

Astronomische Navigation

- Nur das Prinzip verstehen

Inhalt

Astronavigation – wie geht das denn?	2
Der Sextant.....	2
Abbildung eines Sextanten	3
Welche „natürlichen“ Fehler gibt es?	4
Kippfehler am Indexspiegel:	4
Kippfehler am Horizontspiegel:	5
Indexfehler:	5
Welchen Nutzen hat der Sextant für die Astro Navigation?	6
Astronomische Positionsermittlung	7
Erde:	7
Großkreis:	8
Nebenkreis:	8
Breite (φ):.....	8
Länge (λ):.....	8
Standlinie:.....	8
Peilung:.....	8
Versegelungspeilung:	8
Koppelort (Ok):.....	8
Beobachteter Ort (Ob):.....	8
UTC/UT1:	8
Die astronomische Standlinie (astr.LOP) in der Praxis	10
Jetzt folgt der Griff in die Trickkiste:	10
Positionsermittlung aus 2 Standlinien mit Versegelung	15

Astronavigation – wie geht das denn?

Im Zeitalter von GPS, GLONASS, Galileo und wie sie alle heißen, hat die Astro-Navigation stark an Bedeutung verloren. Solange der Strom nicht ausfällt, die Geräte Störungen haben oder falsch anzeigen, bekommt man seine Position auf der Erde auf Knopfdruck angezeigt. Wenn es sein muss auf den Meter genau. Hier konnte und kann die Astro-Navigation nicht mithalten. Aber sie funktioniert ohne komplizierte störanfällige Elektronik und ohne Bordstrom.

Wenn es sein muss sogar ohne die Batterie für den Taschenrechner! Da die Alternative zum Taschenrechner aber ein Rechenschieber (Schätzlatte) ist, will heute niemand mehr bei der Astro-Navigation auf einen (programmierbaren) Taschenrechner verzichten.

Navigieren nach den Gestirnen, hat aber nicht viel von der Bewunderung für den verloren, der das kann. Die Wenigsten haben eine Vorstellung davon, wie das funktioniert. Das versuche ich hier zu ändern. So hat dieses geheime Wissen in früheren Zeiten manchem brutalen, die Mannschaft schindenden Kapitän das Leben erhalten – Die Mannschaft hätte allein nie den Weg nach Hause gefunden. Das ist heute Dank GPS und Plotter anders. Die Schiffsführungen müssen heute freundlicher sein!

Dieser Beitrag will versuchen, das Prinzip der Astronavigation deutlich zu machen. Ich hoffe, das gelingt. Astro-Navigation ist nicht in ein paar Sätzen erklärt. Der Leser hat noch 16 Seiten geistige Mitarbeit vor sich, nach denen er hoffentlich das Prinzip verstanden hat. Beginnen wir also zunächst damit, uns das bekannteste Aushängeschild der Astronavigation einmal etwas genauer anzusehen.

Der Sextant

Was ist das?

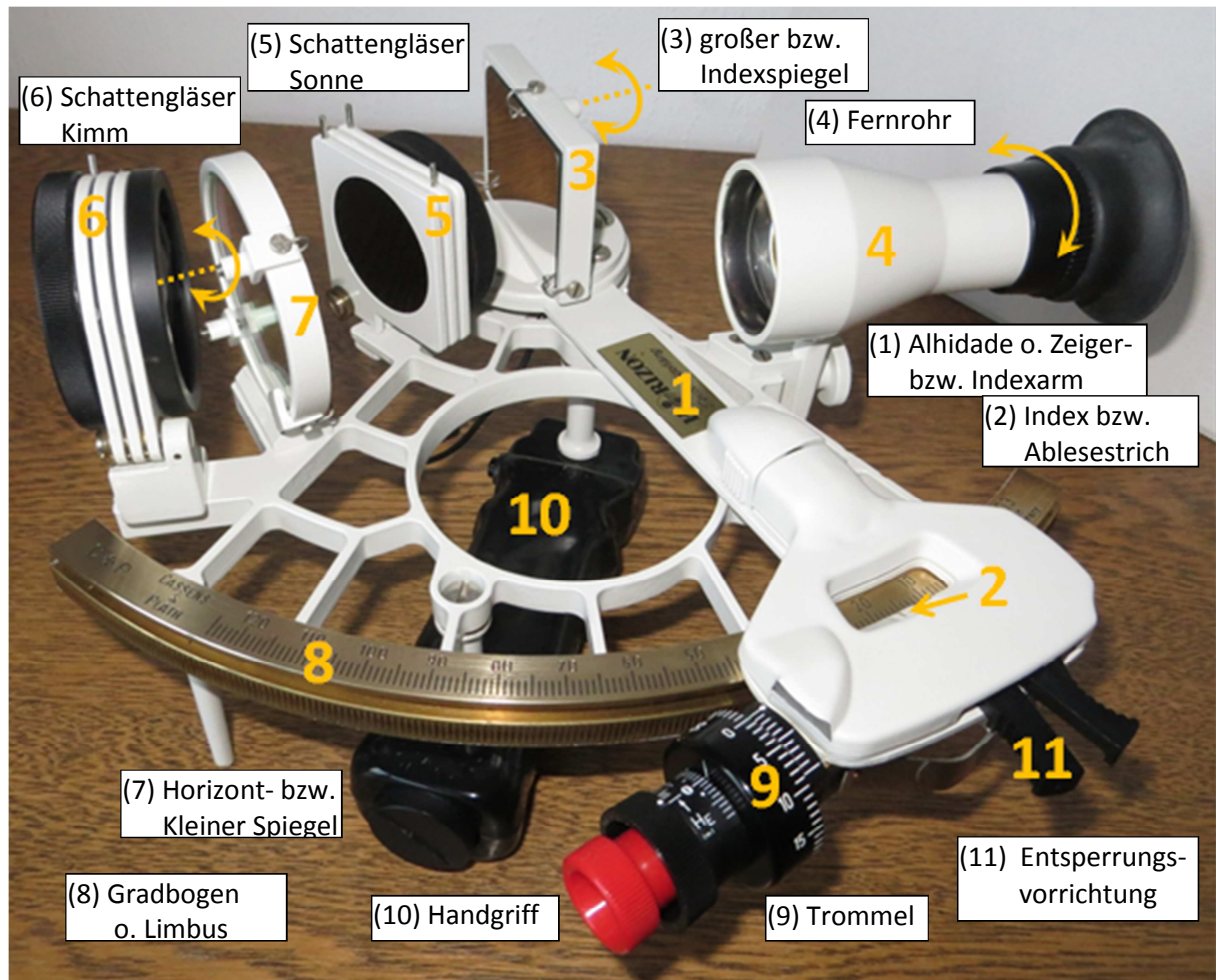
Ist doch klar, wird mancher sagen, damit kann man mit Hilfe von Sonne, Mond und Sternen seine Position feststellen – und liegt gründlich daneben. Denn nur mit einem Sextanten bewaffnet habe ich in der Astro Navigation keinen Erfolg. Mindestens ebenso wichtig sind ein aktuelles Nautisches Jahrbuch und eine sekundengenaue Uhr. Gerade die genaue Uhr war bis vor noch nicht allzu langer Zeit das größte Problem. Erst Ende des 17. Jahrhunderts gab es Uhren die es ermöglichten, den Längengrad halbwegs genau zu bestimmen und die Seefahrt sicherer zu machen. Doch davon später mehr.

Was also ist jetzt ein Sextant?

Ein Sextant kann nichts anderes, als einen Winkel messen! Er ist also ein Winkelmesser, wenn auch ein hoch genauer. Unser Vereins-Sextant hat eine Messgenauigkeit von 6 Winkelsekunden, das sind $1/60$ Grad.

Zum Einstieg in das Thema, sehen wir uns auf der nächsten Seite mal unseren Winkelmesser genau an:

Abbildung eines Sextanten



Sextanten sind ein teures Vergnügen. Will man diesen heute neu kaufen, hat man ihn mit 1600 Euro günstig erworben! Was bekommen wir also für so viel Geld? Wie gesagt, einen Winkelmesser. Und wer denkt, Winkel gibt es von 0° bis 360° und die kann ich alle damit messen – wird enttäuscht. Es lassen sich anhand der Einteilung auf dem Gradbogen Winkel bis 120° Grad damit messen. Jedoch erkennt man bei genauer Betrachtung, dass der Gradbogen niemals einen Winkel von 120° überstreicht! Richtig gesehen, es sind auch nur 60° . Daher hat der Sextant auch seinen Namen. 60° sind ein Sextel des Vollkreises von 360° . Der Indexstrich der Alhidade dient zur Grobeinstellung des vollen Grades auf dem Gradbogen, mit der Trommel wird dann die Feineinstellung vorgenommen. Bei diesem Sextanten sind an der Trommel noch andere Skalen auf die wir hier nicht eingehen. Trotz seines robusten Aufbaus und Aussehens handelt es sich hierbei um ein sehr empfindliches Gerät das sorgsam behandelt werden will. Der Sextant muss stets im mitgelieferten Behälter aufbewahrt werden. Er wird nur an den Korpus Sprossen beim Entnehmen, Einlagern und bei der Übergabe festgehalten. Niemals blanke Messingteile mit den Fingern berühren, sie oxidieren dann. Selbstverständlich berührt man auch die Spiegel nicht. Der Transport erfolgt nur mit geschlossenem Deckel. Der Deckel zeigt in Richtung Oberschenkel. Selbst Temperaturschwankungen können genügen, die Genauigkeit des Sextanten in Frage zu stellen. Aus diesem Grund muss das Gerät vor jeder Messung auf die Fehlerfreiheit kontrolliert werden. Der Navigator muss in der Lage sein, festgestellte Fehler zu beseitigen bzw. in seinen Berechnungen zu berücksichtigen. Nach Misshandlung ist der Navigator allerdings machtlos. Der Sextant muss aufwendig beim Hersteller neu justiert werden. Unser Vereins-Sextant steht daher nur Vereinsmitgliedern mit mindestens Sportseeschifferschein zum Ausleihen zur Verfügung.

Welche „natürlichen“ Fehler gibt es?

