

Der Sextant und die Gestirnmessung

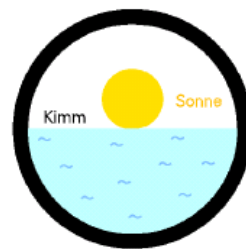
© Thomas Eulenberg 2008

Sextant

Ein Sextant ist ein Messgerät zur Winkelmessung, seinen Namen hat er von dem Kreissektor, der der Hauptteil des Sextanten ist und einem Sechstelkreis entspricht (60°). Dieser Sechstelkreis ist markiert und von 0 bis 120 (Grad) gezählt, da der Sextant durch die Doppelspiegelung in Wirklichkeit einen doppelt so großen Winkel misst.

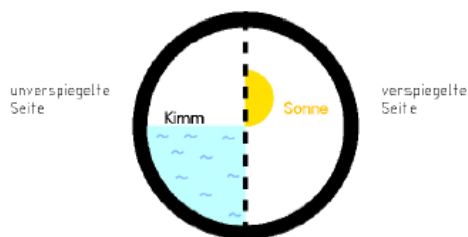
Ein Oktant ist dementsprechend ein Achtelkreis (45°) und er misst Winkel bis 90° .

Auf kleinen Booten werden keine großen Anforderungen an die Genauigkeit eines Sextanten gestellt man kann die Welt auch mit einem Plastiksextanten umsegeln.



Vollsichtspiegel

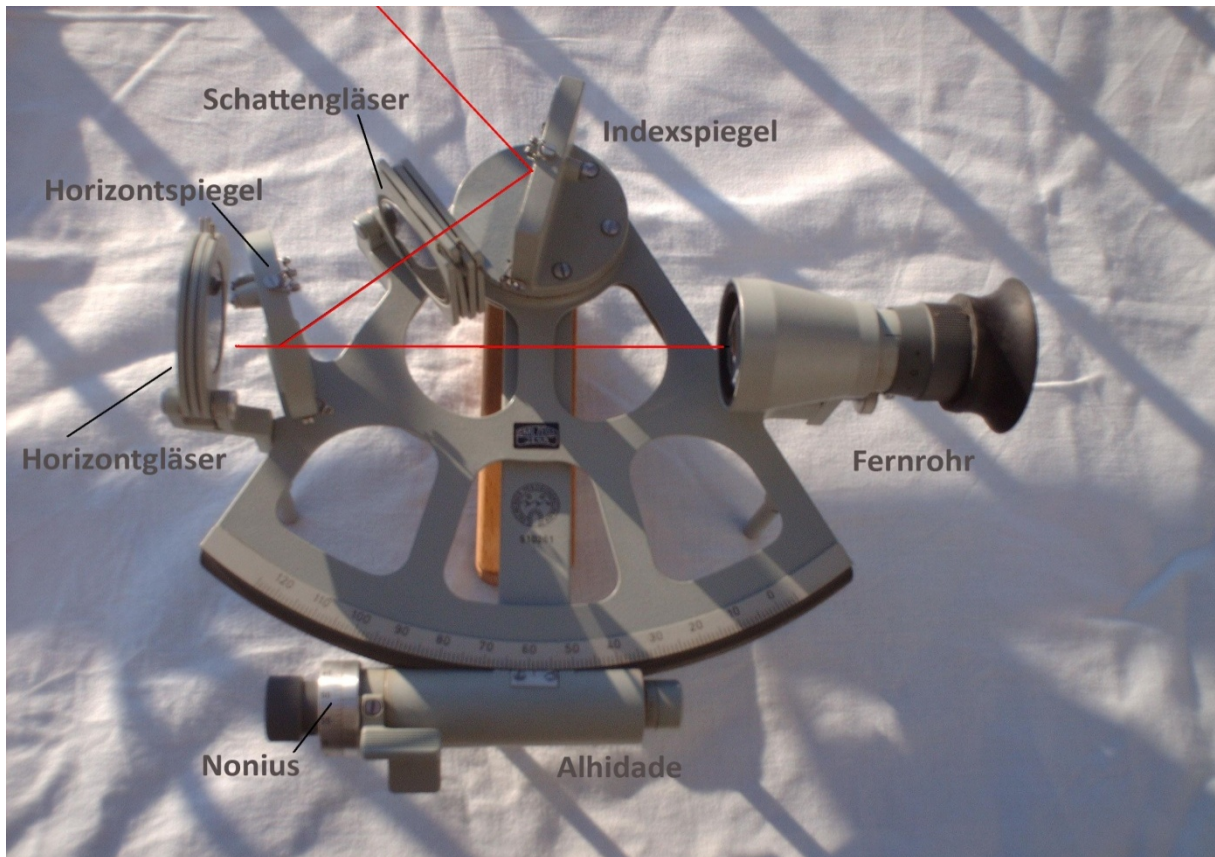
Es gibt zwei Arten von Sextanten, den Vollsichtsextanten und den Sextanten mit Halbsichtspiegel.



