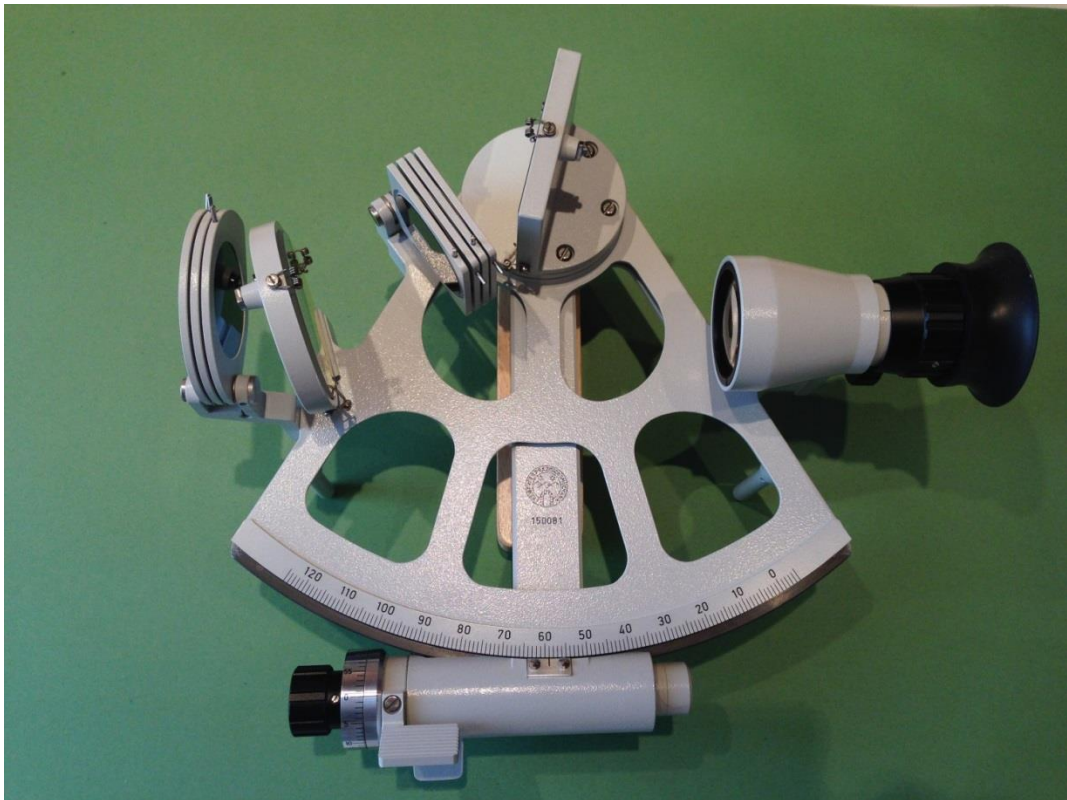


Astronavigatie

met

Sextant en Calculator HP-42S / Free42



Afkortingen en symbolen

$LOP1$ = Line of position 1 - Hoogtelijn 1

$LOP2$ = Line of position 2 - Hoogtelijn 2

$COP1$ = Circle of position 1 - Hoogtecirkel 1

$COP2$ = Circle of position 2 - Hoogtecirkel 2

$H1$ = Observed altitude (H_o) - ware hoogte in $COP1$

$H2$ = Observed altitude (H_o) - ware hoogte in $COP2$

Dec = Declinatie

GHA = Greenwich Hour Angle

$D1$ = Dec van de zon in $COP1$

$G1$ = GHA van de zon in $COP1$

$D2$ = Dec van de zon in $COP2$

$G2$ = GHA van de zon in $COP2$

φ = Latitude van de FIX in de berekeningen van de COP

L = Longitude van de FIX in de berekeningen van de COP

$\Delta\varphi$ = Verplaatsing in breedtegraden van de waarnemer (verzeiling)

ΔL = Verplaatsing in lengtegraden van de waarnemer (verzeiling)

lat_M = Gemiddelde latitude

$latx$ = Dead-reckoning of aangenomen latitude van de waarnemer

$lonx$ = Dead-reckoning of aangenomen longitude van de waarnemer

FIX = Berekende positie

laf = FIX latitude

lof = FIX longitude

$IN1, IN2$ = Intercept van $LOP1, LOP2$

$AZ1, AZ2$ = Azimut van $LOP1, LOP2$

Ha = Apparent altitude - schijnbare hoogte

Dog = Distance over Ground van de waarnemer

Cog = Course over Ground van de waarnemer

Ie = Indexfout van de sextant

Corr = Correctie van de sextanthoogte volgens certificaat

HoE = Ooghoogte van de waarnemer

Da. Mo = Dag en Maand van de meting

Year = Jaar van de meting

U.T = Universal Time van de meting

ALTs = Gemeten sextanthoogte

Limb = Bovenrand, onderrand of middellijn van de zon

Npos = Noordelijk snijpunt van de hoogtecirkels

Spos = Zuidelijk snijpunt van de hoogtecirkels

Tran = Middagbreedte van de waarnemer (Transit)

Woord Vooraf

De astronomische plaatsbepaling door de gelijktijdige meting van een aantal sterren leidt tot een vrij nauwkeurige positie, maar de oefening die nodig is om die sterren te identificeren en in de schemering hun hoogte boven de horizon te bepalen, zal veelal ontbreken. Daarom beperken we ons tot de plaatsbepaling met behulp van de zon.

Aan de hand van nautische almanakken zoals de Macmillan en de HO249-tafels kunnen we van oudsher onze positie bepalen op basis van zonshoogten.

Met de komst van de programmeerbare calculators kon het hele opzoek-, reken- en plotwerk dat erop volgt van ons worden overgenomen. *GHA* en *Dec* van de zon kunnen met een ingebouwd algoritme worden berekend, alsmede de azimut en intercept van de hoogtelijnen. Het enigszins moeizame kaartwerk wordt eveneens digitaal overgenomen met als uiteindelijk resultaat onze positie in lengte- en breedtegraden (*FIX*).

HP-42S

De HP-42S RPN Scientific is een programmeerbare RPN calculator die in 1988 door HP werd gelanceerd. De productie ervan werd beëindigd in 1995 maar hij wordt tot op vandaag beschouwd als één van de besten die ooit werden gemaakt in termen van kwaliteit en gemak van programmering. Zijn populariteit was dermate groot dat hij op de site van [Thomas Okken](#) onder de benaming "**Free42** : An HP-42S Calculator Simulator" wordt aangeboden als freeware voor tal van operating systemen van *computers en smartphones*. De computerapplicatie van Free42 wordt als een zipbestand aangeleverd in decimale en binaire versie maar het verdient aanbeveling Free42Decimal.exe te installeren. Android en iOS applicaties zijn in decimale versie.

