

Prinzipien der Astronomischen Navigation

Anni Walther + Wolf Scheuermann

2021-2022

Inhalt

Vorwort.....	1
Einleitung.....	1
Die Korrespondenz.....	2
Meridianfigur.....	4
Begriffe.....	29
Beispiel.....	35

Vorwort

Nachdem Anni Walther als Mitseglerin auf dem Traditionsegler ALBATROS mit mir als Steuermann gefahren ist, fand sie Interesse an der Seefahrt und den damit verbundenen Aufgaben und Problemen. Für den mittleren Schulabschluß sollte sie mit einer anderen Schülerin einen Vortrag zu einem Thema ihrer Wahl halten. Sie haben sich dafür astronomische Navigation ausgesucht.

Ich fand es toll zu hören, daß Anni Feuer für das gefangen hat, was zur Seefahrt gehört und half gerne, indem ich Hinweise gab, mit denen sich die Mädchen befassen konnten, um das Prinzip zu verstehen.

Dieser Artikel gibt den Dialog in Form der Korrespondenz wieder, die wir geführt haben um die astronomische Navigation für das Schulreferat verständlich zu machen.

Einleitung

WOLF:

Astronomische Navigation ist recht anspruchsvoll (immerhin hatte sich seinerzeit auch Newton daran versucht), aber es sollte genügen, wenn Anni und ihre Kameradin das Grundprinzip verstehen und gut erläutern können. Kapitän Gunther hatte wohl eine Präsentation darüber und ich habe auch

einige mehr oder weniger anspruchsvolle Bücher dazu, die alle dazu gedacht sind Astronav betreiben zu können. Das ist zu weit gesteckt. Auf meiner Webseite

<https://forschungskontor.de/Mathematik.html>

ist sogar ein kurzes Astroprogramm für einen alten BASIC-Taschenrechner zu finden, mit dem ich zur See gefahren bin. Ist aber sehr kryptisch.

Die Korrespondenz

WOLF:

Moin, Anni.

Folgende Begriffe sollten verstanden werden (Wir verwenden hier übrigens ein **geozentrisches Weltbild**, der Fehler dadurch geht im Meßrauschen unter):

Horizontebene als Tangentialebene an den **Beobachterort**, **Horizontkreis** als **Schnittkurve** der Horizontebene mit der **Himmelskugel**.

Himmelskugel, Erdkugel im Zentrum der Himmelskugel (Rotationsellipsoid und ähnliche Komplikationen gibt es in der handgemachten astronomischen Navigation nicht, Fehler unterhalb der Meßgenauigkeit).

Erdachse und **Polaris** (Nordstern), **geografische Länge** und **Breite**.

Die Begriffe **Zenit**, **Nadir**, **Vertikalkreis**.

Nordpunkt als Projektion des Nordsterns durch den Vertikalkreis auf den Horizontkreis; davon ausgehend die **Hauptstimmrichtungen** auf dem Horizontkreis.

Azimut (entspricht einer **Himmelsrichtung**; unsere Kursrichtung, die wir steuern, ist auch ein Beispiel eines Azimuts. Und das ist schon die simpelste Art von Astronavigation: wenn wir den Nordpunkt finden können und ihn immer an Steuerbord halten, fahren wir nach Westen. Wenn wir dann Land sehen, glauben wir in Indien zu sein, sind aber in Amerika...).

Gestirn: Fixstern, Sonne (und sie bewegt sich doch), **Planeten** (schwierig), **Mond** (noch schwieriger).

Bildpunkt des Gestirns auf der Erdoberfläche (ändert seinen Ort mit der Zeit, da sich die Erde dreht → Stundenwinkel).

Höhe des Gestirns über dem Horizont.

So, ich glaube, das sind erst mal genug Begriffe, die Du Dir zu Gemüte führen kann. Du solltest Dir einfache Zeichnungen dazu anfertigen, macht es einfacher und erleichtert die Vorstellung. Auf meiner Webseite ist die **Meridianfigur** dargestellt (noch aus meiner Studienzzeit), darin tauchen viele Begriffe auf (wenn's auch aussieht wie ein Spinnennetz...). Ich habe auch Präsentationen für die UL-Flugnavigation darauf, wo zu Beginn ebenfalls viele Grundbegriffe erläutert werden.

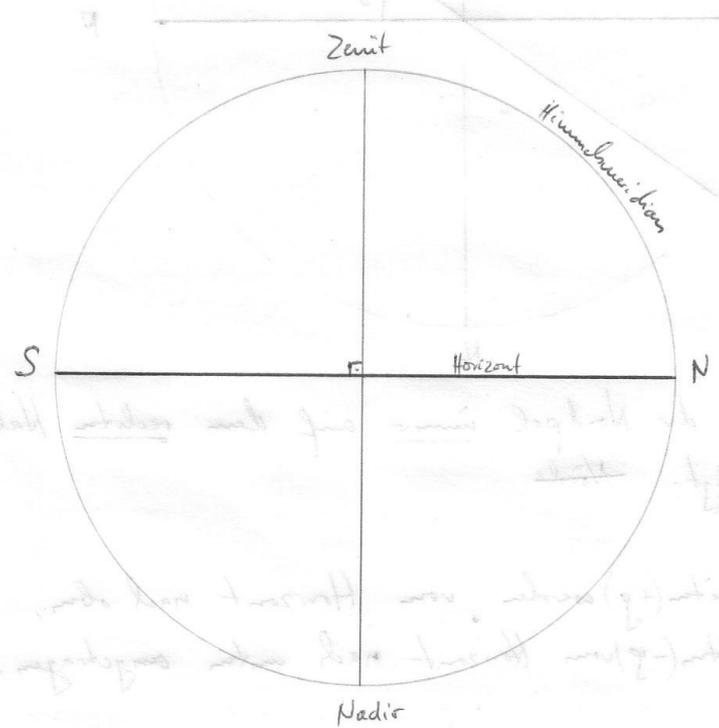
Meridianfigur

MERIDIANFIGUR 5.11.22

Früher zur Sternfindung.

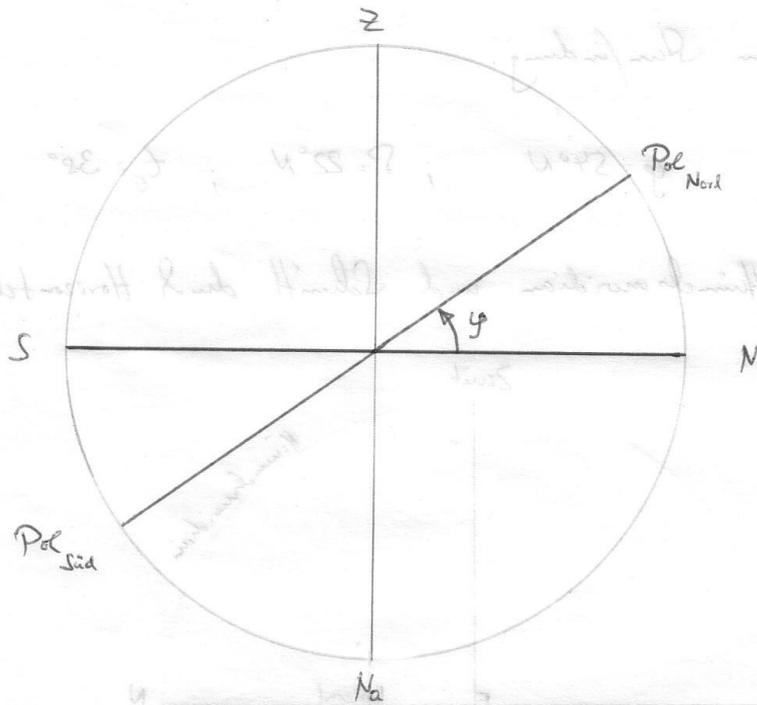
Beispiel: $\varphi = 54^\circ N$; $\delta = 22^\circ N$; $t_e = 38^\circ$

Schritt 1: Himmelsmeridian und Schnitt durch Horizontebene:



Das Bild so orientieren, daß die Südrichtung links ist.

Schritt 2: Polachse entsprechend der geographischen Breite einzeichnen:

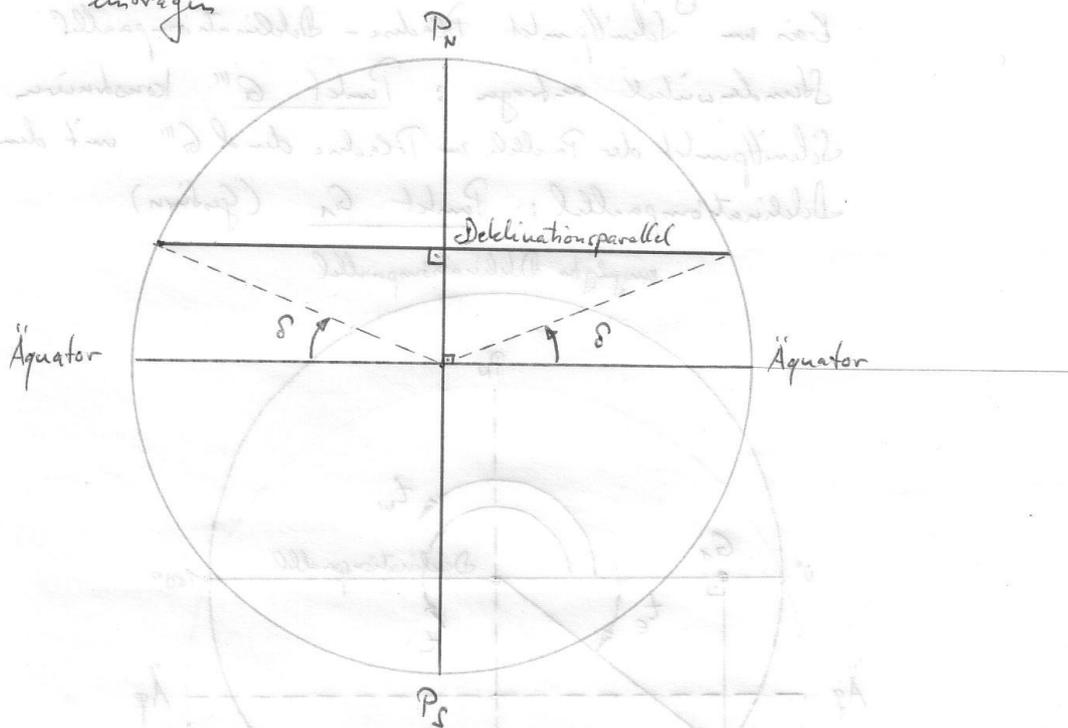


Wichtig ist, daß der Nordpol immer auf dem rechten Halbkreis Z-N-Na liegt.

Nördliche Breiten (+φ) werden vom Horizont nach oben, südliche Breiten (-φ) vom Horizont nach unten angetragen.

Schritt 3: Das Blatt Papier so drehen, daß P_N nach oben orientiert ist.

Den Himmelsäquator und das Deklinationsparallel eintragen

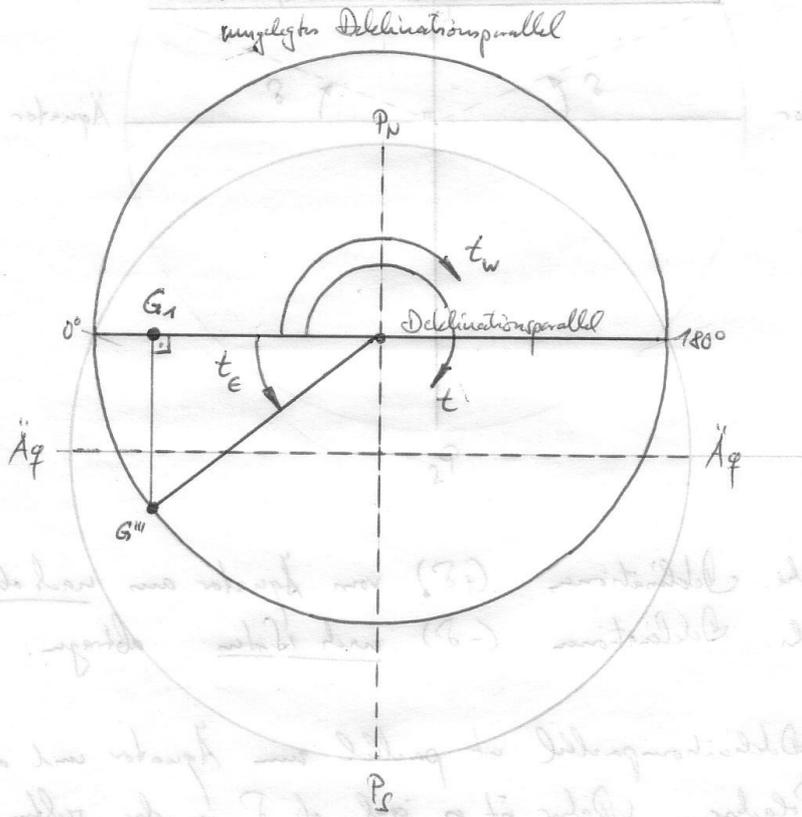


Nördliche Deklinationen (+ δ) vom Äquator aus nach oben,
südliche Deklinationen (- δ) nach unten abtragen.

Das Deklinationsparallel ist parallel zum Äquator und orthogonal zur Polachse. Daher ist es egal, ob δ in der rechten oder der linken Hälfte der Zeichnung angebracht wird.

Schritt 4: Draufsicht auf das Deklinationsparallel (umgelegtes Deklinationsparallel) und Stundenwinkel:

Orientierung des Blattes wie in Schritt 3
Kreis um Schnittpunkt Polachse - Deklinationsparallel
Stundenwinkel antragen: Punkt G''' konstruieren
Schnittpunkt der Parallele zur Polachse durch G''' mit dem Deklinationsparallel: Punkt G_1 (Gestein).



Die Zählung des Stundenwinkels (t, t_E, t_w) beginnt links bei 0°
 t (vollständig) wird im Uhrzeigersinn gezählt, t_w (halbwegs)
ebenso.

t_E wird bei 0° beginnend im Gegenuhreigersinn gezählt.

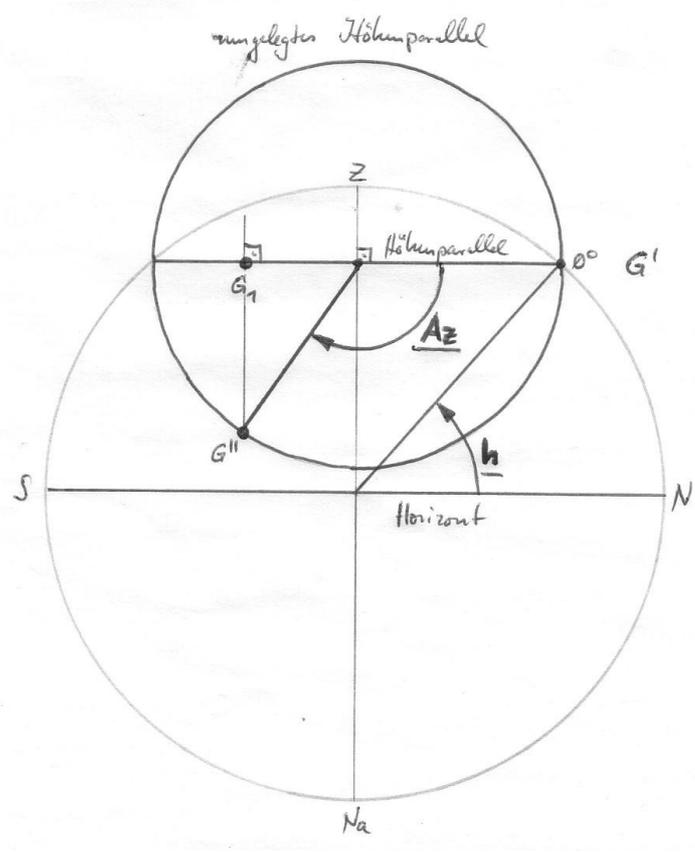
Schritt 5 : Konstruktion des Höhenparallels:

Das Blatt Papier wieder so orientieren, daß der Horizont wieder wagrecht liegt und Zent oben ist.

Parallele zum Horizont durch G_1 : (Schnitt durch das) Höhenparallel Kreis im Schnittpunkt Höhenparallel mit Achse Zent-Nadir: ungelegtes Höhenparallel.

Parallel zur Achse Zent-Nadir durch G_1 ergibt geschnitten mit dem ungelegten Höhenparallel den Punkt G'' .

Lag G''' auf dem unteren Halbkreis des ungelegten Deklinationsparallels, so liegt auch jetzt G'' auf dem unteren Halbkreis des ungelegten Höhenparallels (und umgekehrt analog).

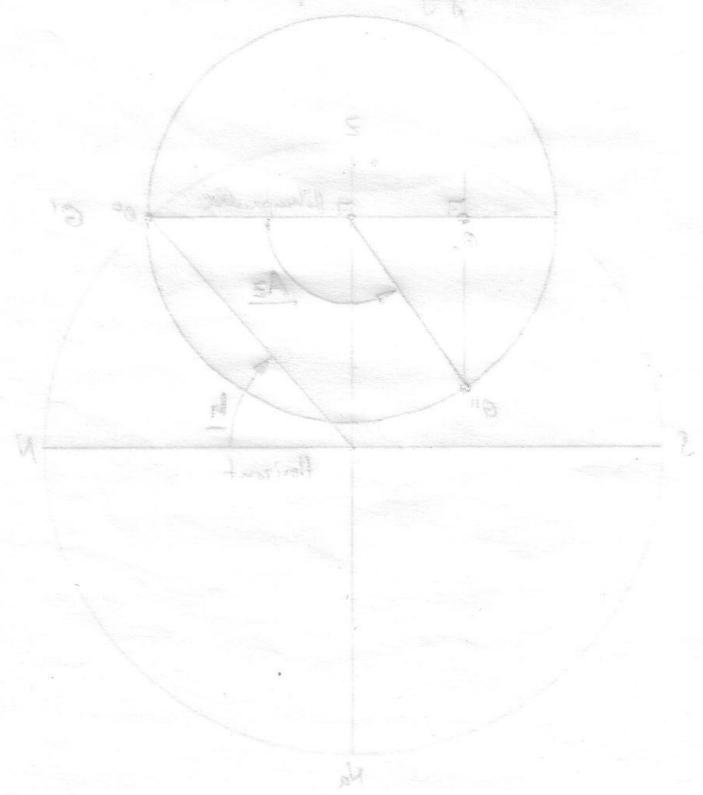


2. Fall

Das Azimut A_z zählt vollständig im Uhrzeigersinn auf dem umgelegten Höhenparallel beginnend mit 0° bis G' bis G'' . 0° liegt immer rechts!

