NAO Sight Reduction Table

Die **NAO Sight Reduction Table** begegnet dem Astronavigator zumeist im Nautical Almanac [NA]. Allein deswegen aber auch durch den Umstand, daß es sich um die mit 32 Seiten kompakteste aller astronavigatorischen Tafeln überhaupt handelt, ist diese Tafel insbesondere für die Notfall-Navigation interessant.

Aber wie nahezu bei jedem Ding auf dieser Welt stehen den Vorteilen stets auch Nachteile gegenüber. Diese bestehen hier darin, daß es sich zum einen um eine rechenort-basierte Tafel handelt (wie die HO 249 u.a.), zum anderen aber zahlreiche Zwischenrechnungen und Vorzeichenregeln zu bewältigen sind, wodurch die Eignung zur Notfall-Navigation wieder sehr eingeschränkt wird. Denn zur Beherrschung dieser Tafel ist zweifellos eine regelmäßige Anwendung vonnöten, nicht erst am Tage X in der Rettungsinsel.

Im Buch [1], Abschnitt 4.3.4, wird daher die *NAO Sight Reduction Table* lediglich vorgestellt mit eben jenem Warnhinweis der NAO, man möge diese Tafel nur im Notfall benutzen, wenn nichts besseres zur Verfügung steht. Dieser Warnhinweis wird – man mag darin eine gewisse Ironie sehen – noch dadurch bestärkt, daß die im [NA] enthaltene Darstellung samt Rechenformular *NAO Concise Reduction Form* unglücklich gestaltet ist. Dadurch war es dem Autor jedenfalls nicht im ersten Anlauf gelungen, seine Beispielrechnungen mit der NAO-Tafel erfolgreich durchzuführen.

Nun melden sich aber mitunter engagierte Leser, hier in Gestalt des österreichischen Ingenieurs und Hochseeseglers Thomas Gantioler, die einen als Autor dazu motivieren, die eine oder andere Sache doch noch zu bearbeiten. Daher widmet sich diese Ergänzungslieferung den NAO-Tafeln, ihrer Anwendung und dem mathematischen Hintergrund.

Einleitung

Die **NAO Sight Reduction Table** (kurz: NAO-Tafeln) wurden laut Burch [2] von den US-Amerikanern Konteradmiral Thomas D. Davies (1914 - 1991) und Paul M. Janiczek (1937 -) entwickelt mit dem Ziel, sehr kompakte Tafeln zum Höhenverfahren zu schaffen. Vorläufer in dieser Entwicklung waren die *Ageton Tables* sowie die *Dreisenstock Tables*.

Seit 1989 sind die NAO-Tafeln fester Bestandteil des Nautical Almanac [NA] – zunächst allerdings ohne zugehöriges Formular. Damit ist die praktische Anwendbarkeit dieser Tafeln zumindest für mathematisch Ungeübte wesentlich erschwert. Ab 2006 ändert sich das aber. Burch spricht in [2] von einem im [NA] enthaltenen, einspaltigen Formular, das immer noch besser als gar keines sei. Er hält dagegen, daß sein eigenes (Workform 106) geeigneter sei. Ganz Unrecht hat er damit nicht. Das NAO-Formular hat tatsächlich entscheidende Schwächen. Die NAO-Tafeln sind außerdem im *Long Term Almanac* [4] von Kolbe enthalten einschließlich Workform 106.

Es handelt sich bei den NAO-Tafeln – wie bereits oben erwähnt – um Tafeln, die auf einem *Rechenort* basieren, d.h. Breite und Ortsstundenwinkel werden ganzgradig auf- bzw. abgerundet, so wie es in [1] für die HO 249 im Abschnitt 4.3.3

ausführlich beschrieben wird. Gleiches gilt bekanntlich für die in Abschnitt 4.3.5 behandelten, niederländischen *Record Tables* von LIEUWEN. Mit letzteren haben die NAO-Tafeln im übrigen weitere gemeinsame Eigenschaften, wie sich im folgenden zeigen wird.

Mathematische Grundlagen

Vorangestellt sei zunächst die Darstellung eines Winkels $x > 0$, wie sie im Rahmen der NAO-Tafeln nach [2], [4] Anwendung findet. Da Winkel grundsätzlich in nautischer Form, also Grad und Minuten angegeben werden, gilt

$$x = x^\circ + x' \,, \tag{1}$$

wobei x° den ganzgradigen Anteil und x' den Minutenwert von x wiedergibt. Parallel dazu kann man aber einen Winkel x derart in einen ganzgradigen Wert $\overline{x}$ runden, daß das Ergebnis möglichst wenig vom gegebenen Wert abweicht. Wir kennen das als **Abrunden** im Falle von

$$\overline{x} = x^\circ \qquad \text{für} \quad x' < 30'$$

bzw. **Aufrunden** mit

$$\overline{x} = x^\circ + 1^\circ \qquad \text{für} \quad x' \geqslant 30' \,.$$

Demzufolge läßt sich der Winkel x auch zerlegen in

$$x = \begin{cases} \overline{x} + x' & \text{für} \quad x' < 30' \,, \\ \overline{x} - (60' - x') & \text{für} \quad x' \geqslant 30' \,. \end{cases} \tag{2}$$

Im Buch [1] waren ab-/aufgerundete Winkel durch die Schreibweise $x\,|^\circ_{\text{gerundet}}$ dargestellt worden. Für $x > 0$ ist das natürlich dasselbe wie $\overline{x}$.

Für den **Rechenort** werden zunächst Breite und Ortsstundenwinkel ab-/aufgerundet entsprechend

$$\mathsf{LAT} := \overline{|\varphi|} = \left|\varphi\,|^\circ_{\text{gerundet}}\right| \,,$$

$$\mathsf{LHA} := \overline{t} = t\,|^\circ_{\text{gerundet}} \,.$$

Dabei gilt für den vollkreisigen Ortsstundenwinkel wie immer $t \in [\,0^\circ, 360^\circ\,[$, d.h. Vielfache von 360° sind ggf. hinzuzuaddieren/abzuziehen. Die Rückrechnung auf die Länge des Rechenortes erfolgt dann bekanntlich durch

$$\mathsf{LONG} = \begin{cases} \mathsf{LHA} - \mathsf{GHA} = t\,|^\circ_{\text{gerundet}} - t_{\text{Gr}} & \text{für Ostlänge,} \\ \mathsf{GHA} - \mathsf{LHA} = t_{\text{Gr}} - t\,|^\circ_{\text{gerundet}} & \text{für Westlänge.} \end{cases}$$

Und für die Deklination erscheint je nach dem, welches Formular man verwendet,

$$\mathsf{Dec} := |\,\delta\,| = d \qquad \text{oder} \qquad \mathsf{D} := |\,\delta\,| = d \,.$$

Das weitere Vorgehen erfolgt wie bei den *Record Tables*: Das nautisch-astronomische Dreieck als (beliebiges) sphärisches Dreieck wird durch den Einbau einer „Höhe“ A in zwei rechtwinklige sphärische Dreiecke zerlegt, für die entsprechend den NAPIERschen Regeln einfachere Gesetze gelten (vgl. Abb. 1). Die unbekannte Größe A darf dabei nur als Zwischengröße auftreten.

Wir sind hier also in der vorteilhaften Situation, daß die entscheidenden Herleitungen für die NAO-Tafeln bereits vorliegen und nur noch dem Abschnitt 4.3.5 aus [1] entnommen werden müssen. Nun sind aber die Größenbezeichnungen, die DAVIES und JANICZEK vorsehen, etwas verschieden von denen, die in Abschnitt 4.3.5 verwendet werden. Um den Bezug zu erleichtern, werden in nachfolgend aufgeführten Defininitionen und Gleichungen die „alten“ Bezeichnungen nach Abschnitt 4.3.5 in blau hinzugefügt. In gleicher Weise werden auch die Gleichungsnummern zitiert.

Als erstes werden mit Hilfe der Gleichungen (4.7,8,9)[1] die Stücke A, B und Z_1 des polseitigen Dreiecks (vgl. [1]/Abb. 4.2a) berechnet. Man erhält

$$A := a = \arcsin\big[\cos[\mathsf{LAT}]\ \sin[\mathsf{LHA}]\big]\ , \qquad \text{vgl. } (4.9)^{[1]} \tag{3}$$

$$B := 90^\circ - K = \arctan\big[\cot[\mathsf{LAT}]\ \cos[\mathsf{LHA}]\big]\ , \qquad \text{vgl. } (4.7)^{[1]} \tag{4}$$

$$Z_1 := Z_1 = \operatorname{arccot}\big[\sin[\mathsf{LAT}]\ \tan[\mathsf{LHA}]\big]\ . \qquad \text{vgl. } (4.8)^{[1]} \tag{5}$$

Alle drei Größen können durchaus auch negative Werte annehmen. Vertafelt sind erwartungsgemäß nur die Beträge, so daß hier **Vorzeichenregeln** notwendig werden. Tatsächlich geschieht dies aber nur für B und Z_1, nämlich durch

$$\left.\begin{array}{lll} B \geqslant 0 & \text{für} & -90^\circ \leqslant \mathsf{LHA} \leqslant 90^\circ\ , \\ B < 0 & \text{für} & 90^\circ < \mathsf{LHA} < 270^\circ\ , \end{array}\right\} \tag{6}$$

was aus (4) mit einer Quadrantenbetrachtung des $\cos[\mathsf{LHA}]$ in Verbindung mit der Eigenschaft $\tan[-x] = -\tan x$ des Tangens hervorgeht. Denn die Breite hat keinen Einfluß auf die Vorzeichensituation, da LAT als Betrag definiert und außerdem $\leqslant 90^\circ$ ist. Für Z_1 gilt aufgrund von (5) zunächst

$$\left.\begin{array}{lll} Z_1 \geqslant 0 & \text{für} & 0^\circ \leqslant \mathsf{LHA} \leqslant 90^\circ\ , \\ Z_1 < 0 & \text{für} & 90^\circ < \mathsf{LHA} \leqslant 180^\circ \end{array}\right\} \tag{7}$$

oder, was für die hiesige Anwendung gleichbedeutend ist,

$$\operatorname{sgn}[Z_1] = \operatorname{sgn}[B] \qquad \text{für} \quad 0^\circ \leqslant \mathsf{LHA} \leqslant 180^\circ\ . \qquad \text{vgl. } (3.19)^{[1]} \tag{8}$$

Diese Aussage folgt aus einer Kombination von (4) und (5) zu

$$\tan B\ \tan Z_1 = \frac{\cos[\mathsf{LAT}]}{\sin^2[\mathsf{LAT}]}\ \frac{\cos^2[\mathsf{LHA}]}{\sin[\mathsf{LHA}]} \geqslant 0 \qquad \text{für} \quad 0^\circ < \mathsf{LHA} < 180^\circ\ .$$

Da das Vorzeichen eines Tangens auf dem Hauptast grundsätzlich gleich dem des Argumentes ist ($\operatorname{sgn}[\tan x] = \operatorname{sgn}[x]$), kann das Produkt BZ_1 nur dann nichtnegativ sein, wenn das für den $\sin[\mathsf{LHA}]$ im Nenner auf der rechten Seite auch gilt. Alle anderen Terme haben keinen Einfluß auf die Vorzeichenlage. Die Einschränkung des Ortsstundenwinkels auf den Bereich 0...180° schadet in der Praxis nichts, da der Azimut halbkreisig gezählt wird, so daß dabei ohnehin zwischen westlich und östlich stehendem Gestirn unterschieden werden muß.