De Free42-app heeft het voordeel dat de programma's kunnen worden opgeslagen en ingeladen als bestanden, back-ups kunnen worden gemaakt en ingeladen in andere computers. Instructies daarvoor vindt men [hier](#). Bovendien is de rekensnelheid vele malen hoger dan bij de hardware versie van de HP-42S.

Free42 programma's worden opgeslagen met de bestandsextensie ".raw".

Bij de hierna beschreven programma's over astronavigatie worden slechts een beperkt aantal toetsen gebruikt, zodat geen grondige kennis van de calculator is vereist. Wie zich verder wil verdiepen kan [hier](#) terecht.

Programma's

In deze tekst worden twee programma's beschreven voor Free42 en HP-42S om te navigeren op de zon bij middel van een sextant of theodoliet.

Ze kunnen gedownload worden van de site <https://thomasokken.com/free42/42progs/>.

ASTRO_TSO.raw: berekent de positie (*FIX*) aan de hand van de azimut-intercept methode van Marcq St. Hilaire. Deze methode, ontwikkeld in 1875, werd gaandeweg de standaard procedure voor astronomische plaatsbepaling en is gebaseerd op de keuze van een aangenomen positie (A.P), zo dicht mogelijk bij de ware positie of de gegiste positie, en de berekening van het snijpunt van twee zogenoemde *hoogtelijnen* (LOP verder in de tekst). Dit programma maakt het gebruik van kaarten en "plotting sheets" overbodig.

ASTRA_TSO.raw: berekent de positie (*FIX*) aan de hand van een alternatieve methode die rechtstreeks de snijpunten berekent van twee *hoogtecirkels* (COP verder in de tekst). Voor een *stationaire waarnemer* is, in tegenstelling met de vorige methode, geen aangenomen positie (A.P) vereist zodat men zijn positie kan bepalen zonder enig idee van waar men zich bevindt. In het *geval van verzeiling* moet zoals bij het vorige programma wel de breedtegraad van de waarnemer, *latx*, gekend zijn voor de berekening van de longitudinale verplaatsing ΔL .

Beide programma's hebben een ingebouwde almanak van de zon met een maximale afwijking van $\pm 0.5'$ en een gemiddelde afwijking van $\pm 0.3'$ voor *GHA* en *Dec*. Ter verificatie kunnen de almanakdata op de sites backbearing.com en siranah.de geraadpleegd worden.

Correcties op de gemeten sextanthoogte *ALTs*

Op de gemeten sextanthoogte worden een aantal correcties toegepast in beide programma's;

- *Instrument correctie*: indien de sextant van een certificaat voorzien is kan deze correctie (in seconden) met *Corr* in rekening worden gebracht. Zo niet is de input = 0.
- *Indexcorrectie*: is een correctie voor de indexfout *Ie* van de sextant die in principe voor elke nieuwe waarneming moet gemeten worden. *Ie* is negatief indien "off the arc" en positief "on the arc".
- *Dip*: dit is een correctie die functie is van de ooghoogte *HoE*. Bij gebruik van een artificiële horizon is *HoE* = 0.

$$Dip[^{\circ}] \approx 1.76 \cdot \sqrt{HoE[m]}$$

- *Refractie*: dit is een correctie voor de atmosferische breking van het licht volgens de formule van Bennett.

$$Refractie[^{\circ}] = \frac{1}{\tan\left(Ha[^{\circ}] + \frac{7.31}{Ha[^{\circ}] + 4.4}\right)}$$

- *Parallax*: voor de parallax wordt geen correctie toegepast omdat de horizontale parallax van de zon zeer klein is (maximaal $\pm 0.15'$).
- *Semi diameter (S.D)*: deze correctie wordt gemaakt indien de onder- of bovenrand (*Limb*) van de zon wordt gemeten. De *S.D* wordt berekend uitgaande van de gemiddelde anomalie (*AM*) van de zon met de formule

$$S.D[^{\circ}] = \frac{0.267}{1 - 0.017 \cdot \cos AM}$$

Sextanthoogtes

$$Ha = ALTs \pm Ie - Dip \quad (\text{Apparent altitude} - \text{schijnbare hoogte})$$

$$Ho = Ha - \text{Refractie} \pm S.D \quad (\text{Observed altitude} - \text{ware hoogte})$$

$HoE = 0$ impliceert het gebruik van een artificiële horizon

Bij het gebruik van een artificiële horizon is $Dip = 0$ en $Ha = (ALTs \pm Ie)/2$

Gebruikte formules

- Als de Cog en Dog gekend zijn dan is de verzeiling van de waarnemer in breedtegraden en lengtegraden respectievelijk:

$$\Delta\varphi[^{\circ}] = Dog[nm] \cdot \cos Cog / 60$$

$$\Delta L[^{\circ}] = \frac{Dog[nm] \cdot \sin Cog}{\cos lat_M \cdot 60}$$

waarin de gemiddelde latitude

$$lat_M = latx + \Delta\varphi/2$$

en $latx$ de (aangenomen) latitude is vóór verzeiling.

- In `ASTRO_TSO.raw` (azimut-intercept methode) zijn de FIX -coördinaten

$$laf = \frac{IN2 \cdot \sin AZ1 - IN1 \cdot \sin AZ2}{\sin(AZ1 - AZ2)} + latx$$

$$lof = \frac{IN1 \cdot \cos AZ2 - IN2 \cdot \cos AZ1}{\sin(AZ1 - AZ2) \cdot \cos latx} + lonx$$

waarin $latx$ en $lonx$ de coördinaten zijn van de A.P na verzeiling. Deze waarden worden berekend uitgaande van de A.P vóór verzeiling, Cog en Dog .

Format en eenheden van de input data

$latx, lonx$		+ (N en E) - (S en W)
Ie	x.xx [minuten]	- OFF the arc + ON the arc
HoE	xx.xx [meter]	Artificiële horizon $HoE=0$
$Da.Mo$	xx.xx [dag.maand]	Vb: 5.07 23.12
$U.T$	xx.xx xx [h.min sec]	Vb: 17.0533 6.0806
$latx, lonx, ALTs$	xxx.xx x [ddd°mm.m']	Vb: -15.416 156.093
$Limb$	Onder=-1 Center=0 Boven=1	
Dog	xxx.x [zeemijl]	
Cog	xxx.x [°]	
$Corr$	xx [seconden]	Vb: -17 12