Den Höhenwinkel h des Gestirns misst man vom Horizont nach oben bis G' .

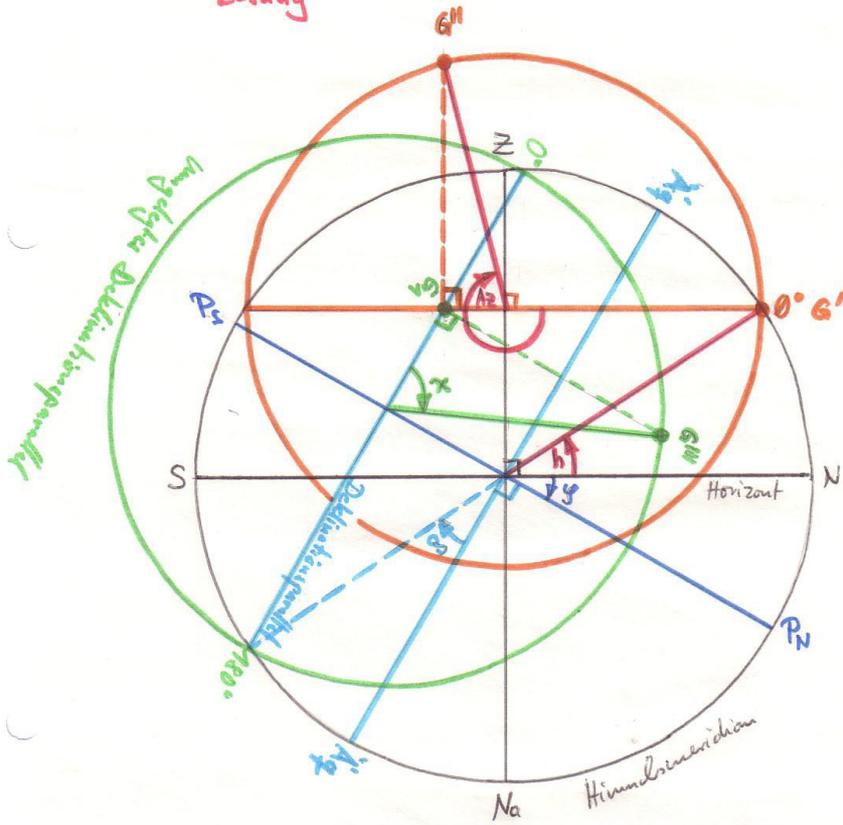
Das Azimut A_z zählt vollständig im Uhrzeigersinn auf dem umgelegten Höhenparallel beginnend mit 0° bis G' bis G'' . 0° liegt immer rechts!



2. Beispiel

$\varphi = 30^{\circ} S$; $\delta = 26^{\circ} S$; $t = 66^{\circ}$

- Schritt 1
- Schritt 2
- Schritt 3
- Schritt 4
- Schritt 5
- Lösung



Zeichnerisch: $A_2 = 256^{\circ}$
 $h = 32^{\circ}$

Rechnerisch: $A_2 = 256,5^{\circ}$
 $h = 32^{\circ} 23,8'$

Höhe h_r :

$$y \sin \alpha + MR \cos \alpha$$
$$\cos \alpha \pm \cos = \sin^{-1} \dots \rightarrow h_r$$

Azimuth Az :

$$\delta \cos \alpha \pm \sin \div h_r \cos = \sin^{-1} \rightarrow Az$$

Wie wir von hier zur astronomischen Ortsbestimmung kommen schreibe ich später. Erst mal soviel als **Denksport**: in welcher Höhe steht ein Gestirn überm Horizont, wenn wir uns genau auf seinem Bildpunkt befinden? Und wie hoch, wenn wir 1/4 Erdumfang davon entfernt sind?

Ich werde auch ein paar einfache Zeichnungen dazu machen und melde mich dann später wieder.

WOLF:

Ich habe ein paar Zeichnungen vorbereitet, die Euer Referat betreffen. Oben hatte ich ja viele Begriffe genannt, die damit im Zusammenhang stehen. Euer Referat könnte beliebig in die Tiefe gehen, aber es geht wohl vor allem darum, das **Grundprinzip** zu verdeutlichen. Die Zeichnungen, die ich Dir jetzt schicke, sollten dafür mehr als ausreichen.

Ich will dazu nicht viele Erläuterungen geben, Ihr sollt ja auch ein bisschen darauf herumdenken.

Die ersten 6 Blätter **illustrieren** vor allem die genannten **Begriffe**.

Blatt 7, 8 und 13 illustrieren die **Veränderung der Parameter mit der Zeit** (ein Detail).

Blatt 9 zeigt das Allerwichtigste: Die **Änderung der beobachteten Höhe** des Gestirns in Abhängigkeit vom **Abstand zum Bildpunkt**. Außerdem siehst Du daran, wie Kolumbus nicht nur nach Westen segeln konnte, sondern auch seinen Breitengrad kontrollieren konnte!

Blatt 10 ist die **Verallgemeinerung** davon!

Blatt 11 und 12 zeigen wieder Details.

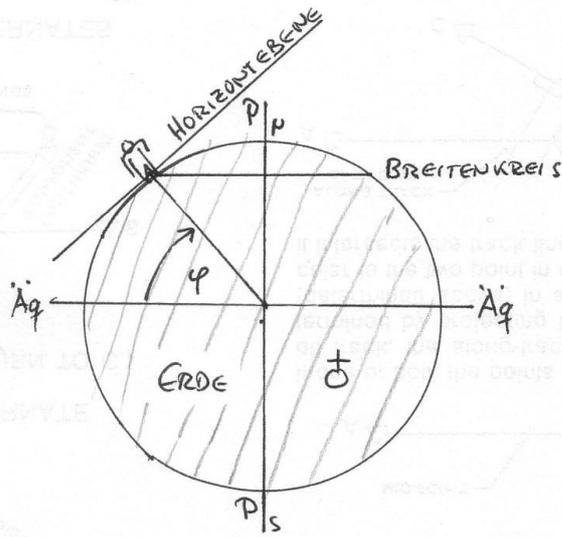
Blatt 14 zeigt dann, wie man damit zu seiner **Ortsbestimmung** kommt: Zuerst ein Trick: Man tut so, als wüßte man schon, wo man ist (am **Koppelort** nämlich). Tatsächlich weiß man ja so ungefähr, wo man sich rumtreibt, z.B.: Sonnensystem, Planet Erde, Atlantik, England, etc). Das reicht im allgemeinen schon. Man rechnet dann **für den Koppelort Azimut und Höhe** des beobachteten Gestirns aus, **mißt die Höhe und die Uhrzeit** der Beobachtung und mit dem Azimut und der **Differenz der gerechneten zu der beobachteten Höhe** kann man dann die **Standlinie** in der Karte zeichnen. Da eine **Standlinie** noch **kein Standort** ist, **wiederholt** man das Verfahren für verschiedene Sterne (die sieben hellsten, die gerade zu sehen sind).

Wie man die **Messungen** macht und auswertet, das wäre Stoff genug für ein eigenes Referat, das könntet Ihr Euch also aufheben für später. Das Verfahren liefert einen **Ort mit einem Fehlerkreis** mit einem Radius von bestenfalls 2 Seemeilen, in dem man mit ca. 95% Wahrscheinlichkeit steht.

Ich hätte da eine Frage, allerdings kann die eher Deine Mutter Andrea, die Mathematikerin, beantworten: Wie kann ich aus diesem **Standlinien-Mikado** (Blatt 15) den **Standort herausfiltern**? In der Praxis wurde das eher so nach Augenmaß gemacht.

Also, wenn Du Fragen dazu hast, schreib sie mir. Es kommt vor allem darauf an, zu erkennen, was wichtig ist und was Details sind, die man zwar braucht, wenn man rechnen und Astronavigation betreiben will, aber für die Erläuterung des Prinzips weglassen kann.

Für Euch als Referierende ist es manchmal aber nützlich, etwas genauer Bescheid zu wissen. Das macht das Vortragen auch leichter.

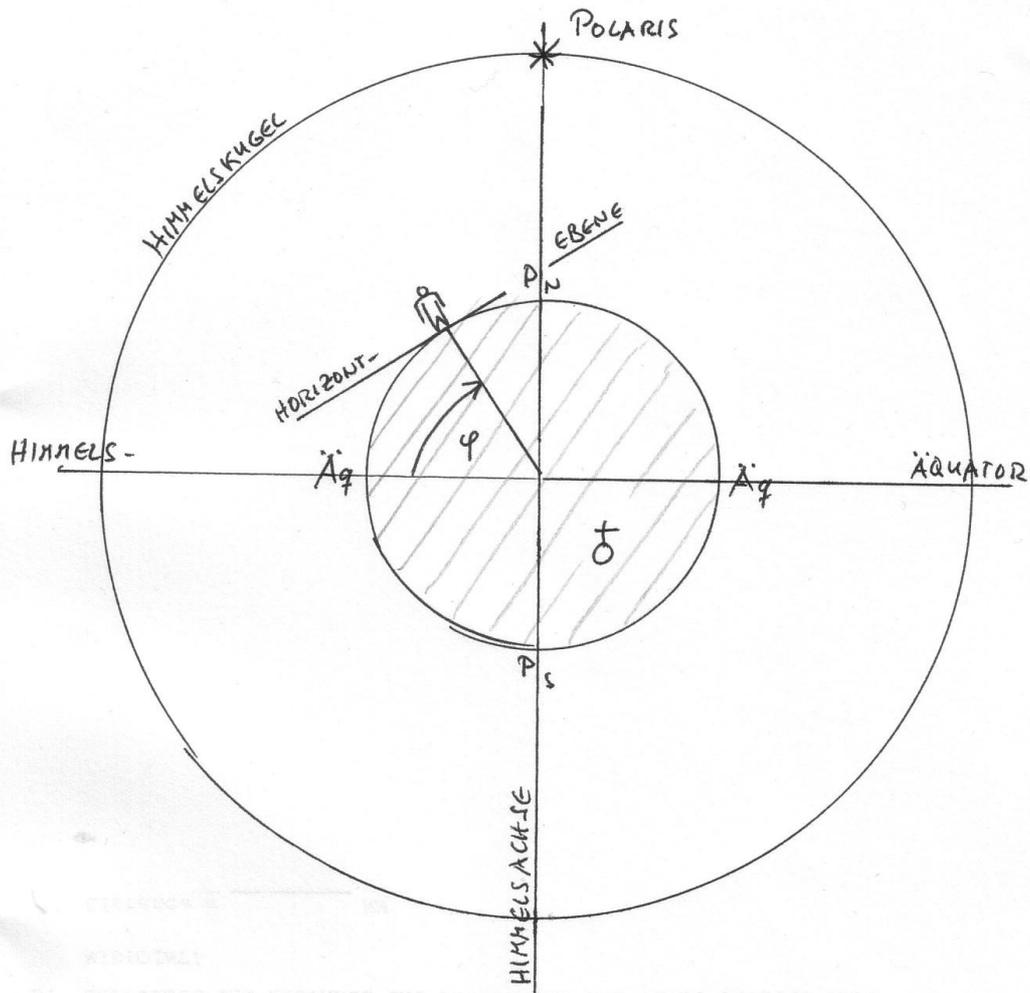


ERDACHSE

NAVIGATOR AUF DER ERDE

1

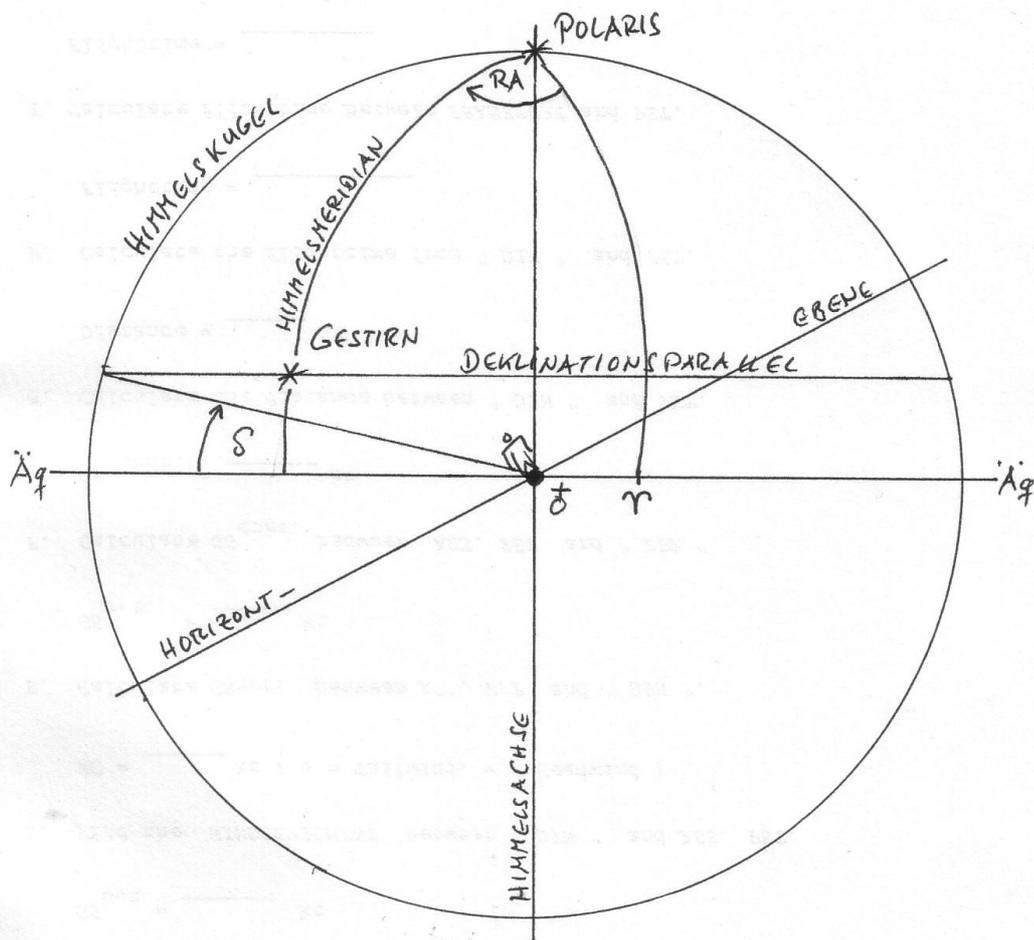
Bild 1



ERDE IM ZENTRUM DER HIMMELSKUGEL

(2)

Bild 2



DAS GANZE GESCHRUPFT AUF "REALE" VERHÄLTNISSE:
 DER RADIUS DER HIMMELSKUGEL IST UNENDLICH GROS.

δ : DEKLINATION DES GESTIRNS

WO IST DIE BREITE φ GEBLIEBEN?