Mit dem Index auf der drehbar gelagerten Alhidade (Zeigerarm) werden Grade auf dem Gradbogen (Limbus) abgelesen. Der Gradbogen ist in einen Haupt- und Vorbogen unterteilt. Rechts von der Nullmarkierung ist der Vorbogen bis 5° laufend und links von der Nullmarkierung der Hauptbogen bis 120° bzw. 130°.

Auf der drehbaren Alhidade befindet sich der große Spiegel oder Indexspiegel. Der 2. Spiegel heißt Horizontspiegel oder kleiner Spiegel und ist bei konventionellen Sextanten nur halbseitig versilbert. Bei den modernen Vollsichtsextanten (wie abgebildet) ist der Horizontspiegel so konstruiert, dass die gesamte „Spiegelfläche“ als Spiegel fungiert und man gleichzeitig durch die gesamte Fläche die Kimm durchgängig sieht.

Beide Spiegel müssen absolut senkrecht zur Instrumentenebene stehen. Ist das nicht der Fall, so liegt ein Kippfehler vor, den der Navigator erkennen und beseitigen können muss.

Ein weiterer Fehler ist der Indexfehler. Der Nautiker muss ihn erkennen und in seinen Berechnungen berücksichtigen. Falls dieser betragsmäßig zu groß ist, muss er ihn beseitigen. Mit der Trommel (daher übrigens auch der Name Trommelsextant) wird neben der Feineinstellung auch der Betrag des Indexfehlers abgelesen.

Die Fehler werden in nachstehender Reihenfolge beseitigt:

1. Kippfehler am Indexspiegel
2. Kippfehler am Horizontspiegel
3. Indexfehler

Kippfehler am Indexspiegel:

Alhidade in die Mitte des Gradbogens stellen. An der rechten Kante des Indexspiegels vorbei in Richtung Gradbogen schauen. Rechts von der Indexspiegelkante erkennt man den originalen Gradbogen, im Indexspiegel erscheint das gespiegelte Bild des Gradbogens. Beide Gradbögen müssen ohne Versatz ineinander übergehen. Ist eine Kante zu erkennen, liegt ein Kippfehler am Indexspiegel vor. Nach Studium der folgenden Bilder, wird das hoffentlich verständlich.



Mit der Stellschraube am Indexspiegel wird dieser Fehler korrigiert.

Passendes Werkzeug gehört zu jedem Sextanten dazu. Nur dies benutzen.



Kippfehler am Horizontspiegel:

Alhidade und Trommel in Nullstellung bringen und durch das Fernrohr in Richtung Kimm schauen. (ACHTUNG! Niemals ohne Schattengläser in Richtung Sonne schauen)

Sextant mit halbversilbertem Horizontspiegel: (Halbsichtsextant)

Sollte die Kimm mit einem Knick zu sehen sein, Trommel solange drehen, bis dieser Knick beseitigt ist. Jetzt den Sextanten ca. 30° nach rechts oder links um die Fernrohrachse drehen, dabei darf die Kimm nicht wieder als geknickte Linie zu sehen sein.

Ist dies der Fall, so liegt ein Kippfehler am Horizontspiegel vor.

An der Stellschraube des Horizontspiegels (Achtung 2 Schrauben! Bedienungsanleitung lesen) analog zur Indexspiegelschraube solange drehen, bis der Knick in der Kimm beim „gedrehten Sextanten“ nicht mehr zu sehen ist.

Vollsichtsextant:

Sind 2 durchgängige Kimmbilder übereinander zu sehen, Trommel solange drehen, bis beide Kimmbilder ineinander übergehen.

Ist das erledigt, dreht man den Sextanten ca. 30° nach rechts oder links um die Fernrohrachse. Erscheinen dabei wieder 2 Kimmbilder übereinander, dann liegt beim Horizontspiegel ein Kippfehler vor. An der Stellschraube des Horizontspiegels (Achtung auch hier 2 Schrauben! Bedienungsanleitung) analog zur Indexspiegelschraube solange drehen, bis nur noch eine durchgängige Kimm beim „gedrehten Vollsichtsextanten“ zu sehen ist. Ohne Korrektur dieses Fehlers, sind alle gemessenen Winkel zu klein.

Der Kippfehler des Horizontspiegels kann auch an einem Gestirn oder weit entfernten Objekt festgestellt werden. Das Originalbild und das zweifach gespiegelte Bild müssen deckungsgleich sein. Sind dabei die Bilder seitlich versetzt, liegt am Horizontspiegel ein Kippfehler vor. Dieses Verfahren nennt man Deckprobe.

Indexfehler:

Haben wir die Kippfehler beseitigt, Trommel und Alhidade in Nullstellung bringen und in Richtung Kimm durch das Fernrohr sehen. Sieht man das direkte und das gespiegelte Bild der Kimm ohne Knick, bzw. beim Vollsichtsextanten nur eine Kimm, ist der Indexfehler 0. Das wird eher selten der Fall sein. Sonst die Trommel so weit drehen, bis der Knick beseitigt ist bzw. nur eine durchgängige Kimm zu sehen ist.

Dieses ist jetzt die wahre Nullstellung unseres Sextanten. Sie unterscheidet sich von der eingravierten Nullstellung um den Indexfehler, den wir bei der folgenden Winkelmessung berücksichtigen müssen. Hier ist noch das Vorzeichen wichtig: Liegt die wahre Nullstellung auf dem Hauptbogen, bekommt die Indexberichtigung das Vorzeichen Minus (alle Winkel werden zu groß gemessen), liegt sie auf dem Vorbogen dagegen Plus (alle Winkel werden zu klein gemessen)

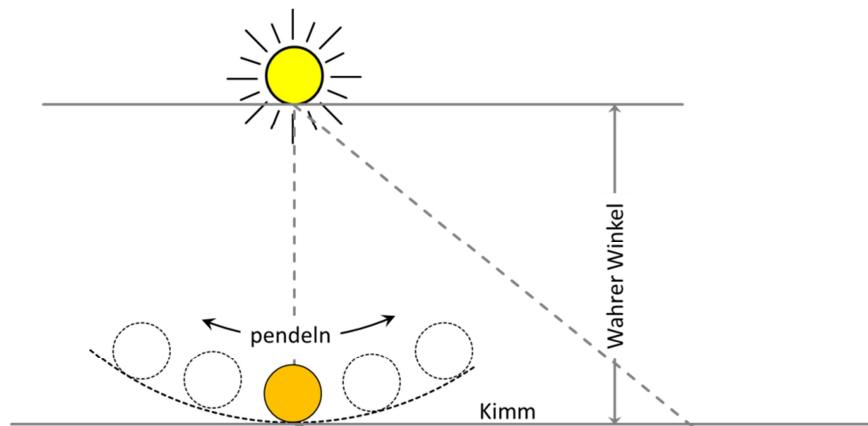
Ein wichtiger Bestandteil des Sextanten wurde bisher nur am Rande erwähnt: Die Schattengläser. Es gibt jeweils einen Satz für den Horizontspiegel und für den Indexspiegel. Sie können bei Bedarf in den Strahlengang eingeschwenkt werden. NIEMALS ohne Schattengläser in Richtung Sonne schauen! Das Augenlicht ist in Gefahr!!

Was haben wir bisher erreicht?

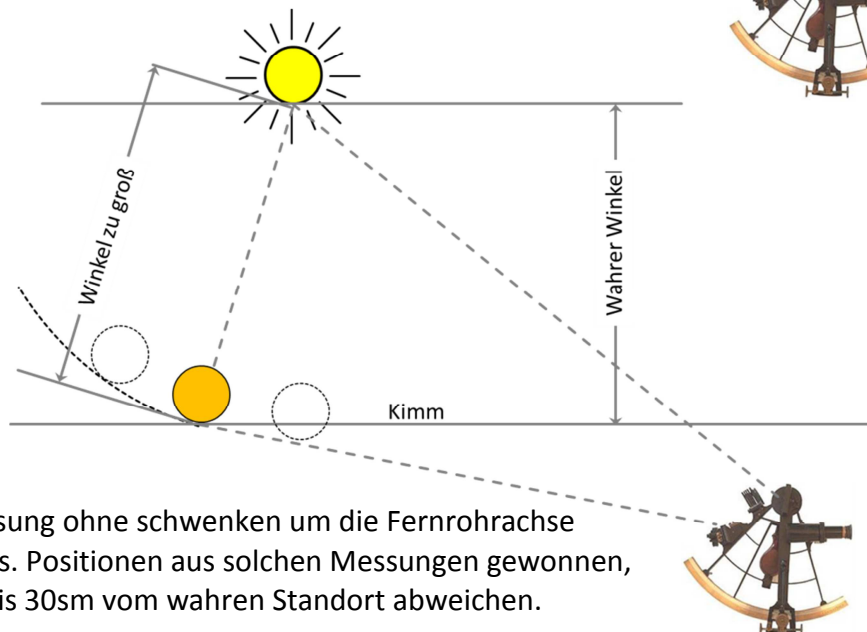
Wir haben unseren potentiell hochgenauen Winkelmesser zu einem wirklich hochgenauen Winkelmesser justiert.

Welchen Nutzen hat der Sextant jetzt für unsere Astro Navigation?

Wir messen mit ihm den Höhenwinkel eines Gestirns zu einem bestimmten Zeitpunkt über der sichtbaren Kimm. Das war es dann aber auch schon. Allerdings ist das Handling auf einem schwankenden Schiff nicht so ganz einfach und bedarf einiger Übung. Im Prinzip läuft die Messung so ab, dass die Kimm im Horizontspiegel eingefangen wird, und das Gestirn im Indexspiegel auf der Alhidade. Das Gestirn wird durch Bewegung der Alhidade doppelt gespiegelt zusammen mit der Kimm gesehen. Durch Feineinstellung mit der Trommel wird das Gestirn so auf die Kimm gesetzt, dass es die Kimm soeben berührt, wenn der Sextant etwas um die Fernrohrachse geschwenkt wird.



Durch das Schwenken wird eine senkrechte und damit genaue Messung angestrebt.



Eine Messung ohne schwenken um die Fernrohrachse ist wertlos. Positionen aus solchen Messungen gewonnen, können bis 30sm vom wahren Standort abweichen.

Ist alles passend, wird zunächst der sekundengenaue Zeitpunkt der Messung festgehalten. Danach kann der gemessene Winkel auf Gradbogen und Trommel abgelesen werden. Hieran muss noch die vorher ermittelte Indexberichtigung angebracht werden um den tatsächlich gemessenen Winkel zu erhalten.