Dagegen wird A, dessen Vorzeichen negativ wird, wenn der Ortsstundenwinkel die 180° überschreitet (Gestirn steht dann östlich), in den NAO-Tafeln grundsätzlich als Betragsgröße behandelt. Das ist insofern sinnvoll, da bei der Berechnung des Azimutes aus Gründen, die in Abschnitt 2.5 aus [1] ausführlich erläutert werden, grundsätzlich die Fallunterscheidung zwischen westlich und östlich stehenden Gestirn erfolgen muß. Und auf die Höhe H des Gestirnes hat das Vorzeichen von A keinen Einfluß, wie sich im folgenden anhand von (10) feststellen läßt.

Als zweites werden unter Verwendung von (4.10,11)[1] die Stücke F, H und Z_2 des gestirnsseitigen Dreiecks (vgl. [1]/Abb. 4.2b) berechnet. Die erstere wird definiert als Komplementärgröße zu $K - \delta$ gemäß

$$F \;:=\; 90° - (K - \delta) \;=\; (90° - K) + \delta \;=\; B \pm \mathsf{Dec}\,, \tag{9}$$

wobei bei Dec das positive (negative) Vorzeichen gilt, wenn LAT und Dec gleichnamig (ungleichnamig) sind.

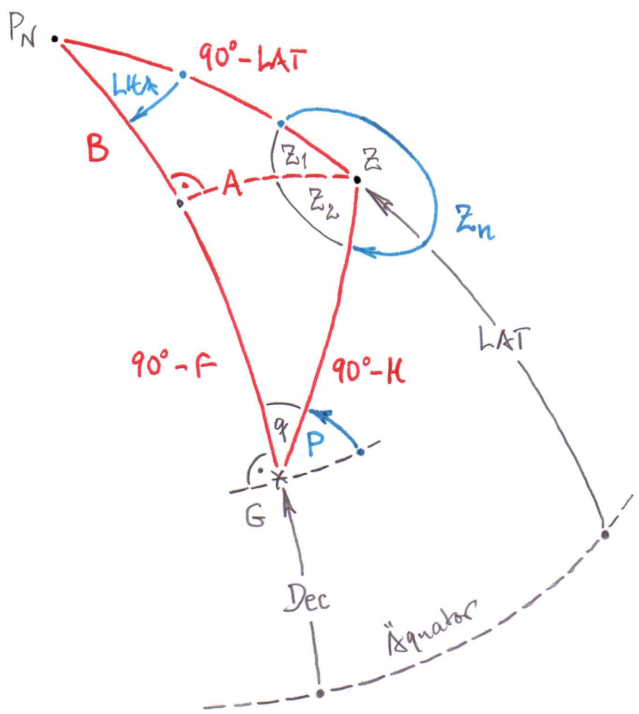


Abb. 1 Nautisch-astronomisches Grunddreieck mit den Bezeichnungen der NAO-Tafeln

Es folgt die Berechnung der Höhe und des zweiten Azimutbestandteiles zu

$$H \;:=\; h \;=\; \arcsin\big[\cos A\ \sin F\big]\ , \qquad \text{vgl. } (4.10)^{[1]} \tag{10}$$

$$Z_2 \;:=\; Z_2 \;=\; \operatorname{arccot}\big[\sin A\ \tan F\big]\ , \qquad \text{vgl. } (4.11)^{[1]} \tag{11}$$

wobei die darin eingehenden Größen A, F später aus Gründen der Tafelermittlung als ganzgradig gemittelte, d.h. als $\overline{A}$ und $\overline{F}$, vorzusehen sind. Diese Vorgehensweise, die den „Tatbestand“ einer Näherungslösung erfüllt, ist grundsätzlich machbar. Es gibt aber insbesondere bei einer Größe Probleme, nämlich der Höhe, an welche die Genauigkeitsanforderung Höhenfehler $< 1'$ gestellt wird. Dieser Anforderung genügt die nach (10) mit $\overline{A}$, $\overline{F}$ ermittelte Höhe nicht.

Während man den Fehler bei Z_2 ignoriert, werden für die Höhe also noch Korrekturmaßnahmen nötig, um die noch nicht berücksichtigten Minuten

$$A - \overline{A} \;=\; \begin{cases} A' & \text{für} \quad A' < 30' \\ A' - 60' & \text{für} \quad A' \geqslant 30' \end{cases}$$

sowie

$$F - \overline{F} \;=\; \begin{cases} F' & \text{für} \quad F' < 30' \\ F' - 60' & \text{für} \quad F' \geqslant 30' \end{cases}$$

in entsprechende Höhenkorrekturwerte umzurechnen. Zu diesem Zweck führt man zu dem sphärischen Winkel q, welcher im nautisch-astronomischen Grunddreieck im Gestirnspunkt G angetragen ist (vgl. Abb. 1), den zugehörigen Komplementärwinkel

$$P \;:=\; 90^\circ - q$$

ein. Der Winkel q ist in [1]/Abb. 4.2b zwar nicht eingetragen, findet sich daselbst aber als $\alpha = q$ im blauen Dreieck wieder, so daß sich aus der Napierschen Regel zunächst

$$\cos b' \;=\; \cot a'\ \cot\alpha \;=\; \tan a\ \cot\alpha \qquad \text{Cotangens-Regel}$$

mit $a = A$ und $b' = F$ die neue Beziehung

$$\cos F \;=\; \tan A\ \cot q \;=\; \tan A\ \tan P\ \left(= \tfrac{\sin A}{\cos A}\ \tan P\right)$$

ergibt. Daraus läßt sich zum einen mit

$$P \;=\; \arctan\big[\cot A\ \cos F\big] \tag{12}$$

eine Berechnungsgleichung für P angeben, zum anderen aber auch

$$\cos A\ \cos F \;=\; \sin A\ \tan P\ . \tag{13}$$

Weiterhin erhält man aus (11)

$$\sin A \ \sin F \ = \ \cos F \ \cot Z_2 \ . \tag{14}$$

Die letzten beiden Gleichungen werden im folgenden für die Höhenkorrekturwerte benötigt.

Die **Linearapproximation**[1] einer Funktion zweier Variablen, zum Beispiel in Gestalt von $u(x, y)$, erfolgt aufgrund des vollständigen Differentials durch

$$u(x,y) - u(x_0,y_0) \ \approx \ \left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0}} (x - x_0) \ + \ \left.\frac{\partial u}{\partial y}\right|_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0}} (y - y_0) \ .$$

Dabei bildet das Wertepaar (x_0, y_0) den Stützpunkt der Approximation. Für die Darstellung der Höhe als Funktion von F und A übernehmen die gerundeten Werte $\left(\overline{F}, \overline{A}\right)$ diese Rolle, so daß sich die rechnerische Höhe H_c durch

$$H_c - H\left(\overline{A}, \overline{F}\right) \ \approx \ \left.\frac{\partial H}{\partial F}\right|_{\substack{F=\overline{F} \\ A=\overline{A}}} \left(F - \overline{F}\right) \ + \ \left.\frac{\partial H}{\partial A}\right|_{\substack{F=\overline{F} \\ A=\overline{A}}} \left(A - \overline{A}\right) \tag{15}$$

approximieren läßt.

Was **partielle Ableitungen** sind, wurde in der Ergänzungslieferung Nr. 2 bereits erklärt. Wir leiten nun die Gleichung

$$\sin H \ = \ \cos A \ \sin F \qquad \text{vgl. (10)}$$

auf beiden Seiten (unter Berücksichtigung der Kettenregel) partiell nach F und A ab und erhalten ($H \neq \pm 90°$)

$$\begin{aligned}
\frac{\mathrm{d}\sin H}{\mathrm{d}H}\,\frac{\partial H}{\partial F} &= \cos A \ \frac{\mathrm{d}\sin F}{\mathrm{d}F} \ , & \qquad \frac{\mathrm{d}\sin H}{\mathrm{d}H}\,\frac{\partial H}{\partial A} &= \frac{\mathrm{d}\cos A}{\mathrm{d}A} \ \sin F \ , \\
\cos H \ \frac{\partial H}{\partial F} &= \cos A \ \cos F \ , & \cos H \ \frac{\partial H}{\partial A} &= -\sin A \ \sin F \ , \\
\frac{\partial H}{\partial F} &= \frac{\cos A \ \cos F}{\cos H} \ , & \frac{\partial H}{\partial A} &= -\frac{\sin A \ \sin F}{\cos H} \ .
\end{aligned}$$

Nachdem die partiellen Ableitungen der Höhe nach F und A mit

$$\frac{\partial H}{\partial F} = \frac{\cos A \ \cos F}{\cos H} \ , \qquad \frac{\partial H}{\partial A} = -\frac{\sin A \ \sin F}{\cos H} \tag{16}$$

bekannt sind, werden für die praktische Ermittlung derselben im Rahme der NAO-Tafel mehrere Vereinfachungen notwendig. Als erstes werden (13), (14) in (16) eingesetzt, was auf

$$\begin{aligned}
\frac{\partial H}{\partial F} &= \frac{\sin A \ \tan P}{\cos H} \ , & \qquad \frac{\partial H}{\partial A} &= -\frac{\cos F \ \cot Z_2}{\cos H} \\
&= \frac{\sin A}{\cos H} \, \frac{\sin P}{\cos P} \ , & &= -\frac{\cos F}{\cos H} \, \frac{\cos Z_2}{\sin Z_2}
\end{aligned} \tag{16a}$$

