

Erster Teil: Theorie

In der Navigation geht es für die Seefahrer immer um die beiden Fragen: Wo bin ich und wie komme ich von A nach B? Die erste Frage ist für Landratten ziemlich unverständlich, da an Land immer Marken sind, an denen man sich orientieren kann. Aber schon 8-10 SM vor einer flachen Küste ist ringsum nur Wasser und Horizont und man kann sich nur nach den Gestirnen orientieren oder man hat einen GPS- Empfänger. Aber was, wenn dessen Batterien platt sind?

Es lohnt sich in dem Zusammenhang, einmal die Geschichte der Expedition von Shackleton in die Antarktis zu lesen, um ein Gefühl für Astronavigation unter Extrembedingungen zu bekommen.

Um die Theorie einer astronomischen Standortbestimmung zu verstehen, müssen verschiedene Grundsätze geklärt und bestimmte Begriffe erlernt werden und man muss akzeptieren, dass die Navigation anhand von Sternkonstellationen nur auf ungefähr eine Seemeile genau sein kann. Doch haben mit diesen seemännischen Verfahren unsers Vorfahren die Welt, wie wir sie heute kennen, entdeckt.

Legende und Abkürzungen

Was wir in der normalen zweidimensionalen Geometrie als Seiten (also als Geraden) bezeichnen, sind in der Astronavigation, da es sich um Kugel -(sphärisch)Geometrie handelt, Bogen oder Kreise. Ihre Länge wird in Bogengeraden oder (da über den Kreis und die Zahl PI (π) verbunden) in Winkelgeraden angegeben.

Eine Breite (LAT) von 15° N beschreibt eine Strecke vom Äquator 0° in Richtung Norden von 15° und da diese Strecke sich auf einem Kreisbogen befindet, dessen Mittelpunkt der Erdmittelpunkt ist, kennen wir auch die Länge des Bogens, nämlich $15 \cdot 60$ Seemeilen. Diese Meßmethode kann zwischen beliebigen zwei Punkten auf der Erdoberfläche angewendet werden (die kürzeste Distanz zwischen zwei Punkten auf der Erdoberfläche ist immer Teil eines Großkreises), und man sollte sich immer die Austauschbarkeit von Seemeilen und Bogenminute vergegenwärtigen. Aber wohlgemerkt: Das gilt nur für die Kreise, deren Mittelpunkt der Erdmittelpunkt ist, d.h. der Winkel muss immer am Erdmittelpunkt messbar sein. Die Längengerade gehören.....leider... nicht dazu, ihr Winkel wird am Nord/Südpol gemessen und NICHT am Erdmittelpunkt (Abb.1).

Für die Werte der Längen und Breiten gilt:

- Nördliche und östliche Werte sind Positiv
- Südliche und Westliche Werte sind negativ

Für die Abbildungen gilt folgendes:

Strecke Äquator	A-A'
Strecke Horizont	H-H'
Strecke Nord-Südpol	P-P'
Strecke Zenith des Beobachters	Z-Z'

Und die Fixpunkte auf den Bögen:

M	Erdmittelpunkt
G	jeder Punkt auf dem „Nullmeridian“ = Greenwich-Meridian
X	Geografischer Bildpunkt (BP)des Gestirns
Z	Standort des Beobachters

Z'

Zenit des Beobachters

Daraus folgt:

PX und PZ sind Teile der Meridiane des Gestirns und des Beobachters, PG ist Teil des Greenwichmeridian. Sie werden in Geraden und Minuten gerechnet und in der Bezeichnung hier weiter verwendet.

Um O und O(st) nicht zu verwechseln wird für Ost immer E als Buchstabe verwendet.

Als Abkürzungen gelten:

BP = Bildpunkt

GHA = Greenwich hour angle (Greenwich-Stundenwinkel)

h = Stunde

H_o = beobachtete Höhe (height observed)

H_c = berechnete Höhe (height computed)

H_s = Sextanthöhe (height sextant)

IF = Indexfehler des Sextanten

KR = Koppelrechnung

LHA = Local hour angle (Otsstundenwinkel)

LONG = Länge (in Deutschen Veröffentlichungen oft λ)

LAT = Breite (in Deutschen Veröffentlichungen oft φ)

ND = Nautische Dämmerung

r = Halbmesser (halber scheinbarer Durchmesser des Gestirns)

SHA = Siderial hour angle (Sternwinkel)

Gestirne

Wir navigieren unter Zuhilfenahme der Sonne, des Mondes, der Planeten und der Fixsterne und stellen uns vor, dass die Erde der Mittelpunkt des Universums sei und alle Gestirne langsam um uns kreisen, wobei die Fixsterne ihre relative Lage zur Erde beibehalten während Sonne, Mond und Planeten ihre Stellung zueinander und zu den Fixsternen verändern. Diese Vorstellung fällt uns leicht, wenn wir beobachten, wie die Gestirne auf- und untergehen, und diese Betrachtungsweise hilft uns auch bei der praktischen Navigation.

Dabei sind die Gestirne so weit von der Erde entfernt, dass ihre Strahlen sie in parallelen Linien treffen und zwar als Strahlenbündel und nicht als Strahlenkegel (siehe auch Abb. 9).

Da die Gestirne sich doch klar am Himmel bewegen, scheint es wichtig zu sein, die Zeit der Beobachtung zu kennen.

Sie ist sogar immens wichtig, sogar auf die Sekunde genau, damit muss man an Bord eine genau gehende Uhr haben, die entweder über das Radio kontrolliert wird oder man erhält die Zeit durch das GPS-Gerät.

Warum die Zeit so wichtig ist, wird weiter unten erklärt.

Abbildung 1 soll hier als Basis für alle weiteren Betrachtungen dienen, es zeigt bildlich den eigentlichen Ablauf einer astronomischen Standortermittlung. Die einzelnen Schritte werden getrennt erklärt.

Sie zeigt, wie die beiden (idealen) Kugeln, nämlich Himmel und Erde in der Vorstellung der Astronavigation zusammenhängen. Man muss sich schon darüber klar sein, dass die Wirklichkeit spätestens seit Kopernikus anders ist, aber auf der Erde kann man mit dieser Vorstellung doch eine Position bestimmen.

