

ZONNEWIJZERS

Hoofdstuk 1 Astronomische basiskennis.

Inhoud:

Coördinaten op aarde	blz. 1.1
Hemelsfeer	blz. 1.2
Declinatie en uurhoek op de sfeer en de dagbaan van de zon	blz. 1.3
Hoogte en Azimut	blz. 1.6
De jaarbaan van de aarde om de zon	blz. 1.6
Een paar regels uit de bolgoniometrie	blz. 1.7
Enkele toepassingen in de astronomische navigatie	blz. 1.9
Tijdstip van opkomst van de zon	blz. 1.10

Coördinaten op aarde.

Een **grootcirkel** is een cirkel op een boloppervlak waarvan de straal gelijk is aan de straal van de bol. Dit betekent ook dat het middelpunt van alle grootcirkels en van de bol samenvallen.

Een andere definitie: Een grootcirkel is de doorsnede van een bol met een vlak door het middelpunt van die bol.

De aarde draait in een dag om z'n as. Deze denkbeeldige **aardas** snijdt het aardoppervlak in de zuidpool (ZP) en de noordpool (NP).

Meridianen zijn halve grootcirkels die van pool tot pool lopen. In vroeger jaren is er voor gekozen om de meridiaan over Greenwich de nulmeridiaan te noemen.

Parallellen zijn cirkels waarvan het vlak loodrecht op de aardas staat.

Het **evenaar**- of **equator**vlak staat loodrecht op de aardas en gaat door het middelpunt van de aarde (en is dus een bijzondere parallel).

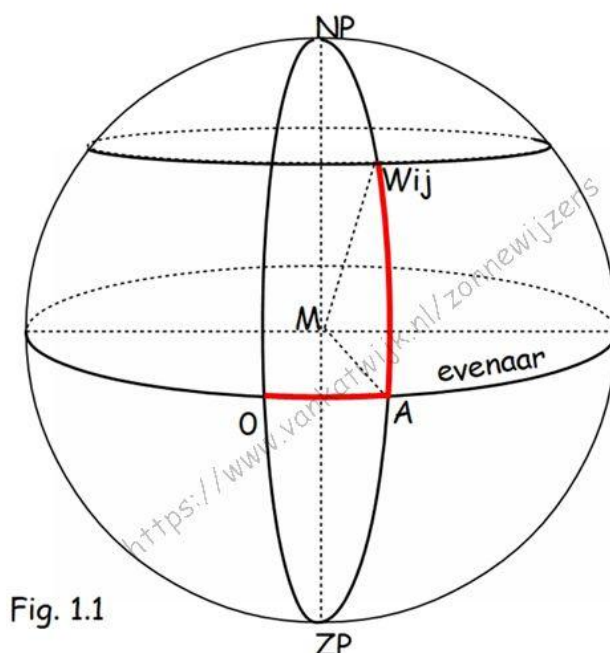


Fig. 1.1

M : Middelpunt van de aarde

NP: Noordpool

ZP: Zuidpool

O : Snijpunt van de nulmeridiaan en de evenaar

Wij: Onze plaats op aarde

A: Snijpunt van onze meridiaan en de evenaar

In een drie dimensionale ruimte kunnen punten worden vastgelegd met een x-y-z-assenstelsel. Bij de bespreking van zonnwijzers wordt hier ook gebruik van gemaakt. Op een oppervlak zoals een bol, kan worden volstaan met twee coördinaten. Één ten opzichte van het equatorvlak en

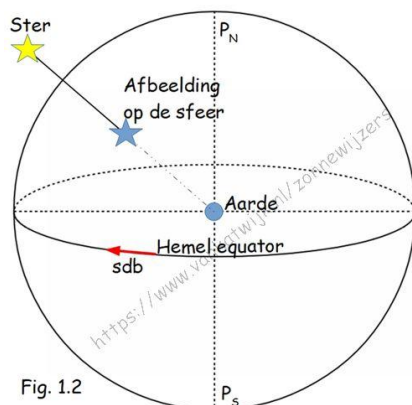
ZONNEWIJZERS

één ten opzichte van de nulmeridiaan (0 in figuur 1.1). In de navigatie wordt Oost van de nulmeridiaan positief genoemd, West negatief. Bij teksten over zonnepijlers is dit soms andersom. Gezien mijn nautische achtergrond houd ik het echter bij Oost positief. De halve bol noord van de evenaar heet het **noordelijk halfrond**, de zuidelijke helft **zuidelijk halfrond**.

