

Nautische Formelsammlung Navigation

Prof. Werner Huth

Zur Lösung der Navigationsaufgaben mit einem Taschenrechner sind die entsprechenden Formeln erforderlich. Aus diesem Grund und zur Gewährleistung einfacher und gleicher Prüfungsbedingungen ist die nachfolgende Formelsammlung Bestandteil des Begleithefts zur Ausbildung und Prüfung im Fach Navigation für den SSS und SHS. Da das Begleitheft auch an nautischen Ausbildungsstätten benutzt wird, wurden auch die Formeln für den Fahrtfehler des Kreiselkompasses aufgenommen.

Im Abschnitt 2 sind für die Benutzung der britischen Gezeitentafeln die Formeln zur Ermittlung von Zeit- und Höhenunterschieden an Anschlussorten aufgeführt, zudem Berechnungen zur Höhe der Gezeit. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass im vorderen Teil des Begleithefts im Rahmen der Auszüge aus den britischen Gezeitentafeln auch die Möglichkeit der zeichnerischen Darstellung im Originaltext dargestellt ist.

Im Abschnitt 3 werden bei der Besteckrechnung nach Mittelbreite und nach vergrößerter Breite neben den Bezeichnungen von Breiten- und Längenunterschieden $\Delta\varphi$ und $\Delta\lambda$ in Grad und Minuten auch die bisherigen Bezeichnungen Breitendistanz b und Äquatormeridiandistanz ℓ , jeweils in Seemeilen, angegeben. Es ist darauf zu achten, dass jeweils die gleiche Einheit benutzt wird. $\Delta\varphi$ und $\Delta\lambda$ sind Winkel und werden als solche in Grad [°] und Minuten [,] oder nur Minuten angegeben. Die Breitendistanz b und Äquatormeridiandistanz ℓ und damit auch die Abweichung a sind Strecken und haben die Einheit Seemeilen [sm].

Bei der Besteckrechnung nach vergrößerter Breite ist als Ergänzung zu den Formeln die Möglichkeit vorgesehen, die vergrößerten Breiten einer Tabelle im Anhang (Anlage 2) zu entnehmen, wobei ein Interpolieren erforderlich ist.

Bei den Berechnungen ist während des Rechenvorgangs generell mit den vom Taschenrechner erzeugten Zwischenergebnissen weiter zu rechnen ohne zu runden! Dies gilt insbesondere bei der „Besteckrechnung nach vergrößerter Breite“, siehe Ziffer 3.3.

Man speichert die nicht gerundeten Zwischenergebnisse zweckmäßigerweise im Arbeitsspeicher ab und rechnet mit diesen nicht gerundeten Werten jeweils weiter. Wenn gerundet wird (Mittelbreite, Großkreisrechnung, Astronomische Navigation), sind die Werte beim Runden grundsätzlich auf **fünf Nachkommastellen** zu bestimmen.

Vorzeichenvereinbarung

Für die Benutzung von Winkelgrößen (z. B. φ , δ usw.) in Taschenrechnern muss grundsätzlich die folgende Vorzeichenvereinbarung beachtet werden:

- *Nördliche* Größen werden als *positive* Größen aufgefasst.
- *Südliche* Größen werden als *negative* Größen aufgefasst.
- *Östliche* Größen werden als *positive* Größen aufgefasst.
- *Westliche* Größen werden als *negative* Größen aufgefasst.
- *Vollkreisige* Winkelangaben werden in unveränderter Form benutzt.

1. Terrestrische Navigation

1.1 Kurs- und Peilungsverwandlung

1.1.1 Kursverwandlung Magnetkompass

MgK	(Magnetkompasskurs)
+ Abl	(Ablenkung)
mwK	(missweisender Kurs)
+ Mw	(Missweisung)
rwK	(rechtweisender Kurs)
+ BW	(Beschickung für Wind)
KdW	(Kurs durchs Wasser)
+ BS	(Beschickung für Strom)
KüG	(Kurs über Grund)

1.1.2 Peilungsverwandlung Magnetkompass

MgP	(Magnetkompasspeilung)
+ Abl	(Ablenkung)
mwP	(missweisende Peilung)
+ Mw	(Missweisung)
rwP	(rechtweisende Peilung)

SP	(Seitenpeilung)
+ rwK	(rechtweisender Kurs)
rwP	(rechtweisende Peilung)

oder:

SP	(Seitenpeilung)
+ MgK	(Magnetkompasskurs)
MgP	(Magnetkompasspeilung)

und weiter wie oben

1.1.3 Kursverwandlung Kreiselkompass

KrK	(Kreiselkompasskurs)
+ KrA	(Kreisel-A)
+ Ff	(Fahrtfehlerberichtigung)
rwK	(rechtweisender Kurs)
+ BW	(Beschickung für Wind)
KdW	(Kurs durchs Wasser)
+ BS	(Beschickung für Strom)
KüG	(Kurs über Grund)

$$\sin Ff = - \frac{v \cdot \cos KrK}{902,46 \cdot \cos \varphi} \quad \text{oder} \quad Ff = - 57,3 \cdot \frac{v \cdot \cos KrK}{902,46 \cdot \cos \varphi}$$

(Ff [°] = Fahrtfehlerberichtigung; v [kn] = Schiffsgeschwindigkeit;
KrK [°] = Kreiselkompasskurs; φ [°] = geographische Breite; 902,46 [kn])

(Siehe auch Anlage 1 „Fahrtfehlerberichtigung des Kreiselkompasses“ auf Seite 11)

