

Volkers Crashkurs Astronavigation

Eine Anleitung zur Positionsbestimmung auf der Erde mit Hilfe der Gestirne



Vorwort

Dem Einen oder Anderen mag es in heutiger Zeit überflüssig vorkommen, sich mit der astronomischen Navigation mit einem Sextanten zu beschäftigen, wo es doch bereits viel komfortablere und genauere Navigationssysteme wie z.B. GPS gibt, welche die aktuelle Position einfach auf einem Display anzeigen. Trotzdem ist und bleibt die Astronavigation ein hoch interessantes und faszinierendes Hobby, zumal dafür keine komplizierten Satellitensysteme oder Ähnliches erforderlich sind.

Die astronomische Navigation ist gar nicht so schwer zu erlernen, wie der Laie es vielleicht vermuten möchte. Trotzdem geht es 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 diese Anleitung 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.

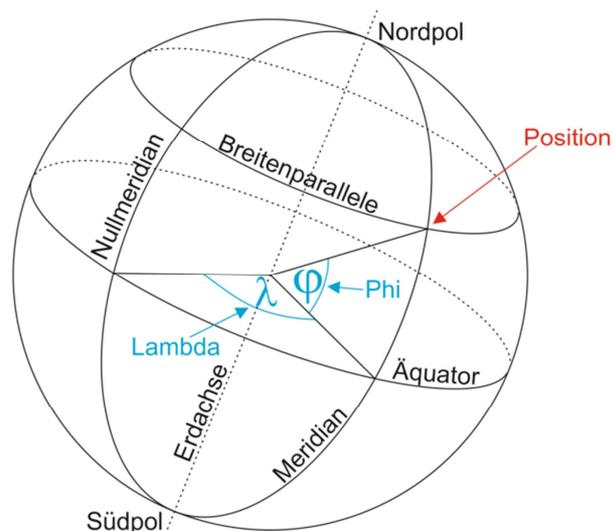
Die Polynesier kannten noch eine andere Art mit den Sternen zu navigieren: Sie benötigten keine Hilfsmittel wie Sextant oder Kompaß. Wenn sie beispielsweise von Tahiti nach Hawaii segeln wollten, fuhren sie zunächst direkt nach Norden, bis sie nachts genau die Sterne über sich sahen, die ihre Bahnen 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, welche in höheren Luftschichten kondensieren.

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

Volker Lotze
volker@meine-sonnenuhr.de

Das Koordinatensystem der Erde

Um eine Position auf der Erde angeben zu können muss man wissen, wie das Gradnetz der Erde funktioniert. Mit Hilfe des Gradnetzes kann man jeder Position auf der Erde eine geografische Länge (Meridian) und eine geografische Breite (Breitenparallele) zuordnen:



Die geografische Länge

Meridiane sind vom Nord- zum Südpol verlaufende Halbkreise. Der Mittelpunkt dieser Kreise entspricht dem Erdmittelpunkt. Ein Meridian wird festgelegt, indem man den Winkel zwischen Nullmeridian und Meridian gemessen am Erdmittelpunkt auf der Äquatorebene angibt. In der Grafik ist dieser Winkel mit Lambda gekennzeichnet. Der Nullmeridian ist der Meridian, der durch die Sternwarte von Greenwich verläuft. Zusätzlich zu dem Winkel muss noch angegeben werden, ob sich der Meridian 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 oder West sondern W für

West und E (engl. East) für Ost, um der Verwechslungsgefahr mit einer Null vorzubeugen, hinter die Koordinaten.

Die geografische Breite

Breitenparallelen sind zu 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 und Äquator gemessen am Erdmittelpunkt an. Neben diesem Winkel muss man noch angeben, ob sich die Position auf der Nord- oder Südhalbkugel befindet. Dies geschieht meistens mit den Buchstaben N und S. Die Breitenparallele entspricht dem Winkel Phi in der Skizze.

Grad, 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 Grad, 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:

$$\text{Dezimalgrade} = \text{Grade} + \frac{\text{Minuten}}{60}$$

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

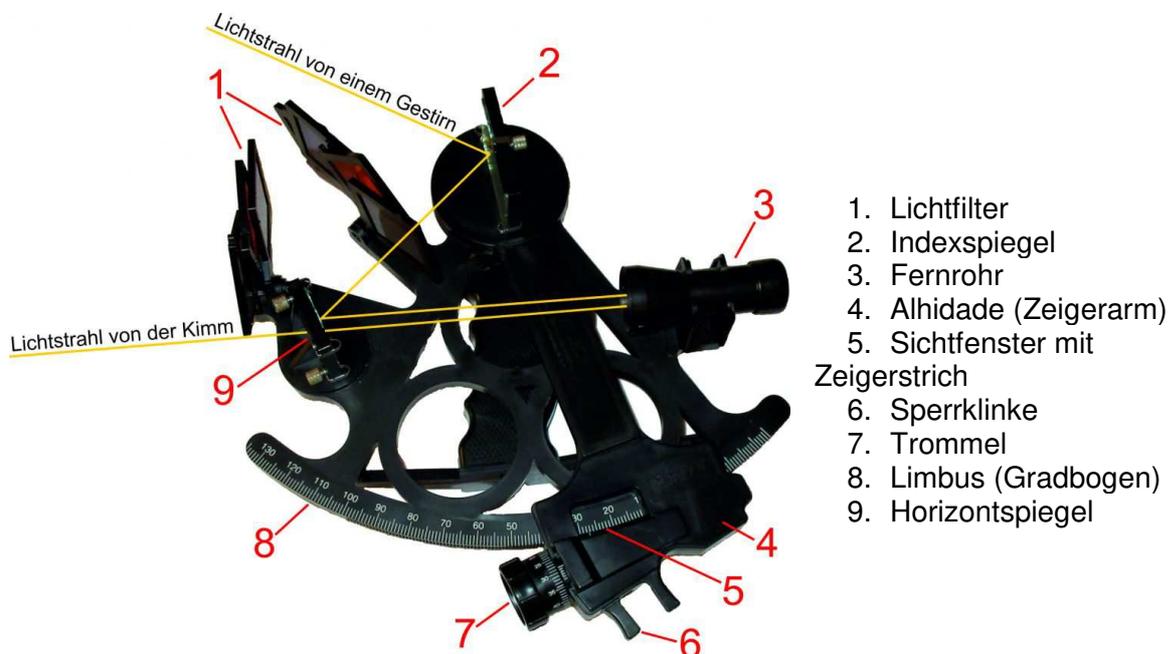
Die Seemeile

Unter einer Seemeile (sm) versteht man die Länge einer Breitengradminute. Der Nordpol ist 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 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



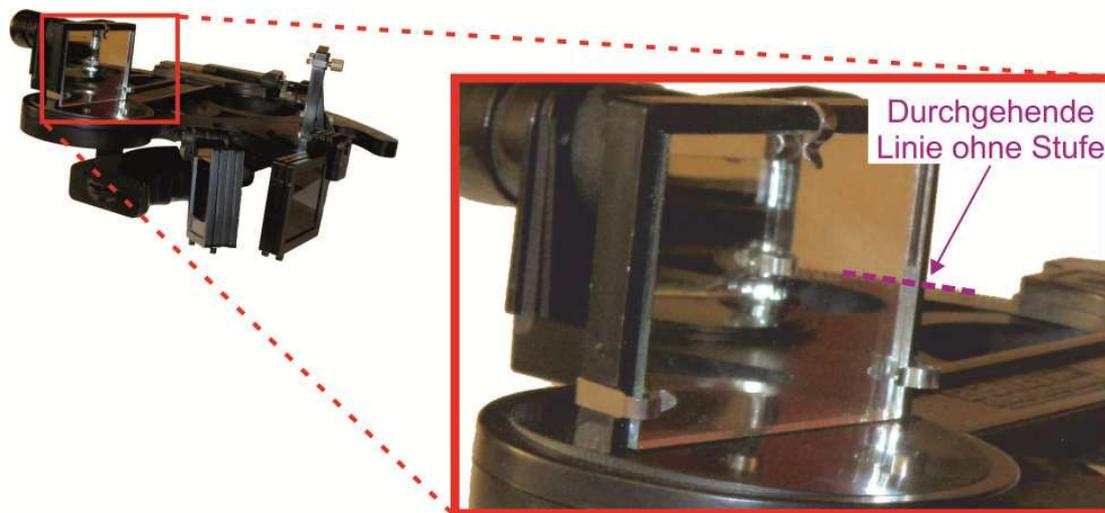
Während einer Messung wird der Sextant mit der rechten Hand an dem Griff auf der Rückseite gehalten. Schaut man nun durch das Fernrohr sieht man sowohl ein Bild von der Kimm, als auch ein Bild von dem zu messenden Gestirn. Das Licht vom Gestirn wird von dem Indexspiegel auf den Horizontspiegel reflektiert und von

diesem in das Fernrohr gespiegelt wird. Das Licht von der Kimm kann den Horizontspiegel passieren und gelangt ohne Reflektion in das Fernrohr.

Bevor wir unsere erste Messung durchführen, müssen wir mit Hilfe der Justierschrauben an den Spiegeln noch einige Fehler korrigieren, welche den Sextanten in seiner Genauigkeit beeinträchtigen.

Der Kippfehler des Indexspiegels

Der Kippfehler des Indexspiegels tritt auf, wenn der Spiegel nicht genau senkrecht auf dem Sextanten montiert ist. 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 des Indexspiegels spiegelt sich ein Ausschnitt des Gradbogens. Wenn man jetzt rechts an dem Indexspiegel vorbeischaut, sieht man ungefähr auf den Nullpunkt des Gradbogens. Wenn diese beiden Gradbogenschnitte nahtlos ohne Stufe ineinander übergehen, liegt kein Kippfehler vor. Andernfalls muss der Indexspiegel durch Drehen der Justierschrauben in die richtige Stellung gebracht werden.

Der Indexfehler

Dieser Fehler 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. Wenn wir jetzt durch das Fernrohr auf ein weit entferntes Objekt (am besten die Kimm) blicken, müsste (sofern der Horizontspiegel nur auf einer Seite verspiegelt ist) die Kimm als eine durchgehende Linie ohne Stufe 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

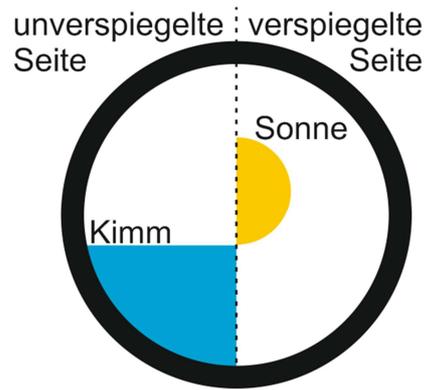
Wir müssen noch einen weiteren Fehler beheben, der auftritt wenn der Horizontspiegel nicht genau senkrecht steht. Dazu blicken wir noch einmal durch den Sextanten auf den Horizont. Die Kimm ist nach Beseitigen des Indexfehlers als durchgehende Linie zu sehen. Jetzt kippen wir den Sextanten um etwa 45° aus der Senkrechten. Wenn sich jetzt wieder eine Stufe in der Kimm befindet, müssen wir nochmal die Neigung des Horizontspiegels (dieses Mal um die andere Achse) mit der anderen Justierschraube korrigieren.