[1] vgl. [3], Abschnitt 1.5.9. Dort wird das im Rahmen der Fehlerrechnung erklärt.

führt. Als zweites wird $\frac{\sin A}{\cos H}$ auf P und $\frac{\cos F}{\cos H}$ auf Z_2 zuückgeführt. Zu diesem Zweck wird der sphärische Sinussatz zweimal auf das gestirnsseitige Dreieck angewendet (vgl. Abb. 1). Man bekommt

$$\begin{aligned} \frac{\sin A}{\sin q} &= \frac{\sin[90^\circ - F]}{\sin Z_2} = \frac{\sin[90^\circ - H]}{\sin[90^\circ]} \;, \\ \frac{\sin A}{\cos P} &= \frac{\cos F}{\sin Z_2} = \cos H \end{aligned}$$

bzw.

$$\frac{\sin A}{\cos H} = \cos P \;, \qquad \frac{\cos F}{\cos H} = \sin Z_2 \;,$$

was wiederum in (16a) eingesetzt wird:

$$\frac{\partial H}{\partial F} = \sin P \;, \qquad \frac{\partial H}{\partial A} = -\cos Z_2 \;. \tag{16b}$$

Für die Größen P, Z_2 können tafelbedingt allerdings auch wieder nur die gerundeten Werte $\overline{P}, \overline{Z}_2$ eingesetzt werden. Damit nehmen die partiellen Ableiten zwar nicht exakt die Werte an der Stützstelle $(\overline{F}, \overline{A})$ an, aber näherungsweise ist das vertretbar. Letztlich erhält man

$$\left.\begin{aligned} \left.\frac{\partial H}{\partial F}\right|_{\substack{F=\overline{F}\\ A=\overline{A}}} &\approx \left.\frac{\partial H}{\partial F}\right|_{P=\overline{P}} = \sin \overline{P} \;, \\ \left.\frac{\partial H}{\partial A}\right|_{\substack{F=\overline{F}\\ A=\overline{A}}} &\approx \left.\frac{\partial H}{\partial A}\right|_{Z=\overline{Z}_2} = -\cos \overline{Z}_2 \;, \end{aligned}\right\} \tag{17}$$

was durch Einsetzen in (15) schließlich auf die (endgültige) rechnerische Höhe

$$H_c \approx H(\overline{A}, \overline{F}) + \underbrace{(F - \overline{F}) \sin \overline{P}}_{=:\ \mathsf{corr}_1} \underbrace{- (A - \overline{A}) \cos \overline{Z}_2}_{=:\ \mathsf{corr}_2} \tag{18}$$

führt. Dazu werden die beiden Korrekturterme, welche zur (vorläufigen) Höhe

$$H(\overline{A}, \overline{F}) = \arcsin[\cos \overline{A} \, \sin \overline{F}\,] \tag{10a}$$

hinzuzuaddieren sind, formal durch

$$\left.\begin{aligned} \mathsf{corr}_1 &:= (F - \overline{F}) \sin \overline{P} \,, \\ \mathsf{corr}_2 &:= -(A - \overline{A}) \cos \overline{Z}_2 \end{aligned}\right\} \tag{19}$$

definiert.

Zusätzlich zu den oben hergeleiteten **Vorzeichenregeln** werden allerdings noch weitere erforderlich. So ergibt sich das Vorzeichen der Höhe H nach (10) wegen $\cos A \geqslant 0$ als das gleiche wie dasjenige von F, mithin

$$\operatorname{sgn}[H] = \operatorname{sgn}[F] \,, \tag{20}$$

was in der nautischen Praxis aber von untergeordneter Wichtigkeit ist, da Gestirne mit negativer Höhe unter dem (wahren) Horizont liegen und einer Höhenbeobachtung nun mal nicht zugänglich sind. Das Vorzeichen von Z_2 „hängt“ ebenfalls an F. Aus (11) entnimmt man unmittelbar

$$\left.\begin{array}{llll} Z_2 & \to 180^\circ - Z_2 & \text{für} & F < 0\,, \\ Z_2 & \geqslant 0 & \text{für} & 0 \leqslant F \leqslant 90^\circ\,, \\ Z_2 & < 0 & \text{für} & F > 90^\circ\,, \end{array}\right\} \tag{21}$$

da A als Betragsgröße keinen Einfluß auf die Vorzeichenlage von Z_2 hat. Aus ebendiesem Grund läßt sich aus (12) mit

$$\left.\begin{array}{llll} P & \geqslant 0 & \text{für} & F \leqslant 90^\circ\,, \\ P & < 0 & \text{für} & F > 90^\circ \end{array}\right\} \tag{22}$$

eine ähnliche Vorzeichenregel entnehmen.

Für die erste Höhenkorrektur bekommt man, wenn man in (19) $\left(F - \overline{F}\right)$ durch die nicht berücksichtigten Minuten von F ersetzt (siehe oben)

$$\mathsf{corr}_1 = \begin{cases} F' \quad \sin \overline{P} & \text{für} \quad F' < 30' \\ -(60' - F')\, \sin \overline{P} & \text{für} \quad F' \geqslant 30'\,. \end{cases} \tag{19a}$$

Unter Verwendung von (22) ergibt sich hier

$$\left.\begin{array}{llll} \mathsf{corr}_1 & < 0 & \text{für} & \begin{cases} F < 90^\circ \ \text{und} \ F' \geqslant 30' \\ F > 90^\circ \ \text{und} \ F' < 30'\,, \end{cases} \\ \mathsf{corr}_1 & = 0 & \text{für} & F = 90^\circ \ \text{oder} \ F' = 0\,, \\ \mathsf{corr}_1 & > 0 & \text{für} & \begin{cases} F < 90^\circ \ \text{und} \ F' < 30' \\ F > 90^\circ \ \text{und} \ F' \geqslant 30'\,. \end{cases} \end{array}\right\} \tag{23}$$

Entsprechend erhält man aus (12)

$$\mathsf{corr}_2 = \begin{cases} -A' \quad \cos \overline{Z}_2 & \text{für} \quad A' < 30' \\ (60' - A')\, \cos \overline{Z}_2 & \text{für} \quad A' \geqslant 30' \end{cases} \tag{19b}$$

mit

$$\left.\begin{array}{llll} \mathsf{corr}_2 & \geqslant 0 & \text{für} & A' \geqslant 30'\,, \\ \mathsf{corr}_2 & < 0 & \text{für} & A' < 30'\,. \end{array}\right\} \tag{24}$$

Abschließend erfolgt nun die Berechnung[2] der **rechnerische Höhe** $h_\mathrm{r} \equiv H_\mathrm{c}$ durch Einsetzen von (19 a,b) in (18) zu

$$\boxed{H_\mathrm{c} = H\left(\overline{A}, \overline{F}\right) + \mathsf{corr}_1 + \mathsf{corr}_2}\,. \tag{25}$$

[2] Da die Genauigkeit als hinreichend angesehen wird, nun mit $=$ (statt mit $\approx$ wie in (18)).

Und der **Azimut** ergibt sich mit (5), (11) zunächst zu

$$\boxed{Z \;=\; |Z_1 \,+\, Z_2\,|}\,, \tag{26}$$

was sich – wie bei der HO 249 – in die vollkreisige Form $\alpha_{\mathrm{Az}} \equiv \mathsf{Zn}$ mit

$$\boxed{\mathsf{N\ LAT}\begin{cases}\mathsf{LHA} > 180°\ldots\ldots\ \mathsf{Zn} \;=\; Z\\ \mathsf{LHA} < 180°\ldots\ldots\ \mathsf{Zn} \;=\; 360° - Z\end{cases}\qquad \mathsf{S\ LAT}\begin{cases}\mathsf{LHA} > 180°\ldots\ldots\ \mathsf{Zn} \;=\; 180° - Z\\ \mathsf{LHA} < 180°\ldots\ldots\ \mathsf{Zn} \;=\; 180° + Z\end{cases}} \tag{27}$$

umrechnen läßt.

Aufbau und Gebrauch der Tafeln

Vergleicht man den „Dreierblock“ der Gleichungen (3), (4), (5) mit den Gleichungen (10), (12) und (11) (in genau dieser Reihenfolge), so ist unübersehbar, daß diese dem Schema

$$\left.\begin{aligned} u \;&=\; \arcsin\big[\cos x \;\; \sin y\,\big]\\ v \;&=\; \arctan\big[\cot x \;\; \cos y\,\big]\\ w \;&=\; \operatorname{arccot}\big[\sin x \;\; \tan y\,\big]\end{aligned}\right\} \tag{28}$$

genügen, also grundsätzlich gleich aufgebaut sind. Daraus erwächst die für eine Tafelrealisierung überaus vorteilhafte Situation, sechs Größen mit nur zwei Tafelzugriffen zu bestimmen. Dieses geschieht in der **Haupttafel** entsprechend

1. Zugriff		**2. Zugriff**	
Eingang $x,\ y$	Werte $\rightarrow\ u,\ v,\ w$	Eingang $x,\ y$	Werte $\rightarrow\ u,\ v,\ w$
LAT, LHA	$\rightarrow\ A = A° + A'$ $\rightarrow\ B = B° + B'$ $\rightarrow\ Z_1$	$\overline{A},\ \overline{F}$	$\rightarrow\ H = H° + H'$ $\rightarrow\ P\ = P° + P'$ $\rightarrow\ Z_2$

.

Aber auch die beiden Höhenkorrekturen lassen sich in einer Tafel „vereinigen“, da sich die darin enthaltenen $\sin\overline{P}$ und $\cos\overline{Z}_2$ mit Hilfe von

$$\cos\overline{Z}_2 \;=\; \sin\big[\,90° - \overline{Z}_2\,\big]$$

„parallelisieren“ lassen, indem man bei $\overline{Z}_2$ einfach die Eingangsspalte invertiert, so wie man es von trigonometrischen Tafeln gewohnt ist. So lassen sich die Höhenkorrekturen aus der **Hilfstafel** (*auxiliary table*) gemäß

1. Zugriff		**2. Zugriff**	
Eingang	Wert	Eingang	Wert
$F',\ \overline{P}$	$\rightarrow\ \mathsf{corr}_1$	$A',\ \overline{Z}_2$	$\rightarrow\ \mathsf{corr}_2$

bestimmen.

