

Anwendung der Sight Reduction Tables for Air Navigation

Pub. No. 249 (HO 249)

Joachim Venghaus*

www.venghaus.eu

23. Januar 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Beschreibung und Beschaffung der HO 249	4
3	Grundlagen	4
3.1	Ganzgradige Eingangsgrößen	5
3.2	Der Nachteil von HO 249: Rechenort	6
4	Vorgehensweise an einem Beispiel	6
4.1	Grundgrößen	6
4.2	Zeitpunkt der Beobachtung	7
4.3	Beobachtete Höhe h_b	7
4.4	Greenwicher Stundenwinkel, Ortsstundenwinkel, Deklination	9
4.5	Anwendung der Tafel HO 249	11
4.6	Konstruktion der Standlinie	13
5	Vergleich mit anderen Verfahren	15

*Hochschullehrer an der Hochschule Stralsund, ansprechbar unter [segeln\(at\)venghaus.eu](mailto:segeln(at)venghaus.eu)

1 Einleitung

Die Astronomische Navigation ist seit der Verfügbarkeit des Global Positioning System (GPS) zu einem Notverfahren geworden, für den Fall, dass die Elektronik an Bord unbrauchbar geworden ist. Auch sind Szenarien denkbar, in denen die Betreiber des GPS die Verfügbarkeit unterbinden, wozu sie jederzeit in der Lage sind. Mit der Betriebsaufnahme von GLONASS und demnächst GALILEO dürfte – geeignete Empfangsgeräte vorausgesetzt – die Nichtverfügbarkeit von Satellitensignalen immer unwahrscheinlicher werden.

Sollte trotzdem, aus welchem Grund auch immer, auf hoher See die elektronische Standortbestimmung versagen, werden Sextant, Nautisches Jahrbuch und Taschenrechner zum Einsatz gebracht und die alte Kunst des Konstruierens von Standlinien aus Gestirnsbeobachtung praktiziert. Erneut sind wir dabei auf ein elektronisches Gerät angewiesen – den Taschenrechner. Gehen wir davon aus, dass auch er durch das Schadensereignis unbrauchbar geworden ist, sonderlich wasserresistent sind solche Geräte bekanntlich nicht.

Eine Vielzahl von Verfahren sind in der astronomischen Navigation bekannt, die ohne elektronische Rechner auskommen.

1. Logarithmentafeln nach [FULST] oder [NORIE's],
2. Sight Reduction Tables for Air Navigation Pub. No. 249 (früher HO 249)
3. A. P. 3270 (weitgehend identisch mit HO 249)
4. NAO Sight Reduction Tables
5. Record Tables nach LIEUWEN
6. AGETON's Tables

Die Anwendung der Logarithmentafeln wird häufig als sperrig, umständlich und zudem fehleranfällig angesehen. Insbesondere das zweidimensionale Interpolieren in den ABC-Tafeln wird von manchem Anwender gefürchtet.

Wir wenden uns daher dem zweiten Eintrag in obiger Liste zu. Lange Zeit galt das Tafelwerk HO 249, wie es früher genannt wurde, als das am einfachsten zu handhabende Hilfsmittel, um aus Gestirnsbeobachtungen die eigene Position zu bestimmen. Entwickelt wurde dieses Verfahren im zweiten Weltkrieg, um US-Bomberpiloten eine einfache und schnelle Methode der Standortbestimmung an die Hand zu geben. Daher rührt der Titelzusatz *for Air Navigation*. Das muss uns nicht von der Verwendung abhalten, wir „fliegen“ dann eben mit einer Augeshöhe A_h von wenigen Metern.

Bei der Prüfung zum Sporthochseeschifferschein ist das Verfahren nach HO 249 nicht mehr zulässig. Der Lenkungsausschuss nach Sportseeschifferscheinverordnung, der die Prüfungsinhalte vorgibt, geht demzufolge von einem sehr selektiven Elektronikausfall

aus. Alle GPS-Empfänger sind ohne Funktion, der Taschenrechner funktioniert hingegen prächtig.

2 Beschreibung und Beschaffung der HO 249

Das Tafelwerk besteht insgesamt aus drei Bänden, die jeweils Format und Umfang eines großen Telefonbuchs aufweisen. Sie sind im Buchhandel einzeln erhältlich. Band 1 *Selected Stars* dient ausschließlich der Navigation nach Fixsternen. Dieser Band hat zusätzlich den Nachteil, dass er nach einigen Jahren ersetzt werden muss, da die Fixsterne doch nicht „absolut fix“ sind. Die Bände zwei und drei sind immerwährend, nur ihre Handhabung wird hier erläutert.