Noord wordt positief gerekend, zuid negatief. Ten oosten ("rechts") van de nulmeridiaan tot aan de hier tegenover liggende meridiaan van 180° is het **oostelijk halfrond**, de andere helft is het **westelijk halfrond**. Een plaats op aarde wordt aangegeven met de coördinaten (geografische) **breedte** (Noord of Zuid) en **lengte** (Oost of West). De breedte wordt gemeten als boog (A-Wij) van de meridiaan over onze plaats of als middelpuntshoek (A-M-Wij). De lengte wordt gemeten als boog (O-A) van de evenaar of als middelpuntshoek (O-M-A).

Hemelsfeer.

De hemelsfeer, vaak alleen de sfeer genoemd, is een denkbeeldige bol met de aarde als middelpunt.



De straal is zo groot dat wij hemellichamen zoals sterren en de zon vanaf elke plek op aarde in dezelfde richting op deze sfeer zien. Anders gezegd, in de afmetingen van de sfeer is de aarde een punt. Een hemellichaam dat op de sfeer getekend wordt is in feite het snijpunt van de lijn Aarde - Hemellichaam met de sfeer. Voor het maken van een zonnepijler is ook alleen de richting van de zon van belang en niet de afstand tot de zon. De **hemelas** is de denkbeeldige

verlenging van de aardas en daarmee een middellijn in de sfeer. De snijpunten van de hemelas met de sfeer zijn de **hemelpolen**. Deze worden vaak aangegeven met P_N en P_S of P_z . De **hemelequator** is de snijlijn van het vlak van de (aardse) evenaar en de hemelsfeer. De aarde draait, gezien vanaf de Noordpool linksom. Daardoor zien wij hemellichamen (op onze breedte) in de loop van de nacht naar het zuiden kijkend rechtsom om of van oost naar west over de sfeer bewegen. Deze beweging is de **schijnbaar dagelijkse beweging (sdb)**, deze wordt met een pijl op de hemelequator aangegeven.

ZONNEWIJZERS

Coördinaten declinatie en uurhoek op de sfeer en de dagbaan van de zon..

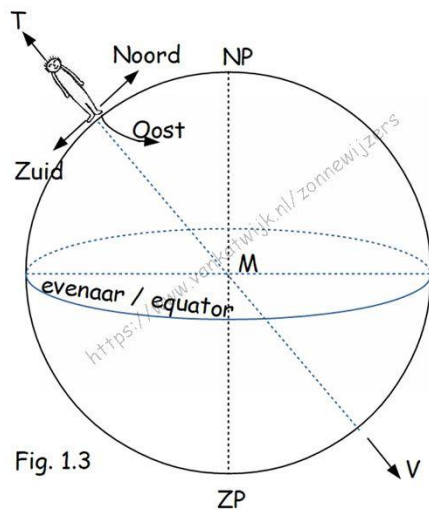


Fig. 1.3

M is het middelpunt van de aarde (en van de sfeer). Het poppetje is de plaats van de waarnemer op aarde met de bijbehorende windrichtingen.

De T recht boven het mannetje wijst naar de **Top** of **Zenit**, de V rechtsonder wijst naar het **Voetpunt** of **Nadir**. De linkerhelft van de grote cirkel van NP tot ZP is de meridiaan van de waarnemer. De boog van de evenaar tot de waarnemer is de breedte **b**. Figuur 1.4 is de bijbehorende sfeer-figuur waarbij de aarde $90^\circ - b$ gedraaid is.

In figuur 1.4 staat het sterk uitvergroete mannetje op de plaats van de aarde A. Het punt recht boven zijn hoofd op de sfeer is de **Top** T. Onderaan is het **Voetpunt** V. De **horizon** staat loodrecht op de lijn T-V. Voor zonnewijzers is het niet nodig onderscheid te maken tussen de **ware horizon** door het middelpunt van de aarde en de **lokale horizon** door het oog van de waarnemer.

