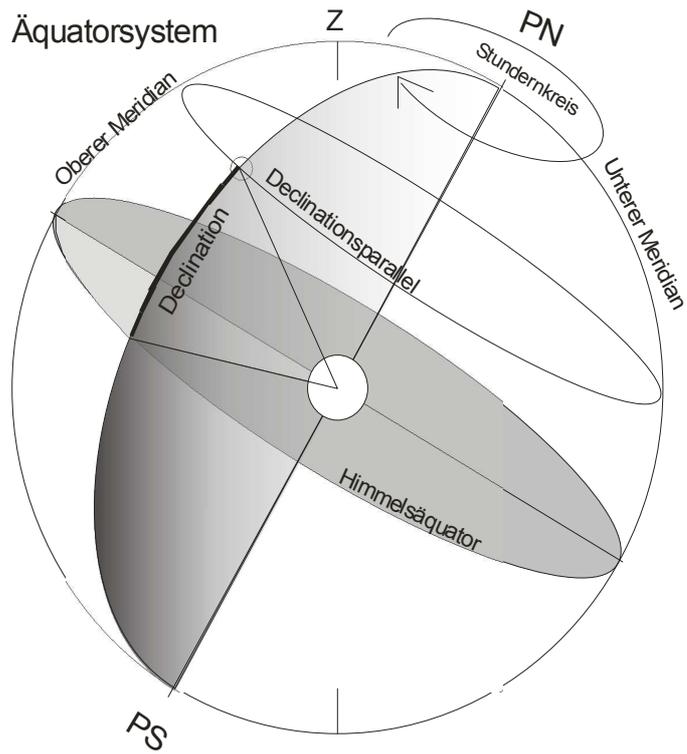
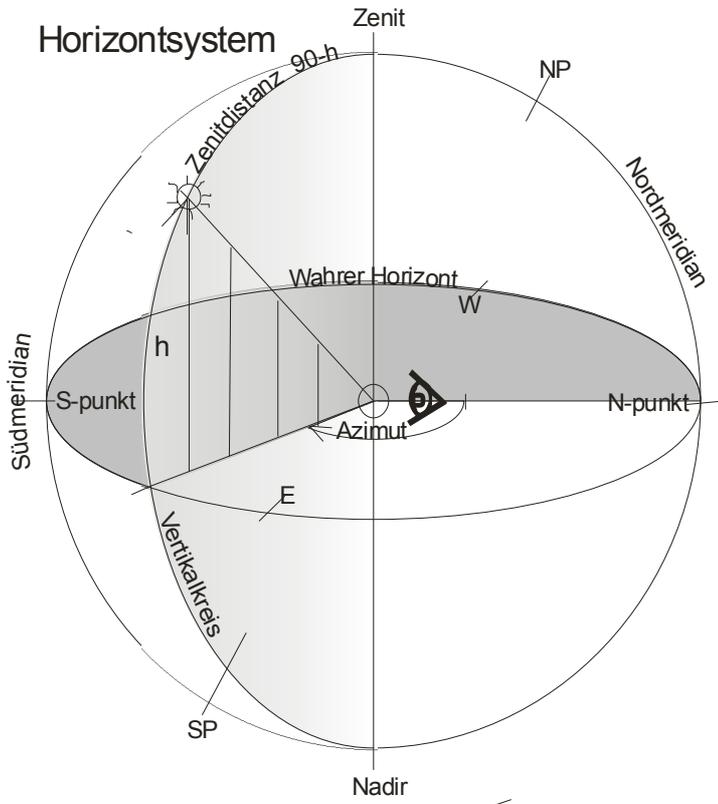
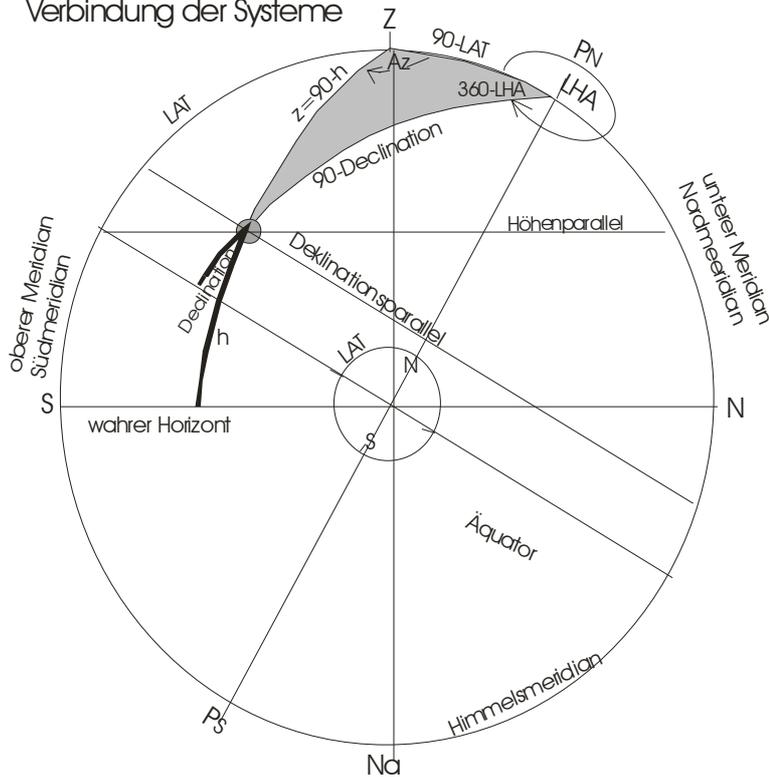


Astronavigation- Grundlagen



Verbindung der Systeme

**Abkürzungen und Formelzeichen**

UT1 (GMT)	Weltzeit (Greenwichzeit)
ZZ (ZT)	Zonenzeit
MOZ (LMT)	Mittlere Ortszeit
ZU (ZD)	Zeitunterschied
Gr _t (GHA)	Greenwich(stunden)winkel
β (SHA)	Sternwinkel
δ (Dec)	Deklination
t (LHA)	Orts(stunden)winkel
φ (Lat)	Geographische Breite
λ (Lon)	Geographische Länge
h_s (H _s) SA	Sextantablesung
h_b (H _o)	Beobachtete Höhe
h_r (H _c)	Berechnete Höhe
h_A (A _h)	Augeshöhe
K _t (D)	Kimmtiefe
I _b (IC)	Indexberichtigung
G _b	Gesamtbeschickung
HP (HP)	Horizontalparallaxe
Δh	Höhenunterschied $h_b - h_r$
z (z)	Zenitdistanz
Z	Azimetwinkel, halb- oder viertelkreisig
Z _n Az	Azimet, vollkreisig
T (MP)	Zeit des Meridiandurchgangs
Unt (d)	Unterschied (GHA, Dec)
V _b (corr)	Verbesserung
G	Gissort
F (Fix)	wahrer Schiffsort
LF	»laufendes« Fix mit versogelter Standlinie (Koppelfehler möglich)
VP	Vermutliche Position
AP	Angenommene Position

Astronomische Navigation - eine antiquierte Methode zur Ortsbestimmung?

Sicherlich hat das GPS System die Navigation revolutioniert und entschärft, da es rund um die Uhr wetterunabhängig u.a. genaue Positionsangaben, Kurse zu eingegebenen Wegpunkten, Küg, FüG usw. liefert. Selbstverständlich sollte jeder Navigator dieses genaue System benutzen, jedoch immer zusammen mit der Kontrolle durch terrestrische und astronomische Navigationsmethoden.

Mittels Astronavigation können wir nur auf ca 5 sm genaue Positionsbestimmungen durchführen. Selbst dies ist nur dann möglich, wenn tagsüber Sonne oder Mond sichtbar sind. Gestirnmessungen können nur während der Dämmerung abends oder am Morgen durchgeführt werden, da wir die Sterne **und** die Kimmlinie sehen müssen.

Vor der Zeit der genauen Uhren konnte man mittels der Sonderverfahren Mittagsbreite und Nordsternbreite lediglich seine Breite bestimmen. Man wußte den Breitengrad seines Ziels und segelte solange nach Nord oder Süd, bis man die gesuchte Breite erreicht hatte, um dann mit Kurs Ost oder West, sein Ziel zu finden. Seit genau gehende Uhren und das Nautische Jahrbuch die Bestimmung der Bildpunktposition eines Gestirns für jeden beliebigen Zeitpunkt ermöglichen, können Länge und Breite bestimmt werden.