Programma-onderdelen

ASTRO_TSO.raw : bestaat uit 3 subroutines; *LOP1*, *LOP2*, en *TRAN*

- *LOP1 (Hoogtelijn1)*: hier worden de aangenomen positie (A.P), die meestal de gegiste positie is, en de gegevens van de eerste waarneming ingebracht. De subroutine berekent de intercept *IN1* en azimut *AZ1* van de eerste hoogtelijn *LOP1* en slaat ze op in hun gelijknamige variabelen.
- *LOP2 (Hoogtelijn2)*: aan de hand van de *Dog* en *Cog* wordt de A.P na verzeiling vastgelegd. Samen met de gegevens van de tweede waarneming wordt de *IN2* en *AZ2* van de hoogtelijn *LOP2* ten opzichte van deze nieuwe A.P berekend. De coördinaten van het snijpunt van de verzeilde hoogtelijn *LOP1* en *LOP2*, zijnde de *FIX*, worden verkregen met de bovenstaande formules. Geometrisch gezien komt dit eigenlijk neer op de translatie van de eerste hoogtelijn in de richting (= *Cog*) van de nieuwe A.P over een afstand = *Dog*. De coördinaten van de *FIX* worden opgeslagen als "*laf*" en "*lof*".
De geometrische fout die wordt gemaakt met de intercept methode door de gelijkstelling van de hoogtecirkel met een hoogtelijn geeft geen exacte positie maar eerder een verbeterde positie. Deze fout is des te groter naarmate de afstand tussen de A.P en de ware positie groot is en bij grote sextanthoogtes *ALTs* (grote kromming van de hoogtecirkel). Zij kan evenwel verkleind worden door iteratie, d.i. de gevonden *FIX* als nieuwe A.P inbrengen en de berekening herhalen met de initiële parameters (zie bijlage). Meestal volstaat 1 iteratie.
- *TRAN (Transit)*: dit onderdeel berekent de middagbreedte van onze positie. De input van de gegiste longitude *lonx* resulteert slechts in een ruwe schatting van het tijdstip van transit omdat het berekend is op basis van een vast transit tijdstip van de Greenwich meridiaan t.t.z. 12h U.T. Preciezer is om uit te gaan van de werkelijke "[Greenwich meridian transit time](#)" en 4 minuten bij te tellen per graad westerlengte of 4 minuten af te trekken per graad oosterlengte.
De inputdata zijn de gegevens op het ogenblik van culminatie van de zon.
"South" en "North" verwijzen naar de stand van de zon t.o.v. de waarnemer, ten zuiden of ten noorden.
De middagbreedte wordt opgeslagen als "*laf*".

Opmerkingen

- *LOP1* en *LOP2* moeten chronologisch worden ingevoerd.

- bij het gebruik van een "bubble" sextant en/of een theodoliet mag geen Dip-correctie worden toegepast. Om het onderscheid te maken met het gebruik van een artificiële horizon (*HoE=0*) en te beletten dat *Ha* gedeeld wordt door 2 stelt men ***HoE=0.0001*** en is de Dip-correctie te verwaarlozen.

ASTRA_TSO.raw : bestaat uit 3 subroutines; *COP1*, *COP2*, en *TRAN*

- *COP1 (Hoogtecirkel1)*: *latx* is de gegiste of gekende latitude van de eerste waarneming en zal in *COP2* gebruikt worden om de verzeiling in lengtegraden ΔL te berekenen. Voor een *stationaire waarneming (Dog=0)* is deze waarde irrelevant.

Na inbreng van de overige meetwaarden berekent deze routine de parameters die de *Hoogtecirkel1* definiëren i.e. *GHA (=G1)*, *Dec (=D1)* en *Ho (=H1)*.

- *COP2 (Hoogtecirkel2)*: met *Dog* en *Cog* berekenen we de verzeiling van de eerste hoogtecirkel *COP1*, zijnde $\Delta\varphi$ in latitude en ΔL in longitude. Samen met de overige ingebrachte meetwaarden berekent deze routine de parameters die de *Hoogtecirkel2* definiëren, i.e. *GHA (=G2)*, *Dec (=D2)*, *Ho (=H2)*, en uiteindelijk onze positie (*FIX*).

Deze 2 hoogtecirkels hebben op de aardbol normaliter 2 snijpunten. Dit zijn onze 2 mogelijke posities. Bij de berekening van de coördinaten van deze snijpunten krijgt men de keuze tussen het noordelijke snijpunt (*Npos*) en het zuidelijke snijpunt (*Spos*).

De coördinaten van de *FIX* worden opgeslagen als "*laf*" en "*lof*".

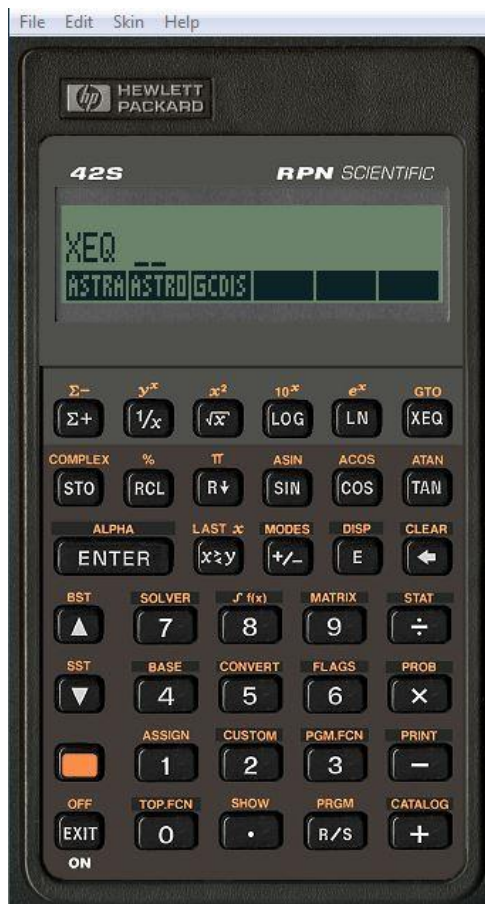
Het algoritme voor de berekening van de snijpunten wordt in detail behandeld in de bijlage.

- *TRAN (Transit)*: zie *ASTRO_TSO.raw*

Opmerkingen: zie *ASTRO_TSO.raw*

ASTRO versus ASTRA

- Indien men volledig in het ongewisse is over zijn positie kan men onmogelijk rechtstreeks een geschikte A.P invoeren in *ASTRO*. Bij een *stationaire meting (Dog=0)* heeft *ASTRA* deze gegevens niet nodig. Met 2 waarnemingen, bij voorkeur met een verschil in azimut tussen 30° en 150° kan rechtstreeks en afgezien van de normale meetfouten een nauwkeurige positie bepaald worden.



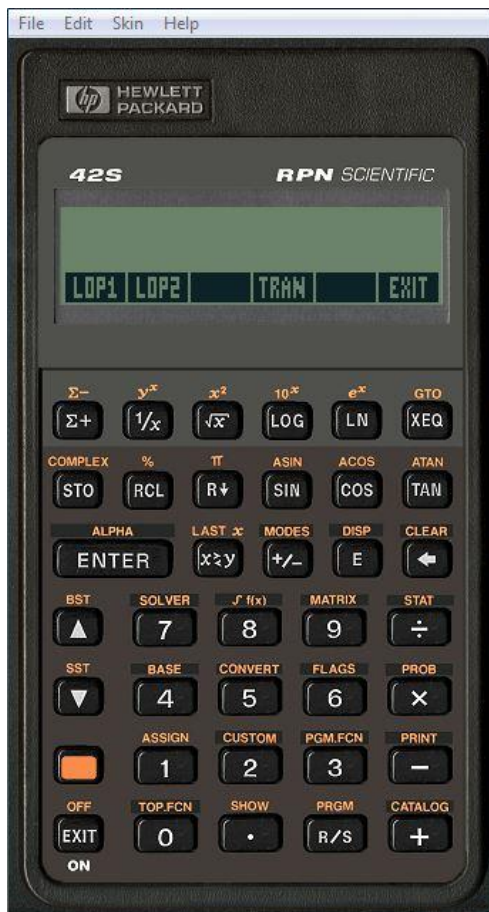
- Het iteratie-proces van het *ASTRA* programma verloopt zeer snel in Free42 maar kan bij de HP-42S, omwille van zijn lage kloksnelheid, veel tijd in beslag nemen (meerdere seconden).