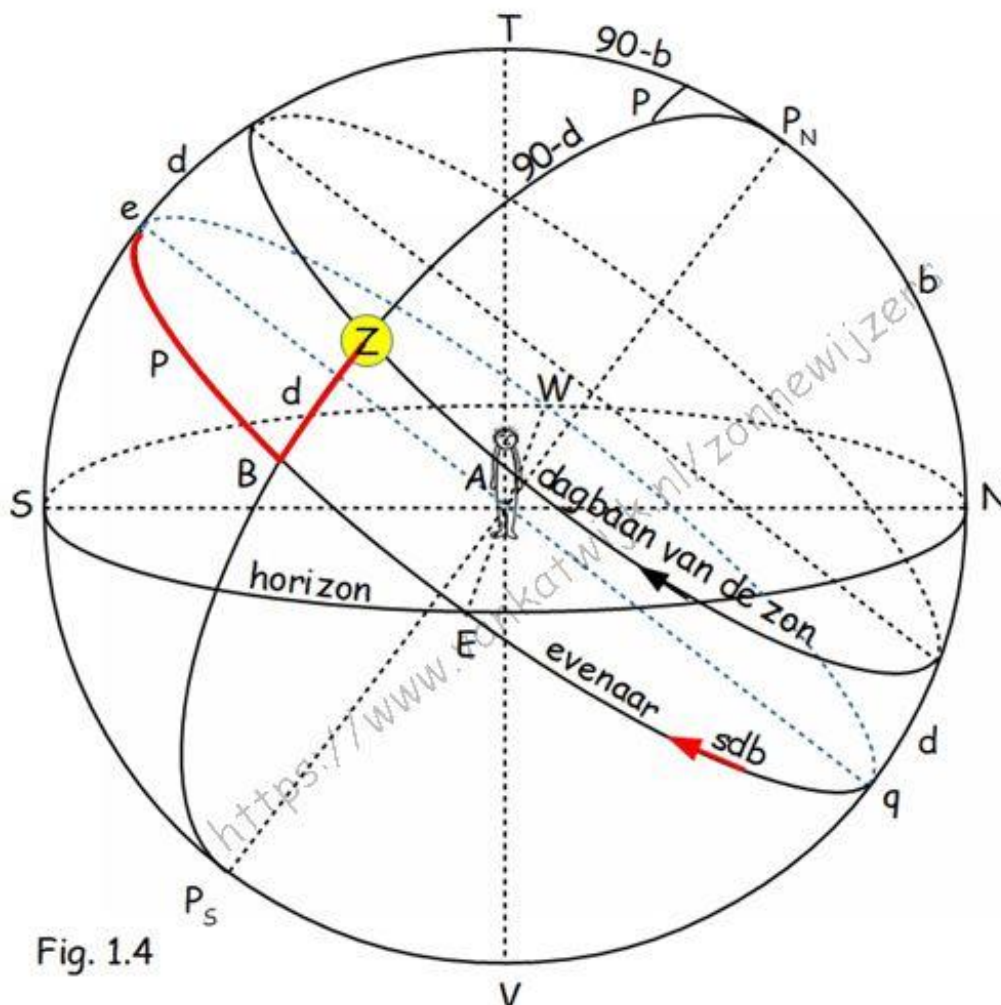


Fig. 1.4

ZONNEWIJZERS

De hoek $e-A-T$ is gelijk aan de breedte op aarde (vergelijk deze hoek met de hoek evenaar, punt M en het mannetje in figuur 1.3). Hieruit volgt dat hoek $T-A-P_N$ gelijk is aan $90^\circ - b$. Maar ook is dan te zien hoek $N-A-P_N$ weer gelijk is aan de breedte van de waarnemer.

Een bekende kreet is daarom: **Poolshoogte = (Hemel)breedte**. De **hemelequator** (evenaar), in hetzelfde vlak als de aardse equator en dus loodrecht op de hemelas, wordt aangegeven met de letters e en q .

De grootcirkel $P_N-N-V-P_S-S-T$ is de **hemelmeridiaan**. De hemelmeridiaan snijdt het horizontale vlak in het **Noordpunt N** en het **Zuidpunt S**. De hemelmeridiaan valt dus samen met het Noord-Zuid vlak van de waarnemer. Loodrecht op de lijn $N-S$ zijn het **Oostpunt E** en het **Westpunt W** op de horizon aangegeven. De hemelmeridiaan wordt verdeeld in een **bovenmeridiaan** ($P_N-T-e-S-P_S$, deze gaat dus over het toppunt T) en een **benedenmeridiaan** ($P_N-N-q-V-P_S$).

Een "meridiaan" over een hemellichaam zoals de boog $P_N-Z-B-P_S$ is een **declinatie- of uurcirkel**. Wat de breedte is in aardse coördinaten is de **declinatie** (decl. of d) in de sfeer. Het is dus de boog van de uurcirkel over het hemellichaam **vanaf de evenaar tot aan het hemellichaam**. Noordelijke declinatie is positief, zuidelijke declinatie is negatief. De declinatie van de zon is afhankelijk van de datum. In de paragraaf "De jaarbaan van de aarde om de zon" meer hierover.

De **uurhoek** wordt net als de lengte op aarde gemeten over de evenaar. De uurhoek is de boog van de hemelequator **gerekend vanaf de bovenmeridiaan tot aan de meridiaan over het hemellichaam**. In de bovenmeridiaan bereikt de zon de **bovendoorgang**.

Er is een **Oostelijke Uurhoek** (de rode boog $e-B$, aangegeven met de letter P) en een **Westelijke Uurhoek**. De oostelijke uurhoek wordt ook wel aangegeven met EP , de westelijke uurhoek, gemeten in de richting van de sdb , met **LHA (Local Hour Angle)**. De westelijke uurhoek wordt in teksten over zonnepijlers ook wel aangegeven met de letter t . Een **ware zonnedag** is het tijdsverloop tussen twee opeenvolgende doorgangen van de (ware) zon door de benedenmeridiaan. Dit tijdsverloop is **24 uur**; in die tijd is de aarde 360° gedraaid.