Der Nautiker nennt eine Höhenwinkelmessung einen „Schuss“.

„Ich habe eine Sonne geschossen“ oder auch „Ich habe einen Mond geschossen“ –

Wie wir gesehen haben, wurden diese dabei nicht verletzt. ☺

Nach Abschluss der beabsichtigten Höhenmessungen kommt der Sextant wieder in seine Kiste. Sein Einsatz beschränkt sich allein darauf, Winkel zu messen.

Und woher bekommen wir jetzt unsere Position?

Astronomische Positionsermittlung

Um das zu verstehen, machen wir zunächst einen Ausflug in die terrestrische Navigation.

Ohne die terrestrische Navigation und deren Grundlagen zu verstehen, hat man in der Astro Navigation Probleme. Wer im SKS Kurs gut aufgepasst hat, ist hier klar im Vorteil. Zur Wiederholung erst einmal wichtige Begriffe und deren Bedeutung:

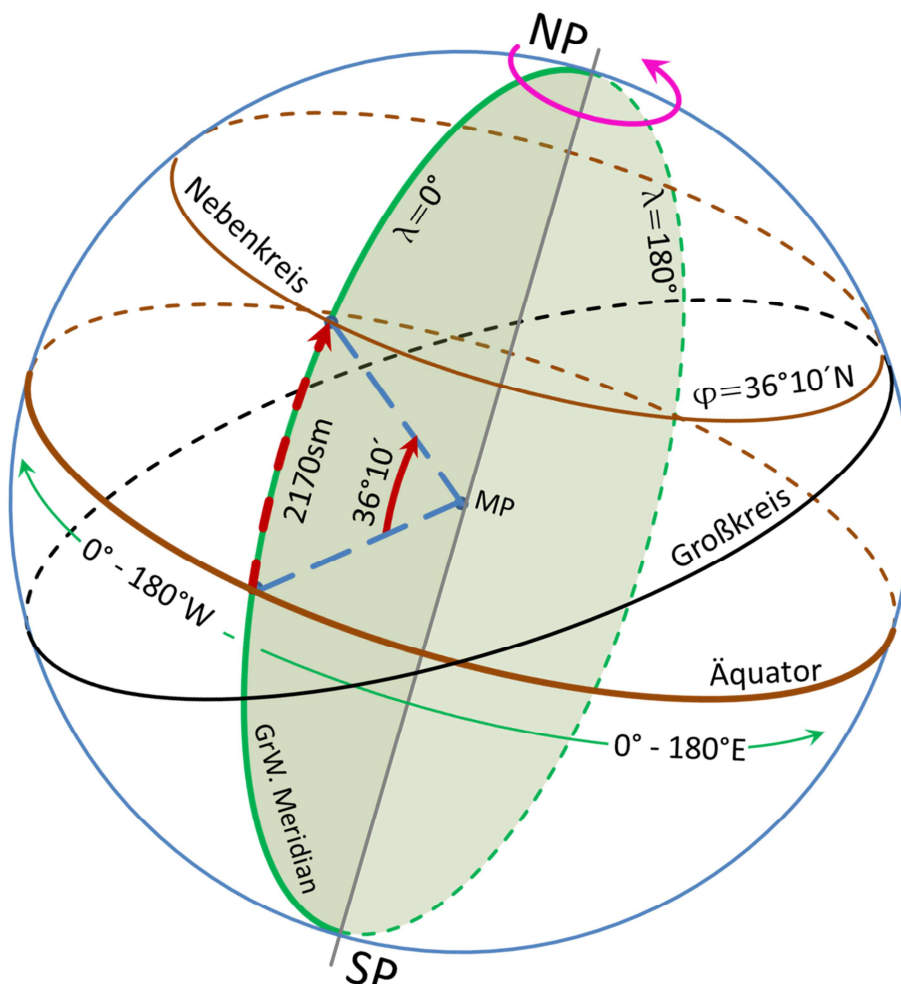
Erde: In der Navigation stellen wir sie uns als Kugel vor.

Der mittlere Umfang am Äquator beträgt 40000km oder **21600sm**.

Jeder Kreis hat 360°, jedes Grad 60' Minuten, das sind $360^\circ \times 60' = 21600'$ (Bogenminuten).

Wir sehen, jede Bogenminute entspricht auf dem Äquator (und auf jedem anderen Großkreis) genau einer Seemeile.

Die Erde rotiert von West nach Ost um die eigene Achse (Pole)



Großkreis: Als Großkreis wird ein Kreis auf der Erdoberfläche bezeichnet, dessen Kreisebene durch den Erdmittelpunkt verläuft. Ein Beispiel ist der Äquator. Die Meridiane sind halbe Großkreise, überstreichen also nur 180°. Auf Großkreisen entspricht eine Bogenminute immer genau 1sm. Aus diesem Grund kann man auch nur am rechten und linken Kartenrand (Teil eines halben Großkreises) Entfernungen abgreifen. Der obere und untere Kartenrand sind Teile eines Breitenkreises. Breitenkreise sind aber Nebenkreise.

Nebenkreis: Als Nebenkreis bezeichnet man einen Kreis auf der Erdoberfläche, dessen Kreisebene nicht durch den Erdmittelpunkt läuft. So ein Kreis hat natürlich auch 360° und 21600´Bogenminuten, nur entspricht eine Bogenminute je nach Kreisgröße nur dem Teil einer Seemeile.

Breite (φ): Die Breite φ oder engl. LAT (latitude) bezeichnet einen Bogen auf einem Meridian, gezählt vom Äquator bis zu den Polen, mit jeweils 0°-90°N in Richtung Nordpol und 0°-90°S in Richtung Südpol. Zu diesem Bogen gehört ein Winkel am Erdmittelpunkt.

Länge (λ): Die Länge λ oder engl. LON (longitude) bezeichnet einen Bogen auf dem Äquator oder einem Breitenparallel, gezählt vom Greenwich Meridian(0°) bis 180° mit der Erdrotation als E-Länge und bis 180° entgegen der Erdrotation laufend als W-Länge.

Standlinie: Als Standlinie (engl. Line of position, LOP) bezeichnet man in der Navigation die Menge aller Orte, an denen eine für die Ortsbestimmung gemessene Größe gleich ist. (Peilwinkel, Wassertiefe, Horizontalwinkel, Abstand usw.) Mindestens 2 kreuzende Standlinien zum gleichen Zeitpunkt ergeben eine Position zu diesem Zeitpunkt. Schnittwinkel kleiner 30° und größer 150° sind ungeeignet (Schleifende Schnitte).

Peilung: Feststellen der horizontalen Richtung in der ich von meinem Standort aus ein Objekt bezogen auf eine Bezugsrichtung sehe.

Versegelungspeilung: Eine in Richtung des Kurses über Grund um die zurückgelegte Distanz auf einen anderen Zeitpunkt verschobene (versegelte) Peilung bzw. Standlinie.

Koppelort (Ok): Durch Koppeln (berücksichtigen aller bekannten Faktoren) ermittelter, möglicherweise unsicherer Ort

Beobachteter Ort (Ob): Mit Hilfe eines Verfahrens zur Ortsbestimmung festgestellter sicherer Ort (Kreuzpeilung, GPS, Loran-C, Astronavigation usw.)

UTC/UT1: UTC ist die koordinierte Weltzeit und überall auf der Welt gleich. Im nautischen Jahrbuch wird als Zeitreferenz UT1 angegeben. Dies ist nicht dasselbe. Beide Zeiten weichen aber im Extremfall nur maximal 0,9 Sekunden voneinander ab. Nur die genaue UTC kann man sich problemlos besorgen. Der Nautiker als Praktiker setzt UT1 kurzerhand mit UTC gleich.

In der terrestrischen Navigation gibt es ein Verfahren, aus der bekannten Höhe eines Objektes, wie z.B. ein Leuchtturm, die Entfernung zu diesem durch Höhenwinkelmessung zu bestimmen. Das funktioniert im einfachsten Fall, der Fußpunkt des Leuchtturms liegt vor der Kimm, auch mit einem Peilfernglas mit eingeblendeter Höhenskala und Rechenring. Genauer kann man den Winkel Fußpunkt-Auge-Leuchtturmspitze jedoch mit einem Sextant messen. Ich setze die Höhe aus dem Leuchtfeuerverzeichnis und meinen gemessenen Winkel in eine Formel ein und berechne meinen Abstand zum Leuchtturm.

$D(\text{sm}) = 13/7 \times \text{Höhe}(\text{m}) / \text{Winkel}(\text{min})$. Das funktioniert mit einer etwas komplizierteren Formel auch, wenn der Fußpunkt des Leuchtturms verdeckt hinter der Kimm liegt und ich nur den Höhenwinkel bis zur Kimm messen kann. Ein Kreis mit diesem Abstand um den Leuchtturm in der Seekarte geschlagen – und ich habe meine Standlinie.

Alle irgendwo auf dieser Standlinie stehenden Beobachter, würden den gleichen Höhenwinkel messen. So eine Standlinie nennt man daher auch **Höhengleiche**. Die Peilung des Turms ergibt meine zweite Standlinie und ich habe meine Position. Diese Peilung benötige ich nicht unbedingt, wenn noch ein zweiter Turm zur Höhenwinkelmessung zur Verfügung steht. Wird auch um diesen Turm die Höhengleiche gezeichnet, schneiden sich beide Standlinien in 2 Schnittpunkten. Meist kann man einen der beiden Schnittpunkte als mögliche Position ausschließen, da er z.B. auf Land liegt, unser Schiff aber schwimmt. Einem ähnlichen Prinzip folgt jetzt die Astronavigation. Wir erinnern uns an unsere Höhenwinkelmessung des Gestirns. Auch hier wurde der Höhenwinkel des Gestirns (Leuchtturmspitze) bis zur Kimm gemessen. Was uns fehlt ist der Fußpunkt des „Leuchtturms“, also seine Position in der Seekarte.