1.1.4 Peilungsverwandlung Kreiselkompass

$$\begin{array}{ll}
 \text{KrP} & \text{(Kreiselkompasspeilung)} \\
 + \frac{\text{KrA}}{\text{rwP}} & \text{(Kreisel A)} \\
 + \frac{\text{Ff}}{\text{rwP}} & \text{(Fahrfehlerberichtigung)} \\
 & \text{(rechtweisende Peilung)}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 \text{SP} & \text{(Seitenpeilung)} \\
 + \frac{\text{rwK}}{\text{rwP}} & \text{(rechtweisender Kurs)} \\
 & \text{(rechtweisende Peilung)}
 \end{array}$$

oder:

$$\begin{array}{ll}
 \text{SP} & \text{(Seitenpeilung)} \\
 + \frac{\text{KrK}}{\text{KrP}} & \text{(Kreiselkompasskurs)} \\
 & \text{(Kreiselkompasspeilung)}
 \end{array}$$

und weiter wie oben

1.1.5 Zeit, Geschwindigkeit

zurückgelegte Strecke: $d = v \cdot \frac{t}{60}$ (d [sm] = Distanz; v [kn] = Geschwindigkeit; t [min] = Zeit)

benötigte Zeit: $t = \frac{d \cdot 60}{v}$

benötigte Geschwindigkeit: $v = \frac{d \cdot 60}{t}$

1.2 Abstandsbestimmung**1.2.1 Feuer in der Kimm**

$$e = 2,075 \cdot (\sqrt{Fh} + \sqrt{Ah}) \quad (e \text{ [sm]} = \text{Entfernung; } Fh \text{ [m]} = \text{Feuerhöhe; } Ah \text{ [m]} = \text{Augeshöhe})$$

1.2.2 Radarreichweite

$$r = 2,23 \cdot (\sqrt{H} + \sqrt{h}) \quad (r \text{ [sm]} = \text{Radarreichweite; } H \text{ [m]} = \text{Zielhöhe; } h \text{ [m]} = \text{Antennenhöhe})$$

2. Stromaufgaben, Gezeiten**2.1 Stromaufgaben**

$$\vec{v}_{dW} + \vec{v}_{St} = \vec{v}_{üG}$$

$$\sin BS = \frac{StG}{FdW} \cdot \sin(StR - KüG) \quad (StR [^\circ]; StG [kn]; FdW [kn]; KüG [^\circ]; BS [^\circ])$$

$$FüG = StG \cdot \frac{\sin(StR + BS - KüG)}{\sin BS} \quad (StR [^\circ]; StG [kn]; FüG [kn]; KüG [^\circ]; BS [^\circ])$$

2.2 Gezeiten

$$WT = KT + H$$

(WT [m] = Wassertiefe; KT [m] = Kartentiefe; H [m] = Höhe der Gezeit)

2.3 Rechnerische Lösung nach A.T.T.

2.3.1. Rechnerische Ermittlung der Zeitunterschiede (ZUG) am Secondary Port

$$ZUG = ZUG_1 + (ZUG_2 - ZUG_1) \cdot \frac{T - T_1}{T_2 - T_1}$$

ZUG [min]	=	gesuchter Zeitunterschied am SecP
ZUG ₁ [min]	=	Zeitunterschied beim Zeitpunkt T ₁ (= 1. Zeitangabe des Wertepaares am StP)
ZUG ₂ [min]	=	Zeitunterschied beim Zeitpunkt T ₂ (= 2. Zeitangabe des Wertepaares am StP)
T ₁ [h]	=	1. Zeitangabe am StP (Kopfzeile) vor der aktuellen Zeit T
T ₂ [h]	=	2. Zeitangabe am StP (Kopfzeile) nach der aktuellen Zeit T
T [h]	=	aktuelle Zeit am StP, für die ZUG für den SecP gesucht wird
StP	=	Standard Port
SecP	=	Secondary Port

(Gehören T und/oder T₂ nicht dem selben Tag an wie T₁, sind zu T und/oder T₂ 24 h hinzuzufügen.)

2.3.2 Rechnerische Ermittlung der Höhenunterschiede (HUG) am Secondary Port

Hierbei soll unterschieden werden zwischen dem HUG zur HW-Zeit und zur LW-Zeit.

HUG zur HW-Zeit

$$HUG = HUG_{MHWN} + (HUG_{MHWS} - HUG_{MHWN}) \cdot \frac{HWH - MHWN}{MHWS - MHWN}$$

HUG zur LW-Zeit

$$HUG = HUG_{MLWN} + (HUG_{MLWS} - HUG_{MLWN}) \cdot \frac{LWH - MLWN}{MLWS - MLWN}$$

HWH [m]	=	Hochwasserhöhe am gesuchten Tag am StP (evtl. korrigiert um SC, siehe unten)
MHWS [m]	=	mittleres Springhochwasser am StP
MHWN [m]	=	mittleres Nipphochwasser am StP
LWH [m]	=	Niedrigwasserhöhe am gesuchten Tag am StP
MLWS [m]	=	mittleres Springniedrigwasser am StP
MLWN [m]	=	mittleres Nippniedrigwasser am StP
HUG_MHWS [m]	=	Höhenunterschied für Springhochwasser am SecP
HUG_MHWN [m]	=	Höhenunterschied für Nipphochwasser am SecP
HUG_MLWS [m]	=	Höhenunterschied für Springniedrigwasser am SecP
HUG_MLWN [m]	=	Höhenunterschied für Nippniedrigwasser am SecP

Der um SC „berichtigte Wert“ für den Standard Port (StP) ist ggf. für die Berechnung von HUG am Secondary Port in den Formeln der Ziffer 2.3.2 zu verwenden.