- *ASTRA* itereert steeds naar de meest nauwkeurige positie. Bij *ASTRO* kan bij een grote afstand tussen de A.P en de ware positie en/of bij grote sextanthoogtes minstens 1 iteratie nodig zijn met de gevonden *FIX* als nieuwe A.P.

Free42 en HP-42S commando's

- Druk op de toets **XEQ**. In de display verschijnt de lijst van de programma's die werden ingeladen.

- Druk op de toets onder de naam van het gekozen programma en na verschijnen van het label druk op **R/S**. Hierop verschijnt het hoofdmenu in de display, bestaande uit de 3 subroutines en de **EXIT** routine om het programma te sluiten.



- Elke routine wordt gestart met de toets onder zijn naam. De gevraagde data worden ingebracht via het cijferklavier. Let hierbij vooral op de eenheden en het formaat. Bij negatieve getallen toetst men eerst het getal in, gevolgd door \pm . Een foutieve inbreng kan gewist worden met de \leftarrow toets en met **RTN** keert men terug naar het hoofdmenu. Elke input wordt gevolgd door **R/S**.

Bij een keuzemenu drukt men op de toets onder de gewenste keuze. Als het programma stopt met relevante informatie in de display, druk op **R/S** om verder te gaan.

- Ingebrachte data en berekende waarden worden opgeslagen als variabelen en kunnen opgeroepen worden met **RCL** en de scrolltoetsen \uparrow en \downarrow .

- *GHA*, *Dec*, *laf* en *lof* worden opgeslagen in het formaat [ddd°mm.m']. *AZ1*, *IN1* en *S.D* in [°].

- De resultaten van de waarnemingen kunnen uitgeprint worden. De printfunctie wordt geactiveerd door **PRINT** \uparrow **PON** en uitgeschakeld door **PRINT** \uparrow **POFF**. De print is nagenoeg bij alle operating systems beschikbaar via het File-menu. Bij de iPhone moet het scherm aangeraakt worden net onder de statusbalk.

Bijlage: berekening van de snijpunten van 2 hoogtecirkels

We passen de formules van de nautische driehoek toe op 2 waarnemingen;

$$\sin H1 = \sin D1 \cdot \sin(\varphi - \Delta\varphi) + \cos D1 \cdot \cos(\varphi - \Delta\varphi) \cdot \cos(G1 + L - \Delta L) \quad (1)$$

$$\sin H2 = \sin D2 \cdot \sin \varphi + \cos D2 \cdot \cos \varphi \cdot \cos(G2 + L) \quad (2)$$

(1) en (2) zijn de vergelijkingen van 2 hoogtecirkels waarin φ en L de geografische coördinaten zijn van de positie van de waarnemer op het ogenblik van de tweede meting, t.t.z. de *FIX*. $H1$ en $H2$ zijn de ware sextanthoogten (na correcties) en $\Delta\varphi$ en ΔL zijn respectievelijk de verzeiling in breedte- en lengtegraden na de eerste meting.

Het stelsel van 2 vergelijkingen met 2 onbekenden (φ en L) kan analytisch niet opgelost worden maar wel door iteratie. Aan dit proces zijn 2 voorwaarden verbonden:

- de iteratie wordt gestart in de hoogtecirkel met de kleinste sextanthoogte H , d.w.z. de hoogtecirkel met de grootste straal.
- aangezien voor 1 waarde van φ , 2 waarden van L mogelijk zijn en vice versa, maakt het programma de volgende keuze:

Indien $H2 \leq H1$

dan plaatst men in vergelijking (2) de startwaarde voor φ ($= D2$). Dit geeft 2 mogelijke L -waarden: $L = \text{Acos}(\dots) - G2$ en $L = -\text{Acos}(\dots) - G2$. Men kiest de meest oostelijke waarde en vermits Acos steeds positief is, wordt

$$L = A \cos \left(\frac{\sin H2 - \sin D2 \cdot \sin \varphi}{\cos D2 \cdot \cos \varphi} \right) - G2$$

Deze L -waarde plaatst men in (1) en berekent de nieuwe φ -waarde voor (2)

$$\varphi = 2 \cdot \text{Atan} \left(\frac{\sin D1 \pm \sqrt{\sin^2 D1 - \sin^2 H1 + \cos^2 D1 \cdot \cos^2 (G1 + L - \Delta L)}}{\sin H1 + \cos D1 \cdot \cos (G1 + L - \Delta L)} \right) + \Delta \varphi$$

met $+\sqrt{\dots}$ voor het noordelijke snijpunt van de hoogtecirkels en $-\sqrt{\dots}$ voor het zuidelijke snijpunt.

Indien **H2 > H1**

dan plaatst men in vergelijking (1) de startwaarde voor φ ($= D2$). Dit geeft 2 mogelijke L -waarden: $L = A \cos(\dots) - G1 + \Delta L$ en $L = -A \cos(\dots) - G1 + \Delta L$. Men kiest de meest westelijke waarde en vermits $A \cos$ steeds positief is, wordt

$$L = -A \cos \left(\frac{\sin H1 - \sin D1 \cdot \sin(\varphi - \Delta \varphi)}{\cos D1 \cdot \cos(\varphi - \Delta \varphi)} \right) - (G1 - \Delta L)$$

Deze L -waarde plaatst men in (2) en berekent de nieuwe φ -waarde voor (1)

$$\varphi = 2 \cdot \text{Atan} \left(\frac{\sin D2 \pm \sqrt{\sin^2 D2 - \sin^2 H2 + \cos^2 D2 \cdot \cos^2 (G2 + L)}}{\sin H2 + \cos D2 \cdot \cos (G2 + L)} \right)$$

met $+\sqrt{\dots}$ voor het noordelijke snijpunt van de hoogtecirkels en $-\sqrt{\dots}$ voor het zuidelijke snijpunt.

In beide gevallen wordt de waarde van φ berekend door substitutie, aan de hand van de zogenoemde T-formules, met als variabelen respectievelijk $\tan((\varphi - \Delta \varphi)/2)$ en $\tan(\varphi/2)$.

De iteraties worden gestopt als 2 opeenvolgende waarden van φ minder dan 0.001° verschillen.

