Sporthochseeschifferschein
Astronomische Navigation

Joachim Venghaus*

www.venghaus.eu

12. Januar 2020

Inhaltsverzeichnis

*Hochschullehrer an der Hochschule Stralsund, ansprechbar unter segeln(at)venghaus.eu

1 Einleitung

Bei der Teilprüfung Navigation zum Sporthochseeschifferschein sind Kenntnisse zur Astronomischen Navigation nötig. Diese Schrift soll dazu dienen, den Leser in die Lage zu versetzen, an Bord oder in der Prüfungssituation zum SHS Höhenstandlinien nach Beobachtung von Sonne, Mond oder Planeten zu konstruieren. Auf die Herleitung von mathematischen Zusammenhängen wird hier gänzlich verzichtet. Interessierten sei das exzellente Buch [Mestemacher] *Astronomische Navigation ... nicht nur zum Ankommen* empfohlen.

Weniger mathematikaffinen Lesen wird hingegen empfohlen, zunächst die Anleitung zur Terrestrischen Navigation zu lesen. Dort werden Hinweise zur Auswahl eines geeigneten und zulässigen Taschenrechners gegeben. Seine Eigenheiten werden erläutert; außerdem wird beschrieben, wie die nautisch üblichen Winkelangaben in Grad, Minuten und Dezimalminuten (G-Mdez) ohne Umrechnung direkt in den Taschenrechner eingegeben und in den Speichern abgelegt werden können.

Diese Anleitung bezieht sich auf ein Rechenschema, das im Anhang abgebildet ist und welches gesondert in beliebiger Anzahl ausgedruckt werden kann. Leider ist gegenwärtig (Dezember 2015) eine Nutzung dieses Rechenschemas in der Prüfung zum SHS nicht zulässig. Es wird auf das [Begleitheft] und die darin enthaltene Formelsammlung als einziges zugelassenes Hilfsmittel verwiesen. Leider weist die Formelsammlung fatale Fehler auf.

2 Grundlagen

Die Astronomische Navigation beruht darauf, dass einerseits die Positionen von Gestirnen am Himmel präzise vorausberechnet werden können. Andererseits kann am tatsächlichen Ort irgend wo auf der Erde die Position des Gestirns am Himmel beobachtet werden. Durch einen Vergleich können Rückschlüsse auf den tatsächlichen Ort der Beobachtung gezogen werden. Nun ist es unmöglich für jeden Punkt auf der Erde vorauszuberechnen, wo die Gestirne sich befinden müssten; das wird nur einmal gemacht.

2.1 Ein etwas anderes Weltbild

Ein sehr historisches, katholisch angehauchtes Weltbild ist vorübergehend von Vorteil: Die Erde ist der Mittelpunkt des Universums. Der Himmel ist eine riesige Hohlkugel, in deren Mittelpunkt sich die Erde befindet, die immerhin schon kugelförmig ist. Etwa einmal am Tag dreht sich die Himmelskugel um die Erde. Die Polachse der Erde ist die Drehachse der Himmelskugel. Auf der inneren Oberfläche der Himmelskugel sind alle Fixsterne „aufgemalt“ und bewegen sich zueinander nicht. Ein Stern ist besonders auffällig, die Sonne. Sie ist nicht auf der Himmelskugel „aufgemalt“, sie bewegt sich ebenso wie Mond und Planeten relativ zur Himmelskugel. Stellen wir uns vor, die Sonne würde eine Leuchtspur bei ihrer scheinbaren Bewegung erzeugen. Die leuchtende Linie, die sie am sichtbaren Himmel hinterlässt, wird Ekliptik genannt. Ziemlich genau auf dieser Bahn – aber eben nur ziemlich – laufen auch die Planeten wie die Sonne westwärts. Der Mond wandert auch westwärts, verlässt die Ekliptik aber recht deutlich. Sonne, Mond und Planeten ändern ihre Lage zu den Fixsternen. Wegen unseres historischen Weltbildes verhält sich die Sonne nicht wie ein Fixstern.

2.2 Koordinatensystem des Himmelsäquators

Um angeben zu können, wo sich welches Gestirn am sichtbaren Himmel befindet, wird ein Koordinatensystem benötigt, welches sich relativ zur Erde nicht verdreht. Eine Bezugslinie ist der Himmelsäquator. Um ihn zu erzeugen, stecken wir die Erde in einen transparenten Luftballon. Auf dem Luftballon – er liegt stramm auf der Erdoberfläche auf – markieren wir den Äquator, Nord- und Südpol sowie den Meridian von Greenwich. Nun wird der Luftballon aufgeblasen bis er die Himmelskugel ausfüllt. Erde und Luftballon drehen sich nicht. Die Himmelskugel rotiert aber nach wie vor um die Erde also auch um den Luftballon. Der Äquator auf dem Luftballon wird zum Himmelsäquator, der Nordpol zum Himmelsnordpol, der Südpol zum Himmelssüdpol. Aus dem Meridian von Greenwich wird der Greenwicher Stundenkreis.

2.3 Bildpunkt eines Gestirns

Das Konstrukt mit dem Luftballon ist lästig. Es gibt eine andere Herangehensweise, bei der die Erde nicht verlassen werden muss. Wir denken uns zu dem Gestirn, welches wir beobachten wollen, eine Gerade, die den Mittelpunkt der Erde mit dem Mittelpunkt des Gestirns verbindet. Diese Gerade muss die Erdoberfläche durchdringen. Den Punkt, an dem die Gerade die Erdoberfläche durchsticht, nennen wir den Bildpunkt des Gestirns. Der Bildpunkt bewegt sich auf der Erdoberfläche übrigens sehr schnell. Mit deutlicher Überschallgeschwindigkeit zieht er ziemlich genau westwärts. Diese hohe Geschwindigkeit ist der Grund, weshalb wir bei astronomischen Beobachtungen den Beobachtungszeitpunkt sekundengenau feststellen müssen.

Orte auf der Erde, auch wenn sie sich schnell bewegen, können mit Länge und Breite präzise angegeben werden. Das wird auch mit dem Bildpunkt so gemacht, lediglich die Begrifflichkeiten weichen ab. Da alle Bildpunkte nach Westen ziehen, ist es wenig sinnvoll, die gewohnte Länge λ zu benutzen. λ zählt nach Westen negativ (W wie weniger). Stattdessen wird der Greenwicher Stundenwinkel eingeführt (Formelzeichen wechselweise Grt oder t_{Gr}) er zählt vom Greenwicher Meridian aus westwärts positiv (Ausnahme) und wird vollkreisig (bis 360°) notiert, anders als die Länge, die bekannterweise halbkreisig (bis 180°) nach Osten positiv und nach Westen negativ zählt.

Die Breitenkoordinate des Bildpunktes hat nur einen anderen Namen statt der Breite φ nennt man sie Deklination δ. Wie die Breite zählt δ vom Äquator aus viertelkreisig (bis 90°) nach Norden positiv und nach Süden negativ.

Ob wir die Position des Bildpunkts auf der Erdoberfläche oder die Position des Gestirns an der Himmelskugel betrachten, ist bei dieser Beschreibung mit t_{Gr} und δ unerheblich.

In diesem Koordinatensystem werden die Positionen t_{Gr} und δ von Sonne, Mond und Planeten für jeden Tag und für jede Stunde vorausberechnet, aufgelistet, in telefonbuchdicke Bücher gedruckt und unter dem Namen Nautisches Jahrbuch (NJ) jährlich zum Kauf angeboten. Durch Interpolation kann die Position des Bildpunktes vieler Gestirne damit sekundengenau bestimmt werden.

Das Zeitmaß, das hierbei genutzt wird, muss international einheitlich sein, da der Anwender sich an jedem beliebigen Ort der Erde aufhalten kann. Nautische Jahrbücher beziehen sich auf die Zeit UT1. Der Unterschied zur gebräuchlicheren Zeit UTC (Universal Time Coordinated) ist im Rahmen der erreichbaren Genauigkeit vernachlässigbar.

2.4 Koordinatensystem des wahren Horizonts

Wenn an einem beliebigen Punkt der Erde ein Gestirn beobachtet wird, dann ist deren Position nach Greenwicher Stundenwinkel t_{Gr} und Deklination δ nicht erkennbar. Nur ein Beobachter im Mittelpunkt der Erde könnte diese Werte nachmessen, aber nur, wenn die Erde transparent wäre. Es wird ein zweites Koordinatensystem benötigt, deren Bezugslinie(n) an jedem Ort gut beobachtbar sind. Dieser Wunsch ist nur eingeschränkt erfüllbar. Auf See, ohne Hindernis in Richtung des Gestirns, gibt es eine einzige Bezugslinie, die nutzbar ist. Die Kimm. Nichtseeleute nennen die Kimm Horizont. Das sollten wir nicht tun, da wir neben der sichtbaren Kimm noch zwei Horizonte kennen lernen werden, die als solche nicht sichtbar sind.

