

# **Die Anwendung der astronomischen Navigation unter Benutzung des Taschenrechners**

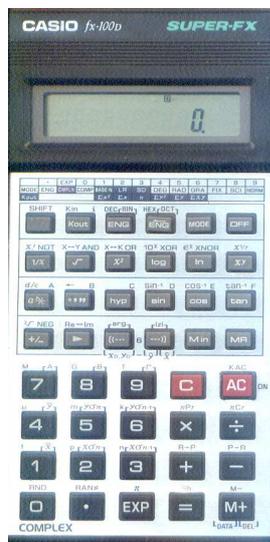
## Inhaltsverzeichnis

- 1. Vorkenntnisse**
  - 1.1. Trigonometrische Funktionen für die Anwendung des Taschenrechners
  - 1.2. Beispiele
  - 1.3. Vorzeichenregel lt. Einheitskreis
- 2. Mathematischen Beziehungen zur Anwendung für den Taschenrechner in der astronomischen Navigation**
  - 2.1. Berechnung der Seiten und Winkel im Nautischen Grunddreiecks
  - 2.2. Kompasskontrolle durch Errechnung des Zeitazimuts des Gestirns
  - 2.3. Kompasskontrolle durch Errechnung des Azimuts beim wahren Auf- bzw. Untergang des Gestirns
  - 2.4. Bestimmung der Auf- und Untergangszeiten der Gestirne
  - 2.5. Berechnen zum Zeitpunkt der Kulmination eines Gestirns
  - 2.6. Berechnen der Höhen im rechtwinkligen sphärisches Dreieck
  - 2.7. Berechnen der Länge eines Ortes zum Zeitpunkt der Kulmination und zur Berechnung von Kulminationszeiten
  - 2.8. Mathematische Beziehung zur Änderung der Höhe in Abhängigkeit von der Stundenwinkeländerung, der Breitenänderung und Azimutänderung
  - 2.9. Weitere mathematische Beziehungen zur Auflösung des nautischen Grunddreiecks
  - 2.10. alternative mathematische Beziehungen zur Auflösung des Nautischen Grunddreiecks
- 3. Überblick über Standort- und Standlinienbestimmungen in der astronomischen Navigation**
  - 3.1. Die Höhengleiche
  - 3.2. Der Schiffsort aus der korrespondierenden Gestirnsbeobachtung während der Kulmination eines Gestirns
  - 3.3. Bestimmung der geographischen Breite nach dem Nordstern
  - 3.4. Kompasskontrolle
- 4. Überblick über den Umfang der Messgeräte und ihre Kontrolle**
  - 4.1. Chronometer
  - 4.2. Stoppuhr
  - 4.3. Sextant
  - 4.4. Kompass
  - 4.5. Regeln zur Genauigkeit astronomischer Standlinien
  - 4.6. Regeln zur Umrechnung des Halb- bzw. Viertelkreisazimuts in das rechth. Azimut
- 5.) Überblick über die Dokumentation für die astronomische Navigation**
  - 5.1. Das Nautische Jahrbuch (NJ)
  - 5.2. Schaltkarten und Sternkarten zum NJ
- 6. Abkürzungen in der astronomischen Navigation**
- 7. Überblick über die zu lösenden Teilaufgaben in der astronomischen Navigation**
  - 7.1. Feststellen der Beobachtungszeit in UT-1
  - 7.2. Feststellen weiterer Ausgangsdaten
  - 7.3. Berechnen der Stundenwinkels ( $t_W$ ,  $t_E$ )
  - 7.4. Berechnung der Deklination ( $\delta$ )
  - 7.5. Berechnung der Deklination ( $\delta$ ) und des Stundenwinkels ( $t_E$ ,  $t_W$ ) für Fixsterne
- 8. Berechnen von Kulminationszeiten und Auf- und Untergangszeiten der Gestirne**
  - 8.1. Regeln
  - 8.2. Berechnen von Kulminationszeiten

- 8.3. Berechnen von Auf- und Untergangszeiten mit dem Nautischen Jahrbuch
- 8.4. Berechnen des Auf- bzw. Untergangs eines Gestirns mit den halben Tag- bzw. Nachtbogen
- 9. Beschickung der scheinbaren Höhe ( $K_a$ ) zur wahren beobachteten Höhe ( $h_b$ )**
  - 9.1. Gesamtbeschickung lt. Nautisches Jahrbuch
- 10. Astronomische Standlinien- bzw. Standortbestimmungen**
  - 10.1. Standortbestimmung nach der Meridianhöhe der Sonne
  - 10.2. Standlinie durch Berechnung der Höhengleiche Planet
  - 10.3. Breitenbestimmung und Kompasskontrolle mit dem Nordstern
- 11. Berechnungsblatt für die Anwendung des Taschenrechners**

# 1. Vorkenntnisse

## 1.1. Trigonometrische Funktionen für die Anwendung des Taschenrechners



Funktion	Abkürzung	Taste
Umwandlung Dezimal/Sexagesimalzahl	Umwandlung	[ <sup>o''</sup> ] [SHIFT]
Sinusfunktion	sin	[sin]
Kosinusfunktion	cos	[cos]
Tangensfunktion	tan	[tan]
Kosekansfunktion	cosec; csc (Kehrwert des Sinus)	[sin] [ $\frac{1}{x}$ ]
Sekansfunktion	sec (Kehrwert des Kosinus)	[cos] [ $\frac{1}{x}$ ]
Kotangensfunktion	cot (Kehrwert des Tangens:)	[tan] [ $\frac{1}{x}$ ]
Arkusfunktion	arc (Winkelfunktionswert in Winkel	[SHIFT] [ $f^{-1}$ ]
	z. B. arc sin	[SHIFT] [ $\sin^{-1}$ ]