Jetzt sind alle wichtigen Fehler des Sextanten korrigiert, und wir können mit dem Messen beginnen. Es gibt 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 von uns nicht berücksichtigt werden.

Die erste Sonnenmessung

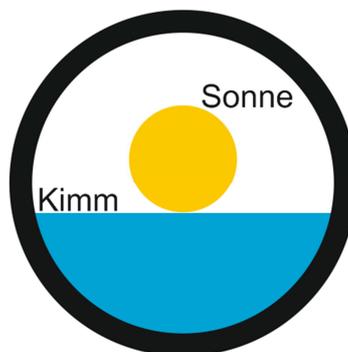
Wie bereits angedeutet, gibt es zwei Arten von Horizontspiegeln: Halbspiegel und Vollsichtspiegel. Wir stellen nun die Alhidade auf ungefähr 45° und blicken durch den Sextanten. Bei einem Halbspiegel sehen wir ein geteiltes Bild. Das hängt damit zusammen, dass der Horizontspiegel nur auf der rechten 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 zunächst frei von Lichtfiltern sein.

Nun schauen wir durch den Sextanten und halten ihn so, dass wir durch den 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. Anschließend bringen wir den Sonnenunterrand durch Drehen der Trommel mit der Kimm in Deckung.



Messung mit einem Halbspiegel

Bei einem Vollsichtspiegel ist der Spiegel halbdurchlässig. Dadurch ist das Bild nicht geteilt und wir können gleichzeitig Sonne und Kimm in einem Bild sehen. Bei Seegang ist es mit einem Vollsichtspiegel wesentlich einfacher genaue Messungen durchzuführen.



Messung mit einem Vollsichtspiegel

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

Wenn wir den kleinsten Winkel gefunden haben, können wir den Sextant absetzen und den Winkel ablesen. Die vollen 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:

⊙ $21^{\circ}38,0'$

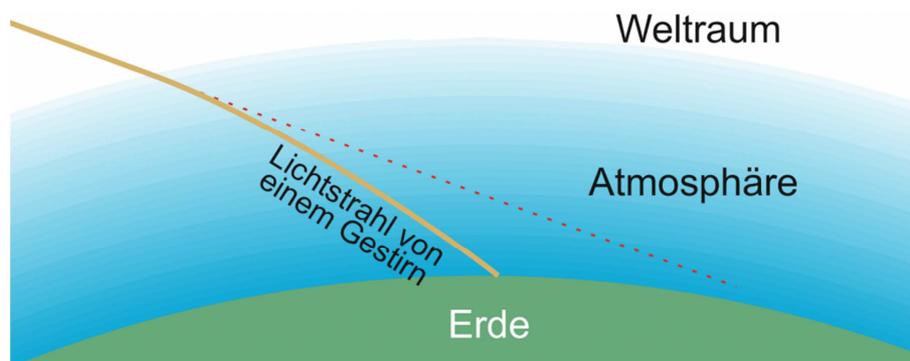
Dabei steht das Zeichen ☉ für die Sonne. Die beiden Balken unter dem Kreis zeigen, dass es sich um den Sonnenunterrand und um einen unbeschickten Winkel handelt. Das bedeutet, wir haben die Lichtbrechung der Atmosphäre und andere Faktoren noch nicht berücksichtigt. Der gemessene Winkel nennt sich übrigens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

Während der Messung müssen wir uns die Uhrzeit merken (aufschreiben!), zu der die Messung durchgeführt wurde. Im Abschnitt „Verschiedene Zeiten“ werden wir darauf noch genauer eingehen.

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.

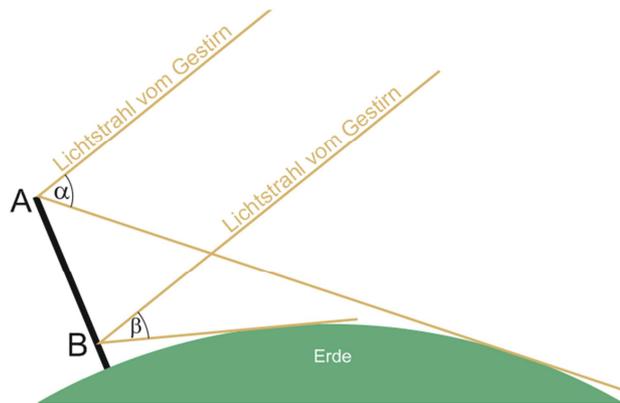
Die Atmosphärische Lichtbrechung



Wie im Bild gezeigt, 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 Gradminuten aus. Je kleiner der Kimmabstand, also der Winkel zwischen Gestirn und Kimm ist, desto größer ist die Lichtbrechung. Weil der Luftdruck in den einzelnen Luftschichten sich jedoch ständig ändert, kann man die Lichtbrechung nicht genau vorhersagen, sondern nur annähern.