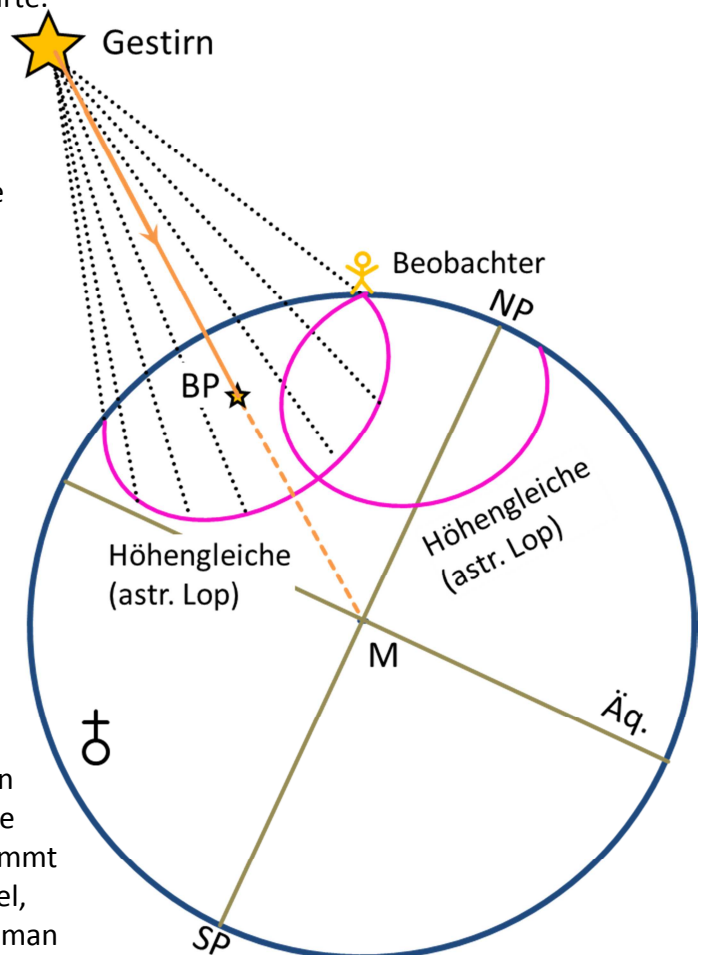
Das ist aber nicht ganz richtig, denn als Fußpunkt gilt bei einem Gestirn sein Bildpunkt. Den erhält man, wenn man sich vom Mittelpunkt des Gestirns eine Linie bis zum Mittelpunkt der Erde denkt. Dort wo diese Linie die Erdoberfläche durchsticht, liegt der Bildpunkt des Gestirns.

Unser terrestrischer Leuchtturm steht unverrückbar an seinem Platz, und ist in der Seekarte verzeichnet.

Der astronomische „Leuchtturm“ allerdings, ist ein unruhiger Geselle und bewegt sich über die Erdoberfläche! Und das recht fix. Im Fall der Sonne, die ja bekanntlich die Erde innerhalb von 24 Stunden scheinbar umläuft, rast er mit 1666 km/h über die Erdoberfläche. Hier wird jetzt auch klar, warum eine astronomische Höhenwinkelmessung nur einen Sinn ergibt, wenn gleichzeitig die sekundengenaue Zeit der Messung festgehalten wird. Der Bildpunkt der Sonne ist nach 1 Minute schon 15 Seemeilen weiter. An dieser Stelle kommt jetzt das dritte unerlässliche Hilfsmittel ins Spiel, das Nautische Jahrbuch. Mit dessen Hilfe kann man unter anderem die Position der Bildpunkte von Sonne, Mond und Planeten zu jeder Zeit des Jahres sekundengenau bestimmen. Damit habe ich die Zutaten, um meine Standlinie zu zeichnen:

Den Bildpunkt zum Zeitpunkt der Messung, und aus dem Höhenwinkel die berechnete Größe des Kreises um ihn herum, die Höhengleiche die meine astronomische Standlinie (astr.LOP) bildet.

Eine zweite Höhenwinkelmessung eines anderen Gestirns zur gleichen Zeit oder eine auf gleiche Zeit versiegelte, bildet die zweite Standlinie. Da diese Standlinien, wie bei unseren terrestrischen Leuchttürmen, wieder zwei Kreise sind, bilden sich auch wieder zwei Schnittpunkte, also zwei mögliche Positionen. Diese Höhengleichen haben Durchmesser von mehreren Tausend Kilometern. Dadurch ist die Position eindeutig. Ob ich im Mittelmeer oder im Englischen Kanal segele, werde ich sicherlich wissen. In der Größe der Höhengleichen, der astronomischen Standlinien, liegt aber auch gleichzeitig die Problematik. Es gibt einfach keine Seekarten, in die ich diese riesigen Standlinien hineinkonstruieren kann. Zur praktischen Verwendung muss also eine andere Lösung her. Trotzdem sollte das bisher gesagte erst verstanden sein, bevor die Trickkiste geöffnet wird.



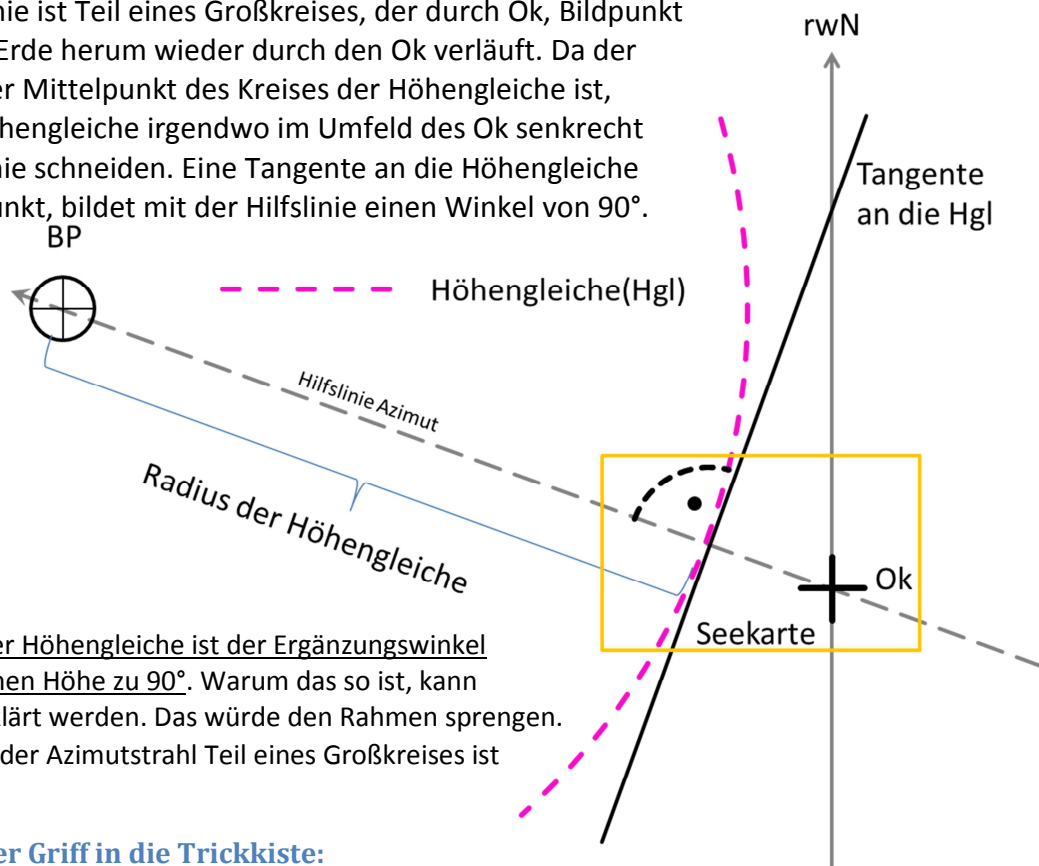
Die astronomische Standlinie (astr.LOP) in der Praxis

Oben haben wir den Richtigen Schnittpunkt der Höhengleichen dadurch identifiziert, dass wir schon wissen, ob wir im Mittelmeer oder der Nordsee herumschippeln. Dieses Verfahren verfeinert der Nautiker noch einmal um ein Vielfaches. Jeder verantwortungsbewusste Schiffsführer hat eine Vorstellung davon, wo er sich in etwa befindet. Ab der letzten sicheren Position, koppelt er seinen Kurs mit. Das bedeutet, regelmäßig aus allen bekannten Faktoren wie Kurs, Geschwindigkeit, Strömung, Windversatz usw. die wahrscheinliche Position zu ermitteln. Eine auf diese Art ermittelte Position nennt man einen Koppelort (Ok). Ein Koppelort ist natürlich mehr oder weniger unsicher, wird sich aber im größeren Umfeld des tatsächlichen Schiffsorts befinden. Damit also auch auf der Seekarte, die unser Fahrtgebiet abbildet. In der Astronavigation zeichnet man die astronomischen Standlinien nur im Bereich des Ok in die Karte ein. Da der tatsächliche Schiffsort nicht weit entfernt liegen kann, werden sich auch die Standlinien in der Nähe kreuzen. Damit habe ich dann meinen beobachteten Ort (Ob) ermittelt.

Um herauszufinden wie wir die Standlinie dann in die Karte hineinkonstruieren, müssen wir wieder etwas ausholen. Der Bildpunkt, um den wir unseren Kreis schlagen müssen, ist uns zwar aus dem Nautischen Jahrbuch bekannt, aber keinesfalls mehr in unserer Karte. Mit der sogenannten Besteckrechnung, können wir aber mit dem Taschenrechner ausrechnen, in welcher Richtung von unserem Ok der Bildpunkt und damit das Gestirn liegt. Diese Richtung nennt man das Azimut des Gestirns.

Das Azimut ist die rechtweisende Peilung(rwP) vom Ok zum Gestirn.

Eine Hilfslinie, die in dieser Richtung verläuft, konstruieren wir durch den Ok in die Seekarte. Diese Hilfslinie ist Teil eines Großkreises, der durch Ok, Bildpunkt und um die Erde herum wieder durch den Ok verläuft. Da der Bildpunkt der Mittelpunkt des Kreises der Höhengleiche ist, muss die Höhengleiche irgendwo im Umfeld des Ok senkrecht diese Hilfslinie schneiden. Eine Tangente an die Höhengleiche im Schnittpunkt, bildet mit der Hilfslinie einen Winkel von 90° .