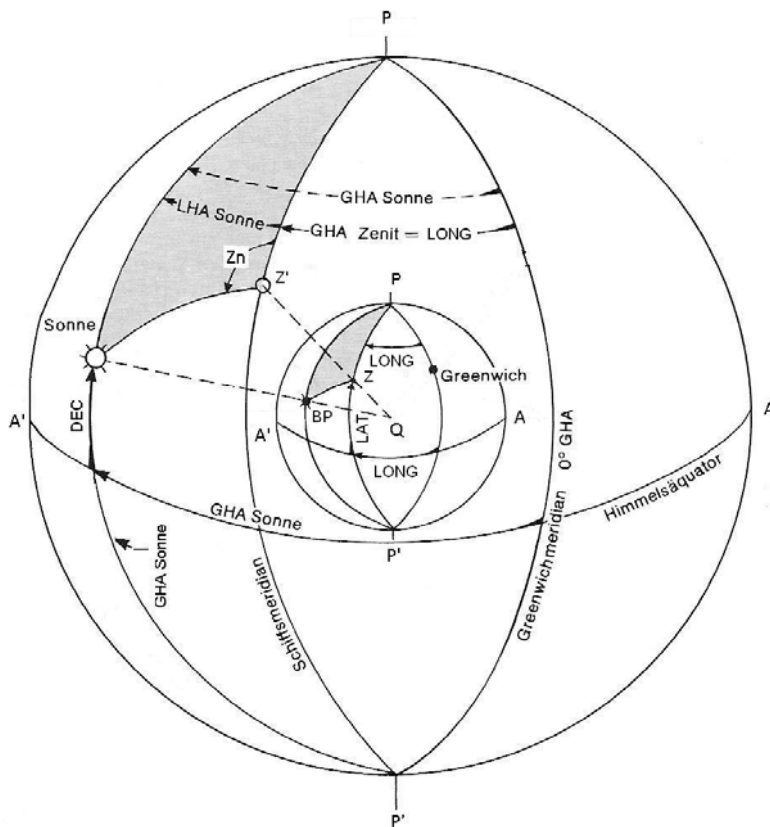


Abb 1

Zeit (aus Wikipedia)

Die Zeitdefinition hängt in ihrer Geschichte unzertrennlich mit der Seefahrt zusammen.

Zum Zwecke der astronomischen Navigation auf See wurde von Nevil Maskelyne im Jahre 1677 erstmals der *Nautical Almanac* veröffentlicht, dessen astronomische Tabellen für die Ortszeit des Observatoriums Greenwich ausgelegt waren. Navigatoren, die ihre astronomischen Beobachtungen mit Hilfe dieses Jahrbuches auswerteten, erhielten automatisch eine auf den Meridian von Greenwich bezogene Position

Im Mittel überquert die Sonne um 12:00 GMT den Mittagskreis (Meridiandurchgang) von Greenwich und hat dabei annähernd ihren höchsten Stand am Himmel. Wegen der ungleichmäßigen Geschwindigkeit der Erde auf ihrer elliptischen Umlaufbahn und der Neigung der Erdachse weicht der tatsächliche Mittagsdurchgang um bis zu 16 Minuten davon ab (die Zeitgleichung –equation of time– wird im Nautical Almanach angegeben), was sich jedoch über das Jahr ausgleicht. GMT folgt also einer gedachten *mittleren Sonne*, die sich mit konstanter Geschwindigkeit im Laufe eines Jahres entlang des Äquators (statt wie in Wirklichkeit entlang der Ekliptik) bewegt, sie wurde schon 1880 in England als gesetzliche Standardzeit eingeführt.

Zur weltweiten Koordination der Zeitmessung wurde das Bureau International de l'Heure (BIH) in Paris gegründet, das 1920 von der neu gegründeten *International Astronomical Union* (IAU) übernommen wurde. Bald darauf änderte die IAU die Definition von GMT. Bisher war es bei den hauptsächlich des nachts arbeitenden Astronomen üblich gewesen, den Tag mittags beginnen zu lassen, um nicht ständig um Mitternacht das Datum wechseln zu müssen („astronomischer Tag“). Entsprechend war GMT ursprünglich „die mittlere Sonnenzeit auf dem Meridian von Greenwich, gerechnet ab dem mittleren Mittag“. Die IAU führte mit dem 1. Januar 1925 eine neue Zeitskala ein, deren Tage bürgerlichem Brauch folgend um Mitternacht begannen und nannte die neue Skala wieder GMT, während die bisherige Skala in *Greenwich Mean Astronomical Time* (GMAT)

umbenannt wurde. Die daraus folgende Verwirrung bewog die IAU, im Jahre 1928 die neue GMT in *Universal Time* (UT) umzubenennen. UT war damit (und ist im Wesentlichen bis heute) die mittlere Sonnenzeit auf dem Meridian von Greenwich, gerechnet ab Mitternacht.

Da UT von der Erdrotation abgeleitet wird, welche aber kurzfristigen Fluktuationen und einer langfristigen Verlangsamung unterliegt, ist sie keine streng gleichmäßig verlaufende Zeitskala und für viele wissenschaftliche und manche technische Zwecke nicht brauchbar. Daher wurde 1952 zunächst die von den gleichmäßigeren Planetenbewegungen abgeleitete *Ephemeridenzeit* (ET) eingeführt, welche am 1. Januar 1972 wiederum von der *Koordinierten Weltzeit* (UTC) abgelöst wurde. UTC beruht auf der strikt gleichmäßigen von Atomuhren erzeugten SI-Sekunde; Schaltsekunden sorgen gegebenenfalls dafür, dass UTC nicht mehr als 0,9 s von der unregelmäßigen UT abweicht.

Die **koordinierte Weltzeit (UTC, Universal Time Coordinated)** ist die aktuelle Weltzeit. Sie hat in dieser Funktion die Mittlere Greenwichzeit (*Greenwich Mean Time* – GMT) abgelöst. Sie ist eine Kombination aus der internationalen Atomzeit TAI und der Universalzeit UT.

Im militärischen Bereich und in der Luftfahrt wird gelegentlich auch das Kürzel Z (Sprechfunk: „Zulu“) verwendet, z. B. „1320z“. Z steht für *zero meridian*, also Nullmeridian.

Die UTC wird auch **Bürgerliche Zeit** genannt.

UTC ist die Referenzzeit für Zeitangaben:

- in der Luftfahrt und Seefahrt
- für den wissenschaftlichen Gebrauch, soweit er nicht unmittelbar an der Zeitmessung beteiligt ist oder speziellere Ansprüche stellt
- teilweise für internationale Projekte, die sich über mehrere Zeitzonen erstrecken
- im Amateurfunk
- auf der Internationalen Raumstation (ISS)
- in der Antarktis
- auf vielen internationalen Internet-Portalen
- in E-Mails.

Hier wird daher für die Zeitangaben die UTC benutzt, da sie auch an Bord zu jeder Zeit über Radio oder GPS zur Verfügung steht.

Im Bordgebrauch am Navitisch hat man eigentlich immer EINE Uhr auf die UTC-Zeit eingestellt.

Bildpunkt des Gestirns (X)

In jedem Augenblick während des Tages oder der Nacht gibt es einen Punkt auf der Erdoberfläche, der senkrecht unter der Sonne liegt. Das ist der Bildpunkt X der Sonne, und er liegt dort, wo die vom Erdmittelpunkt zur Sonne gezogene Gerade die Erdoberfläche schneidet.