Halbspiegel

Beim Vollsichtsextanten ist der feste Spiegel komplett durchsichtig und man sieht die Sonne und Horizont übereinander beim Halbsichtsextanten ist eine Hälfte des festen Spiegels verspiegelt, also undurchsichtig und man sieht Sonne und Horizont nebeneinander.

Der Vollsichtsextant ist für Anfänger das einfachere Gerät, aber er ist für Sternen- und Planeten Beobachtungen weniger gut geeignet, da der beschichtete Horizontspiegel ca. 50 % des durchfallenden Lichtes absorbiert.



Wenn man durch das Fernrohr des Sextanten schaut, sieht man gleichzeitig zwei Bilder, den Horizont bzw. Hintergrund und das gespiegelte Objekt (siehe die roten Linien), dabei spiegelt der Indexspiegel je nach Stellung der Alhidade einen von oben einfallenden angepeilten Gegenstand im Horizont wider. (Im Bild ist das ein in 60° über dem Horizont befindliches Gestirn.)

Bewegt man die Alhidade nach rechts, dann wird der Winkel kleiner und umgekehrt. Mit dem Nonius werden in der Feineinstellung die Zehntelgrad bzw. die Minuten eingestellt. Die Schatten- und Horizontgläser werden benutzt um das Bild des Gestirns (besonders der Sonne) und des Horizontes (z.B. bei Mondbeobachtungen am Tag) abzdunkeln, um Blendungen zu vermeiden und den Kontrast zu erhöhen.

Die Genauigkeit der Einstellungsmöglichkeit der Gestirne auf der Kimm wird in der Regel überschätzt. Auf sich bewegenden Schiffen kann ein geübter, dabei aber kritischer Beobachter auf eine halbe Winkelminute genau beobachten.

Berichtigungen

Erst sollen hier die benutzten Wertbegriffe festgelegt werden. Für Excel-Fan's gibt es auch die Formeln, nach denen auch die Almanachs aufgestellt werden.

Sextant:

Indexfehler lb

Höhenberichtigungen:

Kimmabstand Ka

Scheinbare Höhe hs Ka-k

Refraktion R $0,995 * \text{COT}(hs+2,5/hs)$

Höhe über dem scheinbaren h' hs-R

Horizont		
Parallaxe	P	$P_0 \cdot \cos(h')$
Kimmtiefe	k	$1,779 \cdot \sqrt{Ah}$
Horizontparallaxe	P_0	$0,272/r$
Sonnendurchmesser	r	$16 + 0,3 \cdot \cos(d)$

d=Anzahl Tage im Jahr
r=+ für Unterrand
r=0 für Gestirnmittelpunkt
r=- für Oberrand

Wenn man mit dem Sextanten die Höhe eines Gestirns misst, dann erhält man einen „Basiswert“. Dieser Wert muss noch um bestimmte Faktoren berichtigt werden. Die erste Berichtigung ist der Messfehler (Indexfehler **lb**) des Sextanten selbst. Ob sich beim Reinigen ein "Indexfehler" (Messfehler) ergeben hat, kann man feststellen, indem man im Sextanten bei ungefähre Nullstellung einen mehr als eine Seemeile entfernten Gegenstand einstellt (Bergrücken oder ähnliches, das ist auf hoher See nur mit dem Horizont zu prüfen) und an dem Nonius des Sextanten solange nachreguliert, bis das direkt gesehene Objekt mit dem doppelt gespiegelten Bild des Objektes in Deckung ist. Zeigt dann der Nonius genau Null, so hat das Gerät keinen Indexfehler.