Scheinbarer und wahrer Horizont

Wir legen eine kreisrunde Scheibe aus Flachglas an dem Ort, an dem wir uns befinden auf den Boden bzw. auf die Meeresoberfläche. Wir stehen mit unserem Boot im Mittelpunkt der Glasscheibe. Nun vergrößern wir die Glasscheibe gleichmäßig radial nach außen, bis sie von innen an die Himmelskugel stößt. Der Rand dieser Glasscheibe beschreibt den scheinbaren Horizont. Parallel zu dieser Glasscheibe, die wie eben beschrieben, auf der Erdoberfläche aufliegt, gibt es eine zweite. Sie liegt mit ihrem Mittelpunkt im Erdmittelpunkt. Der Rand dieser zweiten Glasscheibe – sie liegt einen Erdradius unter der ersten – bildet den wahren Horizont. Dieser wahre Horizont ist die wahre Bezugslinie unseres Koordinatensystems.

Wenn wir auf der ersten Glasscheibe stehen und auf die Kimm blicken, dann müssen wir durch die Glasscheibe hindurch schauen. Die Kimm liegt tiefer als der scheinbare

Horizont. Das liegt daran, dass die Erde eine Kugel ist. Es liegt auch daran, dass wir oberhalb der Glasplatte stehen. Das Maß zwischen Glasplatte und beobachtendem Auge wird Augeshöhe Ah genannt. Auf einer Yacht beträgt sie häufig 2 m, auf einem Frachtschiff ist diese in erster Linie von der Aufbauhöhe über Wasserspiegel abhängig.

Mit Hilfe eines Sextanten werden wir den Höhenwinkel des Gestirns über dem wahren Horizont bestimmen. Gemessen wird der Winkel zwischen Kimm und Gestirn, genannt wird er Kimmabstand KA. Den Fehler, den wir dabei machen, da die Kimm und wahrer Horizont nicht das gleiche sind, müssen wir durch die Gesamtbeschickung und die Zusatzbeschickung korrigieren. Eine Vielzahl von weiteren Störungen wird dabei mitberücksichtigt.

Die Tatsache, dass wir nur eine Bezugslinie – die Kimm – haben, führt dazu, dass eine Gestirnbeobachtung nur eine Standlinie aber keinen Ort liefert.

Zenit und Nadir

Im Koordinatensystem des wahren Horizonts gibt es noch zwei markante Punkte. Wir denken uns eine Gerade durch den Mittelpunkt der Erde und durch unseren Standort. Diese Gerade kommt förmlich aus der eigenen Schädeldecke heraus, führt weiter und durchdringt die Himmelskugel. Der Durchdringungspunkt wird Zenit genannt. Weit unter unseren Füßen durchdringt die selbe Gerade noch einmal die Himmelskugel. Dieser Durchdringungspunkt wird Nadir genannt.

2.5 Der Trick mit dem Koppelort (= gegisster Ort)

Da der Bildpunkt des Gestirns in aller Regel sehr weit entfernt liegt, ist es nicht praktikabel, aus dem Ort des Bildpunkts durch Peilung und Entfernungsbestimmung auf den eigenen Ort zu schließen, das wäre viel zu ungenau.

Folgender Trick bietet sich an:

Durch Koppeln haben wir eine grobe Ahnung, wo wir uns auf dem Meer befinden. Dieser Koppelort oder auch gegisste Ort muss nach Breite φ_k und Länge λ_k bekannt sein. Überaus genau muss der gegisste Ort hingegen nicht sein. Wir berechnen für ihn, wie groß die Höhe des Gestirns über dem wahren Horizont sein müsste (rechnerische Höhe h_r). Durch Beobachtung mit dem Sextant wissen wir die Höhe des Gestirns über dem wahren Horizont an unserem tatsächlichen Ort (beobachtete Höhe h_b). Wären diese beiden Höhen gleich, befänden wir uns tatsächlich am Koppelort (Zusammenhang stark vereinfacht, in Wirklichkeit befinden wir uns auf einer Standlinie, die durch den Koppelort geht). Gibt es eine Differenz, können wir mit dieser Differenz und einer weiteren Information eine Standlinie zeichnen.

2.6 Azimut

Diese weitere Information ist der Azimut[1]. Er ist direkt vergleichbar mit einer rechtweisenden Peilung auf das Gestirn. Ein Blick auf den Magnetkompass ist aus zwei Gründen nicht ausreichend. Eine Magnetkompasspeilung, auch wenn sie sorgfältig in eine rechtweisende Peilung beschickt wird, ist nicht sonderlich exakt. Hinzu kommt, dass wir den Azimut nicht vom tatsächlichen Ort sondern von unserem Koppelort aus benötigen. Der dort gültige Azimut α_{Az} ist berechenbar.

2.7 Ortsstundenwinkel

Um die eben beschriebene Berechnung von h_{r} und α_{Az} durchführen zu können, wird noch eine weitere Größe benötigt. Aus der geographischen Länge des Bildpunkts und unserer gekoppelten geographischen Länge muss der Längenunterschied zwischen Bildpunkt und Koppelort bestimmt werden. Wir erinnern uns, dass die Position des Bildpunkts nicht durch eine Länge sondern durch den Greenwicher Stundenwinkel t_{Gr} beschrieben wird. Der Längenunterschied wird auch abweichend bezeichnet, er heißt Ortsstundenwinkel t und berechnet sich zu

$$t = t_{\mathrm{Gr}} + \lambda_{\mathrm{k}}.$$

Die bei einem Längenunterschied erwartete Subtraktion ist nicht erkennbar. Das liegt daran, dass t_{Gr} nach Westen positiv zählt, λ_{k} hingegen nach Osten. Hier muss tatsächlich addiert werden. Auch der Ortsstundenwinkel t zählt nach Westen positiv. Er ist extrem zeitkritisch, weil der Bildpunkt sich so schnell westwärts bewegt.

3 Vorgehensweise an einem Beispiel

Auf die Handhabung des Sextanten wird in dieser Abhandlung nicht näher eingegangen. Wohl aber soll die praktische Durchführung einer Messung dargestellt werden. Einige Aspekte werden behandelt, die in der SHS-Prüfung erfahrungsgemäß nicht vorkommen, in der Bordpraxis jedoch sehr hilfreich sind. Zum Einsatz kommt dabei das Formblatt, wie es auf Seite 28 zu finden ist.

Am 09. Juli 2005 befinden wir uns westlich der Insel Helgoland. Durch sorgfältiges Koppeln vermuten wir unsere Position auf $\varphi_{\mathrm{k}} = 54° \, 10,0' \, \mathrm{N}$ und $\lambda_{\mathrm{k}} = 007° \, 45,0' \, \mathrm{E}$ (Koppelort). Die Augeshöhe beträgt 8 m. Am wolkenlosen Himmel ist der Sonnenunterrand erkennbar, die Kimm ist klar.

[1] Sowohl der Azimut als auch das Azimut ist zulässig.

3.1 Grundgrößen

Datum, Augeshöhe Ah und Koppelort werden in das Formblatt eingetragen. Darüber hinaus wird vermerkt, welches Gestirn beobachtet werden soll. Bei Mond und Sonne wird durch Über- oder Unterstreichung angegeben, ob der Ober- oder der Unterrand auf die Kimm gesetzt wird. Bei freier Auswahl ist der Unterrand zu bevorzugen. Beim Mond muss je nach Mondphase auf den Oberrand ausgewichen werden. Alle Planeten erscheinen hinreichend klein, dass eine solche Unterscheidung nicht nötig ist.

<table>
<tr><td colspan="6">Höhenstandlinie Sonne, Mond oder Planeten mit Taschenrechner

Name ....</td></tr>
<tr><td colspan="2">Datum 09.07.2005</td><td>Ah=08 m</td><td colspan="1">$\varphi_k = 54°\,10,0'$ N S</td><td colspan="2">$\lambda_k = 007°\,45,0'$ E W</td></tr>
<tr><td>Sonne ☉</td><td>Mond ☾</td><td>Venus ♀</td><td>Mars ♂</td><td>Jupiter ♃</td><td>Saturn ♄</td></tr>
</table>

3.2 Zeitpunkt der Beobachtung

Unter Realbedingungen an Bord sollte die genaueste Uhr UTC/UT1 anzeigen, sie wird Chronometer genannt. Eine stoßfeste, digital anzeigende Quarz-Armbanduhr ist keine schlechte Wahl. Wenn sie Tag und Nacht am Arm getragen wird, ist sie kaum Temperaturwechseln ausgesetzt und dürfte hinreichend genau anzeigen. Vorteilhaft ist ferner, dass in der Regel eine Datumsanzeige mitgeliefert wird, die das Datum in Greenwich anzeigt.