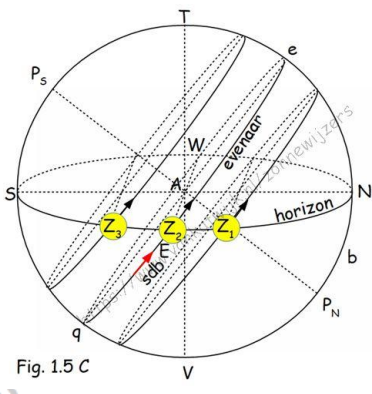
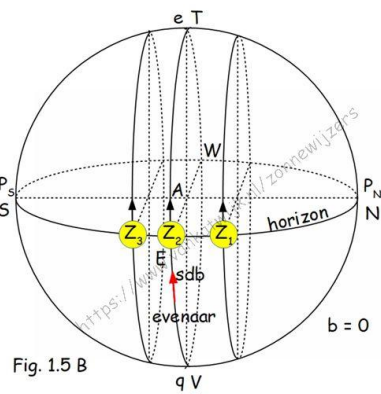
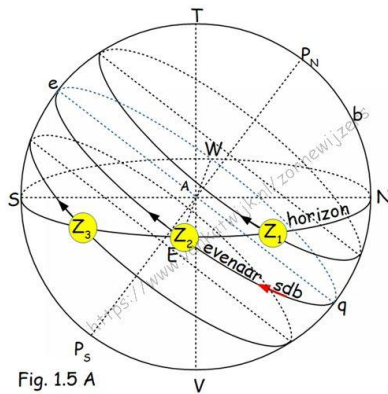
De uurhoek van de zon verandert dus $360^\circ/24$ uur ofwel 15° per uur.

Boog $e-B$ in figuur 1.4 is gelijk aan hoek $e-A-B$, maar deze hoek wordt ook bij P_N op de bol aangegeven door de hoek tussen het vlak van de bovenmeridiaan en het vlak van de meridiaan over het hemellichaam. Het **punt van zonsopkomst** is het snijpunt van de dagbaan met de horizon

De uurhoek van de getekende zon is oostelijk (positief), de zon moet dus nog een tijdje doorlopen in z'n dagbaan voor hij in de bovenmeridiaan staat, de **Ware Middag**.

Hieronder staan enkele sfeertekeningen met dagbanen van de zon in de zomer en de winter voor waarnemers op verschillende breedtes.

ZONNEWIJZERS



Noorderbreedte

Breedte = 0

Zuiderbreedte

In de drie figuren heeft Z_1 een noordelijke declinatie (decl), de decl. van Z_2 is 0 en Z_3 heeft een zuidelijke decl. Bij een noordelijke decl van de zon is het deel van de dagbaan boven de horizon (daglicht) op noorderbreedte lang en op zuiderbreedte juist erg kort. Bij een zuidelijke decl van de zon is dit andersom. Bij een breedte = 0, op de evenaar, zijn alle dagdelen even lang, daar duren dag en nacht dus allebei twaalf uur.

Alleen als de decl = 0 dan zijn dag en nacht op elke breedte even lang, twaalf uur.

De lengte van de dagbaan boven de horizon in uren wordt wel **dagboog** genoemd, dit is dus ook de hoek tussen de urcirkels over het punt van opkomst en het punt van ondergang, gemeten over de bovenmeridiaan.

Wat verder opvalt is dat in figuur 1.5 A, de tekening voor noorderbreedte, de zon de bovenmeridiaan (ook het hoogste punt op de dag) in zuidelijke richting passeert terwijl dit in de figuur met de zuiderbreedte, figuur 1.5 C, juist boven het noorden is. Ook is in die figuur te zien dat de zon op de getekende zuiderbreedte nog steeds in het Oosten opkomt, maar nu (kijk naar het noorden) linksom draait. Op de evenaar (zie figuur 1.5B) en op een breedte tussen de minimale en de maximale waarde van de declinatie kan de zon de bovenmeridiaan zowel in het noorden als in het zuiden passeren.

Maak zelf een tekening voor een breedte van 70° N en een decl = $23,5^\circ$ N (maximale declinatie van de zon). Als het goed is valt nu op dat de zon in dat geval niet meer ondergaat. Dit heet: **circumpolair boven de horizon**. Doe je hetzelfde voor decl = $23,5^\circ$ Z (meest zuidelijke declinatie van de zon), dan zie je dat de zon circumpolair onder de horizon blijft.

ZONNEWIJZERS

Coördinaten Hoogte en Azimut.

