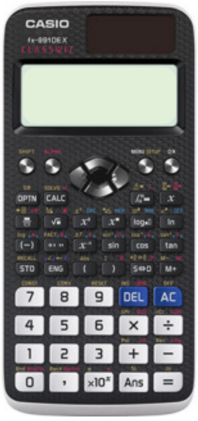
Vorwort



Seit 2016 sind in den Navigationsprüfungen zum SSS und SHS keine programmierbaren Taschenrechner mehr erlaubt.

Der im Folgenden genutzte CASIO fx-991 DE X erfüllt die Anforderungen vom SSS/SHS-Lenkungsausschuss für die Prüfung. Nahezu gleich und ebenfalls zugelassen sind die Modelle: fx-87DE X und fx-87-DE Plus.

Der fx-991 DE X ist meine Empfehlung, da dieser eine besonders gute Übersicht aller Variablenspeicher gleichzeitig bietet.

Alle Modelle verfügen über 9 Variablenspeicher und können eine einmal eingegebene komplexe Rechnung mit verschiedenen Zahlenwerten in den Variablen mehrfach ausführen.

Somit sind die Berechnungen der aufwändigen Formeln, z.B. für Besteck-, Großkreis-, Gestirnshöhen- und Azimutberechnung gut durchführbar.

Inhalt

Diese Anwenderunterstützung ist ein Versuch für die neuen Taschenrechner-Bedingungen für die Prüfung zum SHS.

Ich werde diese Anleitung weiter ausbauen und unter www.lutzboehme.de online stellen. Für Hinweise zur Verbesserung dieser Anleitung und Anmerkungen bin ich dankbar.

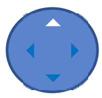
Ich wünsche allen Prüfungsbewerbern viel Erfolg und tapferes Lernen.

Lutz Böhme

Erklärung der Darstellung der Tasten

+	Grundrechenfunktion, hier Addition
°' ''	Ist die feste Grundfunktion einer Taste (hier die Winkeleingabe in Grad, Minuten, Sekunden)
STO	Ist die Taste zur Speicherung eines Wertes in den möglichen Variablen A…F, X, Y oder M Tipp: nach aktivieren von STO wird automatisch auf eine Speichertaste (A…F, X, Y oder M) gewartet. Ein vorheriges Drücken der APLHA-Taste zur Auswahl des Speicherbuchstabens ist dann nicht notwendig.
REC	Ist die 2. Funktion der STO-Taste (Recall ist der Aufruf eines Wertes aus einem Variablenspeicher). Die 2. Funktion wird durch die SHIFT-Taste aktiviert. Bei einigen Modellen ist die STO eine Hauptfunktionstaste und RCL die 2. Funktion.
A Y	Ist die alphanumerische Funktion einer Taste (hier die Variablenspeicher „A“ und „Y“). Diese Funktion wird durch die APLHA-Taste aktiviert.
	Eingabe eines Bruches
↑ ← → ↓	Unmittelbar unter dem Display sind vier silberne Tasten für SHIFT, ALPHA, MENU/SETUP und ON. Sowie ein Cursorblock für die Bewegung nach oben, unten, links und rechts.

Im Model CASIO fx-81 ist die Hintergrundfarbe der Tasten etwas anders als hier dargestellt und statt der vier silberne Cursortasten gibt es einer blauen Schaltwippe.



Grundlagen und Grundeinstellungen

Der fx- kann Brüche wie in geschriebener Form $\frac{\sin(A)}{\cos(B)} = C$ darstellen. Diese Darstellungsart ist über SETUP und dann 1:Mth2D und 1:2D aktivierbar oder über 2:Linear deaktivierbar.

Werden Ergebnisse dann als Bruch ausgegeben, wird mit S⟺D wieder in dezimale Werte gewandelt.

Grundsätzlich muss der fx- für alle folgenden Berechnungen im Deg-Modus über SETUP und dann 3:Deg für Winkelberechnungen eingestellt sein. Diese Einstellung entspricht der Grundeinstellung.

