

Inleiding.

In deze nieuwe rubriek wil ik proberen aandacht te geven aan **Basiskennis over Zonnewijzerkunde**. Een verzoek daartoe is op onze jaarvergadering gedaan omdat sommige lezers soms struikelen over zaken die de schrijver van een artikel al als bekend veronderstelt.

Er zijn wel eerder in ons bulletin artikels verschenen die direct gericht waren op de beginnende gnomonist maar die willen we niet herhalen.

Ik wil proberen zeer consequent te blijven met de toe te passen wiskunde, die we nu eenmaal niet kunnen missen in de gnomonica. Zonder sinus, cosinus en tangens gaat het nu eenmaal niet en de basis van die wiskunde veronderstel ik aanwezig te zijn.

In deze inleiding komen twee woorden voor die een toelichting vragen: gnomonica en gnomonist. De betekenis van gnomonica is zonnewijzerkunde en het woord is afgeleid van het Griekse woord gnomon dat zoiets als peilstok of meetstok betekent. En een gnomonist is een persoon die zich met de gnomonica bezig houdt.

Om met zonnewijzers bezig te kunnen zijn moeten we allereerst bekend zijn met wat we zo al aan de hemel zien gebeuren en moeten we vastleggen hoe we een en ander daar kunnen aangeven.

In de eerste twee delen zal ik dan ook nog niets over zonnewijzers vertellen, maar wel over de hemelmechanica en over enkele coördinatenstelsels. Aan de slag dus.

Zonnewijzers voor beginners.

Hemelmechanica.

In figuur 1 is een afbeelding gegeven van de aarde, het bolletje waarop wij wonen. Hoewel de aarde niet precies een bolvormig lichaam is wordt dat toch als waar aangenomen en daarmee komen we in de praktijk ook niet in de problemen.

Dat bolletje draait om een as, de aardas, en door die draaiing ontstaan de dag en de nacht.

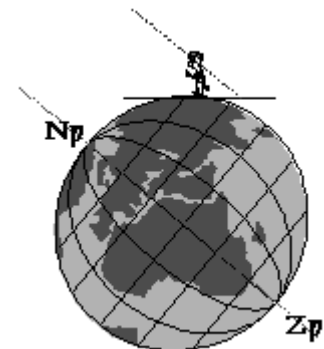


Fig. 1

Al draaiend om zijn as beweegt de aarde ook om de zon. Dat gebeurt in een ellipsvormige baan en als het nodig is houden we met die ellips wel rekening maar gewoonlijk nemen we aan dat deze baan cirkelvormig is en ook dat geeft geen praktische problemen.

Het duurt een jaar voordat de aarde een keer om de zon is gereisd.

De aardas staat onder een hoek met het vlak van zijn baan om de zon en die hoek is zo'n 66.5° ofwel 23.5° t.o.v. de loodlijn. Door deze scheefstand ontstaan de vier seizoenen, lente, zomer, herfst en winter. In figuur 2 is dat aangegeven.

Zo ongeveer zijn de werkelijke bewegingen van de aarde rond de zon maar als eenvoudige bewoner op de aarde ervaren we dat heel anders.

Wij ervaren dat we zelf stil staan en dat het de zon is die om ons heen draait. Die komt elke dag zo ergens in oostelijke richting op en gaat in een westelijke richting onder. Elke dag maakt de zon zo een rondje om ons heen in een cirkelvormige baan.

In de gnomonica houden we ons nog steeds vast aan dit ervaringsverschijnsel en dat werkt heel goed.

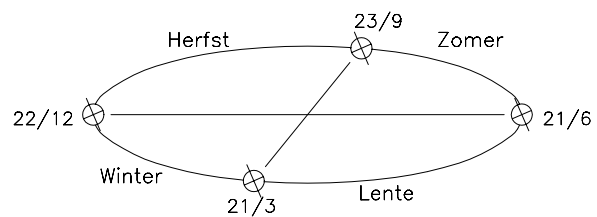


Fig. 2

's-Nachts zien we ook nog sterren aan de hemel die om ons heen bewegen. Het lijkt net alsof al die sterren op de binnenkant van een bol zijn geplakt en daarom spreken we dan ook van de hemelbol.

We nemen aan dat de sterren aan de hemel op dezelfde plaats blijven staan. De plaatsverandering van de sterren is in een mensenleven nauwelijks waarneembaar. Het beeld van de sterrenhemel is voor ons als zonnwijzerliefhebber dan ook onveranderlijk.

Wel verandert het deel van de hemelbol dat we zien in de loop van het jaar. 's-Zomers zien we andere sterren dan 's-winters. Dit verklaren we in de hierna volgende paragraaf.

Een gewoon jaar heeft 365 dagen. (preciezer: 365.2422 dagen).

In zo'n jaar zien we de zon daarom 365 keer opkomen en ondergaan.

Dat leidt tot de conclusie dat de aarde dan 365 keer om zijn as is gedraaid maar dat is echter niet juist; de aarde is dan 366 keer om zijn as gedraaid.

Omdat de aarde ook om de zon beweegt moet hij een beetje meer dan 360 graden draaien om de zon weer in dezelfde richting, b.v. het zuiden, te zien.

Dit is in overdreven vorm in figuur 3 weergegeven.

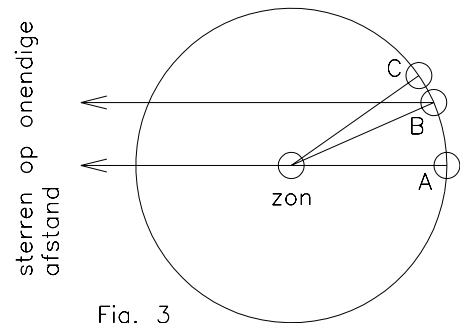


Fig. 3

We beginnen in A en zien de zon en sterren in de aangegeven richting.

Na een bepaalde tijd zien we de sterren weer in dezelfde richting en de aarde is verplaatst van A naar B en een sterrendag is voorbij.

Maar de zon staat dan nog in een geheel andere richting en pas als de aarde in C is aangekomen zien we de zon in de oorspronkelijk richting en dan pas is een zonnedag voorbij.

Zo heeft een jaar dus 365 zonnedagen en 366 sterrendagen.

Er is dus een verschil in de lengte van een zonnedag en een sterrendag.

Een zonnedag is ongeveer $1 / 365$ jaar en een sterrendag is ongeveer $1 / 366$ jaar lang.

Daarom zien we dan ook de sterrenhemel van dag tot dag een klein eindje opschuiven en zien we 's-zomers andere sterrenbeelden aan de hemel staan dan 's-winters.

Zowel een zonnedag als een sterrendag verdelen we in 24 uren.

Een sterrendag is echter korter dan een zonnedag zoals hierboven is vermeld, dus is een sterrenuur, uitgedrukt in zonne-uren, ook korter. De precieze waarden zijn: een sterrendag = $23^h 56^m 4^s$.

Het geheel van zon en aarde (met nog een aantal planeten) vormt het zonnestelsel dat maar een klein geheel is binnen het heelal.

We gaan dit zonnestelsel in gedachten verkleinen met de aarde als een enkel punt maar met de zon nog op grote afstand en dat plaatsen we in de hemelbol.

Voor ons lijkt het dan alsof de zon zich op diezelfde hemelbol tussen de sterren bevindt.

Door het verschil in lengte van een sterrendag en een zonnedag lijkt het voor ons zelfs alsof de zon op de hemelbol zich tussen de sterren verplaatst.

Dit kunnen we niet direct zien omdat we de sterren niet zien als de zon schijnt, maar we leiden dit af uit het feit dat we de sterrenhemel 's-nachts telkens een eindje zien opschuiven.

Het uiteindelijke resultaat is dat het voor ons lijkt alsof de zon zich in één jaar langs een cirkel op de hemelbol verplaatst en deze cirkel noemen we de ecliptica en het vlak waarin dat gebeurt is het ecliptica vlak.

Een ander woord voor de ecliptica is de dierenriem en deze dierenriem is verdeeld in 12 stukken van elk 30° , de dierenriemtekens. Nog een ander woord dat hiervoor veel wordt gebruikt is de zodiac.

In de gnomonica zullen we de ecliptica met zijn verdeling in dierenriemtekens nogal eens tegenkomen en als kalender gebruiken.

Het geheel is in figuur 4 weergegeven waar cirkel 1 de hemelbol voorstelt.

In het centrum zit de aarde als een bolletje met zijn aardas. Het verlengde van deze aardas vormt ook de as van de hemelbol, de hemelas, Np - Zp.

Haaks op deze gemeenschappelijk as en door het middelpunt van aarde en hemelbol denken we een vlak dat beide bollen in twee helften verdeeld. Dit is het evenaarsvlak of het equatoriale vlak, aangegeven met 2.

Op de hemelbol is met 3 de ecliptica aangegeven, de cirkel waarlangs de zon zich in een jaar tussen de sterren beweegt.

De ecliptica maakt een hoek met de equator van 23.5° .

Dat is gelijk aan het compliment van de hoek die de aardas maakt met het vlak van zijn omloop om de zon.

Ook is nu gemakkelijk in te zien dat de zon maximaal 23.5° ten noorden of ten zuiden van de evenaar kan staan.

L is het lentepunt, waar de zon staat bij het begin van de lente.

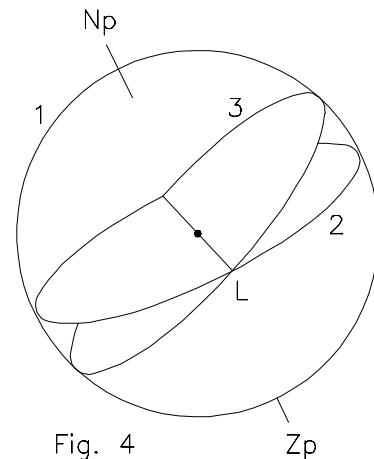


Fig. 4

De zonsbanen.

Zoals gezegd blijven wij uitgaan van de gedachte dat de zon om de aardas draait en elke dag een rondje maakt van 24 uur.

Dat rondje maakt de zon in onze zomer in een baan ten noorden van de evenaar en in onze winter ten zuiden van de evenaar. En bij het begin van de lente en van de herfst doet de zon dat in het equatoriale vlak. In figuur 5 zijn op het horizontale vlak N-O-Z-W deze drie zonsbanen getekend. Het wordt nu duidelijk dat het deel van de zomerbaan boven het horizontale vlak lang is en het deel van de winterbaan boven de horizon veel korter.

Daarom is het op een zomerdag dan ook veel langer licht dan op een winterdag. En voor de nachten is dat net andersom.

Ook zien we dat bij het begin van de lente en de herfst de dagbaan precies in 2 helften wordt verdeeld. Het is net zolang licht als donker.

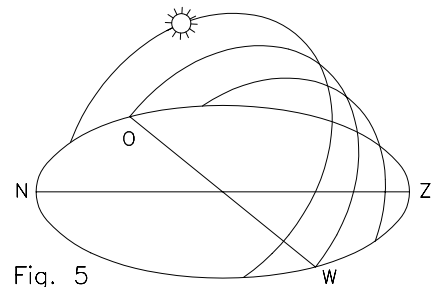


Fig. 5

Verder is te zien dat de opkomst en ondergang van de zon alleen bij het begin van de lente en de herfst in het oosten respectievelijk westen plaats vindt. In onze zomer komt de zon ten noorden van het oosten op en in onze winter ten zuiden van het oosten. Zo gaat de zon in onze zomer respectievelijk winter ook ten noorden respectievelijk ten zuiden van het westen onder.

Voor een breedte van 0° , op de evenaar, zijn de drie zonnebanen in figuur 6 weergegeven. Die staan daar haaks op de horizon, immers de hemelas ligt daar ook horizontaal.

We zien dat elke dag het hele jaar door nu altijd even lang is en wel 12 uur. En de nacht dus ook.

Maak zelf nu eens zo'n tekeningetje voor een zuiderbreedte of voor een breedte van 66.5° of voor de noord- en zuidpool. Het werkt zeer verhelderend.

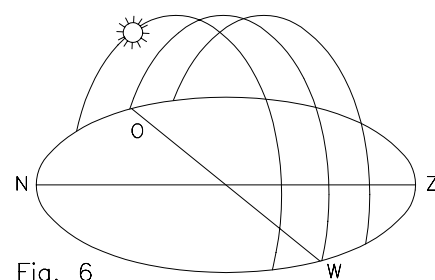


Fig. 6

We gaan nu ook voor de eerste keer een formule geven.

$$\cos T = -\tan \varphi \cdot \tan \delta$$

φ is de breedtegraad en δ is de zonsdeclinatie voor een bepaalde datum.
De uitkomst T is een maat voor de halve dagboog op die plaats en datum.

Twee voorbeelden voor Utrecht op een breedte $\varphi = 52^\circ$:
De datum is 21 maart, het begin van de lente, met $\delta = 0^\circ$.
Het antwoord voor de halve dagboog T is dan 90° . De hele dagboog is dan 180° en dat is 12 uur.
De zon komt op om $-T$ uur, dat is -90° ofwel 6 uur vóór XII uur, dat is dus VI uur v.m.
En de zon gaat onder om $+T$ uur, dat is $+90^\circ$ ofwel 6 uur ná XII uur, en dat is VI uur n.m.

En bij het begin van de zomer, met $\delta = 23.5^\circ$, is de halve dagboog $T = 123.8^\circ$ ofwel $8^h 15^m$.
De zon komt op om kwart voor vier zonnetijd in de ochtend en gaat onder om kwart over acht zonnetijd in de middag.

U ziet, we rekenen in zonnetijd en deze uitkomsten mogen niet vergeleken worden met wat er in de krant staat voor zonsopkomst en -ondergang. Daar wordt in een ander tijdsysteem gerekend en over tijdsystemen moet nog uitgebreid verteld worden.

Ook rekenen we in de gnomonica steeds met het middelpunt van de zon terwijl in het dagelijkse leven voor de zonsopkomst en ondergang gerekend wordt met de bovenrand van de zon. En omdat de zon aan onze hemelbol geen punt is maar bepaalde afmetingen heeft geeft dat andere antwoorden.

Deze hemelmechanica werd in vroegere tijden vaak getoond in prachtige instrumenten waarvan hier een voorbeeld is te zien.

Maar dat is toch een zonnwijzer?

Een armillosfeer of hoepelsfeer of sphaera armillaris gnomonica?

Ja, zo'n instrument kan heel goed dienst doen als zonnwijzer en veel afgeleiden daarvan zien we dan tegenwoordig ook als zonnwijzer toegepast, maar oorspronkelijk waren deze instrumenten niet als zonnwijzer bedoeld.



De volgende keer: coördinatenstelsels.

Coördinatenstelsels.

In de gnomonica kunnen we niet zonder een plaatsbepaling op aarde of van de zon aan de hemel. Drie coördinatenstelsels zullen we zeer regelmatig tegenkomen en die drie behandelen we hier eerst. Daarna noemen we nog twee andere stelsels die we echter niet zo vaak zullen gebruiken.