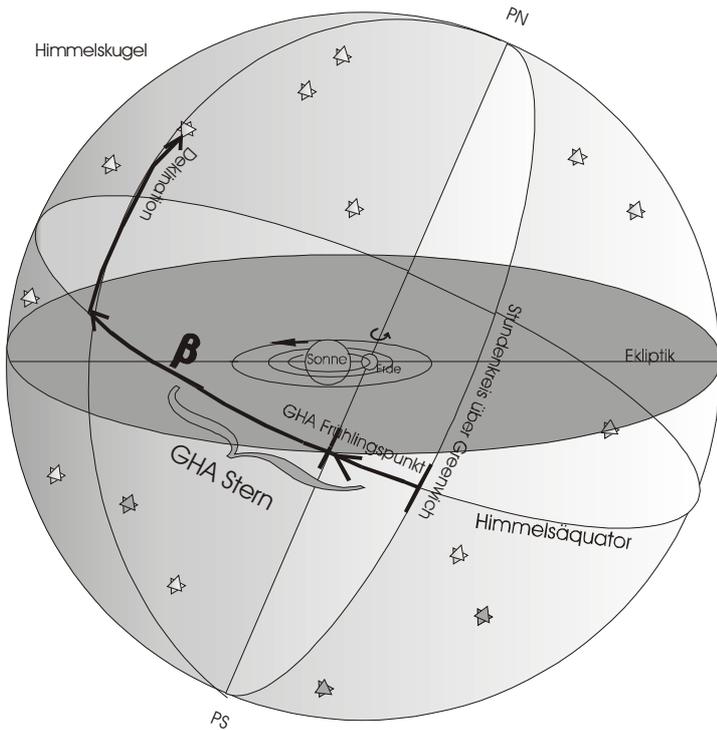
Der Navigator braucht lediglich einen Sextanten, eine genaue Uhr, das Nautische Jahrbuch und Logarithmentafeln (*alternativ einen einfachen Taschenrechner oder HO-Tafeln*) für eine Ortsbestimmung. Dies ist zumindest eine einfache und robuste Ausrüstung verglichen mit in salzhaltiger Luft doch hoch empfindlicher Elektronik.

Astronavigation stellt ein Ersatzsystem zu dem satellitengestützten GPS dar. Die Gestirne kann man nicht abschalten.

Mir geht es jedoch weniger darum, Vorteile und Nachteile der Astronavigation darzustellen, vielmehr liegt mir daran, dieses historisch gewachsene Verfahren am Leben zu erhalten. Die Beschäftigung mit den dazu benötigten Wissensgebieten kann eine beträchtliche Horzonterweiterung mit sich bringen.

Bei den folgenden Darlegungen ist es mir wichtig, mit anschaulichen Graphiken die Grundlagen - wie das nautisch sphärische Dreieck oder den Bildpunkt eines Gestirnes - zu vermitteln. Der praktische Umgang mit Taschenrechner, HO-Tafeln, Nautischem Jahrbuch oder mit dem Sextanten sollte in begleitenden Kursen geübt werden.

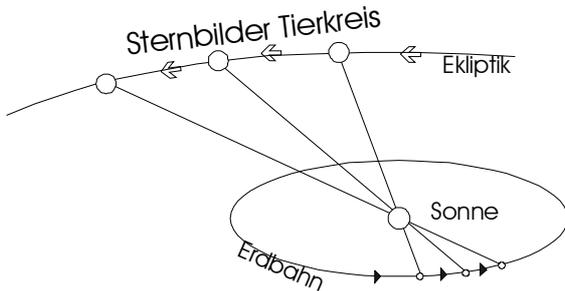
1999
Gerhard Lackner
Olbrichtstr. 35
69469 Weinheim
Tel.: 06201/68168
gerhardlackner@compuserve.de



Über die Himmelsmechanik.

Das Universum von Außen betrachtet: Eine riesige Himmelskugel voller Fixsterne (mit konstantem Winkelabstand (Sternwinkel β) vom Stundenkreis durch den Frühlingspunkt) scheint sich im Uhrzeigersinn um die verlängerte Erdachse zu drehen. *Tatsächlich dreht sich die Erde im Gegenuhrzeigersinn um ihre Achse und die Fixsterne haben sehr unterschiedliche Entfernungen.. Die Sonne- auf diese Himmelskugel projiziert- scheint sich langsam gegen den Uhrzeigersinn dort zu bewegen, auf der Projektion der Erdbahnebene, der Ekliptik (ca 1° pro Tag). *Tatsächlich wandert die Erde in einem Jahr um die Sonne(Gegenuhrzeigersinn). Deren Deklination =Breite ändert sich von 23.5° Süd im Nordwinter auf 23.5° Nord im Nordsommer. Ebenso scheinen die Planeten und der Mond Eigenbewegungen auf der Himmelskugel zu haben, wobei die Planeten ebenfalls entlang der Ekliptik wandern.(Wandelsterne). *Tatsächlich umkreisen die Planeten die Sonne und der Mond umkreist gegen den Uhrzeigersinn die Erde. Diese Eigenbewegungen der Wandelsterne sind gegenüber ihrer täglichen scheinbaren Erdumrundung sehr gering.***

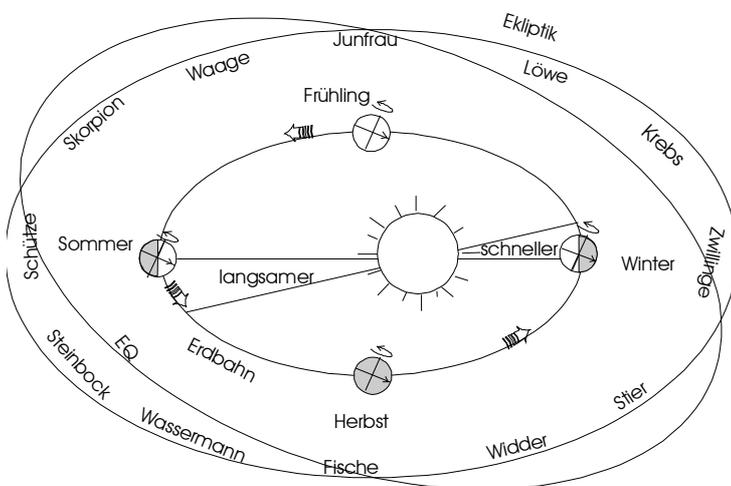
Wegen der Erdbahn um die Sonne sehen wir diese im Laufe des Jahres vor dem wechselnden Hintergrund der Tierkreissternbilder; d.h. wir würden die Sonne dort sehen, wenn es dunkel wäre wie bei einer Sonnenfinsternis. Im Winter steht die Sonne z.B. im Sternzeichen Schütze; wir sehen, nachdem die Sonne unter den wahren Horizont gesunken ist, (Untergang) jedoch nur die gegenüberliegenden Sternbilder wie Zwillinge oder benachbarte wie Orion. Der Schütze und seine Nachbarschaft werden überstrahlt- auf der Erde ist es Tag.



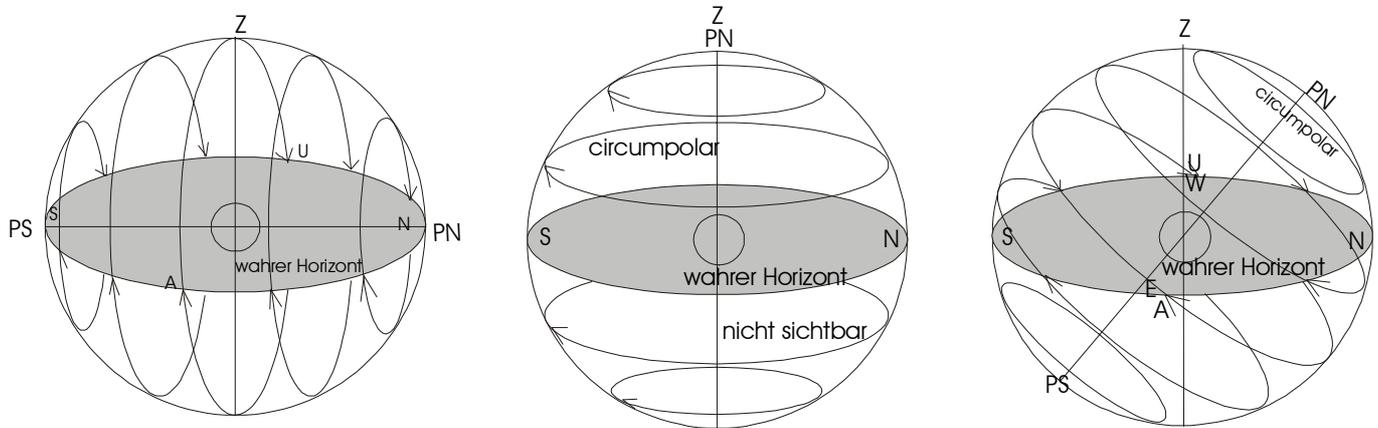
Durch die Bewegung der Erde scheint die Sonne von Stern zu Stern zu wandern

Ein Gestirn hat also Aufgang, Kulmination und Untergang und wäre ohne die überblendende Sonne solange sichtbar, wie es über dem wahren Horizont steht. Die Sonne bestimmt jedoch wegen ihrer Helligkeit die Sichtbarkeit eines Gestirnes über dem wahren Horizont.