Es lassen sich also sämtliche Größen, die zur Berechnung von Höhe und Azimut benötigt werden, aus einer Haupttafel (30 Seiten) und einer Hilfstafel (2 Seiten) mit nur vier Zugriffen entnehmen. Das ist eine geniale Vereinfachung! Leider handelt man sich im Gegenzug zehn **Vorzeichenregeln** ein und damit „beste Chancen“ auf Rechenfehler.

Die **Vorgehensweise** bei Anwendung der NAO-Tafeln ist folgende:

1. Für den gegißten Ort wird – wie bei der HO 249 – zunächst der Ortsstundenwinkel berechnet. Anschließend werden Breite und Ortsstundenwinkel ganzgradig auf-/abgerundet, mit letzterem die Rückrechnung auf die Rechenortlänge LONG durchgeführt. → LAT, LHA

2. Mit den Größen LAT (→ Spalte), LHA (→ Zeile) werden der Haupttafel die Werte für A, B und Z_1 entnommen. Dabei wird A zu $\overline{A}$ auf-/abgerundet. Der Minutenwert A' wird später aber noch benötigt.
① Das Vorzeichen von B wird nach (6) bestimmt.
② Das Vorzeichen von Z_1 wird nach (8) bestimmt. → $\overline{A}$, A', B, Z_1

3. Die Größen B und Dec werden nach (9) algebraisch zu F summiert.
③ Das Vorzeichen bei Dec ist positiv (negativ), wenn LAT und Dec gleichnamig (ungleichnamig) sind.
④ F wird bis auf weiteres als Betrag angesehen.
Das Vorzeichen von F wird erst ab Punkt **7.** benötigt. Durch Auf-/Abrunden wird nun $\overline{F}$ gebildet, F' wird aber später noch gebraucht. → F, F'

4. Mit den Größen $\overline{A}$ (→ Spalte), $\overline{F}$ (→ Zeile) werden der Haupttafel die Werte für H, P und Z_2 entnommen. Dabei wird P zu $\overline{P}$ auf-/abgerundet, der Minutenwert P' spielt keine Rolle mehr. → H, $\overline{P}$, Z_2

5. Mit den Größen F' (→ Spalte), $\overline{P}$ (→ Zeile) wird der Hilfstafel der Wert für corr_1 entnommen.
⑤ Das Vorzeichen von corr_1 wird nach (23) bestimmt. → corr_1

6. Mit den Größen A' (→ Spalte), $\overline{Z}_2$ (→ Zeile) wird der Hilfstafel der Wert für corr_2 entnommen.
⑥ Das Vorzeichen von corr_2 wird nach (24) bestimmt. → corr_2

7. Gemäß (25) werden nun zur (vorläufigen) Höhe H die Korrekturen corr_1 und corr_2 algebraisch hinzuaddiert, womit die (endgültige) rechnerische Höhe H_c bekannt ist.
⑦ Das Vorzeichen von H_c wird nach (20) bestimmt. → H_c

8. Die Azimutbestandteile Z_1 und Z_2 werden nach (26) algebraisch summiert unter Beachtung von:
⑧ Das algebraische Z_2 muß zuvor nach (21) bestimmt werden.
⑨ Nach (26) ist das Vorzeichen von $Z_1 + Z_2$ zu ignorieren.
Damit ist Z bestimmt. Der vollkreisige Azimut Zn ergibt sich ...
⑩ ... nach den Umrechnungsregeln (27) bezügl. Nord- und Südhalbkugel für westlich oder östlich stehendes Gestirn. → Zn

B: (–) for 90°< LHA < 270° ①
Dec: (–) for Lat. contrary name ③

LATITUDE/Ā : 54°– 59°

② Z_1 : same sign as B
⑧ Z_2 : (–) for F > 90°

Lat / Ā		54°			55°			56°			57°			58°			59°			Lat / Ā	
LHA/F̄		A/H	B/P	Z_1/Z_2	A/H	B/P	Z_1/Z_2	A/H	B/P	Z_1/Z_2	A/H	B/P	Z_1/Z_2	A/H	B/P	Z_1/Z_2	A/H	B/P	Z_1/Z_2	LHA	
°	°	° ′	° ′	°	° ′	° ′	°	° ′	° ′	°	° ′	° ′	°	° ′	° ′	°	° ′	° ′	°	°	°
0	180	0 00	36 00	90.0	0 00	35 00	90.0	0 00	34 00	90.0	0 00	33 00	90.0	0 00	32 00	90.0	0 00	31 00	90.0	180	360
1	179	0 35	36 00	89.2	0 34	35 00	89.2	0 34	34 00	89.2	0 33	33 00	89.2	0 32	32 00	89.2	0 31	31 00	89.1	181	359
2	178	1 11	35 59	88.4	1 09	34 59	88.4	1 07	33 59	88.3	1 05	32 59	88.3	1 04	31 59	88.3	1 02	30 59	88.3	182	358
3	177	1 46	35 58	87.6	1 43	34 58	87.5	1 41	33 58	87.5	1 38	32 58	87.5	1 35	31 58	87.5	1 33	30 58	87.4	183	357
4	176	2 21	35 56	86.8	2 18	34 56	86.7	2 14	33 56	86.7	2 11	32 56	86.6	2 07	31 56	86.6	2 04	30 56	86.6	184	356
5	175	2 56	35 54	86.0	2 52	34 54	85.9	2 48	33 54	85.9	2 43	32 54	85.8	2 39	31 54	85.8	2 34	30 54	85.7	185	355
6	174	3 31	35 51	85.1	3 26	34 51	85.1	3 21	33 51	85.0	3 16	32 51	85.0	3 11	31 52	84.9	3 05	30 52	84.9	186	354
7	173	4 06	35 48	84.3	4 00	34 48	84.3	3 54	33 48	84.2	3 48	32 48	84.1	3 42	31 48	84.1	3 36	30 49	84.0	187	353
				83.5	4 35	34 44	83.4	4 28	33 44	83.4	4 21	32 45	83.3	4 14	31 45	83.2	4 07	30 45	83.1	188	352
					5 09			5 01	33 40	82.5	4 53	32 41	82.4	4 45	31 41	82.3	4 37	30 41	82.3	189	351
									33 36	81.7	5 26	32 36	81.6	5 17	31 36	81.5	5 08	30 37	81.4	190	350
										80.8	5 58	32 31	80.7	5 48	31 31	80.6	5 38	30 32	80.5	191	349
															31 26			30 27	79.7	192	348
																			78.8		
81	99	35 29	6 29	11.1	34 30	6 15															
82	98	35 36	5 46	9.9	34 37	5 34	9.7								4 58						278
83	97	35 41	5 04	8.6	34 42	4 53	8.5	33				4 32	8.3	31 44	4 21	8.2			8.2	263	277
84	96	35 46	4 21	7.4	34 47	4 11	7.3	33 47	4 02	7.2	32 48	3 53	7.1	31 48	3 44	7.1	30 49	3 36	7.0	264	276
85	95	35 51	3 37	6.2	34 51	3 30	6.1	33 51	3 22	6.0	32 52	3 14	6.0	31 52	3 07	5.9	30 52	3 00	5.8	265	275
86	94	35 54	2 54	4.9	34 54	2 48	4.9	33 54	2 42	4.8	32 55	2 36	4.8	31 55	2 30	4.7	30 55	2 24	4.7	266	274
87	93	35 57	2 11	3.7	34 57	2 06	3.7	33 57	2 01	3.6	32 57	1 57	3.6	31 57	1 52	3.5	30 57	1 48	3.5	267	273
88	92	35 58	1 27	2.5	34 59	1 24	2.4	33 59	1 21	2.4	32 59	1 18	2.4	31 59	1 15	2.4	30 59	1 12	2.3	268	272
89	91	36 00	0 44	1.2	35 00	0 42	1.2	34 00	0 40	1.2	33 00	0 39	1.2	32 00	0 37	1.2	31 00	0 36	1.2	269	271
90	90	36 00	0 00	0.0	35 00	0 00	0.0	34 00	0 00	0.0	33 00	0 00	0.0	32 00	0 00	0.0	31 00	0 00	0.0	270	270

N. Lat.: for LHA>180°... Zn = Z
for LHA<180°... Zn =360° – Z ⑩

⑩ S. Lat.: for LHA > 180°... Zn =180° – Z
for LHA < 180°... Zn =180° + Z

Abb. 2 Haupttafel nach [4] mit **Vorzeichenregeln** ①, ②, ③, ⑧ und ⑩

Die meisten Vorzeichenregeln sind bereits in den NAO-Tafeln enthalten, wenn auch in sehr knapper Form. Allein fünf davon in der Haupttafel, wie aus Abbildung 2 zu entnehmen ist.

Insbesondere die Vorzeichenregel für P nach (22) bemerkt der Anwender nicht, da sie in (23) enthalten ist, siehe ⑤. Abgesehen davon sind ⑤ und ⑥ immerhin, was bei F’ und A’ die Unterscheidung von $<$ 30’ und $\geqslant$ 30’ angeht, einigermaßen „idiotensicher“, da die Hilfstafel in dieser Hinsicht sehr gut aufgebaut ist, wie aus Abbildung 3 zu ersehen.

