten:

359° 6,5' GRT
23° 10,8' N

Werfen Sie nun einen Blick auf die Schalttafel für die 10.Minute im Anhang. In der Spalte "10 min" finden Sie neben der 23 Sekunde in der Spalte "Zuwachs GRT Sonne" den Wert 2° 35,8'. Diesen Wert müssen Sie zu dem GRT von 12:00UT1 hinzuaddieren. Der neue GRT um 12:10:23UT1 beträgt also 361° 42,3'. Weil der Greenwicher Stundenwinkel maximal 360° (also einen Vollkreis) betragen kann, müssen wir in diesem Fall noch 360° von dem Ergebnis abziehen. Übrig bleiben also 1° 42,3' GRT.

Bei der Deklination ist zwischen zwei Stunden kein nennenswerter Unterschied. Es reicht daher aus, wenn Sie die Deklination einfach über den Daumen peilen. Um 12:00UT1 beträgt die Deklination 23° 10,8'. Um 13:00UT1 23° 10,6'. Die Deklination für 12:10UT beträgt also etwa 23° 10,7'. Es ist dabei eigentlich egal, wie genau Sie die Deklination bestimmen. Viele Segler lassen sogar die Nachkommastellen beim Rechnen ganz weg, weil diese ohnehin nicht nennenswert zur Genauigkeit des Ergebnis beitragen.

Die Position des Sonnenbildpunkt um 12:10:13UT1 ist also:

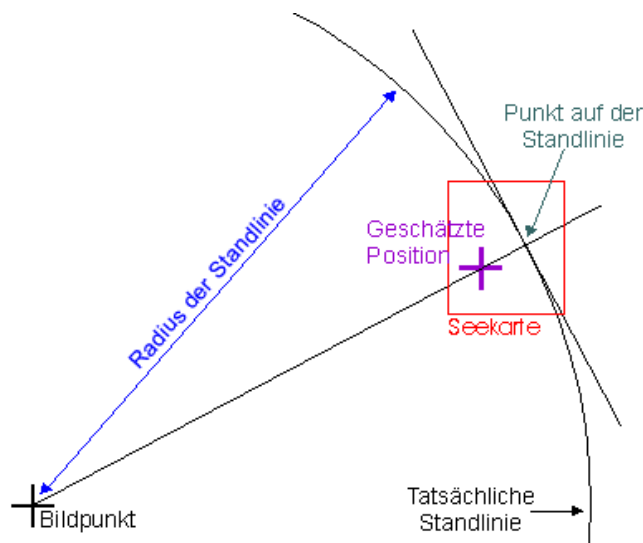
1° 42,3' GRT
23° 10,7' N

Hinweis: Mike Stefanski bietet auf seiner Homepage (<http://www.gsl.net/df2iax>) ein Programm für DOS zum Download an, mit dem sich einzelne Seiten aus dem Nautischem Jahrbuch generieren und ausdrucken lassen.

Einzeichnen der Standlinie

Wir wissen jetzt, daß wir uns auf einem auf der Erde liegenden Kreis befinden. Der Mittelpunkt entspricht dem Bildpunkt. Er ist also bekannt. Den Radius wissen wir ebenfalls. Er entspricht unserem Abstand vom Bildpunkt. Wie wir ihn berechnen stand im Abschnitt "Das Grundprizip". Normalerweise - werden Sie jetzt denken - sollte es jetzt kein Problem mehr sein die Standlinie in die Seekarte einzutragen. Wir zeichnen den Bildpunkt ein und zeichnen mit einem Zirkel einen Kreis um ihn. Aber leider gibt es da noch ein Problem: Der Radius ist zu groß. In den meisten Fällen beträgt er weit über 2000 Seemeilen. Wir werden daher keine Seekarte finden, in die wir sowohl den Bildpunkt als auch

den Kreis eintragen können. Und selbst wenn wir eine solche Karte finden sollten wird diese uns nicht viel nützen: Weil eine Seekarte eine zweidimensionale Abbildung der Erdoberfläche ist, ist sie verzerrt. Man könnte also gar keinen so großen Kreis mit einem Zirkel annähernd richtig zeichnen. Deshalb müssen wir an dieser Stelle einen kleinen Trick anwenden.