RA: REKTASZENSION DES GESTIRNS

γ : WIDDERPUNKT

(3)

Bild 3

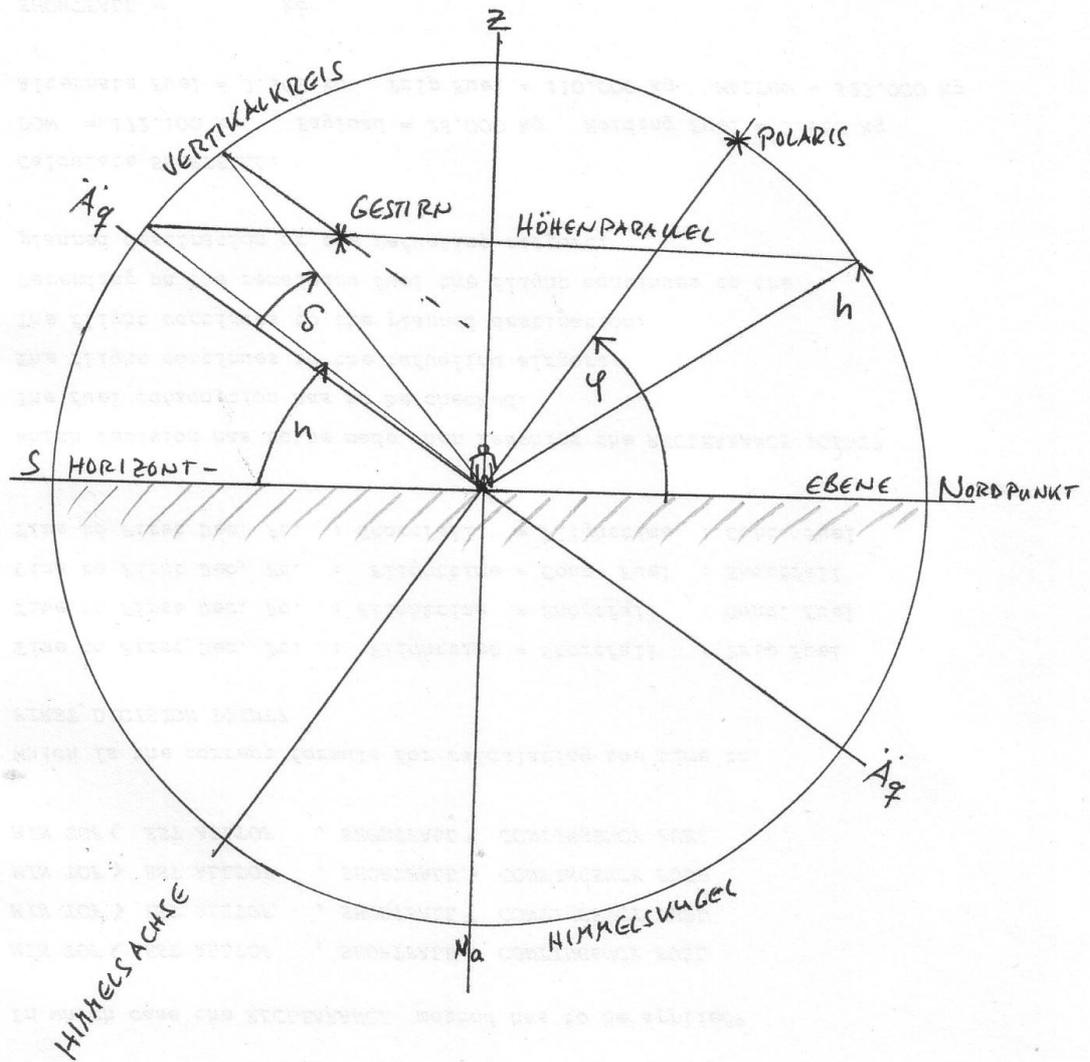
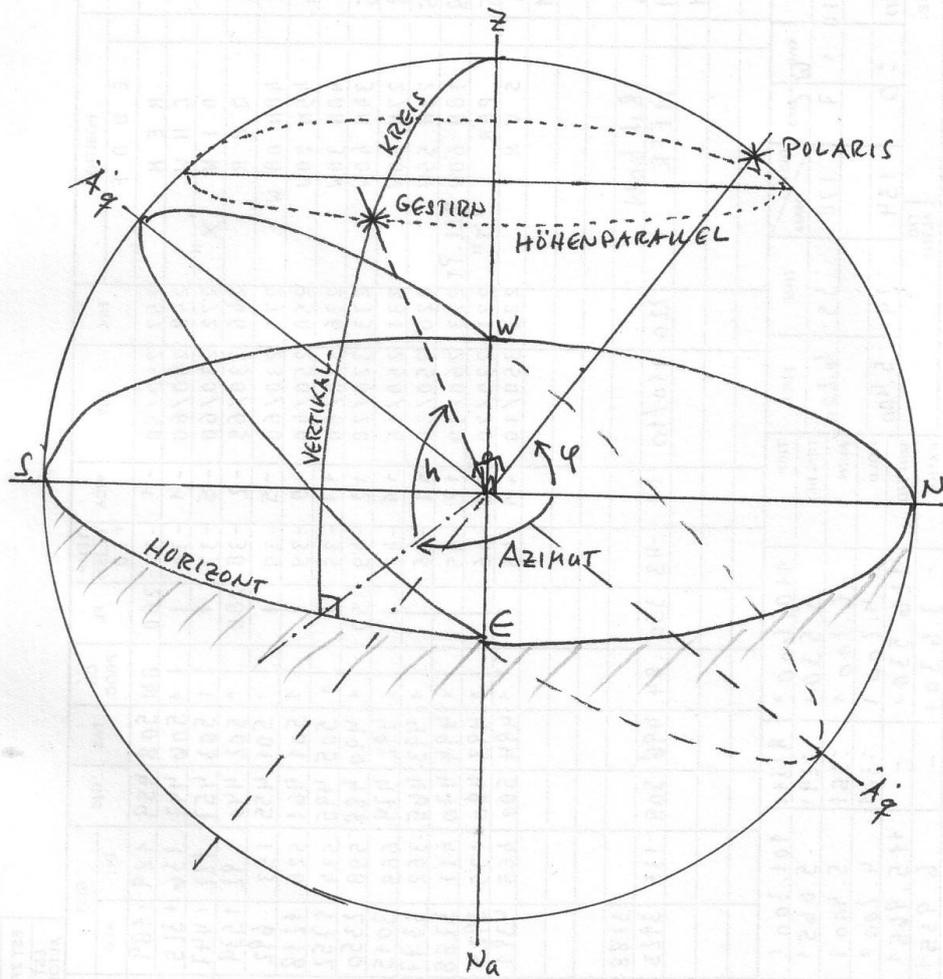


BILD 3 GEOREHT, SO DAß WIR AUFRECHT STEHEN.

(4)

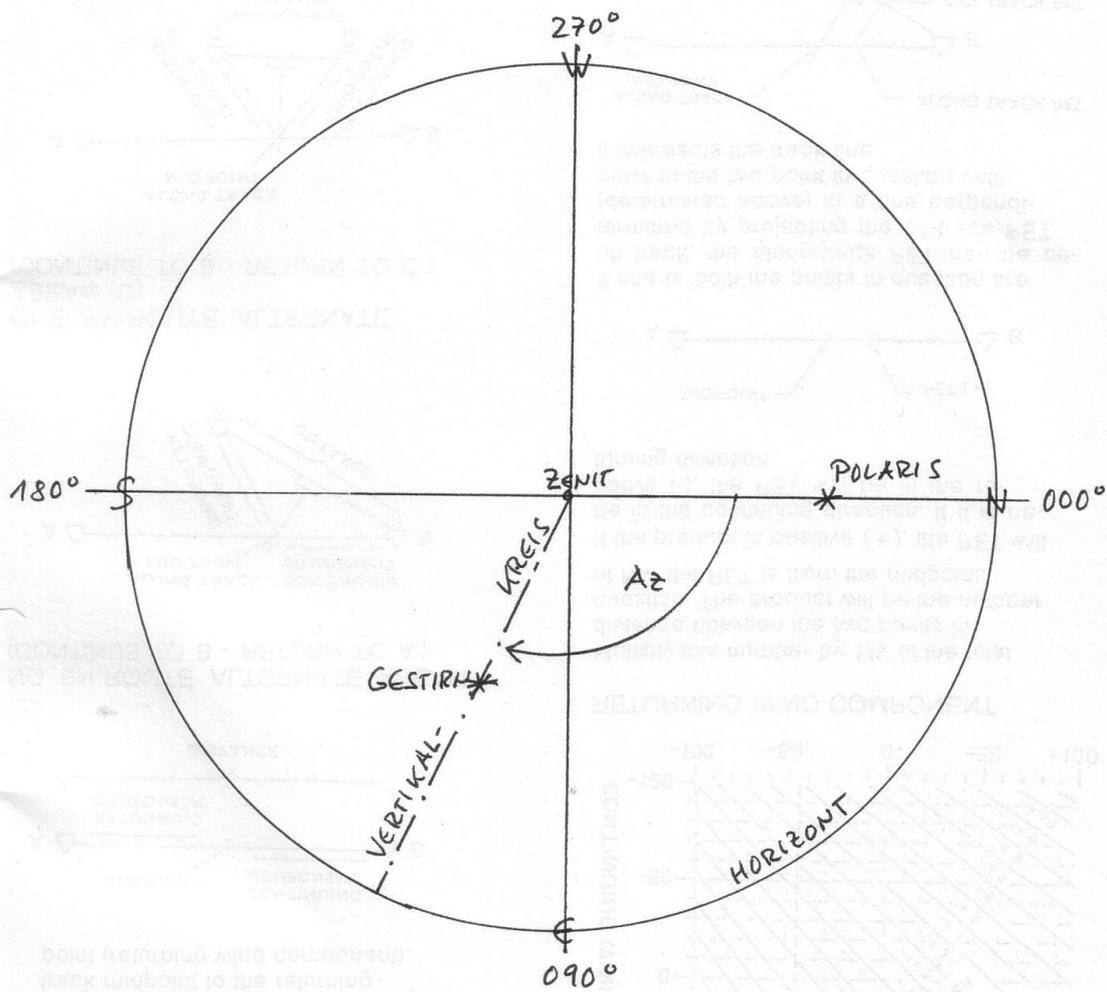
Bild 4



DIE HIMMELSKUGEL GEKIPPT, UM DIE ZUSAMMENHÄNGE ANSCHAULICH ZU MACHEN.

5

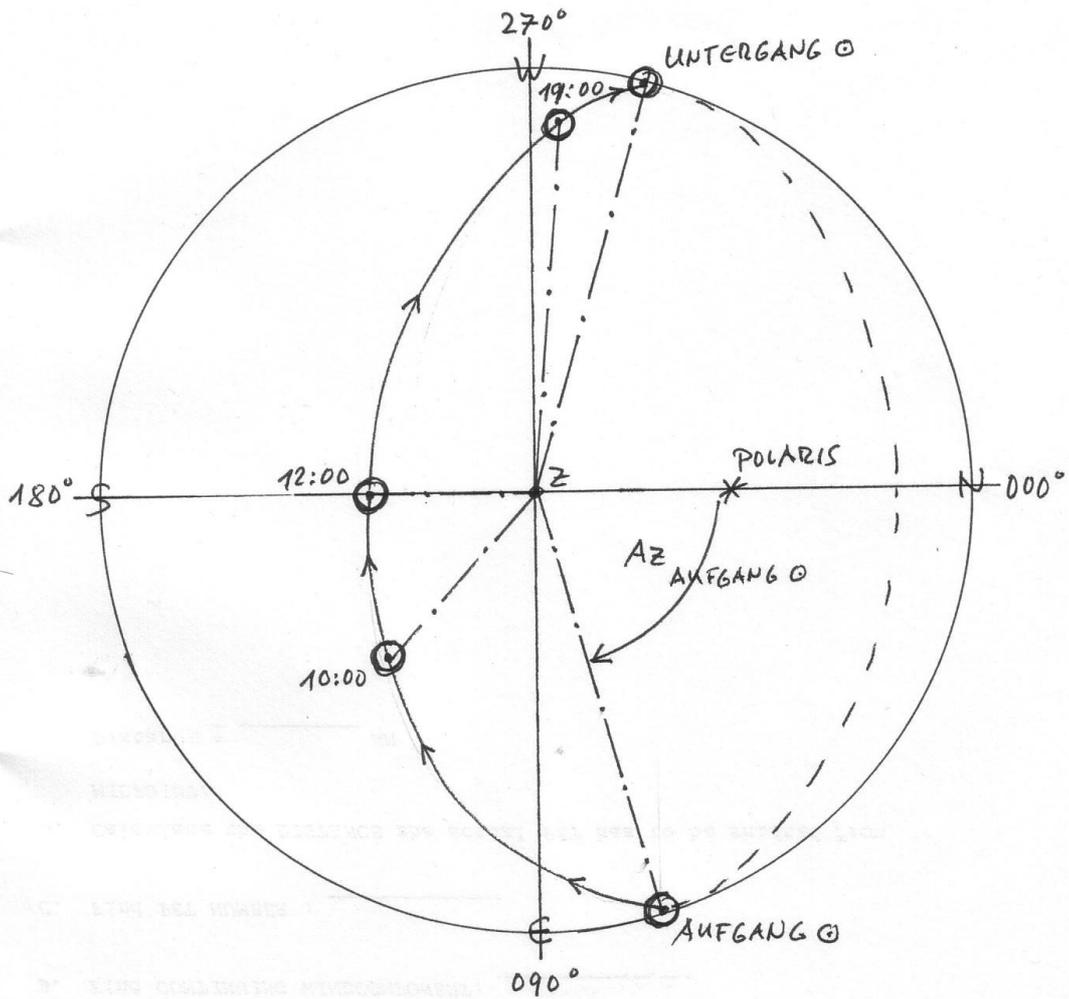
Bild 5



BLICK VON OBEN (VON ZENIT) AUF DIE HIMMELSKUGEL.

(6)

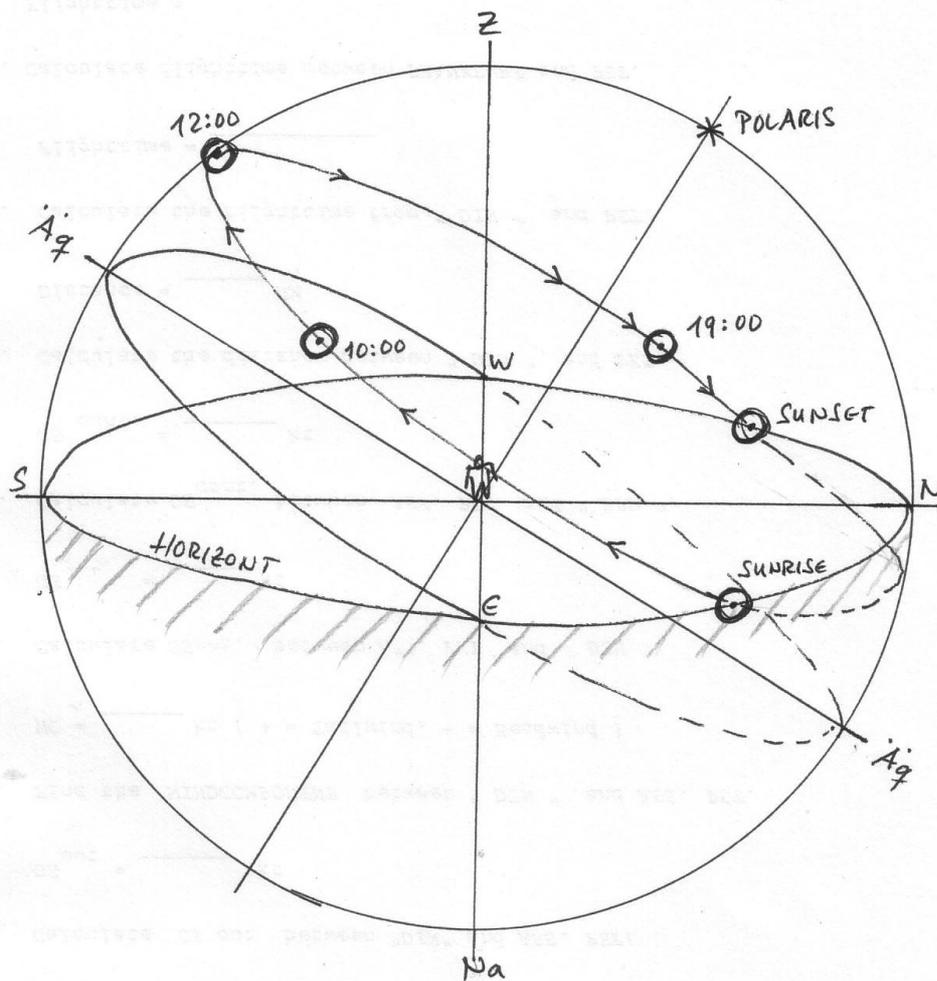
Bild 6



DIE HIMMELSKUGEL ROTIERT (WEGEN DER ERDROTATION)
 BEWEGUNG EINES GESTIRNS (BEISPIEL: SONNE ☉)

(7)

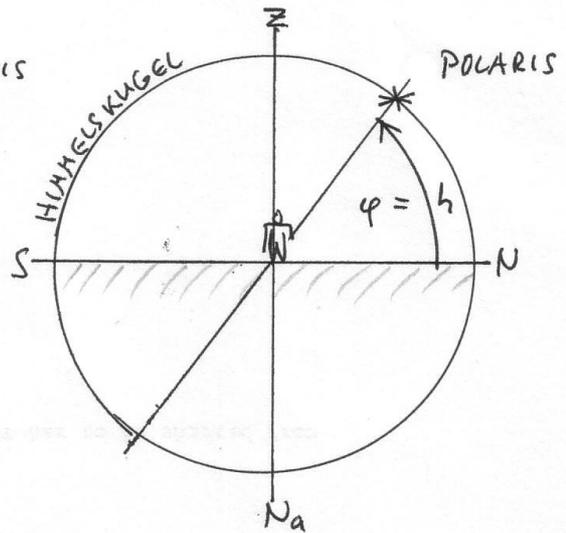
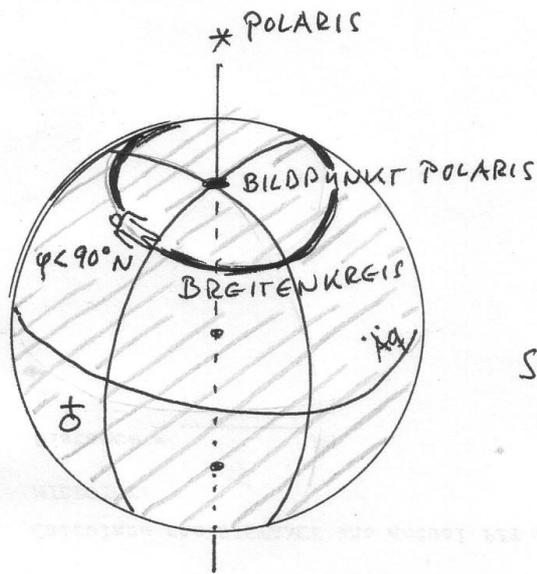
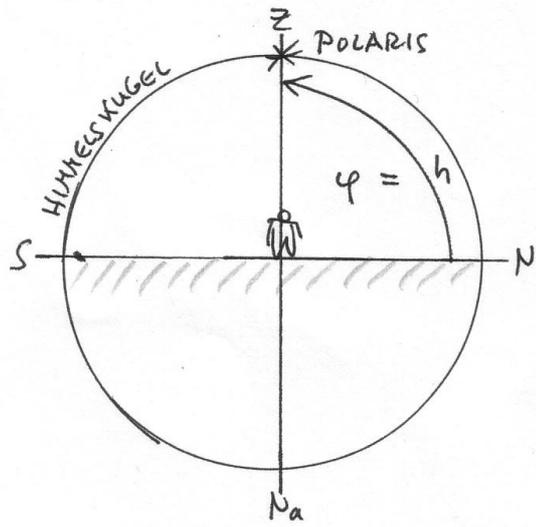
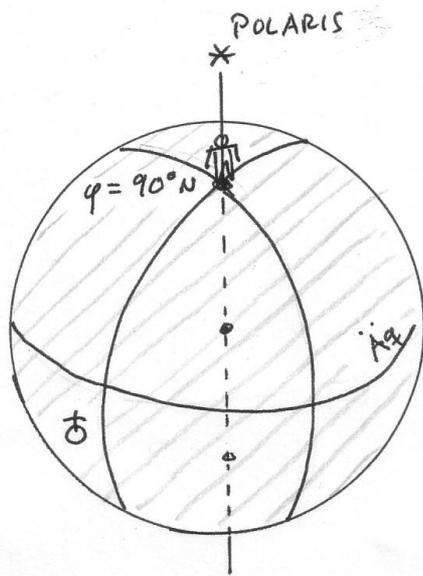
Bild 7



TAGESLAUF DER SONNE ☉ IM SOMMER AUF UNSEREN BREITEN.
 JE NACH UHRZEIT IST DIE HÖHE DES GESTIRNS ÜBER DEM HORIZONT VERSCHIEDEN GROS.