Unser Sonnensystem liegt am Rande unserer Spiralgalaxie, die einen Durchmesser von 100 000 Lichtjahren hat. Alle Sterne, die wir mit unbewaffnetem Auge beobachten können, gehören zu unserer Heimatgalaxie. Teile der Spiralarms mit großer Sterndichte sehen wir als Milchstraße. Die Sonne ist einer der Milliarden Fixsterne mittlerer Größe unserer Galaxie, die mittels Kernfusion Energie abstrahlen. Das bekannte Universum wiederum ist erfüllt von Milliarden solcher Galaxien. Unsere Sonne wird - von Norden betrachtet- im Gegenuhrzeigersinn von neun Planeten umkreist, die sich aus einer die Sonne umgebenden Staubscheibe gebildet haben. Die Erde ist der dritte der inneren Planeten und umkreist die Sonne in ca 365 Tagen. Die Sonne scheint deshalb auf der Ekliptik (Bahnebene) vor dem Hintergrund der Tierkreissternbilder zu wandern. Die Erdachse und damit auch die Äquatorebene ist gegenüber der Bahnebene z.Zt. um 23.5° geneigt, wodurch die Jahreszeiten wegen unterschiedlicher Sonnenbestrahlung der Nord- und Südhalbkugel entstehen. Die Erdbahn um die Sonne ist elliptisch. Im Nord - Winter ist die Erde näher an der Sonne. Ihre Bahngeschwindigkeit ist schneller, das Winterhalbjahr ist kürzer.



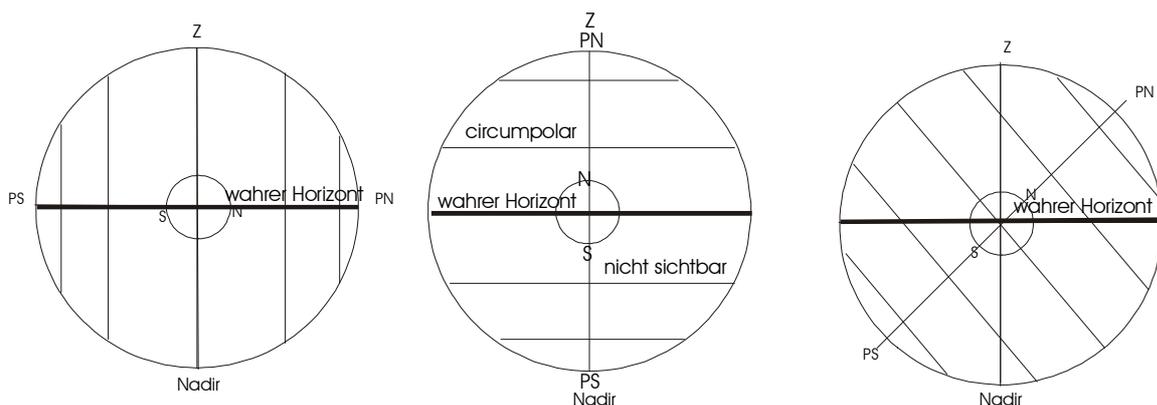
Für unsere Zwecke bewährt sich die Vorstellung, **die stillstehende Erde sei Mittelpunkt des Universums** und alle Sterne, Sonne, Mond und Planeten umkreisen sie täglich im Uhrzeigersinn, wie an einer riesigen Himmelskugel fixiert (tatsächlich dreht sich natürlich die Erde im Gegenuhrzeigersinn):

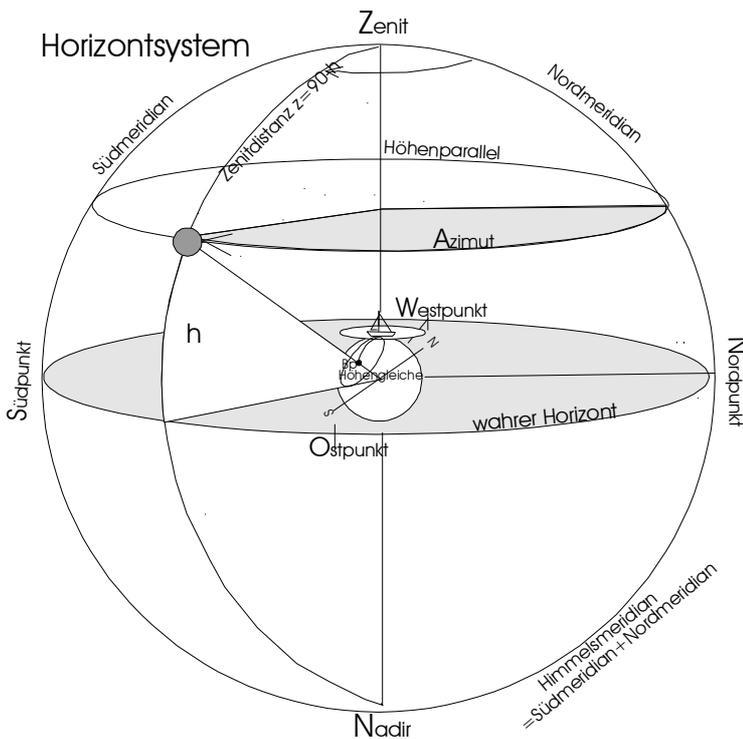


Die verlängerte Erdachse trifft an der Himmelskugel die Pole PN und PS. Die Projektion des Erdäquators ergibt den Himmelsäquator. Die Sterne umkreisen uns auf konstanten Breitenparallelen (=Deklinationsparallelen). Senkrecht über uns ist der Zenit. Die Horizontebene denken wir uns durch den Erdmittelpunkt gelegt. Die Horizontebene begrenzt unser Gesichtsfeld, - wir können nur die halbe Himmelskugel sehen. Ist die Sonne über dem Horizont, so überblendet sie die anderen über dem Horizont stehenden Gestirne. Dies ist genau so wie wir es am Himmel beobachten. **Wo** wir die Sterne sehen (Richtung ,Höhe) hängt allein von unserem **Standort** auf der Erde ab (**Horizontsystem**).

Stehen wir am **Äquator**, so sehen wir **alle** Sterne der N- und S- Halbkugel wie sie in - zum Horizont rechtwinkligen-Bahnen auf- und untergehen. (Ein Gestirn ist gleichlang über - wie unter dem Horizont; Sonne hat gleichen Tag/Nachtbogen).
Stehen wir dagegen am **Nordpol** mit dem Nordstern im Zenit, so sehen wir nur die Sterne der Nordhalbkugel, die uns in zum Horizont parallelen Bahnen umkreisen. Alle sichtbaren Sterne sind circumpolar, d.h. sie gehen nicht unter.
Auf **50° nördlicher Breite** umkreisen uns die Sterne auf zum Horizont geneigten Bahnen. Wir sehen alle Sterne der Nordhalbkugel und einen Teil der Sterne der Südhalbkugel. Die weit nördlich liegenden Sterne sind circumpolar. Ein Gestirn genau auf dem Himmelsäquator hat einen gleichlangen Bogen über- und unter dem Horizont (Sonne am 20. März , 20. Sept. oder die Gürtelsterne des Orion) und geht exakt im Osten auf und im Westen unter (bei der Sonne spricht man von Tag- und Nachtbogen).

Vereinfachte zweidimensionale (plattgedrückte) Darstellungen der geschilderten standortabhängigen Verhältnisse sind die **Meridianfiguren**:





Das Horizontsystem

Wie hoch man ein Gestirn sieht, hängt vom Standort des Beobachters ab. Im Dezember wird ein Beobachter auf 20° Süd-Breite die Sonne zur Mittagszeit fast über sich zu stehen haben, während auf unserer Breite die Sonne nur etwa 15° hoch stehen wird. Dieses vom Standort des Beobachters abhängige System nennt man das **System des wahren Horizonts**.

Größen im System: Das Lot durch den Ort des Beobachters bestimmt am Himmelsgewölbe die Lage des *Zenits* (Z) und die des *Nadirs* (N). Senkrecht zum Lot verläuft durch den Erdmittelpunkt die Ebene des wahren Horizonts. Auf diesem liegen der *Nord-*, *Ost-*, *Süd-* und *Westpunkt*. (Wir stellen uns vor, unser Auge befände sich exakt im Erdmittelpunkt und nicht im Zentrum des **scheinbaren Horizonts** auf der Erdoberfläche in Augenhöhe).

Am Himmelsgewölbe verlaufen parallel zum wahren Horizont die *Höhenparallele*. Alle auf demselben Höhenparallel (nicht verwechseln mit der Höhenungleiche)stehenden Gestirne würden von einem Beobachter unter demselben *Höhenwinkel* (h)

gemessen werden. **Die Zenitdistanz** (z), d. h. auf der Erde die Entfernung vom **Bildpunkt Bp** des Gestirnes ist der Komplementwinkel der Höhe ($z=90-h$). Senkrecht zum wahren Horizont verlaufen die *Vertikalkreise* durch Zenit und Nadir. Der vom Zenit durch den Nordpunkt verlaufende Vertikalhalbkreis wird *Nordmeridian*, der durch den Südpunkt führende *Südmeridian* genannt. Beide zusammen heißen *Himmelsmeridian*. Der Winkel am Zenit zwischen Nordmeridian und dem Vertikalreis des Gestirns ist das **Azimum** (**Zn Az**), d.h. die rechtweisende Peilung unter der ein Beobachter das Gestirn sieht.