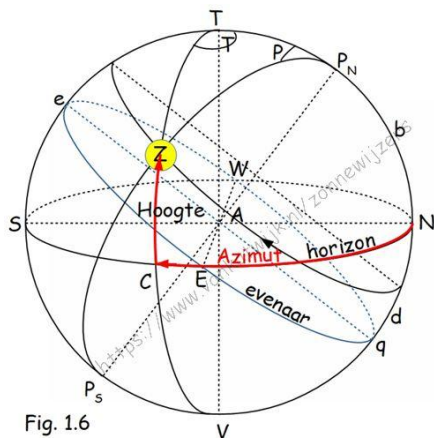


Fig. 1.6

De grootcirkel van T over het hemellichaam naar V heet een **verticaalcirkel**. De **hoogte (h)** van een hemellichaam is de boog van de verticaalcirkel over het hemellichaam vanaf de horizon tot aan het hemellichaam. Dit is gelijk aan hoek C-A-Z. Het **azimut (T)** is de kleinste boog van de horizon vanaf N op noorderbreedte en vanaf S op zuiderbreedte tot de verticaalcirkel over het hemellichaam. In plaats van azimut wordt ook wel gewerkt met de **Ware Peiling (WP)**, dit is de boog van de horizon vanaf N rechtsom (oost om) gerekend

tot de verticaalcirkel over het hemellichaam. In figuur 1.6 is de WP dus gelijk aan T. Hoek T is ook te zien als de hoek tussen de vlakken van de hemelmeridiaan en de verticaalcirkel ofwel hoek N-A-C. Deze hoek is gelijk aan de getekende hoek bij T in figuur 1.6. In sommige teksten over zonnewijzers wordt het azimut aangegeven met az en dan rekent men vanaf zuid rechtsonder positief.

De jaarbaan van de aarde om de zon.

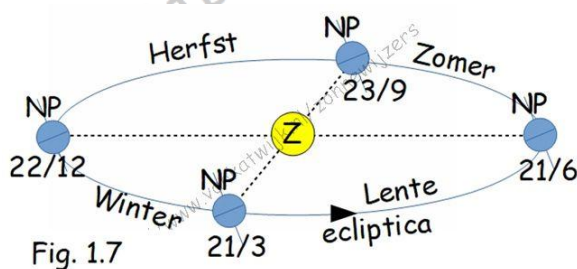


Fig. 1.7

De aarde draait vanaf het noorden van de sfeer gezien in een jaar linksom om de zon. Hoewel niet geheel juist gaan we er voorsnog van uit dat deze baan cirkelvormig is. Het vlak waarin de aarde om de zon draait heet **eclipticavlak**; de baan zelf wordt de **ecliptica** genoemd.

De aardas staat niet loodrecht op dit eclipticavlak, maar maakt hiermee **een hoek van $66,5^\circ$** . Hierdoor ontstaan de seizoenen. De in figuur 1.7 aangegeven seizoenen gelden natuurlijk alleen voor noorderbreedte. Ongeveer op 21 maart staat de zon recht boven de evenaar, wij zien de zon dan in punt **Ram**. In de periode na 21 maart staat de zon recht boven punten op het noordelijk halfrond (Lente op dit halfrond). Ongeveer op 21 juni staat de zon boven het meest noordelijke punt, wij zien de zon dan in sterrenbeeld **Kreeft**. De breedte van de plaats waar de zon dan recht boven staat (de **Kreeftskeerkring**) is dan maximaal, namelijk $23,5^\circ$ Noord ($90^\circ - 66,5^\circ$). Deze "breedte" van de zon op de sfeer hebben we eerder declinatie genoemd. Ongeveer 23 september is de declinatie weer 0° (zon weer recht boven de evenaar), we zien de zon dan in het sterrenbeeld **Weegschaal**. En ongeveer op 22 december staat de zon boven het zuidelijk halfrond, we zien de zon in sterrenbeeld **Steenbok**. De zon staat dan recht boven de **Steenbokskeerkring**. De declinatie is dan $23,5^\circ$ Zuid. Als de zon gezien vanaf de aarde deze noordelijkste of zuidelijkste punten bereikt dan spreekt men over de **zonnewende of solstitium (zonnestilstand)**.

ZONNEWIJZERS

Flauw, maar makkelijk te onthouden is: qua gewicht kan een kreeft op een steenbok staan, andersom wordt de kreeft geplet. Hiermee: de Kreeftskeerkring is "boven" ofwel noordelijk en de Steenbokskeerkring ligt zuidelijk.