8

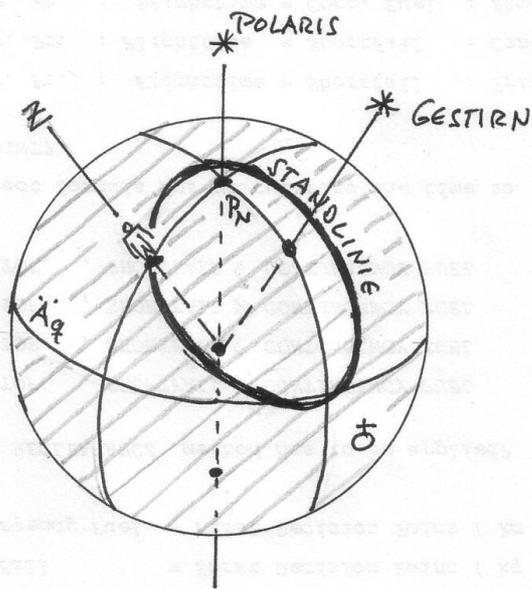
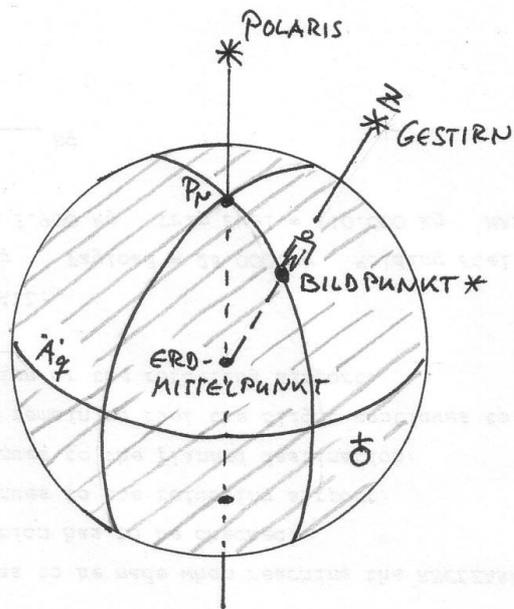
Bild 8



VERHÄLTNISSE AUF DER ERDE UND AN BEOBSACHTERSTANDORT

9

Bild 9



10

Bild 10

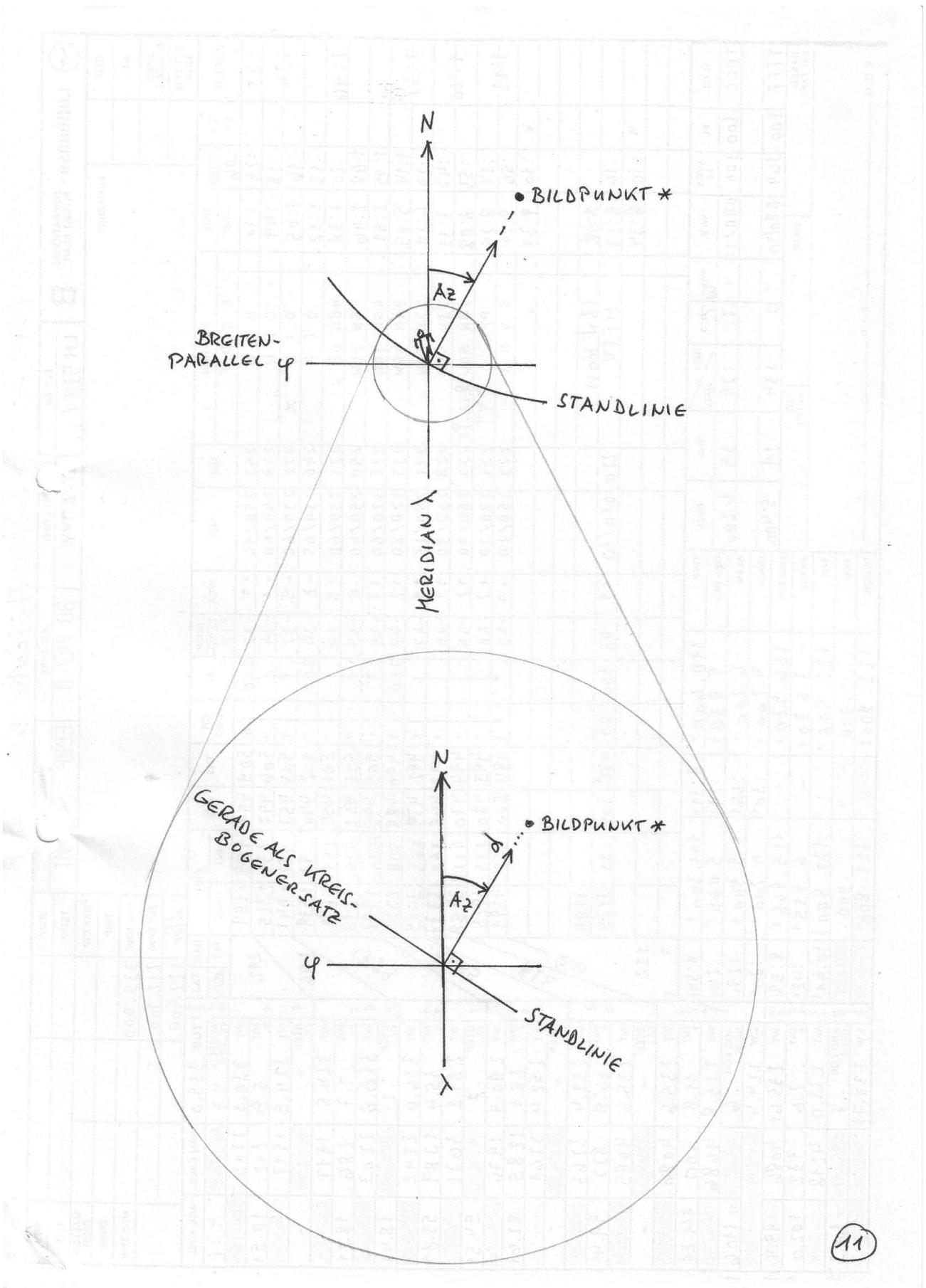
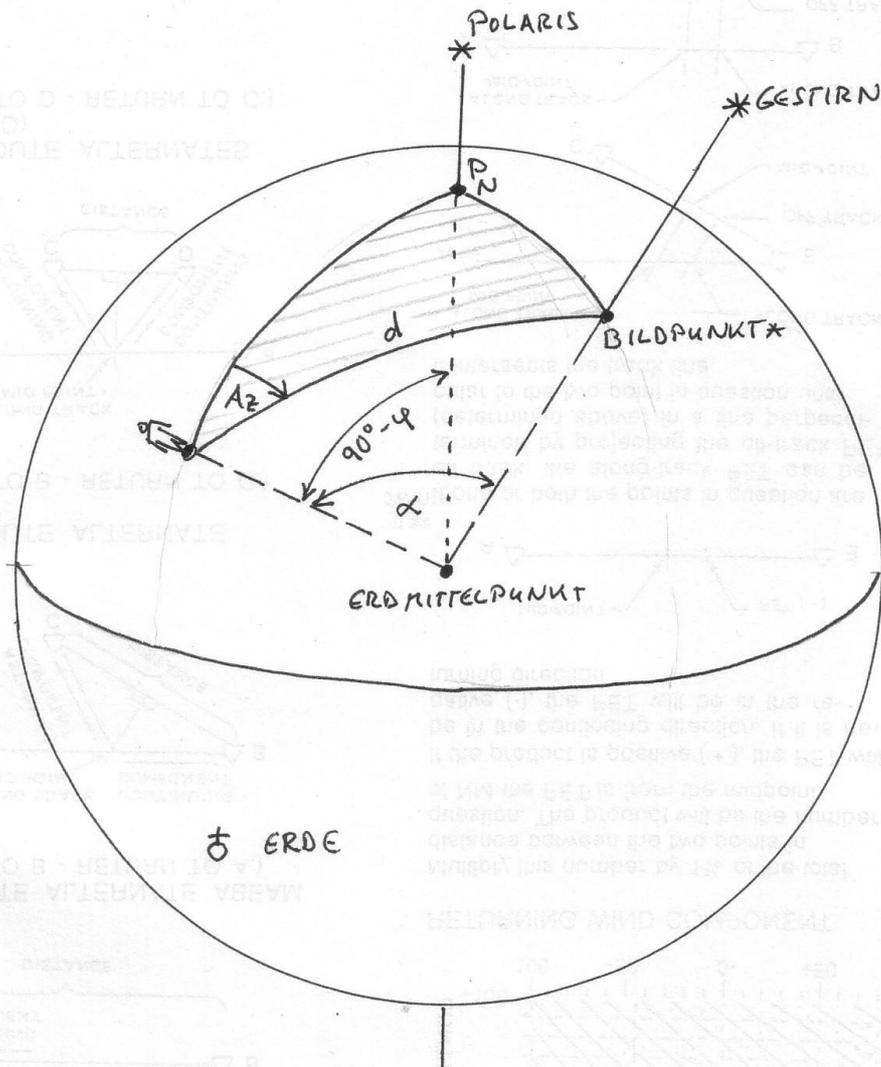


Bild 11



DAS SPHÄRISCHE DREIECK ZUR BERECHNUNG VON A_2 UND d

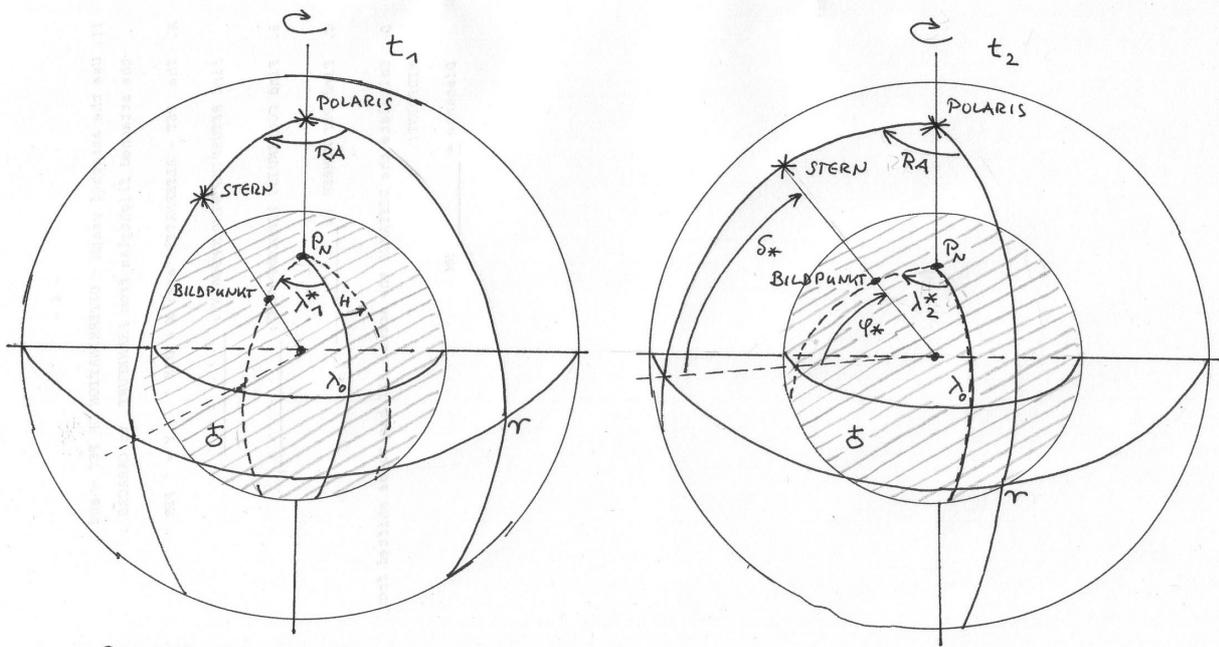
bzw. α

$$\alpha = 90^\circ - h$$

ENTSPRICHT BERECHNUNG DES GROSSEKREISES ZWISCHEN NAVIGATOR UND BILDPUNKT DES GESTIRNS

(12)

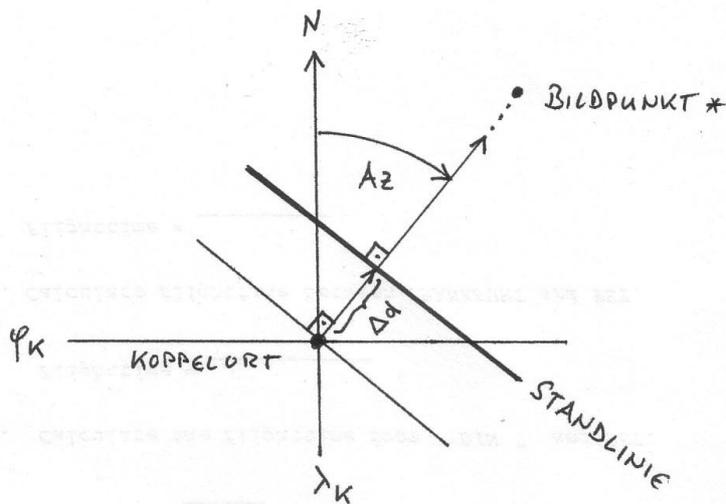
Bild 12



BERECHNUNG DER KOORDINATEN DES GESTIRNBILDPUNKTES (φ_* , λ_*)
 GREENWICHER STUNDENWINKEL $H(t)$ DES WIDDERPUNKTES ZUM ZEITPUNKT t UND $RA \rightarrow \lambda^*(t)$
 $\varphi_* = \delta_*$

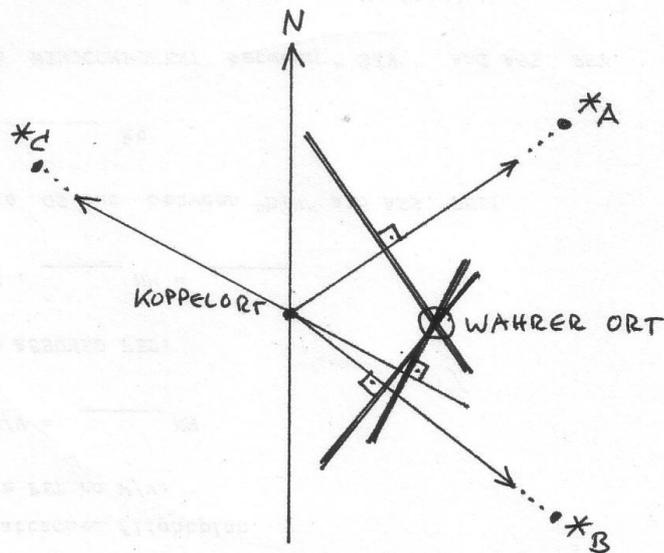
(13)

Bild 13



ANNAHME: WIR BEFINDEN UNS AM KOPPELORT (φ_K, λ_K)
 WIR BERECHNEN Az UND h_K , BEOBSACHTEN ABER h_B
 ANGENOMMEN $h_B > h_K \rightarrow \Delta h = h_K - h_B < 0 \rightarrow \Delta d < 0$
 \rightarrow WIR STEHEN NÄHER AM BILDPUNKT ALS VERMUTET
 \rightarrow DIE STANDLINIE MUß ZUM BILDPUNKT HIN VERSCHOBEN WERDEN

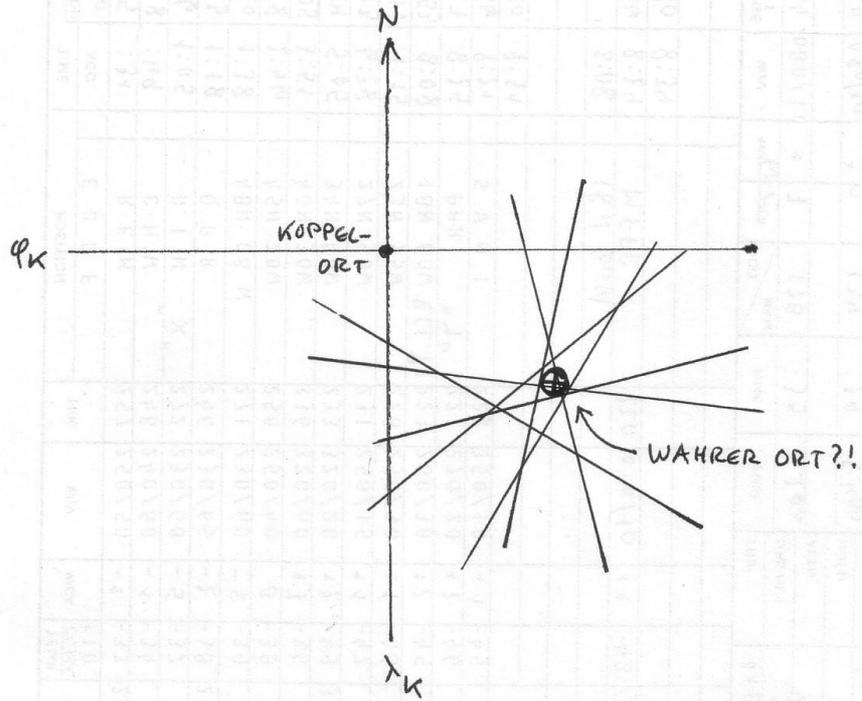
EINE STANDLINIE IST NOCH KEIN STANDORT. MEHRERE
 BEOBSACHTUNGEN SIND NÖTIG. IDEAL:



(14)

Bild 14

REAL SIEHT ES EHER SO AUS:



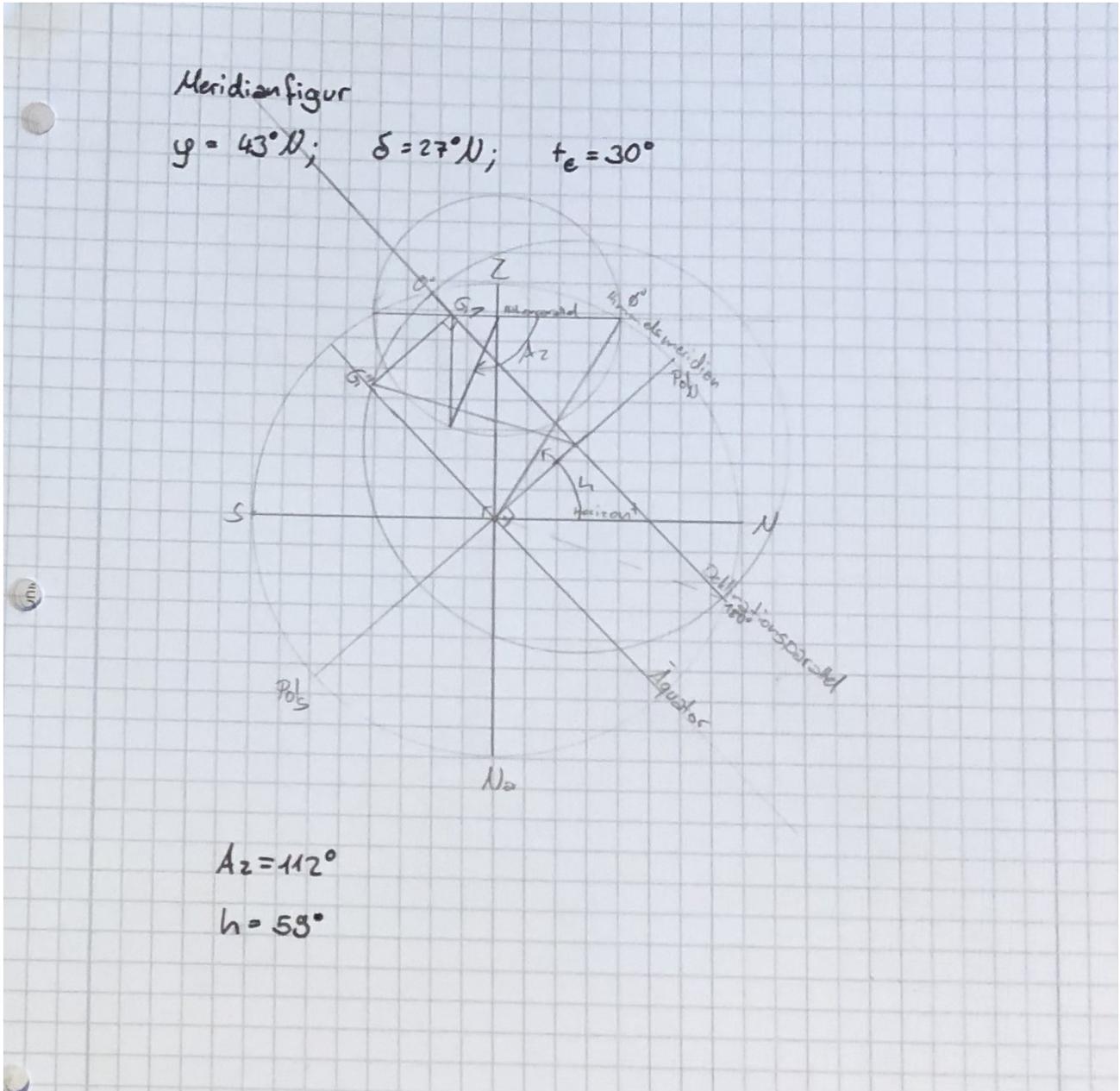
15

Bild 15

ANNI:

Ich habe mich jetzt mal dran gesetzt und selber eine Meridianfigur gezeichnet und wollte Dich da einmal drüber gucken lassen.

Außerdem hatte ich noch ein paar Fragen dazu. Woher genau haben wir die gegebenen Winkel? Kann man die mit dem Sextanten messen? Und das Azimut stellt die Rotation des Gestirns vom Horizont dar oder?



WOLF:

Deine Meridianfigur ist vollkommen korrekt!

Ich nehme an, daß Du die Werte für **Azimut** und **Höhe herausgemessen** hast und sie bewegen sich gut im Rahmen der rechnerischen Größen. Damit hast Du **zeichnerisch** das Problem gelöst, wie Du für einen **gegebenen Ort** (φ , λ) und ein **gegebenes Gestirn** (δ , RA) zu einem **bestimmten Zeitpunkt** (T) das Azimut und die Höhe bestimmst. Meine Zeichnung 12 ist dagegen

eher die Grundlage für die rechnerische Bestimmung der Größen mittels trigonometrischer Formeln.

Vielleicht fragst Du Dich, wo finde ich **lambda**, **RA** und **T**? Ich werde Dir das Geheimnis später verraten - vielleicht ahnst Du schon die Lösung: es steckt alles irgendwie in dem **Winkel t_E** , bzw **t_W** . Auf jeden Fall sollte es Dir jetzt nicht allzu schwer fallen, meine Zeichnungen 1 bis 6 zu verstehen und zu den Größen in der Meridianfigur in Verbindung zu bringen.

Auf die rechnerische Bestimmung würde ich an Deiner Stelle aber nicht tiefer eingehen. Wichtig ist hier für das weitere Verständnis lediglich, daß die **Verbindung zwischen geografischem Ort und Bildpunkt des Gestirns**, der **Radius des Standkreises** (Zeichnung 10), immer ein **Großkreis** ist. Und auf einem **Großkreis entspricht der Winkel einer Bogenminute einer Seemeile**.

Ich empfehle Dir, fange in Deinem Referat mit der **grundlegenden Idee der astronomischen Navigation** an: Man tut so, als wisse man bereits wo man ist, und bestimmt Azimut und Höhe des zu beobachtenden Gestirns. Dann **sucht man in der entsprechenden Kompaßrichtung** das **Gestirn** und **mißt die Höhe** mit dem **Sextanten** und **vergleicht** sie mit der **theoretischen**. Damit **korrigiert** man die **Standlinie**. Das macht man **mit mehreren Gestirnen** und erhält so durch den **Schnitt der Standlinien** seinen **Standort** (Zeichnungen 11 und 14).

Wenn Du so anfängst, ergibt sich von alleine die Notwendigkeit, welche Details Du erläutern mußt, damit Deine Zuhörer das Prinzip verstehen.

Man verwendet zum **Zeichnen der Standlinie** übrigens tatsächlich das **gerechnete Azimut**, da hier ein **Fehler** von ein paar Grad **nicht viel zum Ortsfehler** beiträgt. Aber die **Höhe** muß auf eine **Bogenminute** oder besser gemessen werden, da hier entlang eines Großkreises (des Radius der Standlinie) geschaut wird und da ist eine Bogenminute eine Seemeile! Ich werde Dir später noch zeigen, daß **auch der Zeitpunkt der Höhenmessung** auf die **Sekunde genau** gemessen werden muß. Nur soviel: Die Himmelskugel "rotiert" in 24 Stunden einmal, also 360° bzw. $360 \cdot 60$ Seemeilen um den Äquator. Wieviele Seemeilen dreht sie sich in einer Sekunde?

Im Moment bin ich mit meiner Frau in Süddeutschland unterwegs. Deshalb schicke ich Dir später Bilder und entsprechende **Erläuterungen** zum oben genannten "**Geheimnis**".

Begriffe

Stundenkreise

sind halbe Großkreise senkrecht zum Himmelsäquator, die vom oberen zum unteren Pol führen.

Oberer Meridian

ist der Stundenkreis durch den Zenit; er ist der auf die Himmelskugel projizierte Meridian des Beobachters.

Unterer Meridian

ist der Stundenkreis durch den Nadir des Beobachters.

Greenwicher Stundenkreis

ist der auf die Himmelskugel projizierte Nullmeridian der Erde.

vollkreisiger Ortsstundenwinkel (t)

ist der Winkel am oberen Pol zwischen dem oberen Meridian und einem Stundenkreis. Er zählt vom oberen Meridian im Sinne der scheinbaren täglichen Drehung der Himmelskugel von 000° bis 360° . Man erhält ihn aus dem Greenwicher Stundenwinkel (t_{GR}) durch Addition der geografischen Länge $t = t_{GR} + \lambda$.

Der halbkreisige östliche Stundenwinkel (t_E)

zählt vom oberen Meridian von 000° bis 180° nach Osten,

der westliche Stundenwinkel (t_W)

vom oberen Meridian von 000° bis 180° nach Westen; sie werden erhalten nach $t_E = 360^\circ - t$ und $t_W = t \leq 180^\circ$. Die Kennzeichnung geschieht durch Hinzufügen des jeweiligen **Gestirnsymbols**.

Greenwicher Stundenwinkel (Grt t_{GR})

ist der Winkel am oberen Pol zwischen Greenwicher Stundenkreis und einem Stundenkreis. Richtungssinn und Zählweise sind so wie beim vollkreisigen Ortsstundenwinkel.

Greenwicher Stundenwinkel des Frühlingspunktes (Grt_Y t_{GRY})

ist der Winkel am oberen Pol zwischen Greenwicher Stundenkreis und ist der Winkel am oberen Pol zwischen Greenwicher Stundenkreis und des Frühlingspunktes. Richtungssinn und Zählweise sind so wie beim vollkreisigen Ortsstundenwinkel. Grt* wird erhalten nach $t_{GR*} = t_{GRY} + \beta$.

Sternwinkel (beta)

ist der Winkel am oberen Pol zwischen dem Stundenkreis durch den Frühlingspunkt und dem Stundenkreis durch ein Gestirn. Richtungssinn und Zählweise sind so wie beim vollkreisigen Ortsstundenwinkel.

Rektaszension (RA)

wird erhalten nach $RA = 360^\circ - \beta$. Der Richtungssinn ist entgegengesetzt wie beim Sternwinkel beta.

Zeitwinkel (tau)

ist der Winkel am oberen Pol zwischen dem unteren Meridian und dem Stundenkreis eines Gestirns. Richtungssinn und Zählweise sind so wie beim vollkreisigen Ortsstundenwinkel.

Oberer Meridiandurchgang/obere Kulmination

größte Höhe des Gestirns über dem Horizont.

Unterer Meridiandurchgang/untere Kulmination

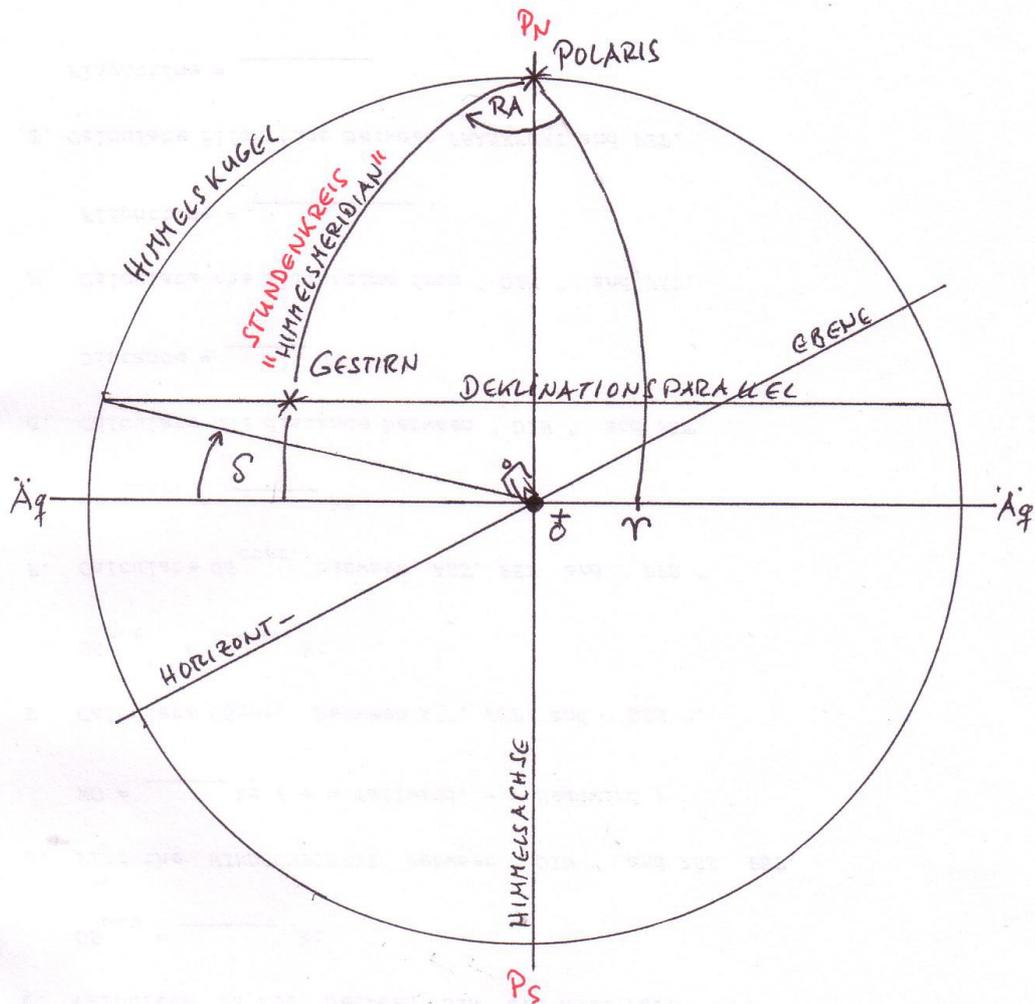
niedrigste Höhe des Gestirns unter dem Horizont.

WOLF:

Hallo Anni,

Ich habe Dir versprochen, noch das **Geheimnis der fehlenden Winkel** zu erklären. Das werde ich jetzt machen.

Zuvor aber muß ich einen kleinen Fehler von mir korrigieren. In Bild 3 hatte ich flapsig einen "Himmelsmeridian" eingezeichnet, weil es sowas ähnliches tatsächlich auf der Himmelskugel gibt. Die heißen dort aber Stundenkreise! Ich habe das Bild 3 entsprechend korrigiert (AstroNav0003a).



SHA: SIDERIAL HOUR ANGLE (STERNSTUNDENWINKEL)

DAS GANZE GESCHRUPPT AUF "REALE" VERHÄLTNISSE:
 DER RADIUS DER HIMMELSKUGEL IST UNENDLICH GROS.

δ: DEKLINATION DES GESTIRNS

WO IST DIE BREITE φ GEBLIEBEN?

RA: REKTASZENSION DES GESTIRNS = $360^\circ - \text{SHA}$

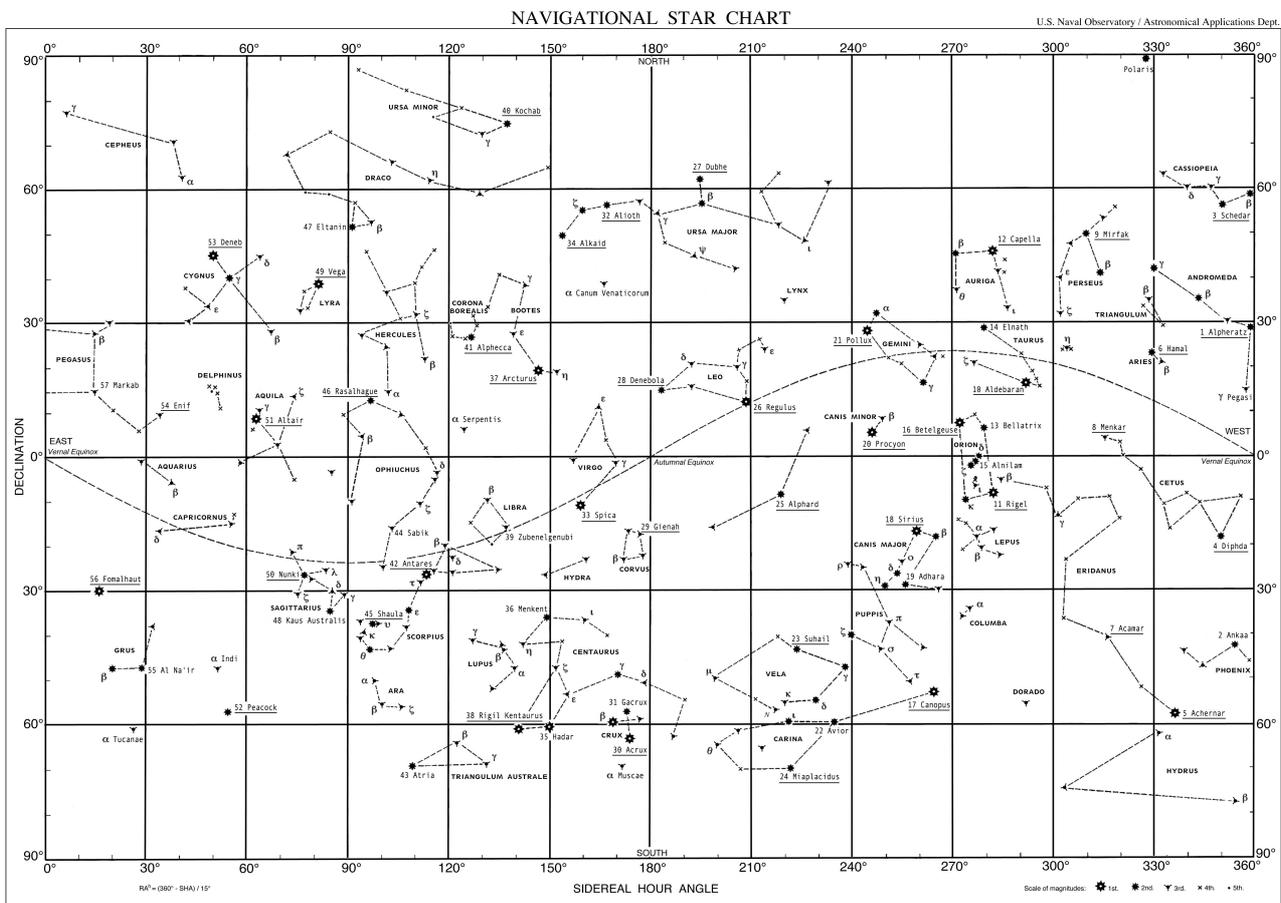
γ: WIDDERPUNKT, FRÜHLINGSPUNKT

(3)

Bild 3 korrigiert

Dort kommen noch ein paar andere Begriffe ins Spiel.