Werden auf dem Nonius (siehe Bild) $58,5'$ angezeigt, so wird gegenüber der Wirklichkeit immer ein um $1,5'$ zu kleiner Winkel gemessen, nämlich um die **Indexberichtigung "lb" $-1,5'$** zu klein.

Der Indexfehler wird mit dem ermittelten Vorzeichen als erste Berichtigung zu dem am Sextanten abgelesenen Winkel addiert und ergibt den Kimmabstand **Ka**.

Die Messung

Wenn man die ersten Messungen macht, wird man meist vom Ergebnis enttäuscht sein. Das Boot bewegt sich, der Beobachter bewegt sich und damit „tanzt“ das Gestirn auf dem Horizont hin und her. Am besten übt man erst einmal mit der Sonne, ohne gleich die Zeit mit zu nehmen, sondern man misst nur den Winkel und übt das Schwingen des Sextanten, um die Sonne auf den Horizont zu setzen.



Hat man einen Vollsichtsextanten, dann kann man die Horizontgläser und die entsprechenden Schattengläser verschieben, den Sextanten auf „0“ stellen und gleich in die Sonne peilen. (Vorsicht: Sowohl Horizontgläser als auch Schattengläser müssen die Sonne gut abblenden. Ausprobieren!!!)

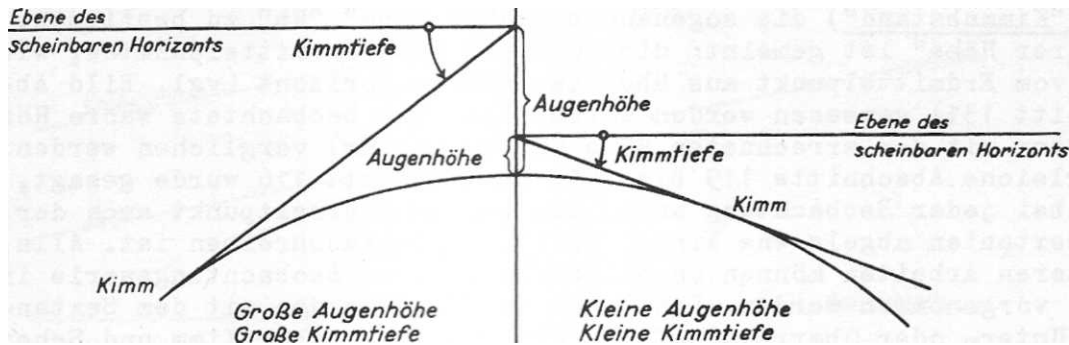
Wenn man nun in die Sonne peilt, sieht man sie und ihr Abbild gleichzeitig. Bewegt man nun langsam die Alhidade, dann bewegt sich eine der beiden Sonnenscheiben und neigt man nun gleichzeitig den Sextanten in die Horizontale, „zieht“ man die Sonne auf den Horizont. Es kann nun sein, dass durch die Abblendung der Horizontgläser der Horizont nicht gut ausgemacht werden kann, aber man hat damit die ungefähre Höhe voreingestellt. Jetzt können die Horizontgläser zu einer besseren Beobachtung genau eingeklappt werden und mit der voreingestellten Höhe findet man die Sonne leicht.

Die zweite Möglichkeit ist, mit einem angenommenen Standort eine Höhe zu berechnen, den Sextanten darauf einzustellen und dann die wahre Höhe zu „schießen“. (Nach der Methode „Höhengleiche“)

Bei hässigem Wetter sind Beobachtungen aus einer niedrigeren Augenhöhe wesentlich zuverlässiger, weil die Entfernung von der Kimm bis zum Auge geringer ist.