Um die Uhrzeit bei der Gestirnbeobachtung sekundengenau zu erfassen, ist es praktisch, zum Zeitpunkt der Beobachtung eine Stoppuhr zu starten. Es besteht anschließend keine Eile mehr, den Sextant abzulesen und sicher zu verstauen. Wenn der Chronometer eine volle oder halbe Minute anzeigt, wird die Stoppuhr angehalten. Dieser runde Zeitpunkt auf dem Chronometer wird bei Chronometer Stopp eingetragen. Die angezeigte Zeit der Stoppuhr wird darunter eingetragen, um sie von der Chronometer-Stopp-Zeit abzuziehen. In unserem Beispiel wird um 15:39:00 UT1 die Stoppuhr angehalten. Sie zeigt 01 m 36 s an.

Unter Prüfungsbedingung wird keine Stoppuhr benutzt, daher ist 0.00 einzutragen. Es kann aber vorkommen, dass der Zeitpunkt der Beobachtung in einer Zonenzeit angegeben wird. Durch Markierung bei ZZ/UT1 wird dies vermerkt.

Der nun vorliegende unberichtigte Zeitpunkt muss mit der Größe Chronometer-Stand berichtigt werden. Diese Größe wird unter Prüfungsbedingung mit Vorzeichen angegeben, beträgt einige Sekunden und wird mit dem gegebenen Vorzeichen verrechnet. Wenn der Chronometer nachgeht, ist der Stand positiv und umgekehrt. In unserem Beispiel geht die Uhr 12 s vor. Der Stand beträgt −00:12.

Der Zeitpunkt der Beobachtung ist nun ermittelt. Sollte er in Zonenzeit vorliegen, so ist er in UT1 umzurechnen. Falls der Zeitpunkt der Beobachtung in MESZ angegeben wäre, so gilt MESZ = UTC+2. Dies würde eingetragen. Mit umgekehrtem Vorzeichen wäre umzurechnen UT1 = MESZ–2. Der Unterschied zwischen UT1 und UTC ist, wie bereits erwähnt, vernachlässigbar. Sollte bei dieser Umrechnung ein ungewöhnliches Ergebnis auftauchen, wurde die Tagesgrenze überschritten. Eine Uhrzeit von 25 h entspricht 01 h am Folgetag. Negative Uhrzeiten verweisen auf den vorherigen Tag, weshalb ein korrigiertes Datum eingetragen werden kann. In unserem Beispiel ist diese Umrechnung nicht nötig, da Zeiten bereits in UT1 gegeben sind.

Unter Prüfungsbedingungen werden häufig Datum und generelle Uhrzeit in Zonenzeit (ZZ) angegeben, die unberichtigten Beobachtungszeitpunkte hingegen in UT1. Hier muss lediglich kontrolliert werden, ob die Tagesgrenze überschritten wird.

Zeitpunkt der Beobachtung in ZZ und UT1			
Chronometer Stop	ZZ/UT1		15:39:00
Stoppuhr		−	01:36
unber. Zeitpunkt	ZZ/UT1		15:37:24
Chr. Stand	Std	±	− 00:12
Zeitpkt d. Beob.	ZZ/UT1		15:37:12
Zeitzone UTC ± __ · (−1)		∓	00:00:00
Zeitpunkt d. Beob.	UT1		15:37:12
ggf. korrigiertes Datum			__.__.20__

Der Zeitpunkt der Beobachtung des Sonnenunterrandes steht mit 15:37:12 UT1 nun fest. Dies ist Grundlage für spätere Schritte.

3.3 Beobachtete Höhe h_b

Aus der Sextantablesung muss die beobachtete Höhe h_b berechnet werden. Da diese Berechnung bei Sonne, Mond und Planeten unterschiedlich erfolgt, gibt es unterschiedliche Rechenschemata. Zur Vermeidung von Fehlern sollten die nicht benötigten Schemata gestrichen werden. Daher sind die Felder für Mond und Planeten zu streichen

Die Sextantablesung beträgt in unserem Beispiel 34° 42,9’, die Indexbeschickung beträgt –0,3’.

Indexbeschickung

Die Indexbeschickung $\textsf{Ib}$ korrigiert den Nullpunktfehler des Sextanten. Der Wert ist keineswegs konstant sondern häufig temperaturabhängig. Durch die Strahlungswärme der Sonne kann sich der Wert während des Einsatzes nennenswert ändern. Vor und nach jeder Gestirnbeobachtung ist $\textsf{Ib}$ zu bestimmen. Bei Veränderungen ist der Mittelwert zu bilden. Weiß lackierte Sextanten sind in diesem Punkt weniger empfindlich.

Üblicherweise stellt man zur Bestimmung der Indexbeschickung die Alhidade auf 0° und peilt die Kimm an. Fast immer ist ein „Sprung“ in der Kimm zu sehen. Durch Drehen am Feintrieb wird dieser Sprung beseitigt. Am Feintrieb sind Minuten und Zehntelminuten ablesbar. Entweder ist ein Zahlenwert im niedrigen Bereich (0 bis 5’) oder im hohen Bereich (55’ bis 59,9’) abzulesen. Niedrige Zahlenwerte bilden eine negative Indexbeschickung. Hohe Zahlenwerte werden von 60’ subtrahiert, das Ergebnis bildet eine positive Indexbeschickung. Eine einfache Eselsbrücke hilft hier: Es muss immer einmal subtrahiert werden.

In der Prüfungssituation wird die Indexbeschickung $\textsf{Ib}$ mit Vorzeichen angegeben und wie gegeben verrechnet. So erhalten wir den Kimmabstand $\textsf{KA}$ mit 034°42,6’.

Da wir gegen die Kimm und nicht gegen den wahren Horizont gemessen haben, muss das berichtigt werden. Die im Nautischen Jahrbuch tabellierte Gesamtbeschickung $\textsf{Gb}$ für den Kimmabstand des Sonnenunterrandes ermittelt sich aus den Eingangsgrößen Kimmabstand und Augeshöhe $\textsf{Ah}$. Enthalten in dieser Gesamtbeschickung ist auch die Tatsache, dass wir den Sonnenunterrand vermessen haben und nicht den Sonnenmittelpunkt. Berücksichtigung findet auch die sog. Refraktion. Die Erdatmosphäre verfälscht unsere Messung, sie wirkt wie eine riesige Sammellinse. Bei geringem Kimmabstand ist diese Verfälschung besonders groß. Bei einer Augeshöhe $\textsf{Ah} = 8\,\mathrm{m}$ und einem Kimmabstand von etwa $\textsf{KA} = 35°$ ergibt sich eine Gesamtbeschickung $\textsf{Gb} = +9,7'$.

In einer Zusatzbeschickung $\textsf{Zb}$ findet die Tatsache Berücksichtigung, dass die Erde nicht auf einer Kreisbahn sondern auf einer Ellipsenbahn um die Sonne zieht. Eingangsparameter ist der Beobachtungsmonat, in unserem Beispiel befinden wir uns im Juli. Es gilt daher $\textsf{Zb} = -0,2'$. Sollten wir den Sonnenoberrand vermessen haben, so ist die Zusatzbeschickung für diesen zu verwenden. Die Werte liegen bei etwa $-32'$ und berücksichtigen den Sonnendurchmesser. Nur wenn der Unterrand von Wolken bedeckt, der Oberrand aber klar ist, würden wir so vorgehen.

Sonne: Beobachtete Höhe h_b			
Sextantablesung			34°42,9'
Indexbeschickung	Ib	±	–0,3'
Kimmabstand	KA		34°42,6'
Gesamtbeschickung	Gb	±	+ 9,7'
Zusatzbeschickung	⊙ Zb	±	– 0,2'
beobachtete Höhe	h_b		34°52,1'

Die beobachtete Höhe berechnet sich zu $h_b = 34°52,1'$.

Besonderheiten bei Mond und Planeten, Horizontalparallaxe

Bei der Sonnenbeobachtung wird der Kimmabstand lediglich in den Abstand über dem scheinbaren Horizont umgerechnet. Bezugsebene ist aber der wahre Horizont, der bekanntlich einen Erdradius tiefer liegt. Bei der sehr weit entfernten Sonne (und erst recht bei den Fixsternen) ist dieser Fehler völlig vernachlässigbar. Bei den näherstehenden Planeten ist der Fehler zwar auch noch gering, aber nicht mehr vernachlässigbar. Beim Mond, dem uns nächsten Gestirn, ist der Fehler jedoch besonders ausgeprägt.