Algemeen

Omdat we met bollen te maken hebben, de aarde en de hemelbol, komt de basis voor onze coördinatenstelsels uit de boldriehoeksmmeetkunde. Nu niet te veel schrikken, het valt heel erg mee wat we daarvan nodig hebben.

We kiezen **een grondvlak, een positieve pool, een nulpunt in het grondvlak en een richting in het grondvlak.** Deze vier elementen komen we steeds tegen en we zullen zeer consequent een keuze maken die we vervolgens steeds trouw blijven.

Deze basis is in figuur 7 getekend.

Verder worden er over de bol twee netwerken van cirkels gelegd om hoeken ten opzichte van het grondvlak en hoeken in het grondvlak te kunnen meten. Het ene netwerk loopt evenwijdig aan het grondvlak en bestaat uit losliggende parallelle cirkels, het andere netwerk staat haaks op het grondvlak en deze cirkels lopen allemaal door de twee polen van ons bolstelsel.

Hoeken ten opzichte van het grondvlak worden gemeten in een bereik van -90° tot $+90^\circ$.

Hoeken in het grondvlak worden gemeten vanaf het nulpunt van 0° tot 360° in de gekozen richting.

(*Opn. Wiskundig gezien is een bereik van -180° tot $+180^\circ$ hetzelfde als een bereik van 0° tot 360° zodat we ook die aanduiding mogen gebruiken..*)

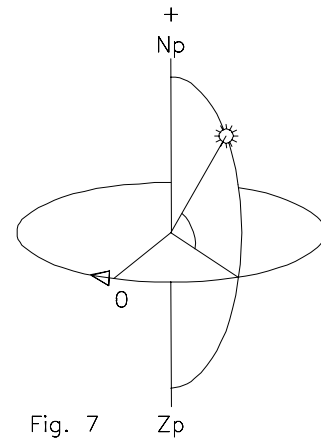


Fig. 7

Plaatsbepaling op aarde.

Waar noord, zuid, oost en west liggen is overal bekend en over de hele wereld bestaat daarover zelfs geen verschil van mening.

En ook dat de aardas loopt van de noordpool naar de zuidpool wordt door ieder aanvaard.

Een plaats op aarde kunnen we b.v. aangeven met de woorden : Utrecht ligt op 52° noorderbreedte en op 5° oosterlengte, maar dat systeem passen we niet toe. Dat rekent moeilijk in formules. We houden ons aan de boldriehoeksmmeetkunde en geven het verschil in noorderbreedte en zuiderbreedte respectievelijk westerlengte en oosterlengte aan met een positief of negatief getal.

In figuur 8 is het coördinatenstelsel voor de ligging van een bepaalde plaats op aarde weergegeven.

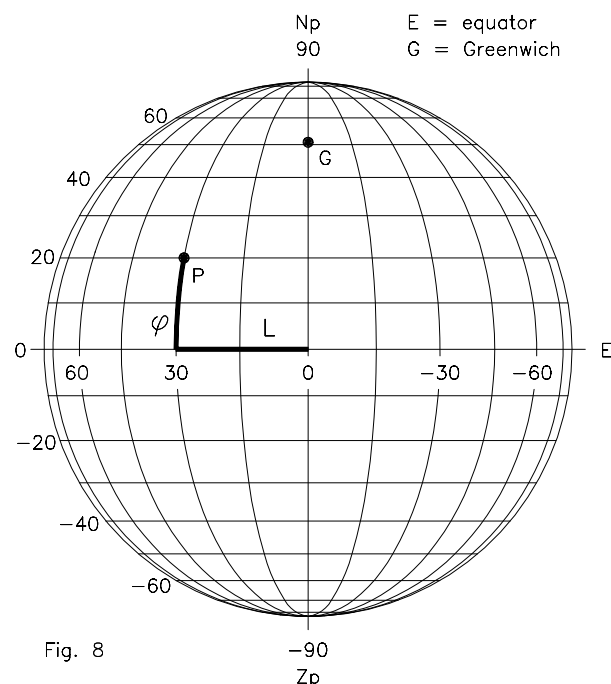


Fig. 8

Grondvlak: Het equatoriale vlak is het grondvlak.

Positieve pool: De noordpool is de positieve pool.

Nulpunt: Het nulpunt in het grondvlak is de meridiaan door Greenwich, Engeland.

Richting: De positieve richting in het grondvlak wordt naar het westen vastgelegd.

De cirkels van het netwerk van dit coördinatenstelsel noemen we: breedtecirkels en lengtecirkels.

Voor lengtecirkel wordt ook het woord meridiaan veel gebruikt.

De grenzen van de breedte en de lengte leggen we als volgt vast:

$$-90^\circ \leq \text{breedte} \leq +90^\circ$$

$$-180^\circ \leq \text{lengte} \leq +180^\circ \quad (\text{of } 0^\circ \leq \text{lengte} \leq 360^\circ)$$

Wij blijven consequent volhouden dat oosterlengte als negatief wordt aangegeven en westerlengte als positief, maar pas op, we komen soms tegen dat er gerekend wordt met tegengestelde tekens.

Symbolen: breedte = φ lengte = L.

Nu ligt Utrecht op breedte = $+52^\circ$, lengte = -5° en punt P in figuur 8 ligt op breedte $+20^\circ$, lengte $+30^\circ$.

Plaatsbepaling op de hemelbol.

In figuur 9 is bijna hetzelfde getekend als in figuur 8 maar nu aangepast voor de plaatsbepaling van de zon of van een ster aan de hemelbol.

Let ook op dat het nulpunt nu niet centraal is getekend, maar rechts aan de zijkant. De buitenste cirkel is daardoor ook de meridiaancirkel door de plaats waar we ons bevinden.

Grondvlak: Het equatoriale vlak is het grondvlak.

Positieve pool: De noordpool is de positieve pool.

Nulpunt: Het nulpunt in het grondvlak is de meridiaan van de plaats waar we ons bevinden, de plaatselijke meridiaan.

Richting: De positieve richting in het grondvlak wordt naar het westen vastgelegd.

De cirkels van het netwerk van dit coördinatenstelsel noemen we:

declinatiecirkels en uurcirkels.

De grenzen van de declinatie en de uurhoek leggen we als volgt vast:

$$-90^\circ \leq \text{declinatie} \leq +90^\circ$$

$$-180^\circ \leq \text{uurhoek} \leq +180^\circ \quad (\text{of } 0^\circ \leq \text{uurhoek} \leq 360^\circ)$$

(Opm. De zon kan in werkelijkheid nooit het gehele bereik van declinatie bereiken. Voor de zon geldt:

$$-23.5^\circ \leq \text{zonsdeclinatie} \leq 23.5^\circ)$$

Symbolen: declinatie = δ uurhoek = t

Punt P op de hemelbol heeft nu een declinatie van $+20^\circ$ en een uurhoek van $+120^\circ$.

Naast declinatie komen we ook de term poolafstand nogal eens tegen. Dat is de hoek vanaf de noordpool tot aan punt P.

De relatie tussen poolafstand en declinatie is:

$$\text{Poolafstand} = 90^\circ - \text{declinatie.}$$

In figuur 9 is de poolafstand van punt P dus 70° .

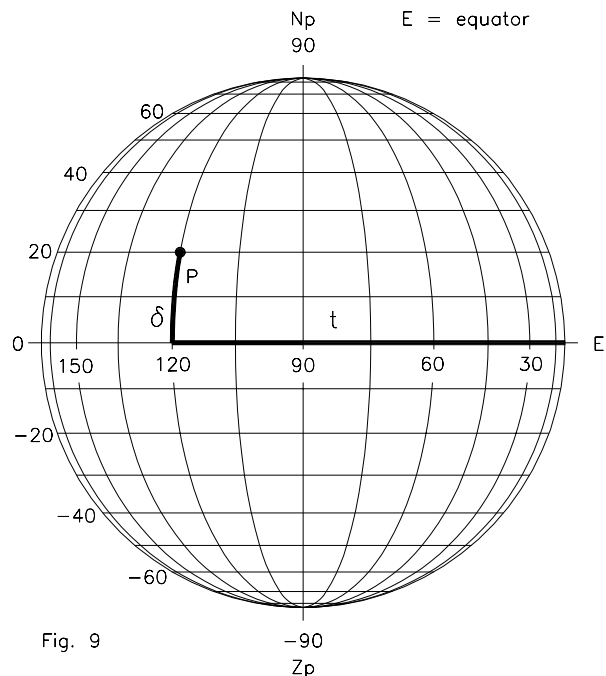


Fig. 9

Azimut en hoogte.

Een derde stelsel dat we veel zullen tegenkomen is het stelsel van hoogte en azimut (of richting) en dat is in figuur 10 getekend.

Dit coördinatensysteem is plaats gebonden, in tegenstelling tot de twee hierboven genoemde stelsels.

Grondvlak: Het horizontale vlak is het grondvlak.

Positieve pool: Het zenit, een punt op de hemelbol recht boven ons, is de positieve pool en de andere pool, recht onder ons, heet nadir.

Nulpunt: Het nulpunt in het grondvlak is het zuiden. Dat is hier aan de rechter zijde getekend.

Richting: De positieve richting in het grondvlak wordt naar het westen vastgelegd.

De cirkels van het netwerk van dit coördinatenstelsel noemen we: hoogtecirkels en azimutcirkels.

De grenzen van de hoogte en het azimut leggen we als volgt vast:

$$-90^\circ \leq \text{hoogte} \leq +90^\circ$$

$$-180^\circ \leq \text{azimut} \leq +180^\circ \quad (\text{of } 0^\circ \leq \text{azimut} \leq 360^\circ)$$

Symbolen: hoogte = h azimut = az

De keuze die wij hier maken is dat het nulpunt van het azimut in het zuiden ligt. Dit is voornamelijk gestoeld op de manier zoals de oude gnomonisten rekenden en wij in hun publicaties terugvinden.

In de navigatie is dit anders. Daar rekent men met een nulpunt in het noorden en dan naar het oosten als positieve richting. Dat klinkt anders maar het is dezelfde richting.

Verder merken we op dat wij onze keuze voor het azimut consequent blijven toepassen, ook als we met zonnepijlers op het zuidelijk halfrond aan de slag gaan.

Naast de hoogte van een hemellichaam komen we ook de termen zenitafstand en nadirafstand nogal eens tegen. De relatie tussen alle drie is:

$$\text{Zenitafstand} = 90^\circ - \text{hoogte}$$

$$\text{Nadirafstand} = 90^\circ + \text{hoogte}$$

$$\text{Zenitafstand} + \text{nadirafstand} = 180^\circ$$

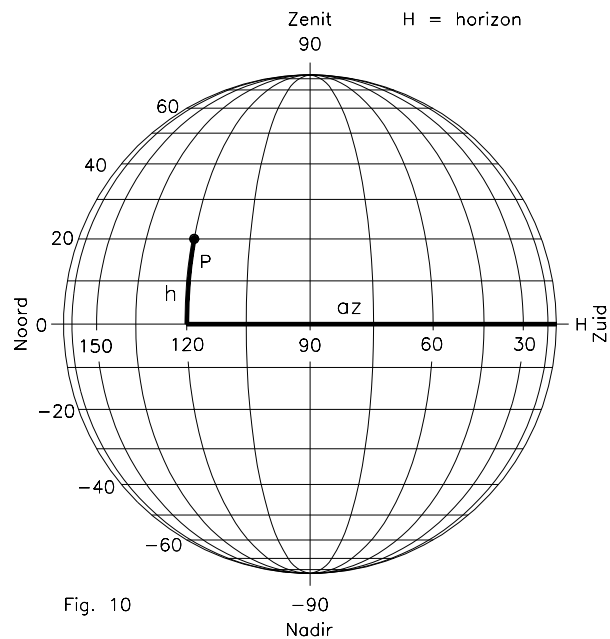
In figuur 10 is de zenitafstand 70° en de nadirafstand 110° , samen 180° ,

Samenhang tussen deze drie stelsels.

Het stelsel van breedte en lengte voor de plaatsbepaling op aarde is overal hetzelfde en het stelsel is vast met de aarde verbonden. Als we ons op een andere plaats bevinden zitten we in hetzelfde coördinatenstelsel, alleen de waarden veranderen.

Voor het stelsel van declinatie en uurhoek voor de plaatsbepaling van de zon aan de hemelbol is dit gedeeltelijk anders. De declinatiecirkels liggen overal gelijk, maar het nulpunt van de uurcirkels draait mee als we ons in oostelijke of westelijke richting bewegen. Immers het nulpunt bevindt zich in de plaatselijke meridiaan.

Het stelsel van hoogte en azimut is voor elke plaats anders.



In figuur 11 is als voorbeeld de samenhang tussen de stelsels declinatie / uurhoek en hoogte / azimut voor de breedte van $+40^\circ$ en -40° weergegeven. Zo draaien voor elke plaats op aarde de stelsels ten opzichte van elkaar, maar elk stelsel zelf blijft onveranderlijk.

In deze twee voorbeelden is punt P bijvoorbeeld de zon en de waarden voor de declinatie δ en de uurhoek t zijn steeds gelijk gehouden. De zon staat overal ten noorden van het equatoriale vlak.

Maar ziet u dat de hoogte h en het azimut az voor elke plaats anders is?

In beide voorbeelden is de zon boven de horizon, zij het met verschillende hoogtes.

Op $+40^\circ$ staat de zon zo ergens tussen zuidwest en west en op -40° ergens tussen west en noordwest.

De noordpool staat op dezelfde hoogte als de waarde van de breedtegraad!!!!

Met uitroepetekens. Dat moeten we onthouden.

Een definitie van de breedte van een plaats kan dus zijn:

Breedte = de hoogte van de noordpool.

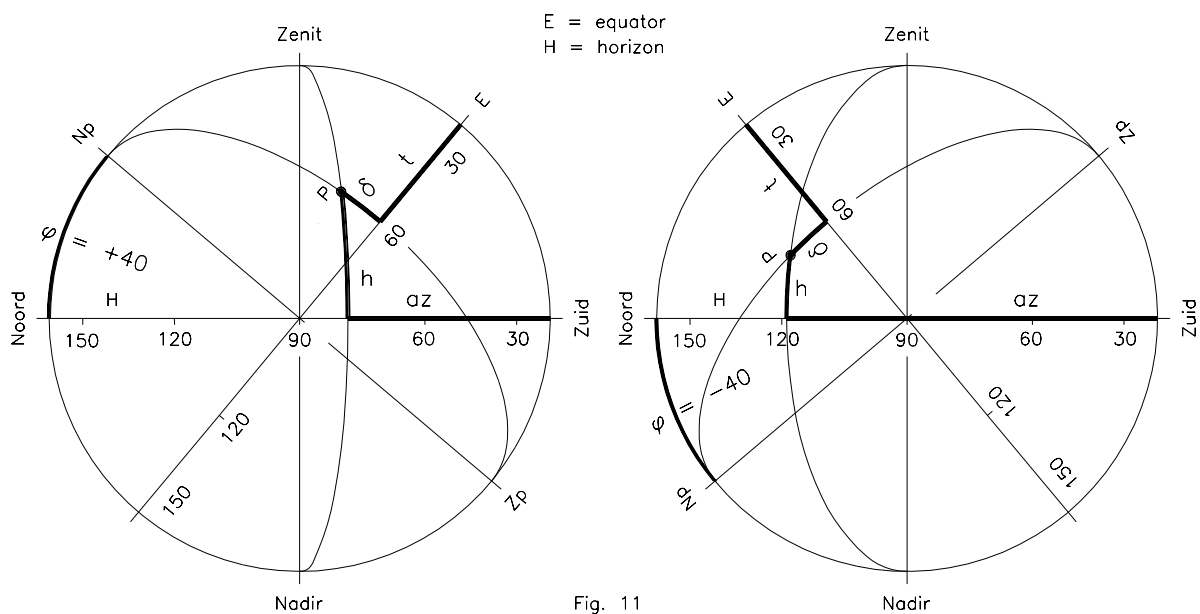


Fig. 11

Nog twee plaatsbepalingen op de hemelbol.