Band 2 deckt die geographischen Breiten des Koppelorts von 0° bis 40° ab, Band 3 die von 39° bis 89° . Für Nord- und Ostseesegler ist demzufolge Band 3 relevant. Sparsame Naturen können sich das Tafelwerk auch online beschaffen. Die Internetseite

<http://www.thenauticalalmanac.com>

hält alle drei Bände zum Download bereit [TNA]. Für ein erstes Kennenlernen genügt es, sich die Seiten für die in Frage kommenden Breiten auszudrucken. Ferner ist *Table 5* vonnöten. Die für die Lösung des folgenden Beispiels nötigen Tafeln sind hier ab Seite 18 abgedruckt.

3 Grundlagen

Das für die Astronavigation unerlässliche Verständnis der Koordinatensysteme des Himmelsäquators und des wahren Horizonts wird hier als bekannt vorausgesetzt. Gleiches gilt für die Beschreibung der Position eines Gestirns oder seines Bildpunkts durch Greenwicher Stundenwinkel t_{Gr} und Deklination δ . Auch sollte der Begriff des Ortsstundenwinkels t bekannt sein. Diese Zusammenhänge können leicht mit Hilfe der Schrift *Anleitung Astronomische Navigation* [VENASTRO] aufgefrischt werden.

Der Grundgedanke bei HO 249 ist der, dass alle in Frage kommenden Rechenergebnisse für die rechnerische Höhe h_r und den Azimut α_{Az} vertafelt vorliegen. Die Eingangsgrößen für diese Berechnungen sind

- Koppelortbreite φ_k ,
- Ortsstundenwinkel t ,
- Deklination δ .

Wir sind es gewohnt, dass diese Größen mit einer Genauigkeit von Zehntelminuten Berücksichtigung finden. Mit derart fein unterscheidbaren Eingangsgrößen würde die Tafel einen Umfang haben, der nicht mehr handhabbar ist. Der Kompromiss besteht nun darin, dass diese Eingangsgrößen eben nicht bis auf Zehntelminuten genau eingesetzt werden.

3.1 Ganzgradige Eingangsgrößen

In die Berechnung von rechnerischer Höhe h_r und Azimut α_{Az} geht bekanntlich der Koppelort ein, der eine bloße Vermutung darstellt.

Koppelortbreite φ_k , LAT

Diese Unsicherheit kann nun dahingehend ausgenutzt werden, dass die ohnehin unsichere Breite φ_k auf einen ganzgradigen Wert gerundet wird. Sie wird mit Rechenortbreite LAT (*latitude*) bezeichnet. Aus 53 400 denkbaren zehntelminutengenauen Koppelortbreiten werden so lediglich 89 ganzgradige Rechenortbreiten.

Ortsstundenwinkel t , LHA

Der Ortsstundenwinkel t berechnet sich bekanntermaßen aus Greenwicher Stundenwinkel t_{Gr} und Koppelortlänge λ_k zu

$$t = t_{Gr} + \lambda_k.$$

Die unsichere Koppelortlänge wird nun so abgeändert, dass sich ein ganzgradiger Ortsstundenwinkel ergibt, der mit LHA (*local hour angle*) statt t bezeichnet wird. Aus 216 000 denkbaren zehntelminutengenauen Eingangsgrößen werden 180. Das Finden der sog. Rechenortlänge, die zum gewünschten ganzgradigen Ortsstundenwinkel LHA führt und möglichst dicht an der Koppelortlänge λ_k liegt, gilt als der schwierigste Aspekt bei der Ortsbestimmung nach HO 249.

Deklination δ , DECLINATION

Bei der Deklination δ wird ein etwas anderer Weg beschritten. Die Deklination wird grundsätzlich betragsmäßig ganzgradig abgerundet und mit DECLINATION bezeichnet. Die zunächst vernachlässigten Minutenanteile der Deklination werden durch einen Korrekturwert nachträglich berücksichtigt. Da die Bände 2 und 3 der HO 249 auf die Ortsbestimmung mit Sonne, Mond und Planeten abzielen, werden lediglich Deklinationen von 0° bis 29° tabelliert. Fixsterne, deren Deklinationen kleiner als 29° sind, können ganz entsprechend behandelt werden.

3.2 Der Nachteil von HO 249: Rechenort

Die hemdsärmelige Herangehensweise, den Koppelort so zu verschieben, dass die notwendigen runden Werte für LAT und LHA entstehen bleibt nicht ohne Folgen. Der ursprüngliche Koppelort ist nunmehr ohne Bedeutung und wird durch den Rechenort ersetzt, von dem aus auch die Standlinienkonstruktion erfolgen wird. Im ungünstigsten Fall liegen etwa 42 sm zwischen Rechenort und Koppelort. Bisher galt, dass die Höhendifferenz Δh ein Qualitätsindikator für Koppelnavigation und Sextantbeobachtung ist. Große Zahlenwerte für Δh waren immer ein Alarmzeichen. Dies gilt nicht mehr. Die Größe von Δh ist nun vom Zufall abhängig und kann auch bei perfekter Seemannschaft sehr große Werte annehmen.