Mit jeder Ortsveränderung des Beobachters ändern sich h und Az (Zn) des Gestirnes. Umgekehrt bedingen ein bestimmtes Azimum und h einen eindeutigen Ort.

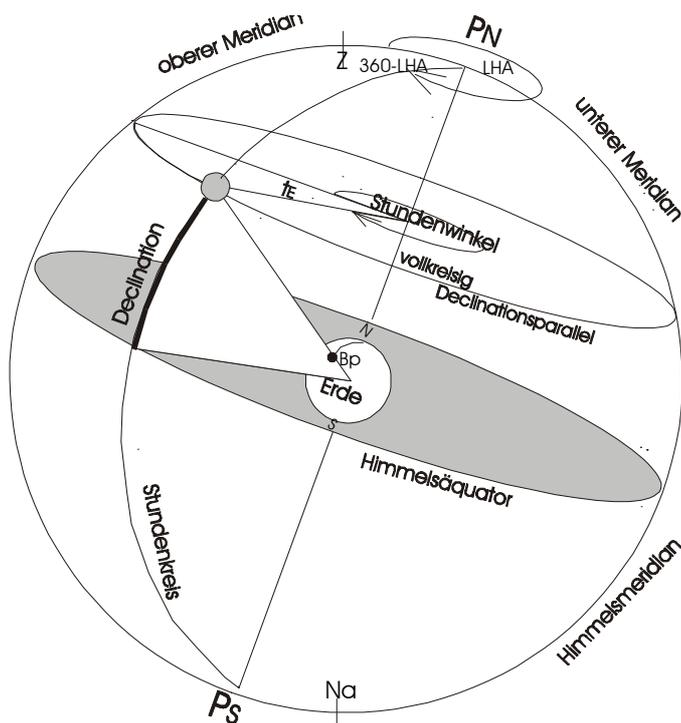
Zusammenfassung: Im Horizontsystem wird ein Gestirn beschrieben durch seine Höhe über dem wahren Horizont (h) und durch sein Azimum, seiner rechtweisenden Peilung ($Az; Zn$).

Befindet sich ein Gestirn genau im Zenit so messen wir seine Höhe mit $h=90^\circ$. Wir stehen dann genau auf dem Bildpunkt des Gestirns. Der **Bildpunkt Bp** ist der Punkt auf der Erde wo eine Verbindungslinie vom Gestirn zum Erdmittelpunkt die Erdoberfläche treffen würde. Da wir die Bildpunktkoordinaten (Länge **GHA** und Breite **δ**) eines Gestirnes für jede Sekunde im Nautischen Jahrbuch nachschlagen können, haben wir somit für diesen Spezialfall unseren Standort bestimmt.

Messen wir ein Gestirn mit z.B. $h=80^\circ$, so sind wir 10° vom Bildpunkt entfernt (Zenitdistanz $z=90-h$). Je flacher ein Gestirn beobachtet wird, desto weiter sind wir von seinem Bildpunkt entfernt. Auf der Erdoberfläche entsprechen 1 Grad 60 Seemeilen, eine Winkelminute einer Seemeile. Unser Abstand vom Bildpunkt beträgt zum Messzeitpunkt also $60 \cdot 10 = 600$ Seemeilen. Wir holen uns wieder die Bildpunktkoordinaten für den exakten Zeitpunkt der Sextantmessung aus dem Nautischen Jahrbuch, zeichnen den Bildpunkt auf einen Globus, greifen mit dem Zirkel 10° am Globusäquator (Großkreis) ab und schlagen um den Bildpunkt einen Kreis mit dem Radius $z=10^\circ=600$ sm. Dies ist unsere Standlinie, die **Höhengleiche**. Alle Beobachter auf der Höhengleiche würden zum Messzeitpunkt das Gestirn mit 80° über dem wahren Horizont messen. Die rechtweisende Peilung des Gestirns ($Zn; Az$) könnte -wenn sie auf Winkelminuten genau wäre- die zweite Standlinie bilden und der Schnittpunkt dieser Azimutlinie mit der Höhengleiche wäre der Standort. Diese Methode wäre jedoch viel zu ungenau. Ein Globusdurchmesser von 10-15 Metern wäre erforderlich um den meist riesigen Kreis der Höhengleiche hinreichend genau zeichnen zu können. Auch eine Peilung eines Gestirns müßte zeitgleich mit der Sextantmessung auf Winkelminuten genau sein. Was jedoch zeichnerisch auf Globus oder Seekarte nicht geht, könnte jedoch berechnet werden. Tatsächlich sind kleine programmierbare Taschenrechner sehr geeignet um die Schnittpunkte von zwei oder drei Höhengleichen (die Standlinien zweier Gestirnsmessungen) genau nach Breite und Länge zu berechnen und so den Standort zu liefern.

Um in der Seekarte arbeiten zu können wurde deshalb das **Höhendifferenzverfahren** entwickelt: Für seinen Koppelort **berechnet** man zunächst mittels Formeln oder mittels Tafelwerken die Gestirnshöhe (**hc; hr**) und das Azimum (**Az; Zn**) für die exakte Zeit der Sextantmessung. Den Azimutstrahl, also die Richtung zum Gestirn, zeichnet man durch den Koppelort. Die Senkrechte auf dem Azimutstrahl und ebenfalls durch den Koppelort ist ein kleiner Teil des riesigen Höhengleiche. Nach der Berichtigung der Sextantmessung erhält man die **beobachtete Höhe hb; ho** (High observed). Der Unterschied zwischen ho und hc ist das **delta h** (oder Intercept). Ist ho z.B. 15 Winkelminuten größer als hc (delta $h +15$ Minuten), so muß die berechnete Standlinie 15 Seemeilen Richtung Gestirn parallel verschoben werden.

Das Äquatorsystem



Für nautische Zwecke hat sich die Vorstellung bewährt, eine stillstehende Erde stände im Zentrum einer riesigen, sich um die verlängerte Erdachse drehenden Glaskugel, der Himmelskugel, an der die Fixsterne, Sonne, Mond und Planeten wie Girlanden befestigt sind. Dieses **Äquatorsystem** entspricht der Projektion des Erdkoordinatensystems auf die Himmelskugel und ist im Gegensatz zum Horizontsystem vom Standort des Beobachters unabhängig. Die verlängerte Erdachse markiert am Himmelsgewölbe den *Himmelsnordpol* PN und den *Himmels-südpol* PS. Die Projektion des Erdäquators ergibt den *Himmelsäquator*. Die Meridiane der Erde heißen **Stundenkreise** und die Breitenparallele nennen wir Abweichungssparallele oder **Deklinationssparallele**.

Die Deklinationen δ zählen wie die Breitenparallele auf der Erde vom Himmelsäquator jeweils 90° zum oberen und zum unteren Pol.

Die Stundenkreise zählen vom stillstehenden projizierten Ortsmeridian von Greenwich im Uhrzeigersinn vollkreisig von 0° bis $360^\circ = \text{Grt}$ oder $\text{GHA} = \text{Greenwichstundenwinkel}$ oder Greenwich hour angle. (Auf der Erdkugel wird vom Greenwichmeridian aus halbkreisig 180° nach West und nach Ost gezählt.) Der Ortsmeridian auf der Erde (jede Längänderung bedeutet einen eigenen Ortsmeridian) wird zum

Ortsstundenkreis am Himmelsgewölbe. Er hat eine weitere besondere Bedeutung: Da ein Meridian von Nord nach Süd verläuft, geht der Ortsmeridian natürlich auch durch den Südpunkt und durch den Nordpunkt des wahren Horizonts. Ebenso verläuft er auch durch Zenit und Nadir. Es handelt sich also um den uns bereits bekannten Himmelsmeridian. *Der Himmelsmeridian ist das verknüpfende Element beider Koordinatensysteme am Himmelsgewölbe.*

Koordinaten eines Gestirns im Äquatorsystem:

Die Koordinaten sind unabhängig vom Standort des Beobachters und nehmen an der täglichen (scheinbaren) Drehung des Himmelsgewölbes teil.

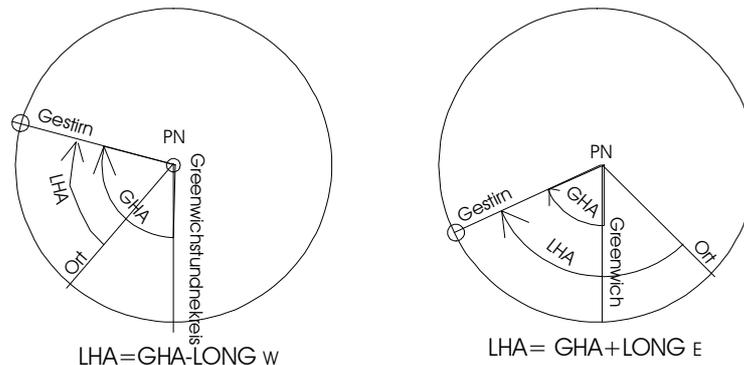
Die **Deklination** δ (entspricht auf der Erde der Breite $= \text{LAT} = \varphi$) ist der Winkel vom Himmelsäquator bis zum Deklinationssparallelen des Gestirns gemessen auf seinem Stundenkreis.