1. Declinatie en rechte klimming.

Zoals elke plaats op aarde met twee onveranderlijke coördinaten - breedte en lengte - wordt vastgelegd, wordt in de sterrenkunde ook de plaats van een ster aan de hemelbol met twee onveranderlijke coördinaten vastgelegd.

Grondvlak: Het equatoriale vlak is het grondvlak.

Positieve pool: De noordpool is de positieve pool.

Nulpunt: Het nulpunt in het grondvlak is het lentepunt. Dat is het snijpunt van de equator met de ecliptica waar de zon van de zuidelijke helft van de hemelbol gaat naar de noordelijke helft van de hemelbol.

Richting: De positieve richting in het grondvlak wordt in de richting z-o-n-w vastgelegd. De cirkels van het netwerk van dit coördinatenstelsel noemen we declinatiecirkels en cirkels voor de rechte klimming.

De grenzen van de declinatie en de rechte klimming leggen we als volgt vast:

$$-90^\circ \leq \text{declinatie} \leq +90^\circ$$

$$0 \leq \text{rechte klimming} \leq 24^h$$

Symbolen: declinatie = δ rechte klimming = α

Hier valt wel het een en ander op.

De declinatie is hetzelfde als de declinatie in het stelsel van declinatie en uurhoek.

De rechte klimming wordt gemeten in uren in plaats van graden, maar een directe omzetting mag plaats vinden, immers 1 uur komt overeen met 15° .

De richting in het grondvlak is tegengesteld met die in het stelsel voor declinatie en uurhoek.

In figuur 12 is dit stelsel, samen met het hierna nog te noemen stelsel, weergegeven.

De twee stelsels zijn met opzet door elkaar getekend opdat de coördinaten van punt P tegelijkertijd in beide systemen zijn af te lezen.

2. Ecliptische breedte en lengte.

Volledigheidshalve noemen we ook nog het volgende stelsel, hoewel wij het in de gnomonica maar zelden toepassen en het is eveneens in figuur 12 te zien.

Grondvlak: Het ecliptica vlak is het grondvlak.

Positieve pool: De ecliptische noordpool is de positieve pool.

Nulpunt: Het nulpunt in het grondvlak is het lentepunt. Dat is het snijpunt van de equator met de ecliptica waar de zon van de zuidelijke helft van de hemelbol gaat naar de noordelijke helft van de hemelbol.

Richting: De positieve richting in het grondvlak wordt in de richting z-o-n-w vastgelegd.

De cirkels van het netwerk van dit coördinatenstelsel noemen we ecliptische breedte en ecliptische lengte.

De grenzen van de ecliptische breedte en lengte leggen we als volgt vast:

$$-90^\circ \leq \text{ecliptische breedte} \leq +90^\circ$$

$$-180^\circ \leq \text{ecliptische lengte} \leq +180^\circ \quad (\text{of } 0^\circ \leq \text{ecliptische lengte} \leq 360^\circ)$$

Symbolen: ecliptische breedte = β ecliptische lengte = λ

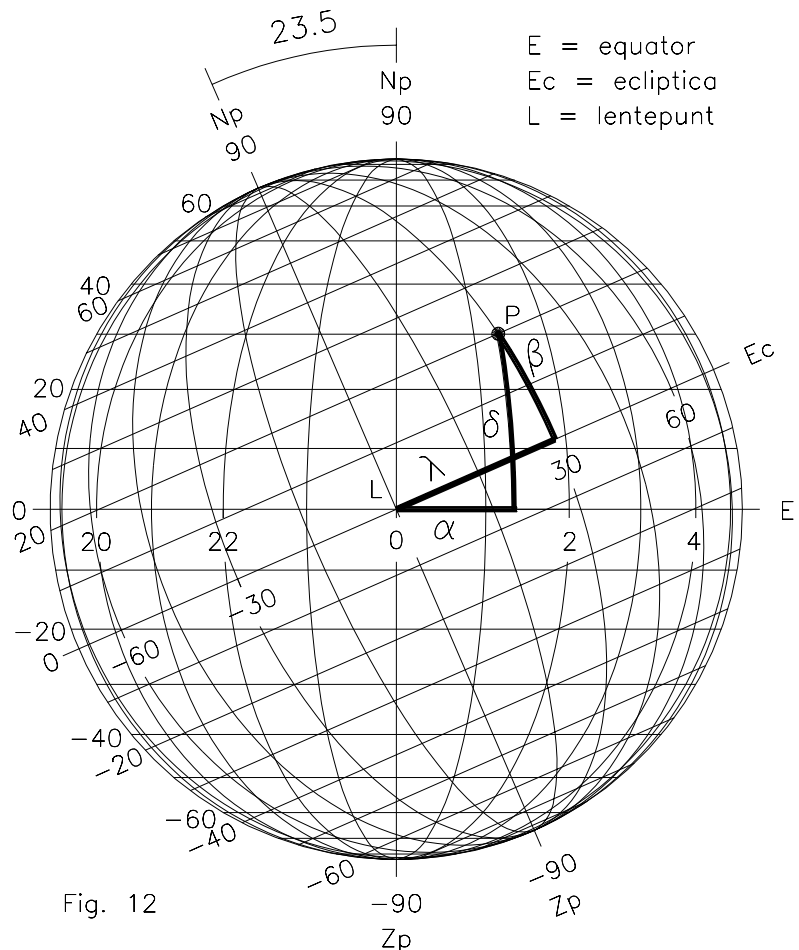
De twee laatst genoemde coördinatenstelsels zijn vast met de hemelbol verbonden hetgeen betekent dat het voor ons als aardse waarnemer stelsels zijn die om ons heen draaien, in tegenstelling tot de eerste drie genoemde stelsels die ten opzichte van ons stil staan.

Meer over deze coördinatenstelsels, compleet met formules hoe coördinaten in het ene stelsel naar het andere stelsel kunnen worden omgerekend, kunt u lezen in de jaarlijkse Sterrengids die uitgegeven wordt door de stichting De Koepel te Utrecht.

De volgende keer:

Definitie van een zonnwijzer.

Onze eerste zonnwijzers.



Definitie van een zonnewijzer.

Als we aan iemand vragen; "wat is een zonnewijzer" zal waarschijnlijk het antwoord zo iets zijn als: "Dat is een instrument waarmee je met behulp van het zonlicht de tijd kunt bepalen".

Dat klinkt heel aardig en is ook wel goed, maar dekt bij lange na de lading niet.

Met een zonnewijzer kunnen we veel meer bepalen dan wat wij tijd noemen. Denk b.v. aan de hoogte en het azimut van de zon of aan astrologische huizen en zo zijn er nog veel meer andere zaken.

De mooiste definitie die ik ooit ben tegengekomen komt uit Duitsland ¹ en luidt:

Sonnenuhr, ein Instrument, das Funktionen der Sonnenkoordinaten anzeigt.
(Zonnewijzer, een instrument dat functies van zonscoördinaten aanwijst.)

Welke functies dat allemaal wel kunnen zijn komt in de loop van deze rubriek wel aan de orde en een heel belangrijke functie is TIJD.

Onze eerste zonnewijzer.

We slaan een heel stuk in de geschiedenis over en we beginnen in de moderne tijd van de zonnewijzer. Dat is voor ons de tijd dat in West Europa de poolstijl als schaduwgever bekend werd. De juiste datum daarvan is onbekend maar in Utrecht bevindt zich aan de Jacobikerk nog zo'n heel oude poolstijlzonnewijzer en die is gedateerd 1464.

Wat is nu een poolstijl? Dat is een nabootsing van de aardas of hemelas.

Dat is de as waaromheen de zon zijn dagelijkse rondje om ons heen maakt.

Die as gaan we materialiseren door een staaf zo neer te zetten dat die staaf evenwijdig komt met de aard- of hemelas. En die staaf heet dan **poolstijl**.

De poolstijl ligt altijd in het plaatselijk meridiaanvlak en is altijd noord-zuid gericht.

Op het horizontale vlak van de plaats waar we de zonnewijzer willen maken maakt de poolstijl met de grond een hoek die gelijk is aan de breedtegraad van die plaats. In Utrecht is dat dus 52°. En in Kaapstad -35°. In figuur 13 is dit voor beide plaatsen getekend.

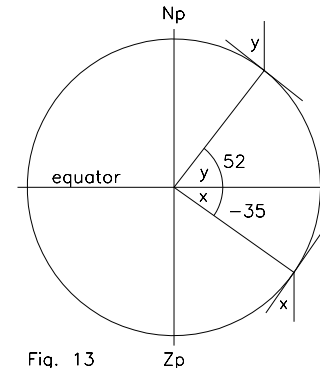


Fig. 13

Ziet u het verschil? In Utrecht krijgt deze hoek tussen het zonnewijzervlak en de poolstijl een positieve waarde en in Kaapstad een negatieve waarde. In Utrecht wijst de poolstijl naar de noordpool en krijgt de hoek een positief teken, in Kaapstad wijst de poolstijl naar de zuidpool en krijgt de hoek een negatief teken.

In de literatuur komt u dit zo niet tegen, maar de voordelen zullen later blijken als de willekeurig georiënteerde zonnewijzers aan bod komen. En het is de consequentie van mijn strakke toepassing van de coördinatenstelsels.

De hoek tussen de poolstijl en het zonnewijzervlak noemen we de **stijlverheffing**.

De lijn op het zonnewijzervlak recht daaronder noemen we de **substijl**.

¹ Concept van Sonnenuhren Handbuch des Arbeitskreises Sonnenuhren in der Deutschen Gesellschaft für Chronometrie, 1993.

Haaks op de poolstijl zetten we nu een zonnepijpervlak. Dat vlak ligt in het equatoriale vlak en de zonnepijper die nu ontstaat noemen we dan ook een equatoriale zonnepijper.

Of eigenlijk zijn het twee zonnepijpers. Het vlak heeft een boven en een onder zijde en elke zijde noemen we een zonnepijpervlak. Wiskundig mag een vlak dan maar een ding zijn, in de gnomonica geeft elke zijde een aparte zonnepijper. Dat deden de oude gnomonisten ook. Zij spraken over een noordwijper en een zuidwijper, over een oost- en een westwijper enzovoorts. Niets nieuws onder de zon dus, maar wel weer consequent blijven toepassen.

Van het vlak uit gezien is de hoek van de poolstijl voor de ene zijde $+90^\circ$ en voor de andere zijde -90° . We zeggen: de stijpverheffing van de equatoriale zonnepijper is $+90^\circ$ respectievelijk -90° .

Laten we nu eerst de ene zijde met de stijpverheffing van $+90^\circ$ eens nader beziën, de noordzijde dus.

De zon draait zijn dagelijkse rondje in onze zomer aan de noordkant van het equatoriale vlak en de zon schijnt dan ook van zonsopkomst tot zonsondergang op dit equatoriale vlak. De poolstijl zal een schaduwlijn geven op dit equatoriale vlak die telkens begint bij de voet van de poolstijl en netjes met de zon meedraait.

De zon legt elk uur 15° af in zijn baan ($360 / 24 = 15$) en daarom zal de schaduwlijn ook na elk uur 15° verder gedraaid zijn. De uurlijnen op deze zonnepijper zijn dan ook eenvoudig te tekenen.

Om de 15° wordt een uurlijn aangebracht en het resultaat ziet u in figuur 14.

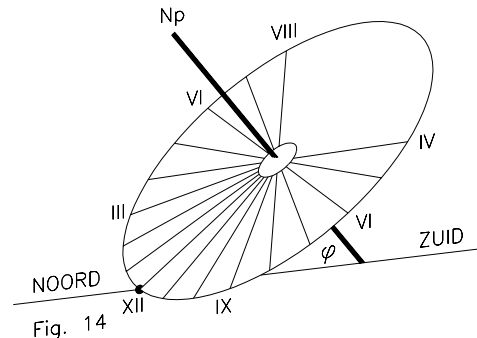


Fig. 14

Maar welke cijfers zetten we daar nu bij? Daarvoor maken we een vaste afspraak.

Als de zon op zijn dagelijkse baan zijn hoogste punt bereikt - bij ons staat de zon dan in het zuiden - en het is ware middag, noemen we het XII uur ZONNETIJD. Bij de schaduwlijn die dan naar beneden loopt zetten we het cijfer XII. En bij de volgende lijn zetten we I uur, II uur enzovoorts. Romeinse cijfers hebben voor ZONNETIJD de voorkeur, maar het hoeft niet.

ZONNETIJD is nu drie keer in hoofdletters geschreven. Dit is namelijk het tijdsysteem dat vroeger gebruikt werd op zonnepijpers. Een tijdsysteem dat nog steeds correct is maar dat wij niet meer in ons dagelijks leven gebruiken. Later wordt dat uitgebreid in het hoofdstuk over tijdsystemen behandeld. Maar voor ons als gnomonisten is dit een zeer belangrijk tijdsysteem dat wij blijven koesteren en in berekeningen kunnen we zelfs niet zonder.

Hoeveel uren moeten er nu op?

Daarvoor gebruiken we de formule voor de halve dagboog: $\cos T = -\tan \varphi \cdot \tan \delta$

Voor Utrecht met $\varphi = 52^\circ$ geeft dat op de langste dag in de zomer op 21 juni met een declinatie van de zon $\delta = 23.5^\circ$ een uitkomst voor de halve dagboog van 123.8° ofwel $8^h 15^m$. Het bereik van de nodige uurlijnen wordt dan vanaf IV uur v.m. tot en met VIII uur n.m., alles in zonnetijd uitgedrukt.

Op de zonnepijper die we nu gemaakt hebben lopen de uren met de klok mee.

Dat is niet het geval op de andere zijde van het equatoriale vlak. Dat vlak wordt in onze winter door de zon beschenen. XII uur ligt weer op de lijn recht naar beneden en elke uurlijn daarvoor of daarna ligt weer 15° verschoven. Maar de uren lopen nu dus tegen de klok in.