Auf der Skizze sehen wir in rot den Ausschnitt, der auf unserer Seekarte dargestellt ist. Der Bildpunkt befindet sich Außerhalb der Seekarte. Suchen Sie sich jetzt einen Punkt auf der Seekarte, von dem Sie glauben daß er ungefähr unserer Position entspricht. Dieser Punkt ist in der Skizze violett dargestellt. Er darf ruhig sehr ungenau sein. Im Folgendem werden wir nun ausgehend von der geschätzten Position einen Punkt auf der Standlinie ermitteln. Dann zeichnen wir durch diesen Punkt eine Tangente an die kreisförmige Standlinie. Weil der Ausschnitt, der auf einer Seekarte dargestellt ist, im Verhältnis zum Kreis sehr klein ist, können wir diese Tangente als Kreisabschnitt betrachten. Auf der obigen Zeichnung wird das Ganze verdeutlicht: Die Tangente weicht innerhalb des Kartenausschnitts nur unwesentlich von dem Kreis ab, und in der Realität ist das Verhältnis von Kartenausschnitt und Radius in der Regel noch extremer. Wir können also sagen, daß die gesuchte Position irgendwo auf dieser Tangente liegt.

Abstand von geschätzter Position zum Bildpunkt berechnen

Zunächst einmal müssen wir den Abstand zwischen der geschätzten Position und dem Bildpunkt ausrechnen. Das geht mit folgender Formel:

$$d = 60 * \arccos(\sin BG * \sin BB + \cos BG * \cos BB * \cos(LB-LG))$$

d = Abstand in sm
 BB = Breite Bildpunkt
 LB = Länge Bildpunkt
 BG = Breite geschätzte Position
 LG = Länge geschätzte Position

Bevor wir die Formel anwenden müssen wir jedoch alle Längen und Breiten in Dezimalgrade umrechnen. (siehe: Koordinatensystem der Erde) Außerdem gilt: *Alle östlichen Längen und alle südlichen Breiten sind negativ!*

Beispiel:

Der Bildpunkt befindet sich auf Position:
 6° 34' S
 3° 13' W

Die geschätzte Position ist:
 54° 21' N
 4° 10' E

Wenn wir alle Koordinaten umrechnen ergeben sich folgende Werte:

Bildpunkt:
Breite: $-6,567^\circ$ (südlich also Minuszeichen)
Länge: $3,217^\circ$

geschätzte Position:
Breite: $54,35^\circ$
Länge: $-4,167^\circ$ (östlich also Minuszeichen)

Nach Einsetzen dieser Werte in die Formel ergibt sich ein Abstand von 3673,8 Seemeilen.

Den Kurs von geschätzter Position zum Bildpunkt berechnen

Als nächstes berechnen wir den Kurs, den man ausgehend von der geschätzten Position fahren müßte, um zum Bildpunkt zu gelangen. Dazu verwenden wir diese Formel:

$$HK = \arccos \left(\frac{\sin(BB) - \sin(BG) \cdot \cos\left(\frac{d}{60}\right)}{\cos(BG) \cdot \sin\left(\frac{d}{60}\right)} \right)$$

HK = halbkreisiger Kurs
BB = Breite Bildpunkt
BG = Breite geschätzte Position
d = Abstand von geschätzter Position zum Bildpunkt in sm

Achtung:

Der halbkreisige Kurs muß jetzt noch in einen vollkreisigen Kurs umgerechnet werden: Wenn sich der Bildpunkt östlich von der geschätzten Position befindet, entspricht der halbkreisige dem vollkreisigen Kurs. Befindet sich der Bildpunkt westlich von der geschätzten Position muß man den halbkreisigen Kurs von 360° abziehen, um den vollkreisigen zu erhalten.