Der Radius der Höhengleiche ist der Ergänzungswinkel der gemessenen Höhe zu 90° . Warum das so ist, kann hier nicht geklärt werden. Das würde den Rahmen sprengen.
 $1' \cong 1sm$, da der Azimutstrahl Teil eines Großkreises ist

Jetzt folgt der Griff in die Trickkiste:

Wenn man aus einer Höhenwinkelmessung den Radius der Höhengleiche berechnen kann, so kann man auch aus dem Radius einer Höhengleichen den zugehörigen Höhenwinkel berechnen.

Genau das macht der Nautiker. Er berechnet, welche Höhe er messen muss, wenn er wirklich exakt auf dem Ok stehen würde und nennt diese Höhe h_r (Rechenhöhe). Der Radius dieser Höhengleiche ist der Großkreis Abstand zwischen Ok und Bildpunkt.

Die aus der Sextant Messung gewonnene Höhe nennt er h_b (beobachtete Höhe).

Dann vergleicht er beide Höhen.

Dabei sind 3 Fälle denkbar:

1. Fall: Beobachtete Höhe (hb) und Rechenhöhe (hr) sind gleich.

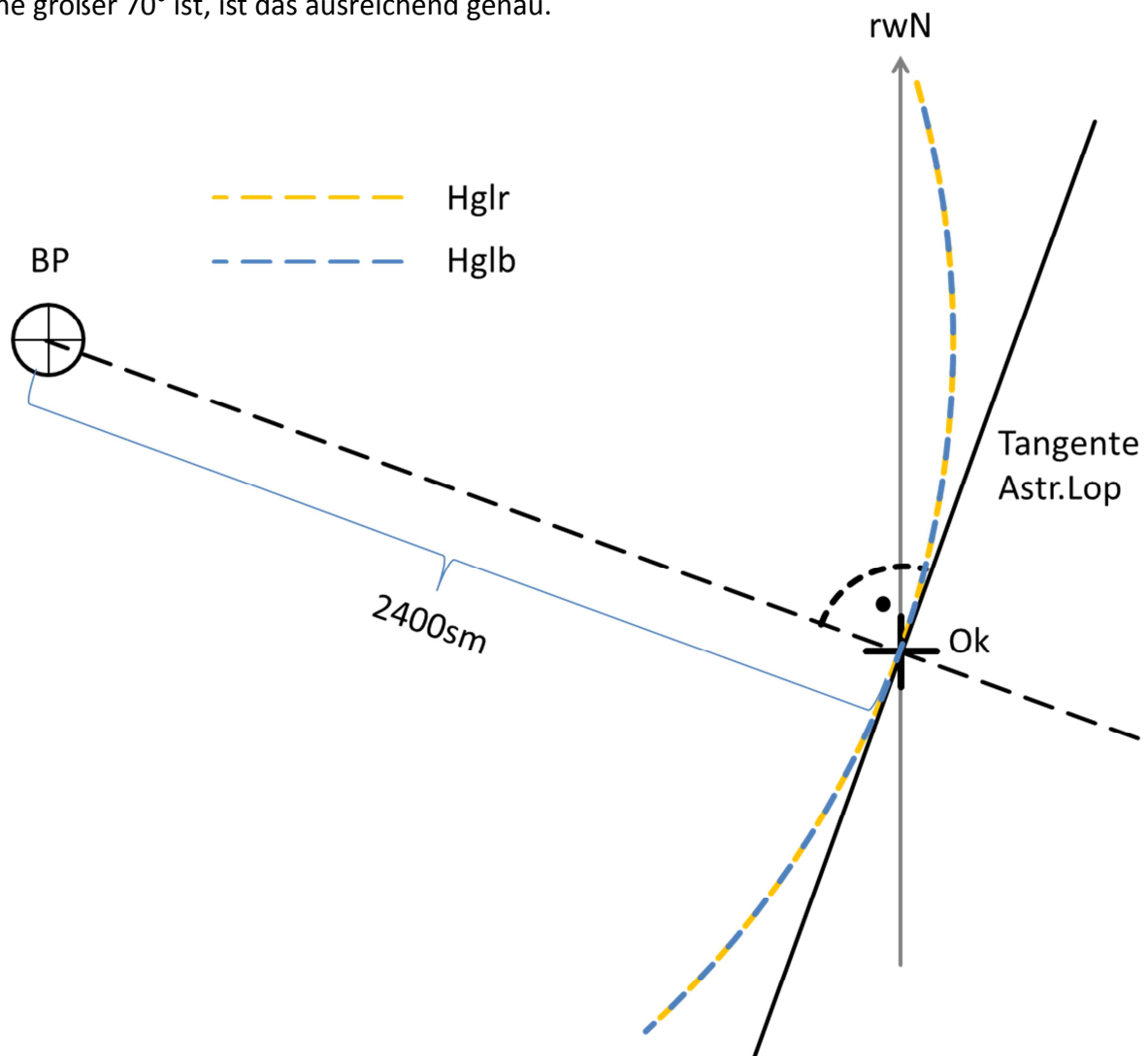
$$hb = hr = 50^{\circ}00' \quad Az=290^{\circ} \quad \text{Radius der Hgl}_b \text{ u. Hgl}_r = 90^{\circ} - 50^{\circ} = 40^{\circ} \times 60' = 2400\text{sm}$$

Da die hb und hr gleich sind, müssen beobachtete Höhengleiche (Hgl_b) und berechnete Höhengleiche (Hgl_r) durch den Koppelort verlaufen.

Das Azimut zeigt uns von Ok aus die Richtung zum Bildpunkt an.

Vorgehensweise: An den Ok tragen wir das Az an. In 2400sm Großkreisentfernung liegt der Bildpunkt. Um ihn schlagen wir mit den beiden berechneten Radien jeweils einen Kreis und erhalten Hgl_b und Hgl_r , die beide durch den Ok verlaufen müssen. Der Ob wird ganz selten im Ok liegen, sondern seitlich von ihm auf der Hgl_r bzw. Hgl_b .

Radius und Höhengleiche stehen senkrecht aufeinander, auch im Ok. Da ich die Hgl nicht zeichnen kann, zeichne ich die Tangente an die Hgl im Ok. Diese Tangente nimmt der Seemann als astr.LOP. Die Originalstandlinie ist aber die beobachtete Höhengleiche. Der gemachte Fehler ist tolerierbar, da die Krümmung der Hgl wegen dem großen Radius von 2400sm sehr gering ist und Tangente und Hgl in der Nähe des Ok fast identisch sind. Wenn man keine Gestirne schießt, deren Höhe größer 70° ist, ist das ausreichend genau.

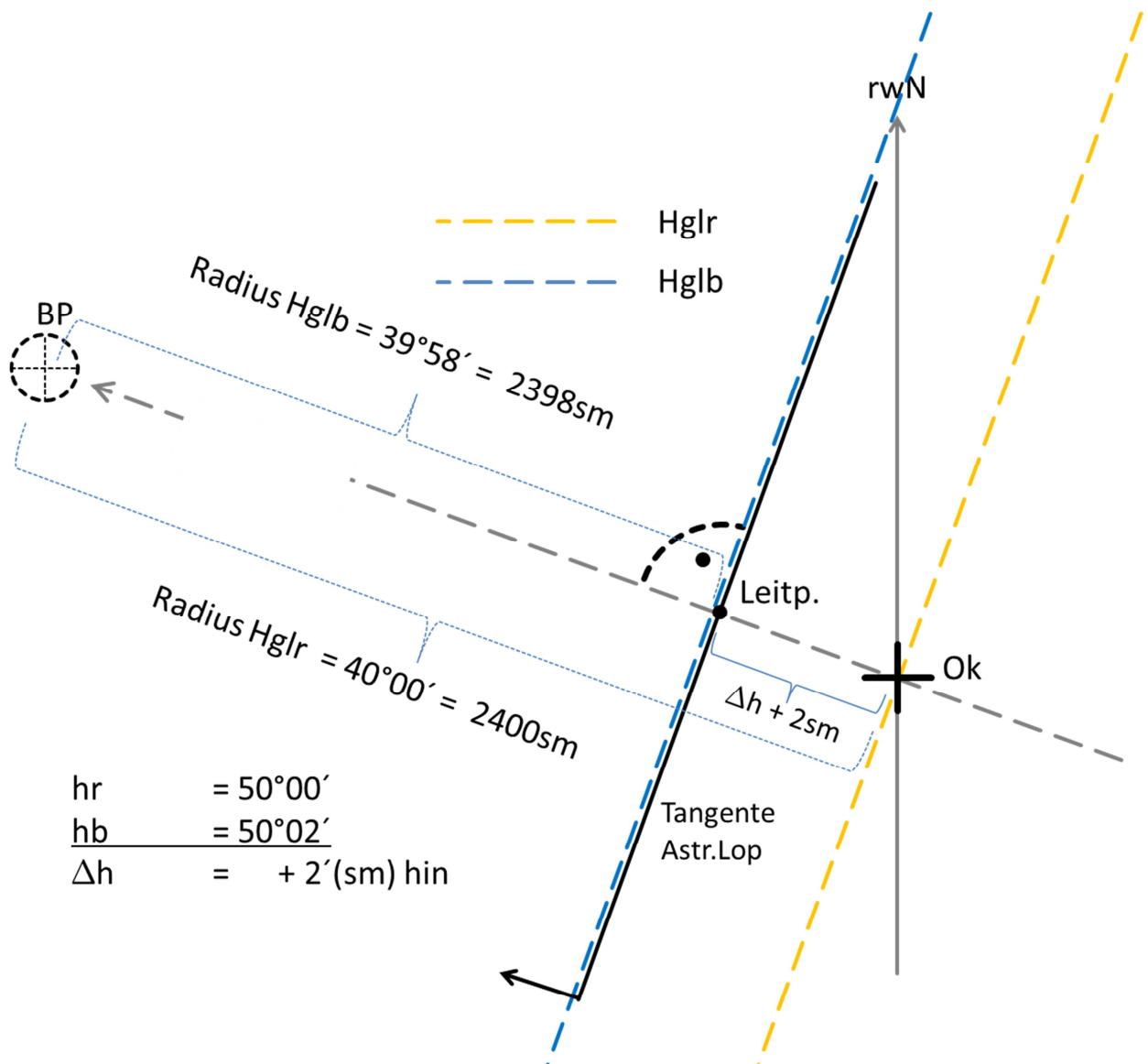


2. Fall: Beobachtete Höhe (hb) ist größer als Rechenhöhe (hr).

$$hb = 50^{\circ}02' \quad hr = 50^{\circ}00' \rightarrow Hgl_b = 39^{\circ}58' \quad Hgl_r = 40^{\circ}00' \quad Az = 290^{\circ}$$

In diesem Fall kann die Hgl_b nicht durch den Ok verlaufen, weil ihr Radius kleiner ist als der der Hgl_r . Wir laufen auf dem Azimutstrahl vom Ok aus 2sm in Richtung **hin zum BP** und machen einen kleinen Querstrich. Dieser Punkt heißt Leitpunkt. Durch diesen Leitpunkt verläuft die Hgl_b .