⑤ ↓ Sign of corr1 for F'
Reverse sign if F>90°

Auxiliary Table – CORRECTIONS FOR H

Sign of corr2 for A' ↓ ⑥

F' ±	1 59	2 58	3 57	4 56	5 55	6 54	7 53	8 52	9 51	10 50	11 49	12 48	13 47	14 46	15 45	16 44	17 43	18 42	19 41	20 40	21 39	22 38	23 37	24 36	25 35	26 34	27 33	28 32	29 31	■ 30	∓ A'
P̄	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	'	$\bar{Z}_2$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	89
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	88
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	87
4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	86
5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	85
6	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	84
7	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	83
8	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	82
9	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	81
10	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	80
11	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	
12	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6			
13	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2									4	4	5	5	5	5	6	6					
14	0	0	1	1	1																										
15	0	1																													
16																															

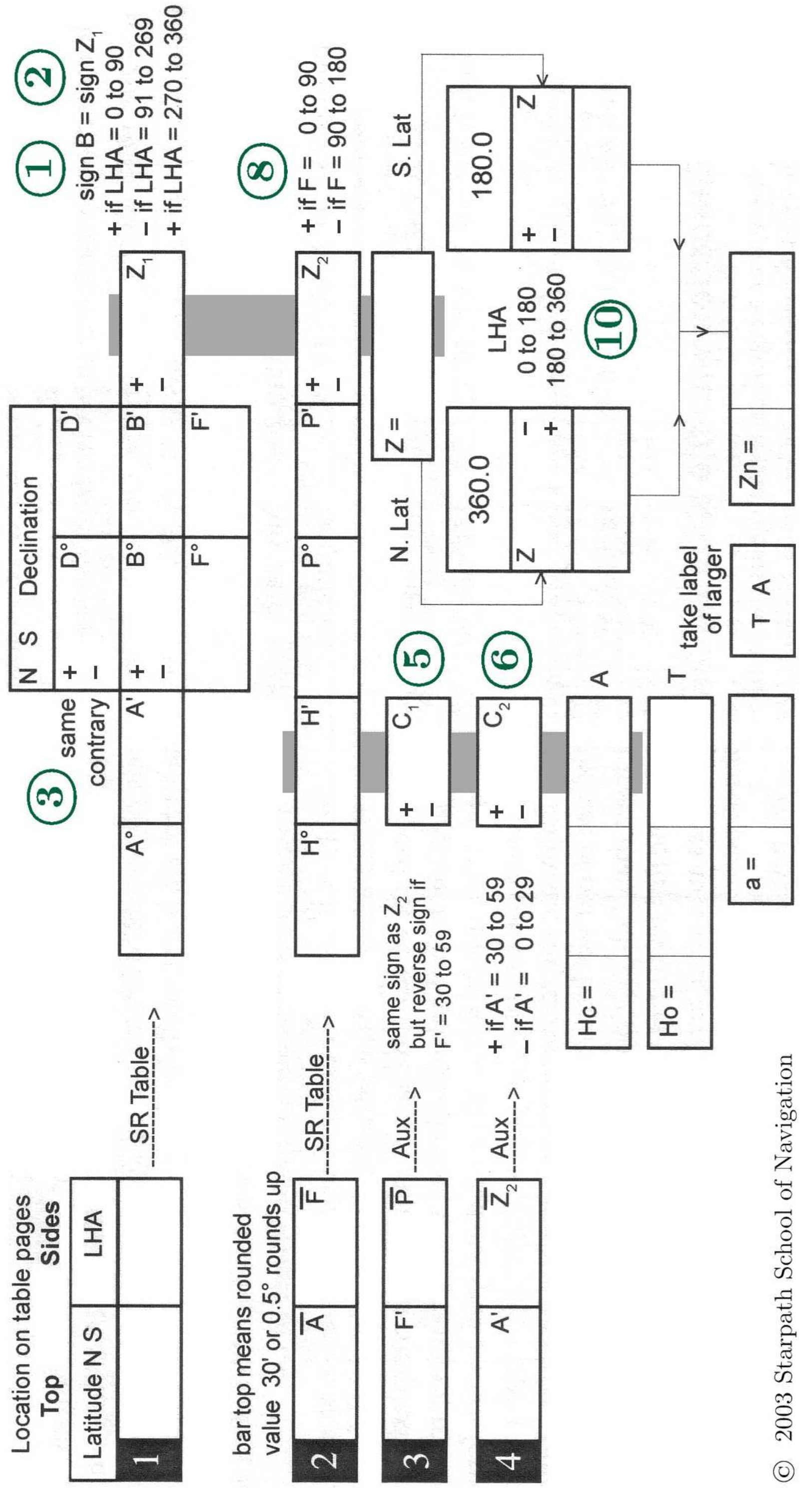
Abb. 3 Hilfstafel nach [4] mit **Vorzeichenregeln** ⑤ und ⑥

Nächste Seite: NAO CONCISE REDUCTION FORM, das „offizielle“ Formular aus dem Nautical Almanac [NA]

Übernächste Seite: Workform 106, das „alternative“ Formular von Burch [2], auch enthalten im Long Term Almanac [4]

Date & UT of observation	**Body**	**Estimated Latitude & Longitude**
h m s		° ′ ° ′

Step	**Calculate Altitude & Azimuth**	**Summary of Rules & Notes**
Assumed latitude	*Lat* = °	Nearest estimated latitude, integral number of degrees.
Assumed longitude	*Long* = ° ′	Choose *Long* so that *LHA* has integral number of degrees.
1. From the almanac:	*Dec* = ° ′	Record the *Dec* for use in Step 3.
GHA Aries h	= ° ′	Needed if using *SHA*. Tabular value.
Increment m s	= ° ′	for minutes and seconds of time.
SHA	*SHA* = ° ′	
$GHA = GHA\ Aries + SHA$	*GHA* = ° ′	Remove multiples of 360°.
Assumed longitude	*Long* = ° ′	West longitudes are negative.
$LHA = GHA + Long$	*LHA* = °	Remove multiples of 360°.
2. Reduction table, 1st entry		
$(Lat, LHA) = ($ °, °$)$	*A* = ° ′ $A°$ = °	nearest whole degree of *A*.
record *A*, *B* and Z_1.	A' = ′	minutes part of *A*.
	B = ° ′	*B* is minus if $90° < LHA < 270°$. (1)
	Z_1 = °	Z_1 has the same sign as *B*. (2)
3. From step 1	*Dec* = ° ′	*Dec* is minus if contrary to *Lat*. (3)
$F = B + Dec$	*F* = ° ′	Regard *F* as positive until step 7. (4)
	$F°$ = °	nearest whole degree of *F*.
	F' = ′	minutes part of *F*.
4. Reduction table, 2nd entry		
$(A°, F°) = ($ °, °$)$	*H* = ° ′ $P°$ = °	nearest whole degree of *P*.
record *H*, *P* and Z_2.	Z_2 = °	
5. Auxiliary table, 1st entry		
$(F', P°) = ($ ′, °$)$	$corr_1$ = ′	$corr_1$ is minus if $F < 90°$ & $F' > 29'$,
record $corr_1$		(5) or if $F > 90°$ & $F' < 30'$.
6. Auxiliary table, 2nd entry		$Z_2°$ nearest whole degree of Z_2.
$(A', Z_2°) = ($ ′, °$)$	$corr_2$ = ′	$corr_2$ is minus if $A' < 30'$. (6)
record $corr_2$		
7. Calculated altitude =	*Hc* = ° ′	*Hc* is minus if *F* is negative, and
$Hc = H + corr_1 + corr_2$		object is below the horizon. (7)
8. Azimuth, 1st component	Z_1 = °	Z_1 has the same sign as *B*. (2)
2nd component	Z_2 = °	Z_2 is minus if $F > 90°$. (8) If *F* is negative, $Z_2 = 180° - Z_2$
$Z = Z_1 + Z_2$	*Z* = °	Ignore the sign of *Z*. (9)
		(10) N *Lat*: If $LHA > 180°$, $Zn = Z$, or if $LHA < 180°$, $Zn = 360° - Z$,
		S *Lat*: If $LHA > 180°$, $Zn = 180° - Z$, or if $LHA < 180°$, $Zn = 180° + Z$.
True azimuth	*Zn* = °	


Location on table pages
Top
Sides
Latitude N S
LHA
1
SR Table
bar top means rounded value 30' or 0.5° rounds up
2
A
F
SR Table
3
F'
P
Aux
4
A'
Z2
Aux
1
2
sign B = sign Z1
+ if LHA = 0 to 90
− if LHA = 91 to 269
+ if LHA = 270 to 360
3
same
contrary
N S Declination
A°
A'
D°
D'
B°
B'
F°
F'
Z1
8
+ if F = 0 to 90
− if F = 90 to 180
H°
H'
P°
P'
Z2
same sign as Z2 but reverse sign if F' = 30 to 59
5
C1
+ if A' = 30 to 59
− if A' = 0 to 29
6
C2
Z =
N. Lat
S. Lat
360.0
180.0
LHA
0 to 180
180 to 360
10
Hc =
A
Ho =
T
take label of larger
T A
a =
Zn =

NAO-Formular vs. Workform 106

Um die zahlreichen Vorzeichenregeln sicher(!) zu bewältigen, d.h. insbesondere wenn die Astronavigation „nur“ als Ersatzbetriebslösung oder gar im Notfall in der Rettungsinsel betrieben werden soll, ist ein gutes Formular geradezu überlebenswichtig. Denn diese Navigatoren können sich oftmals nicht auf Routine stützen. Nach Kenntnisstand des Autors stehen bislang zwei Formulare zur Verfügung. In Vorbereitung eines Törns oder gar einer längeren Zeit auf See sollte man eines davon in größerer Anzahl bevorraten.

Das **NAO-Formular** (siehe S. 12) ist in jeder Ausgabe des Nautical Almanac [NA] vorhanden. Aufgrund des Originalformates von 10” × 7” ist es sinnvoll, beim Kopieren auf DIN A 4 zu vergrößern.[3] Das Formular selbst ist dreispaltig aufgebaut. In der Spalte links sind die einzelnen Schritte des Verfahrens aufgelistet. An einigen Stellen sind auch Werte einzutragen. Die mittlere Spalte ist den Rechenoperationen vorbehalten, und in der rechten Spalte finden sich allerlei „Regieanweisungen“, insbesondere auch, was die Vorzeichen angeht. Die Darstellung auf S. 12 ist um die Nummern 1, ... , 10 der Vorzeichenregeln ergänzt.

Das NAO-Formular ist leider mit einer ganz wesentlichen Schwäche ausgestattet: Es wird dort formal nicht unterschieden zwischen dem ganzgradigen Anteil $x°$ eines Winkels und dem ganzgradig auf- oder abgerundetem Wert $\overline{x}$. Für beides wird die Schreibweise $x°$ verwendet. Mathematisch ist das fragwürdig. Vom Standpunkt des Praktikers ist es immerhin noch ein ziemlich unglücklicher Kompromiß – insbesondere unter den oben erwähnten Bedingungen der Nichtroutiniertheit.