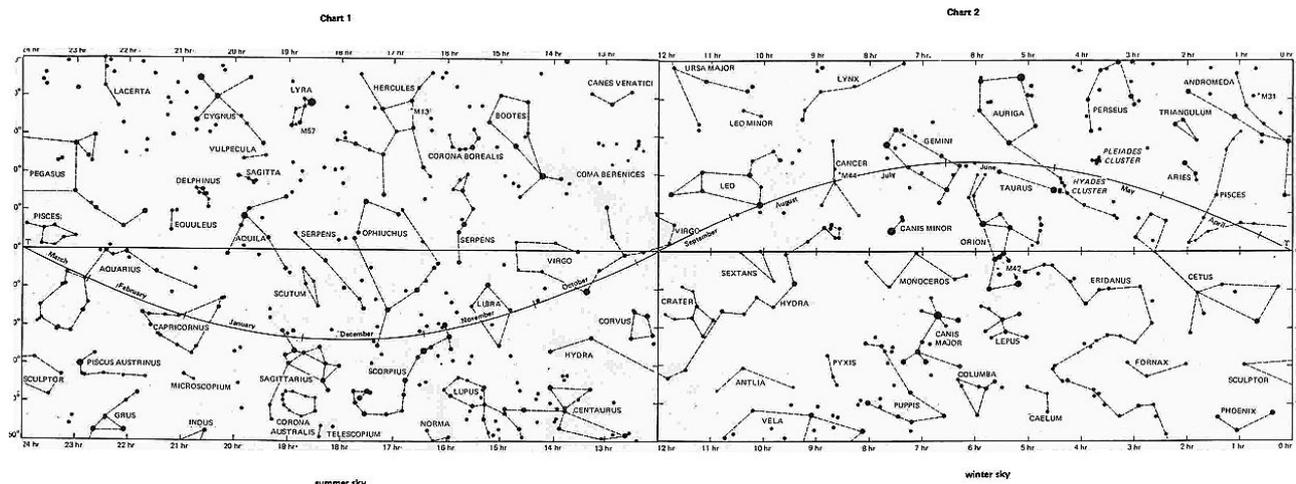
Dazu betrachten wir uns erst mal eine **richtige Sternkarte**. Das ist eine Plattkarte ohne Skalierung oder sonstige Eigenschaften, aber man kann die Koordinaten der Sterne daraus ablesen:



Sternkarte

Wir sehen die **Deklinationen** nach Norden (oben) und nach Süden und den **Himmelsäquator (Deklination 0°)**. Und wir sehen die **Stundenkreise**, also die Gegenstücke zu den Meridianen auf der Erde. Stundenkreise sind Halbkreise auf der Himmelskugel senkrecht zum Himmelsäquator, die vom oberen zum unteren Pol führen. Aber anders als auf der Erde, wo der Nullmeridian willkürlich auf den Greenwicher Meridian gelegt ist, haben die Stundenkreise einen **meßbaren Anfang**. Das hat mit der **Sonne** zu tun: Im Laufe eines Jahres bewegt sich die Sonne vor dem **Fixsternhintergrund** auf ihrer (**scheinbaren**) **Bahn**. Eigentlich ist es ja die Erde, die sich um die Sonne dreht. Aber die **Erdachse ist 23.5°** aus der Vertikalen zur Erdbahnebene geneigt, weswegen die Sonne nicht auf dem Himmelsäquator umzulaufen scheint, sondern mal darüber (nördlich davon) und mal darunter steht. Deshalb kreuzt die **Sonnenbahn** den Äquator auch zweimal. Wenn sie das von Süden her tut, spricht man vom **Frühlingspunkt (Vernal Equinox)**, denn dann ist es der 21. März, der Zeitpunkt der Tag- und Nachtgleiche am Frühlingsbeginn. Die Sonne steht jedes Jahr an diesem Tag (fast) immer an derselben Stelle am Fixsternhimmel, weswegen man diesen Punkt und seinen Stundenkreis als **Ausgangspunkt** für die Winkelmessung der anderen Stundenkreise gewählt hat. Der Frühlingspunkt heißt auch **Widderpunkt** und sein **Symbol** sieht aus, wie ein **stilisierter Widderkopf (Y)**, weil dieser Punkt vor ca 3000 Jahren mal im Sternbild des Widders (Aries) lag. Dort liegt er aber heute nicht mehr.

Nur am Rande (falls jemand danach fragt): Die **Erde** ist ein **Kreisel**, weshalb ihre **Achse "raumfest"** ist und immer auf den **Polarstern** zeigt (**Polaris**, der übrigens nicht ganz genau über dem Nordpol steht, sondern etwa 1° davon weg und deshalb rechts oben in der Ecke der Karte). Aber wie ein **Kreisel präzediert** sie, wenn auch gaaanz langsam. Weswegen der **Widderpunkt** in ca. 25000 Jahren einmal um den ganzen Himmelsäquator wandert und **Polaris** nicht immer der **Polarstern** ist, sondern manchmal auch **Wega**... Damit **ändern** sich auch **alle Koordinaten** der Sterne, was tatsächlich in der Navigation berücksichtigt wird. Die angegebenen Koordinaten gelten nur für eine **Epoche von 5 Jahren** und werden dann neu berechnet. Das nur nebenbei. Auf jeden Fall haben wir über die **Sonnenbahn** schon mal einen zeitlichen Bezug zum Tag im Jahr. In der zweiten Sternkarte ist der Zeitpunkt, wann die Sonne wo steht auf der **Sonnenbahn** markiert (hätten sie auch auf der ersten machen können...):



Sternkarte mit Sonnenbahn (Ekliptik)

Es gibt einen **Himmelsmeridian**, aber nur einen, der diesen Namen verdient: Der ist die **Projektion des Beobachtermeridians auf einen Stundenkreis** an der Himmelskugel zu einem bestimmten Uhrzeitpunkt. Damit ahnst Du vielleicht, weswegen man von **Stundenkreisen**, **Stundenwinkeln** oder **Sternzeit** bzw **Sternstundenwinkel** spricht (**Siderial Hour Angle**: SHA. Der SHA wird vom **Widderpunkt** nach **rechts aufsteigend** gezählt, während alternativ die **Rektaszension RA** nach **links aufsteigend** gezählt wird, weswegen $RA=360^\circ-SHA$ gilt.

RA heißt aber deshalb **"rechtsaufsteigend"**, weil sie wie die sich bewegenden Himmelskörper, Sonne, Mond, Planeten (zumeist) von rechts nach links, von West nach Ost, **"rechtläufig"** über den Himmel bewegt).

SHA wird manchmal auch in Stunden angegeben, wobei $360^\circ = 24$ Stunden entsprechen. Gradzahlen sind aber erst mal besser.

Was den **Himmelsmeridian** angeht benennen Astronomen da noch einen **oberen** und einen **unteren Meridian**. Der obere ist ein Halbkreis, der von Pol zu Pol läuft und auf dem der Zenit liegt.

Immer wenn ein Gestirn im Lauf der Drehung der Himmelskugel um ihre Achse den oberen Meridian erreicht, hat es seine größte Höhe über dem Horizont erreicht. Höher geht's nicht. Man spricht von der **Kulmination** des Gestirns. Für einen Beobachter auf der **Nordhemisphäre** ist das immer **über dem Südpunkt**, also $Az = 180^\circ$. Ich habe damit noch Bild 8 ergänzt:

Beispiel

So, um das weitere Vorgehen zu beschreiben habe ich **o.B.d.A** (ohne Beschränkung der Allgemeinheit, wie Deine Mutter, die Mathematikerin, zu sagen pflegt) ein Beispiel gewählt:

Wir wollen **Azimut und Höhe von Beteigeuze** (ein roter Riesenstern kurz vor der Implosion zur Supernova im **Sternbild Orion**) bestimmen. Dieser Stern ist jetzt im Winter gut zu sehen. Wenn Du an einem sternenklaren Abend rausschaust, entdeckst Du vielleicht den sehr auffälligen Sternhaufen der Pleiaden. Links davon steht **Aldebaran im Stier** und davon nochmal **links** der **Orion**, ein sehr charakteristisches Sternbild mit Beteigeuze, Rigel und seinen **drei Gürtelsternen**. Und er ist größer als Du denkst. Als Tag nehmen wir den **21. Dezember**, wenn die Sonne **am südlichsten Punkt ihrer Bahn** steht.

Laß uns im Atlantik segeln, so etwa auf halber Strecke zwischen den Kapverden und den Azoren auf **30°N und 030°W**. Und wir schauen um **20:00 Uhr Ortszeit** raus. Die **Gestirnskoordinaten** kannst Du in den Sternkarten nachschauen und in Bild 16 habe ich die Winkel im unteren Teil in Draufsicht auf den Himmelsäquator eingezeichnet. Sonne und Beteigeuze sind dabei nur symbolisch auf ihren Stundenkreisen eingezeichnet, denn die richtige Skalierung habe ich hier noch nicht.

Wir wissen nun, wo an jedem Tag die Sonne am Himmel steht. Und tatsächlich findet man das auch in den nautischen Tabellen - aber noch zusätzlich mit einem geografischen und zeitlichen Bezug: Wir wissen, daß um **12 Uhr Ortszeit (Local Time: LT)** mittags **für jeden Beobachter** auf der Nordhemisphäre die Sonne über dem Südpunkt am höchsten steht, also **kulminiert**. Also auch für einen Beobachter **auf dem Greenwich-Meridian ($\lambda=0$)**. Für den ist es dann 12:00 Ortszeit, die gleichzeitig als "**Weltzeit**" (**Universal Time: UT**) definiert ist.

Dann fällt der Greenwicher Meridian und der Stundenwinkel der Sonne zusammen, der vom Widderpunkt aus gemessen wird. Dieser Stundenwinkel wird dann als **Greenwicher Stundenwinkel des Widderpunktes (GHA-Y)** definiert und im Prinzip in den Tabellen für jeden Tag aufgelistet.

In Bild 17 schauen wir also nicht nur auf den Himmelsäquator, sondern auch auf den Nordpol der Erde und sehen den Greenwich-Meridian um 12:00 UT. Wir können also auch unseren Ortsmeridian $\lambda = 030^\circ\text{W}$ einzeichnen.

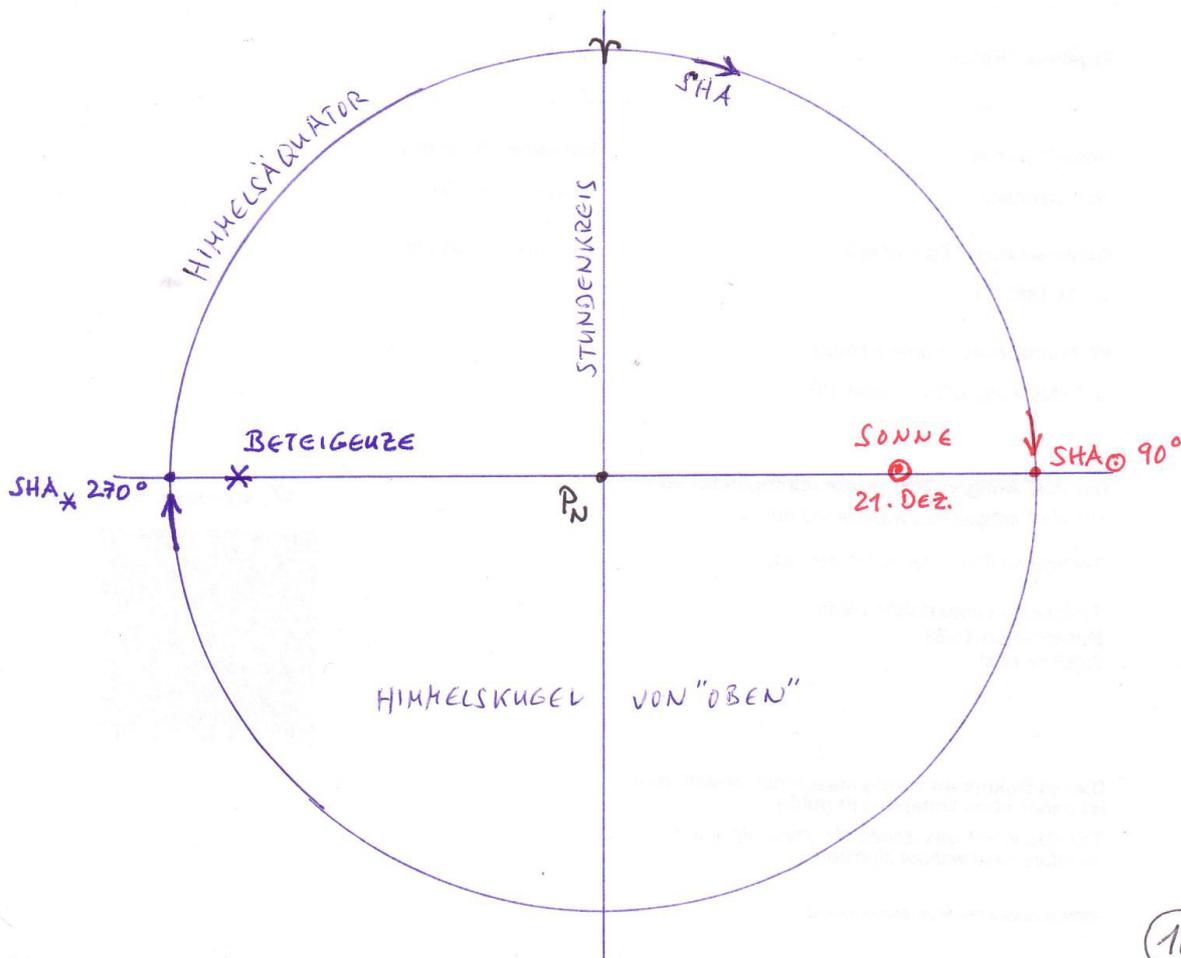
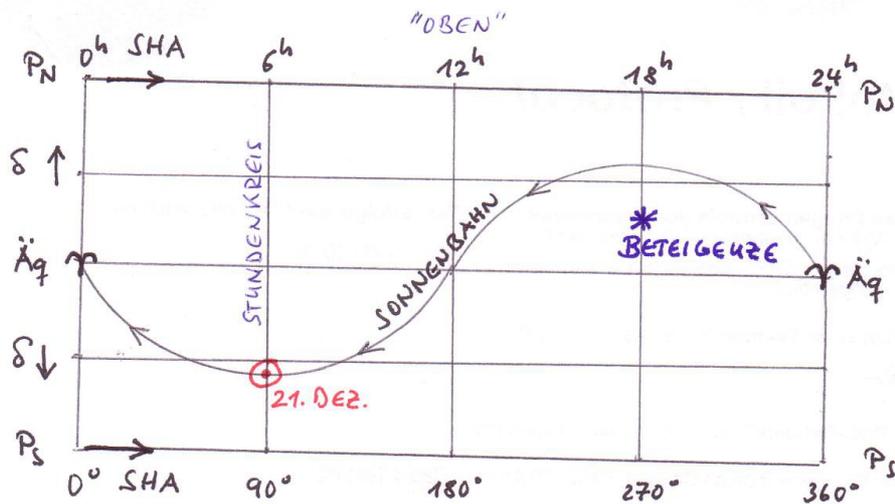
Und nicht nur das: wir können sogar berechnen, wie spät es gerade bei uns ist. Die Erde dreht sich in 24 Stunden einmal um sich selbst, also um 360° . D.h., in einer Stunde dreht sie sich um 15° und zwar im Gegenuhrzeigersinn, wenn wir so wie ich es gezeichnet habe draufschauen. Da unser Ort 30° westlich von Greenwich liegt, ist es also noch vormittags und zwar genau 2 Stunden von 12 Uhr weg. Also ist es bei uns erst 10:00 LT (Ortszeit), wenn es in Greenwich schon Mittag ist.

Man kann tatsächlich die Länge in Zeit ausdrücken. Da macht es auch Sinn, daß **westliche Längen** mit **negativem Vorzeichen** versehen werden, so können wir sofort die richtige Zeit gegenüber Greenwich ausrechnen. In der Navigation gibt es den schönen Spruch: "**Im Osten ist es früher spät**"! Wir können noch mehr einzeichnen: Wir wollen um 20:00 LT beobachten, das ist 10 Stunden später, womit wir wissen daß sich die Erde und unser Ortsmeridian um $10 \cdot 15^\circ = 150^\circ$ weitergedreht haben werden. Das habe ich auch eingezeichnet.