Nicht nur die Sonne, sondern alle anderen Gestirne haben ihren BP, dessen Lage zu jedem beliebigen Zeitpunkt dem Almanach oder Nautischen Jahrbuch oder einem Softwareprogramm entnommen werden kann. Der BP wird bestimmt durch die Deklination (**DEC**) und den Stundenwinkel (**GHA**).

Übrigens: Was in diesem Beispiel und auch nachfolgend für die Sonne gesagt wird, gilt logischerweise für ALLE zu betrachtenden Gestirne. Bei den Sternen gibt es im Almanach eine Besonderheit zur Vereinfachung. Da alle Sterne ihre Position am Himmel zueinander nicht verändern, nennt man sie Fixsterne—im Gegensatz zu den Planeten--, daher hat man am Himmel eine Art „Nullpunkt“ eingeführt, den Widderpunkt oder Aries und auf diesen Nullpunkt alle Sterne mit ihrem GHA und DEC bezogen. Das hat den Vorteil, dass man im Almanach nur eine Jahres-Rubrik für GHA und DEC von Aries listen braucht und alle anderen Fixsterne mit konstanten Werten für GHA und DEC zu den Tageswerten von Aries hinzurechnet.

Deklination (DEC)

Die Deklination eines Gestirns ist der Breitengrad (kurz „Breite“) seines BP. Sie wird in (Breiten-)Graden nördlich bzw. südlich des Äquators gemessen.

Die Deklination der Sonne schwankt zwischen **23°** Nord in der Mitte des Sommers, wenn sie den Wendekreis des Krebses erreicht, und **23°** Süd in der Mitte des Winters am Wendekreis des Steinbocks. Im Frühling und Herbst, während der Tag- und Nachtgleiche (wenn die Sonne den Äquator überquert), ist ihre Deklination 0°. Die Deklination der Sonne ändert sich im Verlauf des Jahres alle vier Tage durchschnittlich um ein 1 Grad. Allerdings schwankt das Tempo der Änderung ziemlich: Am 9. Juni 2008 um 17:00 ist die Deklination der Sonne 23°00.1'N und der Bildpunkt der Sonne bleibt bis um 07:30 am 2. Juli, an dem er wieder 23°00.1'N liegt, nur ganz wenig nördlicher. (Ein Zeitraum von über drei Wochen, durch den wir unsere langen Sommerabende haben.)

Andererseits ändert sich die Deklination alle zweieinhalb Tage während der Tag- und Nachtgleichen um ein Grad.

Die Deklination des Mondes schwankt zwischen 28°30'N und 28°30'S. Sie ändert sich verhältnismäßig schnell; manchmal bis zu sechs oder sieben Grad in 24 Stunden.

Die Deklination der Planeten ändert sich langsam und die Änderungen sind bei allen von 29° N und 29°Süd begrenzt.

Die Deklination der Fixsterne ist im wesentlichen konstant und ändert sich im Jahr nur weniger als ein Winkelminute.

Stundenwinkel (GHA)

Der BP eines Gestirns liegt nicht nur auf einem Breitenparallel, sondern auch auf einem (Längen-)Meridian. Dieser Meridian wird mit Hilfe des Stundenwinkels bestimmt. Er unterscheidet sich jedoch von dem Begriff „Länge“ durch einige Merkmale. Betrachten wir dazu die Sonne. Wenn man zu Mittag auf dem Greenwich-Meridian in England steht und die Sonne genau im Süden ist, dann ist ihr Stundenwinkel 0°. Zwei Stunden nach Mittag ist ihr Stundenwinkel gleich 2 h. Später geht die Sonne unter, kreist um die andere Seite der Erde, geht wieder auf und ihr Stundenwinkel wächst, bis er um 11.00 Uhr 23 h beträgt. Zu Mittag hat die Sonne den Kreis geschlossen; ihr Stundenwinkel beträgt 24 h, und er fängt wieder mit 0 h an, sobald die Sonne den Greenwich-Meridian kreuzt. Wenn der Stundenwinkel vom Greenwich-Meridian aus gemessen wird, nennt man ihn Greenwich-Stundenwinkel (Greenwich Hour Angle, **GHA**) Er wird immer in westlicher Richtung gemessen und wird als Winkel in Graden, Winkelminuten und -Sekunden angegeben (Einmal um die Erde sind also 24 Stunden oder 360 Grad.)

Man könnte an Hand einer genauen Uhr feststellen, welchen Weg die Sonne um die Erde bisher zurückgelegt hat und daraus den Stundenwinkel bestimmen. Das geht aber nicht, denn die Sonne hält eine gleichmäßig („mittlere“) Zeit nicht ein und ist manchmal der GMT um 16 Minuten voraus oder hinterher (siehe **ZEIT**, „equation of time“). Deshalb muss der GHA der Sonne dem Nautische Jahrbuch/ Almanach oder einem Programm entnommen werden, wo er für jede Stunde eines jeden Tages tabelliert ist. Unter Zuhilfenahme von Schalttafeln wird dann bis auf die Minuten und Sekunden genau interpoliert.

Zur Erinnerung: in 24 Stunden läuft die Sonne einmal um die Erde $360^\circ = 24\text{h}$; $15^\circ = 1\text{h}$; $1^\circ = 4\text{min}$; $1'$ (Bogenminute) = 4 (Zeit)Sekunden

In Abb. 2 schauen wir von oben auf den Nordpol. Der GHA der Sonne wird in westlicher Richtung vom Greenwich-Meridian gemessen, wie der Pfeil anzeigt. Es ist Greenwich Vormittag, weil die Sonne sich von Osten dem Greenwich-Meridian nähert. Der GHA ist etwa 21 h oder 315° . ($360^\circ = 24\text{Stunden}$; daher $15'' = 1\text{h}$.)

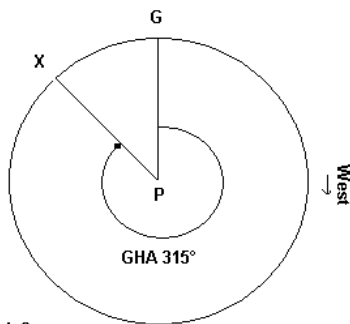


Abb.2

(LHA)

Der Stundenwinkel kann von jedem beliebigen Meridian gemessen werden. Wenn er von dem Meridian gemessen wird, auf dem man sich als Beobachter gerade befindet, wird er Orts-Stunden Winkel (Local Hour Angle, LHA) genannt. Auch LHA wird in westlicher Richtung gemessen. Ist man westlich von Greenwich, ist der LHA kleiner als der GHA, weil die Sonne Greenwich schon passiert hat, ist man östlich von Greenwich, ist der LHA größer als der GHA, weil die Sonne den Meridian vor dem Greenwich-Meridian gekreuzt hat. Der GHA wird dem Almanach entnommen und den LHA erhält man durch Addition oder Subtraktion der Länge des Standortes zum oder vom GHA. (Hier angelangt magst du die berechnete Frage stellen, wie denn du deine Länge addieren oder subtrahieren kannst, wo sie doch gerade das ist, was du herauszufinden versuchst. Die Frage ist berechnungsberechtigt; für einen Augenblick nimm aber an — oder stelle dir vor—, daß du die Länge kennst. Du wirst noch sehen, warum du auf diese Annahme eingehen kannst.)