Der fx- beachtet Punkt- vor Strichrechnung selbständig. Schließende Klammern, zum Beispiel nach Eingabe von cos (, müssen aber ggf. selbst gesetzt werden.

Der SSS/SHS-Lenkungsausschuss empfiehlt, sämtliche Werte auf mind. 5 Nachkommastellen zu nutzen.

In den unten folgenden Beispielen wird folgende Darstellung verwendet:

	Arbeitsschritt	*Taschenrechnerein- / ausgabe*
1.	Eingabe von φ_K: 54°30,5‘ N und Speicherung in „A“	54 °' '' 30 , 6 °' '' STO A
2.	Ausgabe von „A“	RCL A 54°30‘36“

Berechnen von astronomischer Höhe

Gegeben sind die Koppelortkoordinaten O_K-Breite (φ_k): 54°00,0' N sowie die astronomischen Werte LHA (t): 058°08,2' und Deklination (δ): 02°26,4,0' S.

Zuerst werden die Werte für φ, δ und t direkt in Winkelwerten eingegeben und in Variablenspeichern eingefügt.

1.	Eingabe von φ_K: 54°00,0' N	54 [°' '']
2.	Speicherung von φ_K in Speicher A	[STO] [A]
3.	Eingabe von δ: 02°26,4' S (Achtung: Süd = negativer Wert)	[(–)] 2 [°' ''] 26,4 [°' '']
4.	Speicherung von δ in Speicher B	[STO] [B]
5.	Eingabe von t: 058°08,2'	58 [°' ''] 8,2 [°' '']
6.	Speicherung von t in Speicher C	[STO] [C]

Nun erfolgt die eigentliche Formeleingabe für die Gestirnshöhe: h_r.

$$h_r = \arcsin(\sin\varphi \times \sin\delta + \cos\varphi \times \cos\delta \times \cos t)$$

Damit (später) mehrere Gestirne in Folge berechnet werden können, werden in die Formel die Variablennamen statt der Zahlenwerte eingegeben. So kann die Formel nach Neueingabe der Werte in die Variablen wiederholt – mit den neuen Werten - ausgerechnet werden.

1.	Eingabe von arcsin (sin A x sin B + ...	[$\sin^{-1}$] [sin] [A] [)] [x] [sin] [B] [)] [+]
2.	Eingabe von ... cos A x cos B x ...	[cos] [A] [)] [x] [cos] [B] [)] [x]
3.	Eingabe von ... cos C)	[cos] [C] [)] [)]
4.	Berechnung starten	[=]
5.	Anzeige lautet:	15,9956942
6.	Umrechnung des Dezimalwinkels in Grad, Minuten und Sekunden	[°' '']
7.	Ergebnis lautet, Grad- und Minuten notieren	15°59'44,5''
8.	Umrechnung der Winkelsekunden in Dezimalgrad: dazu manuelle Eingabe der Sekunden / 60; ggf. Umwandlung in dezimal	44,5 [÷] 60 [=] $\frac{89}{120}$ [S⇔D]
9.	Anzeige lautet: Diese Werte sind die Nachkommastellen der Winkelminuten in dezimaler Darstellung	0,741666...

Ergebnis: h_r = 15°59,741666'

Dieser Wert darf auf eine Nachkommastelle gerundet werden: h_r = 15°59,7'

Berechnung von astronomischem Azimut

Nun erfolgt die Eingabe der Formel für das Azimut-Strich: Az‘.

$$Az' = \arctan\left(\frac{\sin t}{\sin\varphi \times \cos t - \tan\delta \times \cos\varphi}\right)$$

Die notwendigen Werte befinden sich ggf. noch in den Variablenspeichern, müssten andernfalls wie bei der Berechnung von h_r eingegeben werden. Siehe Vorseite.

Die Formel wird am besten im Mth2D-Darstellung eingegeben (siehe Grundeinstellungen).