Wird diese Tatsache übersehen, so hat man im Falle von $x’ < 30’$ das Glück, daß daraus wegen $\overline{x} = x°$ keine Konsequenzen erwachsen. Im Falle von $x’ \geqslant 30’$ stellt sich ein Fehler von 1° ein. Bereits bei nur einer von den vier betroffenen Größen A, F, P und Z_2 genügt das, um ein unbrauchbares Endergebnis zu erzeugen.

Man kann natürlich einwenden, daß im Nautical Almanac [NA] alles genau beschrieben ist. Nur nutzt das nichts, wenn an Bord durch Ausfall von Geräten oder gar Schlimmerem naturgemäß Stress aufkommt. Dann liest man keine „Aufsätze“ mehr, wie das denn nun zu machen wäre. Dann zählt nur noch das „Idiotensichere“ und das „drillmäßig Eingeübte“ – wie beim Militär!

Die **Workform 106** (siehe S. 13) wurde – wie bereits erwähnt – von dem US-amerikanischen Navigationslehrer David Burch entworfen. Das Formular ist in [2] und [4] enthalten und kann bei Burch’s Navigationsschule[4] erworben werden. Kopieren ist offensichtlich nicht vorgesehen. Die Unterscheidung zwischen $x°$ und $\overline{x}$ ist darin realisiert, die Deklination ist hier mit D bezeichnet (statt mit Dec) und die Höhenkorrekturen mit C_1, C_2 (statt corr_1, corr_2). Ansonsten ist das Formular fast selbsterklärend. Lediglich die Betragsbildung von Z (vgl. hierzu (26)) geht aus dem Formular nicht hervor, wird aber in den zugehörigen „Short Instructions“ angesprochen.

[3] Das Formular darf frei kopiert werden, solange der Urheber erkennbar ist, vgl. [NA].

[4] `www.starpath.com`

Beispiele

Im Buch [1] waren die grundlegenden Beispiele 7 und 8 für das Höhenverfahren mit der jeweils aktuellen Lösungsmethode gezeigt worden. Das soll hier für die NAO-Tafeln fortgeführt werden. Da diese nun aber Bestandteil des Nautical Almanac sind, wurden ebendiesem sinnvollerweise auch die Ephemeriden entnommen.

Beispiel 7$^{\text{NAO}}$: Am 14.06.2009 befindet sich der Schiffsort auf der Ostsee ungefähr bei 54° 57' N, 13° 32' E als gegißtem Ort. Um 13.40.28 UT wird der Sonnenunterrand mit 47° 18.6' bei einer Augeshöhe von 2 m gemessen. Die Indexbeschickung des Sextanten beträgt −1.2'. Zu berechnen sind nun Δh und α_{Az}.

1. Der **Nautical Almanac** [**NA**] liefert für die Sonne

$$\begin{array}{rcrl} & & 014°\ 55.5' & \text{für } 13\ \mathsf{UT} \\ & + & 10°\ 07.0' & \text{für } 40^{\text{m}}\ 28^{\text{s}} \\ & & {\scriptstyle 1\ \ 1} & \\ \hline t_{\text{Gr}} = \mathsf{GHA} & = & 25°\ 02.5' & \text{für } 13.40.28\ \mathsf{UT}\ , \\ \hline\hline \end{array}$$

$$\begin{array}{rcrl} & & 23°\ 17.1'\ \text{N} & \text{für } 13\ \mathsf{UT} \\ & + & 0.1' & \mathsf{Corr^n}\ \text{für } d = 0.1' \\ \hline \mathsf{Dec} & = & 23°\ 17.2'\ \text{N} & \text{für } 13.40\ \mathsf{UT}\ . \\ \hline\hline \end{array}$$

Anschließend wird, da die gegißte Länge als Ostlänge vorliegt, der Ortsstundenwinkel gemäß

$$t \;=\; t_{\text{Gr}} + \lambda_{\text{E}}$$

berechnet:

$$\begin{array}{rcrl} & & 25°\ 02.5' & = t_{\text{Gr}} \\ & + & 13°\ 32.0' & = \lambda_{\text{E}} \\ \hline t & = & 38°\ 34.5' & . \\ \hline\hline \end{array}$$

Für den Tafeleingang wird nun als erstes die gegißte Breite von 54° 57' N auf die Breite des Rechenortes mit

$$\varphi_{\text{r}} \;=\; 55°\ \text{N}\ , \qquad \mathsf{LAT} \;=\; 55°$$

aufgerundet. Als zweites wird hier der Ortsstundenwinkel von 38° 34.5' auf

$$t\,\big|^{\circ}_{\text{gerundet}} \;=\; \mathsf{LHA} \;=\; 39°$$

ebenfalls aufgrundet. Die Rückrechnung liefert dann die (Ost-)Länge des Rechenortes gemäß

$$
\begin{array}{rcrl}
 & & 39^\circ\ 00.0' & = \text{LHA} \\
 & - & 25^\circ\ 02.5' & = \text{GHA} \\
 & & {\scriptstyle 1\ \ 11} & \\
\hline
\lambda_r = \text{LONG} & = & 13^\circ\ 57.5' & \text{E}\,.
\end{array}
$$

Als drittes wird der Deklinationsbetrag (auf volle Minuten gerundet) zu

$\text{Dec} = 23^\circ\,17'$

festgelegt. Somit gehen aus den vorangegangenen Rechnungen zwei „Zahlenblöcke“ hervor: Zum einen der **Rechenort** mit

$$
\boxed{\begin{array}{lcl} \varphi_r & = & 55^\circ\ \text{N} \\ \lambda_r & = & 13^\circ\ 57.5'\ \text{E} \end{array}}\ ,
$$

welcher den gegißten Schiffsort für das weitere Vorgehen in jeder Hinsicht ersetzt, und zum anderen für die weitere Rechnung die Größen

$$
\boxed{\begin{array}{lcl} \left.\begin{array}{lcl} \text{LAT} & = & 55^\circ \\ \text{Dec} & = & 23^\circ\,17' \end{array}\right\} & \underline{\textbf{SAME}}\ \text{NAME} \\ \text{LHA} = 39^\circ & \end{array}}\ .
$$

2. Der **1. Zugriff** auf die **NAO-Haupttafel** mit $\text{LAT} = 55^\circ$, $\text{LHA} = 39^\circ$ liefert

$A = 21^\circ\,10'$, $\big(A^\circ = 21^\circ\,,\ \ A' = 10'\big)$

$B = +\ 28^\circ\,33'$, (Vorzeichenregel ①)

$Z_1 = +\ 56.4^\circ$, (Vorzeichenregel ②)

und mit $A' = 10' < 30'$ folgt

$\overline{A} = A^\circ = 21^\circ\,.$

3. Nach (9) werden nun B und Dec (algebraisch) summiert zu

$$
\begin{array}{rcrl}
 & (+) & 28^\circ\ 33' & = B \\
 & + & 23^\circ\ 17' & = \text{Dec} \qquad \text{(Vorzeichenregel ③)} \\
 & & {\scriptstyle 1\ \ \ \ 1} & \\
\hline
F & = & 51^\circ\ 50' & > 0\,, \qquad \text{(Vorzeichenregel ④)}
\end{array}
$$

und mit $F^\circ = 51^\circ$ und $F' = 50' > 30'$ folgt

$\overline{F} = F^\circ + 1^\circ = 52^\circ\,.$

4. Der **2. Zugriff** auf die **NAO-Haupttafel** mit $\overline{A} = 21°$, $\overline{F} = 52°$ liefert

$H = 47° \; 22'$,

$P = 58° \; 03'$, $\qquad (P° = 58°\,, \;\; P' = 3')$

$Z_2 = 65.4°$,

und mit $P' = 3' < 30'$ sowie $0.4° < 0.5°$ folgt

$\overline{P} = P° = 58°$,

$\overline{Z}_2 = 65°$.

5. Der **1. Zugriff** auf die **NAO-Hilfstafel** mit $F' = 50'$, $\overline{P} = 58°$ liefert

$\mathsf{corr}_1 = -8'$. $\qquad$ (Vorzeichenregel 5)

6. Der **2. Zugriff** auf die **NAO-Hilfstafel** mit $A' = 10'$, $\overline{Z}_2 = 65°$ liefert

$\mathsf{corr}_2 = -4'$. $\qquad$ (Vorzeichenregel 6)

7. Der vorläufige Wert der Höhe wird mit den beiden Höhenkorrekturwerten zur (endgültigen) **rechnerischen Höhe** summiert:

$$\begin{array}{rrrl}
 & & 47° \; 22' & = H \\
 & - & 8' & = \mathsf{corr}_1 \\
 & - & 4' & = \mathsf{corr}_2 \\
 & & {\scriptstyle 1} & \\
\hline
H_c & = & 47° \; 10' & > 0\,, \qquad (\text{Vorzeichenregel } 7)
\end{array}$$

8. Aus den Azimutbestandteilen Z_1 und Z_2 folgt zunächst

$$\begin{array}{rrrl}
 & (+) & 56.4° & = Z_1 \\
 & + & 65.4° & = Z_2 \qquad (\text{Vorzeichenregel } 8) \\
 & & {\scriptstyle 1} & \\
\hline
Z & = & 121.8° & > 0\,, \qquad (\text{Vorzeichenregel } 9)
\end{array}$$

womit unter Anwendung der Vorzeichenregel 10 der vollkreisige **Azimut** zu

$$\begin{aligned}
\alpha_{\mathrm{Az}} = \mathsf{Zn} &= 360° - Z \\
&= 360° - 121.8° = 238.2°
\end{aligned}$$

berechnet wird. Aus der Sextantmessung von 47° 18.6' erhält man mit der Indexbeschickung –1.2' den Kimmabstand zu

$\mathsf{Sextant\ Alt.\ corr.\ for\ Index} = 47° \; 18.6' + (-1.2') = 47° \; 17.4'$.