Die Tatsache, dass wir bei unserer Beobachtung auf der Ebene des scheinbaren Horizonts stehen (wir erinnern uns an die riesige runde Glasscheibe) und nicht auf der Ebene des wahren Horizonts (dazu müssten wir zum Mittelpunkt der Erde), wird Horizontalparallaxe genannt.

Mond

Der Mond ist zweifelsohne das komplizierteste Gestirn. Die Gesamtbeschickung wird aus Kimmabstand und Horizontalparallaxe HP bestimmt. Letztere ändert sich von Tag zu Tag. Auf den Tagesseiten des Nautischen Jahrbuchs werden für jeden Tag die Werte HP für die Zeiten 04, 12, 20 UT1 angegeben. Die Horizontalparallaxe des Mondes kann Werte zwischen +57' und +61' annehmen. Es muss für den Beobachtungszeitpunkt interpoliert werden. Das ist nicht besonders schwer, denn an einem Tag ändert sich die Horizontalparallaxe nur wenig. Die Gesamtbeschickung Gb ist immer positiv.

Die Zusatzbeschickung Zb berücksichtigt lediglich die Augeshöhe; sie kann wechselnde Vorzeichen haben.

Sollte der Mondoberrand beobachtet werden, so muss der Monddurchmesser subtrahiert werden, welcher wiederum von der Horizontalparallaxe abhängig ist.

Mond: Beobachtete Höhe h_b		
Sextantablesung		___°__,_'
Indexbeschickung Ib	±	__,_'
Kimmabstand KA		___°__,_'
Gb für HP __,_'	+	__,_'
Zb für Ah __ m	±	_,_'
bei ☾̄ Monddurchmesser	−	__,_'
beobachtete Höhe h_b		__°__,_'

Planeten

Die Gesamtbeschickung bei allen Planeten (und Fixsternen) wird aus Augeshöhe und Kimmabstand ermittelt. Jedoch muss dabei beachtet werden:

Die Gesamtbeschickung Gb der Planeten (und Fixsterne) ist immer negativ, obwohl das Minuszeichen nur in der ersten Spalte der Tabelle abgedruckt wird. Das darf als „gemeine Falle“ des Nautischen Jahrbuchs bezeichnet werden.

Die Zusatzbeschickung berücksichtigt Kimmabstand und Horizontalparallaxe, deren Wert HP der jeweiligen Tagesseite für den beobachteten Planeten zu entnehmen ist. Die Zusatzbeschickung ist immer positiv.

Gelegentlich wird in der SHS-Prüfung gefragt, was es mit der Größe Gr auf sich hat. Sie wird auf den Tagesseiten für Planeten aufgeführt. Hierbei handelt es sich um die scheinbare Helligkeit oder Magnitude eines Planeten. Eine logarithmische Angabe führt dazu, dass Planeten mit negativen Werten besonders hell erscheinen. Mit dem Extremwert Gr $= -4,6$ ist die Venus nach Sonne und Mond „das hellste

Licht im Lampenladen“. Die Kenntnis dieser Werte hilft bei der Identifizierung der Planeten während der Dämmerung.[2]

Planeten: Beobachtete Höhe h_b			
Sextantablesung			___°__,_'
Indexbeschickung	Ib	±	__,_'
Kimmabstand	KA		___°__,_'
Gb	für Ah __ m	−	__,_'
Zb	für HP _,_'	+	_,_'
beobachtete Höhe	h_b		__°__,_'

3.4 Greenwicher Stundenwinkel, Ortsstundenwinkel, Deklination

Nachdem die beobachtete Höhe h_b des Gestirns am tatsächlichen Ort feststeht, muss nun berechnet werden, wie die Höhe des Gestirns am Koppelort wäre. Diese Größe wird rechnerische Höhe h_r genannt. Hierzu ist zunächst die Position des Gestirns zu bestimmen.

Von nun an ist es übrigens viel einfacher, den Bildpunkt des Gestirns in die Überlegungen einzubeziehen. Bildpunkt, Koppelort und unser tatsächlicher Ort befinden sich auf der Erdoberfläche. Das erleichtert die Vorstellung. Lediglich für die Sextantbeobachtung war es notwendig, dass das Gestirn sich an der Himmelskugel befindet.

Egal ob das Gestirn an der Himmelskugel oder sein Bildpunkt betrachtet wird, die Position wird durch die Größen Greenwicher Stundenwinkel t_{Gr} = Grt und Deklination δ beschrieben, die nun aus dem Nautischen Jahrbuch ermittelt werden müssen.

Wir schlagen die Tagesseite für den 09. Juli 2005 auf und erinnern uns, der Zeitpunkt der Beobachtung ist 15:37:12 UT1.

[2] Einige weiteren maximal beobachteten Magnituden: Sonne: –26,7; Mond –12,7; Jupiter –2,94, Mars –2,91; Sirius (hellster Fixstern) –1,46; zum Vergleich Polaris +1,97. Unter realen Bedingungen (Streulicht) gelten Sterne mit +4 als gerade noch erkennbar, das heißt nicht, dass sie auch messbar wären.

Greenwicher Stundenwinkel

Wir beginnen mit dem Greenwicher Stundenwinkel für die zurückliegende volle Stunde 15 h. Die Tafel liefert für die Sonne einen Wert $t_{\mathrm{Gr}} = 043°41,4'$. Für die noch fehlenden 37 m und 12 s schlagen wir die Schalttafel für 37 Minuten auf. In der Zeile für 12 Sekunden erhalten wir den Wert 9°18,0'. Durch Addition ergibt sich der sekundengenaue Greenwicher Stundenwinkel zu 052°59,4'.

Bei Mond und Planeten muss für den Greenwicher Stundenwinkel noch eine Verbesserung Vb angebracht werden. Benötigt wird hierfür die Größe Unterschied Unt. Bei Planeten steht der Tageswert am unteren Ende der Tabelle in der Spalte Grt. Positive und negative Werte können vorkommen. Beim Mond ändert sich die Größe Unt von Stunde zu Stunde. Hier sind die Werte immer positiv. Mit dem Wert für Unt wird auf der Minutenseite der Schalttafel die Verbesserung Vb ermittelt. Wichtig ist dabei, dass die Sekundeneinteilung am linken Tabellenrand ohne jede Bedeutung ist. Unt und Vb haben das gleiche Vorzeichen, sind also gleichnamig. Bei der Deklination wird eine vergleichbare Vorgehensweise stattfinden. Im Rechenschema wird daher – anders als im Nautischen Jahrbuch – zwischen Unt_t und Unt_δ unterschieden.

Bei Sonnenbeobachtungen, wie im vorliegenden Beispiel, ist eine Verbesserung des Greenwicher Stundenwinkels nicht vorzunehmen, er bleibt bei $t_{\mathrm{Gr}} = 052°59,4'$.

Ortsstundenwinkel

Aus dem Greenwicher Stundenwinkel t_{Gr} ist durch Addition mit der Länge des Koppelorts λ_{k} der Ortsstundenwinkel zu berechnen. Östliche Längen werden addiert, westliche subtrahiert (W wie weniger). Wir tragen ein $\lambda_{\mathrm{k}} = +007°\,45,0'$, da eine östliche Länge vorliegt, und erhalten den Ortsstundenwinkel $t = 060°44,4'$. In früheren Zeiten war es notwendig, zwischen östlichen und westlichen Ortsstundenwinkeln zu unterscheiden. Dies ist in Zeiten von Taschenrechnern nicht mehr nötig; es gilt $t = t_{\mathrm{W}}$, d.h. der Ortsstundenwinkel ist immer westlich orientiert und zählt vollkreisig. Östliche werden, um Konfusion zu vermeiden, gar nicht erst eingeführt.

Greenwich-, Ortsstundenwinkel t_{Gr}, t		
t_{Gr} aus NJ für 15 h		$043°41,4'$
Zw für 37 m 12 s		+ 9°18,0'
bei ☾ und Planeten auch		
Unt_t ± __,_' Vb		± __,_'
t_{Gr}		052°59,4'
geg. Länge λ_k (λ_E+/λ_W-)		± $+007°45,0'$
$t = t_W$	→ c	$060°44,4'$

Deklination

Die Deklination δ ist weit weniger zeitkritisch, als die Stundenwinkel. Die Tagesseite für den 09. Juli 2005 liefert für 15 h UT1 den Deklinationswert $\delta = 22°17,8'N$. Die Verbesserung Vb berücksichtigt lediglich die Minuten des Beobachtungszeitpunkts. Eine sekundengenaue Betrachtung erübrigt sich. Erneut muss der Unterschied Unt abgelesen werden. Zur Vermeidung von Verwechslung heißt er im Rechenschema Unt_δ, nicht jedoch im Nautischen Jahrbuch. Der Unterschied Unt_δ für Sonne und Planeten ist am jeweiligen Tag als konstant anzusehen, deshalb steht er am unteren Ende der Deklinationsspalte. Beim Mond wird Unt für jede Stunde angegeben.