Bij de gemaakte keuzes in het hierboven beschreven iteratieproces gaat men er impliciet van uit dat de aardse projectie van de zon bij de tweede waarneming ten westen ligt van de aardse projectie van de eerste waarneming. Indien zij ten oosten ligt, dan past het programma deze keuzes aan.

Bijlage: iteraties in ASTRO

Bij een stationaire meting ($Dog=0$) kan men de gevonden positie verfijnen door de *FIX* als nieuwe A.P in te brengen met de volgende toets-sequentie vanuit het hoofdmenu:

LOP1 **RCL** **LAF** **R/S** **RCL** **LOF** **R/S** en de berekening te herhalen met de initiële inputdata.

Bij een "running *FIX*" wordt de nieuwe A.P berekend met de volgende toets-sequentie:

LOP1 **RCL** **LAF** **R/S** **RCL** **LOF** **R/S** **RTN** **LOP2** **R/S** 180 **+** **R/S** **RTN**

Beginnend bij **LOP1** herhaalt men de berekening met de initiële inputdata zonder de nieuwe berekende A.P-waarden *latx* en *lonx* te wijzigen.

Lijst van gebruikte vergelijkingen in de tekst

$$\sin H1 = \sin D1 \cdot \sin(\varphi - \Delta\varphi) + \cos D1 \cdot \cos(\varphi - \Delta\varphi) \cdot \cos(G1 + L - \Delta L)$$

$$\sin H2 = \sin D2 \cdot \sin \varphi + \cos D2 \cdot \cos \varphi \cdot \cos(G2 + L)$$

$$L = \text{Acos}\left(\frac{\sin H2 - \sin D2 \cdot \sin \varphi}{\cos D2 \cdot \cos \varphi}\right) - G2$$

$$\varphi = 2 \cdot \text{Atan}\left(\frac{\sin D1 \pm \sqrt{\sin^2 D1 - \sin^2 H1 + \cos^2 D1 \cdot \cos^2(G1 + L - \Delta L)}}{\sin H1 + \cos D1 \cdot \cos(G1 + L - \Delta L)}\right) + \Delta\varphi$$

$$L = -\text{Acos}\left(\frac{\sin H1 - \sin D1 \cdot \sin(\varphi - \Delta\varphi)}{\cos D1 \cdot \cos(\varphi - \Delta\varphi)}\right) - (G1 - \Delta L)$$

$$\varphi = 2 \cdot \text{Atan}\left(\frac{\sin D2 \pm \sqrt{\sin^2 D2 - \sin^2 H2 + \cos^2 D2 \cdot \cos^2(G2 + L)}}{\sin H2 + \cos D2 \cdot \cos(G2 + L)}\right)$$

$$\Delta\varphi[^\circ] = \text{Dog}[nm] \cdot \frac{\cos \text{Cog}}{60}$$

$$\Delta L[^\circ] = \frac{\text{Dog}[nm] \cdot \sin \text{Cog}}{\cos \text{lat}_M \cdot 60}$$

$$\text{lat}_M = \text{lat}_x + \Delta\varphi/2$$

$$\text{laf} = \frac{IN2 \cdot \sin AZ1 - IN1 \cdot \sin AZ2}{\sin(AZ1 - AZ2)} + \text{lat}_x$$

$$\text{lof} = \frac{IN1 \cdot \cos AZ2 - IN2 \cdot \cos AZ1}{\sin(AZ1 - AZ2) \cdot \cos \text{lat}_x} + \text{lon}_x$$

$$\text{Lon} = \pm \text{Acos}\left(\frac{\sin Ho - \sin Dec \cdot \sin Lat}{\cos Dec \cdot \cos Lat}\right) - GHA$$

$$\text{Dip}['] \approx 1.76 \cdot \sqrt{\text{HoE}[m]}$$

$$\text{Refractie}['] = \frac{1}{\tan\left(\text{Ha}[^\circ] + \frac{7.31}{\text{Ha}[^\circ] + 4.4}\right)}$$

$$S.D[^\circ] = \frac{0.267}{1 - 0.017 \cdot \cos AM}$$

Interessante websites

<http://thomasokken.com/free42/>

<https://www.celnav.de/page2.htm>

<http://www.teacupnavigation.net/CN.html>

<http://www.backbearing.com/almanac.html>

ASTRONAVIGATIE - ZON HP 42S

001	LBL "ASTRO"	047	RCL Cog	098	LBL c	142	100	
		048	SIN			143	X	
002	DEG	049	RCLx Dog	099	RCL 01	144	STO 15	=MO
003	CF 02	050	RCL 18	100	90	145	RCL IND ST x	
004	CF 03	051	RCL 23	101	RCL- 08	146	STO+ 00	
005	CF 29	052	2	102	"SOUTH"	147	FIX 00	
006	".....□.ASTRO.□"	053	÷	103	KEY 1 GTO 14	148	INPUT Year	
007	└"lf.....zon"	054	+	104	"NORTH"	149	4	
008	AVIEW	055	COS	105	KEY 4 GTO 13	150	÷	
009	STOP	056	÷	106	CLA	151	FP	
		057	60	107	MENU	152	STO 02	=AA
010	LBL 00	058	÷	108	PROMPT	153	X=0?	
		059	RCL 17	109	GTO c	154	XEQ a	
011	"LOP1"	060	+			155	FIX 04	
012	KEY 1 XEQ A	061	XEQ 09	110	LBL 13	156	INPUT U.T	
013	"LOP2"	062	STO lon*			157	>HR	
014	KEY 2 XEQ B	063	XEQ 02	111	±	158	24	
015	"TRAN"	064	FC? 01			159	÷	
016	KEY 4 XEQ C	065	RTN	112	LBL 14	160	STO+ 00	=J2
017	"EXIT"	066	XEQ D			161	FIX 03	
018	KEY 6 GTO J	067	XEQ 03	113	+	162	INPUT ALTs	
019	CLA	068	SF 02	114	XEQ 09	163	FIX 00	
020	AVIEW	069	XEQ D	115	STO laf	164	INPUT Corr	
021	MENU	070	PRA	116	SF 02	165	INPUT Limb	
022	STOP	071	PROMPT	117	SF 03	166	RCL Year	
023	GTO 00	072	RTN	118	XEQ D	167	2000	
				119	CF 03	168	-	
024	LBL A	073	LBL C	120	PRA	169	365.25	
				121	PROMPT	170	X	
025	XEQ 01	074	XEQ 10	122	RTN	171	0.5	
026	FC? 01	075	FIX 03			172	+	
027	RTN	076	INPUT lon*	123	LBL 01	173	RCL- 02	
028	STO IN1 (°)	077	XEQ 08			174	365250	
029	RCL 04	078	15	124	XEQ 10	175	÷	
030	STO AZ1 (°)	079	÷	125	FIX 03	176	STO 14	
031	XEQ D	080	12	126	INPUT lat*	177	RCL 00	
032	RTN	081	X<>Y	127	XEQ 08	178	LAST X	
		082	-	128	STO 18	179	÷	
033	LBL B	083	>HMS	129	INPUT lon*	180	+	
		084	"Transit.."	130	XEQ 08	181	STO 01	=T
034	XEQ 10	085	PRA	131	STO 17	182	RAD	
035	FIX 01	086	└".~."			183	6283.01961	
036	INPUT Dog	087	AIP	132	LBL 02	184	X	
037	INPUT Cog	088	└":"			185	0.043179665	
038	COS	089	FP	133	FIX 02	186	-	
039	RCLx Dog	090	100	134	INPUT le	187	STO 02	=AM
040	60	091	X	135	INPUT HoE	188	XEQ 20	
041	÷	092	AIP	136	XEQ I	189	0.033417	
042	STO 23	093	└".U.T"	137	INPUT Da.Mo	190	RCL 02	
043	RCL 18	094	PROMPT	138	IP	191	SIN	
044	+	095	XEQ 02	139	STO 00	192	X	
045	XEQ 09	096	FC? 01	140	LAST X	193	RCL+ 02	
046	STO lat*	097	RTN	141	FP	194	RCL 02	