En het aantal nodige uurlijnen is kleiner. De twee langste dagen in de winterhelft van het jaar vallen bij het begin van de herfst en van de lente met $\delta = 0^\circ$.

Dat geeft een halve dagboog van 6 uur. Het aantal nodige uurlijnen is daarom nu beperkt van VI v.m. tot en met VI n.m.

Zo moet voor elk zonnepijpervlak de bezonningstijd worden bepaald en daar komen we later weer op terug.

Ziet u al iets terug van de consequente manier van behandelen die ik toepas? Hier nu een eerste voorbeeld.

Op de noordzijde van de equatoriale zonnwijzer noem ik de stijlverheffing $+90^\circ$, de stijl wijst naar het noorden, naar de noordpool, en de uurlijnen lopen met de klok mee.

Op de zuidzijde noem ik de stijlverheffing -90° , de stijl wijst naar het zuiden, naar de zuidpool, en de uurlijnen lopen tegen de klok in.

Het teken van de stijlverheffing geeft dus aan in welke richting de uurlijnen op het zonnwijzervlak elkaar opvolgen, met de klok mee of tegen de klok in. En het geeft aan of de stijl naar de noordpool dan wel naar de zuidpool wijst. Beide zaken zullen we later steeds weer terug zien.

De armillosfeer.

Van de volgende zonnwijzer die hier wordt voorgesteld is in figuur 15 alleen geschetst wat we daarvan voor de zonnwijzer nog nodig hebben. De rest laten we weg.

Het gaat om de armillosfeer of hoepelsfeer of sphaera armillaris gnomonica.

Rond het evenaarsvlak uit figuur 14 denken we een opstaande rand en het evenaarsvlak zelf laten we weg.

De poolstijl zal steeds een schaduwlijntje geven op de binnenzijde van de ring die nu ontstaan is en om de 15° brengen we een uurstreepje aan. De XII zetten we onder in de schaal en de conclusie mag duidelijk zijn: de armillosfeer is als zonnwijzer even gemakkelijk te construeren als de equatoriale zonnwijzer.

Veelal wordt de armillosfeer dan ook een equatoriale zonnwijzer genoemd, maar daartegen kan bezwaar worden gemaakt.

Het zonnwijzervlak met de uurlijnen is geen equatoriaal vlak maar de binnenzijde van een cylinder, zij het dat het een cylinder van geringe hoogte is. Eigenlijk is de armillosfeer dan ook een cylinder zonnwijzer.

In figuur 16 is een meer compleet aanzicht gegeven van een armillosfeer met al zijn onderdelen.

Allereerst is de poolstijl en de equatoriale uurring te herkennen.

De cirkel waar tegenaan wordt gekeken is de noord-zuid gerichte en verticaal staande meridiaancirkel.

Onder een hoek van 23.5° met de uurring is de ecliptica getekend. In dit voorbeeld zijn het zelfs twee ringen.

De uiteinden van deze twee ecliptica ringen zijn verbonden met ringen die aangeven waar de kreeftskeerkring en de steenbokskeerkring liggen. Dat zijn de dagbogen van de zon voor de langste en de kortste dag. Op aarde kan alleen tussen deze twee keerkringen de zon nog loodrecht boven ons staan, met een hoogte van 90° dus.

Nog hoger respectievelijk lager, zijn twee cirkels aangebracht die 66.5° van de uurring verwijderd liggen. Zij stellen de poolcirkels voor waar het één dag per jaar 24 uur licht is en één dag per jaar 24 uur donker is.

Op de beide polen zijn poolkapjes aangebracht die dienst kunnen doen als equatoriale zonnwijzer.

Met streeplijn zijn nog een horizon ring en een verticale oost-west gerichte ring aangegeven.

Ook wordt nog wel eens een oost-west gerichte ring aangebracht die de poolstijl als middellijn heeft.

Als voorstelling van de hemelmechanica is zo'n armillosfeer een prachtig instrument, maar als zonnwijzer geven al die extra ringen ook extra schaduwen die een aflezing van de tijd bemoeilijken.

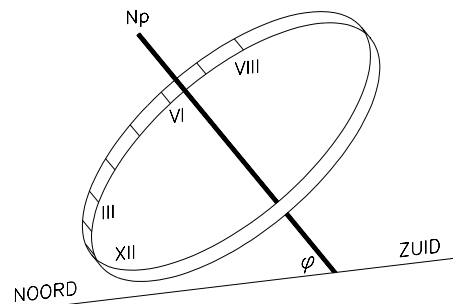


Fig. 15

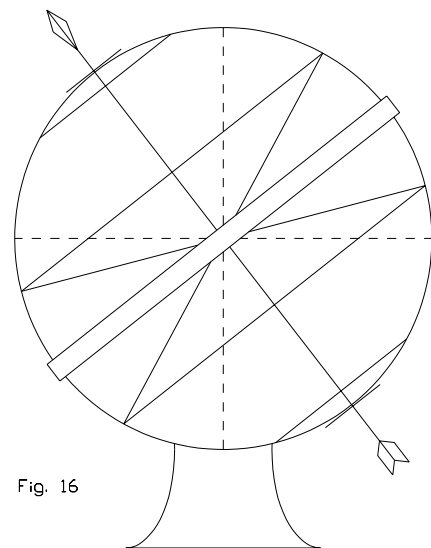


Fig. 16

Een horizontale en een verticale zonnwijzer.

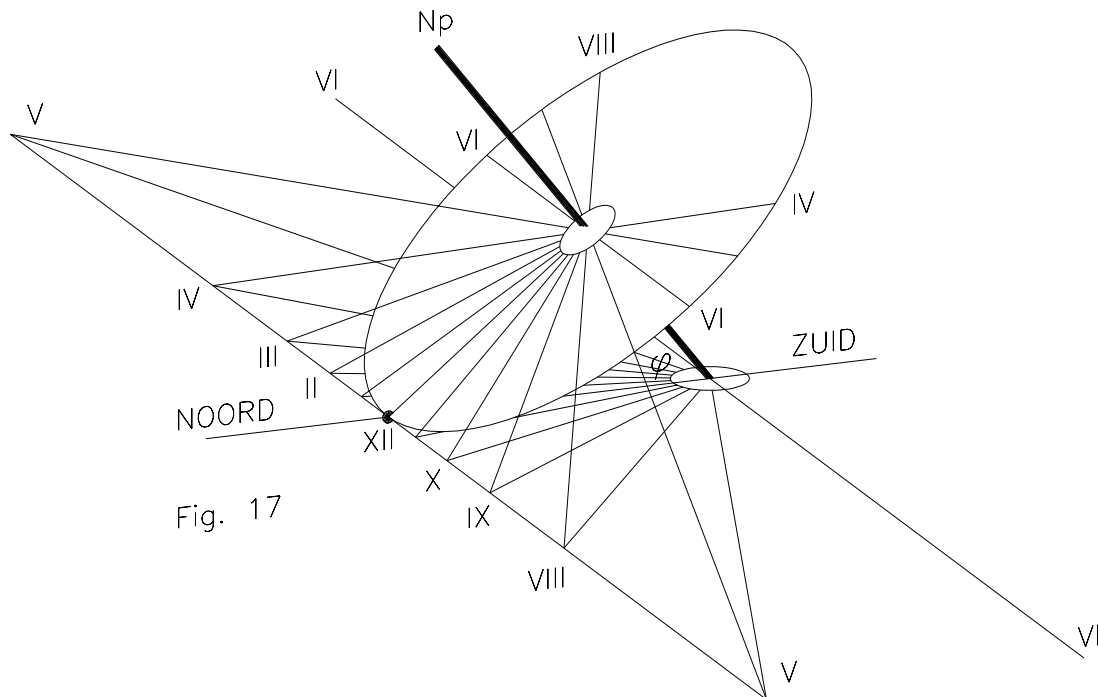
De equatoriale zonnwijzer uit ons eerste voorbeeld gaan we opnemen in een combinatie met een horizontaal vlak en een naar het zuiden gericht verticaal vlak. We voegen dus een horizontale zonnwijzer en een zuidwijzer aan de equatoriale zonnwijzer toe.

Zo zien we de samenhang tussen de uurlijnen op drie zonnwijzers en uiteindelijk komen we tot de conclusie dat de eenvoudig te construeren equatoriale zonnwijzer een uitstekend hulpmiddel is om de uurlijnen op een ander zonnwijzervlak te construeren.

We beginnen met de equatoriale zonnwijzer uit figuur 14 uit te breiden met de snijlijn van het equatoriale vlak en het horizontale vlak. Deze snijlijn staat haaks op de noord-zuid lijn, daar waar de XII uurlijn het horizontale vlak snijdt.

Darna verlengen we alle uurlijnen in het equatoriale vlak tot aan deze snijlijn. Daar vinden we dan overeenkomstige uurpunten in het horizontale vlak. Een en ander is te volgen in figuur 17.

Door nu de verbindingslijnen te trekken van het doorsnijdingspunt van de poolstijl met het horizontale vlak naar de zo juist gevonden uurpunten ontstaan de uurlijnen voor de horizontale zonnwijzer.



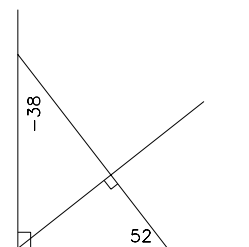
Omdat de poolstijl in dit voorbeeld vanuit het horizontale vlak gezien naar de noorpool wijst moeten de uurlijnen voor die horizontale zonnwijzer rechthoekig lopen, met de klok mee.

En zoals u ziet, dat klopt. De stijlverheffing hier is dan ook $+52^\circ$

In figuur 18 voegen we het zuidvlak toe maar in plaats van een driedimensionale tekening wordt hier alles in een aanzicht vanuit het westen aangegeven.

Het moge duidelijk zijn dat de hoek die de poolstijl maakt met het verticale zuidvlak gelijk is aan $90^\circ - 52^\circ = 38^\circ$. Maar toch noem ik de stijlverheffing daar -38° , omdat voor het zuidvlak de stijl naar de zuidpool wijst.

De uurlijnen moeten op de zuidwijzer daarom ook tegengesteld genummerd worden en in ons te maken model zult u dat ook zien.



Later hoeven we deze redenering niet telkens op te zetten. Met behulp van een algemeen geldende formule berekenen we voor elk vlak als eerste wat de stijlverheffing is, maar het is nu nog te vroeg om al met formules te gaan werken.

De uiteindelijke combinatie gaan we maken van drie correspondentiekaarten en een saté stokje.

De lengte van de korte zijde van zo'n kaart wordt als k mm aangenomen.

Plak de drie kaarten aan elkaar zoals in figuur 19 is aangegeven.

In het centrum van de middelste kaart wordt een cirkel getekend en daarin worden uurlijnen om de 15° getekend die tevens worden doorgetrokken naar de randen van de middelste kaart. Dit worden de twee equatoriale zonnewijzers.

Straks wordt de helft van de cirkel langs de onderbroken streeplijn ingeknipt om de middelste kaart dubbel te kunnen vouwen zonder de cirkel dubbel te vouwen.

Op de bovenste kaart wordt een punt gezet dat 0.812 maal k mm verwijderd is van de gemeenschappelijke rand met de middelste kaart en op de onderste kaart wordt hetzelfde gedaan maar op een afstand van 0.635 maal k mm.

Vanuit deze twee punten worden de uurlijnen op de horizontale en verticale zonnewijzer getekend naar de snijpunten van de equatoriale uurlijnen met de gemeenschappelijke randen.

Nu nog wat cijfers erbij zetten, het geheel vouwen en het saté stokje door het geheel aanbrengen en er zijn vier zonnewijzers gereed: een horizontale, een verticale en twee equatoriale zonnewijzers.

Maar hoe kom ik aan die twee afstanden die in dit verhaal genoemd zijn? Zie daarvoor het zijaanzicht in figuur 18. Met enige wiskunde zijn de twee maten uit te rekenen.

De ene afstand is $1/2 \cdot k / \sin 52 = 0.635 k$ mm, de andere is $1/2 \cdot k / \sin 38 = 0.812 k$ mm.

Als zo'n combinatie gemaakt wordt van doorzichtig materiaal kunnen we nog een mooie eigenschap van zonnewijzers zien.

Knijp een oog dicht en kijk met het andere oog precies in het verlengde van de poolstijl.

Wat we dan zien is dat alle uurlijnen samenvloeien met de uurlijnen van de equatoriale zonnewijzer.

Hieruit leren we dat uurlijnen op een ander vlak de projectie zijn van de uurlijnen in het equatoriale vlak. De richting van deze projectie is de poolstijl en de projectie heet de **gnomonische projectie**.

Naast de figuur is ook de algemene constructiefiguur voor een horizontale zonnewijzer en een zuidwijzer getekend, gebaseerd op de breedte van de correspondentiekaart.

Deze constructiefiguur moet gedacht worden op de verticale lijn door het midden van de drie correspondentiekaarten.

C is het centrum van de zonnewijzer van waaruit de uurlijnen radiaal vertrekken.

CD is de maat van het zonnewijzervlak.

Lijn CE stelt de neergeklapte poolstijl voor. Deze maakt een hoek CDE met het zonnewijzervlak die gelijk is aan de stijlverheffing.

DE is dan de maat van de equatoriale hulpzonnewijzer. Deze cirkelen we om naar de hulpfiguur.

De volgende keer:

De kubus als zonnewijzer.

De willekeurige zonnewijzer.

Oriëntatie van een zonnewijzervlak.

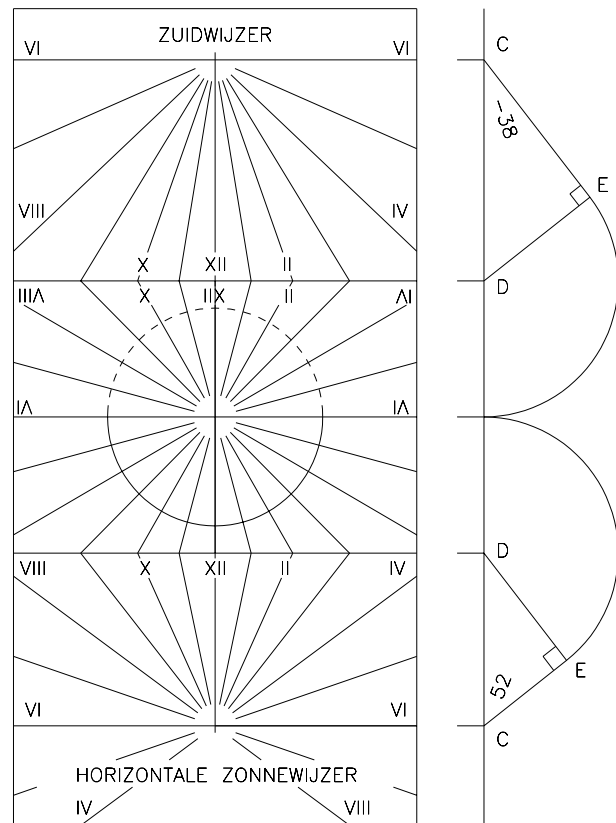


Fig. 19

De kubus als zonnewijzer.