Es gibt vier Fälle als Beispiel:

1. Man befindet sich vor Guantanamo/Kuba auf 75° West um 15:00 Ortszeit, also drei Stunden nach Ortsmittag, also ist der LHA 3 Std = 45°. (Abb.3) Der GHA ist viel größer, da die Sonne ja schon lange Greenwich passiert hat und zwar 75° (Länge des Standortes Z) plus 45° (3 h nach Mittag) = 8 h (120°).

Regel 1: Für westliche Längen gilt : $GHA - Long(Z) = LHA$ oder $GHA = LHA + Long(Z)$
 $GHA = 45° + 75° = 120°$

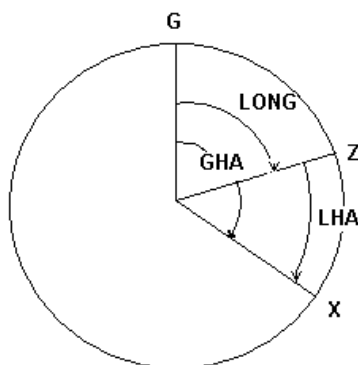


Abb. 3

2. Man ist vor der tunesischen Küste östlich von Tripoli auf 15° E um 10:00. Ortszeit. Der LHA ist 22h oder 330° (2 Stunden vor Ortsmittag), der GHA ist aber kleiner, die Sonne braucht ja noch 2 h bis zum Ortsmittag plus den Weg bis Greenwich, also ist der GHA 21h oder 315°. (Abb.4)

Regel 2: Für Östliche Längen gilt: $GHA + LONG(Z) = LHA$ $315^\circ + 15^\circ = 330^\circ$

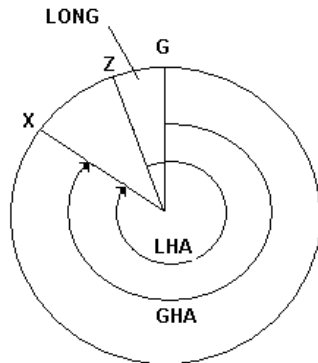


Abb. 4

3. Man ist im Atlantik vor Guiana und die Sonne hat den Greenwich-Meridian schon passiert, so daß der GHA 2 h 30 min oder 37°30' beträgt, aber auf der LONG 52°30'(Z) ist es erst 11:00 Ortszeit und der LHA ist 23h oder 345°. (Abb.5)

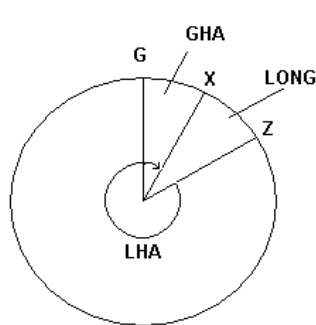


Abb.5

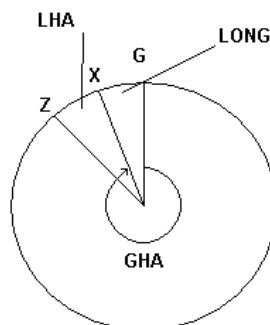


Abb.6

Es gilt Regel 1 Also $LHA = 37^\circ 30' - 52^\circ 30' + 360^\circ = 345^\circ$

4. Man ist vor der Küste vom Libanon (LONG(Z) 35°E), der LHA ist klein, der GHA jedoch gross z.B. 22h 34' oder 338° 30'

Es gilt Regel 2: $338^\circ 30' + 35^\circ = 373^\circ 30' - 360^\circ = 13^\circ 30'$

Diese Zeichnungen gelten nicht nur für die Sonne, sondern auch für *t* Gestirne, aber es ist klar, daß nur die Sonne den Greenwich-Meridian Mittag überquert. Nautisches Jahrbuch und Nautical Almanac geben die täglichen Zeiten (GMT) an, zu denen Mond und Planeten den Greenwich Meridian überschreiten. Sie geben auch den Zeitpunkt der Meridianüberquerung (Transit) des „Aries“ (Frühlingspunktes) an, von dem ausgehen die Meridianüberquerungen der Fixsterne berechnet werden (s. Seite 59). Das genaue Verständnis aller Überlegungen im Zusammenhang mit dem Stundenwinkel ist unbedingt nötig und es scheint mir hier angebracht, noch einmal zusammenzufassen, was ich bisher erklärt habe. Der Stundenwinkel unterscheidet sich von der Länge in dreifacher Hinsicht:

1. Er kann (selten zwar) in Zeit oder in Winkelgraden gemessen werden" und Umrechnungstabellen sind in vielen nautischen Jahrbüchern und in den meisten nautischen Tafeln enthalten.
2. Er wird nur in westlicher Richtung gemessen.
3. Er erscheint als:

- a) GHA — gemessen vom Greenwich-Meridian,
- b) LHA— gemessen vom Meridian des Beobachters, c) „Sidereal Hour Angle" (SHA = Sternwinkel).

Dieser wird später

auf Seite 59 behandelt.

Der GHA jedes Gestirns kann dem nautischen Jahrbuch für jeden beliebigen Tag und Augenblick des Jahres entnommen werden, und der LHA wird durch Addition oder Subtraktion des Längengrades des Beobachters zum oder vom GHA erhalten.

Wir wollen uns noch einmal für einen Augenblick dem BP, dem Bildpunkt, zuwenden: Es sollte jetzt eindeutig klar geworden sein, daß der BP jedes Gestirns bestimmt wird durch seine Deklination und seinen GHA, und daß also für jeden beliebigen Augenblick dieser BP eines Gestirns in eine Seekarte eingezeichnet werden kann, obwohl dies in der Praxis fast niemals notwendig sein wird.

Zenit

Wenn eine Gerade vom Erdmittelpunkt durch den Beobachterstandort und hinaus in den Weltraum gezogen würde, so würde sie zu seinem Zenit führen. Mit anderen Worten ist das jener Punkt im Weltraum, der sich genau über seinem Kopf befindet. Wenn man z. B. auf dem BP der Sonne stände, würde die Sonne in seinem Zenit stehen.

Horizont

Wenn man auf der Erde steht, kann man nur verhältnismäßig wenig von der Erdoberfläche sehen, da sie sich ja nach allen Richtungen von uns weg wölbt. Der Horizont ist eine Ebene in Seehöhe, die tangential die Erdoberfläche im Standort des Beobachters berührt. Diese Ebene bildet mit der Richtung des Zenits des Beobachters einen rechten Winkel. In Abb. 7 ist HH' die Tangente zur Erdoberfläche in Z und Z'ZH und Z'ZH' sind rechte Winkel.