Kimmtiefe

Die vom Beobachter gesehene waagerechte Ebene nennt man



"scheinbarer_Horizont". Je höher man steht, desto weiter kann man auf der Erde sehen. Die Kimm, der natürliche Seehorizont, sinkt gegenüber dem scheinbaren Horizont mit zunehmender Höhe des Beobachters. Der Winkel, den scheinbarer Horizont und die Verbindungslinie Kimm - Auge miteinander bilden, heißt die "Kimmtiefe" (englisch "Dip"). Der Winkelwert der Kimmtiefe wird in den Navigationstabellen oder Jahrbüchern in Abhängigkeit von der "Augenhöhe" in Metern oder Fuß angegeben.

Beispiel:

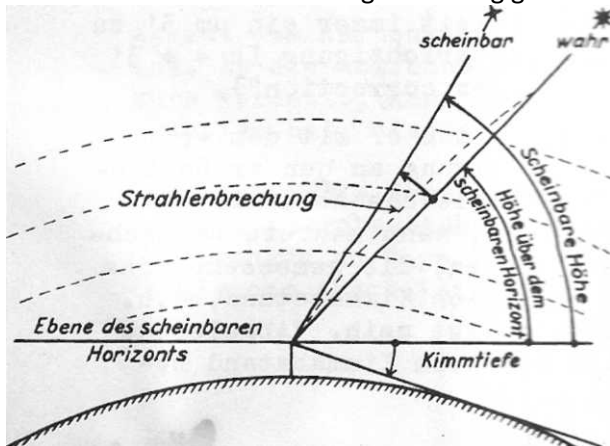
Augenhöhe (m)	Kimmtiefe (Minuten)
2,1	2,6'
17	7,3'

(Für Fan's von Excel-Tabellen Kimmtiefe $k = 1,779 \cdot \sqrt{A1}$ (m))

Die Kimmtiefe wird **immer** von der Sextanthöhe abgezogen und als Wert erhält man die "scheinbare Höhe" **Hs** des Gestirns.

Strahlenbrechung (Refraktion)

Wenn die Lichtstrahlen vom Gestirn her in die Erdatmosphäre eintreten, werden sie abgelenkt, "gebrochen". Fällt der Lichtstrahl senkrecht ein (also über dem Bildpunkt), so ist die Strahlenbrechung (Refraktion) Null. Steht das Gestirn in der Kimm, so ist die Strahlenbrechung am größten, was an der Formveränderung der Sonne oder des Mondes beim Auf- oder Untergang zu erkennen ist. Die Größe dieser Strahlenbrechung ist abhängig von: Luftdruck, Lufttemperatur, und Luftfeuchtigkeit .



Für die Refraktion sind Mittelwerte tabelliert worden, die für die Praxis genügen und für alle Gestirne benutzt werden können. Für die Sonne und den Mond hat man wegen der Unter- bzw. Oberrand-Beobachtungen Sondertafeln geschaffen.

Beispiel:

ein Stern in Höhe	Berichtigung
70°	0,4'
20°	2,6'
10°	5,3'

(Für Excel-Fan's Refraktion Sterne $R = 0,995 \cdot 1 / \tan((A1+2,5/A1) \cdot \pi / 180)$ (min))