4 Vorgehensweise an einem Beispiel

Auf Seite 21 ist ein Rechenschema zu finden, an Hand dessen die Vorgehensweise recht gut nachvollziehbar ist. Es besteht aus zwei identischen Spalten, so dass auf einem Blatt zwei Standlinienberechnungen durchgeführt werden können.


Zur Anwendung kommt das gleiche Beispiel, welches in [VENASTRO] und [VENANWAGT] behandelt wird. Die Handhabung des Nautischen Jahrbuchs wird hier erneut, zum Teil wortgleich dargestellt.

Am 09. Juli 2005 befinden wir uns westlich der Insel Helgoland. Durch sorgfältiges Koppeln vermuten wir unsere Position auf $\varphi_k = 54^\circ 10,0' N$ und $\lambda_k = 007^\circ 45,0' E$ (Koppelort). Die Augeshöhe beträgt 6 m. Am wolkenlosen Himmel ist der Sonnenunterrand erkennbar, die Kimm ist klar.

Auszüge des Nautischen Jahrbuchs 2005 sind im [BEGLEITHEFT] abgedruckt.

4.1 Grundgrößen

Datum, Augeshöhe Ah und Koppelort werden in das Formblatt eingetragen. Durch Über- oder Unterstreichung des Sonnensymbols wird angegeben, ob der Ober- oder der Unterrand auf die Kimm gesetzt wird. Bei freier Auswahl ist der Unterrand zu bevorzugen.

Höhenstandlinie der Sonne mit HO 249				
Datum 09.07.2005		Ah= 6 m	$\varphi_k = 54^\circ 10,0' \begin{matrix} N \\ S \end{matrix}$	$\lambda_k = 007^\circ 45,0' \begin{matrix} E \\ W \end{matrix}$

4.2 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 Datumanzeige mitgeliefert wird, die das Datum in Greenwich anzeigt.

Um die Uhrzeit bei der Gestirnsbeobachtung 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.**

Der nun vorliegende unberichtigte Zeitpunkt muss mit der Größe Chronometer-Stand berichtigt werden. Wenn der Chronometer nachgeht, ist der Stand positiv und umgekehrt. **In unserem Beispiel geht die Uhr 12s vor. Der Stand beträgt -00:12**

Der Zeitpunkt der Beobachtung ist nun ermittelt. Der Unterschied zwischen UT1 und UTC ist für unsere Belange vernachlässigbar.

Zeitpunkt der Beobachtung in UT1	
Chronometer Stopp UT1	15:39:00
Stoppuhr	- 01:36
unber. Zeitpunkt UT1	15:37:24
Chr. Stand Std	± - 00:12
Zeitpunkt d. Beob. UT1	15:37:12

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

4.3 Beobachtete Höhe h_b

Aus der Sextantablesung muss die beobachtete Höhe h_b berechnet werden.

Die Sextantablesung beträgt in unserem Beispiel $34^{\circ} 42,9'$, die Indexbeschickung beträgt $-0,3'$.

Indexbeschickung

Die Indexbeschickung I_b 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 Gestirnsbeobachtung ist I_b 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.

Wir erhalten einen Kimmabstand KA von $034^{\circ} 42,6'$.

Da wir gegen die Kimm und nicht gegen den wahren Horizont gemessen haben, muss das berichtigt werden. Die im Nautischen Jahrbuch tabellierte Gesamtbeschickung G_b für den Kimmabstand des Sonnenunterrandes ermittelt sich aus den Eingangsgrößen Kimmabstand und Augeshöhe 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 $Ah = 6\text{ m}$ und einem Kimmabstand von etwa $KA = 35^{\circ}$ ergibt sich eine Gesamtbeschickung $G_b = +9,7'$.

In einer Zusatzbeschickung Z_b 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 $Z_b = -0,2'$. 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.

Beobachtete Höhe h_b			
Sextantablesung			$34^\circ 42,9'$
Indexbeschickung	lb	\pm	$-0,3'$
Kimmabstand	KA		$34^\circ 42,6'$
Gesamtbeschickung	Gb	\pm	$+9,7'$
Zusatzbeschickung	\odot Zb	\pm	$-0,2'$
beobachtete Höhe	h_b		$34^\circ 52,1'$

Die beobachtete Höhe berechnet sich zu $h_b = 34^\circ 52,1'$.

4.4 Greenwicher Stundenwinkel, Ortsstundenwinkel, Deklination

Nachdem die beobachtete Höhe h_b des Gestirns am tatsächlichen Ort feststeht, muss nun bestimmt werden, wie die Höhe des Gestirns am Koppelort bzw. am noch kennenzulernenden Rechenort 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 Tagessseite für den [09. Juli 2005](#) auf und erinnern uns, der Zeitpunkt der Beobachtung ist [15:37:12 UT1](#).