1.	Eingabe von arctan (sin C / sin A x ...	tan⁻¹ sin C) sin A) x
2.	Eingabe von ... cos C - tan B x cos A)	cos C) - tan B) x cos A)
3.	Berechnung starten	=
4.	Anzeige lautet:	61,97178727

Nun muss das Azimut mit den folgenden Bedingungen vollkreisig angepasst werden:

Wenn $t < 180°$ dann:

Wenn $Az' < 0$ dann $Az = Az' + 360°$ sonst $Az = Az' + 180°$

Wenn $t \geq 180°$ dann:

Wenn $Az' < 0°$ dann $Az = Az' + 180°$ sonst $Az = Az'$

In diesem Beispiel ist t = 058°08,2’ somit kleiner als 180°, es gilt die obere Bedingung.

Azimut‘ ist laut Berechnung 61,971...° somit größer als 0°, es gilt die zweite Bedingung: das Azimut‘ muss noch um 180° vergrößert werden.

4.	Anzeige lautet:	61,97178727
5.	Azimut plus 180°	+ 180 =
6.	Anzeige lautet:	241,9717873

Ergebnis: Az = 241,9717873

Da das Azimut für die weitere (meist grafische) Lösung auf ganze Grade gerundet werden kann, liegt das Ergebnis vor: Az = 242°

Besteckrechnung nach Mittelbreite – Bestimmung Kurs und Distanz

Berechnungen nach Mittelbreite sind nur für Entfernungen < 500sm sinnvoll.

Gegeben sind Start- (φ_A, λ_A) und Zielkoordinaten (φ_B, λ_B), gesucht werden der Kurs (α) und die Distanz (d).

[A] [B] [C] [D] ← Variablenspeicher

Die Formeln lauten:

$$\varphi_M = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} \qquad d_{lox} = \sqrt{(\Delta\varphi)^2 + (\Delta\lambda)^2} \qquad \alpha_{lox}' = \arctan\left(\frac{\Delta\lambda}{\Delta\varphi}\right)$$

[M]

$$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A \qquad \Delta\lambda = (\lambda_B - \lambda_A) \times \cos\varphi_M$$

[X] [Y]

An folgendem Beispiel werde alle Schritte verdeutlicht:

Beispiel: φ_A = 27°54,2‘ N, λ_A = 015°42,1‘ W, φ_B = 26°56,8‘ N, λ_B = 017°14,4‘ W

1.	Eingabe von φ_A: 27°54,2‘ N und Speicherung in Speicher A	27 °‘ ‘‘ 54,2 °‘ ‘‘ STO A
2.	Eingabe von λ_A: 015°42,1‘ W und Speicherung in Speicher B	(–) 15 °‘ ‘‘ 42,1 °‘ ‘‘ STO B
3.	Eingabe von φ_B: 26°56,8‘ N und Speicherung in Speicher C	26 °‘ ‘‘ 56,8 °‘ ‘‘ STO C
4.	Eingabe von λ_B: 017°14,4‘ W und Speicherung in Speicher D	(–) 17 °‘ ‘‘ 14,4 °‘ ‘‘ STO D
5.	Berechnung der Mittelbreite φ_M …	RCL A + RCL C =
6.	…	54°51‘0‘‘ ÷ 2 =
7.	… und Speicherung in M	27°25‘30‘‘ STO M
8.	$\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A$ berechnen …	RCL C - RCL A =
9.	… und in X speichern	-0°57‘24‘‘ STO X
10.	$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A$ berechnen …	RCL D - RCL B =
11.	… und in Y speichern	-1°32‘18‘‘ STO Y
12.	d_{lox} berechnen	√ X X² + (Y x cos M)) X² = 1,6672302…
13.	d_{lox} aus Winkelgrad in Winkelminuten = Seemeilen umrechnen	x 60 = 100,0338…
	Ergebnis: d_{lox} = 100,0 sm — auf eine Nachkommastelle runden	
14.	α_{lox}‘ berechnen	tan⁻¹ ▢ Y x cos M) ◉ X = 54,98394267

Nun muss α_{lox}‘ mit den folgenden Bedingungen vollkreisig angepasst werden. Dabei müssen die Vorzeichen von α_{lox}‘ sehr gewissenhaft beachtet werden.