## 1.2. Beispiele

$$\cot 50^\circ = \frac{1}{\tan 50^\circ} = 0,8391 \qquad \operatorname{cosec} 30^\circ = \frac{1}{\sin 30^\circ} = 2.$$

$$10^\circ 45' 36'' \qquad \text{Rechnereingabe: } 10[^\circ] 45[^\circ] 36[^\circ] \qquad = 10,76^\circ$$

$$10,76^\circ \qquad \text{Rechnereingabe: } 10,76 [\text{SHIFT}] [^\circ] \qquad = 10^\circ 45' 36''$$

$$\operatorname{cosec} 126^\circ 56' 48'' \qquad \text{Rechnereingabe: } 126[^\circ] 56[^\circ] 48[^\circ] [\sin] [\frac{1}{x}] \qquad = 1,25126$$

$$\operatorname{arc} \operatorname{cosec} 1,25126 \qquad \text{Rechnereingabe: } 1,25126 [\frac{1}{x}] [\text{SHIFT}] [\sin^{-1}] [\text{SHIFT}] [^\circ] = 53^\circ 03' 12''$$

$$53^\circ 03' 12'' [^\circ] [-] 180^\circ [\frac{1}{x}] = 126^\circ 56' 48''$$

## 1.3. Vorzeichenregel lt. Einheitskreis

Quadrant	sin	cos	tan
		cosec	sec
			cot
I	+	+	+
II	+	-	-
III	-	-	+
IV	-	+	-

## 2. Umfang der mathematischen Beziehungen zur Anwendung für den Taschenrechner in der astronomischen Navigation

### 2.1. Berechnung der Seiten und Winkel im Nautischen Grunddreiecks

Berechnung der Winkel:

Azimuth (Az)

$$\cos Az = \left( \frac{\sin \delta}{\cos \varphi_A \cdot \sin h} \pm \tan \varphi \right) \cdot \tan h \quad (1)$$

Stundenwinkel (t)

$$\cos t = \frac{\sin h}{\cos \delta \cdot \sin \varphi} \pm \tan \delta \cdot \tan \varphi \quad (2)$$

Parallaktischer Winkel (q)

$$\cos q = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi \cdot \sin h} \pm \tan h \cdot \tan \delta \quad (3)$$

Ist  $\varphi/\varphi_A$  ungleichnamig mit  $\delta/\varphi_B$ , gilt das positive (+) Vorzeichen;  
Ist  $\varphi/\varphi_A$  gleichnamig mit  $\delta/\varphi_B$ , gilt das (-) Vorzeichen

Berechnung der Seiten:

Höhe (h<sub>r</sub>)

$$\sin h = \frac{\cos \delta \cdot \cos t}{\tan \varphi} \pm \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

Deklination (δ)

$$\sin \delta = \frac{\cos \varphi \cdot \cos Az}{\tan h} \pm \sin \varphi \cdot \sin h \quad (5)$$

Breite (φ)

$$\sin \varphi = \frac{\cos h \cdot \cos q}{\tan \delta} \pm \sin h \cdot \sin \delta \quad (6)$$

Ist  $\varphi/\varphi_A$  gleichnamig mit  $\delta/\varphi_B$ , gilt das positive (+) Vorzeichen;  
Ist  $\varphi/\varphi_A$  ungleichnamig mit  $\delta/\varphi_B$ , gilt das (-) Vorzeichen

## 2.2. Kompasskontrolle durch Errechnung des Zeitazimuts des Gestirns

Berechnung des Zeitazimuts

$$\text{a.) } \tan Az = \left( \frac{\sin \varphi}{\tan t} \pm \frac{\tan \delta \cdot \cos \varphi}{\sin t} \right)^{-1} \quad (7)$$

ist  $\delta$  ungleichnamig  $\varphi$ , ist das Vorzeichen (+) zu verwenden  
ist  $\delta$  gleichnamig  $\varphi$ , ist das Vorzeichen (-) zu verwenden

$$\text{b.) } \tan Az = \frac{1}{\frac{\tan \delta \cdot \cos \varphi}{\sin t} \pm \frac{\sin \varphi}{\tan t}} \quad (8)$$

Rechnereingabe:

$\varphi$  N bzw.  $\delta$  N ist das Vorzeichen positiv (+)  
 $\varphi$  S bzw.  $\delta$  S ist das Vorzeichen negativ (-)

Umrechnung zum vollkreisigen Azimut:

$\tan Az$	OSW	in rw.Az
> 0	> 180°	Az = rw. Az
< 0	> 180°	180° + Az
< 0	< 180°	180° - Az
> 0	< 180°	180° - Az

## 2.3. Kompasskontrolle durch Errechnung des Azimuts beim wahren Auf- bzw. Untergang des Gestirns

Berechnung des Azimuts

$$\cos Az = \sec \varphi \cdot \sin \delta \quad (9)$$

$$\cos Az = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \quad (10)$$

beim Aufgang: rwAz = Az

beim Untergang: rwAz = 360° - Az

## 2.4. Bestimmung der Auf- und Untergangszeiten der Gestirne

Berechnen des halben Nachtbogens von Gestirnen

$$\cos t = -\tan \varphi \cdot \tan \delta \quad (11)$$

Berechnen des halben Tagbogens von Gestirnen

$$\cos t = \tan \varphi \cdot \tan \delta \quad (12)$$

## 2.5. Berechnen zum Zeitpunkt der Kulmination eines Gestirns

$$z_0 = h + \delta \quad \varphi/\delta \text{ ungleichnamig} \quad (13)$$

$$\underline{z_0 = h - \delta} \quad \varphi/\delta \text{ gleichnamig} \quad (14)$$

$$\delta = z_0 - h \quad \varphi/\delta \text{ ungleichnamig} \quad (15)$$

$$\underline{\delta = h - z_0} \quad \varphi/\delta \text{ gleichnamig} \quad (16)$$

$$h = z_0 - \delta \quad \varphi/\delta \text{ ungleichnamig} \quad (17)$$

$$\underline{h = z_0 + \delta} \quad \varphi/\delta \text{ gleichnamig} \quad (18)$$

( $\varphi = 90^\circ - z_0$ ) ( $z_0 = 90^\circ - \varphi$ )

$z_0$  Zenitdistanz

OKU  $t = 180^\circ$  und  $Az = 360^\circ$

UKU  $t = 360^\circ$  und  $Az = 180^\circ$

z.B. OKU in Greenwich UT1(h-min-s) für Grt  $360^\circ$  im NJ ermitteln

OKU auf  $\lambda_E$   $OKU - \lambda_E = OKU$  am  $O_g$  (in UT1)

OKU auf  $\lambda_w$   $OKU + \lambda_w = OKU$  am  $O_g$  (in UT1)