Die Lichtbrechung steigt mit abnehmendem Kimmabstand. Bei einem Kimmabstand von 90° , wenn das Gestirn genau senkrecht über dem Beobachter steht, beträgt sie $0'$. Bei einem Kimmabstand von nur 5° beträgt sie dagegen schon etwa $10'$. Weil das jedoch nur eine Annäherung ist, die um ein paar Minuten schwanken kann, ist sie für die Astronavigation zu ungenau. Gemessene Winkel, die kleiner als etwa 20° sind, sollten für die Astronavigation aus diesem Grund nicht verwendet werden.

Berücksichtigung der Augenhöhe



Wie man im Bild 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 hinzu addieren, da wir für die weitere Auswertung den Kimmabstand des Sonnenmittelpunkts benötigen. Der Sonnendurchmesser, also der Winkel zwischen Sonnenunterrand und Sonnenoberrand, beträgt je nach Abstand der Erde zur Sonne ungefähr ein halbes Grad.

Winkelbeschreibung mit dem Nautischen Jahrbuch

Das Nautische Jahrbuch (NJ) wird für jeweils ein Jahr vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie herausgegeben. Es beinhaltet alle für die Astronavigation erforderlichen Tabellen. Schauen wir nun in die Tabelle zur [Gesamtbeschreibung für den Sonnenunterrand](#) aus dem NJ von 1999. Mit dieser Tabelle können wir alle oben genannten Fehler korrigieren.

Angenommen Sie haben den Sonnenunterrand mit einem Kimmabstand von $22^{\circ} 29'$ aus einer Augenhöhe von 2 Metern gemessen. Der Tabelle nach müssen Sie jetzt noch $11,3'$ hinzu addieren 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:

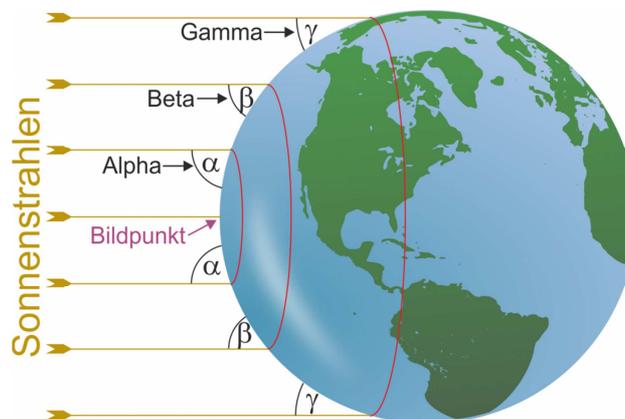
$$\begin{array}{r} \odot 22^{\circ} 29' \\ + 11' \\ \hline -\odot 22^{\circ} 29' \end{array}$$

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

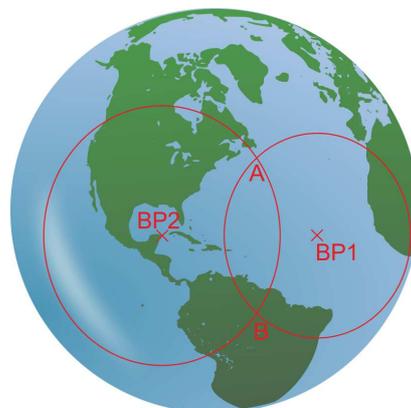
Achtung: Wie bereits gesagt, entsprechen 60 Minuten einem Grad. Das bedeutet, dass $22^{\circ}55' + 11' = 23^{\circ}06'$ sind. Nicht: $22^{\circ}66'$!!!

Das Grundprinzip

Da die Erde eine Kugel ist, gehört zu jedem Gestirn 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.



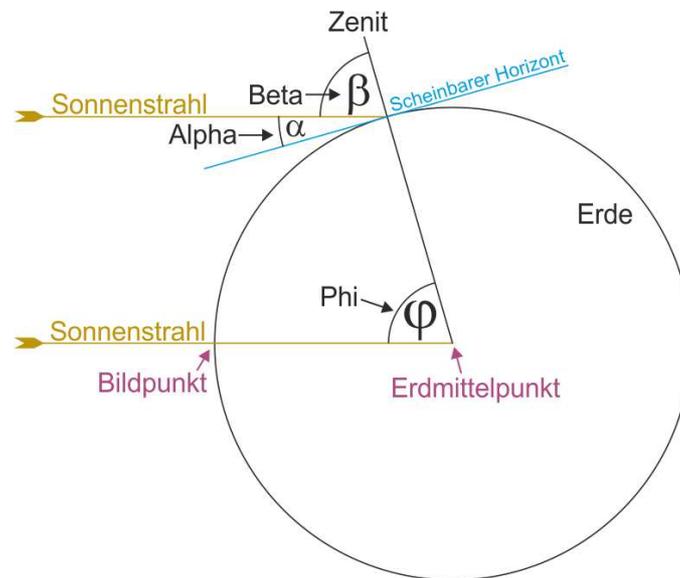
Wie man im Bild sehen kann, verlaufen alle Orte, an denen man die Sonne unter dem gleichen Winkel beobachten kann kreisförmig um den Bildpunkt. Das bedeutet, dass wir aus dem mit dem Sextanten gemessenen Winkel errechnen können, wie weit wir von dem Bildpunkt entfernt sind. Wir erhalten aus einer Messung also eine kreisförmige Standlinie, auf der wir uns irgendwo befinden müssen.