2.3.3 Rechnerische Ermittlung der Höhe der Gezeit (H) zu einem bestimmten Zeitpunkt

$$H = LWH + (HWH - LWH) \cdot f \quad \text{oder} \quad H = LWH + \text{Range} \cdot f$$

f	=	Factor in den Tidenkurven nach A.T.T.
H [m]	=	Höhe der Gezeit
HWH [m]	=	High Water Height (Hochwasserhöhe)
LWH [m]	=	Low Water Height (Niedrigwasserhöhe)
Range [m]	=	Tidenfall/Tidenstieg (TF bzw. TS)

2.3.4 Rechnerische Ermittlung des Zeitpunktes, zu dem eine bestimmte Höhe der Gezeit (H) vorhanden ist

$$f = \frac{H - LWH}{HWH - LWH} \quad \text{oder} \quad f = \frac{H - LWH}{\text{Range}}$$

3. Berechnung von Kursen und Distanzen**Abkürzungen zur Ziffer 3**

a	Abweichung in sm
α	Kurswinkel (vollkreisig) [Kurs α siehe zusätzlich „Bemerkungen“ auf Seite 270]
α	Großkreisanfangskurs
α_r	Winkelwert auf Taschenrechner
β	Großkreisendkurs
b	Breitendistanz in sm
d	Distanz in sm
d_G	Großkreisdistanz in sm
δ_G	Großkreisdistanz in Grad
D_1	1. Meridian des Scheitelpunktes in der vorgegebenen Breite [Mischsegeln siehe Ziffer 3.4.5]
D_2	2. Meridian des Scheitelpunktes in der vorgegebenen Breite [Mischsegeln siehe Ziffer 3.4.5]
ℓ	Äquatormeridiandistanz in sm
$\Delta\lambda_1$	Längenunterschied des ersten Großkreisabschnitts
$\Delta\lambda_2$	Längenunterschied auf maximaler Breite
$\Delta\lambda_3$	Längenunterschied des zweiten Großkreisabschnitts
λ	geografische Länge
φ	geografische Breite
$\varphi_A; \lambda_A$	Abfahrtsort A
$\varphi_B; \lambda_B$	Bestimmungsort B
φ_M	Mittelbreite
φ_S	Breite des Scheitelpunktes
φ_{\max}	höchste anzusteuernde Breite
ϕ	vergrößerte Breite
ϕ_A	vergrößerte Breite von A
ϕ_B	vergrößerte Breite von B

3.1 Begriffe und Definitionen

Seemeile:	1 sm	=	1.852 m
Breitenunterschied $\Delta\varphi$:	$\Delta\varphi$	=	$\varphi_B - \varphi_A$
Längenunterschied $\Delta\lambda$:	$\Delta\lambda$	=	$\lambda_B - \lambda_A$
Breitendistanz b:	b[sm]	\triangleq	$\Delta\varphi[']$
Äquatormeridiandistanz ℓ :	ℓ [sm]	\triangleq	$\Delta\lambda[']$

Bemerkungen

Wenn die Vorzeichenvereinbarung auf Seite 1 konsequent angewendet wird und die Kursangabe α aus Taschenrechnern viertelkreisig erfolgt, erhalten die Zwischenergebnisse für den Breiten- und den Längenunterschied ($\Delta\varphi$ und $\Delta\lambda$) die richtigen Vorzeichen (N, E, S, W), mit denen der gefundene Kurswinkel in einen vollkreisigen Kurs umgewandelt wird.

Beispiel: Taschenrechnerwert $\alpha_r = 050^\circ$, $\Delta\varphi = \text{Süd}$ und $\Delta\lambda = \text{Ost}$,
dann ist der Kurs „S 50° E“, α vollkreisig = 130°.

Beispiel: Taschenrechnerwert $\alpha_r = 030^\circ$, $\Delta\varphi = \text{Süd}$ und $\Delta\lambda = \text{West}$,
dann ist der Kurs „S 30° W“, α vollkreisig = 210°.

Umwandeln in Dezimaldarstellung bzw. umgekehrt in Grad und Minuten

Bei Eingabe in den Rechner sind Winkelangaben in ° und ' vorher in Dezimalgrade umzuwandeln.

Umwandeln der Minuten in Dezimaldarstellung: $x = \text{Grad} + \frac{\text{Minuten}}{60}$

Beispiel:	$\varphi = 25^\circ 21,1' \text{N}$	$\lambda = 60^\circ 34,4' \text{W}$
	$x = 25 + \frac{21,1}{60}$	$x = 60 + \frac{34,4}{60}$
	$\varphi = 25,351667^\circ \text{N}$	$\lambda = 60,573333^\circ \text{W}$

Umwandeln in Grad und Minuten: $\text{Minuten} = (x - \text{Grad}) \cdot 60$

Beispiel:	$\varphi = 34,798845^\circ \text{N}$	$\lambda = 31,344444^\circ \text{W}$
	$\text{Minuten} = (34,798845 - 34) \cdot 60$	$\text{Minuten} = (31,344444 - 31) \cdot 60$
	$\varphi = 34^\circ 47,9' \text{N}$	$\lambda = 31^\circ 20,7' \text{W}$

3.2 Besteckrechnung nach Mittelbreite

Mittlere Breite φ_m : $\varphi_m = \frac{1}{2} \cdot (\varphi_A + \varphi_B)$

Breitendistanz b : $b = d \cdot \cos \alpha$

Äquatormeridiandistanz ℓ : $\ell = \frac{a}{\cos \varphi_m}$

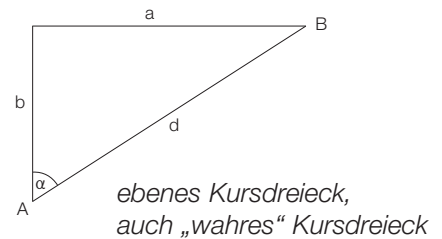
Abweichung a : $a = \ell \cdot \cos \varphi_m$
 $a = d \cdot \sin \alpha$

Kurs α : $\tan \alpha_r = \frac{\Delta \lambda \cdot \cos \varphi_m}{\Delta \varphi}$ (α_r = viertelkreisig)