## 2.6. Berechnen der Höhen im rechtwinkligen sphärisches Dreieck

### Höhe im 6-Uhr Kreis

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad (15)$$

### Höhe in ersten Vertikal

$$\sin h = \operatorname{cosec} \varphi \cdot \sin \delta \quad (16)$$

### Höhe in der größten Ausweitung

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \operatorname{cosec} \delta \quad (17)$$

## 2.7. Berechnen der Länge eines Ortes zum Zeitpunkt der Kulmination und zur Berechnung von Kulminationszeiten

Umrechnungen von Zeitmaß in Gradmaß und umgekehrt

$$\text{Grad} = \text{Uhrzeit} \cdot 15 \quad \text{Uhrzeit} = \frac{\text{Grad}}{15} \quad (18/19)$$

Anwendbar bei:      Bogenmaß der Sonne      in Zeitmaß und umgekehrt  
                         Bogenmaß Planeten      in Zeitmaß und umgekehrt  
                         geografische Länge      in Zeitmaß und umgekehrt

Bei Umrechnungen Bogen- in Zeitmaß des Frühlingspunktes (Y) und des Mondes gilt das Schaltheft des Nautischen Jahrbuches (NJ) mit der jeweiligen Spalte.

## 2.8. Mathematische Beziehung zur Änderung der Höhe in Abhängigkeit von der Stundenwinkeländerung, der Breitenänderung und Azimutänderung

Mathematische Beziehung zur Änderung der Höhe

$$\Delta h = t \cdot \cos \varphi \cdot \sin Az \quad (20)$$

nach  $t$  (Ortsstundenwinkel) umgestellt und im Zeitmaß ausgedrückt:

$$\Delta t_{\min} = -\frac{\Delta h}{15} \cdot \sec \varphi \cdot \sec \delta \cdot \operatorname{cosec} t \quad (21)$$



### 3. Überblick über Standort- und Standlinienbestimmungen in der astronomischen Navigation

#### 3.1. Die Höhengleiche

Prinzip: Ein festgelegter Ort in der Seekarte wird benutzt, um dafür die Höhe und das Azimut zu berechnen. Nach Messung des Kimmabstandes eines Gestirns wird die Messung mit der Rechnung verglichen. Der Unterschied ist der Unterschied im Standort.

Ablauf: Kimmabstand zum Gestirn mittels Sextant feststellen und zur beobachteten Höhe beschicken, dazu die Beobachtungszeit in UT-1 festhalten. Gestirnskoordinaten ( $\text{Gr}/\delta$ ) aus dem NJ für UT-1 entnehmen und mit Koppelort  $O_G$  den  $\text{OSW}(t_w, t_E)$  bestimmen. Die  $h_r$  und das Az lt. Formel I und 11 berechnen für den  $O_G$  und mit  $h_b$  vergleichen. Standlinie in Seekarte konstruieren.

#### 3.2. Der Schiffsort aus der korrespondierenden Gestirnsbeobachtung während der Kulmination eines Gestirns

Prinzip: Während der Kulmination fällt das Nautische Grunddreieck als eine Linie zusammen. Somit ist die sphärische Strecke der Breite zusammengesetzt aus den Abschnitten der Höhe ( $h$ ) und der Deklination ( $\delta$ ) (Breitenbestimmung). Aus der Differenz der wahren Ortszeit im Vergleich mit einer für einen Ort bekannten Kulminationszeit (Greenwicher Zeit für den Nullmeridian – UT-1 –) ergibt sich die Längenstimmung

Ablauf: Kulminationszeit für den  $O_g$  voraus berechnen. Feststellen der Zeiten in UT-1 gleicher Höhen vor und nach der Kulmination durch zweimaliges Messen der Kimmabstände vor und nach der Kulmination und beschicken dieser zur wahren  $h$ . Das Mittel der beiden Zeiten bilden und damit den wahren Mittag bestimmen. Zeitdifferenz zur Kulminationszeit im Nullmeridian ist in Grad umzurechnen (Formel IX) und als Länge Ost oder West zu benennen. Den höchsten Kimmabstand zur Kulminationszeit am  $O_g$  messen und zur wahren  $h_b$  beschicken, zur Kulminationzeit die  $\delta$  aus dem NJ entnehmen und die Breite berechnen.

#### 3.3. Bestimmung der geographischen Breite nach dem Nordstern

Prinzip: Der Nordstern steht unter Anbringen von Berichtigungen im Himmelsnordpol. Die Zenit-Pol -Distanz ist somit gleich dem Breitenkomplement (nautisches Grunddreieck). Damit ist das Komplement des Kimmabstandes gleich der geographischen Breite.

Ablauf: Kimmabstand des Nordsterns in einer UT-1 feststellen und zur wahren  $h_b$  beschicken. Berichtigungen lt. NJ anfragen und Breite errechnen.

#### 3.4. Kompasskontrolle

Ablauf: Der Koppelort ist festzustellen. Mit UT-1 den OSW zu berechnen und die  $\delta$  aus dem NJ zu entnehmen. Das Azimut ( $Az$ ) wurde in UT-1 gepeilt, in dem der Gestirnmittelpunkt anvisiert wurde.

Rechnerische Auswertung siehe mathematischen Beziehungen (7), (8) bzw. (23).

## 4. Überblick über den Umfang der Messgeräte und ihre Kontrolle

### 4.1. Chronometer

Kontrolle nach internationalen Zeitzeichen (Funkzeitdienst). Nachweis des Chronometerstandes im Chronometertagebuch. (Anm.: Heute kann auch durch GPS die Zeit bestimmt werden.)

### 4.2. Stoppuhr

Kontrolle nach Chronometer (Vergleich der Laufzeit der Sekundenanzeige mit der Laufzeit der Sekundenanzeige am Chronometer für 5 Minuten.)

### 4.3. Sextant

Bestimmung der Indexberichtigung und Kontrolle der Kipp- und Neigungsfehler nach der Sonne.