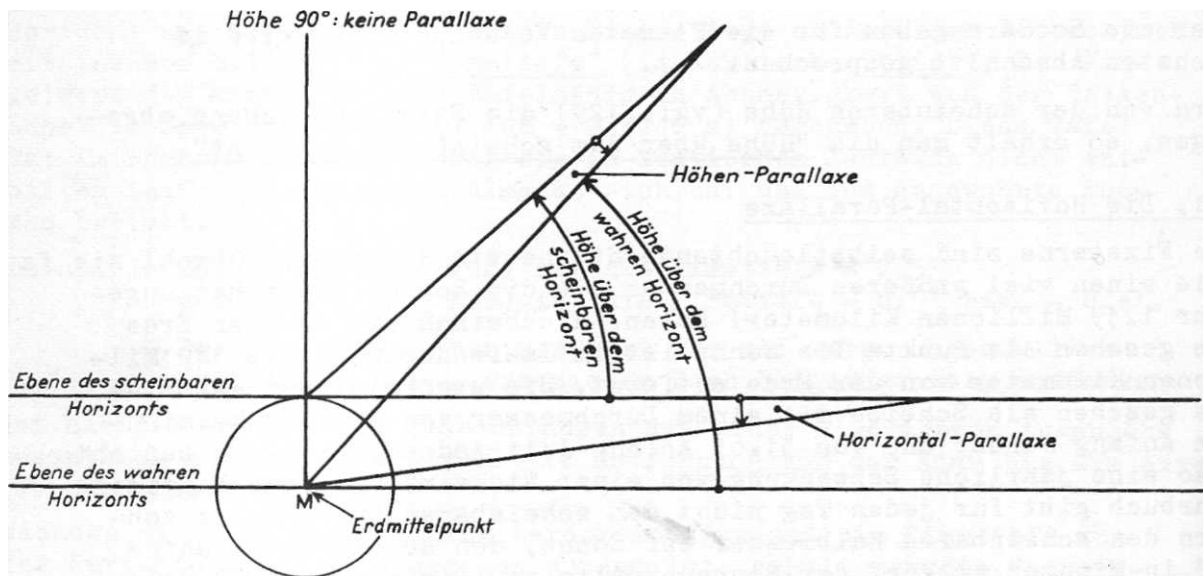
Es ist daher immer sinnvoll, Sterne mit großer Höhe zu beobachten, denn so wird der Berichtigung kleiner gehalten und ist bei einem Messfehler weniger einflussreich.

Auch die Refraktion wird immer vom Sextantwert abgezogen, der so gefundene Wert heißt "Höhe über dem scheinbaren Horizont".

Die Horizontal-Parallaxe

Die Fixsterne sind selbstleuchtende Sterne wie die Sonne. Obwohl sie fast alle einen viel größeren Durchmesser als die Sonne haben, erscheinen sie von der Erde aus gesehen als Punkt. Die Sonne erscheint von der Erde aus gesehen als Scheibe mit einem Durchmesser von 32,6' (Januar) und von 31,6' (Juli). Es besteht also eine jährliche Schwankung von einer Winkelminute
Der Durchmesser des Mondes beträgt in Wirklichkeit etwa die Hälfte des Erddurchmessers. Doch scheint der Mond als Scheibe fast genau so groß wie die Sonne zu sein.

Wenn von der Erde aus diese Gestirne schon als Scheibe erkennbar sind, so wäre das umgekehrt für Beobachter auf dem Mond auch der Fall. Wenn man auf der Erde genau im Bildpunkt des Mondes steht, dann erscheint es vom Mond aus betrachtet, als ob der Beobachter auf der Erde im Mittelpunkt der Erdscheibe steht. Sieht der Beobachter auf der Erde den Mond auf-oder untergehen, so stände er vom Mond aus gesehen genau auf der Kante der Erdscheibe. Der Beobachter auf der Erde sieht dann den Mond im Horizont. Weiter kann er sich vom Bildpunkt des Mondes auf der Erdoberfläche nicht entfernen. Deshalb wird von "Horizontal-Parallaxe" gesprochen, das ist ein Winkel, der nicht von der Erde aus gemessen werden kann.



Die Horizontal-Parallaxe ist der scheinbare Erdhalbmesser in Winkelmaß angegeben, wie er vom Mond aus gesehen werden würde. In den nautischen Jahrbüchern wird die Horizontal-Parallaxe nur für den Mond angegeben, für die Sonne wird keine Horizontal-Parallaxe gegeben; denn der Erdhalbmesser erscheint von der Sonne aus gesehen mit etwa $9''$ (Winkelsekunden) = $0,15'$ so klein, dass diese Horizontal-Parallaxe unberücksichtigt bleiben kann. Das gilt auch für Saturn und Jupiter. Bei der Venus kann die Horizontal-Parallaxe auf $0,5'$ anwachsen, je nachdem, in welcher Entfernung Erde und Venus auf ihren Bahnen um die Sonne zueinander stehen. Beim Mars kann die Horizontal-Parallaxe $0,3$ werden. Beim Mond muss die Horizontal-Parallaxe unbedingt berücksichtigt werden; denn vom Mond aus erscheint die Erde je nach der Entfernung Erde - Mond als Scheibe von fast oder über 2 Grad Durchmesser.