Und dem Nautical Almanac entnimmt man für eine Augeshöhe von 2 m die Kimmtiefe als Dip Corr^{n} $= -2.5'$ und die Alt. Corr^{n} $= +15.1'$ für den Sonnenunterrand (*lower limb*), so daß sich die **beobachtete Höhe** (*height observed*) zu

$$\begin{array}{rrrl}
 & & 47^\circ\ 17.4' & = \text{Sextant Alt. corr. for Index} \\
 & - & 2.5' & = \text{Dip Corr}^{n} \\
 & & {\scriptstyle 1} & \\ \hline
 & & 47^\circ\ 14.9' & = \text{App. Alt.} \\
 & + & 15.1' & = \text{Alt. Corr}^{n} \\
 & & {\scriptstyle 1\,1} & \\ \hline
H_o & = & 47^\circ\ 30.0' & \\ \hline\hline
\end{array}$$

berechnen läßt. Schließlich erfolgt die Berechnung der Höhendifferenz zu

$$\begin{array}{rrrrrl}
 & & & & 47^\circ\ 30.0' & = H_o \\
 & & & - & 47^\circ\ 10.0' & = H_c \\ \hline
\Delta h & = & a & = & +\ 20.0' & . \\ \hline\hline
\end{array}$$

Die Ergebnisgrößen $\Delta h = +20.0'$ und $\alpha_{Az} = 238.2^\circ$ sind somit bestimmt.[5]

■

Beispiel 8$^{\mathrm{NAO}}$: Am 20.10.2009 befindet sich der Schiffsort westlich der Biskaya ungefähr bei 46° 21' N, 7° 43' W als gegißtem Ort. Um 11.17.12 UT wird der Sonnenoberrand mit 31° 56.5' bei einer Augeshöhe von 4 m gemessen. Die Indexbeschickung des Sextanten beträgt +0.8'. Zu berechnen sind Δh und α_{Az}.

1. Der **Nautical Almanac** [**NA**] liefert für die Sonne

$$\begin{array}{rrrrrl}
 & & & & 348^\circ\ 48.3' & \text{für}\ \ 11\ \text{UT} \\
 & & & + & 4^\circ\ 18.0' & \text{für}\ \ 17^{m}\ 12^{s} \\
 & & & & {\scriptstyle 1\,1\quad 1} & \\ \hline
t_{Gr} & = & \text{GHA} & = & 353^\circ\ 06.3' & \text{für}\ \ 11.17.12\ \text{UT}\ , \\ \hline\hline
\end{array}$$

$$\begin{array}{rrrl}
 & & 10^\circ\ 28.4'\ \text{S} & \text{für}\ \ 11\ \text{UT} \\
 & + & 0.3' & \text{Corr}^{n}\ \text{für}\ d = 0.9' \\ \hline
\text{Dec} & = & 10^\circ\ 28.7'\ \text{S} & \text{für}\ \ 11.17\ \text{UT}\ . \\ \hline\hline
\end{array}$$

[5] Die Lösung mit Taschenrechner liefert $\Delta h = +20.5'$ und $\alpha_{Az} = 238.2^\circ$, liegt also dicht an der Lösung mittels NAO-Tafel. Für die Praxis kein nennenswerter Unterschied!

Anschließend wird, da die gegißte Länge als Westlänge vorliegt, der Ortsstundenwinkel gemäß

$$t \;=\; t_{\mathrm{Gr}} - \lambda_{\mathrm{W}}$$

berechnet:

$$\begin{array}{rrrl} & & 353^\circ\ 06.3' & = t_{\mathrm{Gr}} \\ & - & 7^\circ\ 43.0' & = \lambda_{\mathrm{W}} \\ & & {\scriptstyle 1\,1} & \\ \hline t & = & 345^\circ\ 23.3' & . \end{array}$$

Für den Tafeleingang wird nun als erstes die gegißte Breite von 46° 21' N auf die Breite des Rechenortes mit

$$\varphi_{\mathrm{r}} \;=\; 46^\circ\ \mathrm{N}\,, \qquad \mathsf{LAT} \;=\; 46^\circ$$

abgerundet. Als zweites wird hier der Ortsstundenwinkel von 345° 23.2' auf

$$t\,\big|^{\circ}_{\mathrm{gerundet}} \;=\; \mathsf{LHA} \;=\; 345^\circ$$

ebenfalls abgrundet. Die Rückrechnung liefert dann die (West-)Länge des Rechenortes gemäß

$$\begin{array}{rrrl} & & 353^\circ\ 06.3' & = \mathsf{GHA} \\ & - & 345^\circ\ 00.0' & = \mathsf{LHA} \\ & & {\scriptstyle 1} & \\ \hline \lambda_{\mathrm{r}} = \mathsf{LONG} & = & 8^\circ\ 06.3' & \mathrm{W}\,. \end{array}$$

Als drittes wird der Deklinationsbetrag (auf volle Minuten gerundet) zu

$$\mathsf{Dec} \;=\; 10^\circ\ 29'$$

festgelegt. Somit gehen aus den vorangegangenen Rechnungen zwei „Zahlenblöcke“ hervor: Zum einen der **Rechenort** mit

$$\boxed{\begin{array}{lcl} \varphi_{\mathrm{r}} & = & 46^\circ\ \mathrm{N} \\ \lambda_{\mathrm{r}} & = & 8^\circ\ 06.3'\ \mathrm{W} \end{array}}\ ,$$

welcher den gegißten Schiffsort für das weitere Vorgehen in jeder Hinsicht ersetzt, und zum anderen für die weitere Rechnung die Größen

$$\boxed{\begin{array}{lcl} \left.\begin{array}{lcl} \mathsf{LAT} & = & 46^\circ \\ \mathsf{Dec} & = & 10^\circ\ 29' \end{array}\right\} & \underline{\textsf{CONTRARY}}\ \textsf{NAME} \\ \mathsf{LHA} \;=\; 345^\circ & \end{array}}\ .$$

2. Der **1. Zugriff** auf die **NAO-Haupttafel** mit $\mathsf{LAT} = 46°$, $\mathsf{LHA} = 345°$ liefert

$A \; = \; 10° \, 21' \, ,$ $\quad (A° \, = \, 10° \, , \;\; A' \, = \, 21')$

$B \; = \; + \; 43° \, 00' \, ,$ $\quad$ (Vorzeichenregel 1)

$Z_1 \; = \; + \; 79.1° \, ,$ $\quad$ (Vorzeichenregel 2)

und mit $A' = 21' < 30'$ folgt

$\overline{A} \; = \; A° \; = \; 10° \, .$

3. Nach (9) werden nun B und Dec (algebraisch) addiert zu

$$\begin{array}{rcrl}
 & (+) & 43° \;\, 00' & = B \\
 & - & 10° \;\, 29' & = \mathsf{Dec} \qquad \text{(Vorzeichenregel 3)} \\
 & & {\scriptstyle 1 \;\; 1} & \\
\hline
F & = & 32° \;\, 31' & > 0 \, , \qquad \text{(Vorzeichenregel 4)}
\end{array}$$

und mit $F° = 32°$ und $F' = 31' > 30'$ folgt

$\overline{F} \; = \; F° + 1° \; = \; 33° \, .$

4. Der **2. Zugriff** auf die **NAO-Haupttafel** mit $\overline{A} = 10°$, $\overline{F} = 33°$ liefert

$H \; = \; 32° \, 26' \, ,$

$P \; = \; 78° \, 08' \, ,$ $\quad (P° \, = \, 78° \, , \;\; P' \, = \, 8')$

$Z_2 \; = \; 83.6° \, ,$

und mit $P' = 8' < 30'$ sowie $0.6° > 0.5°$ folgt

$\overline{P} \; = \; P° \; = \; 78° \, ,$

$\overline{Z}_2 \; = \; 84° \, .$

5. Der **1. Zugriff** auf die **NAO-Hilfstafel** mit $F' = 31'$, $\overline{P} = 78°$ liefert

$\mathsf{corr}_1 \; = \; -\, 28' \, .$ $\quad$ (Vorzeichenregel 5)

6. Der **2. Zugriff** auf die **NAO-Hilfstafel** mit $A' = 21'$, $\overline{Z}_2 = 84°$ liefert

$\mathsf{corr}_2 \; = \; -\, 2' \, .$ $\quad$ (Vorzeichenregel 6)

7. Der vorläufige Wert der Höhe wird mit den beiden Höhenkorrekturwerten zur (endgültigen) **rechnerischen Höhe** summiert:

$$\begin{array}{rrl} & 32^\circ\ 26' & = H \\ - & 28' & = \mathsf{corr}_1 \\ - & 2' & = \mathsf{corr}_2 \\ \hline H_c = & 31^\circ\ 56' & > 0\,, \qquad \big(\text{Vorzeichenregel ⑦}\big) \end{array}$$

8. Aus den Azimutbestandteilen Z_1 und Z_2 folgt zunächst

$$\begin{array}{rrll} (+) & 79.1^\circ & = Z_1 & \\ + & 83.6^\circ & = Z_2 & \big(\text{Vorzeichenregel ⑧}\big) \\ \hline Z = & 162.7^\circ & > 0\,, & \big(\text{Vorzeichenregel ⑨}\big) \end{array}$$

womit unter Anwendung der Vorzeichenregel ⑩ der vollkreisige **Azimut** zu

$\alpha_{\mathrm{Az}} \;=\; \mathsf{Zn} \;=\; Z \;=\; 162.7^\circ$

berechnet wird. Aus der Sextantmessung von 31° 56.5' erhält man mit der Indexbeschickung +0.8' den Kimmabstand zu

Sextant Alt. corr. for Index $= 31^\circ\,56.5' + 0.8' = 31^\circ\,57.3'$.

Und dem Nautical Almanac entnimmt man für eine Augeshöhe von 4 m die Kimmtiefe als Dip Corr$^{\mathsf{n}} = -3.5'$ und die Alt. Corr$^{\mathsf{n}} = -17.6'$ für den Sonnenoberrand (*upper limb*), so daß sich die **beobachtete Höhe** (*height observed*) zu

$$\begin{array}{rrl} & 31^\circ\ 57.3' & = \text{Sextant Alt. corr. for Index} \\ - & 3.5' & = \text{Dip Corr}^{\mathsf{n}} \\ \hline & 31^\circ\ 53.8' & = \text{App. Alt.} \\ - & 17.6' & = \text{Alt. Corr}^{\mathsf{n}} \\ \hline H_o = & 31^\circ\ 36.2' & \end{array}$$

berechnen läßt. Schließlich erfolgt die Berechnung der Höhendifferenz zu

$$\begin{array}{rrl} & 31^\circ\ 56.0' & = H_c \\ - & 31^\circ\ 36.2' & = H_o \\ \hline -\Delta h = -a = & 19.8' & . \end{array}$$

Die Ergebnisgrößen $\Delta h = -19.8'$ und $\alpha_{\mathrm{Az}} = 162.7^\circ$ sind somit bestimmt. ■

NAO-Tafeln im Vergleich mit logarithmischen Tafeln

Auch wenn manch erfahrener Weltumsegler bereits bei Erwähnung der Worte „Semiversus“ oder „Fulst“ zur Schnappatmung übergeht, ein kritischer Blick auf die Realität lohnt sich immer! Mitunter kommt überraschendes dabei heraus.