Kippfehler: Limbus auf 120° Marke stellen, Knick Null bzw. Korrekturschraube an der oberen Kante bewegen

- winkelt linker gespiegelter Bogen nach oben ab, dann Indexspiegel nach vorn verändern
- winkelt linker gespiegelter Bogen nach unten ab, dann Indexspiegel nach hinten verändern

Indexfehlerbestimmung nach der Sonne: Sonnenradius für Tag und Datum aus NJ entnehmen. Sonnendurchmesser 2 mal ein messen, 1mal auf Haupt- und 1 mal Vorbogen messen.

$$If = \frac{n - n'}{2} \quad r_{\text{Sonne}} = \frac{n + n'}{4} \quad n/n' \text{ Sextantenwinkel in Minuten}$$

### 4.4. Kompass

Bestimmung von Kreisel-A (Kreiselkompass) bzw. der Ablenkung (Magnetkompass) nach Verfahren der terrestrischen und astronomischen Kompasskontrolle.

### 4.5. Regeln zur Genauigkeit astronomischer Standlinien

1. Eine falsche Höhenmessung um 1' bedeutet einen falschen Standort um 1 sm.
2. Eine falsche Zeitmessung von einer Sekunde bedeutet einen falschen Standort in der Länge von ca. 200 m auf der Breite 54° N/S, auf dem Äquator von ca. 500 m.
3. Bei Gleichsetzung der UTC mit der UT-1 kann bei Abweichung (DUT.1) um 0,07 Sekunden eine maximale Abweichung im Standort in der Länge von 325m am Äquator (das sind 188,7m auf 54,5° Breite) auftreten. Diese Abweichung kann jedoch niemals größer sein und tritt alle 200 Tage auf, wenn die DUT-1 am größten ist.

#### 4.6. Regeln zur Umrechnung des Halb- bzw. Viertelkreisazimuts in das rechtweisendes Azimut

Zählweise:	viertelkreisig: 000° bis 090° von S oder N,		
	halbkreisig: 000° bis 180° von S oder N		
Beispiel:	rw-Az	viertelkreisiges Az	halbkreisiges Az
	045°	N 045° E	N 045° E oder S 135° E
	120°	S 060° E	N 120° E oder S 060° E
	323°	E 037° W	N 037° W oder S 143° W

- Das halbkreisige Az ist N bei Breite N
- ist S bei Breite S
  - zählt nach E bei  $t_E$
  - zählt nach W bei  $t_W$

### 5. Überblick über die Dokumentation für die astronomische Navigation

#### 5.1. Das Nautische Jahrbuch (NJ)

Zum Nachschlagen der Argumente: (nach Tag und voller Std der UT-1)

- Grt und  $\delta$  der Planeten, Venus, Mars, Jupiter und Saturn mit Angaben der stündlichen Änderung "Unt", "HP" und "T". Der Wert Gr gibt die Helligkeit an.
- Der Grt des Frühlingspunktes (Y) zum Berechnen der OSW der Fixsterne mit der Kulminationszeit "T", sowie der Sternenwinkel  $\beta$ .
- Grt und  $\delta$  der Sonne mit Angaben von "T", "Unt" und "r".
- Grt und  $\delta$  des Mondes mit Angaben ( stündlich) von "Unt" und "HP", der Angaben der Kulminationszeit "T" und des Alters d.

#### 5.2. Schaltkarten und Sternkarten zum NJ

Dieses Beiheft zum Nautischen Jahrbuch ist immer gültig und dient dem Nachschlagen der restlichen Minuten und Sekunden der UT-1.

- Nachschlagen der Argumente: Eingang mit Min-Sek. der UT-1
- Zuwachs zum Grt
- Verbesserung zum Wert "Unt"

### 6. Abkürzungen in der astronomischen Navigation

a	Jahr	d	Tag
h	Stunde	min	Minute
s	Sekunde	00-06-56	Zeitangabe 00h 06min 56s
e	Zeitgleichung	ZU	Zeitzoneunterschied
$\lambda Z$	Länge in Zeit	Zi $\lambda$	Zeit in Länge
UTC	Weltzeit	UT-1	Weltzeit 1
DUT-1	Abweichung zwischen astronomischer Zeit und Atomzeit (UTC in UT-1)		
MGZ	mittlere Greenwicher Zeit	WGZ	wahre Greenwicher Zeit
MOZ	mittlere Ortszeit	WOZ	wahre Ortszeit
St-U	Stoppzeit	G	Chronometergang
St	Chronometerstand	Chr	Chronometerablesung
OKU	obere Kulmination	UKU	untere Kulmination
T	Kulminationszeit OKU für Greenwich Meridian in MOZ		

Gr <sub>t</sub>	Greenwicher Stundenwinkel	SW	Stundenwinkel, vollkreisig
Gr <sub>t</sub> *	Greenwicher Stundenwinkel Fixstern		
Gr <sub>t</sub> <sub>Y</sub>	Greenwicher Stundenwinkel Frühlingspunkt		
OSW	Ortstundenwinkel vollkreisig	t	Ortstundenwinkel halbkreisig
t <sub>E</sub>	östlicher Stundenwinkel	t <sub>W</sub>	westlicher Stundenwinkel
β	Sternstundenwinkel	SSW	Sternstundenwinkel
K <sub>a</sub>	Kimmabstand	h <sub>r</sub>	Höhe berechnet
h <sub>b</sub>	Höhe beobachtet	Δh	Höhendifferenz
h'	Höhe scheinbar	h <sub>s</sub>	Höhe scheinbar (K <sub>a</sub> )
Az	Azimut	Az <sub>r</sub>	Azimutwinkel viertelkreisig
rw-Az	rechtweisendes Azimut	δ	Deklination
Zuwachs	Zuwachs zum Gr <sub>t</sub> , Verbesserung für	Min Sek der UT-1	
Unt	Wert zur Verbesserung des Gr <sub>t</sub> bzw.	zur Verbesserung der δ	
Y Frühlingspunkt	* Fixstern	☼ Sonne	☀ Sonnenunterrand ☾ Mond