Aus dem Bild ist zu ersehen, dass nur der Beobachter, der den Mond im Horizont sieht, den vollen Betrag der Horizontal-Parallaxe in Rechnung stellen muss, d.h. nur dann, wenn die Höhe des Mondes null Grad beträgt. Steht das Gestirn im Zenit, d.h., der Beobachter im Bildpunkt, so ist, wie aus dem Bild zu ersehen ist, keine Berichtigung erforderlich. Die Horizontal-Parallaxe wird zur sogenannten Höhenparallaxe. Diese Höhenparallaxe ist umso kleiner, je größer die Höhe über dem scheinbaren Horizont ist.

Die Horizontal-Parallaxe braucht nicht in Höhenparallaxe umgerechnet zu werden. Für die Sonne und den Mond gibt es besondere Berichtigungstabellen, und zwar getrennt nach Unterrand (lower limb) und Oberrand (upper limb). Da sowohl die Größe des scheinbaren Halbmessers wie auch die Größe der Horizontal-Parallaxe von der Entfernung abhängig sind, in der sich Sonne oder Mond von der Erde befinden, sind diese Tabellen so aufgebaut, daß man ihnen für die Höhe über dem scheinbaren Horizont die Summe der Beschickung von scheinbarem Halbmesser und Höhenparallaxe entnehmen kann.

Für Excel Fan's Parallaxe $P = P_0 \cdot \cos(h')$

Das hört sich alles sehr kompliziert an und ist die Theorie, aber in der Praxis ergeben sich viele Vereinfachungen und durch das immer gleiche Rechenschema kommt man zu der folgenden Methode:

Korrektur der mit dem Sextanten beobachteten Höhe zur scheinbaren Höhe

am Sextanten abgelesene Höhe		$45^\circ 00'$
Indexfehler Ib	-	$1,5'$
Augenhöhe 2.1m	-	$2,5'$

Scheinbare Höhe -----
44° 56'

Beschickungstabelle Sonne/Fixsterne für den Praktiker

Das sind Werte, die man **nach** Indexberichtigung und Kimmtiefe rechnet

Als Beispiel werden Für die am Sextanten abgelesene Höhe von genau 45⁰ nacheinander die "wahren Höhen" ermittelt, und zwar:

1. Für einen Fixstern,
2. für die Venus im August 2008
3. für die Sonne im August 2008
 - a) Unterrand,
 - b) Oberrand;
4. für den Mond am 16. August 2008 um 16.00 Uhr G.M.T.:
 - a) Unterrand,
 - b) Oberrand.

1. Fixstern

Scheinbare Höhe		44° 56'
Refraktion (immer negativ)	-	1,0

Wahre Höhe		44° 55'
------------	--	---------

2. Venus:

Bei den Planeten verfährt man genauso wie bei den Fixsternen. Planeten sind ganz besonders brauchbar für Navigationszwecke, weil sie deutlich zu sehen sind, wenn es morgens und abends einen scharfen Horizont gibt. Ist für die Venus eine Horizontal-Parallaxe zu berücksichtigen, so kann man das bei Tageslicht-Beobachtungen einfach damit abtun, daß man die Venus nicht genau auf die Kimm, sondern die schon als Scheibe erscheinende Venus **in** die Kimm setzt **nicht aber unter** die Kimm. Das genügt für die Praxis. Bei den anderen Planeten ist die Beschickung für die Horizontal-Parallaxe ohne Bedeutung. Man behandelt sie wie Fixsterne.