$\tan \alpha_r = \frac{a}{b} = \frac{\ell}{b} \cdot \cos \varphi_m$ (α_r = viertelkreisig)

Distanz d : $d = \sqrt{a^2 + b^2}$

Bestimmungsort: $\varphi_B = \varphi_A + \Delta \varphi$
 $\lambda_B = \lambda_A + \Delta \lambda$



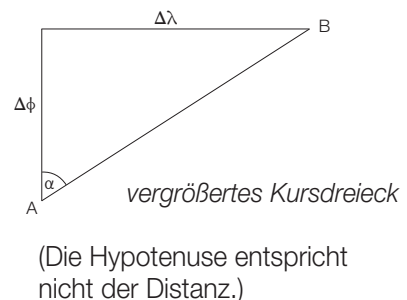
3.3 Besteckrechnung nach vergrößerter Breite

$\phi = \frac{10800'}{\pi} \cdot \ln \left(\tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right)$

$\Delta \phi = \phi_B - \phi_A = \frac{10800'}{\pi} \cdot \ln \left(\frac{\tan \left(45^\circ + \frac{\phi_B}{2} \right)}{\tan \left(45^\circ + \frac{\phi_A}{2} \right)} \right)$

$\tan \alpha_r = \frac{\Delta \lambda [']}{\Delta \phi [']}$ (α_r = viertelkreisig)

$d = \left| \frac{b}{\cos \alpha} \right|$



(Die vergrößerten Breiten ϕ_A und ϕ_B können auch der Anlage 2 „Vergrößerte Breiten“ entnommen werden.)

Hinweis: Bei Besteckrechnungen nach „vergrößerter Breite“ gibt es zur Rechnung mit fünf Nachkommastellen folgende Ausnahme: Bei sehr geringem Breitenunterschied (ca. $< 2^\circ$) bzw. nahezu östlichen oder westlichen Kursen treten – bei nur fünf Stellen hinter dem Komma – Rundungsfehler bei den Distanzen auf (wegen $\tan \alpha \rightarrow \infty$ und $\cos \alpha \rightarrow 0$ für $\alpha \rightarrow 90^\circ$).

In solchen Fällen verfährt man wie folgt: Berechnung von ϕ_A und ϕ_B mittels der entsprechenden Formel ohne Rundung der Werte und Speichern im Arbeitsspeicher des Rechners (bei der Anwendung der Anlage 2 „Vergrößerte Breiten“ muss sehr sorgfältig zum nächsten in der Tafel angegebenen Wert gerundet werden!). Den ermittelten Wert für $\tan \alpha_r$ wandelt man ohne Rundung in den entsprechenden \cos -Wert um. Im weiteren Rechenverlauf $d = b / \cos \alpha_r$ verwendet man den nicht gekürzten \cos -Wert weiter, um zum richtigen Ergebnis zu kommen.

[Alternative: Anwendung des Verfahrens nach Mittelbreite. Bei sehr geringen Breitenunterschieden stellt die Mittelbreite eine ausgezeichnete Näherung dar.]

Bei der Berechnung von d wird auf das ebene Kursdreieck entsprechend Ziffer 3.2 zurückgegriffen.

3.4 Großkreisrechnung

3.4.1 Großkreisdistanz

$$\cos \delta_G = \sin \varphi_A \cdot \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cdot \cos \varphi_B \cdot \cos \Delta\lambda \quad [^\circ]$$

$$d_G = \delta_G \cdot 60 \text{ sm}/^\circ$$

3.4.2 Anfangskurs

a) ohne Kenntnis von d_G

$$\tan \alpha_r = \frac{\sin \Delta\lambda}{\tan \varphi_B \cdot \cos \varphi_A - \sin \varphi_A \cdot \cos \Delta\lambda} \quad \begin{array}{l} \text{bei östlichen Kursen} \\ \text{bei westlichen Kursen} \end{array} \quad \begin{array}{l} \alpha_r > 0 \\ \alpha = \alpha_r \\ \alpha = \alpha_r + 180^\circ \end{array} \quad \begin{array}{l} \alpha_r < 0 \\ \alpha = \alpha_r + 180^\circ \\ \alpha = \alpha_r + 360^\circ \end{array}$$

b) nach Ermittlung von d_G

$$\cos \alpha_r = \frac{\sin \varphi_B - \cos \delta_G \cdot \sin \varphi_A}{\cos \varphi_A \cdot \sin \delta_G} \quad \begin{array}{l} \text{bei östlichen Kursen} \\ \text{bei westlichen Kursen} \end{array} \quad \begin{array}{l} \alpha = \alpha_r \\ \alpha = 360^\circ - \alpha_r \end{array}$$

3.4.3 Scheitelpunkt

(Berechnung des dem Abfahrtsort geografisch am nächsten gelegenen Scheitelpunktes)

$$\cos |\varphi_S| = |\sin \alpha \cdot \cos \varphi_A| \quad (\varphi_S \text{ ist mit } \varphi_A \text{ gleichnamig})$$

$$\tan \Delta\lambda_S = \frac{1}{\sin \varphi_A \cdot \tan \alpha} \quad (\Delta\lambda_S \text{ ist der Längenunterschied zum geografisch nächst gelegenen Scheitelpunkt})$$

$$\cos |\Delta\lambda_S| = \frac{\tan \varphi_A}{\tan \varphi_S} \quad (\text{Bei polwärtigem Anfangskurs ist } \Delta\lambda_S \text{ für östliche Kurse positiv, für westliche Kurse negativ})$$

$$\lambda_S = \lambda_A + \Delta\lambda_S$$

3.4.4 Meridian-Schnittpunkte

$$\tan \varphi_M = \tan \varphi_S \cdot \cos (\lambda_M - \lambda_S) \quad (\lambda_M \text{ ist die geografische Länge des vorgegebenen Meridians, } \varphi_M \text{ ist die geografische Breite des Schnittpunktes des Großkreises mit } \lambda_M)$$