Die logarithmische Berechnung der Höhe nach (2.44, 45)[1] einschließlich der Berechnung des Azimutes nach (2.47)[1] unter Verwendung der ABC-Tafel ist von alters her das Rechenverfahren schlechthin. Im Deutschland wurden hierzu die Tafeln von Fulst [5] bzw. Rose [6] verwendet; die Tafeln von Norie [7] gibt es in England noch heute. Problematisch war aber von Anfang an, daß Steuerleute, Kapitäne und Marineoffiziere sehr häufig Familien entstammten, die ihren Söhnen den Besuch einer höheren, allgemeinbildenden Schule (sprich: Gymnasium) nicht ermöglichen konnten. Der Ausbildungsaufwand zur Astronomischen Navigation an den Seefahrtsschulen war folglich recht hoch.

So hat es seit dem 20. Jhd. nicht an Versuchen gefehlt, die Berechnung von Höhe und Azimut einfacher und sicherer zu machen. Es sind zahlreiche Verfahren und Tafelwerke entwickelt worden, von denen die meisten seit langem vergessen sind. „Überlebt“ hat – wenn man das mal so sagen will – vor allem die HO 249 [8] wegen ihrer extremen Einfachheit. Die damit verbundenen Genauigkeitsdefizite und den nicht unerheblichen Umfang nehmen ihre Anhänger ohne weiteres in Kauf. Auf der anderen Seite gibt es immer noch Navigatoren, die „sem sem“ nicht scheuen.

Operation	**Anzahl der Operationen mit den Tafeln**	
	NAO	Fulst, Rose, Norie
Zahlen entnehmen	A / B / Z_1 H / P / Z_2 corr_1 / corr_2 $2 \cdot 3 + 1 + 1 = \mathbf{8}$	$\log \operatorname{sem} t$ / $\log\cos\varphi$ / $\log\cos\delta$ $\operatorname{sem} y$ / $\operatorname{sem}[\varphi-\delta]$ / z A / B / Az $3+3+3 = \mathbf{9}$
Berechnungen durchführen (Summation)	$\lambda_r = \pm\,\mathsf{LHA} \mp \mathsf{GHA}$ $H_c = H + \mathsf{corr}_1 + \mathsf{corr}_2$ $F = B \pm \mathsf{Dec}$ $Z = \lvert Z_1 + Z_2 \rvert$ **4**	$(360^\circ - t = t_E)$ / $\lvert\varphi-\delta\rvert$ $3 \times \log[...] \rightarrow \log \operatorname{sem} y$ $\operatorname{sem} y + \operatorname{sem}[\varphi-\delta] = \operatorname{sem} z$ $A + B = C$ **5 (4)**
Vorzeichenregeln beachten	1 ⋮ 10 **10**	$\varphi - \delta$ A / B / C $Az \rightarrow \alpha_{Az}$ **5**
$\sum =$	**22**	**19 (18)**

Tab. 1 Anzahl der „tafelbedingten“ Operationen im Vergleich

Die hier behandelten NAO-Tafeln verdienen ja schon wegen ihres extrem geringen Volumens Beachtung. Dazu bekommt man sie gratis mit jeder Ausgabe des Nautical Almanac. Ob die NAO-Tafeln wirklich zur zuverlässigen Minimalausstattung taugen, muß letztlich jeder Schiffsführer selbst beurteilen. In der Gegenüberstellung nach Tabelle 1 wird aber deutlich, daß die logarithmische Rechnung nur 19 Operationen (bzw. 18, wenn das Gestirn westlich steht) benötigt, während die NAO-Tafeln mit 22 Operationen dabei sind, wobei das Runden von Zahlen sowie das Interpolieren von Tafelwerten nicht als eigene Operation gewertet wurde.

So hat die logarithmische Rechnung von allen tafelgestützten Verfahren insbesondere drei Vorteile: Sie arbeitet erstens mit dem gegißten Ort (Koppelort), womit ungewöhnlich hohe Werte für Δh eine Art „Fehleralarm" bedeuten[6], sie ist zweitens die genaueste Methode, und drittens – das wurde zuvor deutlich – ist sie auch arm an Vorzeichen- und anderen Verfahrensregeln. Wer das Prinzip der logarithmischen Rechnung (Obertertia-Mathematik) und speziell die Abfolge der hier notwendigen Rechenschritte zur Kenntnis genommen hat, kann seine Höhenstandlinie auf der Rückseite von Schokoladenpapier ausrechnen. Dagegen ist man bei den NAO-Tafeln ohne vernünftiges Formular doch recht bescheiden dran. Denn wäre man darauf angewiesen, in Ermangelung eines solchen die vielen Vorzeichenregeln auf anschauliche Weise (gewissermaßen mit „Bordmitteln") nachzuvollziehen, wäre das wohl ziemlich aussichtslos.

Was die meisten Navigatoren von den logarithmischen Tafeln abhält, ist die Angst vor dem **Interpolieren der Tafelwerte**. Diese ist aber völlig unberechtigt. Als erste Vereinfachungsmaßnahme kann man zur **Höhenberechnung** schon mal die Eingangsgrößen φ, δ, t und später $|\varphi - \delta|$ auf volle Minuten runden (muß man bei allen anderen Tafeln sowieso). Und bei den Zwischenwerten, d.h. beim Entlogarithmieren und „Entsemsen" wird frei-nach-Schnauze gemittelt. Dadurch verliert man zwar die Zehntelminutengenauigkeit der Höhe, aber die gibt es bei den anderen Tafeln ja auch nicht. Wer dies einige Male ausprobiert und elektronisch nachgerechnet hat, sieht sofort, wie gut das geht. Ganz abgesehen davon, daß man von Mal zu Mal besser wird – ganz automatisch.

Während die Genauigkeit der Höhenberechnung – wie zuvor beschrieben – kein Problem ist, so ist die Genauigkeit der **Azimutberechnung** erst recht keines. Denn hier sind die Anforderungen viel geringer. Ein Fehler von 1° ist völlig in Ordnung. Und wenn wahrer und gegißter Schiffsort nicht zig Seemeilen auseinander liegen, wirken sich auch größere Fehler meist nicht gravierend aus. Das sollte man im Hinterkopf haben, wenn man in den ABC-Tafeln mittelt. Dies ist in sofern unangenehmer, als es jeweils zwei Tafeleingänge gibt. Aber auch hier gilt: Nicht zu zaghaft mitteln – zur Not mit ganzgradigen Eingängen! Im Extremfall übrigens kann man den Azimut auch mit dem Kompaß feststellen bzw. grob prüfen, wenn einen die ABC-Tafeln denn doch überfordern sollten.

Fazit

Die NAO-Tafeln sind in ihrer Kürze und Schlichtheit faszinierend. Der mathematische Ansatz, der dahinter steht, auch. Die Vorteile werden leider von der umständlichen Handhabung mit den vielen Vorzeichenregeln „aufgefressen". Im Notfall zu gebrauchen, wenn nichts besseres vorhanden ist – wie schon im [NA] vermerkt. Ansonsten wenig empfehlenswert.

[6] vgl. [1], Abschnitt 4.3.3

Dieser Artikel ist eine Ergänzung zu [1]. Damit gilt der dort formulierte Haftungsausschluß auch hier:

Haftungsausschluß

Die Autorin hat alle Sorgfalt walten lassen, um vollständige und akkurate Informationen in diesem Buch zu publizieren. Die Autorin und auch der Kreuzer Yacht Club Deutschland e. V. (KYCD) als Herausgeber übernehmen weder Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für die Nutzung dieser Informationen, für deren Wirtschaftlichkeit oder fehlerfreie Funktion für bestimmten Zweck. Ferner kann weder die Autorin noch der KYCD für Schäden, die auf einer Fehlfunktion von Programmen oder ähnlichem zurückzuführen sind, haftbar gemacht werden. Auch nicht für die Verletzung von Patent- und anderen Rechten Dritter, die daraus resultieren. Autorin und KYCD übernehmen keine Gewähr dafür, daß die beschriebenen Verfahren, Programme usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Abhandlung berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Literaturverzeichnis

[1] MESTEMACHER, FRANKA-MARIA: *Astronomische Navigation*. Herausgegeben vom Kreuzer Yacht Club Deutschland e.V. (KYCD). 3. Auflage. Kruse, Stralsund 2018

[2] BURCH, DAVID: *Celestial Navigation*. A Home Study Course. Starpath Publications, Seattle (WA/USA) 2008

[3] ZEIDLER, E. (Hrsg.): *Teubner-Taschenbuch der Mathematik*. B.G. Teubner, Wiesbaden 2003

Tafelwerke

[4] KOLBE, GEOFFREY: *Long Term Almanac 2000 - 2050*. For the Sun and Selected Stars. Starpath Publications, Seattle (WA/USA) 2008

[5] LÜTJEN; STEIN; ZWIEBLER: *Fulst Nautische Tafeln*. Arthur Geist Verlag, Bremen 1981

[6] ROSE, GERHARD: *Nautische Tafeln*. Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1968 (in der DDR erschienen, entspricht weitgehend [5])

[7] BLANCE, GEORGE: *Norie's Nautical Tables*. Imray, Laurie, Norie & Wilson, St. Ives (Cambridgeshire, UK) 2007

[8] H.O. Pub. No. 249: *Sight Reduction Tables for Air Navigation*. Vol. 1 - 3. Defense Mapping Agency, Hydrographic/Topographic Center, Washington 1978

oder

A.P. 3270: *Rapid Sight Reduction Tables for Navigation*. Vol. 1 - 3. UK Hydrographic Office, Taunton (Somerset, UK) 2007/2008

Periodika

[NA] *Nautical Almanac 20xx*. UK Hydrographic Office, Taunton (Somerset, UK) 20*xx*