Hier zeichnen wir senkrecht zum Azimut die Tangente an die Hgl_b und erhalten damit unsere Standlinie (astr.LOP). An ein Ende der astr.LOP zeichnen wir einen kleinen Pfeil, der die Richtung zum Bildpunkt(BP) angibt.

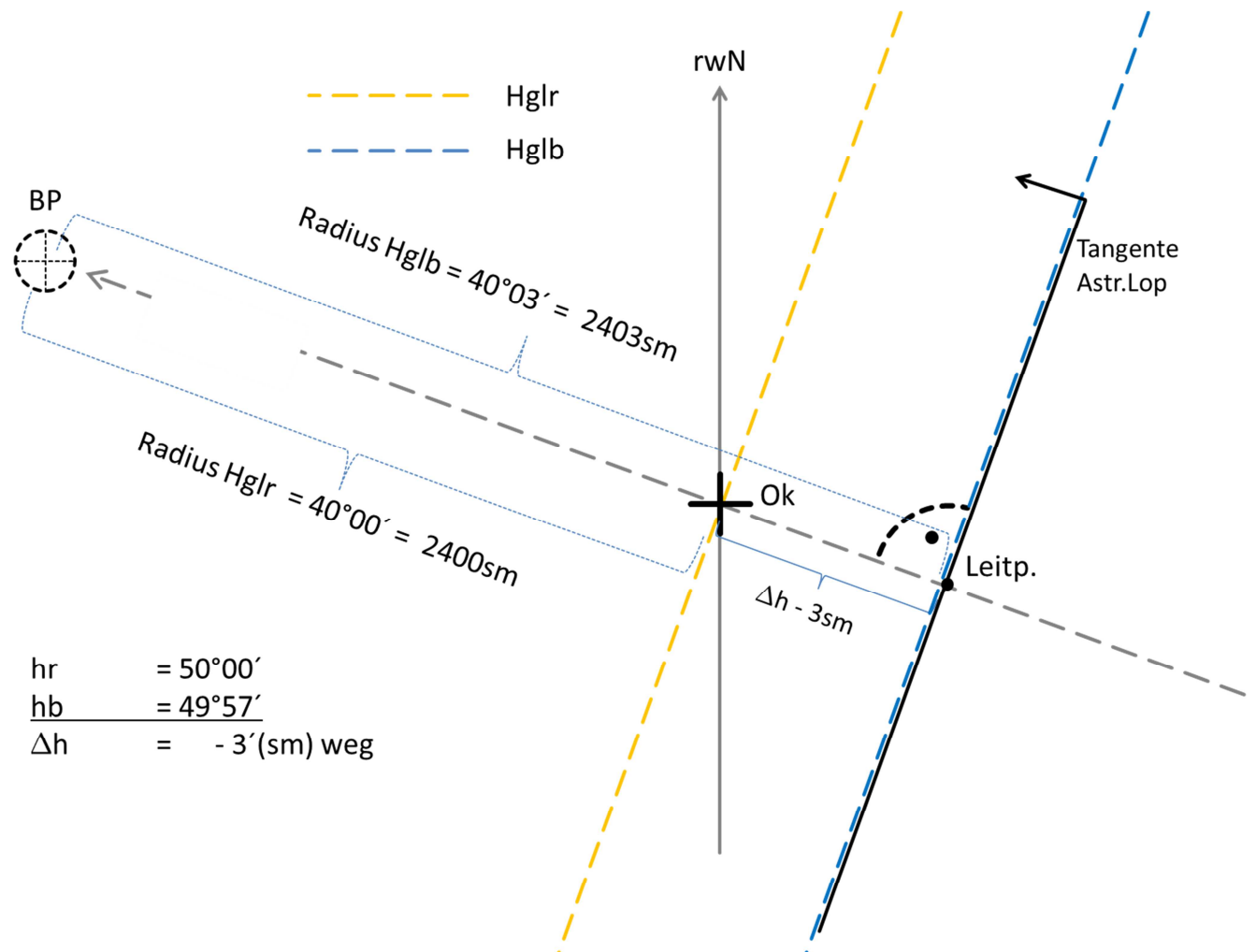


3. Fall: Beobachtete Höhe (hb) ist **kleiner** als Rechenhöhe (hr).

$$hb = 49^\circ 57' \quad hr = 50^\circ 00' \rightarrow Hgl_b = 40^\circ 03' \quad Hgl_r = 40^\circ 00' \quad Az = 290^\circ$$

Am Ok wird Az angetragen. Nun gehen wir 3sm bezogen auf den Ok **weg vom BP** und erhalten den Leitpunkt. Durch diesen Leitpunkt verläuft die Hgl_b .

Hier zeichnen wir senkrecht zum Azimut die Tangente an die Hgl_b und erhalten damit unsere Standlinie (astr.LOP). An ein Ende der astr.LOP zeichnen wir auch hier einen kleinen Pfeil, der die Richtung zum Bildpunkt(BP) angibt.



In der praktischen Anwendung interessieren weder die Radien der Höhengleichen, noch die beiden Höhengleichen selbst.

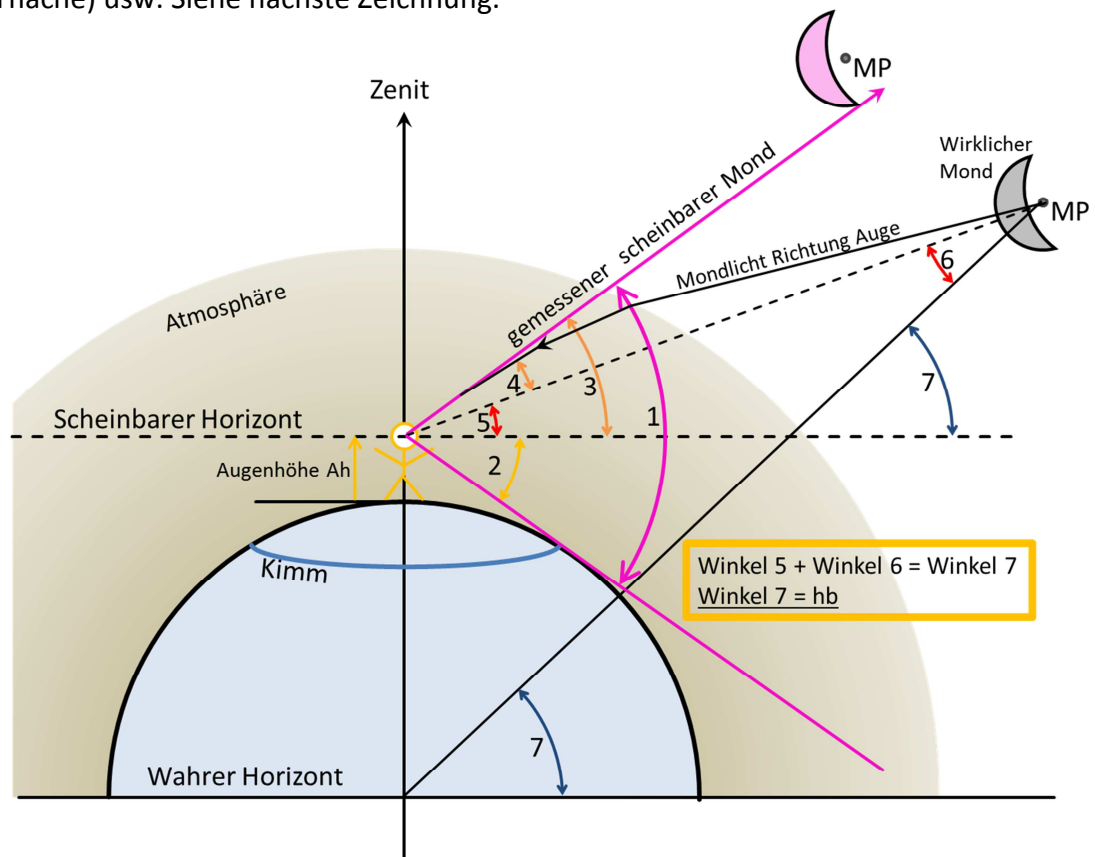
Der Praktiker vergleicht hr und hb und bildet ein Δh .

Ist das Δh **positiv** ($hb > hr$), müssen wir vom Ok aus die Strecke Δh auf dem Azimut Strahl **hin** zum BP laufen und erhalten hier den Leitpunkt zum Zeichnen der astr.LOP.

Ist das Δh dagegen **negativ** ($hb < hr$), müssen wir vom Ok aus die Strecke Δh auf dem Azimut Strahl **weg** vom BP laufen und erhalten dort den Leitpunkt zum Zeichnen der astr.LOP. Der Schnittpunkt mit einer zweiten astr.LOP zum Zeitpunkt des Ok, oder eine auf diesen Zeitpunkt versetzte Standlinie, ergibt unseren Ob zum Zeitpunkt des Ok.