Der Greenwich-Stundenwinkel **Grt oder GHA** (Greenwich hour angle) ist der Winkel am Himmelspol zwischen dem Ortsstundenkreis von Greenwich und dem Stundenkreis des Gestirns. (entspricht auf der Erde der Länge $= \lambda = \text{LONG}$).

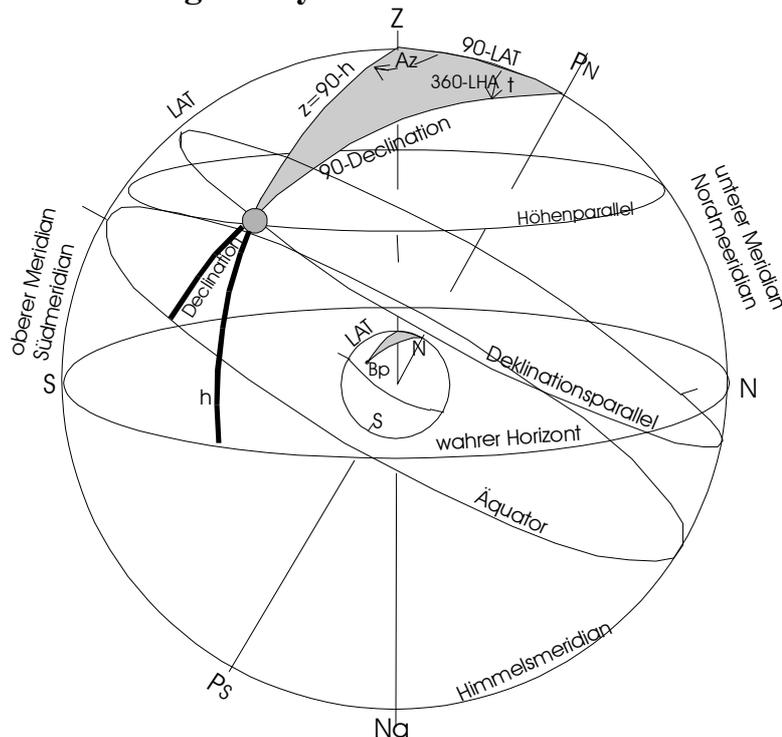
Die Deklination δ und der GHA sind Größen, die wir nicht messen können. Wir erhalten sie aus dem Nautischen Jahrbuch des gültigen Kalenderjahres. Hier werden δ und Stundenwinkel für den Ortsmeridian, der durch Greenwich verläuft (**Greenwich hour angle = GHA**), für jede Sekunde tabelliert und zwar für Sonne, Mond, vier Planeten und 80 Fixsterne. Diese Koordinaten sind identisch mit den Koordinaten des Bildpunktes des Gestirns auf der Erde. *Die Bildpunktkoordinaten sind von zentraler Bedeutung für die Erlangung einer Standlinie.*

Für die Berechnung des nautischen Dreiecks eines Beobachters auf beliebiger Länge muß der Winkel zwischen dem Ortsstundenkreis des Beobachters und dem Stundenkreis des Gestirns ($= \text{LHA} = \text{local hour angle}$) berechnet werden. Es gilt:

$\text{LHA} = \text{GHA} + \lambda_E$ bzw. $\text{LHA} = \text{GHA} - \lambda_W$. Am besten verdeutlicht die Verhältnisse eine **Polfigur**:



Verbindung der Systeme



Legt man Horizontsystem über Äquatorsystem, so erhält man die neben dargestellten Verhältnisse. Beide Systeme sind durch den Himmelsmeridian miteinander verbunden. Die Achse des Äquatorsystems und das Lot des Horizontsystems sind um das Breitenkomplement $90^\circ - \text{LAT } \varphi$ gegeneinander geneigt (Bogen zwischen Zenit und PN) und bildet die eine Seite des **nautisch sphärischen Dreiecks** mit den Eckpunkten Zenit-PN - Gestirn. (Die Eckpunkte des auf die Erdkugel projizierten nautisch sphärischen Dreiecks sind Standort, Nordpol, Bildpunkt des Gestirn). Die weiteren Seiten des Dreiecks sind die Zenitdistanz $90^\circ - h$, sowie $90^\circ - \delta$. Die eingeschlossenen Winkel sind das Azimut (Az, Zn) und das Komplement des vollkreisigen Ortsstundenwinkels $360^\circ - \text{LHA}$.

So ein Dreieck auf einer Kugelfläche läßt sich ähnlich wie ein Dreieck in einer Ebene berechnen. Die Formeln der sphärischen Trigonometrie sind nur etwas komplizierter, was jedoch einen programmierbaren Taschenrechner nicht stört. *Gesucht sind hc und Azimut* aus δ , φ und LHA; $\text{LHA} = \text{GHA} \pm \lambda \text{ E/W}$; bei neg. LHA +360

$$hc = \sin^{-1}(\sin \delta * \sin \varphi + \cos \delta * \cos \varphi * \cos \text{LHA})$$

$$Z = \cos^{-1}(\sin \delta - \sin \varphi * \sin hc / (\cos hc * \cos \varphi)); \text{ If } \sin \text{LHA} > 0 \text{ (Richtung West) then } Az = 360 - Z \text{ else } Az = Z$$

Genau so wie berechnet (hc, Az) würde man das Gestirn sehen, wenn man exakt auf dem Koppelort wäre.

In Tabellenwerken wie den "sight reduction tables" oder "HO -Tafeln" ist hc und Az für jeden vollgradigen LHA bereits aufgelistet. Früher wurden spezielle Logarithmentafeln zur Berechnung des nautisch sphärischen Dreiecks verwendet (Semiversusverfahren).

Sonderverfahren Mittagsbreite und Nordsternbreite:

Wenn man die oben dargestellte Kugel quasi platt drückt, d.h. auf die Ebene des Himmelsmeridians projiziert, erhält man die **Meridianfigur**: Das Gestirn sei die Sonne. Sie bewegt sich täglich auf dem Deklinationsparallel (welches sich langsam ändert zwischen 23°N im Sommer und 23°S im Winter). Sie hat hier gerade den Ortsmeridian des Beobachters erreicht, steht genau im Süden und kulminiert (höchster Stand; h und z sind direkt messbar). Bei Kulmination ist das nautisch sphärische Dreieck zusammengeklappt ($\text{LHA} = 0^\circ$). Der Schnittpunkt des Deklinationsparallels mit dem wahren Horizont markiert den Sonnenauf- und Untergang, die Grenze zwischen Tag- und Nachtbogen. Man kann bei Kulmination leicht seinen Breitengrad bestimmen (**Mittagsbreite**): Wie man an der Meridianfigur direkt ablesen kann, beträgt die Mittagsbreite (Kulmination der Sonne):

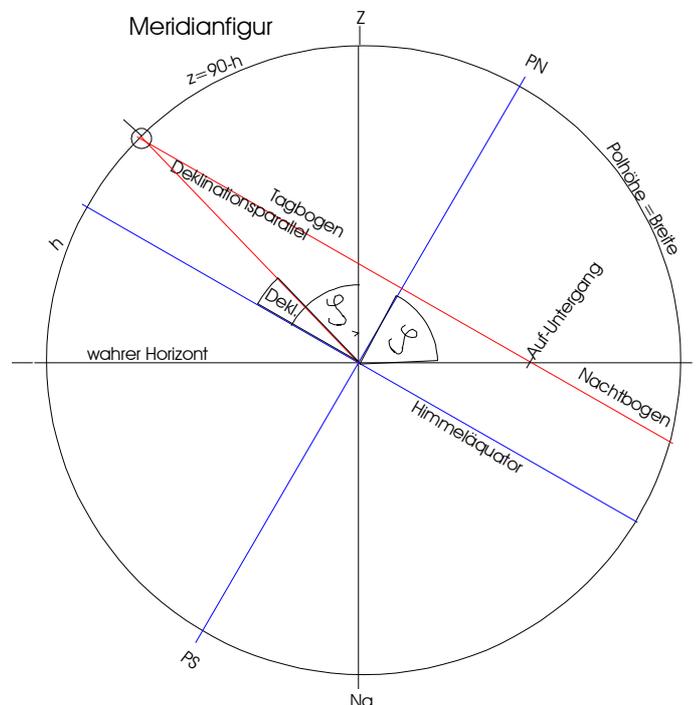
$$\varphi = \delta + z \text{ (wenn man die Sonne im Süden sieht)}$$