λ	geographische Länge	φ	geographische Breite
λ <sub>b</sub>	beobachtete Länge	φ <sub>b</sub>	beobachtete Breite
Δλ	Längenunterschied	Δφ	Breitenunterschied
λ <sub>g</sub>	gekoppelte Länge	φ <sub>g</sub>	gekoppelte Breite
O <sub>b</sub>	beobachteter Ort	O <sub>g</sub>	Koppelort
NJ	Nautisches Jahrbuch	NT	Nautische Tafeln
G <sub>b</sub>	Gesamtberichtigung	I <sub>b</sub>	Indexberichtigung
K <sub>t</sub>	Kimmtiefe	BV	Besteckversetzung
P	Höhenparallaxe	HP	Horizonttalparallaxe
R	Refraktion	A <sub>h</sub>	Augenhöhe
z <sub>O</sub>	Zenitdistanz oberer Meridian	z	Zenitdistanz
Δz	Zenitreduktion	b	Breitenkomplement
KrK	Kreiselkompasskurs	KrP	Kreiselkompasspeilung
MgK	Magnetkompasskurs	MgP	Magnetkompasspeilung
SSP	Schiffsseitenpeilung (von voraus 000° bis 180° Bb. bzw. Stb.)		
SP	Schiffspeilung (von voraus 000° bis 360° im Uhrzeigersinn)		

## 7. Überblick über die zu lösenden Teilaufgaben in der astronomischen Navigation

### 7.1. Feststellen der Beobachtungszeit in UT-1

Voraussetzung ist die Gangbestimmung des Chronometers lt. intern. Funkzeitsignal

*Beispiel:*

1. Ablesen der Chronometerzeit(UTC) und gleichzeitiges

Datum: 15.03.2003

Drücken der Stoppuhr auf Betrieb

UTC = 08-51-00

2. Feststellen der Messwerte

- KrP oder MgP bei Azimutkontrolle
- Kimmabstand zum Gestirn Höhenmessung

Nach Wertefeststellung drücke die Stoppuhr auf Stopp

St-U = 00-01-12

3. Herausnehmen des Chronometerstandes aus dem Chronometertagebuch

St = 00-00-42 (-)

4. algebraisches Addieren der Zeiten

UTC = 08-51-30

5. Umrechnen UTC in UT-1

Da die Differenzen niemals über 0,07s kommt (/DUT-1), kann die UTC gleich der UT-1 gesetzt werden.

**UT-1 = 08-51-30**

Soll mit maximaler Genauigkeit gearbeitet werden, so muss

die DUT-1 lt. Zeitzeichen aus dem Funkdienst bestimmt werden.  
Die UT-1 ist dann die UTC  $\pm$  DUT-1

### 7.2. Feststellen weiterer Ausgangsdaten

- Die Augenhöhe wird bestimmt von der Wasseroberfläche bis zur Augenhöhe des Beobachters in Meter  $A_h = 8,00\text{m}$
- Indexberichtigung des Sextanten  $I_b = + 1,5'$   
Koppelort (15.03.2003 um 08.51 Uhr)  
 $\varphi_g = 54^\circ 40' \text{ N}$   
 $\lambda_g = 014^\circ 30' \text{ E}$

### 7.3. Berechnen der Stundenwinkels ( $t_w, t_E$ )

1. Entsprechend dem Datum und mit UT-1 ins NJ gehen. Entnehmen des Grt' für die volle Stunde der UT-1. Dazu den Wert „Zuwachs Grt“ für 00-51-30 aus der Schalttafel entnehmen und den Grt berechnen! (Zur Ausführung mit dem Rechner sind 10-tel nautische Minuten in nautische Sekunden umzurechnen.)

Da die Planeten, die Sonne und der Mond in z. B. in einer Stunde unterschiedliche Wege an der scheinbaren Himmelskugel zurücklegen, ist im NJ der Wert „Unt“ (siehe entspr. Spalte) eingeführt worden:

Dieser Unterschied muss in der Schalttafel für Minuten, Sekunden mit beachtet werden, um den Grt auf die entsprechende UT1 zu berechnen:

15.03.2003 UT1= 08-51-30

Unt	Venus	= - 00' 30''
Unt	Sonne	= entfällt
Unt	Mond	= + 07' 36''
Unt	Frühlingspunkt	= entfällt

15.03.2003                      UT-1 08-51-30  
Werte entnehmen für UT-1 08-00-00                      Rest: 00-51-30

	Venus	Frühlingspunkt	Sonne	Mond
Grt'	334° 54' 30''	292° 30' 54''	297° 43' 36''	156° 11' 42''
Zuwachs	12° 52' 30''	12° 54' 36''	12° 52' 30''	12° 17' 18''
Vb	0° 00' 24''	entfällt	entfällt	0° 06' 30''
<u>Grt</u>	<u>347° 47' 24''</u>	<u>305° 25' 30''</u>	<u>310° 36' 06''</u>	<u>168° 23' 48''</u>

2. Zur Berechnung des Ortstundenwinkels (OSW) ist die geographische Länge des Koppelortes antragen:  $\lambda_g = 14^\circ 30,0' \text{ E}$

Bei Ostlänge zum Grt addieren (+)

Bei Westlänge vom Grt subtrahieren (-)

3. Gesamtberechnung zur Bestimmung von  $t_E, t_w$

Regel zur Bestimmung von t:  $t_E = \text{OSW größer als } 180^\circ (360^\circ - \text{OSW})$   
 $t_w = \text{OSW kleiner } 180^\circ$

	Venus	Frühlingspunkt	Sonne	Mond
Grt	347° 47' 24''	305° 25' 30''	310° 36' 06''	168° 23' 48''
$\lambda_E$	+ 14° 30' 00" E			
<u>OSW</u>	<u>002° 17' 24''</u>	<u>319° 55' 30''</u>	<u>325° 06' 06''</u>	<u>182° 53' 48''</u>
<u>t</u>	<u>002° 17' 50" W</u>	<u>040° 04' 30" E</u>	<u>034° 53' 54" E</u>	<u>177° 06' 12" E</u>

## 7.4. Berechnung der Deklination ( $\delta$ )

Entsprechend dem Pkt.7.3.1. für Datum und Uhrzeit das NJ aufschlagen. Entnehmen der  $\delta$  für die volle Stunde der UT-1, dazu den Wert "Unt" entnehmen oder berechnen.

$\frac{15.03.2003 \quad \text{UT-1} \quad 08-51-30}{\text{Werte entnehmen für } \underline{\text{UT-1}} \quad \underline{08-00-00} \quad \text{Rest: } 00-51-30}$

15.03.2003 UT1= 08-51-30

Unt Venus = - 00' 42''  
 Unt Sonne = - 01' 00''  
 Unt Mond = - 09' 00''  
 Unt Frühlingspunkt = entfällt

Das Vorzeichen ist in der Haupttafel zu erkennen.