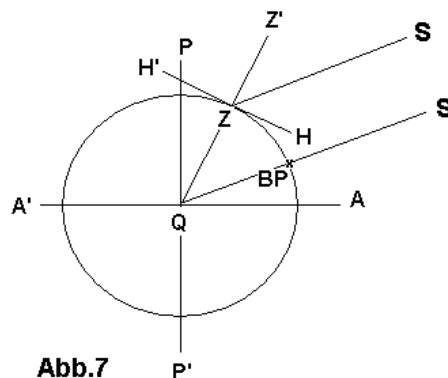


Abb.7

Höhe

Die Höhe ist der Winkel, der vom Standort des Beobachters zwischen der Sonne (oder einem anderem Gestirn) und dem Horizont unterhalb des jeweiligen Gestirns gemessen wird.

In Abb.7 ist der Winkel HZS die Sonnenhöhe. Es ist der Winkel, den man vom Sextant abliest, wenn man eine Höhe gemessen hat. Diese Ablesung muss allerdings in der Praxis noch korrigiert („beschickt“, wie der Seemann sagt) werden. (Siehe „Sextant und Gestirnmessung“ <http://www.die-faehre.de/Navigation.html>)

Zenitabstand/Zenitdistanz

Die Zenitdistanz (ZD) ist der Komplementärwinkel der Höhe. In Abb. 7 ist es der Winkel Z'ZS. Höhe plus Zenitdistanz ergeben immer 90° .

$$ZD = 90^\circ - Ho$$

Der obere Pol

Jener Pol, dem der Beobachter näher ist, wird „oberer Pol“ genannt. Das ist auf der nördlichen Halbkugel der Nordpol, und auf der südlichen Halbkugel der Südpol.

Azimut und Azimutwinkel

Das Azimut ist die Himmelsrichtung, quasi Peilung (rechtweisend, nicht missweisend vom Beobachter aus gesehen) jedes Gestirns. Diese Richtung wird je nach der Messmethode Azimutwinkel (Z) oder Azimut (Zn) genannt. Azimutwinkel werden in östlicher oder westlicher Richtung von Norden oder Süden gemessen; das hängt vom „oberen Pol“ ab: auf der nördlichen Halbkugel von Nord, auf der südlichen Halbkugel von Süd über Ost oder West bis 180° . Abb. 8 zeigt eine Reihe von Azimutwinkeln auf der N-Halbkugel.

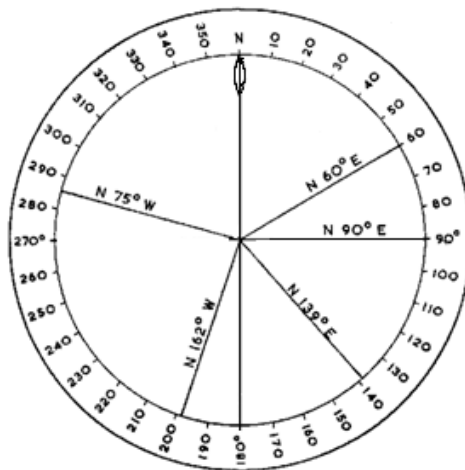


Abb.8

Das Azimut (Zn) zählt wie die Kompassrose im Uhrzeigersinn von N bis $360^\circ = N$. Wenn man eine Höhenmessung vornimmt, wird das Azimut aus den Tafeln entnommen, in denen nur eine Zahl zu finden ist; ob diese nun N $145^\circ E$ oder N $145^\circ W$ ist, muss herausgefunden werden. Um den Azimutwinkel (Z) in das Azimut (Zn) zu verwandeln, gilt in nördlichen Breiten folgende Regel:
LHA ist größer als 180° $Z = Zn$
LHA ist kleiner als 180° $360 - Z = Zn$

Standlinie

Das Ergebnis jeder Höhenmessung an irgendeinem Gestirn ist eine gerade Linie auf der Seekarte, und dein Standort ist irgendwo auf dieser Geraden. Wenn die Sonne im eigenen Zenit steht und ihre Höhe 90° ist, gibt es nur einen Punkt auf der Erdoberfläche wo man sein kann: auf dem BP der Sonne. Wenn man sich von dem BP entfernt, wird sich die Höhe verringern, gleichgültig ob man sich nach Norden, Süden, Osten oder Westen bewegt. So weit man sich auch fortbewegt, ist man auf

einem „Standkreis“ , der seinen Mittelpunkt im BP der Sonne hat — einem Kreis, der durch jene Punkte verläuft, von denen aus eine Höhenmessung das gleiche Ergebnis bringt.

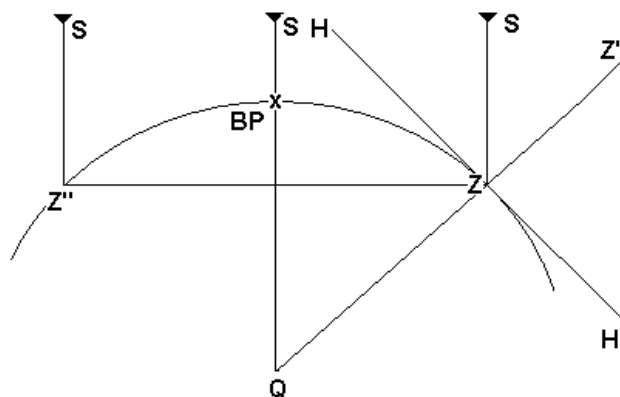


Abb.9

Abb. 9 zeigt, wie die Strahlen der Sonne (oder irgendeines Gestirns) die Erde treffen; der BP ist X, und man sieht, dass die Beobachter Z und Z'' beide das Gestirn in derselben Höhe messen, nur der eine „sieht“ es in einer anderen Peilung als der andere und man kann erkennen, dass die Höhe (Winkel HZS) umso kleiner wird, je weiter sich der Beobachter von X entfernt . Die Höhe verringert sich, bis die Sonne hinter dem Horizont verschwindet: Höhe 0°, Zenitdistanz 90°.