Beispiel:

Wenn wir die obigen Koordinaten in die Formel einsetzen, erhalten wir zunächst den halbkreisigen Kurs von $171,6^\circ$. Der Bildpunkt befindet sich in diesem Fall in westlicher Richtung. Also beträgt der vollkreisige Kurs $360^\circ - 171,6^\circ = 188,3^\circ$.

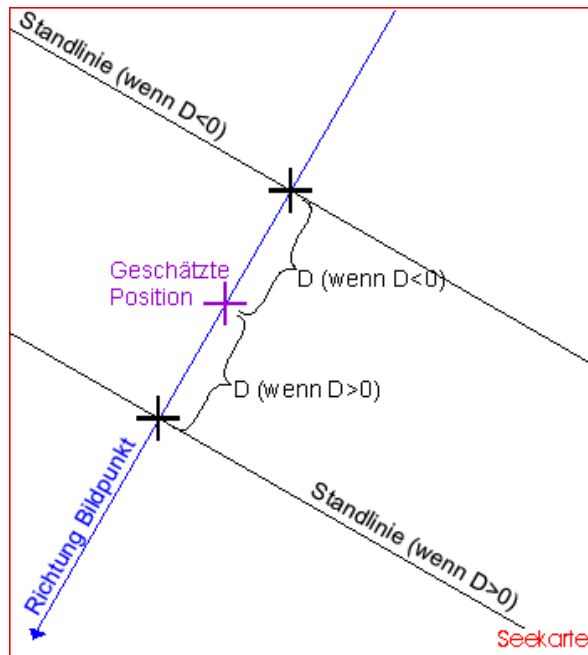
Standlinie einzeichnen

Aus dem Abschnitt "Das Grundprinzip" wissen wir, wie wir unseren tatsächlichen Abstand zum Bildpunkt berechnen können. Der Abstand zwischen Bildpunkt und geschätzter Position ist uns ebenfalls bekannt. Wir können jetzt wie folgt den Abstand zwischen der geschätzten Position und der Standlinie berechnen:

$$D = GA - TA$$

D = Entfernung zwischen geschätzter Position und Standlinie (in Seemeilen)
GA = Entfernung zwischen geschätzter Position und Bildpunkt (in Seemeilen)
TA = Entfernung zwischen tatsächlicher Position/Standlinie und Bildpunkt (in Seemeilen)

Achtung: Wenn D negativ ist hat das Minuszeichen eine Bedeutung! Lassen Sie es daher nicht einfach weg!



Zeichnen wir jetzt die geschätzte Position in die Seekarte ein. Die blaue Linie ist die Kurslinie die zum Bildpunkt führt. Ihre Richtung haben wir bereits berechnet. Nun messen wir mit einem Lineal oder Kartenzirkel ausgehend von der geschätzten Position den Abstand D auf dieser Linie ab (schwarzes Kreuz). Wenn D positiv ist, müssen wir D in Richtung Bildpunkt abtragen. Ist D negativ, geschieht das Abtragen in der entgegengesetzten Richtung. Durch diesen so ermittelten Punkt zeichnen wir jetzt senkrecht zur Bildpunktichtung die Standlinie ein.

Wir wissen jetzt, daß wir uns irgendwo auf dieser Standlinie befinden. Wenn wir die ganze Prozedur noch einmal mit einem anderen Gestirn durchführen oder einfach ein paar Stunden warten bis die Sonne weiter gewandert ist, erhalten wir noch eine Standlinie. Unsere Position entspricht dann dem Schnittpunkt beider Standlinien.