In Utrecht zetten we op een horizontaal vlak een kubus neer met de vier verticale zijden naar de hoofdwindrichtingen noord, oost, zuid en west gericht.

We hebben dan nog vijf vlakken over waarop een zonnewijzer gemaakt kan worden; een zuidwijzer, een noordwijzer, een oostwijzer, een westwijzer en een horizontale zonnewijzer.

In figuur 20 is een aanzicht van die kubus met zijn vijf poolstijlen te zien.

Alle stijlen staan evenwijdig aan elkaar en uiteraard evenwijdig met de aardas.

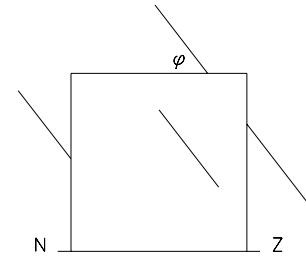


Fig. 20

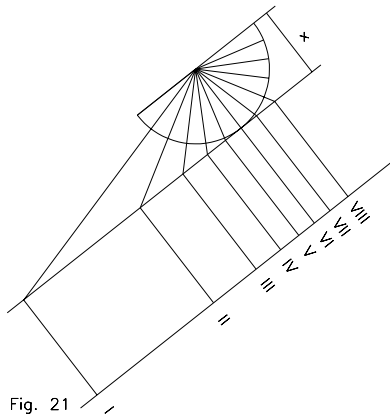


Fig. 21

De stijlverheffing van de horizontale zonnewijzer is $+52^\circ$, die voor de zuidwijzer is -38° , voor de noordwijzer is de stijlverheffing $+38^\circ$, en voor de oost- en westwijzer is de stijlverheffing 0° . Een oost- en een westwijzer staan parallel aan het meridiaanvlak en dus loopt de poolstijl ook evenwijdig aan die zonnewijzers. Zo'n stijl wordt op een afstand x van het vlak gemonteerd.

De constructie van een horizontale en van een zuid gerichte zonnewijzer kennen we al uit deel 3. Dan moet de constructie voor een noordwijzer ook geen geheimen meer geven.

Voor een westwijzer is die constructie in figuur 21 gegeven. De uurlijn die recht onder de poolstijl komt is de VI uurlijn v.m. Dezelfde basis geldt ook voor de oostwijzer.

De bezonningstijd voor de horizontale zonnewijzer is van zonsopkomst tot zonsondergang.

Voor Utrecht tekenen we dan ook de uurlijnen van IV v.m. tot VIII n.m.

De zuidwijzer krijgt uurlijnen vanaf VI v.m. tot VI n.m.

De oostwijzer kan beschenen worden vanaf zonsopgang tot XII uur en de westwijzer vanaf XII uur tot zonsondergang, maar de XII uurlijn zelf zal niet voorkomen omdat die oneindig ver weg ligt.

De bezonningstijd voor de noordwijzer is op de langste dag in Utrecht van zonsopkomst tot iets na VII uur v.m. en van bijna V uur n.m. tot zonsondergang.

Het zijn dus twee perioden, in de vroege ochtend en late avond tijdens de zomerhelft van het jaar.

Vanwege een symmetrische beeld worden de uurlijnen van IV tot en met VIII v.m en van IV tot en met VIII n.m. vaak aangebracht, hoewel VIII v.m. en IV n.m. dus niet geldig zijn.

Dat beeld is in figuur 22 getekend.

In dit voorbeeld zijn nu ook uurlijntjes voor de halve uren en de kwartieren aangebracht. Niets let ons immers om in de constructiefiguur ook hulplijnen om de 7.5° respectievelijk 3.75° te tekenen.

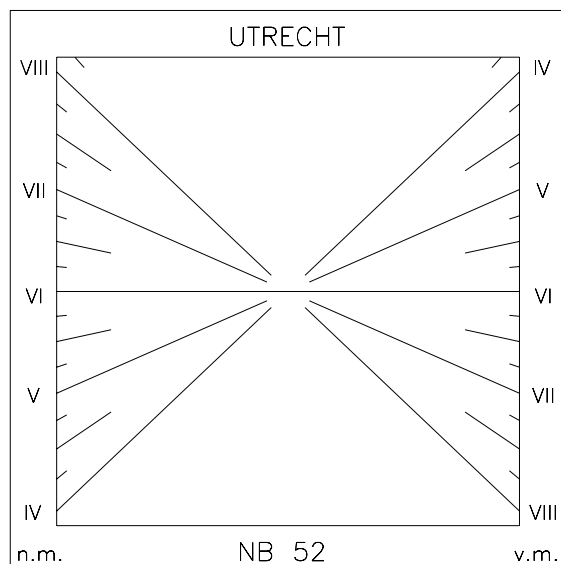


Fig. 22

Alle nu genoemde constructies zijn al eens door Albrecht Dürer in een tekening samengevat. In figuur 23 wordt deze beroemde tekening getoond met als extra aan de rechterkant de beginfiguur voor een bepaalde breedte.

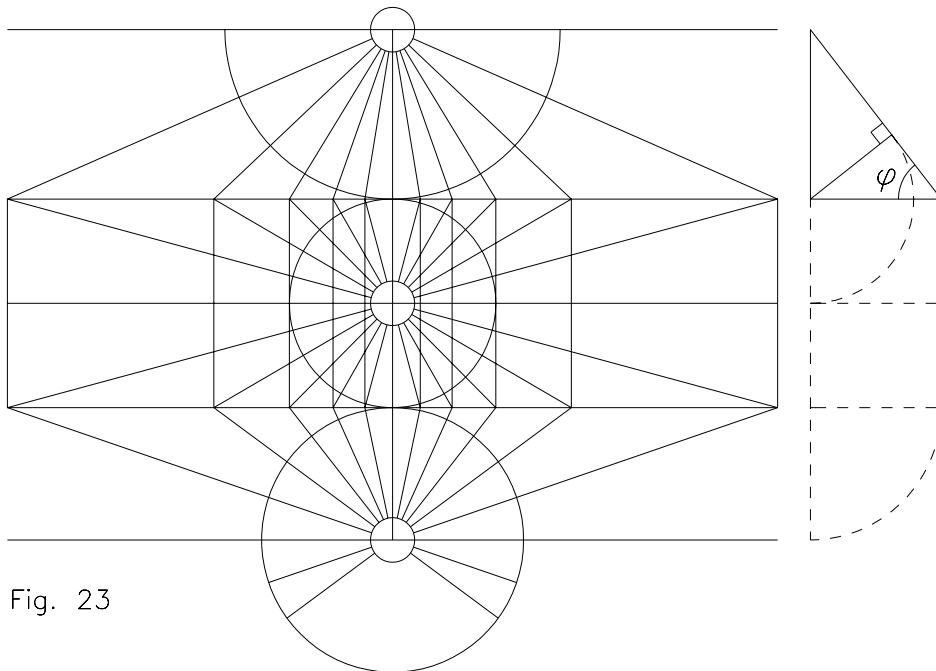


Fig. 23

De driehoek is het aanzicht met een horizontaal en verticaal vlak.

De hoogtelijn in de figuur ligt in het equatoriale vlak en de afmeting daarvan is bepalend voor de hulpcirkel in de constructie.

De verticale afwijkende zonnwijzer.

Het zal lang niet altijd zo zijn dat een (verticale) muur op een van de vier hoofdwindrichtingen is gericht. Meer kans is er dat zo'n muur daarvan afwijkt maar er moet wel een zonnwijzer op.

Deze afwijking wordt in de gnomonica declinatie genoemd. Dat is wel verwarrend omdat het woord declinatie ook gebruikt wordt in de eerder genoemde coördinatenstelsels aan de hemelbol, maar toch ontkomen we hier niet aan.

Per definitie stellen we dat een zuidmuur een declinatie heeft van 0° . Wijkt de muur naar het westen af dan nemen we de declinatie als positief aan, bij oostelijke afwijking als negatief.

Zo kunnen we voor elke verticale zonnwijzer de declinatie als een azimut vastleggen.

Een naar het zuidwesten kijkende muur heeft dan een declinatie van $+45^\circ$, een naar het noordoosten kijkende muur een declinatie van -135° enzovoorts. Dit geldt overal ter wereld en dit houden we consequent vol.

De poolstijl staat natuurlijk nog steeds in het noord-zuid gerichte meridiaanvlak, maar de poolstijl staat scheef ten opzichte van het zonnwijzervlak.

De lijn recht onder de poolstijl is de substijl en de hoek v die de poolstijl daarmee maakt is de stijlverheffing van de zonnwijzer.

De substijl maakt een hoek s met de XII uurlijn en die hoek heet de stijlscheefte.

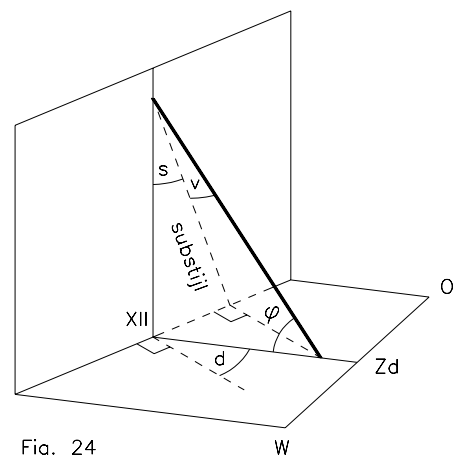
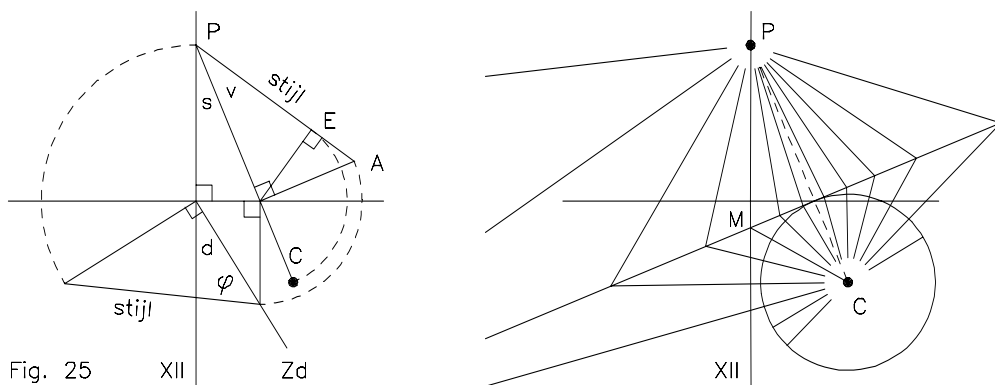


Fig. 24

Voor een muur in Utrecht, die een declinatie heeft van $d = 32^\circ$ gaan we een zonnewijzer construeren en de constructie is in figuur 25 in twee delen te zien.

Links wordt de ligging van de substijl en de waarde van de stijlverheffing bepaald.



Teken een assenkruis waarin de horizontale lijn de snijlijn van het zonnewijzervlak met het horizontale vlak voorstelt. Zet daarop onder de hoek van de declinatie d de lijn naar het zuiden uit.

De daarop getekende driehoek is de neergeklapte poolstijldriehoek in het meridiaanvlak.

Cirkel de ene zijde van deze driehoek om naar de verticale lijn en zo wordt het doordringingspunt van de poolstijl met het verticale vlak gevonden.

Vanuit het ander hoekpunt van deze driehoek wordt een loodlijn neergelaten op de horizontale lijn. Nu kan de substijl worden getekend en kan de hoek s voor de stijlscheefte worden opgemeten.

Op de substijl wordt een loodlijn opgericht naar A en daarop wordt de andere zijde van de neergeklapte poolstijldriehoek omgecirkeld. Nu kan in neergeklapte vorm de stijldriehoek worden getekend die haaks op de substijl moet komen. In die driehoek vinden we dan ook de stijlverheffing v terug. Met de gegeven hoeken s en v kan de stijl op de zonnewijzer worden aangebracht.

Verder tekenen we een loodlijn naar E op de laatst geconstrueerde lijn en we verlengen de substijl.

Deze loodlijn wordt omgecirkeld naar de verlengde substijl en daar plaatsen we een kenmerk C .

Uit deze figuur nemen we het assenkruis en de verlengde substijl met kenmerk C over naar de rechter figuur.

Teken door het snijpunt van de substijl met de horizontale lijn een lijn haaks op de substijl. Deze lijn is de snijlijn van het equatoriale vlak met het zonnewijzervlak.

Deze lijn snijdt de verticale lijn in M en van daaruit trekken we een hulplijn naar het kenmerk C op de substijl. Deze hulplijn is de XII uurlijn in de nu te tekenen hulpcirkel met middelpunt C .

Vanuit deze XII uurlijn wordt de hulpcirkel in 24 delen van elk 15° verdeeld.

Verleng deze hulplijnen tot aan de schiefflopende lijn door M .

Daar vinden we dan de uurpunten voor al onze uurlijnen die nu te tekenen zijn vanuit het doordringingspunt P .

De bezonningstijd voor deze zonnewijzer loopt van bijna VIII uur v.m. tot ruim VII uur n.m. zodat alleen de uurlijnen tussen deze grenzen worden getekend. En daarmee is de constructie van onze zonnewijzer gereed.

Wat opvalt is dat de constructie met behulp van de equatoriale zonnewijzer, gezien ten opzichte van de substijl, gelijk is aan de constructie van de horizontale zonnewijzer uit deel 3, als de breedte ϕ maar vervangen wordt door de stijlverheffing v en de hulpcirkel over een bepaalde hoek wordt verdraaid. Die hoek is de uurhoek van de substijl, de uurhoek waarbij de schaduw van de poolstijl op de substijl valt. Bij onze volgende zonnewijzer gaan we dit principe toepassen en gaan we enkele formules gebruiken.

De willekeurige zonnwijzer.

Ons zonnwijzervlak heeft nog een vrijheid. Een muur kan nog voor- of achterover hellen.

Vroeger gebruikte men daarvoor de termen inclineren en reclineren maar tegenwoordig spreken we alleen over inclineren en over de inclinatie i van het zonnwijzervlak. Die hoek ziet u in figuur 26 aangegeven als de hoek tussen het horizontale vlak en de achterzijde van het zonnwijzervlak.

Opm. Over deze hoek i zal ik nog een aparte paragraaf aan het eind van dit deel toevoegen, waar deze hoek de zenitafstand van de normaal op het zonnwijzervlak wordt genoemd.

Deze zonnwijzer is te construeren maar ik ga nu over tot een combinatie van berekenen en construeren.

Door de helling van het zonnwijzervlak ligt de XII uurlijn niet meer verticaal. De middaglijn is daarom geen vast uitgangspunt meer om de zonnwijzer te tekenen.