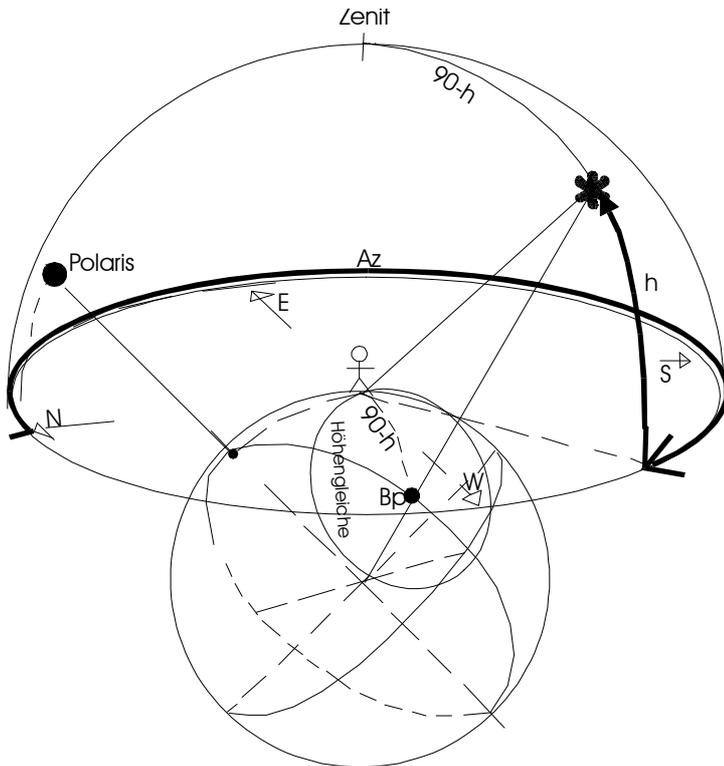
$$\varphi = \delta - z \text{ (wenn man die Sonne nördlich kulminieren sieht); } z = (90 - h)$$

Süd-Breiten und Süd- Deklinationen haben neg. Vorzeichen.

Das Prinzip eines weiteren Sonderverfahrens kann an der Meridianfigur sofort deutlich werden- die **Nordsternbreite**. Die Höhe des Himmelspoles über dem wahren Horizont entspricht der Breite des Beobachters. Da der Nordstern jedoch nur fast im Himmelnordpol steht, muß seine Höhenmessung laut Nautischem Jahrbuch beschriftet werden.

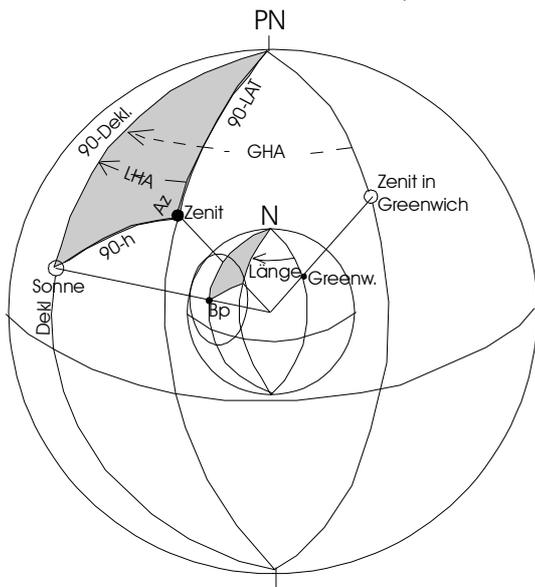
Also: **Nordsternhöhe** = annähernd **Breite**.





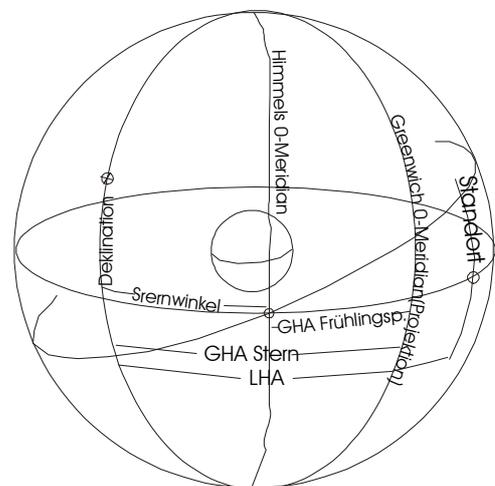
Hier eine etwas andere Darstellung:
Horizontsystem: Ein Beobachter auf einem beliebigen Punkt der Erde kann immer nur feststellen wie hoch und in welcher rechtweisenden Peilung (Azimut) er ein Gestirn sieht. Mit der Höhenmessung bestimmt er automatisch seinen Abstand vom Bildpunkt des Gestirns (Zenitdistanz $z=90^\circ - h$). Die Zenitdistanz in Seemeilen ist der Radius seiner kreisförmigen Standlinie um den Bildpunkt. Je flacher ein Gestirn über dem Horizont steht, desto größer ist z und damit auch die Kreisstandlinie (Höhengleiche), von der aus jeder Beobachter zeitgleich das Gestirn gleich hoch messen würde (natürlich jeder mit unterschiedlichem Azimut). Könnte man das Azimut winkelminutengenau messen, so hätte man zwei Standlinien und einen exakten Ort. Jedoch würde ein Azimutfehler von einem Grad auf dem riesigen Kreis viele sm Ungenauigkeit bringen. I.a. ist der Radius der Höhengleiche auch viel zu groß, um sie in die Seekarte zeichnen zu können (50° sind $50 \cdot 60 = 3000$ sm!) Zur Ortsbestimmung benötigt man deshalb eine zweite Standlinie (aus einer zweiten Gestirns Höhenmessung), deren beide Schnittpunkte zwei mögliche Orte ergeben. (Eine dritte Höhengleiche läßt nur noch einen Standort übrig). Für Elektronenrechner ist die Schnittpunktberechnung kein Problem. Für die

zeichnerische Lösung in der Karte müssen wir jedoch das Höhendifferenzverfahren anwenden.



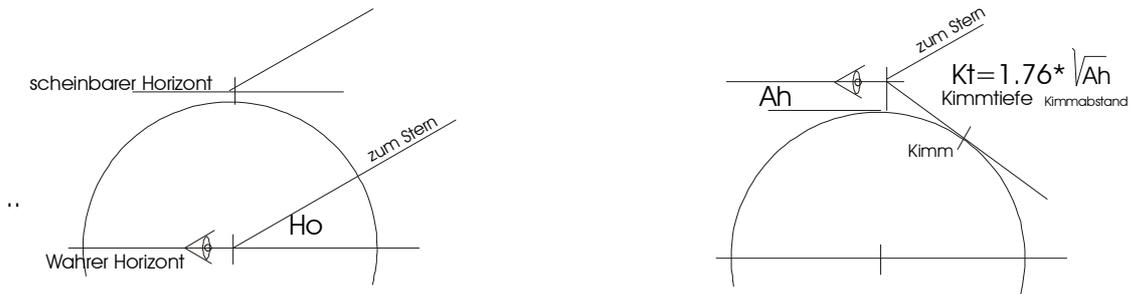
Das **Äquatorsystem** dient letztlich dazu, den Bildpunkt eines Gestirns positionieren zu können. Dieser wandert auf seinem bestimmten Deklinationsparallel mit hoher Geschwindigkeit in 24 Std um die Erde. Der LHA, oder besser das nautische sphärische Dreieck verändert sich dadurch genau so rasend. Eine Sextanthöhe eines Gestirns ist deshalb nur mit sekundengenauer Uhrzeit (UTC) zu gebrauchen, da für diesen exakten Zeitpunkt die Bildpunktkoordinaten bestimmt werden müssen. Diese liefert das Nautische Jahrbuch für die gebräuchlichsten Gestirne für jede Sekunde eines Jahres. Die Koordinaten sind die **Deklination δ** und der Greenwichstundenwinkel **Grt** oder **GHA** (greenwich hour angle). Der GHA ist der Ortsstundenwinkel des Gestirns bezogen auf den Greenwich 0-Meridian. Das Nautische Jahrbuch liefert den GHA und δ jeweils für die Wandelsterne Sonne, Mond und 4 Planeten (sowie für alle Fixsterne den GHA des Frühlingspunktes). Den eigenen Ortstundenwinkel für die eigene Länge λ muß man folgendermaßen ausrechnen: **LHA=GHA+ λ E** bzw. **LHA=GHA - λ W**; (ergeben sich negative Werte, sind 360 zu addieren)

Da **Fixsterne** sich scheinbar nur äußerst langsam bewegen, erscheinen sie an unserer Himmelskugel fixiert. Ihre Deklination ändert sich kaum- ihr Bildpunkt umkreist auf dem selben Breitenparallel immer wieder die Erde. Ihre Länge definiert man mit dem konstanten **Sternwinkel β** , dem Abstand vom Himmelsnullmeridian. Dies ist der bestimmte Himmelsmeridian, der durch den Frühlingspunkt geht. (Der Frühlingspunkt ist der Schnittpunkt der aufsteigenden Ekliptik mit dem Himmelsäquator.) So muß das Nautische Jahrbuch nicht den GHA für jeden einzelnen Fixstern tabellieren. Es genügt vielmehr die Auflistung des GHA für den Frühlingspunkt. Es gilt also: $GHA_{\text{Fixstern}} = GHA_{\text{Frühlingspunkt}} + \beta$
 Den LHA erhält wie gehabt: $LHA = GHA_{\text{Fixstern}} \pm \lambda \text{ E/W}$

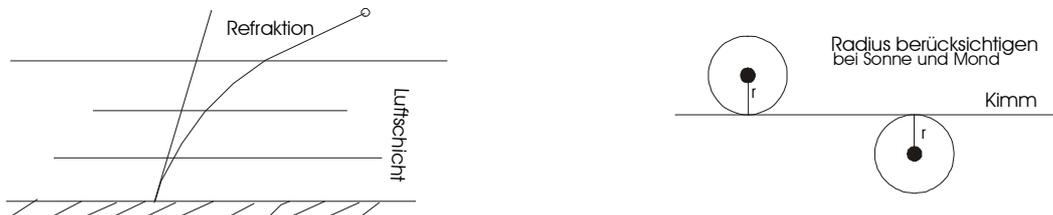


Von der Sextant-Ablesung (SA) zur wahren Höhe ($ho = observed = hb$).