Abb. 10 zeigt einen Standkreis und ein Azimut vom Beobachter zum BP (x); die Sonne steht im SE des Beobachters, der sich also auf dem nordwestlichen Teil des Standkreises befindet. Es ist aber nicht

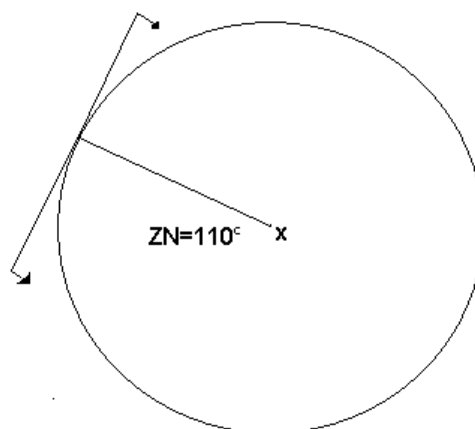
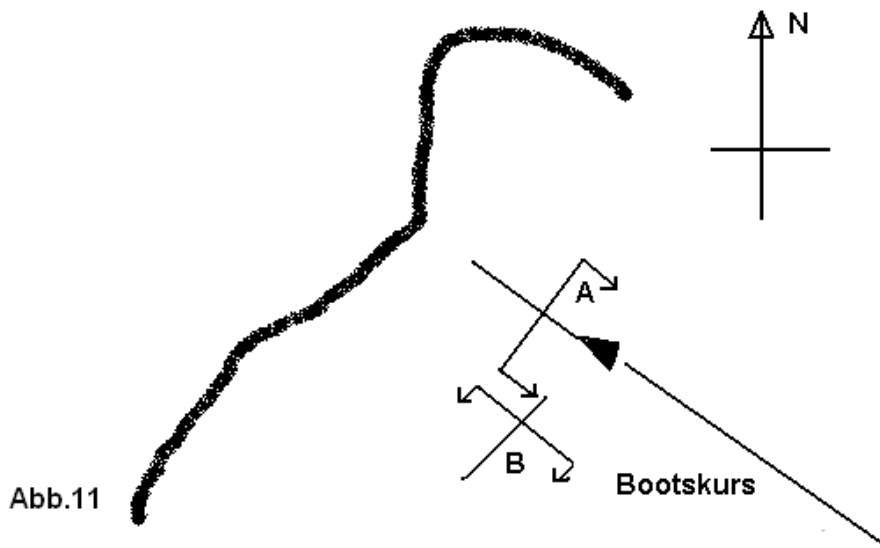


Abb.10

möglich, das Azimut der Sonne präzise zu peilen, um den genauen Standpunkt auf die dem Kreis zu erhalten. Man kann nur eine Gerade im rechten Winkel zum genauesten Azimut zu zeichnen, das man erhalten kann und sich zu sagen: „Ich bin irgendwo auf dieser Linie“. Eine Gerade kann deshalb an Stelle eines Kreisbogens gezeichnet werden, weil die Entfernung vom Mittelpunkt des Kreises sehr groß ist.

Um eine Vorstellung von der Größe dieser Standkreise zu bekommen: Man ist Mitte März bei den Azoren und die Sonne steht in 50° Höhe, d.h. ihr BP liegt ungefähr bei den Kapverden, dann wird diese Höhe etwa noch an folgenden Orten gemessen: Guinea, Brasilien (Fortaleza), Algerien (Tindouf) und 450 SM östlich von St. Lucia.

Abb.10 zeigt, dass die Standlinie einen rechten Winkel mit dem Azimut bildet und das hat eine Bedeutung nicht nur für Standortbestimmungen selbst, sondern auch für die Entscheidung darüber, wann die beste Zeit für Beobachtungen ist.



Man nähert sich einer fremden Küste aus SO (Abb. 11) und ist sich seiner Position nicht sicher. Eine Sonnenhöhe am Vormittag, wenn die Sonne im SE steht, bringt dir die Standlinie A, die die Entfernung von der Küste feststellt. Eine Höhe am Nachmittag ergibt die Standlinie B die zeigt, auf welchen Punkt der Küste man zusteuert.

Wie lautet noch einmal die Aufgabe?

Wir haben jetzt alle Rohstoffe zusammen, um zu der eigentlichen Aufgabe zu kommen, nämlich unsere Position mit Hilfe von Astronavigation zu bestimmen. Astronavigation ist angewandte sphärische Geometrie der einfachen Sorte, es geht darum, ein sphärisches Dreieck zu errechnen bzw. die geometrischen Gesetze zu Errechnung anzuwenden. Dabei geht es IMMER darum, mit zwei bekannten Seiten und dem eingeschlossenen Winkel den Rest eines Dreiecks zu errechnen (Abb.1).

Die erste Seite: Den BP (Bildpunkt) des Gestirns (siehe Bildpunkt des Gestirns) erhalten wir aus einem Almanach, dort sind Sonne, Mond, Planeten und Sterne (dazu die Besonderheit.....Siehe stars) aufgelistet, nach Datum und Zeit, mit DEC bzw. Poldistanz = $(90^\circ - \text{DEC})$ haben wir die Seite und den GHA brauchen wir auch als einen Ausgangswert für den besagten „eingeschlossenen Winkel“

Die zweite Seite: Die Position des Beobachters mit LONG und LAT ergibt die zweite Seite, nämlich das Breitenkomplement $(90^\circ - \text{LAT})$ und unsere Länge (LONG) gibt den zweiten Ausgangswert für den „eingeschlossenen Winkel“

Der eingeschlossene Winkel: errechnet sich aus der Länge (LONG) und dem GHA (siehe Stundenwinkel)

Damit haben wir die Seiten und den Winkel und mit der Formel.....(nicht erschrecken.....das kann jeder preiswerte Taschenrechner heute:)

Höhe:

$$\sin H_c = \sin \text{LAT} * \sin \text{DEC} + \cos \text{DEC} * \cos \text{LHA}$$

Und Azimut

$$\cos Z = (\sin \text{DEC} - \sin H_c * \sin \text{LAT}) / \cos H_c * \cos \text{LAT}$$

lassen sich die fehlenden Stücke des Dreiecks, nämlich Zenitdistanz = Distanz Beobachter (Z) und BP (x) und Peilung = Azimut berechnen.

Diese Formel ist Grundlage für

- eigene Berechnung mit dem Taschenrechner, dazu braucht man dann noch ein nautisches Jahrbuch oder auch Ephemeridentafel genannt, aus dem man für das Jahr aufgelistet die Bildpunktkoordinaten der Gestirne (GHA und DEC) entnimmt
- Ein Softwareprogramm, das einem die Rechenarbeit abnimmt und auch das Jahrbuch ersetzt, dann braucht man nur noch die gemessene Sextanthöhe zu beschicken
- Die Benutzung der H.O. 249 Tafeln, das sind errechnete Tabellen, die für immer gelten (zumindest Vol II und Vol III, Vol I gilt jeweils für fünf Jahre). Sie werden in einem gesonderten Artikel „Wie funktioniert H.O.249“ behandelt. Die Tafeln selber kann man jederzeit von der Homepage <http://www.nga.mil/portal/site/maritime/> unter "Publications" / "Sight reduction tables"

Super...aber jetzt kommt es erst.... Spätestens jetzt muss jeder sich die Frage stellen: Wie soll das denn gehen, meine Position will ich doch erst wissen und dann tue ich so, als ob ich meine Position (LAT/LONG) schon kenne.

???????????