Aus unerfindlichen Gründen wird Unt_δ bei allen Gestirnen ohne Vorzeichen angegeben – es muss selbst ermittelt werden!

Hierzu betrachten wir die Zahlenwerte der Deklination in zwei aufeinanderfolgenden Stunden. Um 15 h UT1 gilt $\delta = 22°17,8'$ N. Eine Stunde später finden wir $\delta = 22°17,5'$ N. Die Deklination hat also in einer Stunde um 0,3' abgenommen. Am unteren Spaltenende steht auch Unt $= 0,3'$. Da der Zahlenwert für die Deklination kleiner wird, gilt hier $\mathrm{Unt}_\delta = -0,3'$. Demzufolge wird auch die Verbesserung Vb negativ sein. Auf der Schalttafelseite für die 37. Minute finden wir bei Unt $= 0,3'$ Vb $= 0,2'$, müssen jedoch das negative Vorzeichen in beiden Fällen berücksichtigen.

Auch bei südlichen Deklinationen wird nur darauf geachtet, ob der Zahlenwert steigt (positiv) oder fällt (negativ).

Deklination δ			
δ aus NJ für 15 h		N S	$22°17,8'$
Unt_δ $\pm -0,3$'	Vb	$\pm$	$-0,2$'
Deklination δ	$\to$ B	$\pm$	$+22°17,6'$
gegisste Breite φ_k	$\to$ A	$\pm$	$+54°\,10,0'$

Die Deklination ergibt sich zu $+22°17,6'$. Eine südliche Deklination würde ein negatives Vorzeichen zur Folge haben. Bei der Gelegenheit wird auch die Breite des Koppelorts ins Schema eingetragen: $\varphi_\mathrm{k} = +54°\,10,0'$. Eine südliche Breite würde ebenfalls ein negatives Vorzeichen zur Folge haben.

3.5 Berechnung von h_r, Δh und α_{Az}

Alle zur Berechnung notwendigen Größen stehen nun bereit. Es wird dringend empfohlen diese Größen in Speichern des Taschenrechners abzulegen. Jede Eingabe von Zahlenwerten ist eine potentielle Fehlerquelle. So halten wir ihre Zahl klein.

Moderne Taschenrechner, sofern sie mit der Taste [° ’ ”] ausgestattet sind, erlauben die Eingabe von Winkeln in der nautischen Form G-Mdez[3]. Das Ausnutzen dieser Möglichkeit wird dringend empfohlen, da das Umrechnen der nautischen Form G-Mdez in die Form Gdez eine vermeidbare Fehlerquelle darstellt[4].

Wir speichern die Breite des Koppelorts $\varphi_\mathrm{k} = +54°\,10,0'$ in den Speicher A mit folgender Tastenfolge:

54 [° ’ ”] 10,0 [° ’ ”] [SHIFT] [STO] [A].

Im Rechenschema werden wir durch das Symbol [→ A] dazu aufgefordert. Insgesamt gilt folgende Zuordnung:

$$\varphi_\mathrm{k} \to \mathsf{A}$$
$$\delta \to \mathsf{B}$$
$$t \to \mathsf{C}$$

[3] G-Mdez: Winkelangabe in Grad, Minuten und Dezimalminuten z. B. 54°32,7’

[4] Wer das schriftliche Addieren und Subtrahieren im Sexagesimalsystem (Übertrag bei 60 min) scheut, sollte bei Winkeln und auch bei Uhrzeiten den Taschenrechner und dort die Taste [° ’ ”] nutzen. Dem Taschenrechner ist es egal, ob mit Grad-Minuten-Sekunden oder mit Stunden-Minuten-Sekunden gerechnet wird.

Berechnung von h_r und Δh

Die rechnerischen Höhe h_r berechnet sich wie folgt:

$$h_\mathrm{r} = \arcsin\left[\sin\varphi_\mathrm{k}\,\sin\delta + \cos\varphi_\mathrm{k}\,\cos\delta\,\cos t\right]. \tag{1}$$

Da alle beteiligten Größen in den Speichern A, B, C abgelegt sind, werden wir folgende Formel in den Taschenrechner eingeben.

$$h_\mathrm{r} = \arcsin\left[\sin \mathsf{A}\,\sin \mathsf{B} + \cos \mathsf{A}\,\cos \mathsf{B}\,\cos \mathsf{C}\right].$$

Für die Leser, denen die mathematische Funktion „arcsin" nichts sagt, sei kurz erläutert, dass sich dahinter die Umkehrfunktion des Sinus verbirgt. Sie liefert als Ergebnis einen Winkel. Die Tastenkombination $\boxed{\text{SHIFT}}$ $\boxed{\text{sin}}$ ruft diese Umkehrfunktion des Sinus auf. Sie wird Arcus-Sinus, abgekürzt arcsin genannt. Leider wird sie auf fast allen Taschenrechnern fälschlicherweise mit „$\sin^{-1}$" bezeichnet.

Unsere Taschenrechner kennen die mathematische Gepflogenheit, dass Größen, die durch Leerzeichen getrennt sind, miteinander zu multiplizieren sind. Malzeichen sind also nicht erforderlich. Die Regel „Punkt vor Strich" wird gleichfalls eingehalten, auch dann, wenn gar keine (Mal-)Punkte eingegeben werden.

Viele Taschenrechner haben die Eigenart, dass bei Aufruf einer trigonometrischen Funktion (sin, cos, tan) und auch bei deren Umkehrfunktion (arcsin, arccos, arctan) automatisch eine Klammer geöffnet wird, die anschließend wieder geschlossen werden muss. Das nachfolgende Eingabeschema berücksichtigt diese Eigenart.

SHIFT	sin		
sin	ALPHA	A	)
sin	ALPHA	B	)
+			
cos	ALPHA	A	)
cos	ALPHA	B	)
cos	ALPHA	C	)
)	=		

Durch die Nutzung der Speicher A, B, C erfolgt die Berechnung von h_r in allen Fällen auf diese immer gleiche Art. Spätestens nach dem dritten Mal können Sie die Gleichung ohne nachzudenken fehlerfrei eingeben. So werden Fehler vermieden!

Wir erhalten als Ergebnis $h_\mathrm{r} = 34{,}91084\ldots$, was wir mit der Tastenfolge $\boxed{\text{SHIFT}}$ $\boxed{\text{STO}}$ $\boxed{\text{D}}$ sofort in Speicher D ablegen, um es später wieder fehlerfrei benutzen zu können. Wir runden auf drei Stellen hinter dem Komma und tragen den Wert $34,911°$ ins Schema bei „h_r in Gdez" ein. Dieser Wert muss nun in die nautische Form G-Mdez umgewandelt werden. Wir notieren $34°$ und subtrahieren diesen Wert vom Ergebnis ($\boxed{-}$ 34 $\boxed{=}$). Das Ergebnis lautet $0,91084\ldots$, was wir mit 60 Winkelminuten multiplizieren ($\boxed{\times}$ 60 $\boxed{=}$). Wir erhalten 54,6505…, was wir auf nur eine Stelle hinterm Komma runden und notieren. Die berechnete Höhe h_r lautet in der nautischen Form G-Mdez 34°54,7'.

Die rechnerische Höhe muss von der schon ermittelten beobachteten Höhe subtrahiert werden. Letztere wird erneut eingetragen ($h_\mathrm{b} = 34°52,1'$), ebenso wie h_r. Beim Subtrahieren stellen wir fest, dass ein negatives Ergebnis vorliegt[5].

Berechnung h_r, Δh		
$h_\mathrm{r} = \arcsin\left[\sin\varphi_\mathrm{k}\ \sin\delta + \cos\varphi_\mathrm{k}\ \cos\delta\ \cos t\right]$ $h_\mathrm{r} = \arcsin\left[\sin \mathsf{A}\ \sin \mathsf{B} + \cos \mathsf{A}\ \cos \mathsf{B}\ \cos \mathsf{C}\right]$		
h_r in Gdez	$\rightarrow$ D	$34,911°$
h_r in G-Mdez		34°54,7'
h_b $-h_\mathrm{r}$	 $-$	34°52,1' 34°54,7'
$\Delta h \gtrless 0$ hin zum / weg vom BPkt.	$\pm$	–2,6'

Die Höhendifferenz beträgt demzufolge $\Delta h = -2,6'$.