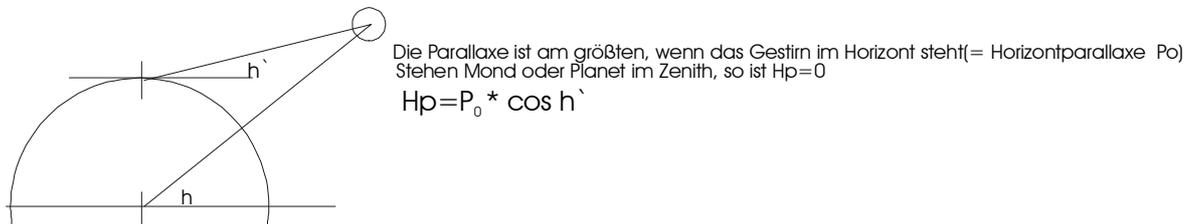
Wir benötigen den Gestirnwinkel mit dem wahren Horizont (hb, ho), so als ob unser Auge direkt vom Erdmittelpunkt aus beobachten würde. (Korrekturen für Kimmtiefe, Refraktion, eventuell Parallaxe, Radius sind nötig)



Mit dem Sextanten bestimmen wir nach Berücksichtigung des Sextantfehlers (lb) den Winkel des Gestirns mit der Kimm (KA). In der *Gesamtberichtigung Gb* sind Korrekturen für die *Kimmtiefe* (Abhängig von der Augenhöhe Ah) sowie der *Refraktion* enthalten (Durch die Lichtstrahlbrechung der Atmosphäre sieht man ein Himmelsobjekt höher als es tatsächlich ist).



Bei der Sonne und dem Mond kann auch der Oberrand (☉ ☽ ☾ ☿) gemessen werden. Bei diesen beiden Himmelskörpern muss bei der Gb der Radius addiert oder subtrahiert werden, da ho sich auf den Mittelpunkt bezieht. Bei Höhenmessungen von Mond und erdnahen Planeten muss noch die Höhenparallaxe (Hp) berücksichtigt werden, da wegen der Erdnähe der Höhenwinkel mit dem scheinbaren Horizont ein anderer ist als der Winkel mit dem wahren Horizont.



Zusammenfassung:
zB. Sonnenunterrandmessung: [Dat.: 12.08.; Ah=4m'; lb=2.0']

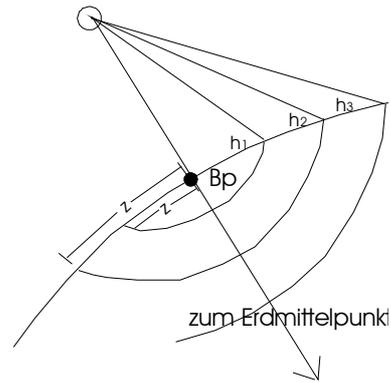
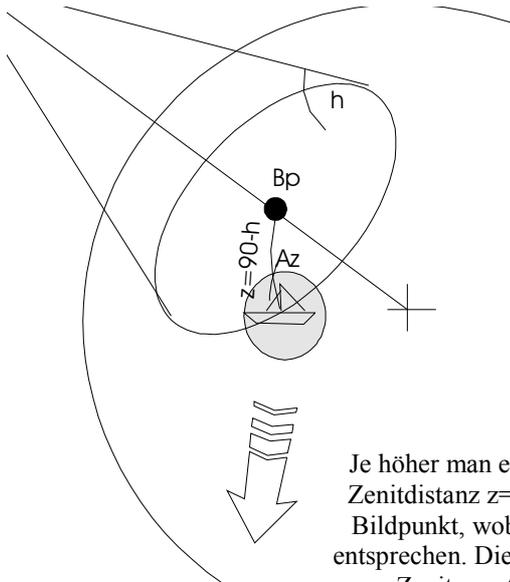
Indexablesung	SA	☉	34-18.0
Indexberichtigung		+ lb	- 2.0
Kimmtiefe	KA	☉	34-16.0
Gesamtberichtigung		Gb	+ 11.0
beobachtete (observed) Höhe hb,ho		ho	34-27.0

Den Wert für Gb erhält man aus dem Nautischen Jahrbuch +11.2; -0.2

Entsprechende Symbole für:

Sonnenoberrand	Mond	Venus	Jupiter	Saturn	Mars	Fixstern
☉	☾ ☽	=♀=	=♃=	=♄=	=♂=	=* =
☉	☾ ☽	-♀-	-♃-	-♄-	-♂-	-* -

Von der **Höhengleiche** auf der Erdkugel zur **Standlinie** in der Karte.



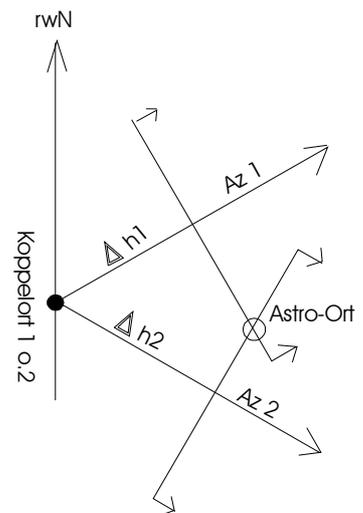
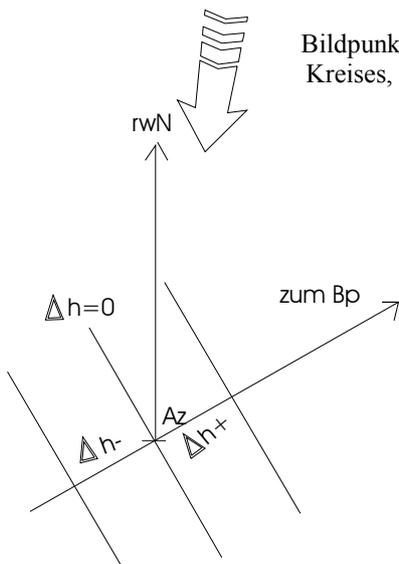
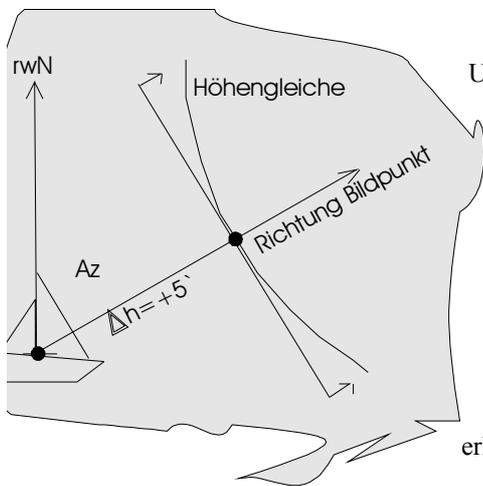
Je höher man ein Gestirn sieht, desto näher ist man seinem Bildpunkt. Die Entfernung ist die Zenitdistanz $z = 90^\circ - h$. Dies ist der Radius unserer Kreisstandlinie, der Höhengleiche um den Bildpunkt, wobei auf der Erdkugel 1 Grad = 60 sm und 1 Winkelminute = 1 sm entsprechen. Die Bildpunktposition liefert das Nautische Jahrbuch. Hat man ein Gestirn im Zenit, so steht man auf dessen Bildpunkt, in diesem Sonderfall gleich der eigenen

Position. Eine grobe mögliche Position auf der oft riesigen Höhengleiche liefert die Einbeziehung der rwP (Azimut) des Gestirns. Um jedoch in der Karte eine Standlinie zeichnen zu können, benutzt man das

Höhendifferenzverfahren: Man berechnet aus den drei Variablen δ (Deklination), φ (Breite) und LHA (Ortsstundenwinkel) für seinen Koppelort die Rechenhöhe hr (hc) und das exakte Azimut (Az Z_n), die rwP zum Bildpunkt. Die Berechnung des nautischen Dreiecks erfolgt mit dem Taschenrechner (Formelspeicher) oder man benutzt Tabellen, die Az und hc für jeden vollgradigen LHA auflisten (HO -Tafeln). Früher erfolgte die Berechnung mittels Logarithmentafeln (Semiversusverf.). Gleich welche der drei Berechnungsmethoden verwendet werden : Aus δ , φ , und **LHA** erhält man **hc** und **Az** für seinen Koppelort. Der Azimutstrahl wird immer durch den letzten Koppelort gezeichnet.