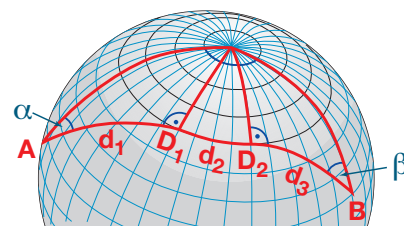
3.4.5 Mischregeln (Kombination von zwei Großkreisen und Loxodrome)

$$\cos \Delta\lambda_1 = \frac{\tan \varphi_A}{\tan \varphi_{\max}} ; \cos d_1 = \frac{\sin \varphi_A}{\sin \varphi_{\max}} ; \sin \alpha = \frac{\cos \varphi_{\max}}{\cos \varphi_A}$$

$$\cos \Delta\lambda_3 = \frac{\tan \varphi_B}{\tan \varphi_{\max}} ; \cos d_3 = \frac{\sin \varphi_B}{\sin \varphi_{\max}} ; \sin \beta = \frac{\cos \varphi_{\max}}{\cos \varphi_B}$$

$$\Delta\lambda_2 = \Delta\lambda - (\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_3) \Rightarrow \delta_2 = \Delta\lambda_2 \cdot \cos \varphi_{\max}$$

$$d_2 = \delta_2 \cdot 60 \text{ sm}/^\circ$$



4. Astronomische Navigation

Abkürzungen zur Ziffer 4

(Es gelten die Abkürzungen zur Ziffer 3, soweit relevant. Zusätzlich gelten nachfolgende Abkürzungen)

Az	Azimut
Az _r	Winkelwert, viertelkreisig bzw. halbkreisig (z. B. Azimut über Ortsstundenwinkel)
β	Sternwinkel
Chr	Chronometerablesung
δ	Deklination
Gb	Gesamtbeschickung
Grt	Greenwicher Stundenwinkel
Grt _*	Greenwicher Stundenwinkel für einen Fixstern
Grt _γ	Greenwicher Stundenwinkel des Frühlingspunktes
h _b	beobachtete Höhe
h _r	berechnete Höhe
h ₀	wahre Höhe im Meridian
Ka	Kimmabstand
λ	geografische Länge
λiZ	geografische Länge im Zeitmaß
MOZ	mittlere Ortszeit
φ	geografische Breite
Std	Chronometerstandberichtigung
t	Ortsstundenwinkel
UT1	Weltzeit 1
WOZ	wahre Ortszeit
Z ₀	Zenitdistanz eines Gestirns im oberen Meridian
ZU	Zeitunterschied
ZZ	Zonenzeit

4.1 Zeitverwandlung und Ortsstundenwinkel

Chr	+	Std	=	UT1
MOZ (λ _A)	+	ZU (Δλ)	=	MOZ (λ _B)
UT1	+	ZU	=	ZZ
UT1	+	λiZ	=	MOZ
		λiZ [h]	=	$\frac{\lambda [^\circ]}{15}$

λ	λ iZ
15°	1 h
1°	4 min
15'	1 min
1'	4 s
15" = 0,25'	1 s

$$t = \text{Grt} + \lambda$$

bei westlichen Ortsstundenwinkeln:

$$0^\circ \leq t \leq 180^\circ \rightarrow t_w = t$$

bei östlichen Ortsstundenwinkeln:

$$180^\circ \leq t \leq 360^\circ \rightarrow t_e = 360^\circ - t$$

$$\text{Grt}_* = \text{Grt}_\gamma + \beta$$

4.2 Höhenbeschickung

$$h_b = \text{Ka} + \text{Gb}$$

4.3 Höhe und Azimut

4.3.1 Höhe

$$\sin h_r = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t$$

$$\Delta h = h_b - h_r$$

4.3.2 Azimut

a) über Ortsstundenwinkel

$$\tan Az_r = \frac{\sin t}{\sin \varphi \cdot \cos t - \tan \delta \cdot \cos \varphi}$$

$\begin{array}{ll} \text{wenn } t < 180^\circ & \\ \text{wenn } Az_r < 0, & \text{dann } Az = Az_r + 360^\circ \\ & \text{sonst } Az = Az_r + 180^\circ \end{array}$	$\begin{array}{ll} \text{wenn } t > 180^\circ & \\ \text{wenn } Az_r < 0, & \text{dann } Az = Az_r + 180^\circ \\ & \text{sonst } Az = Az_r \end{array}$
--	--

b) über Höhe

$$\cos Az_r = \frac{\sin \delta - \sin h \cdot \sin \varphi}{\cos h \cdot \cos \varphi}$$

$\begin{array}{ll} \text{bei östlichen Ortsstundenwinkeln:} & t > 180^\circ: \quad 0^\circ \leq Az = Az_r < 180^\circ \\ \text{bei westlichen Ortsstundenwinkeln:} & t < 180^\circ: \quad 180^\circ \leq Az = 360^\circ - Az_r < 360^\circ \end{array}$

c) über Ortsstundenwinkel und Höhe

$$\sin Az_r = \frac{\cos \delta \cdot \sin t}{\cos h}$$

Das vollkreisige Azimut ergibt sich aus dem viertelkreisigen Az_r anhand der Problemstellung.

d) Azimut beim wahren Auf- und Untergang

$$\cos Az_r = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$$

beim Aufgang: $Az = Az_r$
beim Untergang: $Az = 360^\circ - Az_r$

4.3.3 Meridiandurchgang

$$z_0 = \varphi - \delta \quad (\text{Meridianzenitdistanz})$$

$$|h_0| = 90^\circ - |z_0| = 90^\circ - |\varphi - \delta| \quad (\text{Meridianhöhe})$$

h_0 und z_0 sind ungleichnamig

Anlage 1

Fahrtfehlerberichtigung des Kreiselkompasses

(Formel siehe Ziffer 1.1.3)