Wenn wir nun zwei Messungen von zwei unterschiedlichen Gestirnen mit den Bildpunkten BP1 und BP2 durchführen, wissen wir, dass wir uns an einem der Schnittpunkte A oder B befinden müssen. Alternativ können wir auch zweimal das

gleiche Gestirn (meistens die Sonne) zu unterschiedlichen Uhrzeiten messen, da der Bildpunkt dann bei der zweiten Messung bereits weiter gewandert ist. Allgemein ist es kein Problem sich für einen der Standorte A oder B zu entscheiden, da diese in der Regel weit über 1000 Seemeilen voneinander entfernt sind.

Den Abstand zum Bildpunkt berechnen



Gehen wir davon aus, dass wir zwischen Sonne und unserem scheinbaren Horizont (bzw. Kimm) den Winkel Alpha gemessen haben. Die Richtung zum Himmel genau senkrecht über uns bezeichnet man als Zenit. Da der Winkel zwischen scheinbarem Horizont und Zenit immer 90° groß ist, ist offensichtlich, dass die Winkel Alpha und Beta zusammen ebenfalls 90° ergeben müssen. Die Sonne ist im Vergleich zum Erddurchmesser praktisch unendlich weit entfernt. Daher können wir davon ausgehen, dass alle Sonnenstrahlen, die die Erde erreichen, genau parallel verlaufen. Aus diesem Grund ist der Winkel Phi genau so groß wie der Winkel Beta. Phi entspricht unserem Abstand zum Bildpunkt in Grad. Wenn wir den Abstand in Seemeilen wissen möchten müssen wir Phi noch mit 60 multiplizieren, da eine Seemeile einer Winkelminute entspricht.

Wir können unseren Abstand vom Bildpunkt in Seemeilen also wie folgt berechnen:

$$\text{Abstand} = (90^\circ - \alpha) \cdot 60$$

Selbstverständlich muss der Kimmabstand (der Winkel zwischen Sonne und Horizont) zuerst in Dezimalgrade umgerechnet werden, bevor wir ihn in der Formel verwenden können. Wie das geht, wurde bereits im Abschnitt [Das Koordinatensystem der Erde](#) erklärt.

Verschiedene Zeiten

Wer astronomisch Navigieren möchte, befindet sich meistens nicht immer in der gleichen Zeitzone. Das bedeutet wir brauchen ein Zeitsystem, das überall auf der Erde gleich ist.

Wer nun an UTC, die koordinierte Weltzeit, denkt, ist 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 die Länge einer UT1-Sekunde im Gegensatz zur UTC-Sekunde, die als feste Größe definiert ist. Damit UTC und UT1 nicht auseinander driften, wird in UTC jedes mal eine Schaltsekunde eingefügt, sobald UTC mehr als 0,9 Sekunden von UT1 abweicht.

Wir können den Zeitraum 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 12:00 MESZ ist gleich 11:00 MEZ ist gleich 10:00 UTC ist gleich 10:00 UT1. Jetzt sollte es kein Problem mehr 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 Seemeilen pro Sekunde über die Erdoberfläche. Es ist daher wichtig, dass wir bei einer Sonnenmessung die sekundengenaue Uhrzeit ermitteln, zu 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 immer die Genauigkeit der Position ab, die wir 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 anderes auf die Uhr schaut, während du die Messung machst. Sobald du die Sonne genau auf der Kimmlinie eingestellt hast, rufst du laut „JETZT“ und dein Partner liest die Uhrzeit ab.

Berechnung des Bildpunkts

Der Sonnenbildpunkt wird einzig und allein aus der Uhrzeit errechnet. Mit dem Nautischen Jahrbuch geht das ganze relativ einfach. Wenn man die Bildpunktposition zu einer vollen Stunde wissen möchten, so kann man die Koordinaten direkt aus dem NJ ablesen. Werfen wir einmal einen Blick auf [die Seite für den 30. Juni](#) aus dem NJ für das Jahr 1999.

Oben links sehen wir die Koordinaten für die Sonne . Wenn wir beispielsweise die Position des Sonnenbildpunkts um 17:00 UT1 wissen möchten, so suchen wir in der Spalte UT1 die Zahl 17 und finden rechts 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 Deklination genannt. Er entspricht der geografischen Breite der Position. Der Winkel vor dem GRT ist der Greenwiche Stundenwinkel. Er entspricht der geografischen Länge der Position in westlicher Richtung. Wir können also die Koordinaten –wie wir es von anderen Positionsangaben kennen– auch wie folgt aufschreiben:

23° 10,0' N
74° 5,9' W

Achtung: Wenn der Greenwiche Stundenwinkel größer ist als 180° müssen wir ihn in eine östliche Länge umrechnen. Das geschieht, indem wir ihn von 360° anziehen. Um 9:00 UT1 beträgt der Winkel beispielsweise 314° 6,9' GRT. Umgerechnet wären das dann $360^{\circ} 0' - 314^{\circ} 6,9' = 45^{\circ} 53,1' E$ (Nicht vergessen: Ein Grad entspricht 60 Minuten). 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 exakt zu einer vollen Stunde durchführen. In den meisten Fällen benötigen wir daher die Position des Bildpunkts zu einer „krummen“ Uhrzeit und müssen also zwischen den vollen Stunden interpolieren. Mit Hilfe der Schalttafeln am Ende des Nautischen Jahrbuchs geht das ganz einfach.