Anhang: Seite für den 30. Juni 1999 aus dem Nautischen Jahrbuch

1999 JUNI 30

Mittwoch

181 UT1	SONNE r 15,8'			MOND Alter 16,2 d				FRÜHLP.		FIXSTERNE		
	Gr	δ	r	Gr	Unt	δ	Unt	Gr	r	Nr	β	δ
0	179 08,0	23 12,5 N		346 11,3	10,9	19 54,7 S	2,0	277 37,2	1	357 54,7	29 05,0 N	
1	194 07,9	23 12,4		0 41,2	10,9	19 52,7	2,0	292 39,7	3	353 26,4	42 18,4 S	
2	209 07,7	23 12,2		15 11,1	10,9	19 50,7	2,2	307 42,1	4	349 52,9	56 31,7 N	
3	224 07,6	23 12,1		29 41,0	10,9	19 48,5	2,3	322 44,6	5	349 06,8	17 59,3 S	
4	239 07,5	23 11,9		44 10,9	10,9	19 46,2	2,3	337 47,1	8	335 35,0	57 14,2 S	
5	254 07,4	23 11,8 N		58 40,8	10,9	19 43,9 S	2,5	352 49,5	11	328 13,1	23 27,4 N	
6	269 07,3	23 11,6		73 10,7	10,9	19 41,4	2,6	7 52,0	12	314 26,6	4 05,1 N	
7	284 07,1	23 11,5		87 40,6	11,0	19 38,8	2,6	22 54,4	14	308 56,3	49 51,3 N	
8	299 07,0	23 11,4		102 10,6	10,9	19 36,2	2,8	37 56,9	16	291 02,1	16 30,3 N	
9	314 06,9	23 11,2		116 40,5	10,9	19 33,4	2,9	52 59,4	17	281 22,8	8 12,2 S	
10	329 06,8	23 11,1 N		131 10,4	10,9	19 30,5 S	2,9	68 01,8	18	280 50,9	45 59,7 N	
11	344 06,6	23 10,9		145 40,3	10,9	19 27,6	3,1	83 04,3	19	278 44,0	6 20,8 N	
12	359 06,5	23 10,8		160 10,2	10,9	19 24,5	3,2	98 06,8	24	271 13,4	7 24,3 N	
13	14 06,4	23 10,6		174 40,1	10,9	19 21,3	3,2	113 09,2	27	264 01,5	52 41,8 S	
14	29 06,3	23 10,5		189 10,0	10,9	19 18,1	3,4	128 11,7	29	258 43,6	16 43,0 S	
15	44 06,1	23 10,3 N		203 39,9	10,9	19 14,7 S	3,4	143 14,2	30	255 21,4	28 58,4 S	
16	59 06,0	23 10,2		218 09,8	11,0	19 11,3	3,6	158 16,6	33	245 11,4	5 13,5 N	
17	74 05,9	23 10,0		232 39,8	10,9	19 07,7	3,6	173 19,1	34	243 41,3	28 01,7 N	
18	89 05,8	23 09,9		247 09,7	10,9	19 04,1	3,8	188 21,6	35	234 23,0	59 30,6 S	
19	104 05,7	23 09,7		261 39,6	11,0	19 00,3	3,8	203 24,0	36	223 00,7	43 26,0 S	
20	119 05,5	23 09,6 N		276 09,6	10,9	18 56,5 S	3,9	218 26,5	37	221 42,7	69 43,1 S	
21	134 05,4	23 09,4		290 39,5	11,0	18 52,6	4,1	233 28,9	38	218 07,0	8 39,4 S	
22	149 05,3	23 09,2		305 09,5	10,9	18 48,5	4,1	248 31,4	39	207 55,2	11 58,3 N	
23	164 05,2	23 09,1		319 39,4	11,0	18 44,4	4,2	263 33,9	41	194 05,2	61 45,6 N	
									42	182 44,8	14 34,7 N	