Der Deklinationswert berechnet sich dann, wie folgt:

	Venus	Frühlingspunkt	Sonne	Mond
$\delta'$	16° 14' 18" S	aus Sternentafel	02° 15' 18" S	21° 38' 24" N
Vb	- 0' 36"	für Fixsterne	- 00' 57"	- 07' 42"
$\delta$	<u>16° 13' 42" S</u>	entfällt	<u>02° 14' 21" S</u>	<u>21° 30' 42" N</u>

Die Verbesserung Vb kann auch mit dem Taschenrechner berechnet werden.

Vb =  $\delta$  für 08-00-00 (UT-1) subtrahiert von  $\delta$  für 09-00-00 (UT-1) =  $\Delta\delta$

	Venus	Frühlingspunkt	Sonne	Mond
08-00-00	16° 14' 18" S	entfällt	02° 15' 18" S	21° 38' 24" N
09-00-00	<u>16° 13' 36" S</u>	entfällt	<u>02° 14' 18" S</u>	<u>21° 29' 24" N</u>
$\Delta\delta$	<u>= 0' 42" .</u>	entfällt	<u>= 1' 00" .</u>	<u>= 9' 00" .</u>

Vorzeichenregel: wird die  $\delta$  zu 09.00 Uhr größer, dann +  
wird die  $\delta$  zu 09.00 Uhr kleiner, dann -

Mit dem Recher: Die Vb wird ermittelt in dem "Vb" für 1. Min ermittelt wird.

$$Vb_{\min} = \frac{\Delta\delta}{60}$$

Das Ergebnis wird mit der Restzeit (Zuwachs Grt) (min, sek.) multipliziert.

z.B. Rechnereingabe für Venus:  $\delta_{Venus} = \left(\frac{\Delta\delta}{60} \cdot \Delta t_{\min/\text{sek}}\right) - \delta_{08.00 \text{ Uhr}}$

$$\delta_{Venus} = \left(\frac{00'42''}{60} \cdot 51\text{min } 30\text{sek}\right) - 14'18'' = 13' 41,57'' \approx 13' 42'' = \underline{\underline{16^\circ 13' 42''}}$$

## 7.5. Berechnung der Deklination ( $\delta$ ) und des Stundenwinkels ( $t_E, t_W$ ) für Fixsterne

Dazu wird der Stundenwinkel des Frühlingspunktes genutzt.

Der SSW bzw.  $\beta$  (Sternstundenwinkel) und die  $\delta$  (Deklination) des Fixsternes werden aus dem NJ direkt oder dem beiliegenden Verzeichnis der Hauptsterne zum NJ für Jahr und Monat entnommen. Zum Erreichen größerer Genauigkeit muss zwischen den Monatswerten des  $\beta$  und der  $\delta$  interpoliert werden.

Beispiel: 15.03.2003 UT1 = 08-51-30 Stern *Arcturus* Sternbild *Bootis*  
 Position:  $\varphi_g = 24^\circ 53,0' \text{ N}$ ,  $\lambda_g = 044^\circ 26,0' \text{ W}$

Sternverzeichnis: Arcturus (Nr. 53)	OSW <sub>Y</sub>	= 292° 30' 54''
	Zuwachs	= 12° 54' 36''
	$\beta$	= 146° 02' 48''
	Grt	= 451° 28' 18''
	$\lambda$	= 044° 26' 00'' W
	OSW	= 407° 02' 30''
	$t_w$	= 047° 02' 18''
	$\delta$	= 19° 09' 48" N

## 8. Berechnen von Kulminationszeiten und Auf- und Untergangszeiten der Gestirne

### 8.1. Regeln

- ❖ Wenn der GSW  $000^\circ$  beträgt, kulminiert das Gestirn über dem Greenwicher Meridian (obere Kulmination –Mittag–). Das Az beträgt  $180^\circ$ .
- ❖ Wenn der GSW  $180^\circ$  beträgt, kulminiert das Gestirn über dem  $180^\circ$  Meridian (Datumsgrenze) (untere Kulmination) – Mitternacht–. Das Az beträgt  $000^\circ$
- ❖ Die Kulminationszeit für den Meridian des Koppelortes wird bestimmt durch Umrechnung der geographischen Länge des Koppelortes in Zeit ( $\lambda_i Z$ ):
  - Bei westlicher Länge ist die  $\lambda_i Z$  mit der Kulminationszeit ( $000^\circ$  bzw.  $180^\circ$ ) zu addieren,
  - bei östlicher Länge ist die  $\lambda_i Z$  mit der Kulminationszeit zu subtrahieren, um die Kulminationszeit auf dem Ortsmeridian zu erhalten.

### 8.2. Berechnen von Kulminationszeiten

Beispiel: Sonne am 15.03.2003 Koppelort:  $\varphi_g = 54^\circ 40' \text{ N}$ ,  $\lambda_g = 014^\circ 30' \text{ E}$

Obere Kulmination der Sonne:

Prinzip: Für den Grt ist die genaue Zeit zu errechnen. Der Grt zur Zeit der oberen Kulmination beträgt  $360^\circ$ . Für UT-1 12-00-00 beträgt der Grt  $357^\circ 44' 18''$

$$\begin{array}{r}
 \text{UT-1} = 12-00-00 \\
 \text{Grt} = 360^\circ 00' 00'' \\
 \text{Grt} = - 357^\circ 44' 18'' \\
 \hline
 \Delta \text{Grt} = 002^\circ 15' 42''
 \end{array}$$

$\Delta \text{Grt} = 002^\circ 15' 42''$  in Zeit(/15)  $\equiv 00-09-03$

$$\begin{array}{r}
 12-00-00 + 00-09-03 = \underline{12-09-03} \\
 \text{Kulmination auf Meridian von Greenwich:} \quad T = 12-09-03 \\
 \lambda_E = 14^\circ 30' 00'': \quad \underline{\lambda_i Z = 00-58-00} \\
 \text{Kulminationszeit am Koppelort:} \quad \underline{T_{Og} = 11-11-03}
 \end{array}$$

### 8.3. Berechnen von Auf- und Untergangszeiten mit dem Nautischen Jahrbuch

Beispiel: Aufgang der Sonne am 15.03.2003, Koppelort:  $\varphi_g = 54^\circ 40' \text{ N}$ ,  $\lambda_g = 014^\circ 30' \text{ E}$   
Werte laut NJ Seite 29