Vergleicht man die **Rechenhöhe** hc mit der durch berichtigte Sextantmessung erhaltenen **beobachteten Höhe** ho erhält man das **delta h** oder **Intercept** (das kleiner als 60 Winkelminuten sein sollte. Ist delta h größer als 1 Grad, so ist hc für den neu konstruierten Ort als neuem Koppelort neu zu berechnen). Um diesen

Winkelminutenbetrag in sm wird die Standlinie auf dem Azimutstrahl in Richtung Bildpunkt ($ho > hc$) oder von ihm weg verschoben ($ho < hc$). Die Standlinie ist zwar ein Teil eines Kreises, sie wird jedoch genau genug als rechtwinklige Gerade (Kreistangente) auf dem



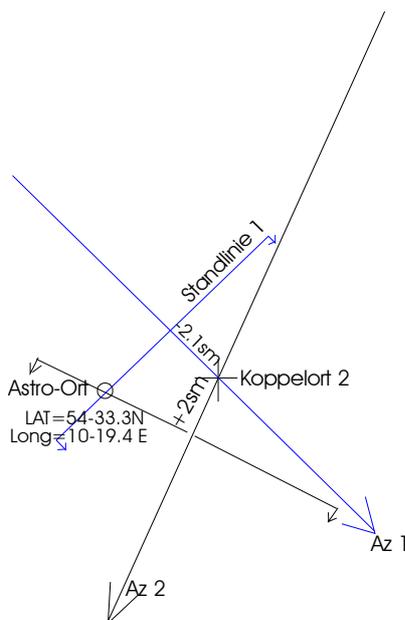
Azimut dargestellt. Für einen Astro-Ort benötigt man den Schnittpunkt mit einer 2. oder 3. Standlinie. Also eine 2. oder 3. Gestirnmessung möglichst zeitgleich (Sonne + Mond; oder zwei Fixsterne;....). (Beide Azimutstrahlen durch den Koppelort.) Tagsüber steht oft nur die Sonne zur Höhenmessung zur Verfügung. Sie wird dann im Abstand von 2-3 Stunden gemessen (das Azimut soll sich um ca 30° geändert haben für einen sauberen Schnittpunkt der Standlinien) und die erste Standlinie (Az durch Koppelort 1) wird um Kurs und Distanz der inzwischen erfolgten Versegelung parallel verschoben, (oder einfacher: man zeichnet beide Azimutstrahlen durch den Koppelort der letzten Messung).

Ein Beispiel für eine astronomische Ortsbestimmung (Höhendifferenzverfahren):

Eine Yacht -auf dem Wege von Fehmarn zur Schlei am 11.08.1989- mißt um UTC 10^{Std}-14^{Min}-44^{Sek} die Höhe des Sonnenunterrandes am Sextantgradbogen mit SA= 48⁰-17.2^{Min}; man steht vermutlich auf $\varphi = 54 - 30 N$; $\lambda=010 - 40 E$; Die Yacht segelt Küg 295⁰, Fahrt 3.5 kn; Um UTC 12 - 28 - 25 wird erneut die Sonnenhöhe gemessen, Sextantablesung SA =48-26.3 ;Der Koppelort 2 lautet nach einer Dist. von 7.8 sm $\varphi=54-33.3 N$; $\lambda=10-27.8 E$. Die Indexberichtigung Ib(=Sextantfehler) beträgt + 2'; die Augenhöhe Ah beträgt 2m. Wie lautet der Astro-Ort?

<p>UTC 10 - 14 - 44</p> <p>Grt 10⁰⁰ 328 - 42.4 +Zw 3 - 41.0 Grt 332 - 23.4</p> <p>+ λ_E 010 - 40.0 LHA 343 - 03.4</p> <p>δ 10⁰⁰ 15 - 13.1 N - Vb -0.2 δ 15 - 12.9 N</p> <p>SA 48 - 17.2 +Ib +2.0 KA 48 - 19.2 +Gb 12.5 ho 48 - 31.7</p> <p>hc 48 - 33.8</p> <p>Az 155⁰ delta h -2.1 sm</p>	<p>UTC 12 - 28 - 25</p> <p>Grt 12⁰⁰ 358 - 42.6 +Zw 7 - 06.3 Grt 005 - 48.9</p> <p>+ λ_E 010 - 27.8 LHA 016 - 16.7</p> <p>δ 12⁰⁰ 15 - 11.6 N - Vb -0.4 δ 15 - 11.2 N</p> <p>SA 48 - 26.3 +Ib +2.0 KA 48 - 28.3 + Gb 12.5 ho 48 - 40.8</p> <p>hc 48 - 38.8</p> <p>Az 204⁰ delta h +2.0 sm</p>	<p>Das Nautische Jahrbuch (NJ)liefert Grt für die vollen Stunden. Mittels der Schalttafeln erhält man den Zuwachs (Zw) für Minuten und Sekunden. Die Addition ergibt die sekundengenaue Bildpunktlänge bezogen auf den 0-Meridian (Grt, GHA). Den Ortstundenwinkel LHA erhält man durch Addition der eigenen Ostlänge bzw. Subtraktion der W-Länge.</p> <p>Das NJ liefert auch die Bildpunktweite δ für die vollen Stunden, wobei für die Minuten dazwischen interpoliert wird (Verbesserung =Vb).</p> <p>Nach der Sextantablesung SA wird der Sextantfehler Ib ausgeglichen (Indexberichtigung) und man erhält den Kimmabstand KA. Der KA wird nach Anbringung der Gesamtberichtigung (NJ) zur beobachten Höhe ho</p> <p>Mittels der Formeln der Kugel-Trigonometrie(oder Tabellen) erhalten wir aus den nun bekannten Größen LHA, δ und φ die gesuchte Rechenhöhe hc und das Azimut Az unseres Gestirns für unseren Koppelort.</p> <p>$hc = \sin^{-1}(\sin \delta * \sin \varphi + \cos \delta * \cos \varphi * \cos LHA)$ $Z = \cos^{-1}(\sin \delta * \sin \varphi * \sin hc / (\cos hc * \cos \varphi))$ If sin LHA>0 (Richtung West) then Az=360-Z else Az=Z</p>
<p>Das delta h (Intercept= ho-hc) und das Azimut sind letztlich die zur Standlinienkonstruktion benötigten Größen.</p>		

Zeichnerische Lösung: a) Durch den Koppelort 1 wird Azimut 1 und als Senkrechte darauf die Standlinie 1 gezeichnet. Dieser Ausschnitt der Höhengleiche geht nicht durch den Koppelort, sondern 2.1 sm weiter weg vom Gestirn (delta h = -2.1 Winkelminuten). Durch den Koppelort 2 wird die Peillinie zum Bildpunkt der 2. Sonnenmessung Az 2 gezeichnet. Auch hier verläuft die Standlinie nicht durch den Koppelort, sondern liegt 2 sm näher

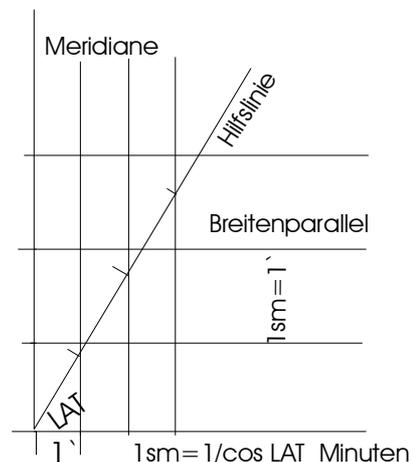


Direction Bildpunkt (delta h +2 Minuten). Standlinie 1 wird nun versetzt, d. h. um 7.8 sm in Richtung 295⁰ parallel verschoben. Der Schnittpunkt mit Standlinie 2 ist der Astro-Ort.

b) einfacher geht's folgendermaßen: Beide Azimutstrahlen mit ihren Standlinien durch Koppelort 2 wie neben abgebildet. Der Schnittpunkt der Höhengleichen ist der Astro-Ort.

Diese Methode kann in der Seekarte, aber auch auf einem beliebigen Papier (oder Plotting sheet= leere Merkator Karte für verschiedene Breitengrade) gezeichnet werden.

Benutzt man ein einfaches Papier, so ist bei der Bestimmung der Länge des Astro-Ortes zu berücksichtigen, daß auf einem Breitenparallel gilt: $1 \text{ sm} = 1 / \cos \varphi$ Längenminuten. Nur am Äquator und auf den Meridianen ist $1 \text{ sm} = 1$ Winkelminute (Großkreise).



Diese Umrechnung der Abweitung (sm) in Längenminuten kann auch zeichnerisch mittels einer Hilfslinie erfolgen, die durch den Koppelort geht und mit dem Breitenparallel den Winkel φ bildet. Die sm- Einheiten (z.B. 1cm=1sm) werden auf der Hilfslinie abgetragen, die Projektionen auf das Breitenparallel ergeben die Längenminuten.(=Merkator Karte selbstgemacht).