195	2	251	R↓	307	-	357	LBL b
196	X	252	DEG	308	RCL Corr		
197	SIN	253	RCL Ion*	309	3600	358	PI
198	0.0003489	254	XEQ 08	310	÷	359	STO+ 02
199	X	255	STO 05	311	+	360	RTN
200	+	256	+	312	RCL HoE		
201	RCL 01	257	STO 02 =LHA	313	X=0? Artif. Hor	361	LBL 03 =FIX
202	0.300052641	258	RCL lat*	314	GTO 16		
203	X	259	XEQ 08	315	SQRT	362	"If.....*.FIX**"
204	4.938242632	260	STO 06	316	0.0293 =Dip	363	AVIEW
205	+	261	COS	317	X	364	RCL AZ1
206	+	262	RCL 01	318	-	365	SIN
207	STO 03	263	SIN			366	RCLx 03
208	SIN	264	X	319	LBL 15	367	RCL 04
209	0.397777	265	RCL 06			368	SIN
210	X	266	SIN	320	STO 03	369	RCLx IN1
211	ASIN	267	RCL 01	321	4.4 =Refrac	370	-
212	>DEG	268	COS	322	+	371	RCL AZ1
213	STO 01 =DEC	269	X	323	7.31	372	RCL- 04
214	XEQ 09	270	RCL 02	324	X<>Y	373	SIN
215	STO DEC	271	COS	325	÷	374	STO 07
216	RCL 03	272	X	326	RCL+ 03	375	÷
217	TAN	273	-	327	TAN	376	RCL+ 06
218	0.917482	274	RCL 01	328	1/X	377	XEQ 09
219	X	275	COS	329	60	378	STO laf
220	ATAN	276	±	330	÷	379	RCL 04
221	STO 02	277	RCL 02	331	RCL 03	380	COS
222	RCL 03	278	SIN	332	X<>Y	381	RCLx IN1
223	COS	279	X	333	-	382	RCL AZ1
224	X<0?	280	X<>Y	334	RCL Limb	383	COS
225	XEQ b	281	>POL McMillan 159	335	RCL S.D	384	RCLx 03
226	RCL 00	282	X<>Y	336	X	385	-
227	360.98564735	283	X<0?	337	-	386	RCL: 07
228	X	284	XEQ 12	338	STO 08 =Ho	387	RCL 06
229	RCL 14	285	STO 04 =AZ	339	RCL- 02	388	COS
230	360007.7	286	RCL 01	340	STO 03 =INT	389	÷
231	X	287	SIN	341	RTN	390	RCL+ 05
232	100.465	288	RCL 06			391	ABS
233	+	289	SIN	342	LBL 16	392	180
234	360	290	X			393	X<Y?
235	MOD =TSO	291	RCL 01	343	R↓	394	GTO 11
236	+	292	COS	344	2	395	LAST X
237	360	293	RCL 02	345	÷		
238	÷	294	COS	346	GTO 15	396	LBL 04
239	FP	295	X				
240	PI	296	RCL 06	347	LBL a	397	XEQ 09
241	X	297	COS			398	STO lof
242	2	298	X	348	1	399	RTN
243	X	299	+	349	STO 02		
244	RCL- 02	300	ASIN	350	RCL 15	400	LBL D
245	>DEG =GHA	301	STO 02 =Hc	351	2		
246	X<0?	302	RCL ALTs	352	X>=Y?	401	CLMENU
247	XEQ 12	303	XEQ 08	353	RTN	402	CLA
248	ENTER	304	RCL le	354	1	403	RCL Da.Mo
249	XEQ 09	305	60	355	STO+ 00	404	AIP
250	STO GHA	306	÷	356	RTN	405	┌ "/"

406	FP	450	LBL e	488	LBL 09=>dd°mm.m	523	30
407	100					524	STO 02
408	X	451	FS? 03	489	IP	525	58
409	AIP	452	RTN	490	LAST X	526	STO 03
410	└"/"	453	RCL Iof	491	FP	527	89
411	FIX 00	454	ENTER	492	3	528	STO 04
412	ARCL Year	455	XEQ 07	493	X	529	119
413	└".□."	456	R↓	494	5	530	STO 05
414	RCL U.T	457	X<0?	495	÷	531	150
415	AIP	458	GTO 06	496	+	532	STO 06
416	└":"	459	└"E"	497	RTN	533	180
417	FP	460	RTN			534	STO 07
418	100			498	LBL 10	535	211
419	X	461	LBL 05			536	STO 08
420	AIP			499	CLMENU	537	242
421	└":"	462	└"S."	500	SF 01	538	STO 09
422	FP	463	GTO e	501	"RTN"	539	272
423	100			502	KEY 6 GTO H	540	STO 10
424	X	464	LBL 06	503	MENU	541	303
425	AIP			504	RTN	542	STO 11
426	FS? 02	465	└"W"			543	333
427	GTO d	466	RTN	505	LBL 11	544	STO 12
428	└"fAZ."					545	RTN
429	ARCL 04	467	LBL 07	506	LAST X		
430	└"°.INT:."			507	ENTER	546	LBL 20 =>S.D
431	RCL 03	468	ABS	508	SIGN		
432	60	469	AIP	509	360	547	COS
433	X	470	└"°"	510	X	548	0.017
434	FIX 01	471	FP	511	-	549	X
435	ARCL STx	472	100	512	GTO 04	550	1
436	└"°"	473	X			551	X<>Y
437	PRA	474	FIX 01	513	LBL 12	552	-
438	PROMPT	475	RND			553	0.267
439	RTN	476	ARCL ST x	514	360	554	X<>Y
		477	RTN	515	+	555	÷
440	LBL d			516	RTN	556	STO S.D
		478	LBL 08 =>d.ddd			557	RTN
441	CF 02			517	LBL H		
442	└"f"	479	IP			558	LBL J
443	RCL Iaf	480	LAST X	518	CF 01		
444	ENTER	481	FP	519	RTN	559	CLMENU
445	XEQ 07	482	5			560	EXITALL
446	R↓	483	X	520	LBL I	561	CLST
447	X<0?	484	3			562	DEG
448	GTO 05	485	÷	521	-1	563	FIX 04
449	└"N."	486	+	522	STO 01	564	END
		487	RTN				