In plaats daarvan kiezen we een aparte verticale lijn waarlangs de grootste helling eenvoudig met waterpas en winkelhaak kan worden gemeten. Een woord in onze taal dat deze lijn mooi aangeeft is knikkerlijn.

We gaan nu de ligging van de substijl ten opzichte van deze knikkerlijn vastleggen met hoek b . Hier gebruiken we dus niet meer het woord stijlscheefte. Dat is de hoek tussen de substijl en de XII uurlijn.

In het algemeen kan nu elke zonnwijzer worden geconstrueerd als een horizontale zonnwijzer als we de volgende gegevens maar hebben.

Ontwerp gegevens

φ **Breedte**
 d **Declinatie**
 i **Inclinatie**

Constructie gegevens

v **Stijlverheffing**
 b **Hoek tussen knikkerlijn en substijl**
 ts **Uurhoek van de substijl**

Dit betekent dat we voor het construeren van elke vlakke zonnwijzer, waar ter wereld ook, slechts 3 formules nodig hebben, formules om de hoeken v , b en ts te kunnen berekenen.

En als we de uurlijnen niet willen construeren maar berekenen komt daar nog maar een formule bij voor de uurlijnhoek z . Daarbij is t de uurhoek in het equatorvlak, elk uur = 15° .

Alle andere formules die u in de literatuur tegenkomt, en dat zijn er nog al wat, zijn afgeleiden van deze basisformules en vaak slechts geldig voor speciale gevallen, zoals alleen voor verticale zonnwijzers. Tenslotte hebben we nog een methode nodig om de bezonningstijd te bepalen maar dat volgt later.

Hier volgen een paar formules binnen de grenzen van de definities die ik telkens heb gebruikt.

Stijlverheffing v :

$$\sin v = \sin \varphi \cdot \cos i - \cos d \cdot \cos \varphi \cdot \sin i$$

Hoek tussen knikkerlijn en substijl b :

$$\tan b = \sin d / (\tan \varphi \cdot \sin i + \cos i \cdot \cos d)$$

Uurhoek van de substijl ts :

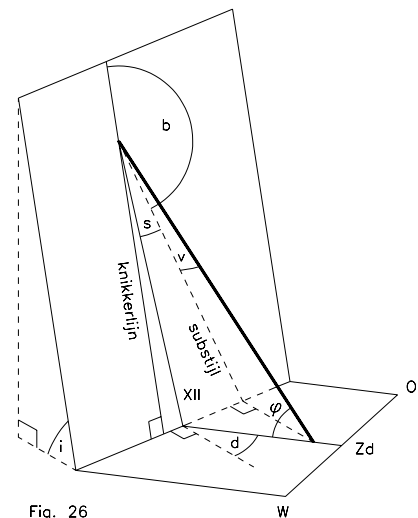
$$\tan ts = \sin i \cdot \sin d / (\cos \varphi \cdot \cos i + \sin \varphi \cdot \sin i \cdot \cos d)$$

Hoek tussen uurlijn en substijl z :

$$\tan z = \tan (t - ts) \cdot \sin v$$

Bij de berekening van b , ts , en z moet gelet worden op het juiste kwadrant waarin de hoek ligt.

Immers, de rekenmachine geeft als antwoord een waarde tussen -90° en $+90^\circ$ terwijl de grenzen voor b , ts en z liggen tussen -180° en $+180^\circ$. Het nulpunt voor de hoek b neem ik steeds aan als de naar omhoog lopende knikkerlijn en de hoek wordt linksom als positief genomen. Voor de horizontale zonnwijzer is dit nulpunt naar het noorden gericht.



Een voorbeeld voor Utrecht:

$$\varphi = 52^\circ, i = 78^\circ, d = 22^\circ.$$

Dan is $v = -23.24^\circ$, $b = -165.46^\circ$, $ts = 23.50^\circ$.

De stijlverheffing is negatief. Dit is dus gelijk aan een horizontale zonnwijzer voor een zuiderbreedte. De uurlijnen lopen dus linksom en het eindpunt van de stijl wijst naar de zuidpool.

De constructie is in figuur 27 gegeven en een berekende zonnwijzer is in figuur 28 toegevoegd.

Vanwege $ts = 23.50^\circ$ ligt in de hulpfiguur de XII uur lijn evenzoveel graden naar links.

Omdat de uurlijnen linksom lopen worden de andere uurlijnen in de equatoriale hulpfiguur rechtsom geteld.

Niet alle uurlijnen zijn getekend om de constructiefiguur niet te overladen.

Maar u kunt het patroon vergelijken met de berekende zonnwijzer die in figuur 28 is weergegeven.

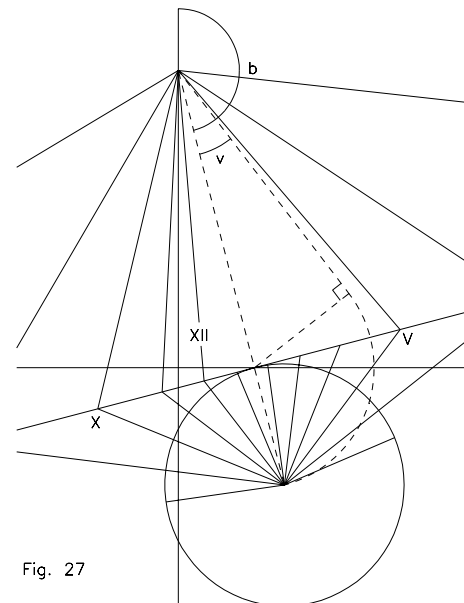


Fig. 27

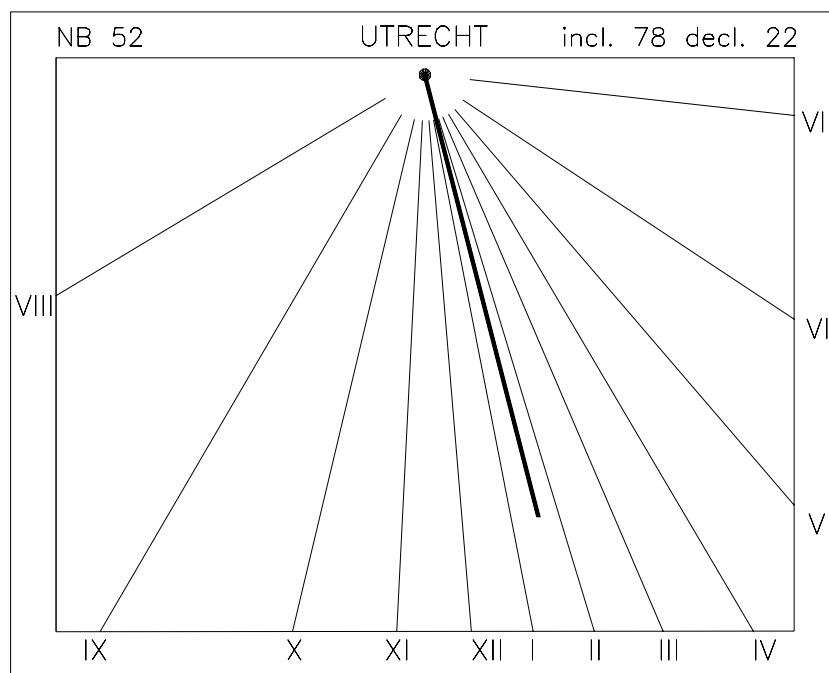


Fig. 28

De polaire zonnwijzer.

Nog een speciale zonnwijzer heeft een vlak dat naar het zuiden of noorden is gericht en dat tevens evenwijdig staat aan de poolstijl. De stijlverheffing is dus 0° en de uurlijnen lopen parallel aan elkaar en aan de poolstijl.

Dit type noemen we apart omdat we dat ook zo in de literatuur tegen komen, maar eigenlijk voldoen ook de verticale oost- of westwijzer aan de term. Ook daar is $v = 0^\circ$. Er zijn zelfs oneindig veel vlakken waar de stijlverheffing 0° kan zijn.

Aan de noord - of zuidpool is elke verticale zonnwijzer een polaire zonnwijzer en op de evenaar geldt dat voor de horizontale zonnwijzer.

Oriëntatie van een willekeurig zonnewijzervlak.

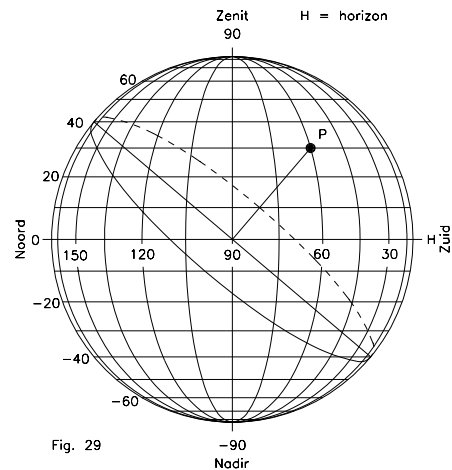
Voor de oriëntatie van een willekeurig zonnewijzervlak gaan we terug naar de coördinatenstelsels die in deel 2 zijn behandeld.

Ons zonnewijzervlak kan in verschillende stelsels worden vastgelegd maar uit wat al vermeld is mag duidelijk zijn dat het stelsel voor hoogte en azimut het meest aangewezen is.

Daarom nemen we figuur 10 hier nog eens als figuur 29 over en daar is een zonnewijzervlak aan toegevoegd.

Op die kant van dat zonnewijzervlak waarop de zonnewijzer moet komen richten we de normaal op, in alle richtingen haaks op het vlak. Die normaal snijdt ergens de hemelbol in punt P.

Ook zullen we vaak schrijven dat we op het zonnewijzervlak de gnomon oprichten. Dan bedoelen we hetzelfde als de normaal oprichten.



Als dat punt P in het coördinatenstelsel voor hoogte en azimut wordt vastgelegd is ook het zonnewijzervlak eenduidig gedefinieerd.

In dit coördinatenstelsel rekenen wij met het azimut vanuit het zuiden en naar het westen positief. Dit is nu de definitie voor de declinatie van het zonnewijzervlak.

Voor een horizontale zonnewijzer is de declinatie onbepaald. Dan nemen we altijd $d = 0^\circ$.

Voor de andere coördinaat hebben we drie keuzes, de hoogte, de zenitafstand en de nadirafstand van punt P en alle drie systemen komen we in de gnomonica tegen, zij het dat mijn indruk is dat de zenitafstand het meest gebruikelijk is. In ieder geval heb ik mijn keuze op dat systeem laten vallen en in voorgaande toepassingen heb ik deze definitie ook steeds aangehouden.

De zenitafstand is ook de hoek tussen het horizontale vlak en de achterkant van het zonnewijzervlak.

Niets let u om ander keuzes te maken en de coördinatenstelsels mag u naar eigen inzicht benoemen, maar als u eenmaal een keus hebt gemaakt is het aan te bevelen die verder consequent te blijven volhouden, ook voor zonnewijzers op het zuidelijk halfrond van de aarde.

Enkele voorbeelden:

Type zonnewijzer	inclinatie	declinatie
Horizontale zonnewijzer	0	0
Verticale zuidwijzer	90	0
Verticale noordwijzer	90	180
Equatoriale zonnewijzer zuidzijde	$90 + \varphi$	0
Equatoriale zonnewijzer noordzijde	$90 - \varphi$	180
Verticale oostwijzer	90	-90
Verticale westwijzer	90	90
Polaire zonnewijzer, nd. halfrond, zuidzijde	φ	0
Polaire zonnewijzer, nd. halfrond, noordzijde	$180 - \varphi$	180
Polaire zonnewijzer, zd. halfrond, zuidzijde	$180 - \varphi $	0
Polaire zonnewijzer, zd. halfrond, noordzijde	$ \varphi $	180

De volgende keer:

Uurvlakken.

Bezonningsstijd.

De verplaatsingsregel.

Cylinder zonnewijzer.

Uurvlakken.

In deel 2 over coördinatenstelsels is in figuur 9 het stelsel van (zons)declinatie en uurhoek getekend, een zeer belangrijk stelsel voor onze zonnewijzers.

De declinatie wordt gegeven door de coördinaat δ en de uurhoek door de coördinaat t .

Het nulpunt ligt in de plaatselijke meridiaan. Dat is de meridiaan door het zenit en de twee hemelpolen en het plaatselijke meridiaanvlak ligt altijd in het verticaal gelegen noord-zuid gerichte vlak.

Elk uur later of eerder staat de zon in een ander uurvlak van dit coördinatenstelsel en dat uurvlak ligt telkens 15° verschoven.

Een andere manier om deze uurvlakken weer te geven is in figuur 30 getekend.

Het is een poolstijl met 24 vlakken als een waaier daaromheen gegroepeerd.

Twee vlakken zijn geaccentueerd door ze groter te tekenen, namelijk uurvlak XII en uurvlak XXIV.

Wiskundig mogen deze twee vlakken als een vlak worden gezien maar in de gnomonica noemen we dit toch steeds twee aparte uurvlakken. XII uur is toch heel iets anders dan XXIV uur.

XII uur is het tijdstip dat de zon zijn hoogste punt in haar dagboog bereikt en het is dan ware middag. En om XXIV uur is het middernacht.

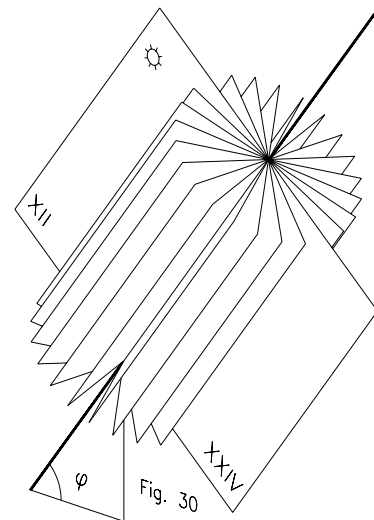
Elk uur staat de zon dus in zo'n vlak en de schaduw van de poolstijl valt dan steeds in het tegenoverliggende uurvlak.

Deze schaduw hoeft ik maar op te vangen op een vlak om een zonnewijzer te kunnen construeren.

Snijdt daarom deze bundel van uurvlakken maar met elk gewenst vlak en de snijlijnen van dat vlak met de uurvlakken in de bundel vormen de uurlijnen op de zonnewijzer.

Dit geldt voor elk vlak, onverlet de vorm ervan.

Het mag een plat vlak zijn of een gekromd vlak, hol of bol, het maakt niet uit, als de snijlijnen maar bepaald kunnen worden.



Bezonnungstijd.

Op bovenstaande wijze zijn alle 24 uurlijnen op een zonnewijzer te bepalen maar zoveel hebben we er meestal niet nodig.

We beperken ons verder weer tot vlakke zonnewijzers en we gaan bepalen welke uurlijnen we wel nodig hebben.

Er zijn twee voorwaarden waaraan moet worden voldaan:

- **De zon moet op zijn, dat wil zeggen hij moet boven het horizontale vlak staan.**
- **De zon moet aan de goede zijde van het zonnewijzervlak staan.**

De eerste voorwaarde is eenvoudig te bepalen met de formule voor de halve dagboog.