Greenwicher Stundenwinkel

Wir beginnen mit dem Greenwicher Stundenwinkel für die zurückliegende volle Stunde [15 h](#). Die Tafel liefert für die Sonne einen Wert $t_{Gr} = 043^\circ 41,4'$. 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 $9^\circ 18,0'$. Durch Addition ergibt sich der sekundengenaue Greenwicher Stundenwinkel zu $052^\circ 59,4'$.

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 befinden uns nun an der eingangs erwähnten „HO 249-Klippe“. Wir müssen die Koppelortlänge $\lambda_k = +007^\circ 45, 0'$ so abwandeln, dass wir einen ganzgradigen Ortsstundenwinkel LHA erhalten.

Die Vorgehensweise ist wie folgt: Zunächst muss festgestellt werden, ob addiert oder subtrahiert werden muss. Unsere östliche Koppelortlänge muss zum Greenwicher Stundenwinkel $052^\circ 59, 4'$ addiert werden. Wir wissen dass die Minutenangaben nach der Addition alle Null sein müssen. Wir fragen uns, beginnend an der rechten Stelle, was muss zu der 4 addiert werden, um 0 oder 10 zu erhalten? Eine 6 eintragen, 1 im Sinn. Nun die nächste Stelle: 9 plus 1 aus dem Sinn ergibt schon 10, es muss eine 0 eingetragen werden, wieder 1 im Sinn. Nächste Stelle: 5 plus 1 aus dem Sinn ergibt 6. Doch Vorsicht: diese Stelle zählt nur bis 5, denn bei 60' erfolgt der Übertrag, es muss eine Null eingetragen werden, wieder 1 im Sinn. Nächste Stelle: Jetzt betrachten wir unsere Koppelortlänge $\lambda_k = +007^\circ 45, 0'$ und stellen fest, dass $008^\circ 00, 6'$ näher liegt, als $007^\circ 00, 6'$. Wir tragen 008° ein und führen die Addition zu Ende. 2 plus 8 plus 1 aus dem Sinn macht 11, 1 angeschrieben, 1 im Sinn. 5 plus 1 aus dem Sinn macht 6. Der Ortsstundenwinkel LHA ergibt sich zu 061° .

Greenwich-, Ortsstundenwinkel t_{Gr}, t		
t_{Gr} aus NJ	für 15 h	$043^\circ 41, 4'$
Zw	für 37 m 12 s	+ $9^\circ 18, 0'$
t_{Gr}		$052^\circ 59, 4'$
Rechenortlänge ($\lambda_E + / \lambda_W -$)		$\pm +008^\circ 00, 6'$
Ortsstundenwinkel	LHA	$061^\circ 00, 0'$

Der Ortsstundenwinkel lautet $LHA = 061^\circ$, die Rechenortlänge $008^\circ 00, 6' E$.

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 $\delta = 22^\circ 17, 8' N$. Die Verbesserung Vb berücksichtigt lediglich die Minuten des Beobachtungszeitpunkts. Eine sekundengenaue Betrachtung erübrigt sich. Es muss der Unterschied Unt abgelesen werden. Er ist am jeweiligen Tag als konstant anzusehen, deshalb steht er am unteren Ende der Deklinationsspalte.

Aus unerfindlichen Gründen wird **Unt** 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 $\delta = 22^{\circ}17,8' \text{ N}$. Eine Stunde später finden wir $\delta = 22^{\circ}17,5' \text{ N}$. 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 **Unt** = $-0,3'$. 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). Für die exakte Deklination gilt $\delta = 22^{\circ}17,6' \text{ N}$. Dieser Wert wird abgerundet, d.h. die Minutenangaben werden abgeschnitten und erst später berücksichtigt.

Deklination δ				
δ aus NJ	für 15 h		N	$22^{\circ}17,8'$
			s	
Unt	$\pm -0,3'$	Vb	\pm	$-0,2'$
Deklination δ			N	$22^{\circ}17,6'$
			s	
abgerundete Deklination δ			N	$22\ 00,0'$
			s	
gerundete Breite φ	LAT		N	$54\ 00,0'$
			s	

Bei der Gelegenheit wird auch die gerundete Breite des Koppelorts ins Schema eingetragen: **LAT** = $54^{\circ}00,0' \text{ N}$. Im Gegensatz zur Deklination würde die Breite ab $30'$ aufgerundet werden.

4.5 Anwendung der Tafel HO 249

Wir fassen zusammen:

- **LAT** = 54° N ,
- **DECLINATION** = 22° N ,
- **LHA** = 61°

und stellen fest, dass Breite LAT und DECLINATION beide auf der gleichen Halbkugel (hier N) liegen. Sie sind also gleichnamig, engl. SAME.

Sollten Breite und Deklination auf unterschiedlichen Halbkugeln liegen (N und S oder S und N), so wären sie ungleichnamig, engl. CONTRARY.