	T 12.04	Unt 0,1'		T 0.57	UT1 4	12 20		T 5.29				
					HP 55,0'	55,1'	55,3'					
181 UT1	VENUS			MARS			JUPITER			SATURN		
	Gr	δ	r	Gr	δ	r	Gr	δ	r	Gr	δ	r
0	133 19,6	15 06,1 N		71 37,3	11 53,9 S		249 02,1	10 25,3 N		235 15,6	13 55,3 N	
1	148 20,3	15 05,2		86 39,1	11 54,2		264 04,1	10 25,4		250 17,9	13 55,3	
2	163 21,0	15 04,3		101 40,9	11 54,5		279 06,2	10 25,5		265 20,1	13 55,4	
3	178 21,7	15 03,4		116 42,7	11 54,8		294 08,3	10 25,6		280 22,3	13 55,4	
4	193 22,3	15 02,6		131 44,5	11 55,1		309 10,4	10 25,8		295 24,6	13 55,5	
5	208 23,0	15 01,7 N		146 46,3	11 55,5 S		324 12,5	10 25,9 N		310 26,8	13 55,6 N	
6	223 23,7	15 00,8		161 48,1	11 55,8		339 14,6	10 26,0		325 29,0	13 55,6	
7	238 24,4	14 59,9		176 49,9	11 56,1		354 16,7	10 26,2		340 31,3	13 55,7	
8	253 25,1	14 59,1		191 51,7	11 56,4		9 18,8	10 26,3		355 33,5	13 55,7	
9	268 25,8	14 58,2		206 53,5	11 56,7		24 20,9	10 26,4		10 35,7	13 55,8	
10	283 26,5	14 57,3 N		221 55,3	11 57,0 S		39 23,0	10 26,5 N		25 38,0	13 55,9 N	
11	298 27,2	14 56,4		236 57,0	11 57,3		54 25,1	10 26,7		40 40,2	13 55,9	
12	313 27,9	14 55,6		251 58,8	11 57,6		69 27,2	10 26,8		55 42,4	13 56,0	
13	328 28,5	14 54,7		267 00,6	11 57,9		84 29,2	10 26,9		70 44,7	13 56,1	
14	343 29,2	14 53,8		282 02,4	11 58,2		99 31,3	10 27,1		85 46,9	13 56,1	
15	358 30,0	14 52,9 N		297 04,2	11 58,6 S		114 33,4	10 27,2 N		100 49,1	13 56,2 N	
16	13 30,7	14 52,0		312 06,0	11 58,9		129 35,5	10 27,3		115 51,4	13 56,2	
17	28 31,4	14 51,2		327 07,7	11 59,2		144 37,6	10 27,4		130 53,6	13 56,3	
18	43 32,1	14 50,3		342 09,5	11 59,5		159 39,7	10 27,6		145 55,9	13 56,4	
19	58 32,8	14 49,4		357 11,3	11 59,8		174 41,8	10 27,7		160 58,1	13 56,4	
20	73 33,5	14 48,5 N		12 13,1	12 00,1 S		189 43,9	10 27,8 N		176 00,3	13 56,5 N	
21	88 34,2	14 47,7		27 14,9	12 00,4		204 46,0	10 27,9		191 02,6	13 56,5	
22	103 34,9	14 46,8		42 16,6	12 00,7		219 48,1	10 28,1		206 04,8	13 56,6	
23	118 35,6	14 45,9		57 18,4	12 01,1		234 50,2	10 28,2		221 07,0	13 56,7	
Unt	0,7'	0,9'		1,8'	0,3'		2,1'	0,1'		2,2'	0,1'	
	T 15.06	HP 0,3'		T 19.11	HP 0,2'		T 7.23	HP 0,0'		T 8.18	HP 0,0'	
		Gr -4,4			Gr -0,4			Gr -2,3			Gr +0,4	