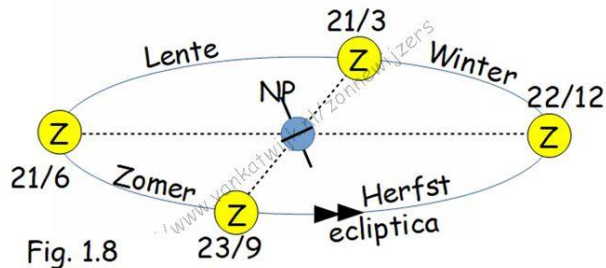


Fig. 1.8

In plaats van met de werkelijke baan van de aarde om de zon wordt vaak gewerkt met de schijnbaar jaarlijkse beweging van de zon om de aarde. Deze (schijnbare) baan van de zon wordt aangegeven met een dubbele pijl en wordt, omdat de zon in bepaalde sterrenbeelden staat, ook wel de

dierenriem, of ook **zodiac** genoemd. Een volledige rondgang van de aarde, een jaar, duurt 365,242 dagen terwijl we rekenen met 365 dagen. Om dit te corrigeren zijn er schrikkeljaren. (schrikkeljaar als het jaartal deelbaar is door vier, maar niet door 100, tenzij het deelbaar is door 400. Het jaar 2000 was dus wel een schrikkeljaar, maar 2100 wordt dat niet).

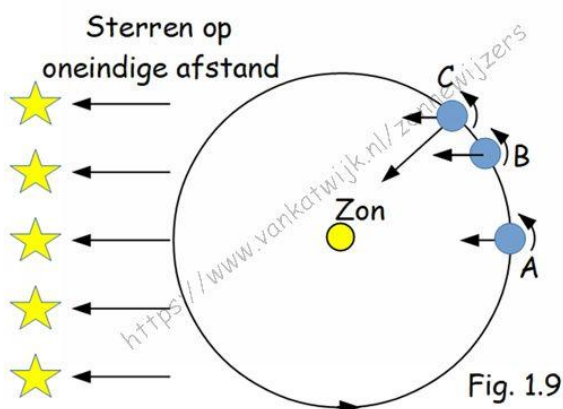


Fig. 1.9

Omdat zowel de draaiing van de aarde als de schijnbaar jaarlijkse beweging van de zon vanuit het noorden gezien linksom is zien wij de zon wel 365 keer opkomen, maar dan heeft de aarde 366 omwentelingen gemaakt. Sterk overdreven getekend zien we na een (sterren-)dag in B de sterren in dezelfde richting als in A. We zien de zon dan nog niet in dezelfde richting

als in A. Pas in punt C is de (zonne-)dag voorbij. Een sterrendag is dus korter dan een zonnedag, namelijk $(365/366) \cdot 24 \text{ uur} = 23^{\text{u}}56^{\text{m}}04^{\text{s}}$.

Door dit verschijnsel zien we sterren ongeveer "4 minuten" per dag opschuiven en zien we in de zomer dus andere sterren dan 's winters.

Een paar regels uit de bolgoniometrie

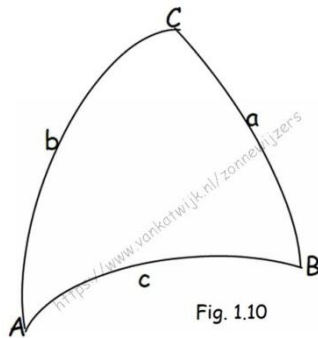
In het begin van dit hoofdstuk is al vermeld: Een **grootcirkel** is een cirkel op een boloppervlak waarvan de straal gelijk is aan de straal van de bol. Dit betekent ook dat het middelpunt van alle grootcirkels en van de bol samenvallen. Een andere definitie: Een grootcirkel is de doorsnede van een bol met een vlak door het middelpunt van die bol. Drie elkaar snijdende grootcirkels vormen een **boldriehoek**.

Elke hoek van een boldriehoek is groter dan 0° en kleiner dan 180° .

De som van de drie hoeken van een boldriehoek is groter dan 180° en kleiner dan 540° .

ZONNEWIJZERS

De zijden van een boldriehoek zijn uit te drukken in de bijbehorende middelpuntshoek en dus ook in een hoekeenheid zoals graden. Hoek C-A-Z in figuur 1.6 is bijvoorbeeld



gelijk aan de boog C-Z, de hoogte van de zon.

In boldriehoek ABC gelden de volgende regels:

1^e cosinusregel: vaak alleen de **cosinusregel**

$$\cos(a) = \cos(b) \cos(c) + \sin(b) \sin(c) \cos(A)$$

2^e cosinusregel:

$$\cos(A) = -\cos(B) \cos(C) + \sin(B) \sin(C) \cos(a)$$

Door cyclisch verwisselen zijn de formules voor $\cos(b)$, $\cos(c)$, $\cos(B)$ en $\cos(C)$ te vinden.

sinusregel: $\frac{\sin(A)}{\sin(a)} = \frac{\sin(B)}{\sin(b)} = \frac{\sin(C)}{\sin(c)}$

Bij de **cotangensregel** gaat men uit van vier opvolgende elementen, te beginnen met een zijde: $\cotan(a) \sin(b) = \cos(b) \cos(C) + \sin(C) \cotan(A)$ of in woorden:

$$\cotan(\text{ene zijde}) \cdot \sin(\text{andere zijde}) =$$

$$\cos(\text{andere zijde}) \cos(\text{ingesloten hoek}) + \sin(\text{ingesloten hoek}) \cotan(\text{overstaande hoek})$$

Een **rechthoekige boldriehoek** is een boldriehoek waarvan tenminste één hoek 90° is.