LAT	Vorzeichen von Ff				FÜG (in kn)											
	—		+		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30		
20°	0	360	180	180	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0		
	30	330	150	210	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7		
	60	300	120	240	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0		
30°	0	360	180	180	0,2	0,4	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2		
	30	330	150	210	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9		
	60	300	120	240	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1		
40°	0	360	180	180	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5		
	30	330	150	210	0,2	0,4	0,6	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1		
	60	300	120	240	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2		
45°	0	360	180	180	0,3	0,5	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,4	2,7		
	15	345	165	195	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,1	2,3	2,6		
	30	330	150	210	0,2	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,3		
	45	315	135	225	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8		
	60	300	120	240	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3		
	75	285	105	255	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7		
50°	0	360	180	180	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0		
	15	345	165	195	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,5	2,8		
	30	330	150	210	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5		
	45	315	135	225	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0		
	60	300	120	240	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4		
	75	285	105	255	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7		
55°	0	360	180	180	0,3	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3		
	15	345	165	195	0,3	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,2		
	30	330	150	210	0,3	0,6	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,2	2,5	2,8		
	45	315	135	225	0,2	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3		
	60	300	120	240	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6		
	75	285	105	255	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8		
60°	0	360	180	180	0,4	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	2,7	3,0	3,4	3,8		
	15	345	165	195	0,4	0,7	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5	2,9	3,3	3,6		
	30	330	150	210	0,3	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6	2,9	3,2		
	45	315	135	225	0,3	0,5	0,8	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,3	2,6		
	60	300	120	240	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8		
	75	285	105	255	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9		
65°	0	360	180	180	0,5	0,9	1,4	1,8	2,3	2,7	3,2	3,6	4,0	4,5		
	15	345	165	195	0,4	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,3		
	30	330	150	210	0,4	0,8	1,2	1,5	1,9	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7		
	45	315	135	225	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0		
	60	300	120	240	0,2	0,4	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1		
	75	285	105	255	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1		
70°	0	360	180	180	0,6	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	5,6		
	15	345	165	195	0,5	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7	4,2	4,7	5,2		
	30	330	150	210	0,5	1,0	1,4	1,9	2,4	2,8	3,3	3,7	4,2	4,6		
	45	315	135	225	0,4	0,8	1,2	1,5	1,9	2,3	2,6	3,0	3,3	3,7		
	60	300	120	240	0,3	0,5	0,8	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,3	2,6		
	75	285	105	255	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3		
75°	0	360	180	180	0,7	1,5	2,2	2,9	3,7	4,4	5,1	5,9	6,6	7,3		
	15	345	165	195	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,5	6,2	6,8		
	30	330	150	210	0,6	1,3	1,9	2,5	3,1	3,7	4,3	4,8	5,4	6,0		
	45	315	135	225	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,4	3,9	4,3	4,8		
	60	300	120	240	0,4	0,7	1,1	1,4	1,7	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3		
	75	285	105	255	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7		
80°	0	360	180	180	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	7,6	8,7	9,8	10,8		
	15	345	165	195	1,1	2,1	3,1	4,1	5,2	6,1	7,1	8,1	9,1	10,0		
	30	330	150	210	0,9	1,9	2,8	3,7	4,5	5,4	6,2	7,0	7,8	8,6		
	45	315	135	225	0,8	1,5	2,2	2,9	3,6	4,3	4,9	5,6	6,2	6,8		
	60	300	120	240	0,5	1,1	1,6	2,1	2,5	3,0	3,4	3,9	4,3	4,7		
	75	285	105	255	0,3	0,5	0,8	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,4		

Anlage 2

Vergrößerte Breiten

(Formel siehe Ziffer 3.3)