Berechnung von α_Az

Eine weitere Gleichung liefert uns den Azimut, also die Rechtweisende Peilung zum Gestirn bzw. zum Bildpunkt des Gestirns:

$$Z = \arccos\left[\frac{\sin\delta - \sin h_\mathrm{r}\ \sin\varphi_\mathrm{k}}{\cos h_\mathrm{r}\ \cos\varphi_\mathrm{k}}\right]. \tag{2}$$

Da die Umkehrfunktion des Cosinus, arccos, nur Werte zwischen 0° und 180° auswerfen kann, wird zunächst eine Hilfsgröße Z berechnet. Mit Hilfe einer Fallunterscheidung wird anschließend aus Z der vollkreisige Azimut α_Az im Wertebereich 0° bis 360° bestimmt.

[5] Der Einfachheit halber subtrahieren wir in diesem Fall „von oben nach unten" und ergänzen das Minuszeichen.

Mit den vereinbarten Speicheradressen lautet Gleichung 2 auf der vorherigen Seite

$$Z = \arccos\left[\frac{\sin \mathsf{B} - \sin \mathsf{D}\, \sin \mathsf{A}}{\cos \mathsf{D}\, \cos \mathsf{A}}\right].$$

Der Berechnungsvorgang ist auch für die Hilfsgröße Z in allen Fällen gleich. Folgendes ist einzugeben:

SHIFT	cos	$\frac{\blacksquare}{\square}$	
sin	ALPHA	B	)
$-$			
sin	ALPHA	D	)
sin	ALPHA	A	)
$\triangledown$			
cos	ALPHA	D	)
cos	ALPHA	A	)
$\triangleright$			
)	=		

In unserem Beispiel erhalten wir $Z = 100{,}2^\circ$. Eine Stelle hinter dem Komma ist schon mehr als genug.

Um aus der Hilfsgröße Z den Azimut α_{Az} zu bestimmen, muss die schon angekündigte Fallunterscheidung durchgeführt werden. In Abhängigkeit von t gilt

$$\text{wenn } t = t_{\mathrm{W}} \in [0^\circ,\ 180^\circ] \quad \alpha_{\mathrm{Az}} = 360^\circ - Z.$$

Diese Zeile vorgelesen lautet:

„Wenn der Ortsstundenwinkel t, der immer ein westwärtszählender ist ($= t_{\mathrm{W}}$), Element ($\in$) des Intervalls 0° bis 180° ist ($[0^\circ,\ 180^\circ]$), dann gilt $\alpha_{\mathrm{Az}} = 360^\circ - Z$.“

Andernfalls trifft folgendes zu:

$$\text{wenn } t = t_{\mathrm{W}} \in [180^\circ,\ 360^\circ] \quad \alpha_{\mathrm{Az}} = Z.$$

Auch hierzu gibt es eine Eselsbrücke als Merkhilfe. Für t und α_{Az} gilt immer, einer ist groß, einer ist klein. Die Grenze zwischen groß und klein liegt bei 180°.

Mit $t = 060^\circ 44{,}4' < 180^\circ$ muss Z von 360°subtrahiert werden um den Azimut α_{Az} zu erhalten.

Höhenazimut	
$Z = \arccos\left[\frac{\sin\delta - \sin h_\mathrm{r}\ \sin\varphi_\mathrm{k}}{\cos h_\mathrm{r}\ \cos\varphi_\mathrm{k}}\right]$ $Z = \arccos\left[\frac{\sin \mathsf{B} - \sin \mathsf{D}\ \sin \mathsf{A}}{\cos \mathsf{D}\ \cos \mathsf{A}}\right]$	
Z	$100,2°$
wenn $t = t_\mathrm{W} \in [0°,\ 180°]$ $\alpha_\mathrm{Az} = 360° - Z$	
$360°$	$360{,}0°$
$-Z$	$-$ $100,2°$
Azimut α_Az	$259,8°$
wenn $t = t_\mathrm{W} \in [180°,\ 360°]$ $\alpha_\mathrm{Az} = Z$	

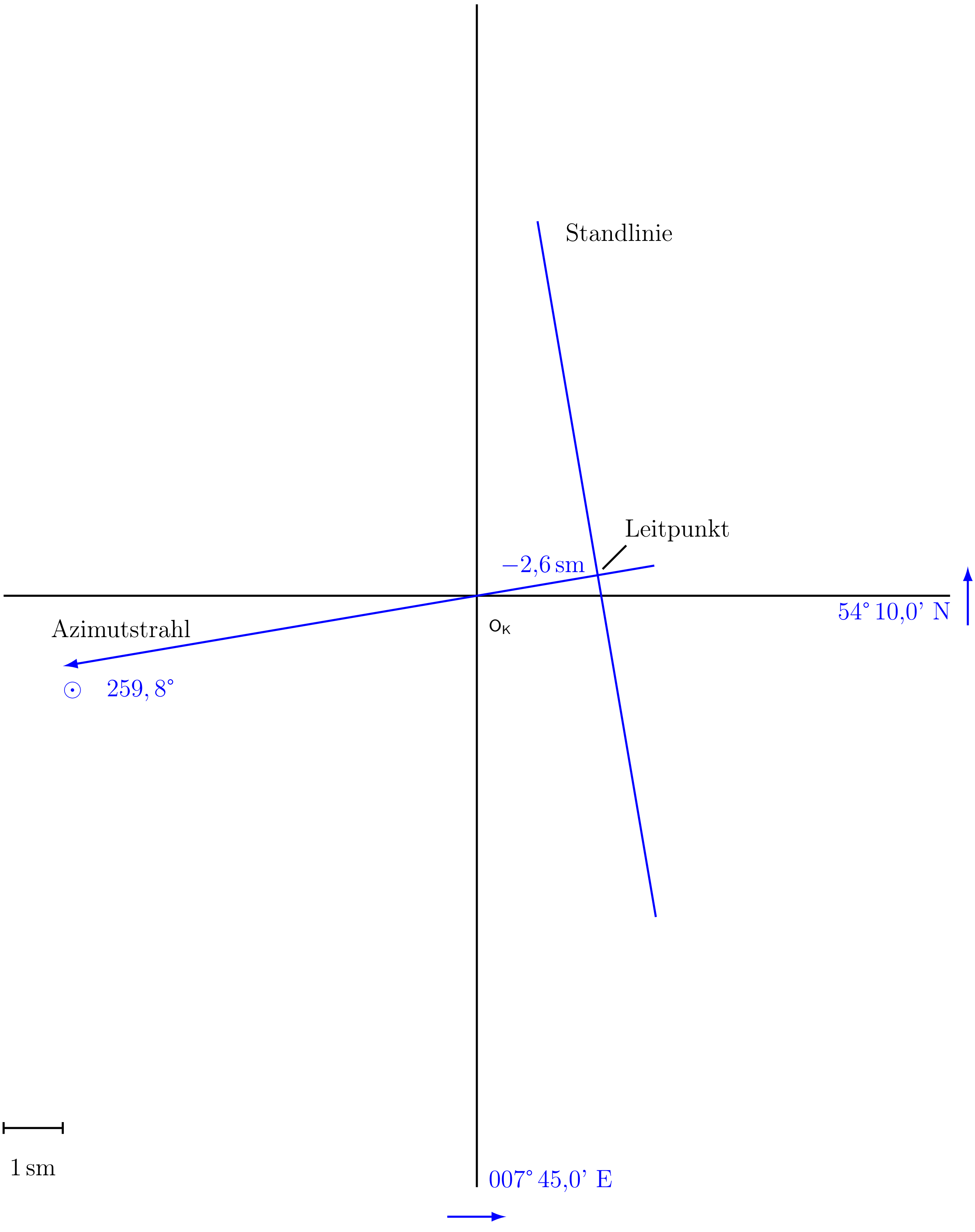
Das Ergebnis unserer Bemühungen mündet in den zwei Ergebnissen Höhendifferenz und Azimut.

$$\Delta h = -2,6' \qquad\qquad \alpha_\mathrm{Az} = 259,8°.$$

3.6 Konstruktion der Standlinie

Hiermit gilt es nun, eine Standlinie zu konstruieren. Sollten wir unseren Koppelort auf einer Seekarte mit vernünftigem Maßstab eintragen können, so verwenden wir diese. In allen anderen Fällen, so auch bei der SHS-Prüfung, nehmen wir ein blankes Blatt Papier. Mit einer senkrechten und einer waagerechten Linie teilen wir das Blatt in vier gleich große Rechtecke. Der Schnittpunkt der Linien repräsentiert den Koppelort. Wir beschriften die Linien mit den Zahlenwerten für φ_k und λ_k. Durch Pfeile markieren wir, in welcher Richtung die Zahlenwerte für Länge und Breite zunehmen. Südliche Breiten und westliche Längen sind für Nord- und Ostseesegler ungewohnt. Diese Pfeile helfen Fehler zu vermeiden.