Wir suchen in Band 3 die Seiten für LAT 54° . Dort angekommen suchen wir die Seiten DECLINATION ($15^\circ - 29^\circ$) SAME. Als letztes kontrollieren wir, ob auf der gefunden Seite am linken oder rechten Rand in der Spalte LHA die Zahl 61 zu finden ist. Hier auf Seite 18 ist die zutreffende Seite der HO 249 abgedruckt.

Drei Werte sind der Tafel zu entnehmen: Hc, d und Z . In der Spalte 22° und in der Zeile 61 finden wir $Hc = 34^\circ 34'$, $d = +46'$, $Z = 100^\circ$ und tragen die Werte ein. Es ist zu beachten, dass der Wert für d auch negativ werden kann.

SAME/CONTRARY			
HO 249	$Z: 100^\circ$	$d: \pm +46'$	Hc: $34^\circ 34'$
...			

Nun müssen die bisher vernachlässigten Minutenanteile der Deklination berücksichtigt werden. Mit Hilfe von TABLE 5, hier auf Seite 19 abgebildet, wird dies erfolgen. Wir erinnern uns, dass $17,6'$ einfach weggestrichen wurden. Eingangsgrößen in diese Tafel sind die Werte d in der Kopfzeile und die Minutenanteile der Deklination in der Randspalte. Für $d = +46$ und gerundet $18'$ erhalten wir einen Korrekturwert von $+14$. Das Vorzeichen wird vom Wert d übernommen. Wir tragen ein und berechnen.

SAME/CONTRARY			
HO 249	$Z: 100^\circ$	$d: \pm +46'$	Hc: $34^\circ 34'$
Correction Table 5		\pm	$+14'$
rechnerische Höhe h_r		$=$	$34^\circ 48'$
h_b			$34^\circ 52, 1'$
$-h_r$		$-$	$34^\circ 48, 0'$
$\Delta h \geq 0$	hin zum weg vom	BPkt.	$\pm +04, 1'$

Wie gewohnt wird der Höhenunterschied $\Delta h = h_b - h_r$ bestimmt, er ergibt sich zu $\Delta h = +04, 1'$.

Abschließend muss aus dem Tafelwert Z mittels Fallunterscheidung der Azimut α_{Az} bestimmt werden. Die Regeln der Fallunterscheidung entnehmen wir der HO-Tafel. Sie unterscheiden sich für nördliche und südliche Breiten. Bei der vorliegenden nördlichen Breite benutzen wir die Fallunterscheidung am Tabellenkopf, bei südlichen die am Tabellenfuß. Die Angaben N.Lat. und S.Lat. helfen bei der Auswahl. In Abhängigkeit von der Größe des Ortsstundenwinkels LHA ergibt sich der Azimut α_{Az} , der in der HO 249 leider mit Z_n bezeichnet wird.

Wir tragen ein

Fallunterscheidung HO		360
Azimutwinkel Z	\pm	-100
Azimut $Z_n = \alpha_{Az}$	=	260

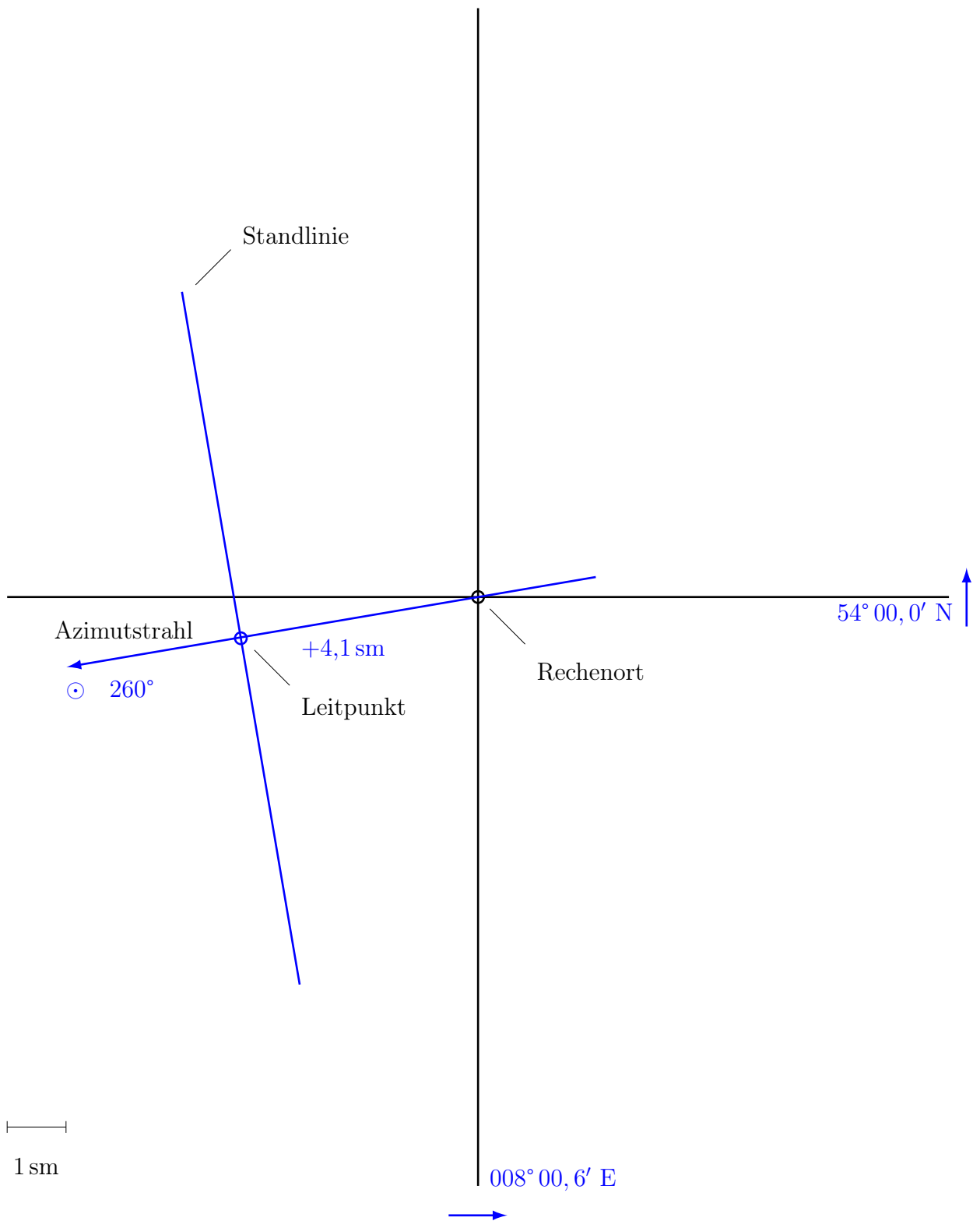
und fassen zusammen:

- Rechenortbreite LAT = 54° N,
- Rechenortlänge $008^\circ 00', 6'$ E,
- Höhendifferenz $\Delta h = +04, 1'$,
- Azimut $\alpha_{Az} = Z_n = 260^\circ$.

4.6 Konstruktion der Standlinie

Hiermit gilt es nun, eine Standlinie zu konstruieren. Sollten wir unseren Rechenort auf einer Seekarte mit vernünftigem Maßstab eintragen können, so verwenden wir diese. In allen anderen Fällen 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 Rechenort (nicht den Koppelort). Wir beschriften die Linien mit den Zahlenwerten für Rechenortbreite und Rechenortlänge. 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 Rechenort, hier mit $\alpha_{Az} = 260^\circ$, 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.



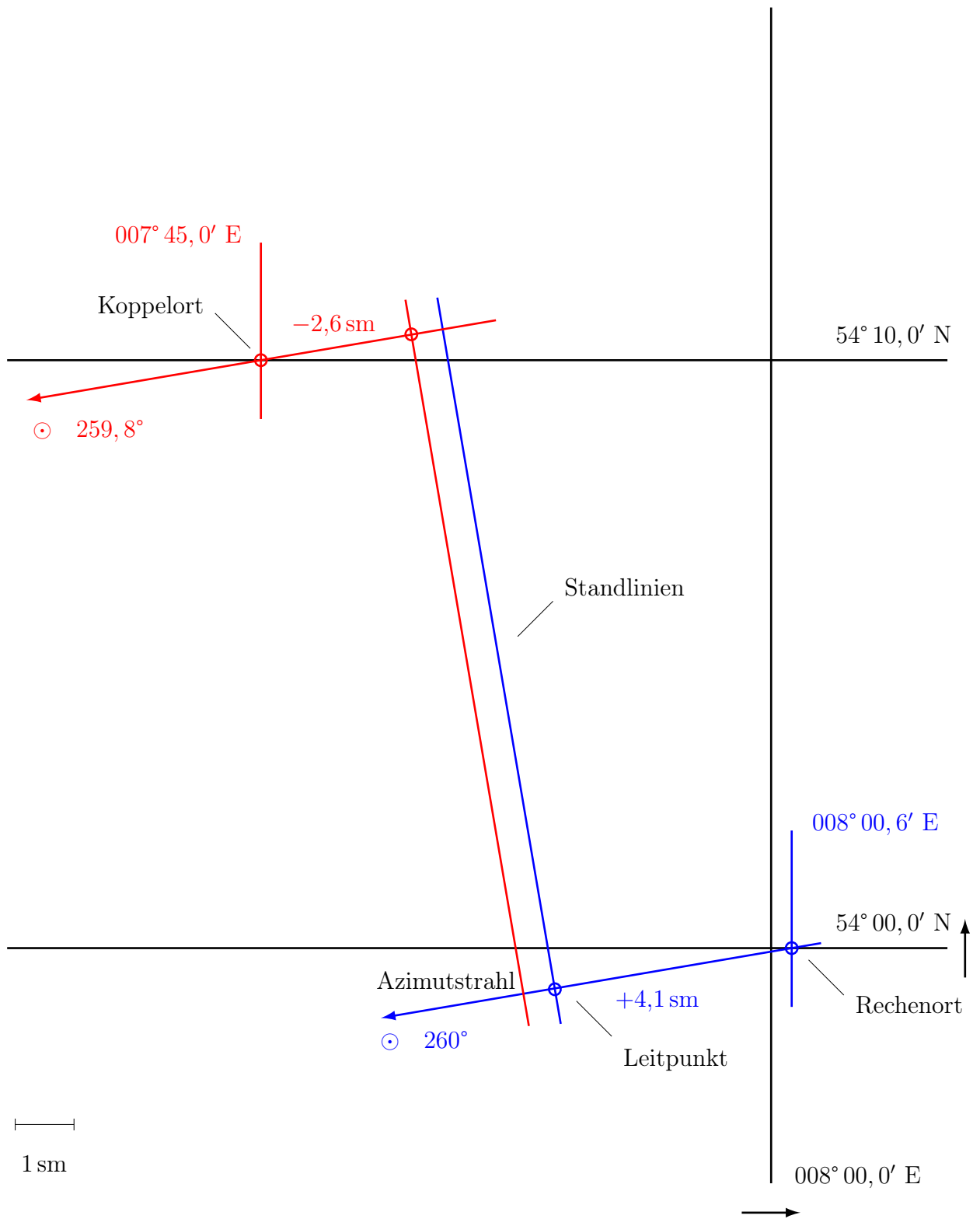
Da die Höhendifferenz mit $\Delta h = +4, 1'$ positiv ist, wird sie in Pfeilrichtung vom Rechenort aus auf dem Azimutstrahl angetragen. Negative Höhendifferenzen werden natürlich entgegen der Pfeilrichtung angetragen. Auf einer Seekarte greifen wir hierzu $4, 1'$ (Breitenminuten) ab. Auf einem Blatt Papier definieren wir selbst den Maßstab. Empfehlenswert ist meist $1 \text{ sm} = 1' \hat{=} 1 \text{ cm}$. 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.

5 Vergleich mit anderen Verfahren

Das gleiche Beispiel wird in [VENASTRO] per Taschenrechner berechnet. Die dort erhaltenen Werte für den Azimut stimmen gut überein. Die Höhendifferenz weicht jedoch sehr deutlich ab. Das liegt daran, dass Höhendifferenz und Azimut sich auf den tatsächlichen Koppelort und nicht auf den Rechenort beziehen. Ein Vergleich der Ergebnisse gelingt nur zeichnerisch.

Wir stellen gegenüber:

	HO 249 Rechenort	Taschenrechner Koppelort
Breite	$54^{\circ}00, 0' \text{ N}$	$54^{\circ}10, 0' \text{ N}$