Da kommt der Trick und der ist von einem französischen Nautiker Marcq Blond de St. Hilaire erst vor ca. 150 Jahren formuliert worden.

Wir führen ein Logbuch (vor 150 Jahren per Hand und ich hoffe doch, dass heutige Skipper das immer noch tun) und darin wird unsere Position (damals) durch Koppelnavigation festgehalten. Diese Position nehmen wir als wahr an und:-- da, wo wir sind, können wir das Gestirn nur unter EINER Höhe beobachten und da die Zenitdistanz = 90° - Höhe ist, müsste unsere beobachtete Höhe H_o und die gerechnete H_c gleich groß sein.

Das ist nun der Trick von St. Hilaire und sein Rechenverfahren nennt man „Höhengleiche“.

Da die beobachtete Höhe wahrscheinlich nicht gleich der berechneten ist, müssen wir uns an einem andern als dem angenommenen Standort befinden und zwar:

Auf einer um die Differenz zwischen H_o und H_c ($H_o - H_c$) in Richtung des Azimuts verschobenen Standlinie. Das ist zwar noch kein Punkt, denn den gibt es erst, wenn sich zwei Standlinien schneiden, aber immerhin.....spinnen wir mal weiter....wenn ich jetzt zur gleichen Zeit noch eine Standlinie hätte, dann müsste ich mich im Schnittpunkt der beiden Linien befinden.

Bevor wir da weiterspinnen, sollten wir erst einmal die wesentlich einfachere Lösung einer „Mittagsbreite“ angehen.

Meridiandurchgang-Mittagsbreite

Es gibt zwei gute Gründe, den Augenblick, in dem ein Gestirn den Meridian des Beobachters nördlich oder südlich von ihm überquert, für eine Höhenmessung auszunützen.

Erstens ist keine Zeichnung (Plotting) erforderlich, denn die Standlinie verläuft, rechtwinklig zum Azimut eines Gestirns, so dass die Standlinie von Ost nach West verläuft, wenn das Gestirn den Meridian überquert und sich genau nördlich oder südlich vom Beobachter befindet. Eine von Ost nach West verlaufende Standlinie ist ein Breitenparallel.

Zweitens ist die genaue Zeit nicht erforderlich, weil der Meridiandurchgang stattfindet, wenn das Gestirn seinen höchsten Punkt erreicht (das nennt man kulminieren)und sich während einer Zeitspanne von ca. 15 Minuten diese Höhe nicht stark ändert.

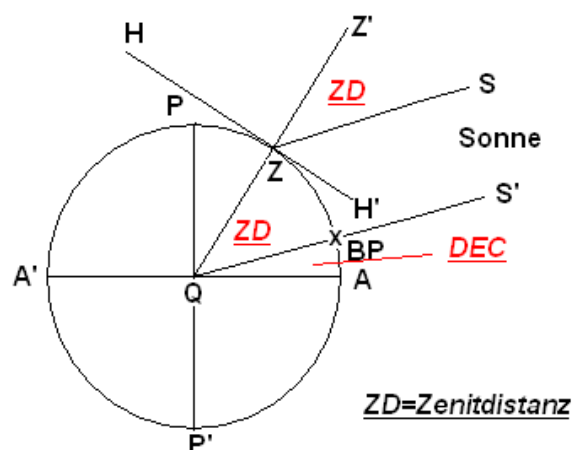


Abb.12

Für derartige Beobachtungen wird gewöhnlich die Sonne benutzt, als „Mittagshöhe“, und Polaris, der Polarstern, dessen Azimut auf jedem beliebigen Meridian Nord ist. (Abb.12)

Es gibt vier Fälle, die sich alle im Prinzip ähnlich sind.

1. Auf dem Meridian PZxP' (Abb.12) liegen die Punkte x (BP) und Z (Beobachterstandpunkt) Die Strahlen der Sonne (siehe auch „Gestirne“ und Abb.9) treffen parallel auf die Erde, damit sind SZ und S'xQ parallele Geraden, die die Gerade Z'ZQ unter gleichgrossen Winkeln schneiden. Nun ist der Winkel Z'ZS der Zenitabstand (ZD) und der Winkel ZQx auch. Die Summe der beiden Winkel ZQx und xQA (DEC) ergeben die Breite unseres Standortes Z.

$$LAT = ZD + DEC$$

$$\text{und da } ZD = 90^\circ - Ho \text{ ist}$$

$$LAT = 90^\circ - Ho + DEC \quad \text{also haben wir damit unsere „Mittags“-Breite.}$$

2. In Abb.12 ist die DEC nördlich des Äquators und damit als Wert positiv. Im Winter auf der Nordhalbkugel steht die Sonne südlich des Äquators, ihre DEC ist also negativ.

$$LAT = ZD + (-DEC) \quad ; \quad LAT = ZD - DEC$$

Wenn die Deklination und die Breite beide N oder beide S sind, werden sie als gleichnamig („same name“ in den H.O. 249-Tafeln) bezeichnet, liegt einer der beiden Werte nördlich und der andere südlich ist, nennt man dies ungleichnamig („contrary name“). Wir können daher

sagen: In den Fällen 1 und 2, In denen der Beobachterstandort zwischen dem beobachteten Himmelskörper und dem oberen Pol liegt, gilt:

$$\text{LAT} = \text{ZD} + (\text{gleichnamige}) - (\text{ungleichnamige}) \text{ DEC}$$

3. liegt der BP des beobachteten Gestirns zwischen dem Beobachter und dem oberen Pol, dann gilt:

$$\text{LAT} = \text{DEC} - \text{ZD}$$

Wenn man im Sommer auf der Höhe der Kapverden (18° N) die Mittagsbreite nimmt, dann steht die Sonne NÖRDLICH vom Beobachter und ihre DEC ist z.B. 23° N , dann gibt die Rechnung

$$18^\circ = 23^\circ - 5^\circ \text{ (also müssen wir eine Höhe von } 85^\circ \text{ messen).}$$

Höhenmessungen des Polarsterns bilden hierzu einen besonderen Fall. Polaris befindet sich über dem Nordpol (das stimmt nicht ganz genau, es müssen Korrekturen aus den Jahrbüchern angebracht werden) und seine DEC ist 90° . Für einen Beobachter auf der Nördlichen Halbkugel errechnet sich daher leicht

$$\text{LAT} = 90^\circ - \text{ZD} \quad \text{oder} \quad (\text{mit } \text{ZD} = 90^\circ - \text{Ho}) \quad \text{LAT} = \text{Ho}$$

Die Höhe des Polarsterns ist gleich der Breite des Beobachters.