	50° N	55° N
12. März 2003	06-21	06-24
17. März 2003	06-10	06-11
5 Tage	00-11	00-13

Interpolieren für den Tag 15. März 2003

$$\left(\frac{11 \text{ min}}{5 \text{ Tage}} = 2 \text{ min } 12 \text{ sek}\right) \cdot 3 \text{ Tage} = \underline{6 \text{ min } 36 \text{ sek}}$$

$$06-21-00 + 00-06 \ 36 = \underline{06-27-36} \text{ für } 15.03.2003 \ \varphi = 50^\circ \text{N}$$

$$\left(\frac{13 \text{ min}}{5 \text{ Tage}} = 2 \text{ min } 36 \text{ sek}\right) \cdot 3 \text{ Tage} = \underline{7 \text{ min } 48 \text{ sek}}$$

$$06-24-00 + 00-07 \ 48 = \underline{06-31-48} \text{ für } 15.03.2003 \ \varphi = 55^\circ \text{N}$$

Interpolieren für  $\varphi_g = 54^\circ 40' \text{ N}$

06-27-36	$\varphi \ 50^\circ 00' 00''$
<u>- 06-31-48</u>	<u><math>\varphi \ 54^\circ 40' 00''</math></u>
$\Delta \text{ Zeit} = 00-12-00$	<u><math>\Delta \varphi = 4^\circ 40' 00''</math></u>
für $\Delta \varphi 5^\circ$	
$\left(\frac{12 \text{ min } 00 \text{ sek}}{5}\right) \cdot 4^\circ 40' = \underline{11 \text{ min } 12 \text{ sek}}$	$06-27-36 - 00-11-12 = \underline{06-16-24}$

Sonnenaufgang am 15.03.2003 auf  $\varphi = 54^\circ 40' \text{ N}$ ,  $\lambda = 000^\circ 00' \text{ Greenwich Meridian}$

$$\begin{array}{r} \text{UT-1} = 06-16-24 \\ \underline{- \lambda \text{ iZ}} = 00-58-00 \\ \hline \text{UT-1} = \underline{05-18-24} \end{array} \qquad \text{MEZ} = \underline{06-18-24}$$

### 8.4. Berechnen des Auf- bzw. Untergangs eines Gestirns mit den halben Tag- bzw. Nachtbogen

Berechnen des halben Tagbogens der Sonne

Beispiel: Aufgang der Sonne am 15.03.2003, Koppelort:  $\varphi_g = 54^\circ 40' \text{ N}$ ,  $\lambda_g = 014^\circ 30' \text{ E}$

1. Berechnen des Kulminationszeitpunkts (siehe Pkt. 8.2)

$$\text{Kulmination auf Meridian von Greenwich:} \qquad \text{T} = 12-09-03$$

2. Bestimmung der Deklination aus dem NJ

$$\delta \text{ für } 12-09-03 \qquad \delta = 2^\circ 10' 00'' \text{ S}$$

$$\varphi_g = 54^\circ 40' \text{ N}$$

3. Berechnung von t mit mathematischer Beziehung (12)

$$\cos t = \tan \varphi \cdot \tan \delta$$

$$\cos t = \tan 54^\circ 40' 00'' \cdot \tan 02^\circ 10' 00''$$

$$\underline{t = 86^\circ 56' 27''}$$

$$\text{tiZ} = 05-47-48 \qquad \text{SA} = \text{T} - \text{tiZ} \qquad 12-09-03$$

$$\underline{- 05-47-48}$$

$$\underline{\underline{= 06-21-15}}$$

Sonnenaufgang am 15.03.2003

## 9. Beschickung der scheinbaren Höhe (Ka) zur wahren beobachteten Höhe (hb)

### 9.1. Gesamtbeschickung lt. Nautisches Jahrbuch

$$h_b = K_a + G_b$$

In der Gesamtbeschickung sind enthalten:

	Sonne	Mond	Planeten	Fixsterne
Kimmtiefe	ja	ja	ja	ja
astronomische Refraktion	ja	ja	ja	ja
Parallaxe	konstant 0,15'	NJ	NJ	entfällt
Gestirnhalbmesser	NJ	NJ	entfällt	entfällt

## 10. Astronomische Standlinien- bzw. Standortbestimmungen

### 10.1. Standortbestimmung nach der Meridianhöhe der Sonne

Tag: 15.03.2003       $\varphi_g = 39^\circ 32,0' N$ ,  $\lambda_g = 19^\circ 23,0' W$       Ah = 6,5 Meter  
 UT-1 = 13-29-05      Ka =  $47^\circ 57,5'$

Kulmination auf dem Greenwicher Meridian (berechnet nach Schema Pkt. 9.1.) T = 12-09-03

$$\begin{aligned} K_a &= 47^\circ 57,5' \\ I_b &= + 2,5' \\ G_b &= + 10,8' \\ \hline h_b &= 48^\circ 10,8' \end{aligned}$$

Breitenbestimmung: (Formel (13) bis (18))

$$\begin{aligned} \delta &= 2^\circ 10' 00'' S \\ b &= h_b + \delta \\ \varphi &= 90^\circ - b \\ \varphi_b &= 39^\circ 39' 12'' N \end{aligned}$$

Längenbestimmung

$$\begin{aligned} T_{\text{Greenwich}} &= 12-09-03 & \text{Grt} &= 360^\circ 00' 00'' \\ \text{UT-1} &= 13-29-05 & \text{Grt} &= 020^\circ 00' 42'' \\ \Delta \text{Zeit} &= 1-20-02 & \Delta \text{Grt} &= 020^\circ 00' 48'' \\ \underline{\underline{Zi\lambda}} &= 020^\circ 00,5' W & \underline{\underline{\lambda_b}} &= 020^\circ 00,8' W \end{aligned}$$