Dass eigentlich die Hgl_b , und nicht die Tangente an die Hgl_b , die astronomische Standlinie ist, interessiert den Nautiker wenig bis gar nicht. Zur Konstruktion der astronomischen Standlinie benötigt er ausschließlich den Ok, das Azimut und Δh

Damit ist das Geheimnis der Astronavigation gelüftet und das Prinzip erklärt. Die Darstellung ist hoffentlich verständlich gelungen (Er war stets bemüht....). Allerdings wurde auf dem Weg dorthin wesentliches weggelassen. All das wird aber zum Verständnis des Prinzips nicht benötigt. Um Astronavigation wirklich zu betreiben, ist noch einiges an Input zu verarbeiten. Ein Beispiel noch dazu: Der mit Sextant gemessene Kimmabstand ist noch keineswegs der Höhenwinkel(hb) des Gestirns! Je nach Art des gemessenen Gestirns (Sonne, Mond, Planeten, Sterne) müssen diverse Verbesserungen an den gemessenen Winkel angebracht werden. Verbesserungen für die Lichtbrechung (Ich sehe das Gestirn höher als es in Wirklichkeit steht), für die Kimmtiefe (je nach Augenhöhe), die Höhenparallaxe, den Gestirnsradius (Ich benötige den Winkel bis zum Mittelpunkt des Gestirns). Auch benötige ich die Höhe über dem wahren Horizont (Winkel am Erdmittelpunkt, ich messe aber auf der Erdoberfläche) usw. Siehe nächste Zeichnung.



1. Kimmabstand (KA), Sextant Messung
2. Kimmtiefe(Kt), abhängig von der Augenhöhe des Beobachters
3. scheinbare Höhe über dem scheinbaren Horizont (hs)
4. Strahlenbrechung (R), Refraktion
5. Höhe über dem scheinbaren Horizont (h')
6. Höhenparallaxe (P)
7. Höhe über dem wahren Horizont bzw. beobachtete Höhe (hb)

Auch die Eigenarten, Begriffe und Anwendung des Nautischen Jahrbuchs wurden kurzerhand nicht erwähnt. Möchte man die Prüfung zum Sporthochseeschiffer bestehen, muss man sich mit den „verschwiegenen“ Problemen intensiv auseinandersetzen.

Zum Abschluss noch die Positionsbestimmung aus zwei Astronomischen Standlinien auf einem Blatt Papier. Astronavigation findet in der Regel nicht in der Seekarte statt, sondern auf eben diesem leeren Blatt Papier, dessen Maßstab ich mir definiere. z.B. $1\text{cm} \hat{=} 1\text{sm}$. Der Ok wird aus der Seekarte entnommen und an eine günstige Stelle auf dem Papier gelegt. Nach Bestimmung des Ob kann dieser in die Seekarte oder den Übersegler übertragen werden. Wer jetzt weiter folgen kann, war beim Verständnis des bisher Gesagten schon recht erfolgreich. Vielleicht nehmt ihr euch auch ein Blatt Papier?

Positionsermittlung aus 2 Standlinien mit Versegelung

Annahme: Wir haben die Berechnungen der Höhen und der Azimuts schon abgeschlossen.

Daraus erhalten wir zwei Standlinien für 2 Sterne

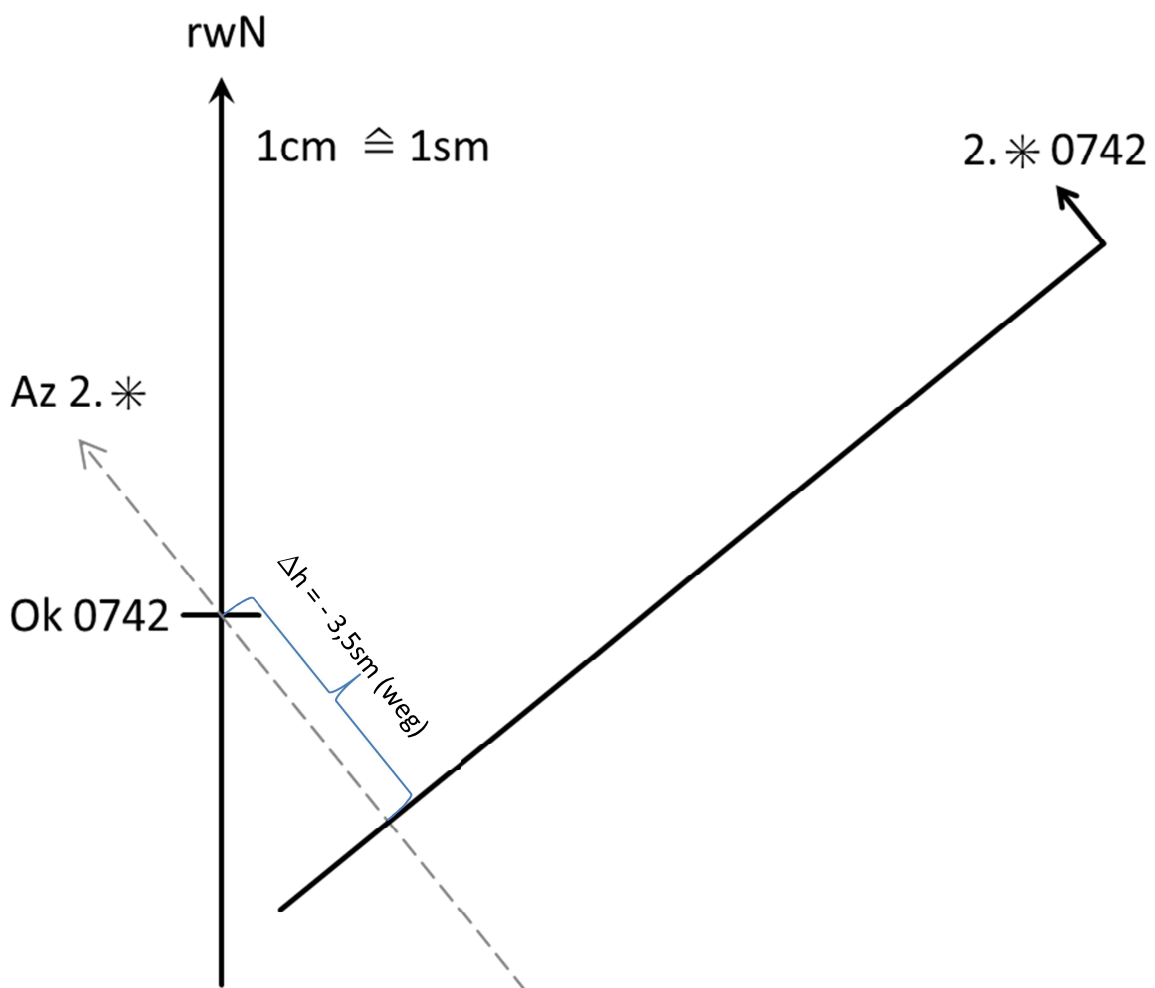
*1: Azimut = 035° $\Delta h = +7,7'$ (7,7sm) geschossen um 0320 UTC

*2: Azimut = 321° $\Delta h = -3,5'$ (3,5sm) geschossen um 0742 UTC

Der Ok 0742 UTC lautet: $\varphi 35^\circ 01,8' S$ $\lambda 179^\circ 48,7' W$

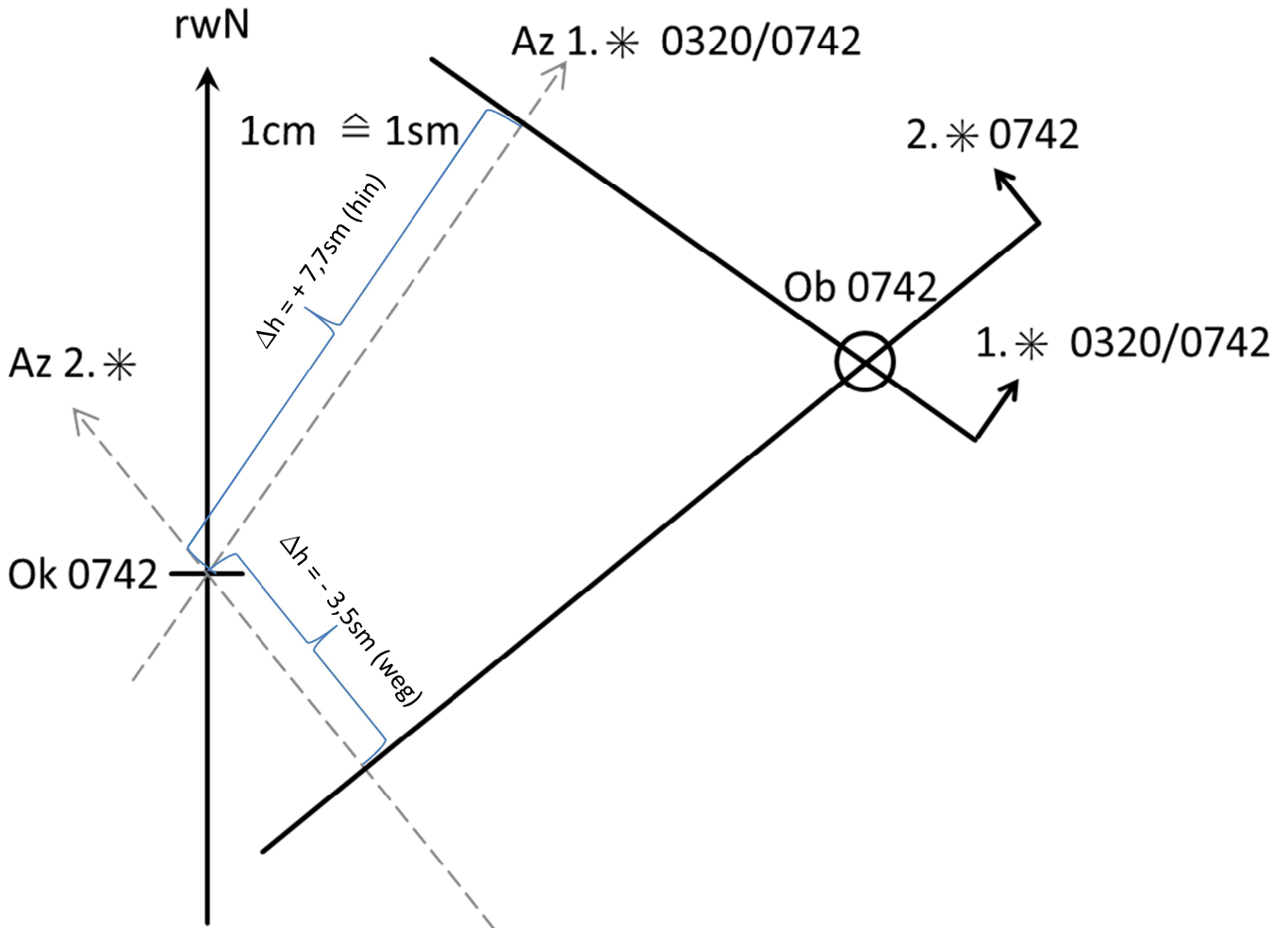
Gesucht wird der Ob 07:42 UTC und die Besteckversetzung BV