3. Sonne:

- a) Unterrand (immer positiv)

Scheinbare Höhe		44° 56'
Berichtigung (für 2,1 m Augenhöhe)	-	12,6' (in der Praxis 13')

- b) Oberrand (immer negativ)

Scheinbare Höhe		44° 56'
Berichtigung (für 2,1 m Augenhöhe)	-	17,4' (in der Praxis -18')

für Excel-Fan's : (Jetzt wird es ein wenig komplizierter)

Kimmabstand	Ka	
Scheinbare Höhe	hs	Ka-k
Refraktion	R	0,995*COT(hs+2,5/hs)

Höhe über dem scheinbaren Horizont	h'	$hs-R$
Parallaxe	P	$Po \cdot \cos(h')$
Kimmtiefe	k	$1,779 \cdot \sqrt{Ah}$
Horizontparallaxe	Po	$0,272/r$
Sonnendurchmesser	r	$16+0,3 \cdot \cos(d)$

d =Anzahl Tage im Jahr
(Jahresanfang bis heutiger Tag)
 $r=+$ für Unterrand
 $r=0$ für Gestirnmittelpunkt
 $r=-$ für Oberrand

Die Gesamtbeschickung für Sonne/Fixsterne ist die Summe aus

Gesamtbeschickung Sonne	G_b	$-k-R+P+/-r$
Gesamtbeschickung Stern	G_{bs}	$-k-R$
beobachtete Höhe	H_b	$Ka+G_b$
beobachtete Höhe Stern	H_b	$Ka+G_{bs}$

Zur Erklärung: Kimmtiefe und Refraktion vermindern immer die Höhe, die Parallaxe wird mit grösserer Höhe immer kleiner (bis 0 bei 90°) und der Sonnendurchmesser schwankt von Januar bis Juli im eine Winkelminute.

Zur Erinnerung eine Winkelminute (1') ist gleich 1 Seemeile.

In der Praxis wird oft mit folgender Tabelle gearbeitet (für 2m Augenhöhe) und die Sonne wird meist mit dem Unterrand auf den Horizont gesetzt. Der Oberrand ist dann sinnvoll, wenn sie tief über dem Horizont steht und Sonne und gespiegeltes Bild ineinander laufen.

Höhe gemessen	Sonnen- unterrand	Sonnen- oberrand	Fixstern
ab 20°	+ 11 '	- 21 '	- 5 '
ab 25°	+ 12 '	- 20 '	- 4 '
ab 45°	+ 13 '	- 19 '	- 3 '

Der Mond wird in der Bordpraxis ungerne beobachtet, weil die Beschickung zur Mittelpunktshöhe kompliziert ist. Praktisch geht das nur mit einem Almanach z.B. Air Almanac oder Nautical Almanac, dann ist der Mond als Tagesgestirn auch nicht schwieriger im Rechnungsgang als die Sonne oder die Sterne. Er umkreist die Erde aber sehr unregelmäßig und ist ihr auch viel näher, was die Auswertung ein wenig umständlicher macht.

Mit der (oben ermittelten) „scheinbaren Höhe“ geht man in die Tafeln des Almanachs. Es ist überflüssig, die dort gegebenen Erklärungen zu diskutieren, aber man muss deren Inhalt genau kennen und befolgen.

Mondhöhen sind praktisch, wenn zum Beispiel der abnehmende Mond am Morgenhimmel sichtbar ist, gibt eine gleichzeitig vorgenommene Sonnen- und Mondhöhe hintereinander innerhalb weniger Minuten genommen zwei Standlinien und damit unmittelbar einen wahren Schiffsort — ein „Fix“.

Normalerweise entscheidet man durch einen Blick auf den Mond, ob man den Ober- oder Unterrand des Mondes nimmt; nur bei vollem oder fast vollem Mond geht das nicht, und es gilt folgende Regel:

Der Oberrand wird gemessen

- a) vor Vollmond und vor seinem Ortsmeridian-Durchgang;
- b) nach Vollmond und nach seinem Ortsmeridian-Durchgang.

Der Unterrand wird gemessen

- a) nach Vollmond und vor seinem Ortsmeridian-Durchgang;
- b) vor Vollmond und nach seinem Ortsmeridian-Durchgang.

Datum und Zeit für Vollmond sind für das ganze Jahr im Almanach angegeben.