Nachdruck mit Genehmigung des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) - Hamburg und Rostock -8095-2/01 N34

Anhang: Schalttafel für die 10. und 11. Minute

10 min		Schalttafel							11 min				
10 min	Zuwachs Grt			Unt	Vb	11 min	Zuwachs Grt			Unt	Vb		
	Sonne Planet	Frühlp.	Mond				Sonne Planet	Frühlp.	Mond				
S	o	f	o	f	o	f	S	o	f	o	f	o	f
0	2 30,0	2 30,4	2 23,2	0,0	0,0	0	2 45,0	2 45,5	2 37,5	0,0	0,0		
1	2 30,3	2 30,7	2 23,4	0,3	0,1	1	2 45,3	2 45,7	2 37,7	0,3	0,1		
2	2 30,5	2 30,9	2 23,6	0,6	0,1	2	2 45,5	2 46,0	2 38,0	0,6	0,1		
3	2 30,8	2 31,2	2 23,9	0,9	0,2	3	2 45,8	2 46,2	2 38,2	0,9	0,2		
4	2 31,0	2 31,4	2 24,1	1,2	0,2	4	2 46,0	2 46,5	2 38,4	1,2	0,2		
5	2 31,3	2 31,7	2 24,4	1,5	0,3	5	2 46,3	2 46,7	2 38,7	1,5	0,3		
6	2 31,5	2 31,9	2 24,6	1,8	0,3	6	2 46,5	2 47,0	2 38,9	1,8	0,3		
7	2 31,8	2 32,2	2 24,8	2,1	0,4	7	2 46,8	2 47,2	2 39,2	2,1	0,4		
8	2 32,0	2 32,4	2 25,1	2,4	0,4	8	2 47,0	2 47,5	2 39,4	2,4	0,5		
9	2 32,3	2 32,7	2 25,3	2,7	0,5	9	2 47,3	2 47,7	2 39,6	2,7	0,5		
10	2 32,5	2 32,9	2 25,6	3,0	0,5	10	2 47,5	2 48,0	2 39,9	3,0	0,6		
11	2 32,8	2 33,2	2 25,8	3,3	0,6	11	2 47,8	2 48,2	2 40,1	3,3	0,6		
12	2 33,0	2 33,4	2 26,0	3,6	0,6	12	2 48,0	2 48,5	2 40,3	3,6	0,7		
13	2 33,3	2 33,7	2 26,3	3,9	0,7	13	2 48,3	2 48,7	2 40,6	3,9	0,7		
14	2 33,5	2 33,9	2 26,5	4,2	0,7	14	2 48,5	2 49,0	2 40,8	4,2	0,8		
15	2 33,8	2 34,2	2 26,7	4,5	0,8	15	2 48,8	2 49,2	2 41,1	4,5	0,9		
16	2 34,0	2 34,4	2 27,0	4,8	0,8	16	2 49,0	2 49,5	2 41,3	4,8	0,9		
17	2 34,3	2 34,7	2 27,2	5,1	0,9	17	2 49,3	2 49,7	2 41,5	5,1	1,0		
18	2 34,5	2 34,9	2 27,5	5,4	0,9	18	2 49,5	2 50,0	2 41,8	5,4	1,0		
19	2 34,8	2 35,2	2 27,7	5,7	1,0	19	2 49,8	2 50,2	2 42,0	5,7	1,1		
20	2 35,0	2 35,4	2 27,9	6,0	1,1	20	2 50,0	2 50,5	2 42,3	6,0	1,2		
21	2 35,3	2 35,7	2 28,2	6,3	1,1	21	2 50,3	2 50,7	2 42,5	6,3	1,2		
22	2 35,5	2 35,9	2 28,4	6,6	1,2	22	2 50,5	2 51,0	2 42,7	6,6	1,3		
23	2 35,8	2 36,2	2 28,7	6,9	1,2	23	2 50,8	2 51,2	2 43,0	6,9	1,3		
24	2 36,0	2 36,4	2 28,9	7,2	1,3	24	2 51,0	2 51,5	2 43,2	7,2	1,4		
25	2 36,3	2 36,7	2 29,1	7,5	1,3	25	2 51,3	2 51,7	2 43,4	7,5	1,4		
26	2 36,5	2 36,9	2 29,4	7,8	1,4	26	2 51,5	2 52,0	2 43,7	7,8	1,5		
27	2 36,8	2 37,2	2 29,6	8,1	1,4	27	2 51,8	2 52,2	2 43,9	8,1	1,6		
28	2 37,0	2 37,4	2 29,8	8,4	1,5	28	2 52,0	2 52,5	2 44,2	8,4	1,6		