Für N-Kurse gilt: α_{lox} = 360° + α_{lox}‘

Für S-Kurse gilt: α_{lox} = 180° + α_{lox}‘

Im Beispiel ist α_{lox}‘ = + 54,98…° und $\varphi_A > \varphi_B$ (südlicher Kurs) somit:

15.		180 + Ans = 234,98…	
	Ergebnis: α_{lox} = 235° — auf volle Gradzahl runden		

Besteckrechnung nach Mittelbreite – Bestimmung Zielkoordinaten

Gegeben sind Startkoordinaten (φ_A, λ_A), der Kurs (α) und die Distanz (d), gesucht werden die Zielkoordinaten (φ_B, λ_B).

Die Formeln lauten:

$$\Delta\varphi = d \times \cos\alpha \qquad \underline{\underline{\varphi_B}} = \varphi_A + \Delta\varphi$$

$$\varphi_M = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} \qquad \Delta\lambda = \frac{d \times \sin\alpha}{\cos\varphi_M} \qquad \underline{\underline{\lambda_B}} = \lambda_A + \Delta\lambda$$

An folgendem Beispiel werden alle Schritte verdeutlicht:

Beispiel: φ_A = 27°54,2‘ N, λ_A = 015°42,1‘ W, α = 235°, d = 100sm

1.	$\Delta\varphi$ = d x cos α wird zuerst berechnet, wobei d in Winkelminuten eingegeben wird: 0°100‘ x cos (235) =	0 [°‘ ‘‘] 100 [°‘ ‘‘] [x] [cos] 235 [=]
2.	Ergebnis ist $\Delta\varphi$	-0°57’21,46“
3.	$\Delta\varphi$ mit φ_A addieren =	[+] 27 [°‘ ‘‘] 54,2 [°‘ ‘‘] [=]
4.	Ergebnis ist φ_B, dies in Speicher „M“ („M“ für die noch folgende Berechnung der Mittelbreite)	26°56’50,54“ [STO] [M]
5.	Winkelsekunden φ_B in nautisch umwandeln	50,54 [÷] 60 [=] $\frac{2527}{3000}$ [S⇔D] 0,8423
	Ergebnis in nautisch: $\underline{\varphi_B}$ = 26°56,8‘ N	auf eine Nachkommastelle runden
6.	Zur Berechnung der Mittelbreite „M“ + φ_A =	[RCL] [M] [+] 27 [°‘ ‘‘] 54,2 [°‘ ‘‘] [=]
7.	/ 2 = (Tipp: Ans kommt automatisch)	Ans [÷] 2 [=]
8.	Ergebnis (φ_M) wieder in „M“ speichern	27°25’31,27“ [STO] [M]
	$\Delta\lambda$ = d x sin α wird berechnet, wobei d wieder in Winkelminuten eingegeben wird	
9.	0°100‘ x sin (235) =	0 [°‘ ‘‘] 100 [°‘ ‘‘] [x] [sin] 235 [=]
10.	Zwischenergebnis	-1°21’54,91“
11.	Zwischenergebnis / cos (φ_M) = $\Delta\lambda$	Ans [–] [cos] [RCL] [M] [=]
12.	$\Delta\lambda$ (Tipp: Ans kommt automatisch)	-1°32’17,23‘
13.	$\Delta\lambda$ + λ_A = λ_B (Tipp: Westlänge: (-))	Ans [+] [(–)] 15 [°‘ ‘‘] 42,1 [°‘ ‘‘] [=]
14.	Ergebnis λ_B	-17°14’23,23“
15.	Winkelsekunden in Dezimalminuten wandeln	23,23 [÷] 60 [=] $\frac{2323}{6000}$ [S⇔D] 0,38716
16.	λ_B aus Winkelgrad, -minuten und Dezimalminuten nautisch zusammenstellen:	auf eine Nachkommastelle runden
	In nautischer Form: $\underline{\lambda_B}$ = 017°14,4‘ W	

<u>Die Bestimmungsortkoordinaten im Beispiel lauten somit: φ_B = 26°56,8‘ N, λ_B = 017°14,4‘ W.</u>

Hinweis: φ_A, d und α hätten auch in Speichern abgelegt und daraus genutzt werden können, bringt in dieser Berechnung aber nur wenig Zeitvorteil.