LAT	00'	Unt. für 1'	10'	Unt. für 1'	20'	Unt. für 1'	30'	Unt. für 1'	40'	Unt. für 1'	50'	Unt. für 1'
0°	0,0	1,00	10,0	1,00	20,0	1,00	30,0	1,00	40,0	1,00	50,0	1,00
1°	60,0	1,00	70,0	1,00	80,0	1,00	90,0	1,00	100,0	1,00	110,0	1,00
2°	120,0	1,00	130,0	1,00	140,0	1,00	150,0	1,00	160,1	1,00	170,1	1,00
3°	180,1	1,00	190,1	1,00	200,1	1,00	210,1	1,00	220,2	1,00	230,2	1,00
4°	240,2	1,00	250,2	1,00	260,2	1,00	270,3	1,00	280,3	1,00	290,3	1,00
5°	300,4	1,00	310,4	1,00	320,5	1,00	330,5	1,00	340,6	1,01	350,6	1,01
6°	360,7	1,01	370,7	1,01	380,8	1,01	390,8	1,01	400,9	1,01	411,0	1,01
7°	421,0	1,01	431,1	1,01	441,2	1,01	451,3	1,01	461,4	1,01	471,5	1,01
8°	481,6	1,01	491,7	1,01	501,8	1,01	511,9	1,01	522,0	1,01	532,1	1,01
9°	542,2	1,01	552,4	1,01	562,5	1,01	572,6	1,01	582,8	1,01	592,9	1,02
10°	603,1	1,02	613,2	1,02	623,4	1,02	633,6	1,02	643,7	1,02	653,9	1,02
11°	664,1	1,02	674,3	1,02	684,5	1,02	694,7	1,02	704,9	1,02	715,1	1,02
12°	725,3	1,02	735,5	1,02	745,8	1,02	756,0	1,02	766,3	1,03	776,5	1,03
13°	786,8	1,03	797,0	1,03	807,3	1,03	817,6	1,03	827,9	1,03	838,2	1,03
14°	848,5	1,03	858,8	1,03	869,1	1,03	879,4	1,03	889,8	1,03	900,1	1,03
15°	910,5	1,04	920,8	1,04	931,2	1,04	941,6	1,04	951,9	1,04	962,3	1,04
16°	972,7	1,04	983,1	1,04	993,5	1,04	1004,0	1,04	1014,4	1,04	1024,9	1,05
17°	1035,3	1,05	1045,8	1,05	1056,2	1,05	1066,7	1,05	1077,2	1,05	1087,7	1,05
18°	1098,2	1,05	1108,7	1,05	1119,3	1,05	1129,8	1,06	1140,4	1,06	1150,9	1,06
19°	1161,5	1,06	1172,1	1,06	1182,7	1,06	1193,3	1,06	1203,9	1,06	1214,5	1,06
20°	1225,1	1,06	1235,8	1,07	1246,4	1,07	1257,1	1,07	1267,8	1,07	1278,5	1,07
21°	1289,2	1,07	1299,9	1,07	1310,6	1,07	1321,4	1,08	1332,1	1,08	1342,9	1,08
22°	1353,7	1,08	1364,5	1,08	1375,3	1,08	1386,1	1,08	1396,9	1,08	1407,8	1,09
23°	1418,6	1,09	1429,5	1,09	1440,4	1,09	1451,3	1,09	1462,2	1,09	1473,1	1,09
24°	1484,1	1,10	1495,0	1,10	1506,0	1,10	1517,0	1,10	1528,0	1,10	1539,0	1,10
25°	1550,0	1,10	1561,0	1,11	1572,1	1,11	1583,2	1,11	1594,3	1,11	1605,4	1,11
26°	1616,5	1,11	1627,6	1,12	1638,8	1,12	1649,9	1,12	1661,1	1,12	1672,3	1,12
27°	1683,5	1,12	1694,7	1,12	1706,0	1,13	1717,3	1,13	1728,5	1,13	1739,8	1,13
28°	1751,2	1,13	1762,5	1,14	1773,8	1,14	1785,2	1,14	1796,6	1,14	1808,0	1,14
29°	1819,4	1,14	1830,9	1,15	1842,3	1,15	1853,8	1,15	1865,3	1,15	1876,8	1,15
30°	1888,4	1,16	1899,9	1,16	1911,5	1,16	1923,1	1,16	1934,7	1,16	1946,4	1,17
31°	1958,0	1,17	1969,7	1,17	1981,4	1,17	1993,1	1,17	2004,8	1,18	2016,6	1,18
32°	2028,4	1,18	2040,2	1,18	2052,0	1,18	2063,9	1,19	2075,7	1,19	2087,6	1,19
33°	2099,5	1,19	2111,5	1,20	2123,4	1,20	2135,4	1,20	2147,4	1,20	2159,4	1,21
34°	2171,5	1,21	2183,6	1,21	2195,7	1,21	2207,8	1,21	2219,9	1,22	2232,1	1,22
35°	2244,3	1,22	2256,5	1,22	2268,8	1,23	2281,0	1,23	2293,3	1,23	2305,6	1,23
36°	2318,0	1,24	2330,4	1,24	2342,8	1,24	2355,2	1,25	2367,6	1,25	2380,1	1,25
37°	2392,6	1,25	2405,2	1,26	2417,7	1,26	2430,3	1,26	2442,9	1,26	2455,6	1,27
38°	2468,3	1,27	2481,0	1,27	2493,7	1,28	2506,5	1,28	2519,3	1,28	2532,1	1,29
39°	2544,9	1,29	2557,8	1,29	2570,7	1,29	2583,7	1,30	2596,6	1,30	2609,7	1,30
40°	2622,7	1,31	2635,8	1,31	2648,9	1,31	2662,0	1,32	2675,2	1,32	2688,4	1,32
41°	2701,6	1,33	2714,9	1,33	2728,2	1,33	2741,5	1,34	2754,9	1,34	2768,3	1,34
42°	2781,7	1,35	2795,2	1,35	2808,7	1,35	2822,2	1,36	2835,8	1,36	2849,4	1,37
43°	2863,1	1,37	2876,8	1,37	2890,5	1,38	2904,3	1,38	2918,1	1,38	2931,9	1,39
44°	2945,8	1,39	2959,7	1,40	2973,7	1,40	2987,7	1,40	3001,7	1,41	3015,8	1,41
45°	3029,9	1,42	3044,1	1,42	3058,3	1,42	3072,6	1,43	3086,8	1,43	3101,2	1,44
46°	3115,5	1,44	3130,0	1,45	3144,4	1,45	3158,9	1,46	3173,5	1,46	3188,1	1,46
47°	3202,7	1,47	3217,4	1,47	3232,1	1,48	3246,9	1,48	3261,7	1,49	3276,6	1,49
48°	3291,5	1,50	3306,5	1,50	3321,5	1,51	3336,6	1,51	3351,7	1,52	3366,9	1,52
49°	3382,1	1,53	3397,4	1,53	3412,7	1,54	3428,0	1,54	3443,5	1,55	3458,9	1,55
50°	3474,5	1,56	3490,1	1,56	3505,7	1,57	3521,4	1,58	3537,1	1,58	3552,9	1,59
51°	3568,8	1,59	3584,7	1,60	3600,7	1,60	3616,7	1,61	3632,8	1,62	3649,0	1,62
52°	3665,2	1,63	3681,5	1,63	3697,8	1,64	3714,2	1,65	3730,7	1,65	3747,2	1,66
53°	3763,8	1,66	3780,4	1,67	3797,1	1,68	3813,9	1,68	3830,7	1,69	3847,7	1,70
54°	3864,6	1,70	3881,7	1,71	3898,8	1,72	3916,0	1,73	3933,2	1,73	3950,6	1,74
55°	3968,0	1,75	3985,4	1,75	4003,0	1,76	4020,6	1,77	4038,3	1,78	4056,1	1,78
56°	4073,9	1,79	4091,8	1,80	4109,8	1,81	4127,9	1,82	4146,1	1,82	4164,3	1,83
57°	4182,6	1,84	4201,0	1,85	4219,5	1,86	4238,1	1,87	4256,7	1,87	4275,5	1,88
58°	4294,3	1,89	4313,2	1,90	4332,2	1,91	4351,3	1,92	4370,5	1,93	4389,8	1,94
59°	4409,1	1,95	4428,6	1,96	4448,2	1,97	4467,8	1,98	4487,6	1,99	4507,4	2,00
LAT	00'	Unt. für 1'	10'	Unt. für 1'	20'	Unt. für 1'	30'	Unt. für 1'	40'	Unt. für 1'	50'	Unt. für 1'