Länge	$008^{\circ}00, 6' \text{ E}$	$007^{\circ}45, 0' \text{ E}$
Höhendifferenz	$+4, 1'$	$-2, 6'$
Azimut	260°	$259, 8^{\circ}$



Wir stellen fest: Beide Standlinien verlaufen nahezu parallel, da sich die Azimute bei den beiden Verfahren kaum unterscheiden. Jedoch haben die Standlinien einen Abstand von etwa 0,6 sm. Zwei Ursachen kommen für die Abweichung in Betracht: Bei der Berücksichtigung der Minutenanteile der Deklination wird von 17,6' auf 18' gerundet. Außerdem wirft die HO 249 rechnerische Höhen H_c ohne Zehntelminuten aus, welche aber bei der Taschenrechnerlösung sehr wohl berücksichtigt werden. Sonderlich präzise ist das Verfahren nach HO 249 demzufolge nicht.

Zu der geringeren Genauigkeit gesellt sich der Nachteil, dass statt vom Koppelort von einem zufallsabhängigen Rechenort aus konstruiert werden muss. Der Qualitätsindikator Δh fällt gänzlich aus. Nehmen wir an, der Koppelort sei identisch mit dem tatsächlichen Ort und die Sextantmessung sei ohne jeden Fehler. Die Taschenrechnerlösung liefert dann $\Delta h = 0,0'$. Trotzdem können bei HO 249 Werte für Δh in der Größenordnung von bis zu 40' auftreten, was auch das Konstruieren der Standlinie unnötig erschwert.

Eine weitere taschenrechnerfreie Alternative

Wer eine einfache, präzise und trotzdem taschenrechnerfreie Methode sucht, die vom Koppelort ausgeht, dem sei das Verfahren nach AGETON empfohlen. Die Tafel [VENAGT] hat einen Umfang von lediglich 90 Seiten und kann leicht und kostenlos bei <http://www.venghaus.eu> beschafft werden. Wer mit dieser Anleitung für HO 249 klargekommen ist, der wird auch mit der Anleitung [VENANWAGT] zurechtkommen. Hinzu kommt das Vergnügen, ein wahrlich exotisches Verfahren anzuwenden, welches leider zu Unrecht fast in Vergessenheit geraten ist.