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

359° 6,5' GRT
23° 10,8' N

Werfen wir nun einen Blick auf die [Schalttafel für die 10. Minute](#). In der Spalte „10 min“ finden wir neben der 23. Sekunde in der Spalte „Zuwachs GRT Sonne“ den

Wert $2^{\circ} 35,8'$. Diesen Wert müssen wir zu dem GRT von 12:00:00 UT1 hinzuaddieren. Der neue GRT um 12:10:23 UT1 beträgt also $361^{\circ} 42,3'$. Weil der Greenwiche Stundenwinkel maximal 360° (also einen Vollkreis) betragen kann, müssen wir in diesem Fall noch 360° vom Ergebnis abziehen. Übrig bleiben also $1^{\circ} 42,3'$ GRT.

Bei der Deklination ist zwischen zwei Stunden kein nennenswerter Unterschied. Es reicht also aus, wenn wir die Deklination einfach abschätzen. Um 12:00 UT1 beträgt die Deklination $23^{\circ} 10,8'$. Um 13:00 UT1 beträgt sie $23^{\circ} 10,6'$. Die Deklination für 12:10 UT1 beträgt also etwa $23^{\circ} 10,7'$. Es ist eigentlich egal, wie genau wir die Deklination bestimmen. Viele Segler lassen sogar die Nachkommastellen beim Rechnen ganz weg, weil diese ohnehin nicht nennenswert zur Genauigkeit beitragen.

Die Position des Sonnenbildpunkts um 12:10:13 UT1 lautet also:

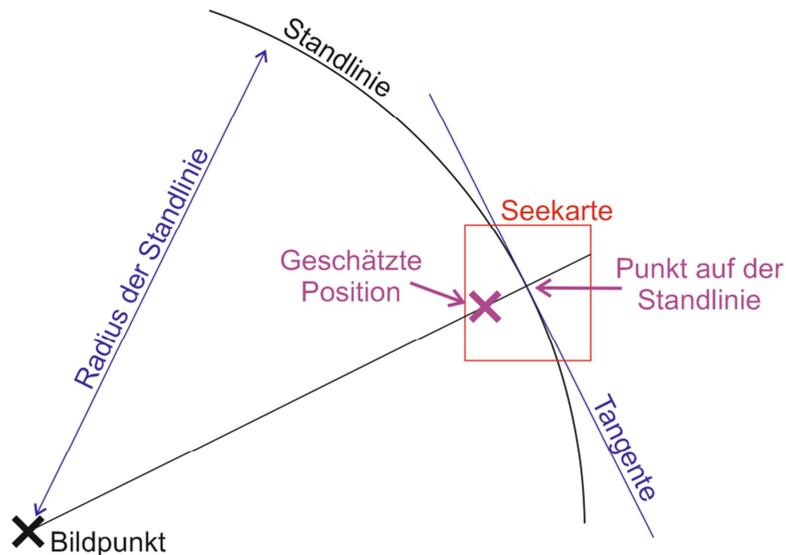
$1^{\circ} 42,3'$ GRT
 $23^{\circ} 10,7'$ N

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 kennen wir ebenfalls. Er entspricht unserem Abstand vom Bildpunkt, wie wir ihn im Abschnitt [Das Grundprinzip](#) berechnet haben. Eigentlich sollte es jetzt ein Leichtes sein, die Standlinie in die Seekarte einzutragen: Wir zeichnen den Bildpunkt ein und zeichnen mit einem Zirkel einen Kreis um diesen.

Aber leider gibt es da ein Problem: Der Radius ist viel 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 sie uns nicht viel nützen. Weil eine Seekarte eine zweidimensionale Abbildung der Erdoberfläche ist, ist sie verzerrt. Man könnte also einen so großen Kreis mit einem Zirkel nicht annähernd richtig zeichnen. Deshalb müssen wir hier einen Trick anwenden.

Auf der Zeichnung sehen wir in rot den Ausschnitt, der auf unserer Seekarte abgebildet ist. Der Bildpunkt befindet sich außerhalb der Karte. Jetzt wählen wir eine beliebige geschätzte Position auf der Karte, die ungefähr unserer tatsächlichen Position entsprechen könnte. Wir werden 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 der Seekarte dargestellt ist im Verhältnis zum Kreis sehr klein ist, können wir diese Tangente als Kreisabschnitt betrachten. Auf der Zeichnung wird das ganz deutlich: Die Tangente weicht innerhalb des Kartenausschnitts nur unwesentlich von dem Kreis ab, und in der Realität ist das Verhältnis von Kreis und Kartenausschnitt 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:

$$a = 60 \cdot \arccos(\sin(BG) \cdot \sin(BB) + \cos(BG) \cdot \cos(BB) \cdot \cos(LB - LG))$$

a: Abstand zum Bildpunkt in Seemeilen
 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 lautet:
 54° 21' N
 4° 10' E

Wenn wir alle Koordinaten umrechnen ergeben sich folgende Werte:

Bildpunkt:
Breite: -6,567° (südlich also Minuszeichen)
Länge: 3,217°

Geschätzte Position:
Breite: 54,35°
Länge: -4,167° (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. Dies ist die Richtung, in der Sie die Sonne sehen. Dazu verwenden wir folgende Formel:

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

HK: Halbkreisiger Kurs
BB: Breite Bildpunkt
BG: Breite geschätzte Position
a: Abstand von geschätzter Position zum Bildpunkt in sm

Achtung: Der halbkreisige Kurs muss nun 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° anziehen um den Vollkreisigen zu erhalten.