4. Es gibt einen weiteren Fall, der in hohen nördlichen und südlichen Breiten vorkommt, nämlich dass der Beobachter und der BP (Bildpunkt) des beobachteten Gestirns auf entgegengesetzten Seiten des oberen Pols liegen. Dann gilt:

$$\text{LAT} = 180^\circ - (\text{DEC} + \text{ZD})$$

Das nautisch-sphärische Dreieck

Wir haben in Abb.12 gesehen, dass die Zenitdistanz gleich dem Winkel ist, der vom Beobachter und dem BP mit dem Erdmittelpunkt als Scheitel gebildet wird. Dies gilt nicht nur für den Sonderfall der Mittagshöhen oder Polarstern-Beobachtungen, wenn der BP auf dem Meridian des Beobachters liegt, sondern auch für alle anderen Höhenmessungen, in welcher Peilung immer das Gestirn stehen mag. Die Zenitdistanz ist **immer** gleich dem Winkel am Erdmittelpunkt zwischen BP und Beobachter. Wenn wir uns noch einmal Abb.12 ansehen, ist der Winkel ZQx (ZQBP in Abb. 1) immer gleich der Zenitdistanz, auch wenn der Bogen Zx nicht Teil eines Meridians, sondern Teil eines anderen Großkreises ist.

Als anschauliches Beispiel nehmen wir eine schöne runde Holzkugel, in die wir zwei Nägel schlagen, einen kurzen und einen ziemlich langen. Den kurzen nennen wir Pol (P) und den langen BP. Jetzt nehmen wir ein Gummiband und legen es um die beiden Nägel und mit einem spitzen Gegenstand (Dritter Nagel, Schraubenzieher etc.)packen wir das Band und ziehen es irgendwo in eine Position auf der Kugel, dann bildet das Gummiband genau das sphärische Dreieck auf der Kugel ab, dabei ist die Bandseite BP-Spitzen Gegenstand das Abbild der Zenitdistanz ZD und seine Richtung ist die Peilung bzw. das Azimut Zn . Mit ein bisschen Phantasie (Die Kugel ist 30 m dick, der BP Nagel 30 m lang und wir laufen mit dem Gummiband auf der Kugel lang) kann man sich dann auch vorstellen:- je mehr wir das Band strecken und damit von dem BP-Nagel uns entfernen desto kleiner wird der, d.h. seine Höhe nimmt ab. Dann haben wir alles kapiert, die abnehmende Höhe, je weiter wir vom BP des Gestirns entfernt sind und das Azimut, die Richtung des Gummibandes.

Kommen wir zurück zum nautischen Dreieck. Die Zenitdistanz als Winkel kann selbstverständlich in Seemeilen auf der Erdoberfläche übersetzt werden. Eine Höhe von 47° ergibt eine Zenitdistanz von 43° , und da $1'$ (Winkelminute als Bogenminute auf der Erdoberfläche) = 1 sm ist, bedeutet dies, dass der BP vom Beobachter $43 \times 60 = 2580$ sm entfernt ist. Wir wissen nun, dass wir bei einer Höhenmessung (H_o) und zugehöriger Zenitdistanz ($90 - H_o$) auch unsere Entfernung vom BP des betreffenden Himmelskörpers finden können.

Höhendifferenz

Nehmen wir mal ein Beispiel:

Wir haben morgens auf 40°N und 002°E die Sonne mit einer Höhe H_o von 45° geschossen (Berichtigungen sind schon angebracht, d.h. die Höhe ist schon beschickt) Mit den Daten aus dem Almanach und der nachgeschalteten Rechnung, mit Taschenrechner, Programm oder aus Tabellen haben wir eine berechnete Höhe H_c von $45^\circ 05'$ mit einem Azimut von 135° gefunden.

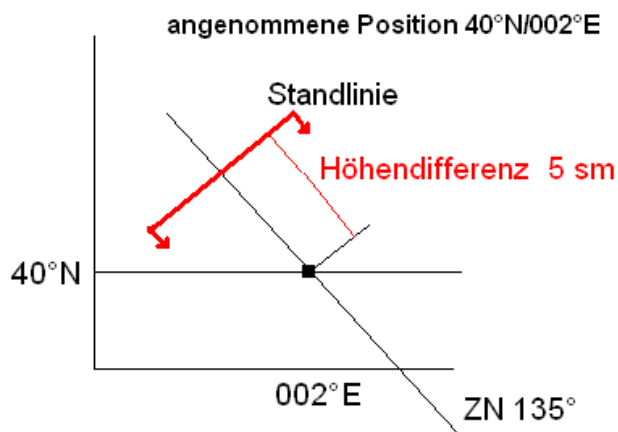
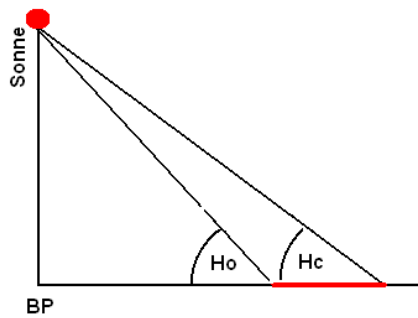


Abb.13

Die Höhendifferenz ist nun gleich $\Delta H = H_o - H_c$, jetzt gibt es drei Fälle

1. $\Delta H = 0$; beobachtete und gerechnete Höhe sind gleich, mein angenommener Standort ist richtig
2. $\Delta H > 0$; beobachtete Höhe ist grösser als berechnete, ich bin näher am Bildpunkt, meine Standlinie ist um ΔH in Richtung Azimut verschoben
3. $\Delta H < 0$; beobachtete Höhe ist kleiner als berechnete, ich bin weiter vom BP entfernt, meine Standlinie ist um ΔH in Richtung $Z_n + 180^\circ$ verschoben



Merksatz: Beobachtete Höhe **höher**, dann **hin**

In unserem Beispiel ist $\Delta H = 45^\circ 00' - 45^\circ 05' = -5' = -5 \text{ sm}$, also ist die Standlinie 5sm weiter vom Bildpunkt weg als angenommen. Der Punkt auf dem Azimutstrahl, durch den die Standlinie gezeichnet wird heißt **Leitpunkt**.

Die Standlinie wird immer mit Pfeilen in Richtung des Bildpunktes BP gezeichnet.

Zusammenfassung

Das ist nun der theoretische Teil, wir haben die Gestirne mit dem Bildpunkt (BP) und seinen Koordinaten GHA und DEC kennengelernt, den Ortsstundenwinkel LHA, die Zenitdistanz und die damit verbundene Höhe des Gestirns und seine Richtung zu unserem Standort und das Azimut. Das sind die Werte, mit denen das nautisch-sphärische Dreieck berechnet wird und mit dem Trick, den eigenen gekoppelten Standort als wahr anzunehmen, mit ihm zu rechnen und dann die Differenz von gerechnetem und beobachteten Wert als Höhendifferenz zu erhalten wissen wir nun dass unser Standort entweder richtig ist, oder verschoben werden muss.

Allerdings haben wir das bisher nur für EINE Standlinie durchgeführt, nun geht es in die Praxis der Standortbestimmung. (Teil II)