Hierin geldt de **regel van Neper**:

Als je van een rechthoekige boldriehoek de rechte hoek niet meetelt en van de beide rechthoekszijden het complement ($90^\circ - \dots$) neemt, dan is de cosinus van een element gelijk aan het produkt van

-de cotangenten van de beide aanliggende elementen

-de sinussen van de beide overstaande elementen.

Stel dat in figuur 1.10 hoek $B=90^\circ$, dan is (o.a.):

$$\sin(a) = \cotan(C) \tan(c), \text{ maar ook } \sin(a) = \sin(b) \sin(A).$$

$$a \text{ en } c \text{ zijn rechthoekszijden, daarom } \cos(90^\circ - a) = \sin(a) \text{ en } \cotan(90^\circ - c) = \tan(c).$$

De **analogieën van Neper** kunnen o.a.

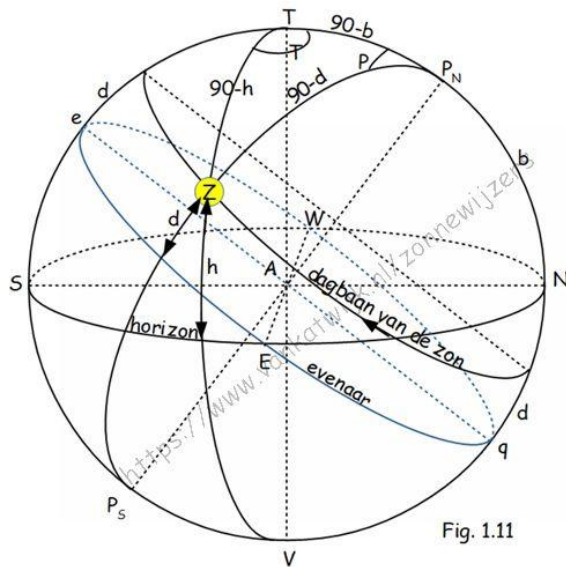
gebruikt worden om de breedte "terug" te berekenen als Uurhoek (P), hoogte (H), declinatie (d) en azimut (T) gegeven zijn.

$$\frac{\tan \frac{\alpha + \beta}{2}}{\cot \frac{\gamma}{2}} = \frac{\cos \frac{a - b}{2}}{\cos \frac{a + b}{2}} \quad \frac{\tan \frac{\alpha - \beta}{2}}{\cot \frac{\gamma}{2}} = \frac{\sin \frac{a - b}{2}}{\sin \frac{a + b}{2}}$$

$$\frac{\tan \frac{a + b}{2}}{\tan \frac{c}{2}} = \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2}}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}} \quad \frac{\tan \frac{a - b}{2}}{\tan \frac{c}{2}} = \frac{\sin \frac{\alpha - \beta}{2}}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}$$

ZONNEWIJZERS

Enkele Toepassingen in de astronomische navigatie



In de tekening van de hemelsfeer is:

A = aarde

b = breedte van de waarnemer

d = declinatie van het hemellichaam (Z)

h = hoogte van het hemellichaam boven de horizon

Pn en Ps zijn resp. pool noord en pool zuid

hoek T-P-nZ = Oostelijke uurhoek = P

N en S zijn noord- en zuidpunt op de horizon

E = oostpunt op de horizon

T = toppunt (zenith) van de waarnemer

hoek Pn-T-Z = azimut of Ware Peiling

e-q = evenaar / equator

In driehoek PnTZ de 1^e cosinusregel toepassen:

$$\cos(90 - h) = \cos(90 - b) \cos(90 - d) + \sin(90 - b) \sin(90 - d) \cos(P)$$

$$\sin(h) = \sin(b) \sin(d) + \cos(b) \cos(d) \cos(P)$$

Op de ware middag is P=0 zodat dan $\sin(h) = \sin(b)\sin(d) + \cos(b)\cos(d) = \cos(b-d)$

Op de evenaar is b = 0 zodat daar $\sin(h) = \cos(d) \cos(P)$

(zie voor een andere afleiding van deze formule Hoofdstuk 6, bladzijde 3)