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

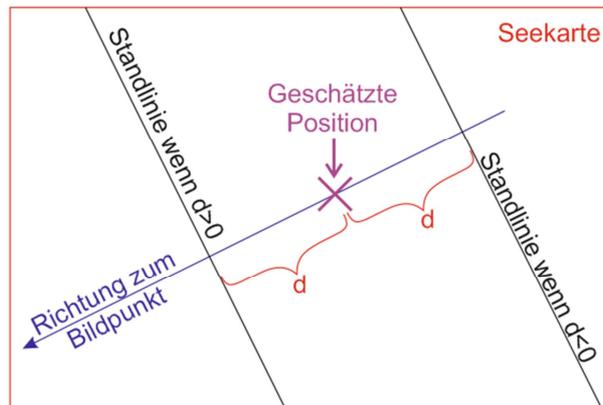
Standlinie einzeichnen

Aus dem Abschnitt [Das Grundprinzip](#) wissen wir, wie wir unseren tatsächlichen Abstand zum Bildpunkt berechnen. 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:

$$d = ag - at$$

d: Entfernung zwischen geschätzter Position und Standlinie in sm
 ag: Entfernung zwischen geschätzter Position und Bildpunkt in sm
 at: Entfernung zwischen tatsächlicher Position/Standlinie und Bildpunkt

Achtung: Wenn d negativ ist, hat das Minuszeichen eine Bedeutung. Wir dürfen es also nicht einfach weglassen.



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. Wenn d positiv ist, müssen wir d in Richtung Bildpunkt abtragen. Ist d negativ, geschieht das Abtragen in die entgegengesetzte Richtung. Durch den so ermittelten Punkt zeichnen wir jetzt senkrecht zur Bildpunktichtung die Standlinie (bzw. Tangente daran) ein.

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

Sonnenuhren

Wenn man mit Hilfe der Sonne die eigene Position auf der Erde ermitteln kann, so sollte es doch auch möglich sein mit Hilfe der Sonne die Ausrichtung von z.B. Hauswänden oder Dachschrägen zu messen — z.B. um dort anschließend eine Sonnenuhr zu installieren. Getrieben von diesem Gedanken habe ich über mehrere Jahre mein eigenes Verfahren dazu entwickelt.

Herausgekommen ist ein Winkel mit einer Zentimeterskala. Man legt ihn mit seiner langen Seite auf eine Wand und dreht ihn so, dass der Schatten der kurzen Seite auf die Zentimeterskala der langen Seite fällt. Aus der Schattenlänge, welche man nun auf der Skala ablesen kann, und der aktuellen Uhrzeit kann man die Ausrichtung der Wand berechnen.



Diese Erfindung -genannt: Schattenwinkel- war die Grundlage für meine Existenzgründung meine-sonnenuhr.de. Auf dieser Webseite verkaufe ich Sonnenuhren, die individuell für die jeweilige Hauswand, an der sie hängen sollen, berechnet werden. Meine Kunden bekommen zunächst ein Starter-Set mit dem Schattenwinkel mit der Post, führen Schattenmessungen auf ihrer Hauswand durch und tragen diese auf meiner Webseite ein. **Anschließend bekommen sie eine dekorative Sonnenuhr aus Schiefer, welche präzise die mitteleuropäische Sommerzeit anzeigt.**

Der Schattenwinkel und ein Sextant erfüllen einen sehr ähnlichen Zweck: Beide messen den Winkel zwischen der Sonne und einer Ebene, die bestimmt werden soll. Mit dem Sextant misst man den Winkel zwischen der Sonne und der Horizontebene. Da die Erde eine Kugel ist, kann man jeder Horizontebene direkt einen Ort auf der Erde zuordnen. Mein Schattenwinkel misst den Winkel zwischen der Sonne und der Wandebene, welche aus diesen Messungen berechnet wird.

Das Sonnenuhr-Starter-Set ist ein ideales Geschenk...

- für Häuslebauer
- zu Hochzeiten
- zu Geburtstagen
- und so weiter...

Ich freue mich über deinen Besuch auf...



Anhang: Gesamtbeschickung für den Sonnenunterrand

Auszug aus dem Nautischen Jahrbuch von 1999:

42
Gesamtbeschickung 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
4,5	+ 5,4	+2,8	+1,7	+0,9	+0,2	-0,4	-1,0	-1,5	-1,9	-2,4	-2,8	-3,2	-3,6	-4,0	-4,3	-4,7	-5,0	-5,3	-5,6	-5,9	-6,2
5	+ 6,3	+3,7	+2,6	+1,8	+1,1	+0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-1,9	-2,3	-2,7	-3,0	-3,4	-3,7	-4,1	-4,4	-4,7	-5,0	-5,3
5,5	+ 7,0	+4,5	+3,4	+2,6	+1,9	+1,3	+0,7	+0,2	-0,3	-0,7	-1,1	-1,5	-1,9	-2,3	-2,6	-2,9	-3,3	-3,6	-3,9	-4,2	-4,5
6	+ 7,7	+5,1	+4,1	+3,3	+2,6	+2,0	+1,4	+0,9	+0,4	0,0	-0,4	-0,8	-1,2	-1,6	-1,9	-2,3	-2,6	-2,9	-3,2	-3,5	-3,8
6,5	+ 8,3	+5,7	+4,6	+3,8	+3,1	+2,5	+2,0	+1,5	+1,0	+0,6	+0,2	-0,2	-0,6	-1,0	-1,3	-1,7	-2,0	-2,3	-2,6	-2,9	-3,2
7	+ 8,8	+6,2	+5,1	+4,3	+3,6	+3,0	+2,5	+2,0	+1,5	+1,1	+0,7	+0,3	-0,1	-0,5	-0,8	-1,1	-1,5	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7
7,5	+ 9,2	+6,7	+5,6	+4,8	+4,1	+3,5	+3,0	+2,5	+2,0	+1,6	+1,1	+0,7	+0,4	0,0	-0,3	-0,7	-1,0	-1,3	-1,6	-1,9	-2,2
8	+ 9,6	+7,0	+6,0	+5,2	+4,5	+3,9	+3,4	+2,9	+2,4	+2,0	+1,6	+1,2	+0,8	+0,4	+0,1	-0,3	-0,6	-0,9	-1,2	-1,5	-1,8
8,5	+10,0	+7,4	+6,4	+5,5	+4,8	+4,2	+3,7	+3,2	+2,8	+2,3	+1,9	+1,5	+1,1	+0,8	+0,4	+0,1	-0,2	-0,5	-0,9	-1,1	-1,4
9	+10,3	+7,7	+6,7	+5,9	+5,2	+4,6	+4,0	+3,5	+3,1	+2,6	+2,2	+1,8	+1,4	+1,1	+0,8	+0,4	+0,1	-0,2	-0,5	-0,8	-1,1
9,5	+10,6	+8,0	+7,0	+6,2	+5,5	+4,9	+4,3	+3,8	+3,4	+2,9	+2,5	+2,1	+1,8	+1,4	+1,1	+0,7	+0,4	0,0	-0,3	-0,6	-0,9
10	+10,9	+8,3	+7,2	+6,4	+5,7	+5,1	+4,6	+4,1	+3,7	+3,2	+2,8	+2,4	+2,1	+1,7	+1,3	+1,0	+0,7	+0,4	+0,1	-0,2	-0,5
11	+11,3	8,8	7,7	6,9	6,2	5,6	5,1	4,6	4,1	3,7	3,3	2,9	2,5	2,2	1,8	1,5	1,2	0,9	0,6	+0,3	0,0
12	+11,7	9,2	8,1	7,3	6,6	6,0	5,5	5,0	4,5	4,1	3,7	3,3	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6	1,3	1,0	0,7	+0,4
13	+12,1	9,5	8,4	7,7	7,0	6,4	5,8	5,3	4,9	4,4	4,0	3,6	3,3	2,9	2,6	2,2	1,9	1,6	1,3	1,0	0,7
14	+12,4	9,8	8,8	8,0	7,3	6,7	6,1	5,6	5,2	4,7	4,3	3,9	3,6	3,2	2,9	2,5	2,2	1,9	1,6	1,3	1,0
15	+12,6	10,1	9,0	8,2	7,5	6,9	6,4	5,9	5,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,5	3,1	2,8	2,5	2,2	1,9	1,6	1,3
16	+12,8	10,3	9,2	8,4	7,8	7,2	6,6	6,1	5,7	5,3	4,8	4,4	4,0	3,7	3,4	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8	1,5
17	+13,0	10,5	9,4	8,6	8,0	7,4	6,8	6,3	5,9	5,5	5,0	4,6	4,2	3,9	3,6	3,2	2,9	2,6	2,3	2,0	1,7
18	+13,2	10,7	9,6	8,8	8,1	7,5	7,0	6,5	6,1	5,6	5,2	4,8	4,4	4,1	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5	2,2	1,9
19	+13,4	10,8	9,8	9,0	8,3	7,7	7,2	6,7	6,2	5,8	5,4	5,0	4,6	4,2	3,9	3,6	3,3	2,9	2,6	2,3	2,1
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
35	+14,8	12,2	11,2	10,4	9,7	9,1	8,6	8,2	7,7	7,3	6,9	6,5	6,1	5,7	5,4	5,1	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5
40	+15,0	12,5	11,4	10,6	9,9	9,3	8,8	8,4	7,9	7,5	7,1	6,7	6,3	5,9	5,6	5,2	4,9	4,6	4,3	4,0	3,7
45	+15,1	12,6	11,6	10,8	10,1	9,4	8,9	8,5	8,0	7,6	7,2	6,8	6,4	6,1	5,7	5,4	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9
50	+15,3	12,7	11,7	10,9	10,2	9,6	9,1	8,6	8,2	7,7	7,3	6,9	6,6	6,2	5,9	5,5	5,2	4,9	4,6	4,3	4,0
55	+15,4	12,9	11,8	11,0	10,3	9,7	9,2	8,7	8,3	7,8	7,4	7,1	6,7	6,3	6,0	5,6	5,3	5,0	4,7	4,4	4,1
60	+15,5	13,0	12,0	11,2	10,5	9,9	9,3	8,8	8,4	8,0	7,6	7,2	6,8	6,4	6,1	5,8	5,4	5,1	4,8	4,5	4,3
70	+15,7	13,2	12,2	11,4	10,7	10,1	9,5	9,0	8,6	8,2	7,8	7,4	7,0	6,6	6,3	6,0	5,6	5,3	5,0	4,7	4,4
80	+15,9	13,4	12,4	11,6	10,9	10,3	9,7	9,2	8,8	8,4	8,0	7,6	7,2	6,8	6,5	6,2	5,8	5,5	5,2	4,9	4,6
90	+16,0	13,5	12,5	11,7	11,0	10,4	9,8	9,3	8,9	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9	6,6	6,3	5,9	5,6	5,3	5,0	4,7

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

Anhang: Tafel für den 30. Juni 1999

Auszug aus dem Nautischen Jahrbuch von 1999:

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	Nr	β	δ	r	
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'						
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

Auszug aus dem Nautischen Jahrbuch von 1999:

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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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