Vergrößerte Breiten

(Formel siehe Ziffer 3.3)

LAT	00'	Unt. für 1'	10'	Unt. für 1'	20'	Unt. für 1'	30'	Unt. für 1'	40'	Unt. für 1'	50'	Unt. für 1'
60°	4527,4	2,01	4547,4	2,02	4567,6	2,03	4587,8	2,04	4608,2	2,05	4628,7	2,06
61°	4649,2	2,07	4669,9	2,08	4690,7	2,09	4711,6	2,10	4732,6	2,11	4753,7	2,12
62°	4775,0	2,14	4796,3	2,15	4817,8	2,16	4839,4	2,17	4861,1	2,18	4883,0	2,20
63°	4904,9	2,21	4927,0	2,22	4949,2	2,23	4971,6	2,25	4994,1	2,26	5016,7	2,27
64°	5039,4	2,29	5062,3	2,30	5085,3	2,32	5108,5	2,33	5131,8	2,34	5155,2	2,36
65°	5178,8	2,37	5202,5	2,39	5226,4	2,40	5250,5	2,42	5274,7	2,43	5299,0	2,45
66°	5323,5	2,47	5348,2	2,48	5373,0	2,50	5398,0	2,52	5423,2	2,53	5448,5	2,55
67°	5474,0	2,57	5499,7	2,59	5525,5	2,60	5551,6	2,62	5577,8	2,64	5604,2	2,66
68°	5630,8	2,68	5657,6	2,70	5684,6	2,72	5711,8	2,74	5739,2	2,76	5766,8	2,78
69°	5794,6	2,80	5822,6	2,82	5850,8	2,84	5879,2	2,87	5907,9	2,89	5936,8	2,91
70°	5965,9	2,94	5995,3	2,96	6024,9	2,98	6054,7	3,01	6084,8	3,03	6115,1	3,06
71°	6145,7	3,08	6176,5	3,11	6207,7	3,14	6239,0	3,17	6270,7	3,19	6302,6	3,22
72°	6334,8	3,25	6367,3	3,28	6400,1	3,31	6433,3	3,34	6466,7	3,37	6500,4	3,40
73°	6534,4	3,44	6568,8	3,47	6603,5	3,50	6638,5	3,54	6673,9	3,57	6709,6	3,61
74°	6745,7	3,65	6782,2	3,68	6819,0	3,72	6856,3	3,76	6893,9	3,80	6931,9	3,84
75°	6970,3	3,88	7009,2	3,93	7048,5	3,97	7088,2	4,02	7128,3	4,06	7169,0	4,11
76°	7210,1	4,16	7251,6	4,21	7293,7	4,26	7336,3	4,31	7379,4	4,36	7423,0	4,42
77°	7467,2	4,47	7511,9	4,53	7557,3	4,59	7603,2	4,65	7649,7	4,71	7696,8	4,78
78°	7744,6	4,84	7793,0	4,91	7842,1	4,98	7891,9	5,05	7942,4	5,13	7993,7	5,20
79°	8045,7	5,28	8098,5	5,36	8152,1	5,44	8206,6	5,53	8261,9	5,62	8318,1	5,71
80°	8375,2	5,81	8433,3	5,91	8492,3	6,01	8552,4	6,11	8613,5	6,22	8675,7	6,33
81°	8739,1	6,45	8803,6	6,57	8869,3	6,70	8936,3	6,83	9004,6	6,97	9074,3	7,11
82°	9145,5	7,26	9218,1	7,42	9292,2	7,58	9368,0	7,75	9445,5	7,92	9524,7	8,11
83°	9605,8	8,30	9688,9	8,51	9773,9	8,72	9861,2	8,95	9950,7	9,19	10 043	9,4
84°	10 137	9,7	10 234	10,0	10 334	10,3	10 437	10,6	10 542	10,9	10 652	11,3
85°	10 765	11,7	10 881	12,1	11 002	12,5	11 127	13,0	11 257	13,5	11 392	14,0
86°	11 533	14,6	11 679	15,3	11 832	16,0	11 992	16,8	12 160	17,6	12 336	18,6
87°	12 522	19,7	12 719	20,8	12 927	22,2	13 149	23,7	13 386	25,5	13 641	27,5
88°	13 916	29,9	14 216	32,8	14 543	36,2	14 906	40,5	15 311	45,9	15 770	53,0
89°	16 300	62,7	16 926	76,7	17 693	98,9	18 682	139,	20 076	238,	22 459	****
LAT	00'	Unt. für 1'	10'	Unt. für 1'	20'	Unt. für 1'	30'	Unt. für 1'	40'	Unt. für 1'	50'	Unt. für 1'