De tweede voorwaarde ook. (Voor de formule zie deel 1.)

We gaan namelijk het zonnewijzervlak beschouwen als een horizontale zonnewijzer op een andere plaats ter wereld en bepalen daarvoor de tijden van opkomst en ondergang.

Beide voorwaarden combineren we dan met elkaar en zo is de werkelijke bezonnungstijd voor onze zonnewijzer te bepalen.

Een en ander is in een keer met formules uit te rekenen maar hier gaan we gebruik maken van een grafiek.

Elke vlakke zonnwijzer kan beschouwd worden als een horizontale zonnwijzer op een breedte die gelijk is aan de stijlverheffing v .

Wel moeten we ook rekening houden met een verplaatsing naar een andere lengtegraad en daarvoor hebben we de uurhoek van de substijl ts nodig.

(Details volgen in de paragraaf hierna)

Voor een heel jaar tekenen we in een grafiek de tijden van zonsopkomst en -ondergang voor de plaats waar de zonnwijzer staat. De datum vertalen we naar de zonsdeclinatie δ .

De te gebruiken formule is dan $\cos T = -\tan \varphi \cdot \tan \delta$.

Hetzelfde doen we voor de breedte v en de formule is dan $\cos T = -\tan v \cdot \tan \delta$.

Deze laatste uitkomsten verschuiven we nog met de uurhoek van de substijl ts en uit de optelling van beide grafieken komt dan de bezonningstijd van onze zonnwijzer gedurende het gehele jaar.

Daaruit halen we de vroegste en laatste tijd waarop de zon het vlak beschijnt.

Uit zo'n grafiek kan blijken dat een zonnwijzer soms gedurende twee perioden op een dag door de zon kan worden beschenen. Denk bijvoorbeeld aan een noordwijzer.

Als voorbeeld wordt de willekeurige zonnwijzer uit deel 4 beschouwd die in figuur 28 is weergegeven.

$\varphi = 52^\circ$, $i = 78^\circ$, $d = 22^\circ$. Dan is $v = -23.24^\circ$, $b = -165.46^\circ$, $ts = 23.50^\circ$.

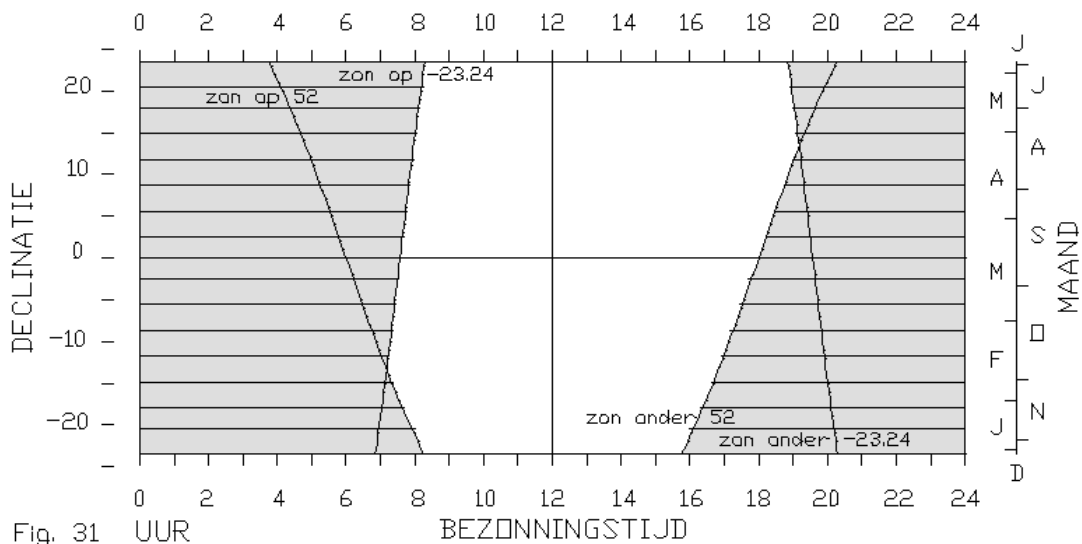


Fig. 31

De grafiek voor de bezonningstijd komt er dan uit te zien als in figuur 31.

Uit de grafiek halen we dat de zonnwijzer het vroegst zonnenschijn opvangt om iets na VII uur en op zijn laatst weer in de schaduw komt om iets na XIX uur.

Dit gebeurt op de datums waarop de zonsdeclinatie ongeveer -14° respectievelijk $+14^\circ$ is.

Daarom zien we op de zonnwijzer alleen de uurlijnen van VIII v.m. tot en met VII n.m.

Ziet u ook dat de grafiek voor de breedte $v = -23.24^\circ$ over $ts = 23.50^\circ$ verschoven is?

De verplaatsingsregel.

Aan de zonnwijzer die we voor Utrecht gemaakt hebben bevestigen we een gyroscop en dan gaan we met de zonnwijzer op reis. We doen dat eigentijds per vliegtuig of raket en we verplaatsen ons rond de aarde.

Door de gyroscop blijft de zonnwijzer steeds in dezelfde stand staan, welke route we ook maken.

Dat betekent dat de zonnwijzer steeds de correcte tijd van Utrecht zal blijven aanwijzen.

De afstanden die we zo kunnen afleggen zijn ten opzichte van de afstand tot de zon maar zo klein dat we rustig kunnen aannemen dat de zonnwijzer relatief gezien op dezelfde plaats blijft staan.

Op deze wijze verplaatsen we nu de zonnwijzer langs een geplande baan op de aarde en wel langs de grootcirkel die haaks op het zonnwijzervlak staat. De richting van die grootcirkel wordt dus bepaald door de declinatie van ons zonnwijzervlak.

De reis die we maken is net zo groot als de inclinatie van het zonnwijzervlak.

In figuur 32 is een en ander getekend en we zien dat we op een andere plaats met een andere breedte en lengte terecht komen. En op die plaats is het zonnewijzervlak nu een horizontaal vlak geworden.

De zonnewijzer in Utrecht is dus veranderd in een horizontale zonnewijzer op die nieuwe plaats en zal daar de tijd van Utrecht blijven aangeven.

Die tijd van Utrecht verschilt natuurlijk met de tijd van die plaats zelf.

Dat tijdsverschil is gelijk aan het verschil in lengte van Utrecht en de nieuwe plaats.

Op de nieuwe plaats ligt de substijl van onze zonnewijzer nu in het meridiaanvlak, dus noord-zuid gericht. En daar is de substijl lijn dus de uurlijn voor XII uur.

Met formules kunnen we deze twee belangrijke gegevens direct uitrekenen en die formules zijn dezelfde die we al gebruikt hebben om de stijhverheffing en de uurhoek van de substijl van onze zonnewijzer uit te rekenen en die twee formules herhalen we hier.

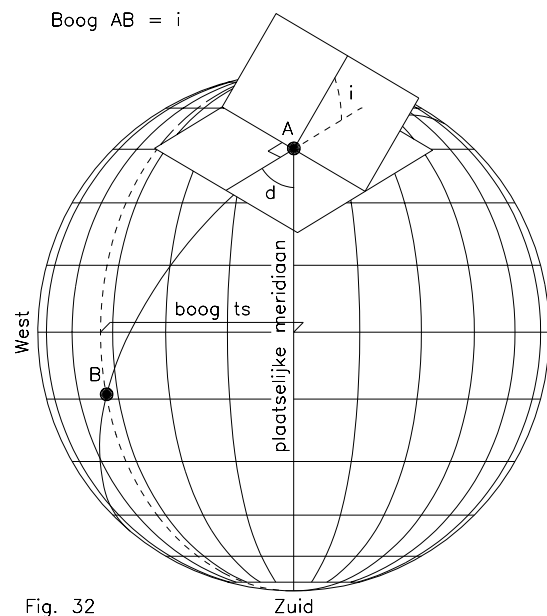


Fig. 32

Stijlverheffing v: $\sin v = \sin \varphi \cdot \cos i - \cos d \cdot \cos \varphi \cdot \sin i$

Uurhoek van de substijl ts: $\tan ts = \sin i \cdot \sin d / (\cos \varphi \cdot \cos i + \sin \varphi \cdot \sin i \cdot \cos d)$

Onze zonnewijzer in Utrecht is dus te construeren als een horizontale zonnewijzer met breedte v en met een tijds correctie ts.

Lengtecorrectie.

Alle zonnewijzers die tot nu genoemd zijn wijzen de zonnetijd aan. Het nulpunt van dat tijdsysteem ligt in de plaatselijke meridiaan.

Het is XII uur als de zon op zijn dagelijkse baan op zijn hoogste punt staat in die plaatselijke meridiaan.

(Bij ons staat de zon dan in het zuiden, in Kaapstad in het noorden en tussen de twee keerkringen óf in het zuiden, óf in het noorden óf in het zenit, afhankelijk van de dag in het jaar.)

Dit betekent dat op alle plaatsen die op een en dezelfde lengte liggen dezelfde zonnetijd geldt.

Maar voor plaatsen ten westen of ten oosten daarvan is het vroeger of later.

Immers daar moet de zon nog op zijn hoogste punt komen dan wel is de zon het hoogste punt al gepasseerd.

Zo had elke plaats vroeger zijn eigen tijd maar men kon er goed mee leven. Andere plaatsen werden toch niet frequent bezocht.

Dat veranderde toen de mensen wel meer gingen reizen en zeker toen de snelle hulpmiddelen als treinen beschikbaar kwamen. Het werd lastig om rekening te moeten houden met de verschillende tijden in verschillende plaatsen.

Men heeft toen de wereld in 24 tijdzones verdeeld, elk 15° breed, met de meridiaan van 0°, 15° enzovoorts als nulpunt. Om politieke redenen of hoe de landsgrenzen lopen wordt daar in de praktijk vanaf geweken.

Voor ons in Nederland (en omringende landen) geldt de meridiaan van 15° oosterlengte als uitgangsmidiaan. (L = -15°)

Verder is afgesproken dat voor de burgerlijke tijdmeting voor alle plaatsen in die tijdzone dezelfde tijd zal gelden en wel de plaatselijke zonnetijd van de gekozen meridiaan.

Dat betekent:

Als de zon op -15° lengte op zijn hoogste punt staat en het daar XII uur zonnetijd is, noemen wij het in heel Nederland 12 uur. Dat is nu onze MET, onze Middel Europese Tijd, onze wintertijd.

En s'-zomers doen we daar nog een uur bij, dan noemen we dat Middel Europese Zomer Tijd, MEZT. Eigenlijk is dat dus de zonnetijd van -30° lengte.

Onze zonnetijd-zonnewijzers wijzen dus de tijd fout aan. Nee, zij wijzen goed aan, de plaatselijke zonnetijd, nog steeds een geldig tijdsysteem, alleen gebruiken we dat niet dagelijks.

In ons dagelijks leven passen we de burgerlijke tijd toe.

Die kunstmatig afgesproken tijd kan een zonnewijzer trouwens wel aanwijzen als we maar een lengtecorrectie in de constructie toepassen.

Utrecht ligt op lengte -5° . Dat is $-5^\circ - -15^\circ = 10^\circ$ ten westen van de tijdzone meridiaan. Dat komt overeen met 40 minuten.

Om die correctie toe te passen draaien we de 15° constructie figuur over 10° en construeren we de zonnewijzer verder zoals we al gewoon zijn.

In figuur 33 ziet u hoe een zonnewijzer met $\varphi = 52^\circ$, $i = 90^\circ$, $d = -30^\circ$ er dan uit komt te zien voor MET. Deze verticale zonnewijzer wijkt dus naar het oosten af.

Ook ziet u dat nu Arabische cijfers bij de uurlijnen zijn gezet. Dat heeft de voorkeur maar is niet dwingend voorgeschreven.

Moet deze zonnewijzer de zomertijd aanwijzen? Verhoog de becijfering met 1 en klaar is Kees.

Of zet beide cijfers bij de uurlijnen in verschillende kleur.

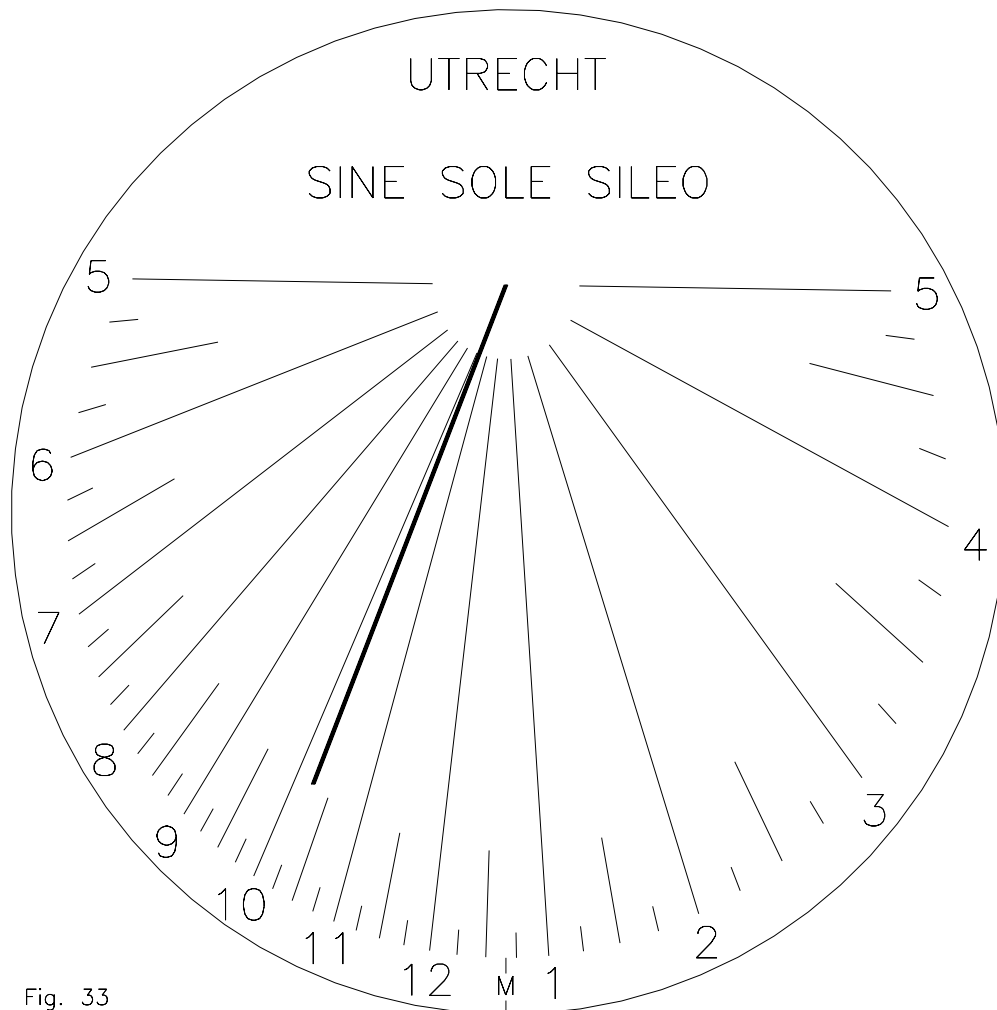


Fig. 33

Door zo een lengtecorrectie aan de constructie van een zonnewijzer toe te voegen kunnen we een zonnewijzer de zonnetijd van elke plaats op de wereld aan laten wijzen. Gemakkelijk als u wilt weten wat de tijd in bijvoorbeeld Australië of Japan is.