Berechnung von orthodromscher Großkreisentfernung und Anfangswinkel

Gegeben sind die Koordinaten des Start- und Zielpunktes:
Start-Breite (φ): 40°30,0’ N und Start-Länge (λ): 070°20,0’ W
Ziel-Breite (φ): 49°30,0’ N und Ziel-Länge (λ): 006°45,0’ W

Die Formel für die orthodromsche Distanz in Winkelgrad (0°01‘ ⇔ 1 sm) lautet:

$$d_{orth} = \cos^{-1}(\sin\varphi_A \times \sin\varphi_B + \cos\varphi_A \times \cos\varphi_B \times \cos\Delta\lambda)$$

Da auch für die weiteren Berechnungen nur die Differenz der beiden Positions-Längengrade (Δλ) notwendig ist, wird gleich diese Differenz ($\lambda_B - \lambda_A$) berechnet und in Variable C zwischengespeichert.

1.	Eingabe: λ_B: 006°45‘ W – (Achtung: West = negativer Wert)	(–) 6 °′ ′′ 45 °′ ′′ -
2.	Eingabe: λ_A: 070°20‘ W = (Achtung: West = negativer Wert)	(–) 70 °′ ′′ 20 °′ ′′ =
3.	Anzeige des Ergebnisses:	63°35‘0‘‘
4.	Das Ergebnis bleibt in dieser Form und wird in C gespeichert	STO C

Nun erfolgt die Eingabe der beiden Breiten.

5.	Eingabe: φ_A: 40°30,0 N und Speicherung in A	40 °′ ′′ 30 °′ ′′ STO A
6.	Eingabe: φ_B: 49°30,0‘ N und Speicherung in B	49 °′ ′′ 30 °′ ′′ STO B

Jetzt die eigentliche Formel:

7.	Eingabe von arccos (sin A x sin B + …	cos-1 sin A) x sin B) +
8.	Eingabe von … cos A x cos B x …	cos A) x cos B) x
9.	Eingabe von … cos C)	cos C))
10.	Berechnung starten	=
11.	Anzeige lautet:	44,47523605
12.	Dieser Wert wird in D gespeichert	STO D
13.	Dieser Wert in Grad wird nun in Seemeilen Distanz umgerechnet: * 60sm/°	x 60
14.	Ergebnis (δ_D) in Seemeilen:	2668,5…

Der Anfangskurs wird mit folgender Formel bestimmt:

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{\sin\varphi_B - \cos\delta_G \times \sin\varphi_A}{\cos\varphi_A \times \sin\delta_G}\right)$$

Die Formel wird am besten im Mth2D-Darstellung eingegeben (siehe Einleitung).

16.	Eingabe von arccos (sin B - cos D x …	cos-1 sin B) - cos D) x
17.	Eingabe von … sin A cos A x sin D	sin A) cos A) x sin D)
18.	Berechnung starten	=
19.	Der Anfangskurs lautet 56,1°	56,118605…

Weitere allgemeine Hinweise

ON löscht die Historie der vorherigen Rechenschritte.

Wenn der Rechner ausgeschaltet wird oder sich selbst ausschaltet, ist die Historie der vorherigen Rechenschritte gelöscht, deshalb die automatische Abschaltung auf 60 Minuten umstellen:

Setup; 3x [Cursor down]; [3] = autom. Aus; [2] = 60 Minuten

Grundeinstellungen

Anzeige in Dezimalwerten statt als Bruch: Setup; [1] = Eingabe/Ausgabe; [2] = dezimal

Anzahl der Nachkommastellen wieder auf „alle" stellen: Setup; [?] = Zahlenformat; [?] = SCI dann [0] für „alle" Nachkommastellen