Mit Kursdreiecken wird der Azimutstrahl wie eine Kurslinie durch den Koppelort, hier mit $\alpha_\mathrm{Az} = 259,8°$, eingetragen und mit einer Pfeilspitze versehen. Das Symbol für das Gestirn und die Gradzahl wird dort ergänzt. In Verlängerung dieses Strahls liegt der Bildpunkt des Gestirns; er dürfte etliche 1000 Seemeilen entfernt sein.


Standlinie
Leitpunkt
−2,6 sm
Azimutstrahl
O K
54° 10,0' N
⊙ 259, 8°
1 sm
007° 45,0' E

Da die Höhendifferenz mit $\Delta h = -2,6'$ negativ ist, wird sie entgegengesetzt der Pfeilspitze vom Koppelort aus auf dem Azimutstrahl angetragen. Positive Höhendifferenzen werden natürlich in Pfeilrichtung angetragen. Auf einer Seekarte greifen wir hierzu $2,6'$ (Breitenminuten) ab. Auf einem Blatt Papier definieren wir selbst den Maßstab. Empfehlenswert ist immer $1\,\mathrm{sm} = 1' \mathrel{\hat{=}} 1\,\mathrm{cm}$. Wir erhalten so den Leitpunkt. In ihm fällen wir das Lot auf den Azimutstrahl und erhalten die gesuchte Standlinie. In Wirklichkeit ist die Standlinie ein Kreis um den Bildpunkt des Gestirns, der unseren Leitpunkt berührt. Dieser Kreis hat einen Radius, der identisch ist mit unserem Abstand vom Bildpunkt. Wir wissen, er beträgt etliche 1000 Seemeilen. Ein kleiner Ausschnitt eines Kreisbogens mit so großem Radius darf ohne weiteres durch eine gerade Linie, unser Lot, approximiert werden.

3.7 Versegelung von Standlinien

Eine Standlinie liefert keinen Ort. In der astronomischen Navigation ist es zwar möglich, zeitnah zwei Gestirne „zu schießen" und so eine zweite Standlinie zu erzeugen, womit der Ort definiert ist. Jedoch kommt dies in der Bordpraxis ausgesprochen selten vor. Üblich ist es, dass die Sonne zweimal beobachtet wird. Zwischen den Beobachtungen sollte eine Zeit von mindestens zwei Stunden vergangen sein, sonst schneiden sich die Standlinien in zu spitzem Winkel.

Das Versegeln der ersten Standlinie ist einfacher als zunächst gedacht. Die Vorgehensweise ist wie folgt:

1. Aus Beobachtung 1 mit Koppelort 1 werden die Größen Δh und α_{Az} berechnet aber zunächst keine Standlinie konstruiert.
2. Mittels gegebener DüG und gegebenem KüG zwischen den beiden Beobachtungen wird der neue Koppelort 2 bestimmt (Besteckrechnung, 1. Aufgabe oder zeichnerisch).
3. Aus Beobachtung 2 mit Koppelort 2 werden erneut die Größen Δh und α_{Az} berechnet.
4. Erst jetzt werden die Standlinien konstruiert. Am Koppelort 2 sind beide Wertepaare Δh und α_{Az} anzutragen.

Der Schnittpunkt der Standlinien ist der gesuchte beobachtete Ort.

3.8 Bestimmung von Ort und Besteckversatz

Gesucht ist letztendlich der beobachtete Ort nach Länge und Breite. Sollten wir die Standlinien auf einer Seekarte konstruiert haben, so bedarf das Ablesen der Werte keiner Erklärung.

Auf einem Blatt Papier (Maßstab $1\,\mathrm{sm} \mathrel{\hat{=}} 1\,\mathrm{cm}$) messen wir mit dem Kursdreieck den Abstand unseres beobachteten Ortes zum Breitenkreis des Koppelorts in Zentimeter. Am Breitenkreis ist die Breite des Koppelorts bereits eingetragen. Auch zeigt der Pfeil, in welche Richtung die Zahlenwerte zunehmen. Die gemessenen Zentimeter werden mit den Minuten der Koppelortbreite verrechnet. Es ist leicht zu erkennen, ob addiert oder subtrahiert werden muss.

Bei der Länge ist ein weiterer Schritt nötig, da wir natürlich wissen, dass eine Seemeile keine Längenminute ist. Wir messen diesmal den Abstand des beobachteten Orts zum Meridian des Koppelorts in Zentimeter. Diesen Wert müssen wir durch $\cos \varphi_\mathrm{k}$ dividieren (φ_k steht noch im Speicher A). Den erhaltenen Wert runden wir auf eine Stelle hinter dem Komma und verrechnen ihn mit den Längenminuten des Koppelorts. Erneut achten wir darauf, in welcher Richtung die Zahlenwerte zunehmen. Der eingetragene Pfeil hilft uns dabei.

Der Besteckversatz wird zeichnerisch ermittelt. Wir verbinden den Koppelort mit dem beobachteten Ort und bestimmen den Kurs, den wir vom Koppelort aus fahren müssten, um zum beobachteten Ort zu gelangen. Die Entfernung wird mit dem Kursdreieck in $\mathrm{cm} \mathrel{\hat{=}} \mathrm{sm}$ ermittelt.

3.9 Taktische Hinweise für die Prüfung

Der Lenkungsausschuss nach SportSeeSchV (LA) hat eine generelle Formelsammlung und ein Rechenschema zur Astronomischen Navigation herausgegeben. Sie sind auf den Internetseiten des DSV (`www.dsv.org`) abrufbar.

Formelsammlung

Achten Sie darauf, dass die Formelsammlungen in den Begleitheften SSS+SHS der Ausgaben 2010 und 2015 zum Teil gravierende Fehler aufweist. Es ist empfehlenswert diese aus der Ringheftung zu entfernen und stattdessen einen Ausdruck der Formelsammlung ab Stand 1/2016 mitzuführen. Als Lesezeichen beim häufigen Blättern zwischen Tagesseite und Schalttafelseite des Nautischen Jahrbuchs ist diese extra Formelsammlung auch recht willkommen. Sollte ein Begleitheft SSS+SHS der Ausgabe 2010 vorhanden sein, so ist ein Neukauf nicht wirklich notwendig.

Rechenschema

Sie müssen die Entscheidung fällen, ob Sie mit dem Rechenschema des Lenkungsausschusses oder gänzlich ohne vorgehen wollen. Das hier entwickelte Rechenschema ist nicht zulässig! Empfehlen möchte ich folgende Herangehensweise:

1. Erarbeiten Sie sich am Anfang Ihrer Vorbereitung die grundsätzliche Vorgehensweise mit Hilfe des hier vorgestellten Rechenschemas, indem Sie es ausfüllen.
2. Nach einigen Übungsaufgaben benutzen Sie das Schema nur noch als Hilfsmittel und schreiben auf blankem Papier.
3. Nach weiteren Übungsaufgaben werden Sie feststellen, dass Sie nur noch die Formeln für die rechnerische Höhe auf Seite 17 und für den Azimut auf Seite 18 nachschlagen müssen. Sie finden beide in der oben erwähnten Formelsammlung auf Seite 10, allerdings in abgewandelter Form.
4. Um die von mir empfohlene Speichernutzung zu realisieren, prägen Sie sich zwei Zeichenfolgen ein.
   - Für h_r: AB ABC,
   - für Z, die Hilfsgröße des Azimut : B DA/DA

Rechnerische Höhe

Auf Seite 10 der LA-Formelsammlung finden wir

$$\sin h_\mathrm{r} = \sin\varphi\,\sin\delta + \cos\varphi\,\cos\delta\,\cos t.$$

Aus dem Sinus links des Gleichheitszeichen machen wir einen Arcus-Sinus rechts davon. Hinzu kommt eine Klammer um die ganze rechte Seite.

$$h_\mathrm{r} = \arcsin\left[\sin\varphi_\mathrm{k}\,\sin\delta + \cos\varphi_\mathrm{k}\,\cos\delta\,\cos t\right].$$

Von Seite 17 in diesem Text kennen wir diese Gleichung. Mit Hilfe der Zeichenfolge AB ABC wird daraus

$$h_\mathrm{r} = \arcsin\left[\sin\mathsf{A}\,\sin\mathsf{B} + \cos\mathsf{A}\,\cos\mathsf{B}\,\cos\mathsf{C}\right].$$

Aus den letzten beiden Gleichungen können wir ablesen, welche Größe in welchen Speicher gehört.