BEISPIEL: BEOBSACHTERORT: $\varphi = 30^\circ \text{ N}$, $\lambda = 030^\circ \text{ W}$

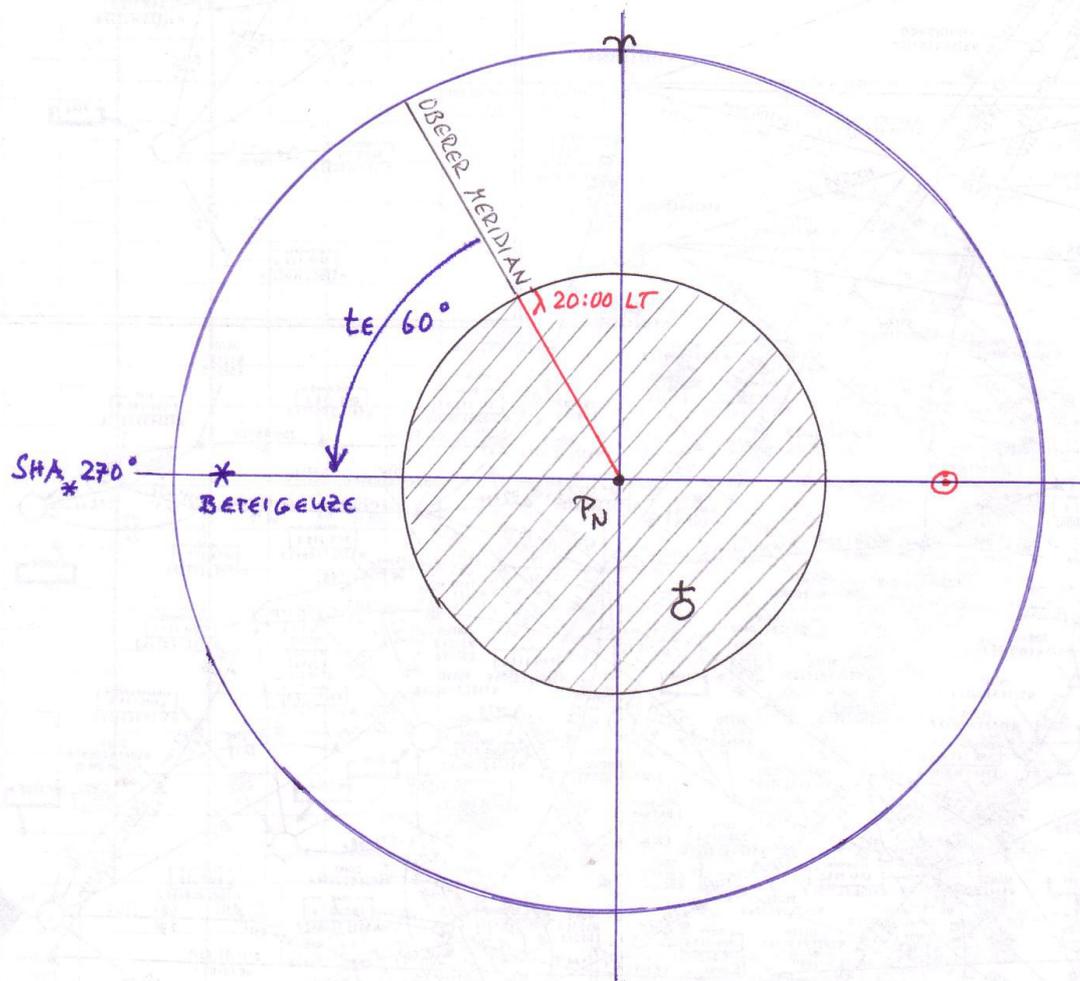
$\delta = 23,5^\circ \text{ S}$; $\text{SHA} = 90^\circ$ DATUM: 21. DEZ. 20:00 LT

STERN: BETEIGEZE $\delta_* = 10^\circ \text{ N}$, $\text{SHA}_* = 270^\circ$



16

Bild 16



t_E : ÖSTLICHER ORTSSTUNDENWINKEL VON BETEIGENZE
 UM 20:00 LT AUF $\lambda = 030^\circ W$

18

Bild 18

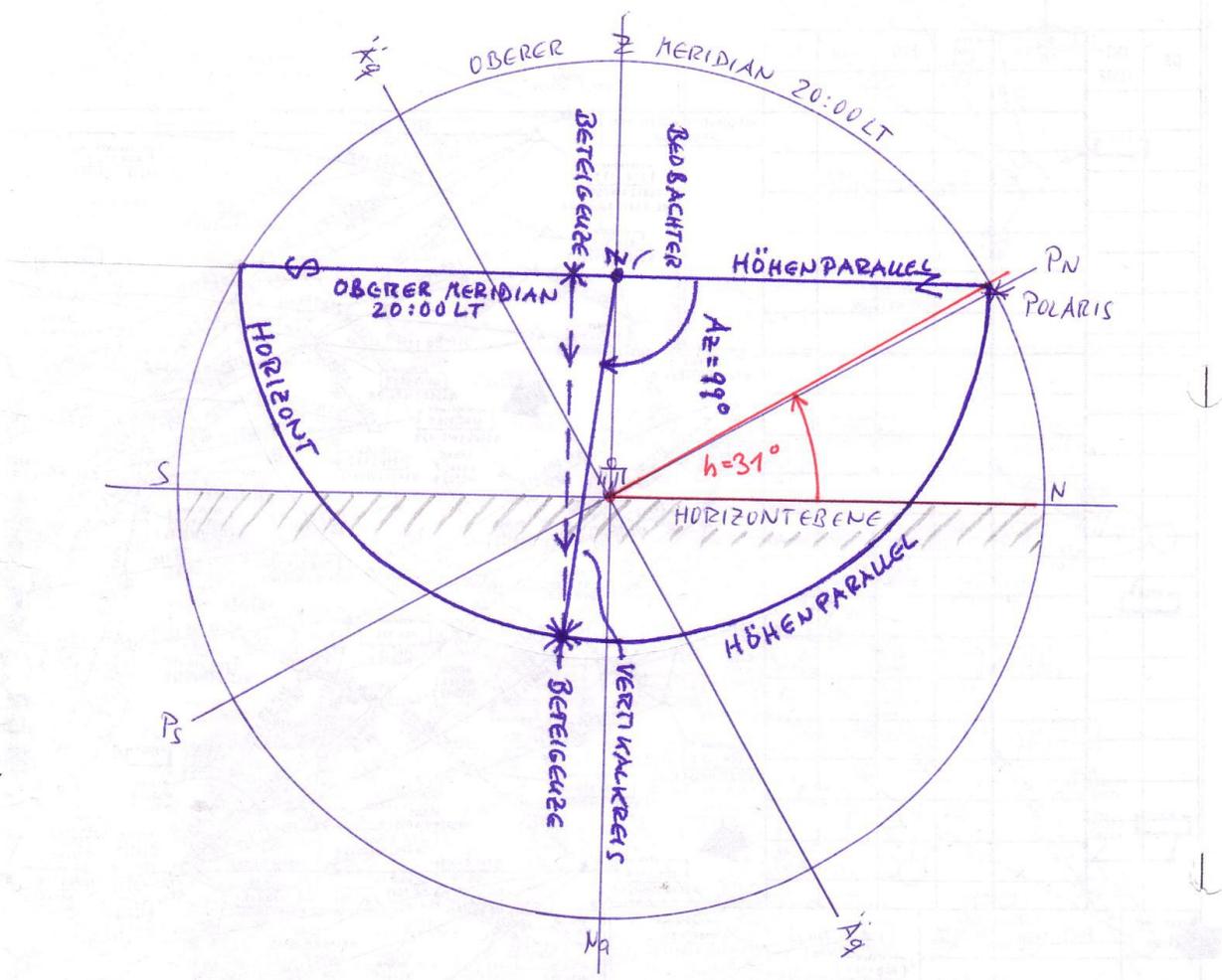
Im nächsten Bild 18 habe ich jetzt den Winkel zum Stundenkreis von Beteigeuze bestimmt (kann man zeichnerisch machen, aber auch recht einfach mit den eingetragenen Winkeln berechnen). Dieser Winkel ist tatsächlich der östliche Ortsstundenwinkel ($t_E = 60^\circ$) von Beteigeuze an unserem Beobachtungsort um 20:00 LT, den wir für unsere Meridianfigur brauchen.

Der **halbkreisige östliche Ortsstundenwinkel** zählt vom oberen Meridian von 0° bis 180° nach Osten, der **westliche Ortsstundenwinkel** (t_W) vom oberen Meridian von 0° bis 180° nach Westen. By the way: Ich hätte dort auch den Greenwicher Meridian um 22:00 UT einzeichnen können und damit die **geografische Länge des Bildpunktes** von Beteigeuze bestimmen können - womit auch dieses Rätsel gelöst wäre. Allerdings brauchen wir die für die grafische Bestimmung von Azimut und Höhe mittels Meridianfigur garnicht explizit, da sie **implizit** in unserer Länge und dem Ortsstundenwinkel enthalten ist.

Damit haben wir alle Winkel, die wir für die **Meridianfigur**, wie Du sie auch schon gezeichnet hast, brauchen. Um nochmal Schritt für Schritt zu zeigen, was wir da eigentlich machen, habe ich nicht alles in eine einzige Meridianfigur gepackt, sondern die **zwei wesentlichen Arbeitsschritte** voneinander getrennt. Zuerst, zeichnen wir in Bild 19 die übliche Meridianfigur in unserem Horizontsystem, mit unserer geografischen Breite und der geografischen Länge in Gestalt unseres oberen Meridians um 20:00 LT. Es soll Beteigeuze in ihrer richtigen Position in diese Seitenansicht plaziert werden. Das eingezeichnete Deklinationsparallel als Parallele zum Äquator ist ja die Seitenansicht davon. Es ragt auf der Kugel ja in der dritten Dimension heraus und seine östliche Hälfte uns entgegen. Diese klappen wir nun runter in die Zeichenebene unserer Meridianfigur. Deshalb heißt das Verfahren auch "**Klappung**". Diese umgeklappte Ebene des Deklinationsparallels entspricht genau den Verhältnissen in Bild 18. Wir müssen nur aufpassen, welche Linie dem Bild unseres oberen Meridians entspricht, nämlich das Deklinationsparallel in der Seitenansicht, das die Drehachse der Klappung war. Und der Mittelpunkt PN liegt auch auf dem Deklinationsparallel in der Seitenansicht. Somit können wir hier unseren Winkel t_E antragen. Um herauszubekommen wo sich Beteigeuze befindet, klappen wir das Deklinationsparallel wieder zurück - das ist die **Projektion zurück** auf das Deklinationsparallel in Seitenansicht. Damit haben wir die Position von Beteigeuze zum Beobachtungszeitpunkt in unserer Meridianfigur bestimmt.

Diese Meridianfigur habe ich in Bild 20 nochmal wiederholt (normalerweise wird das, um effizient zu arbeiten in einer einzigen Meridianfigur gemacht, aber die Übersichtlichkeit leidet, vor allem, wenn man es erklären will). Durch Beteigeuze zeichnen wir das **Höhenparallel** in Seitenansicht, parallel zur Seitenansicht der Horizontebene. Daran läßt sich leicht die **Höhe von Beteigeuze messen**. Um das Azimut zu bestimmen **klappen** wir nun das Höhenparallel runter und projizieren Beteigeuze sozusagen in die dritte Dimension. Die Linie vom Beobachterzenit, dem Mittelpunkt des Höhenparallels in der Klappung, zur Position von Beteigeuze auf dem geklappten Höhenparallel ist das Bild des Vertikalkreises durch Beteigeuze. Im Winkel zur Nordrichtung **finden** wir das **Azimut**. Ob wir das Azimut in der Ebene des Höhenparallels messen oder in der Horizontebene spielt keine Rolle, da es sich dabei um den Winkel zwischen der Ebene des Vertikalkreises von Beteigeuze und der Ebene unseres Meridians handelt, die beide senkrecht auf der Horizont-, bzw Höhenparallelebene stehen.

Jetzt haben wir **alle Teile beisammen** und sind im Prinzip in der Lage für **jeden Stern**, zu **jedem Zeitpunkt** und an **jedem Ort Azimut** und **Höhe zeichnerisch** zu bestimmen. Damit haben wir die gesamten **Grundlagen der astronomischen Navigation**. Auf mehr solltet Ihr in Eurem Referat garnicht eingehen, das ist gerade eine ganze Menge.



MESSUNG DER HÖHE AM HÖHENPARALLEL VON BETEIGEUZE

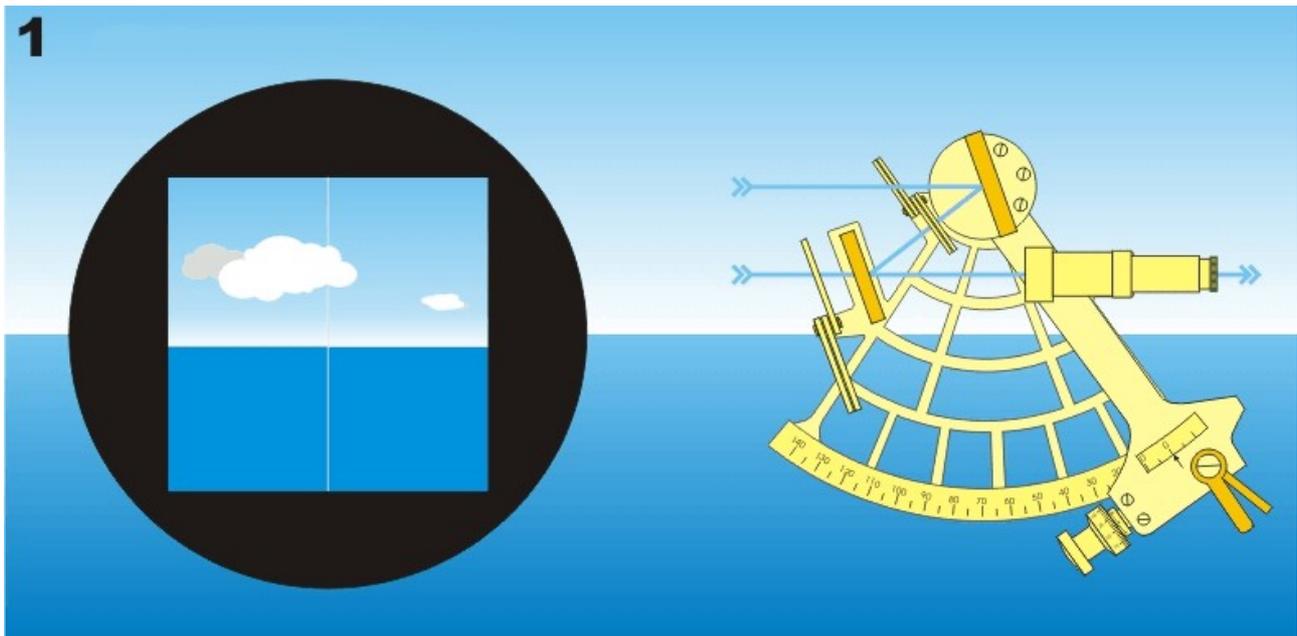
2. KLAPPUNG: UMKLAPPEN DES HÖHENPARALLELS UND DRAUFSICHT VOM ZENIT
 PROJEKTION VON BETEIGEUZE AUF'S HÖHENPARALLEL
 MESSUNG DES AZIMUTS (AUF HÖHENPARALLEL DASSELBE WIE
 AUF HORIZONTEBENE)

20

Bild 20 Meridianfigur, zweite Klappung

Ich will noch ein paar **Details** andeuten, für den Fall, daß jemand nachhakt oder der Lehrer dumme Fragen stellt:

- Daß es Schwierigkeiten mit der Bestimmung der **Sternkoordinaten** gibt, habe ich hier schon angedeutet. Das erfordert zusätzliche Rechnungen.
- Eine weitere Schwierigkeit ist die **Zeitdefinition**. Ich habe nonchalant behauptet, daß es 12 Uhr mittags ist, wenn die Sonne kulminiert. Wenn wir das bei dem realen Stern SOL (unsere Sonne) beobachten erleben wir eine Überraschung: Der kulminiert nämlich mal früher oder mal später als 12:00 LT. Das Stichwort ist hier: **Zeitgleichung**. Im Jahreslauf geht die reale Sonne gegenüber der "mittleren" Sonne, die wir mit unseren mechanischen oder sogar Atomuhren messen mal vor und mal nach, einmal wegen der **eliptischen Erdbahn**, zum anderen wegen der **Neigung der Erdachse**. Obendrein verlangsamt sich die **Erdrotation** (deshalb ab und zu in manchen Jahren eine "**Schaltsekunde**"). Deshalb kennen die Astronomen nicht nur UT, sondern auch UTC, UT1, UT2, etc. Du siehst, eine ganz neue Vorlesung...
- Das führt direkt zum Problem der **Messung**. Ich sagte schon mal, daß das Azimut nicht so übermäßig genau sein muß, weswegen die Berechnung genügt und es nicht gemessen werden muß. Ganz anders bei der **Höhenmessung mit dem Sextanten**, da hier im Prinzip **Großkreiswinkel** gemessen werden und eine Seemeile als eine Bogenminute auf dem Großkreis definiert ist. Wir müssen also besser als eine Bogenminute messen. Aber da gibt es **Meßfehler des Instrumentes**, dann ist der **sichtbare Horizont** auf See **nicht der mathematische**, den wir den Rechnungen zugrunde legen. Es spielt z.B. die Höhe des Beobachters über dem Meeresspiegel eine Rolle, wie tief die **Kimm** (die sichtbare Horizontlinie) unter dem theoretischen Horizont liegt. Dann dringt der Lichtstrahl des Sterns bis zu uns durch immer dichter werdende Schichten der Atmosphäre, weswegen wir **Refraktion** haben, die auch noch von der gemessenen Sternhöhe abhängt. Am besten wäre eine Meßreihe, aber wir haben im allgemeinen nur einen Schuß frei. Wir müssen deshalb **mehrere Sterne beobachten**. Derweil fährt das Schiff und wir wissen nicht genau, wie schnell und wohin. Dazu kommt das Problem der **Zeitmessung**, in alten Zeiten mit dem **mechanischen Chronometer**. Der ist auf UT eingestellt, damit man weiß, wo der Greenwicher Meridian gerade ist. Aber **eine Sekunde Fehler** in der Zeitmessung bedeutet $15^\circ/1h = 15 \cdot 60'/60min = 15'/1min = 15'/60sec = 0.25 \text{ sm/sec}$ pro Messung. Bei mehreren Messungen **summiert** sich das auf. Eine weitere Vorlesung...
- Die Höhenmessung ist schon praktisch auch nicht einfacher. Zuerst mit einem **Quadranten** oder **Astrolabium**, wo das Pendel-Lot einen Bezug zur Horizontebene herstellt, kann die Winkelmessung nicht sehr genau sein. Den entscheidenden Fortschritt brachte dann die Entwicklung des **Sextanten** (der seinen Namen davon hat, daß er ein Sechstel (lat. sextus) großes Tortenstück aus dem Vollkreis ist) bzw seines Vorgängers des **Oktanten** (ein Achtel (octavo)), zusammen mit dem **Nonius**, der Ablesungen auf eine Zehntel Bogenminute ermöglicht. Mit diesem Instrument ist man bei der Messung **vom Schaukeln** des Schiffs **entkoppelt**, da der Bezug von Gestirn und Kimm durch direktes Nebeneinandersehen beim Meßvorgang hergestellt wird. AAAllerdings - allerdings muß deshalb die Messung dann vorgenommen werden, wenn sowohl die **Sterne** als auch die **Kimm gleichzeitig sichtbar** sind. Das ist nur **morgens** und **abends** in der sogenannten **nautischen Dämmerung** der Fall. Noch eine Vorlesung...