### 10.2. Standlinie durch Berechnung der Höhengleiche Planet

15.03.2003 auf  $\varphi_g = 24^\circ 53' N$ ,  $\lambda_g = 044^\circ 26' W$  Ka =  $46^\circ 28,5'$ , Ah = 12m, Ib = - 0,8'  
**Venus:** Unt<sub>Grt</sub> = - 0,5'; Unt <sub>$\delta$</sub>  = 0,7'; HP = 0,1'

$$\begin{aligned} K_a &= 21^\circ 18,5' & \text{UT-1}' &= 08-53-00 & \text{Grt}' &= 334^\circ 54' 30'' & \delta' &= 16^\circ 14' 18'' S \\ G_b' &= - 8,5' & \text{Verb G} &= + 00-03 & \text{Zuwachs} &= 013^\circ 33' 48'' & \underline{\underline{Vb Unt}} &= 0' 36'' \\ \underline{\underline{Zb}} &= + 0,1' & \underline{\underline{\text{Stop-U}}} &= + 01-12 & \underline{\underline{Vb Unt}} &= - 00' 30'' & \underline{\underline{\delta'}} &= 16^\circ 13' 42'' S \\ \underline{\underline{h_b}} &= 21^\circ 10,1' & \underline{\underline{\text{UT-1}}} &= 08-54-15 & \underline{\underline{\text{Grt}}} &= 347^\circ 27' 48'' \end{aligned}$$

Mit den mathematischen Beziehungen (1) und (4) bzw. (22) und (24) bzw. (25) wird die Höhengleiche berechnet. Die Standlinien können entsprechend konstruiert werden

$$\begin{aligned} h_r &= 20^\circ 55' 36'' \\ \underline{\underline{h_b}} &= 21^\circ 10' 06'' \\ \underline{\underline{\Delta h}} &= 14' 30'' = - 14,5 \text{ sm} & \underline{\underline{Az}} &= 120,5^\circ \end{aligned}$$

### 10.3. Breitenbestimmung und Kompasskontrolle mit dem Nordstern

Tag: 15 März 2003 Position:  $\varphi_g = 24^\circ 35,6' N$ ,  $\lambda_g = 24^\circ 30,0' W$  Ah = 6,0 Meter

#### Breitenbestimmung

$\begin{array}{r} \text{UT-1}' = 20-50-00 \\ \text{St-U} = 00-03-30 \\ \underline{\text{St} = 00-00-00} \\ \text{UT-1} = 20-53-30 \end{array}$ $\begin{array}{r} \text{Gr}_Y = 113^\circ 00' 24'' \\ \text{Zuw} = 013^\circ 24' 42'' \\ \underline{\lambda = 024^\circ 30' 00'' W} \\ \underline{\underline{t_Y = 101^\circ 55' 06''}} \end{array}$	$\begin{array}{r} \text{Ka} = 24^\circ 20,8' \\ \text{Ib} = -0,6' \\ \underline{\text{Gb} = -6,4'} \\ \underline{\text{h}_b = 24^\circ 13,8'} \\ 1. \text{ Zusatzberichtigung} - 19,9' \\ 2. \text{ Zusatzberichtigung} + 0,2' \\ 3. \underline{\underline{\text{Zusatzberichtigung} + 0,8'}} \\ \underline{\underline{\varphi_b = 23^\circ 54,1' N}} \\ \underline{\underline{\text{Az} = 359,3^\circ}} \end{array}$
---	---

#### Kompasskontrolle des Magnetkompasses

$$\begin{array}{r} \text{MgP} = 357,0^\circ \\ \underline{\text{rw-Az} = 359,3^\circ} \\ \underline{\underline{\text{MgFw} = -0,8^\circ}} \end{array}$$

### 11. Berechnungsblatt für die Anwendung des Taschenrechners

Dieses Schema kann für alle Gestirne benutzt werden

$\begin{array}{r} \text{UTC}' = \underline{\quad} \text{h} \underline{\quad} \text{min} \underline{\quad} \text{s} \\ \text{Stop U} = \underline{\quad} \text{min} \underline{\quad} \text{s} \\ \underline{\text{St} = \underline{\quad} \text{min} \underline{\quad} \text{s}} \\ \underline{\text{UTC} = \underline{\quad} \text{h} \underline{\quad} \text{min} \underline{\quad} \text{s}} \\ \underline{\text{UT-1} = \underline{\quad} \text{h} \underline{\quad} \text{min} \underline{\quad} \text{s}} \end{array}$ $\begin{array}{r} \text{Gr}_t' = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{Zuwachs} = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{Vb Unt} = \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \beta = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{Gr}_t = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \lambda = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \text{ E/W} \\ \text{OSW} = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \underline{\underline{t_w/t_E = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}''}} \end{array}$ $\begin{array}{r} \delta' = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{Vb Unt} = \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \delta = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \end{array}$	<p>Tag: _____ Gestirn: _____ <math>\varphi: = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \text{ N/S}</math> <math>\lambda: = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \text{ E/W}</math></p> <p><input type="checkbox"/> <math>\varphi</math> und <math>\delta</math> ist <b>gleichnamig</b> <input type="checkbox"/> <math>\varphi</math> und <math>\delta</math> ist <b>ungleichnamig</b></p> $\begin{array}{r} \text{Unt}_\delta = \underline{\quad}' \\ \text{Unt}_{\text{Gr}_t} = \underline{\quad}' \\ \text{HP} = \underline{\quad}' \end{array}$ $\begin{array}{r} \text{Az: N/S} \underline{\quad}^\circ \text{ E/W} \\ \text{rw-Az} \underline{\quad}^\circ \end{array}$ $\begin{array}{r} \text{KrP /MgP} = \underline{\quad}^\circ \\ \underline{\underline{\text{Kr-Ff/Mw} = \underline{\quad}^\circ}} \\ \text{Kr-A/Abl} = \underline{\quad}^\circ \end{array}$	$\begin{array}{r} h_s = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{Kt} = \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ (\text{R} +) \text{P} = \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{R} = \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{r} = \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{Ib} = \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{oder Gb} = \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \underline{\underline{h_b = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}''}} \end{array}$ $\begin{array}{r} h_r = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \Delta h \dots = \underline{\quad}^\circ \underline{\quad}' \underline{\quad}'' \\ \text{in sm} = \underline{\pm} \underline{\quad} \text{sm} \end{array}$ $\begin{array}{r} \text{Zenitreduktion: } \text{V}_{\text{kn}} = \underline{\quad} \text{kn} \\ \Delta \text{UT-1} = \underline{\quad} \text{min} \\ \text{Distanz} = \underline{\quad} \text{sm} \end{array}$
--	---	--

ENDE