29	2 37,3	2 37,7	2 30,1	8,7	1,5	29	2 52,3	2 52,7	2 44,4	8,7	1,7		
30	2 37,5	2 37,9	2 30,3	9,0	1,6	30	2 52,5	2 53,0	2 44,6	9,0	1,7		
31	2 37,8	2 38,2	2 30,6	9,3	1,6	31	2 52,8	2 53,2	2 44,9	9,3	1,8		
32	2 38,0	2 38,4	2 30,8	9,6	1,7	32	2 53,0	2 53,5	2 45,1	9,6	1,8		
33	2 38,3	2 38,7	2 31,0	9,9	1,7	33	2 53,3	2 53,7	2 45,4	9,9	1,9		
34	2 38,5	2 38,9	2 31,3	10,2	1,8	34	2 53,5	2 54,0	2 45,6	10,2	2,0		
35	2 38,8	2 39,2	2 31,5	10,5	1,8	35	2 53,8	2 54,2	2 45,8	10,5	2,0		
36	2 39,0	2 39,4	2 31,8	10,8	1,9	36	2 54,0	2 54,5	2 46,1	10,8	2,1		
37	2 39,3	2 39,7	2 32,0	11,1	1,9	37	2 54,3	2 54,7	2 46,3	11,1	2,1		
38	2 39,5	2 39,9	2 32,2	11,4	2,0	38	2 54,5	2 55,0	2 46,6	11,4	2,2		
39	2 39,8	2 40,2	2 32,5	11,7	2,0	39	2 54,8	2 55,2	2 46,8	11,7	2,2		
40	2 40,0	2 40,4	2 32,7	12,0	2,1	40	2 55,0	2 55,5	2 47,0	12,0	2,3		
41	2 40,3	2 40,7	2 32,9	12,3	2,2	41	2 55,3	2 55,7	2 47,3	12,3	2,4		
42	2 40,5	2 40,9	2 33,2	12,6	2,2	42	2 55,5	2 56,0	2 47,5	12,6	2,4		
43	2 40,8	2 41,2	2 33,4	12,9	2,3	43	2 55,8	2 56,2	2 47,7	12,9	2,5		
44	2 41,0	2 41,4	2 33,7	13,2	2,3	44	2 56,0	2 56,5	2 48,0	13,2	2,5		
45	2 41,3	2 41,7	2 33,9	13,5	2,4	45	2 56,3	2 56,7	2 48,2	13,5	2,6		
46	2 41,5	2 41,9	2 34,1	13,8	2,4	46	2 56,5	2 57,0	2 48,5	13,8	2,6		
47	2 41,8	2 42,2	2 34,4	14,1	2,5	47	2 56,8	2 57,2	2 48,7	14,1	2,7		
48	2 42,0	2 42,4	2 34,6	14,4	2,5	48	2 57,0	2 57,5	2 48,9	14,4	2,8		
49	2 42,3	2 42,7	2 34,9	14,7	2,6	49	2 57,3	2 57,7	2 49,2	14,7	2,8		
50	2 42,5	2 42,9	2 35,1	15,0	2,6	50	2 57,5	2 58,0	2 49,4	15,0	2,9		
51	2 42,8	2 43,2	2 35,3	15,3	2,7	51	2 57,8	2 58,2	2 49,7	15,3	2,9		
52	2 43,0	2 43,4	2 35,6	15,6	2,7	52	2 58,0	2 58,5	2 49,9	15,6	3,0		
53	2 43,3	2 43,7	2 35,8	15,9	2,8	53	2 58,3	2 58,7	2 50,1	15,9	3,0		
54	2 43,5	2 43,9	2 36,1	16,2	2,8	54	2 58,5	2 59,0	2 50,4	16,2	3,1		
55	2 43,8	2 44,2	2 36,3	16,5	2,9	55	2 58,8	2 59,2	2 50,6	16,5	3,2		
56	2 44,0	2 44,4	2 36,5	16,8	2,9	56	2 59,0	2 59,5	2 50,8	16,8	3,2		
57	2 44,3	2 44,7	2 36,8	17,1	3,0	57	2 59,3	2 59,7	2 51,1	17,1	3,3		
58	2 44,5	2 45,0	2 37,0	17,4	3,0	58	2 59,5	3 00,0	2 51,3	17,4	3,3		
59	2 44,8	2 45,2	2 37,2	17,7	3,1	59	2 59,8	3 00,2	2 51,6	17,7	3,4		

Nachdruck mit Genehmigung des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) - Hamburg und Rostock -8095-2/01 N34