Nogmaals in driehoek PnTZ de 1^e cosinusregel toepassen:

$$\cos(90 - d) = \cos(90 - b) \cos(90 - h) + \sin(90 - b) \sin(90 - h) \cos(T)$$

$$\sin(d) = \sin(b) \sin(h) + \cos(b) \cos(h) \cos(T)$$

$$\cos(b) \cos(h) \cos(T) = \sin(d) - \sin(b) \sin(h)$$

$$\cos(T) = (\sin(d) - \sin(b) \sin(h)) / (\cos(b) \cos(h))$$

Dit levert een hoek T tussen 0 en 180 graden. Om de Ware Peiling te vinden geldt:

$$WP = T \text{ als } 180 \leq P < 360 \text{ en } WP = 360 - T \text{ als } 0 \leq P < 180$$

Op de evenaar is b = 0 zodat $\cos(T) = \sin(d)/\cos(h)$

Het azimut kan ook worden berekend met de cotangensregel:

Zie bovenstaande sfeerfiguur: $\cotan(90-d) \sin(90-b) = \cos(90-b) \cos(P) + \sin(P) \cotan(T)$

$\tan(d) \cos(b) = \sin(b) \cos(P) + \sin(P) \cotan(T)$ waarmee:

$$\cotan(T) \sin(P) = \tan(d) \cos(b) - \sin(b) \cos(P)$$

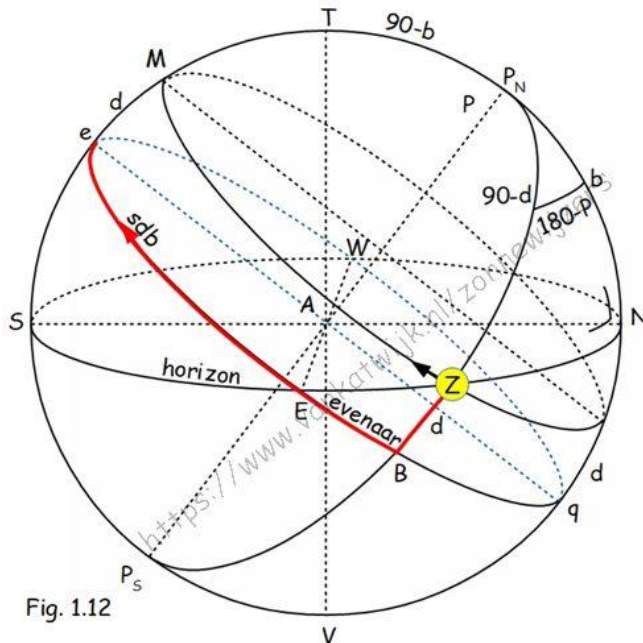
(zie voor een andere afleiding van deze formule Hoofdstuk 6, bladzijde 4)

Op de evenaar is b = 0 zodat $\cotan(T) \sin(P) = \tan(d)$ of $\tan(T) = \sin(P)/\tan(d)$

ZONNEWIJZERS

Tijdstip van opkomst van de zon.

Om de tijd van opkomst te kunnen berekenen hebben we deze formules uit de bolgoniometrie nodig.



De rode boog e-B, hoek e-A-B en hoek P bij P_N zijn alle drie de (oostelijke) **uurhoek (EP) bij opkomst**. In tijd is boog e-B de **halve dagboog**.

Boldriehoek P_NNZ is een rechthoekige driehoek, immers

hoek Z-N-P_N = 90°, hier geldt dus de regel van Neper.

Zijde N-P_N is de breedte b,

zijde Z-P_N is 90°-d en

hoek N-P_N-Z is 180°-EP. Hiermee:

$$\cos(180^\circ - EP) =$$

$$\cotan(90^\circ - b) * \cotan(90^\circ - d) \text{ of}$$

$$\cos(180^\circ - EP) = \tan(b) * \tan(d)$$

Opm.: als zon in de benedenmeridiaan staat dan is het 0 uur, daarom 180°-EP

$$180^\circ - EP = \arccos(\tan(b) * \tan(d)) \text{ of de halve dagboog} = EP = -\arccos(\tan(b) * \tan(d))$$

Soms is het handig de $LHA_{opkomst} = (360^\circ) - EP = \arccos(\tan(b) * \tan(d))$ te berekenen.

Voorbeeld: b = 52°, d = 10° (ongeveer 15 april). $\cos(180^\circ - EP) = \tan(52) * \tan(10) = 0,2257$

Hiermee: 180 - EP = 76,96°. De **tijd van opkomst** is dus 76,96/15 = 5,1304 uur ofwel 5^u08^m. Let wel op dat dit zonnetijd is, dus nog niet de tijd op onze klokken.

$$EP = 180^\circ - 76,96^\circ = 103,04^\circ \quad LHA_{opkomst} = 360^\circ - EP = 360^\circ - 103,04^\circ = 256,96^\circ.$$