Zunächst suche ich mir einen strategisch günstigen Platz auf dem Papier für Ok 0742 und zeichne meine Nordrichtung, den Ok 0742 und den geplanten Maßstab ein. *2 wurde zur fragten Zeit 0742 UTC geschossen, und kann mit seinem Azimut durch Ok 0742 gezeichnet werden. Azimut ist eine Hilfslinie, nicht die Standlinie; also dünn und gestrichelt zeichnen. Δh hat als Vorzeichen Minus, also vom Ok aus 3,5sm **weg** vom Gestirn auf dem Azimutstrahl den Leitpunkt markieren. Durch ihn zeichne ich senkrecht zum Azimutstrahl meine astr.LOP



Was mache ich aber jetzt mit meinem *1? Er wurde schon um 0320 UTC geschossen, und muss doch zunächst auf 0742 UTC versegelt werden?! Was ist eine Versegelung? Die Standlinie wird um die Entfernung und Richtung der zurückgelegten Strecke von 0320 UTC bis 0742 UTC verschoben. Den Ort um 0320 UTC hat uns aber keiner verraten, was jetzt? Wir lassen das bisher gesagte über astronomische Standlinien noch einmal durch unseren Kopf gehen. Dabei stellen wir fest, dass wir über den Ort 0320 UTC nur wissen, dass der Azimutstrahl des *1 genau durch ihn hindurchgegangen ist! Wenn wir nun nicht die astr.LOP (die Standlinie) versegeln würden, sondern – das Azimut der astr.LOP 0320 UTC? Wenn der Azimutstrahl von *1 durch den Ort 0320 UTC gegangen ist, muss er doch nach der Versegelung auch exakt durch Ok 0742 UTC gehen? Kann das so einfach sein?? **Es kann!!**

Wir konstruieren die versiegelte astr.LOP von *1 mit seinem versiegelten Azimut an den Ok 0742 UTC und erhalten die zweite Standlinie zur Bestimmung von Ob 0742 UTC
 Das Azimut von *1 beträgt 035° und wird am Ok angetragen. Δh ist hier positiv, 7,7sm werden vom Ok **hin** zum Gestirn abgetragen, um den Leitpunkt zum Zeichnen der astr.LOP zu erhalten. Die Standlinien kreuzen sich im Ob 0742 UTC. Da meine Konstruktion nicht in der Seekarte stattfindet, kann ich die Position Ob 0742 UTC nicht einfach herausmessen. ☹



Meine Konstruktion ist aber maßstabsgerecht, im Beispiel entspricht 1cm einer Seemeile, daher kann ich die Besteckversetzung bzw. den Unterschied zwischen Ok und Ob in Seemeilen in eine Richtung, in diesem Fall Versatz nach Nord und Ost ausdrücken.

Der Nautiker nennt das $\Delta\varphi$ und $\Delta\lambda$.

$\Delta\varphi$, meinen Breitenunterschied(b) kann ich direkt in Bogenminuten ausdrücken, da er auf einem Längengrad, (wir erinnern uns) einem halben Großkreis, abgemessen wird. 1cm darauf entspricht in unserer Zeichnung einer Seemeile oder einer Bogenminute.

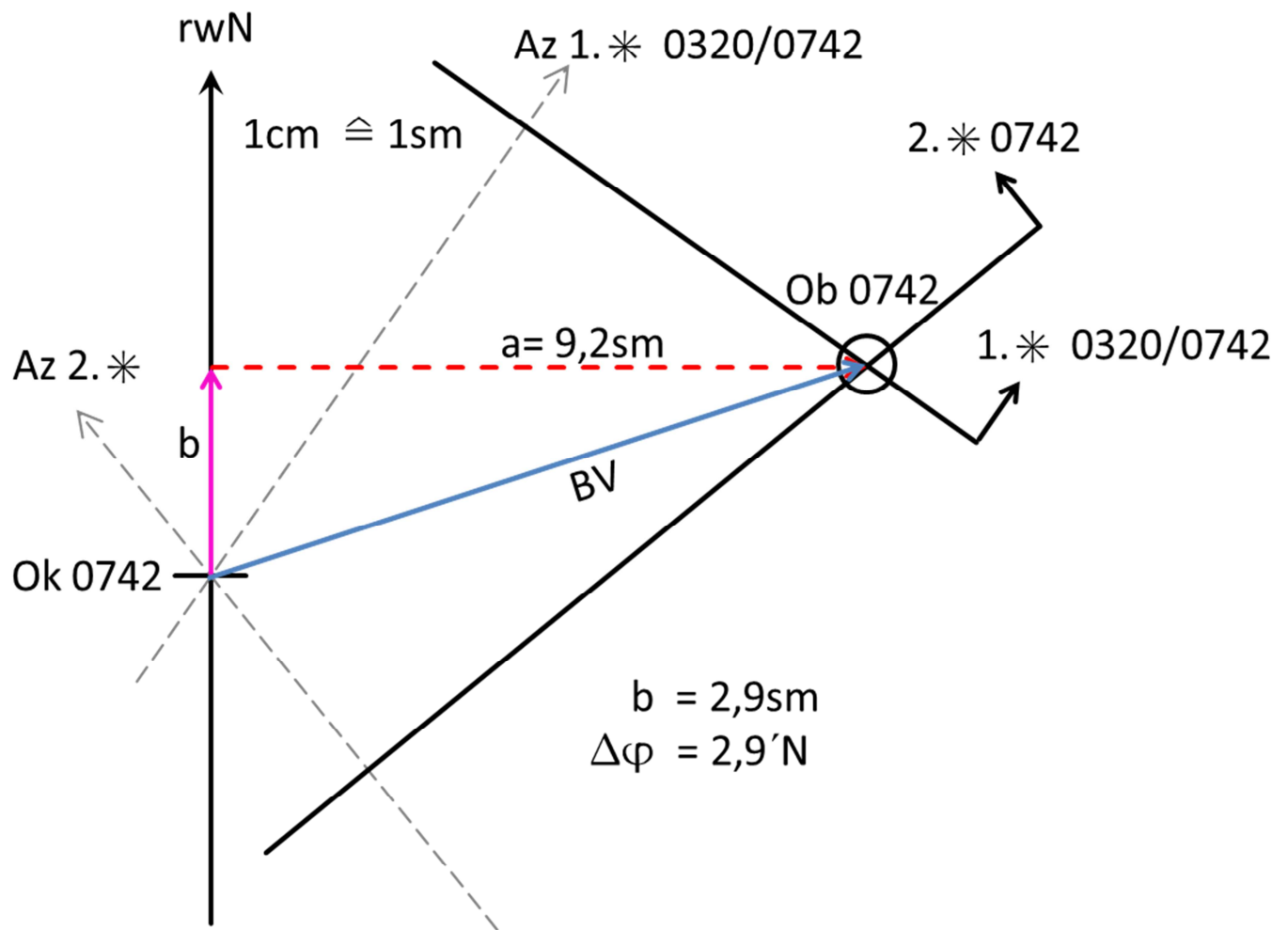
$\Delta\lambda$ können wir betragsmäßig in Seemeilen entnehmen. Der Nautiker nennt das Ablage(a). Da diese Entfernung aber in Richtung eines Breitenkreises abgemessen wird (wir erinnern uns, Breitenkreise sind Nebenkreise, und damit ist, außer auf dem Äquator, 1sm größer wie eine Bogenminute), muss die Ablage(a) erst in Bogenminuten umgerechnet werden. Das geht mit einer relativ einfachen Formel, man darf es nur nicht vergessen. Da die Breitenkreise mit der Höhe der Breite immer kleiner werden, benötigen wir die mittlere Breite zwischen Ob und Ok für die Berechnung. Der Nautiker nennt sie φ_m (Mittelbreite). Es kommt dabei nicht so sehr auf den genauen Wert an. Die Breite des Ok, hinter dem Komma für komfortables Rechnen zurechtgebogen, ist ausreichend.

Die Formel lautet: $l = a / \cos \varphi_m$.

Mit dem Taschenrechner kein Problem, auch nicht mit der Schätzlatte.

Auf der nächsten Seite setzen wir das mal praktisch um.

Zunächst noch einmal unsere Standlinien, jetzt mit kompletter Beschriftung. Ablage a und Breitenabweichung b sind ausgemessen. b wird direkt in $\Delta\varphi$ umgewandelt. In diesem Fall weicht die Breite des Ob um 2,9sm oder 2,9' nach Norden von der Breite des Ok ab.



Die Ablage $a = 9,2\text{sm}$ muss noch in Bogenminuten umgewandelt werden. Dem Ok entnehmen wir in der Aufgabe eine mittlere Breite von $\varphi_m \approx 35^\circ$. Die Formel lautet:

$$l = a / \cos \varphi_m$$

$$l = 9,2\text{sm} / \cos 35^\circ$$

$l = 11,2\text{sm}$ | bedeutet, der Kreisbogen des Breitengrades den die 9,2sm repräsentieren, wäre auf dem Äquator 11,2sm lang. Das sind dort und damit auch hier 11,2'

$\Delta\lambda = 11,2'E$ | Da die Ablage vom Ok zum Ob nach Osten geht, bekommt $\Delta\lambda$ den Zusatz E

Jetzt können wir $\Delta\varphi$ und $\Delta\lambda$ an den Ok 0742 UTC anbringen und erhalten den Ob 0742 UTC

Ok 0742 UTC	$\varphi 35^\circ 01,8'S$	$\lambda 179^\circ 48,7'W$
	$\Delta\varphi 2,9'N$	$\Delta\lambda 11,2'E$
Ob 0742 UTC	<u>$\varphi 34^\circ 58,9'S$</u>	<u>$\lambda 179^\circ 37,5'W$</u>

Die Besteckversetzung kann direkt aus unserer Zeichnung entnommen werden.

BV: $072^\circ / 9,7\text{sm}$