Berekenen van een "FIX" met 2 **HOOGTELIJNEN** (met sextant of theodoliet) met calculator HP 42S en/of App FREE42

lat*, lon* = + (N en E) - (S en W)		HP 42S 1356 bytes App Free42 1353 bytes
HoE = meter	Artificiële Horizon	HoE=0
Limb	lower= -1	centre= 0 upper= 1
Format lat*, lon*, ALTs	= xxx.xx x [ddd°mm.m']	
Format U.T	= xx.xx xx [h . min sec]	
Format Da.Mo	= xx.xx [Dag . Maand]	
Dog	= xxx.x [zeemijl]	
Cog	= xxx.x [°]	
Index error le	= - OFF the arc	+ ON the arc
Format le	= x.xx [minuten]	
Format Corr	= xx [sec]	

Vers. 2/12/2019

ASTRONAVIGATIE - ZON HP 42S

001	LBL "ASTRA"	047	SIN	096	┌".~."	140	FIX 02	
		048	RCLx Dog	097	AIP	141	INPUT le	
002	DEG	049	RCL 19	098	┌":"	142	INPUT HoE	
003	CF 02	050	RCL 23	099	FP	143	XEQ I	
004	CF 03	051	2	100	100	144	INPUT Da.Mo	
005	CF 05	052	÷	101	x	145	IP	
006	CF 29	053	+	102	AIP	146	STO 00	=JO
007	".....□.ASTRA.□"	054	COS =Mean Lat	103	┌".U.T"	147	LAST X	
008	┌"lf.....zon"	055	÷	104	PROMPT	148	FP	
009	AVIEW	056	60	105	XEQ 12	149	100	
010	STOP	057	÷	106	FC? 01	150	x	
		058	STO 24 =ΔL	107	RTN	151	STO 15	=MO
011	LBL 00	059	XEQ 12			152	RCL IND ST x	
		060	FC? 01	108	LBL c	153	STO+ 00	
012	"COP1"	061	RTN			154	FIX 00	
013	KEY 1 XEQ A	062	STO 02 =SIN H2	109	RCL 01	155	INPUT Year	
014	"COP2"	063	XEQ 02	110	90	156	4	
015	KEY 2 XEQ B	064	FC? 01	111	RCL- 08	157	÷	
016	"TRAN"	065	RTN	112	"SOUTH"	158	FP	
017	KEY 4 XEQ C	066	RCL 11	113	KEY 1 GTO 16	159	STO 02	=AA
018	"EXIT"	067	XEQ 09	114	"NORTH"	160	X=0?	
019	KEY 6 GTO J	068	STO laf	115	KEY 4 GTO 15	161	XEQ 13	
020	CLA	069	RCL 10	116	CLA	162	FIX 04	
021	AVIEW	070	ABS	117	MENU	163	INPUT U.T	
022	MENU	071	180	118	PROMPT	164	>HR	
023	STOP	072	X<Y?	119	GTO c	165	24	
024	GTO 00	073	GTO 11			166	÷	
		074	LAST X	120	LBL 15	167	STO+ 00	=J2
025	LBL A					168	FIX 03	
		075	LBL b	121	±	169	INPUT ALTs	
026	XEQ 01					170	RCL Year	
027	FC? 01	076	XEQ 09	122	LBL 16	171	2000	
028	RTN	077	STO lof			172	-	
029	STO 20 =SIN H1	078	SF 02	123	+	173	365.25	
030	RCL 00	079	XEQ D	124	XEQ 09	174	x	
031	STO 21 =GHA1	080	PRA	125	STO laf	175	0.5	
032	RCL 01	081	PROMPT	126	SF 02	176	+	
033	STO 22 =DEC1	082	RTN	127	SF 03	177	RCL- 02	
034	XEQ D			128	XEQ D	178	365250	
035	RTN	083	LBL C =Transit	129	CF 03	179	÷	
				130	PRA	180	STO 14	
036	LBL B	084	XEQ 10	131	PROMPT	181	RCL 00	
		085	FIX 03	132	RTN	182	LAST X	
037	XEQ 10	086	INPUT lon*			183	÷	
038	FIX 01	087	XEQ 08	133	LBL 01	184	+	
039	INPUT Dog	088	15			185	STO 01	=T
040	INPUT Cog	089	÷	134	XEQ 10	186	RAD	
041	COS	090	12	135	FIX 03	187	6283.01961	
042	RCLx Dog	091	X<>Y	136	INPUT lat* =DRP	188	x	
043	60	092	-	137	XEQ 08	189	0.043179665	
044	÷	093	>HMS	138	STO 19	190	-	
045	STO 23 =Δφ	094	"Transit.."			191	STO 02	=AM
046	RCL Cog	095	PRA	139	LBL 12	192	XEQ 20	