Höhenmessung mit Sextant

So, jetzt habe ich Dich mächtig zugetextet, aber das ist nun wirklich alles (und noch einiges mehr) was Du für das Referat brauchst. Ich hoffe, es ist soweit verständlich. Wenn nicht, jederzeit zu jedem unklaren Detail Fragen stellen! Ich werde versuchen, Dir alles zu beantworten und zu erklären.

Nochmal mein Tip: Dampfe alles auf das **Prinzip** zusammen und vertiefe schwerpunktmäßig nur die Details, die zum Verständnis unbedingt notwendig sind. Das sind gerade noch viel zu viele. Mir hilft es, wenn ich mir die Überschriften der Kapitel ausdenke, die dazugehören und dann in Unterkapiteln die Details aufgliedere. Wenn Du schon so eine Gliederung hast, schicke sie mir gerne mal, vielleicht kann ich beim Drübersehen noch ein paar Kommentare dazu machen.

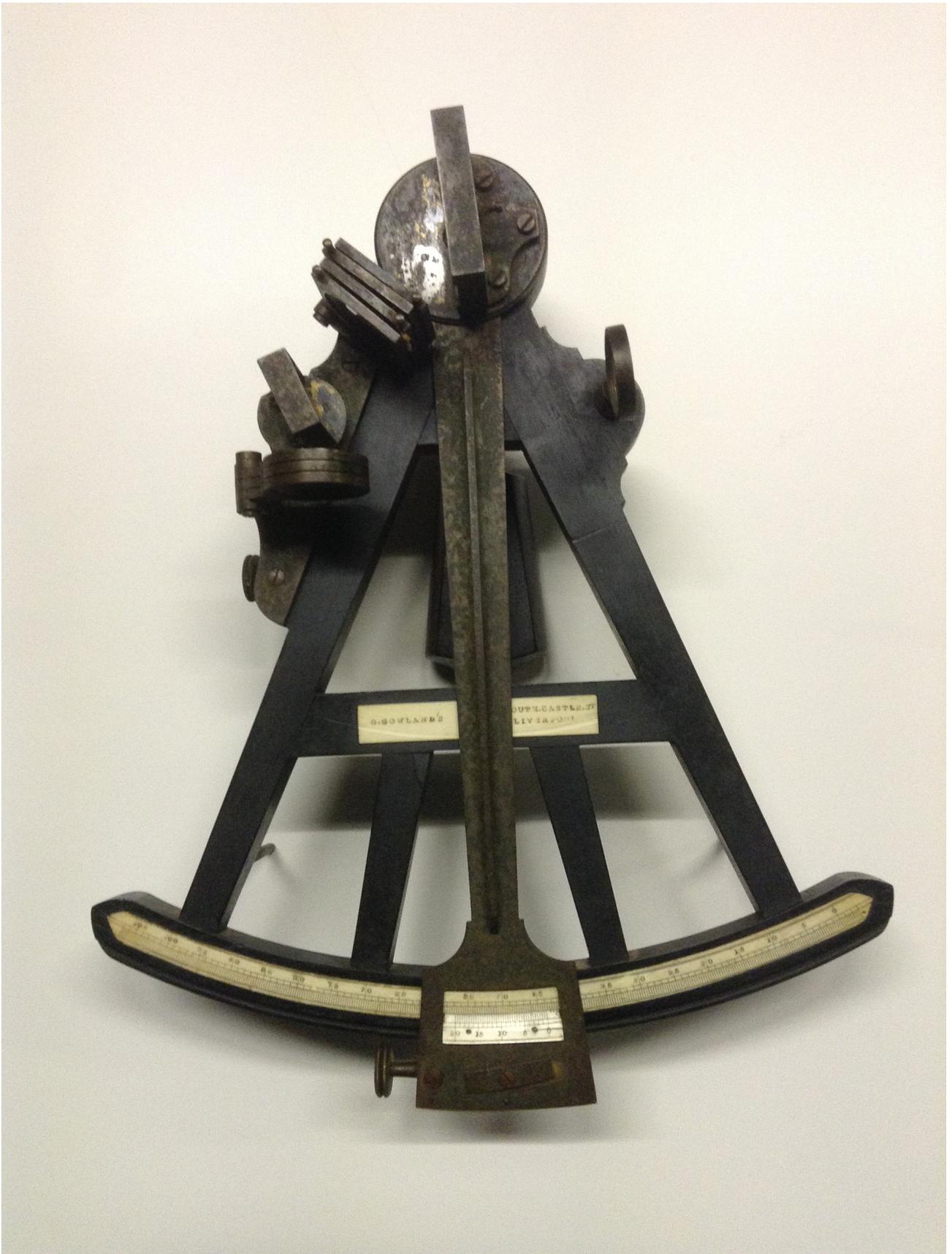
Damit erst mal viel Spaß, ein frohes Schaffen und viele Grüße,
Wolf



Marine-Chronometer



Quadrant



Oktant



Sextant

ANNI:

Lieber Wolf,

Marie (meine Arbeitspartnerin) und ich sind gerade dabei den Vortrag nun schlussendlich vorzubereiten. Wir haben das Gefühl schon einiges zu verstehen, aber eine Frage ist uns besonders aufgefallen.

Wenn wir jetzt mit nautischen Hilfsmitteln die Winkel von zwei Sternen bestimmt hat, wie genau kommt man auf den Radius, auf dem man sich vom Bildpunkt entfernt befinden muss? Hat die Meridianfigur damit etwas zu tun? Oder ist die nur um restliche Winkel heraus zu finden?

Liebe Grüße

Anni

WOLF:

Hallo Anni und Marie,

Zu Eurer Frage:

Zuerst mal, die ganze Geschichte mit der **Meridianfigur** reicht nur für die **Auswertung** der Beobachtung **eines einzigen Sterns**, aber mit der Meridianfigur ist tatsächlich für diesen auch alles erledigt. Damit erhalten wir jedoch **nur eine Dimension unseres Standortes**, nämlich eine **eindimensionale Standlinie**, eigentlich einen **Standkreis** um den momentanen Bildpunkt dieses Gestirns. Auf den gehe ich gleich noch ein. Erst wenn wir einen **zweiten Stern** beobachten und dasselbe Verfahren damit durchführen, also z.B. eine zweite Meridianfigur dazu konstruieren, erhalten wir eine **zweite Standlinie**. Deren **Schnittpunkt** mit der ersten liefert uns nun unseren **zweidimensionalen Ort auf der Meeresoberfläche**, bzw. auf deren Bild, der **Seekarte**. Die dritte Raumdimension können wir uns sparen, denn wir wissen ja, wir sind auf Höhe null, auf MSL (Mean Sea Level). Und die vierte Dimension, die **Zeit**, haben wir sowieso, da die Bestimmung des Zeitpunktes unserer Höhenmessung des Gestirns notwendige Voraussetzung für die Auswertung der Beobachtung und Zeichnung der Meridianfigur ist. Das ist das Prinzip. Die Messung von bis zu **sieben Sternen** erhöht zwar die Genauigkeit der Ortsmessung, verkompliziert aber alles, da wir es jetzt mit einem **überbestimmten Gleichungssystem** zu tun haben... Bleiben wir also beim Prinzip. Die Messung von mindestens zwei Sternen dient also nicht der Bestimmung der Lage des Bildpunktes, sondern der Bestimmung einer weiteren Dimension unserer Position.

Nun zum Problem des **Bildpunktes**. Unser **Abstand zum Bildpunkt** steckt implizit in der **Höhe h** des Gestirns über unserem Horizont.

Zur **Verdeutlichung** betrachten wir nochmal den Polarstern Polaris (Bild 9). Dessen Bildpunkt ist, in diesem Fall unabhängig von der Zeit, immer der Nordpol. Wenn wir genau auf dem Bildpunkt stehen, befinden wir uns genau auf dem Nordpol und Polaris steht senkrecht über uns im Zenit. Seine Höhe über unserem Horizont ist deshalb $h = 90^\circ$. Gehen wir nun auf einem Meridian, also einem Großkreis, nach Süden (es geht von da in alle Richtungen nur nach Süden), so nimmt die Höhe von Polaris über unserem jeweiligen Horizont ab, je weiter wir gehen. Aus der Höhenabnahme könnten wir sogar unseren Abstand zum Nordpol (Bildpunkt) bestimmen: Da die Seemeile einer Bogenminute auf dem Großkreis entspricht und wir uns auf einem Großkreis (Meridian) wegbewegt haben, bräuchten wir nur die Höhenabnahme ($90^\circ - h$) in Bogenminuten auszudrücken und hätten direkt den Abstand zum Bildpunkt von Polaris, was dasselbe ist wie der Radius unseres Standkreises. Der Standkreis ist in diesem Falle ja ein Breitenkreis, denn wir sind ja nach Süden gegangen und das konnte überall hin sein und die Höhe h ist überall dieselbe. Wenn wir bis zum Äquator gegangen sind, steht Polaris genau auf dem Horizont mit Höhe $h = 0^\circ$, das sind dann 90° Höhenänderung gegenüber dem Nordpol, also $90 \cdot 60' = 5400'$ bzw. 5400 sm. Das ist ein Viertel des Erdumfangs ($4 \cdot 5400 \text{ sm} = 21600 \text{ sm} = 21600 \cdot 1.852 \text{ km} = 40003.2 \text{ km}$. Paßt!).

Was für Polaris, seinen Bildpunkt und unsere Höhenmessung gilt, **gilt verallgemeinert für jeden Bildpunkt jedes Gestirns**. nur daß jetzt im allgemeinen der Bildpunkt seinen Ort auf der Erdoberfläche im Verlauf der Zeit ändert (Bild 10, nur daß ich hier die Standlinie miserabel gezeichnet habe). Der Abstand zum Bildpunkt verläuft auf kürzestem Weg, also auch auf einem Großkreis.

Daß wir den genauen Abstand zum Bildpunkt nicht weiter zu beachten brauchen liegt in der **genialen Idee** (Urheber unbekannt), **so zu tun als wüßten wir wo wir sind**, nämlich genau im angenommenen **Koppelort**. Für den zeichnen wir ja die Meridianfigur und machen die Bestimmung von Höhe und Azimut. Die Azimutrichtung tragen wir deshalb im Koppelort an und da

per Annahme auch die Höhe unserem Koppelort entspricht, läuft auch **das kurze Stück Standlinie**, die Linie **senkrecht zur Azimutrichtung**, genau durch unseren Koppelort (Bild 11). Nun kommt die gemessene Höhe ins Spiel: Die vergleichen wir mit der berechneten (bzw. aus der Meridianfigur entnommenen) Höhe: Der **Unterschied aus berechneter und gemessener Höhe** in Bogenminuten gibt uns an, **wie weit in Seemeilen(!)** wir am Bildpunkt **näher dran** oder **weiter weg** davon sind. Das bezieht sich natürlich auf die Richtung zum Bildpunkt, also unsere Azimutlinie im Koppelort. Wir brauchen also nur unsere Standlinie aus dem Koppelort um diese Distanz entlang der Azimutlinie zu verschieben um die Standlinie zu erhalten, auf der wir wirklich stehen (Bild 14 oben).

Praktisch läuft die astronomische Ortsbestimmung im Prinzip so ab: Wir suchen uns zwei Sterne aus, deren Azimute idealerweise etwa im rechten Winkel zueinander stehen (dann schneiden sich später unsere Standlinien auch in etwa im rechten Winkel, was gut zum Erreichen kleiner Fehler ist). Nun messen wir die Höhen der beiden Sterne über dem Horizont und gleichzeitig den genauen Zeitpunkt in Greenwichzeit (UT). Wir wissen ja ungefähr, wo wir sind (unser Koppelort, seemännisch auch "**gegißtes Besteck**" genannt, von englisch "to guess" - ich habe in meiner Seefahrtzeit tatsächlich dafür nicht die beste Schätzung meines Ortes, sondern die nächstgelegene Position auf vollen Graden genommen - vereinfachte die Auswertung und gab trotzdem zum Schluß den **richtigen "wahren" Ort**). Für diesen Koppelort zeichnen wir für jeden Stern nun die Meridianfigur und entnehmen ihr Azimut und Höhe des betreffenden Sterns. Mit diesen Daten und der Differenz zur gemessenen Höhe dieses Sterns konstruieren wir nun die richtige Standlinie für diesen Stern in der Seekarte. Dasselbe machen wir für denselben Koppelort und denselben Zeitpunkt für den anderen Stern. Also auch wieder eine Meridianfigur, Azimut und Höhe, Vergleich mit dessen gemessener Höhe und Konstruktion der daraus resultierenden Standlinie. Der Schnittpunkt beider Standlinien auf der Seekarte ist unsere Position zum Zeitpunkt der Höhenmessung (Bild 14 unten. Hier sind die Standlinien aus der Beobachtung dreier Sterne dargestellt, die sich **idealerweise in genau einem Punkt schneiden**, nämlich unserer **Schiffsposition zum Beobachtungszeitpunkt**. Leider ist die Realität nie so ideal...).

So, Anni und Marie, ich hoffe, daß diese Erklärungen etwas dazu beitragen, den zugegebenermaßen ziemlich komplexen Bereich Astronavagation etwas weiter aufzudröseln (Ihr habt Euch da an was gewagt, alle Achtung!). Wenn Ihr also in der Lage seid, die Winkel zu bestimmen, die für's Zeichnen der Meridianfigur nötig sind und die Meridianfigur selbst konstruieren könnt und Ihr die eben beschriebene Auswertung verstanden habt, dann habt Ihr die atronomische Ortsbestimmung voll im Griff.

Wenn Ihr weitere Fragen habt, stellt sie gerne. Ich werde mein Bestes versuchen sie zu beantworten. Vielleicht stellen wir uns, wenn Ihr sagt, daß Ihr es verstanden habt, eine Navigationsaufgabe und wir alle versuchen sie zu lösen und dann vergleichen wir die Ergebnisse.

Euch Beiden wünsche ich erst mal viel Erfolg in der Schule und viel Spaß bei Eurem Referat. Ich denke, wenn Ihr das bewältigt habt, habt Ihr sehr viel geleistet und vor allem auch sehr viel über einen realen Teil der Welt gelernt und verstanden.

Liebe Grüße,
Wolf

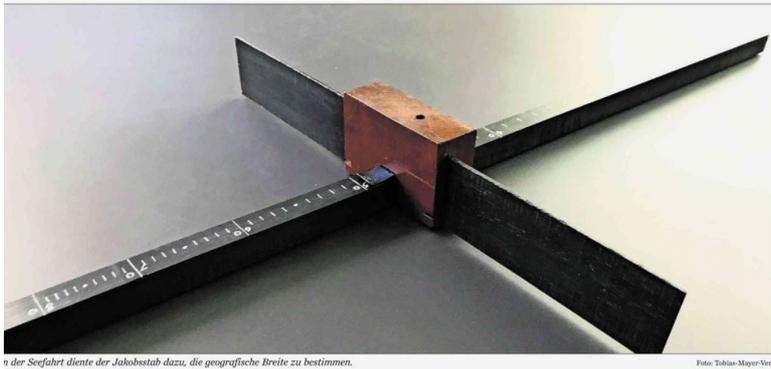
ANNI:

Lieber Wolf,

Deine letzte E-Mail hat uns wirklich sehr weitergeholfen, aber wegen ungünstigem Zeitmanagement wurde es zum Ende hin immer stressiger. Unter anderem dank deiner Hilfe haben sowohl Marie als auch ich aber für die Prüfung eine Eins bekommen!

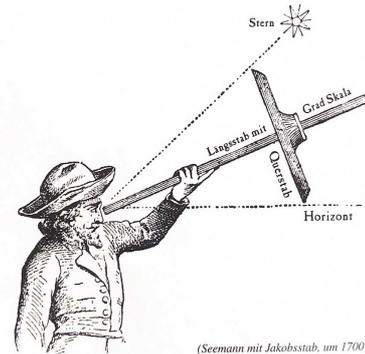
Als Zusatzleistung haben wir auch einen **Jakobsstab** gebaut wovon ich dir auch gerne mal ein Bild schicken kann.

Jakobsstab (nicht der von Anni und Marie) und sein Gebrauch:



n der Seefahrt diente der Jakobstab dazu, die geografische Breite zu bestimmen.

Foto Tobias-Mayer-Werth



(Seemann mit Jakobstab, um 1700)

Also viele Grüße und nochmal ein riesiges Dankeschön
Anni

WOLF:

Hallo Anni und Marie,

herzlichen Glückwunsch zu Eurem gelungenen Vortrag und der sehr guten Note! Es freut mich, daß ich Euch helfen konnte. Ich dachte mir schon, daß Ihr unter Druck steht, fertig zu werden. Das ist immer so, wenn man einen Abgabetermin hat. Umso besser, daß Ihr Euch ohne weiteres in die nicht alltägliche Materie reingewöhlt habt.

Toll auch, daß Ihr noch einen Jakobstab gebaut habt. Den hatte ich in meiner Aufzählung der Winkelmeßinstrumente garnicht mehr auf dem Zettel.

Ich habe mich übrigens zur 80-Jahrfeier von Albatros in Eckernförde angemeldet. Wenn nichts dazwischen kommt, werden wir uns da also treffen.

Viele Grüße, an Marie, Deine Eltern und natürlich an Dich!
Wolf