Literatur

- [BERKING, HUTH] Bernhard Berking, Werner Huth (Hrsg.): *Handbuch Nautik*. 2. Aufl. Hamburg: Seehafen, 2016.
- [BOWDITCH] Nathaniel Bowditch: *The American Practical Navigator*. Bethesda, Maryland: National Imagery and Mapping Agency, 2002.
- [FULST] Otto Steppes, Gerhard Zwiebeler, Walter Stern: *FULST Nautische Tafeln*. Bremen: Arthur Geist, 23. Aufl. 1963.
- [MESTEMACHER] Frank Mestemacher: *Astronomische Navigation ... nicht nur zum Ankommen*. Hamburg: Kreuzer Yachtclub Deutschland e.V. (Hrsg.), 2. erw. Ausgabe 2013.
- [BEGLEITHEFT] N. N.: *Begleitheft SSS + SHS*. Bielefeld: Delius Klasing, Ausgabe 2015.
- [NORIE'S] George Blance (Editor): *Norie's Nautical Tables*. St Ives, Cambridgeshire: Imray, Laurie, Norie & Wilson, 2007.
- [PUB. NO. 249] N. N.: *Sight Reduction Tables for Air Navigation Vol. 1-3*. National Imagery and Mapping Agency, ohne Ort, ohne Datum.
- [TNA] N. N.: *The free online Nautical Almanac The world's most complete source of free celestial navigation information*. <http://www.thenauticalalmanac.com>, aufgerufen 01/2017.
- [VENANWAGT] Joachim Venghaus: *Anwendung von AGETON's Tables in der Astronomischen Navigation*. <http://www.venghaus.eu>, aufgerufen 01/2017.
- [VENAGT] Joachim Venghaus: *AGETON's Tables für die Astronomische Navigation*. <http://www.venghaus.eu>, aufgerufen 01/2017.
- [VENASTRO] Joachim Venghaus: *Anleitung Astronomische Navigation*. <http://www.venghaus.eu>, aufgerufen 01/2017.

Höhenstandlinie der Sonne mit HO 249			
Datum _____.20__	\odot	Ah=___ m	$\varphi_k = \text{---}^\circ \text{---}' \text{---}'' \begin{smallmatrix} N \\ S \end{smallmatrix}$ $\lambda_k = \text{---}^\circ \text{---}' \text{---}'' \begin{smallmatrix} E \\ W \end{smallmatrix}$
Zeitpunkt der Beobachtung in UT1		Zeitpunkt der Beobachtung in UT1	
Chronometer Stopp UT1	---	---	---
Stoppuhr	-	---	---
unber. Zeitpunkt UT1	---	---	---
Chr. Stand Std	\pm	---	---
Zeitpunkt d. Beob. UT1	---	---	---
Beobachtete Höhe h_b		Beobachtete Höhe h_b	
Sextantablesung	---	---	---
Indexbeschiekung lb	\pm	---	---
Kimmabstand KA	---	---	---
Gesamtbeschiekung Gb	\pm	---	---
Zusatzbeschiekung \odot Zb	\pm	---	---
beobachtete Höhe h_b	---	---	---
Stundenwinkel t_{Gr} , Grt, LHA		Stundenwinkel t_{Gr} , Grt, LHA	
t_{Gr} aus NJ für ___ h	---	---	---
Zw für ___ m ___ s	+	---	---
t_{Gr}	---	---	---
Rechenlänge ($\lambda_E + / \lambda_W -$)	\pm	---	---
Ortsstundenwinkel LHA	---	°00,0'	---
Deklination δ		Deklination δ	
δ aus NJ für ___ h	$\begin{smallmatrix} N \\ S \end{smallmatrix}$	---	---
Unt \pm ___,' Vb	\pm	---	---
Deklination δ	$\begin{smallmatrix} N \\ S \end{smallmatrix}$	---	---
abgerundete Deklination δ	$\begin{smallmatrix} N \\ S \end{smallmatrix}$	---	°00,0'
gerundete Breite φ LAT	$\begin{smallmatrix} N \\ S \end{smallmatrix}$	---	°00,0'
SAME/CONTRARY			
HO 249	Z: ___°	$d: \pm$ ___'	Hc: ___° ___'
Correction Table 5	\pm	---	---
rechnerische Höhe h_r	=	---	---
h_b	---	---	---
$-h_r$	-	---	---
$\Delta h \geq 0$ hin zum BPkt. weg vom	\pm	---	---
Fallunterscheidung HO	---	---	---
Azimutwinkel Z	\pm	---	---
Azimut Zn = α_{Az}	=	---	---