Azimut

Auf Seite 10 der LA-Formelsammlung finden wir unter 4.3.2, Buchstabe b):

$$\cos \mathsf{Az_r} = \frac{\sin\delta - \sin h\, \sin\varphi}{\cos h\, \cos\varphi}.$$

Leider finden wir diese Gleichung nicht auf dem LA-Rechenschema. Die dort abgedruckten Gleichungen zur Berechnung des Azimut haben recht komplizierte Fallunterscheidungen zur Folge. Wir bevorzugen die kennengelernte Gleichung nach 4.3.2, Buchstabe b).

Erneut schreiben wir die Gleichung mit der Umkehrfunktion arccos an, wofür die rechte Seite in eine Klammer gesetzt werden muss. Einige Indizes können im Sinne der Klarheit ergänzt werden; die umständliche Größe $\mathsf{Az_r}$ heißt bei uns Z.

$$Z = \arccos\left[\frac{\sin\delta - \sin h_\mathrm{r}\, \sin\varphi_\mathrm{k}}{\cos h_\mathrm{r}\, \cos\varphi_\mathrm{k}}\right].$$

Mit der Zeichenfolge B DA/DA wird daraus

$$Z = \arccos\left[\frac{\sin \mathsf{B} - \sin \mathsf{D}\, \sin \mathsf{A}}{\cos \mathsf{D}\, \cos \mathsf{A}}\right]$$

Die Beschreibung der Fallunterscheidung in der LA-Formelsammlung ist gut verständlich.

3.10 Taktische Hinweise für die Bordpraxis

Sollten Sie keinen eigenen Sextant besitzen, so werden Sie nach Erhalt des SHS diese Schrift erleichtert wegwerfen – schade.

Sollten Sie aber auf den großen Fahrten, für die Sie den SHS benötigen, Nautisches Jahrbuch und Sextant mitführen, so ist es eine gute Idee, eine Kopie dieser Schrift in der Nähe der Bedienungsanleitung für Kartenplotter oder GPS-Empfänger in der Bordakte abzuheften. Sollten diese Geräte ausfallen, werden Sie zunächst dort nach Hilfe suchen. Die hier beschriebene historische Backup-Methode fällt Ihnen so ganz automatisch in die Hände. Ich unterstelle Ihnen, dass Sie auch nach vielen Astro-freien Jahren mit dieser Schrift höchstens einen halben Tag brauchen, um wieder „drin“ zu sein. Es verbietet Ihnen dann niemand, dieses Rechenschema zu benutzen.

Literatur

[ATT] United Kingdom Hydrographic Office (Hrsg.): *Admiralty Tide Tables*. Volume 1-4. Taunton, Somerset: 20XX.

[Berking, Huth] Bernhard Berking, Werner Huth (Hrsg.): *Handbuch Nautik*. 2. Aufl. Hamburg: Seehafen, 2016.

[Böhme] Lutz Böhme: *Gezeitenberechnungen mit den Admiralty Tide Tables*. `http://www.lutzboehme.de`, 2015.

[Bowditch] Nathanial Bowditch: *The American Practical Navigator*. Bethesda, Maryland: National Imagery and Mapping Agency, 2002.

[DISW] Damm, Irminger, Schultz, Wand: *Sporthochseeschifferschein*. Bielefeld: Delius Klasing, 1. Aufl. 2006.

[DISW-Ü] Damm, Irminger, Schultz, Wand: *Übungen und Aufgaben Sporthochseeschifferschein*. Bielefeld: Delius Klasing, 5. Aufl. 2013.

[Begleitheft] N. N.: *Begleitheft SSS + SHS*. Bielefeld: Delius Klasing, Ausgabe 2015.

[Fulst] Otto Steppes, Gerhard Zwiebeler, Walter Stern: *FULST Nautische Tafeln*. Bremen: Arthur Geist, 23. Aufl. 1963.

[Homburg] W. Homburg: *Leitfaden der Nautik Teil II*. Leipzig: Fachbuchverlag, 1955.

[Mestemacher] Frank Mestemacher: *Astronomische Navigation ... nicht nur zum Ankommen*. Hamburg: Kreuzer Yachtclub Deutschland e.V. (Hrsg.), 2. erw. Ausgabe 2013.

[Müller-Krauss] Joseph Krauß, Martin Berger: *Handbuch für die Schiffsführung, Erster Band*. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer, 6. Aufl. 1961.

[Norie's] George Blance (Editor): *Norie's Nautical Tables*. St Ives, Cambridgeshire: Imray, Laurie, Norie & Wilson, 2007.

[Übungsaufgaben] N. N.: *Übungsaufgaben für die schriftliche Prüfung zum Sportsee- und Sporthochseeschifferschein*. DSV-Verlag (Hrsg.), Bielefeld: Delius Klasing, 3. Aufl. 2010.

[Wand] Christoph Wand: *Navigation*. Kapitel I in [DISW]

Höhenstandlinie Sonne, Mond oder Planeten mit Taschenrechner

Name ....

Datum __.__.20__	Ah=__ m	$\varphi_k =$ __°__,_' N/S	$\lambda_k =$ ___°__,_' E/W

Sonne ☉	Mond ☾	Venus ♀	Mars ♂	Jupiter ♃	Saturn ♄

Zeitpunkt der Beobachtung in ZZ und UT1		
Chronometer Stop ZZ/UT1		__.__.__
Stoppuhr	−	__.__
unber. Zeitpunkt ZZ/UT1		__.__.__
Chr. Stand Std	±	__.__
Zeitpkt d. Beob. ZZ/UT1		__.__.__
Zeitzone UTC ± __ · (−1)	∓	__.00.00
Zeitpunkt d. Beob. UT1		__.__.__
ggf. korrigiertes Datum		__.__.20__

Sonne: Beobachtete Höhe h_b		
Sextantablesung		___°__,_'
Indexbeschickung Ib	±	__,_'
Kimmabstand KA		___°__,_'
Gesamtbeschickung Gb	±	__,_'
Zusatzbeschickung ☉ Zb	±	__,_'
beobachtete Höhe h_b		__°__,_'

Mond: Beobachtete Höhe h_b		
Sextantablesung		___°__,_'
Indexbeschickung Ib	±	__,_'
Kimmabstand KA		___°__,_'
Gb für HP __,_'	+	__,_'
Zb für Ah __ m	±	_,_'
bei $\bar{☾}$ Monddurchmesser	−	__,_'
beobachtete Höhe h_b		__°__,_'

Planeten: Beobachtete Höhe h_b		
Sextantablesung		___°__,_'
Indexbeschickung Ib	±	__,_'
Kimmabstand KA		___°__,_'
Gb für Ah __ m	−	__,_'
Zb für HP _,_'	+	_,_'
beobachtete Höhe h_b		__°__,_'

Greenwich-, Ortsstundenwinkel t_{Gr}, t			
t_{Gr} aus NJ für __h			___°__,_'
Zw für __m __s		+	__°__,_'
bei ☾ und Planeten auch			
Unt_t ± __,_' Vb		±	__,_'
t_{Gr}			___°__,_'
geg. Länge λ_k (λ_E+/λ_W-)		±	___°__,_'
$t = t_W$	→ C		___°__,_'

Deklination δ			
δ aus NJ für __h		N/S	__°__,_'
Unt_δ ± __,_' Vb		±	__,_'
Deklination δ	→ B	±	__°__,_'
gegisste Breite φ_k	→ A	±	__°__,_'

Berechnung h_r, Δh			
$h_r = \arcsin\left[\sin\varphi_k \sin\delta + \cos\varphi_k \cos\delta \cos t\right]$			
$h_r = \arcsin\left[\sin \mathsf{A} \sin \mathsf{B} + \cos \mathsf{A} \cos \mathsf{B} \cos \mathsf{C}\right]$			
h_r in Gdez	→ D		__,___°
h_r in G-Mdez			__°__,_'
h_b			__°__,_'
$-h_r$		−	__°__,_'
$\Delta h \gtrless 0$ hin zum / weg vom BPkt.		±	__,_'

Höhenazimut		
$Z = \arccos\left[\frac{\sin\delta - \sin h_r \sin\varphi_k}{\cos h_r \cos\varphi_k}\right]$		
$Z = \arccos\left[\frac{\sin \mathsf{B} - \sin \mathsf{D} \sin \mathsf{A}}{\cos \mathsf{D} \cos \mathsf{A}}\right]$		
Z		___,_°
wenn $t = t_W \in [0°, 180°]$ $\alpha_{Az} = 360° - Z$		
360°		360,0°
$-Z$	−	___,_°
Azimut α_{Az}		___,_°
wenn $t = t_W \in [180°, 360°]$ $\alpha_{Az} = Z$		