193	0.033417	249	>DEG	301	RCL 15	345	STO 05	=STARTφ	
194	RCL 02	250	X<0?	302	2	346	SIN		
195	SIN	251	XEQ 24	303	X>=Y?	347	STO 06		
196	X	252	STO 00	=GHA	304	RTN	348	LAST X	
197	RCL+ 02	253	XEQ 09	305	1	349	COS		
198	RCL 02	254	STO GHA	306	STO+ 00	350	STO 07	=COS D2	
199	2	255	DEG	307	RTN	351	RCL 21	=G1	
200	X	256	FIX 00			352	RCL- 24		
201	SIN	257	INPUT Corr	308	LBL 14	353	STO 04	=G1- ΔL	
202	0.0003489	258	INPUT Limb			354	RCL 22		
203	X	259	RCL ALTs	309	PI	355	SIN		
204	+	260	XEQ 08	310	STO+ 02	356	STO 08	=SIN D1	
205	RCL 01	261	RCL le	311	RTN	357	LAST X		
206	0.300052641	262	60	=le		358	COS		
207	X	263	÷	312	LBL 18	359	STO 09	=COS D1	
208	4.938242632	264	-			360	RCL 02		
209	+	265	RCL Corr	313	R↓	361	RCL 20		
210	+	266	3600	314	2	362	X<Y?		
211	STO 03	267	÷	315	÷	363	GTO 04		
212	SIN	268	+	316	GTO 17				
213	0.397777	269	RCL HoE			364	LBL 03		
214	X	270	X=0?	Artif.Hor	317	LBL 02			
215	ASIN	271	GTO 18			365	RCL 02	=SIN H2	
216	>DEG	272	SQRT	318	CF 04	366	RCL 06	=SIN D2	
217	STO 01	=DEC	273	0.0293	319	"Npos"	367	RCL 05	
218	XEQ 09	274	X	=Dip	320	KEY 1 GTO 22	368	SIN	
219	STO DEC	275	-		321	"Spos"	369	X	
220	RCL 03				322	KEY 4 GTO 21	370	-	
221	TAN	276	LBL 17		323	CLA	371	RCL÷ 07	
222	0.917482				324	MENU	372	RCL 05	
223	X	277	STO 03		325	PROMPT	373	COS	
224	ATAN	278	4.4	=Refract	326	GTO 02	374	÷	
225	STO 02	279	+				375	ACOS	
226	RCL 03	280	7.31		327	LBL 21	376	FS? 05	
227	COS	281	X<>Y				377	±	
228	X<0?	282	÷		328	SF 04	378	RCL- 00	
229	XEQ 14	283	RCL+ 03				379	CPX?	
230	RCL 00	284	TAN		329	LBL 22	380	GTO 04	
231	360.98564735	285	1/X				381	STO 10	=L
232	X	286	60		330	CF 05	382	RCL+ 04	
233	RCL 14	287	÷		331	RCL 00	383	COS	
234	360007.7	288	RCL 03		332	RCL- 21	384	RCLx 09	
235	X	289	X<>Y		333	ABS	385	STO 12	
236	100.465	290	-		334	180	386	X↑2	
237	+	291	RCL Limb		335	X>Y?	387	RCL 20	
238	360	292	RCL S.D		336	GTO 19	388	X↑2	
239	MOD	=TSO	293	X	337	RCL 00	389	-	
240	+	294	-		338	RCL 21	390	RCL 08	
241	360	295	STO 08	=Ho	339	X<Y?	391	X↑2	
242	÷	296	SIN		340	SF 05	392	+	
243	FP	297	RTN				393	X<0?	
244	PI				341	LBL 23	394	GTO 04	
245	X	298	LBL 13				395	SQRT	
246	2				342	".....*.FIX*"	396	FS? 04	
247	X	299	1		343	AVIEW	397	±	
248	RCL- 02	300	STO 02		344	RCL 01	398	RCL+ 08	

399	RCL 20		453	RCL 02		505	RCL Iaf		550	LBL 09 =>dd°mm.m
400	RCL+ 12		454	RCL+ 12		506	ENTER			
401	÷		455	÷		507	XEQ 07		551	IP
402	ATAN		456	ATAN		508	R↓		552	LAST X
403	2		457	2		509	X<0?		553	FP
404	X		458	X		510	GTO 05		554	3
405	RCL+ 23		459	STO 11	=φ	511	└ "N.."		555	X
406	STO 11	=φ	460	RCL- 05					556	5
407	RCL- 05		461	ABS		512	LBL e		557	÷
408	ABS		462	0.001					558	+
409	0.001		463	X>=Y?		513	FS? 03		559	RTN
410	X>=Y?		464	RTN		514	RTN			
411	RTN		465	RCL11		515	RCL Iof		560	LBL 10
412	RCL11		466	STO 05		516	ENTER			
413	STO 05		467	GTO 04		517	XEQ 07		561	CLMENU
414	GTO 03					518	R↓		562	SF 01
			468	LBL D		519	X<0?		563	"RTN"
415	LBL 04					520	GTO 06		564	KEY 6 GTO H
			469	CLMENU		521	└ "E"		565	MENU
416	RCL 20	=SIN H1	470	CLA		522	RTN		566	RTN
417	RCL 08	=SIN D1	471	RCL Da.Mo						
418	RCL 05		472	AIP		523	LBL 05		567	LBL 11
419	RCL- 23		473	└ "/"						
420	STO 12		474	FP		524	└ "S.."		568	LAST X
421	SIN		475	100		525	GTO e		569	ENTER
422	X		476	X					570	SIGN
423	-		477	AIP		526	LBL 06		571	360
424	RCL 12		478	└ "/"					572	X
425	COS		479	FIX 00		527	└ "W"		573	-
426	÷		480	ARCL Year		528	RTN		574	GTO b
427	RCL÷ 09		481	└ ".□."						
428	ACOS		482	RCL U.T		529	LBL 07		575	LBL H
429	±		483	AIP						
430	FS? 05		484	└ ":"		530	ABS		576	CF 01
431	±		485	FP		531	AIP		577	RTN
432	RCL- 04		486	100		532	└ "°"			
433	CPX?		487	X		533	FP		578	LBL I
434	GTO 03		488	AIP		534	100			
435	STO 10	=L	489	└ ":"		535	X		579	-1
436	RCL+ 00	=G2+L	490	FP		536	FIX 01		580	STO 01
437	COS		491	100		537	RND		581	30
438	RCLx 07		492	X		538	ARCL ST x		582	STO 02
439	STO 12		493	AIP		539	RTN		583	58
440	X↑2		494	FS? 02					584	STO 03
441	RCL 02		495	GTO d		540	LBL 08 =>d.ddd		585	89
442	X↑2		496	└ "IfALts:."					586	STO 04
443	-		497	FIX 03		541	IP		587	119
444	RCL 06		498	ARCL ALTs		542	LAST X		588	STO 05
445	X↑2		499	PRA		543	FP		589	150
446	+		500	PROMPT		544	5		590	STO 06
447	X<0?		501	RTN		545	X		591	180
448	GTO 03					546	3		592	STO 07
449	SQRT		502	LBL d		547	÷		593	211
450	FS? 04					548	+		594	STO 08
451	±		503	CF 02		549	RTN		595	242
452	RCL+ 06		504	└ "If"					596	STO 09

597	272	610	LBL 20	=>S.D	622	LBL 24
598	STO 10					
599	303	611	COS		623	360
600	STO 11	612	0.017		624	+
601	333	613	X		625	RTN
602	STO 12	614	1			
603	RTN	615	X<>Y		626	LBL J
		616	-			
604	LBL 19	617	0.267		627	CLMENU
		618	X<>Y		628	EXITALL
605	RCL 00	619	÷		629	CLST
606	RCL 21	620	STO S.D		630	DEG
607	X>Y?	621	RTN		631	FIX 04
608	SF 05				632	END
609	GTO 23					

Berekenen van een "FIX" met 2 **HOOGTECIRKELS** (met sextant of theodoliet) met calculator HP 42S en/of App FREE42

lat*, lon* = + (N en E)	HP 42S 1444 bytes
- (S en W)	App Free42 1439 bytes
HoE = meter	Artificiële Horizon HoE=0
Limb	lower= -1 centre= 0 upper= 1
Format lat*, lon*, ALTs	= xxx.xx x [ddd°mm.m']
Format U.T	= xx.xx xx [h . min sec]
Format Da.Mo	= xx.xx [Dag . Maand]
Dog	= xxx.x [zeemijl]
Cog	= xxx.x [°]
Index error le	= - OFF the arc + ON the arc
Format le	= x.xx [minuten]
Format Corr	= xx [sec]

Vers. 12/12/2019