Hebben we nu een zonnwijzer die gelijk loopt met onze klok? Ja en nee.

Op vier dagen klopt dit:

15 april

13 juni

1 september en

25 december,

maar op andere dagen niet.

Het blijkt dat de zon niet zo regelmatig om ons heen draait dan we denken en dat geeft afwijkingen ten opzichte van de wel regelmatig lopende klokken. Dit verschijnsel noemen we tijdvereffening en wordt later bij de puntzonnwijzer nog beschreven. Hier laten we in figuur 34 alleen een grafiek zien hoeveel minuten die tijdvereffening in de loop van het jaar bedraagt.

Een poolstijl zonnwijzer, met lengtecorrectie, moet dus nog met de waarde van de tijdvereffening worden gecorrigeerd als we de burgerlijke tijd willen weten.

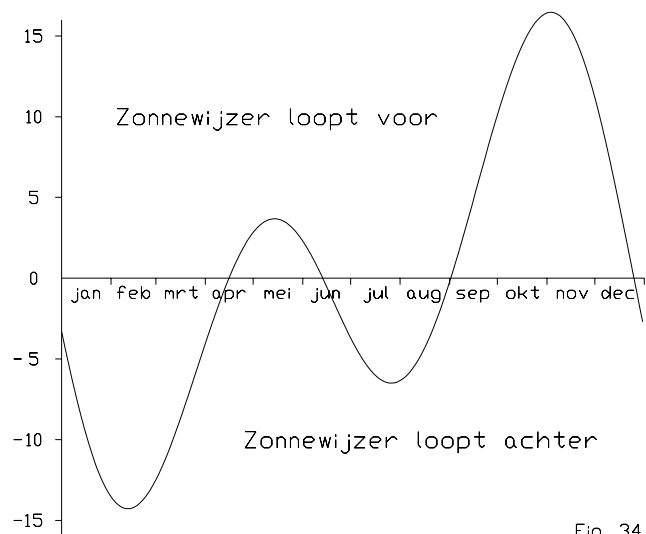


Fig. 34

De cylinder zonnwijzer.

Een lichaam dat zich goed leent voor een ander type poolstijlzonnwijzer is de cylinder. In de paragraaf over de armillosfeer is al aangegeven dat die eigenlijk ook een cylinder zonnwijzer is.

Nu gebruiken we de helft van een grotere cylinder en de twee randen gebruiken we als schaduwgever.

De cylinder wordt dan ook opgesteld met zijn as evenwijdig aan de aardas.

Omdat de wand van de cylinder parallel ligt aan de twee poolstijlen lopen de uurlijnen ook parallel aan elkaar.

De hoek tussen de uurlijn bedraagt nu telkens 30° omdat die gemeten moet worden vanaf de rand en niet vanuit het centrum van de cylinder. De randen zelf zijn de uurlijnen voor XII uur, als er geen schaduw in de cylinder valt. Verder is er een aparte ochtend en middag schaal nodig.

In figuur 35 is een voorbeeld geschetst.

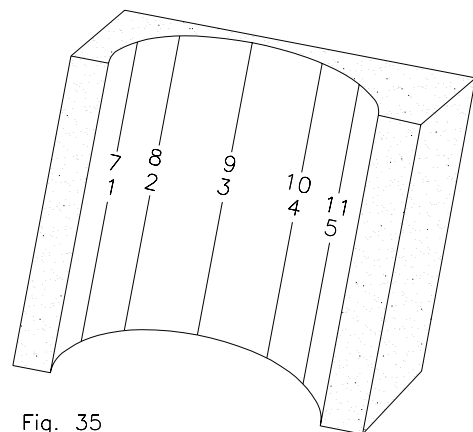


Fig. 35

Hier is nu voor het eerst geen staaf als poolstijl toegepast maar de rand van een lichaam die de schaduwlijn vormt om de zonnwijzer af te lezen. Dat kunnen we ook doen voor de al getoonde vlakke zonnwijzers en dan ontstaat de zogenoemde poolstijldriehoek. Dat is een plaat waarvan een rand steeds recht moet zijn en als poolstijl dienst kan doen. Zo'n plaat wordt dan haaks geplaatst op de substijl van de zonnwijzer. In ons volgende hoofdstuk komen we hier op terug.

De volgende keer:

Stijldriehoek, stijl, gnomon.

De aarde als zonnwijzer en de hemel in mijn handen.

Combinaties.

Stijldriehoek, poolstijl, gnomon.

In de zonnewijzers die tot nu zijn beschreven wordt steeds gesproken over een stijl of poolstijl die een schaduwlijn geeft voor de aflezing van de tijd.

Deze poolstijl kan een staaf zijn maar ook een rand van een vlak en de richting ervan is steeds parallel aan de aardas of hemelas.

Een andere variant is een lichtspleet die dan een lichte lijn op de zonnewijzer geeft om de tijd af te lezen.

Als een staaf als poolstijl wordt gebruikt geschiedt de aflezing in het centrum van de schaduwlijn.

Wordt echter een rand gebruikt dan vindt de aflezing plaats op de rand van de schaduwlijn.

Als een vlak als schaduwgever wordt aangebracht is dit vaak in de vorm van een stijldriehoek die haaks op het vlak wordt gemonteerd, recht boven de substijl. In zijn eenvoudigste vorm is deze stijldriehoek dan een rechthoekige driehoek zoals in figuur 36 is te zien.

Deze driehoek speelt een belangrijke rol in de zonnewijzerkunde en de drie zijden ervan hebben hun eigen aanduiding.

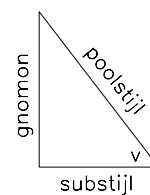


Fig. 36

Poolstijl	parallel aan de aardas
Gnomon	haaks op het zonnewijzervlak
Substijl	lijn in het zonnewijzervlak recht onder de poolstijl

In deze stijldriehoek moet de poolstijl altijd recht zijn maar de zijde, die gnomon genoemd wordt, mag elke vorm hebben. In figuur 37 zijn twee voorbeelden gegeven.

Ondanks deze vrije vormgeving kunnen we toch telkens een (imaginaire) driehoek onder de poolstijl denken zoals in de figuur gestippeld is aangegeven. Zo blijven de drie elementen toch aanwezig en bruikbaar.

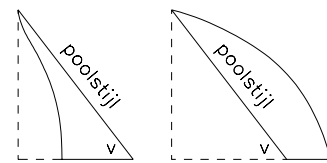


Fig. 37

De gnomon komen we in volgende hoofdstukken nog uitgebreid als zelfstandig element tegen, wanneer uitleg wordt gegeven over de puntzonnewijzer. Hier wordt alleen opgemerkt dat het eindpunt van een gnomon steeds ook een punt is van een poolstijl.

De brede stijldriehoek.

Indien een plaat als stijldriehoek wordt toegepast zal deze plaat een zekere dikte hebben. Dat betekent dat er in feite twee poolstijlen zijn die op een zekere afstand van elkaar staan. Hiermee moet rekening worden gehouden bij het uitzetten van de uurlijnen. Een deel van de uurlijnen moet getekend worden vanuit het voetpunt van de ene stijl, het ander deel van de uurlijnen vanuit het voetpunt van de andere stijl. Voor een horizontale zonnewijzer is dat in figuur 38 weergegeven voor respectievelijk een stijldriehoek zoals in figuur 37 links en rechts is getekend.

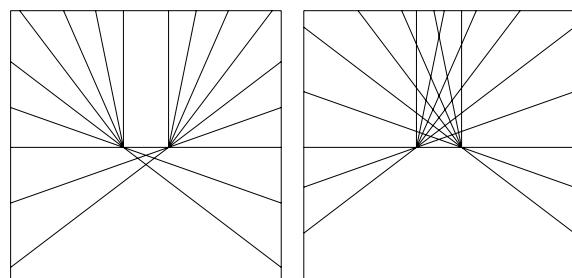


Fig. 38

De aarde als zonnewijzer.

Neem een globe en pas de opstelling zo aan dat de as ervan evenwijdig komt te staan aan de aardas. De as komt dus in het meridiaanvlak te staan, de noordpool wijst naar de hemelnoordpool en de zuidpool wijst naar de hemelzuidpool. Draai de globe nu zo dat uw woonplaats bovenaan komt te staan. Dat punt ligt dan ook horizontaal. U heeft nu een verkleind beeld van de aarde voor u staan en deze reist op dezelfde wijze door de ruimte als de echte aarde.

Gedurende de tijd dat de zon op is zal uw voorbeeld op dezelfde wijze beschenen worden als de echte aarde en zo is het verloop van de schaduw op de werkelijke aarde vanuit uw leunstoel op uw model te aanschouwen.

U ziet dat in onze zomer de noordpool altijd door de zon wordt beschenen en dat het dan aan de zuidpool altijd donker is. En dat op de evenaar de lichte dag altijd 12 uur duurt en de nacht dus ook.

Zet nu op de evenaar bij de meridiaan die door uw woonplaats loopt en bij de tegenoverliggende meridiaan het cijfer VI en in het oosten en westen het cijfer XII en maak twee schalen van I tot XII uur met de uren om de 15° .

De twee wandelende schaduwen langs de evenaar geven dan daar de juiste zonnetijd aan.

Het is ochtend als de zon nog aan de oostkant staat en middag als de zon aan de westkant is gekomen.

De twee schaduwranden geven op de hele globe ook aan waar op dat moment de zon op komt respectievelijk onder gaat. Voor de opkomst leest u af aan de westkant, voor de ondergang aan de oostkant.

Een bol opgesteld zoals hierboven is omschreven noemt men een schaduwbol. Het is fascinerend om op deze eenvoudige wijze de werkelijkheid te aanschouwen.

U kunt ook de zo neergezette globe voorzien van een halve ring die om de aardas draaibaar is en het uursijfer XII bij uw meridiaan zetten en van daaruit de verder uursijfers aanbrengen in een schaal van 1 tot 24. Een schets daarvan is in figuur 39 weergegeven.

Draai nu de halve ring tot de schaduw op de bol op zijn smalst is. De ring staat dan in het uurvlak van de zon en de tijd kan direct op de bol worden afgelezen.

Op deze manier is de globe omgevormd tot een zo genoemde uurvlakzonnewijzer.

Op alle plaatsen die liggen op de meridiaan waar de halve ring nu gepositioneerd is staat de zon op het hoogste punt en daar is het dan overal XII uur zonnetijd ofwel ware middag.

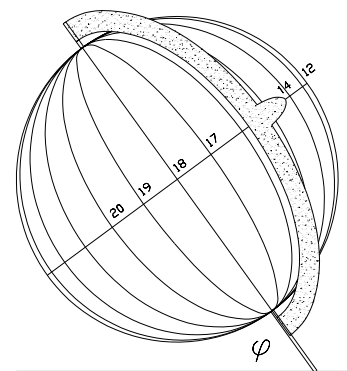


Fig. 39

De hemel in mijn handen.

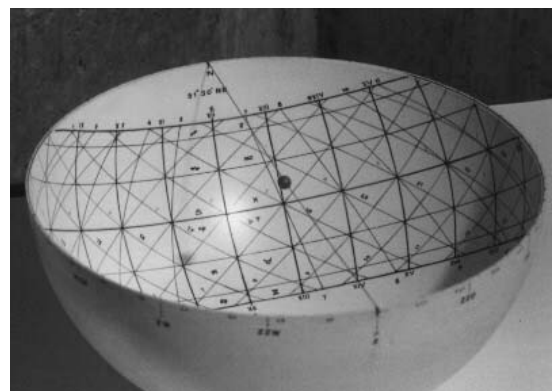
Voor ons is alleen de halve hemelbol, het deel boven de horizon, zichtbaar. Het zou mooi zijn als op deze halve hemelbol het coördinatenstelsel van uurhoek en zonsdeclinatie was getekend. Dan konden we direct de aan de stand van de zon in dat coördinatenstelsel de tijd en zonsdeclinatie aflezen.

Neem daarom een halve kom en teken daarin hetzelfde coördinatenstelsel, maar gespiegeld.

Plaats deze kom met de opening naar boven en breng in het centrum een schaduwgevend punt aan, b.v. een kraaltje dat met dun garen wordt opgehangen.

De schaduw van dat bolletje geeft in de kom dan de plaats van de zon aan de hemel aan en zo kunnen we de tijd en zonsdeclinatie aflezen.

Als u deze kom omgekeerd maar juist georiënteerd boven uw hoofd houdt ziet u het coördinatenstelsel verkleind zoals dat in werkelijkheid aan de hemelbol ligt.



De twee voorbeelden, van een nagebootste aarde en hemelbol, zijn in feite geen poolstijl zonnewijzers, maar zij tonen ons zoveel van de hemelmechanica dat zij hier toch worden toegevoegd.

Combinaties



In het begin van de moderne zonnwijzergeschiedenis, toen de poolstijlzonnewijzer nog maar kort in Europa bekend was, werd de kennis van de mathematicus en de kennis van de steenhouwer vaak getoond in beelden die in feite bestaan uit een veelvoud van zonnwijzers.

In de foto hiernaast is een voorbeeld van zo'n zonnwijzer uit 1578 weergegeven.

Elke scheve rand in deze steen vormt een poolstijl die zijn schaduw werpt op een vlak waarin uurlijnen zijn aangebracht. We kijken dus tegen de noordwest zijde aan.

Duidelijk zijn hier meerdere vlakke en cilindervormige zonnwijzers te zien.

Dit exemplaar telt totaal zo'n 22 zonnwijzers en is daarmee nog maar een bescheiden geheel.

Er zijn exemplaren bekend waarin zelfs meer dan honderd zonnwijzers zijn te tellen.

(Museum Huize van Loon, Amsterdam.)

Van geheel andere orde is deze meer-voudige en reusachtige zonnwijzer die in 1993 in Frankrijk is opgericht.

Drie grote vlakken zijn voorzien van uurlijnen en twee poolstijlen dienen als schaduwgever daarvoor.

Maar ook op het horizontale vlak zijn nog twee uurlijn patronen aangebracht zodat totaal 5 zonnwijzers zijn samengevoegd.

De grootste hoogte van het geheel is zo'n 17 meter.

(Parkeerplaats Tavel langs de "autoroute du Soleil" in het zuiden van Frankrijk tussen Orange en Nîmes.)



De volgende keer:

Inleiding tot de puntzonnewijzer.

Datumlijnen.

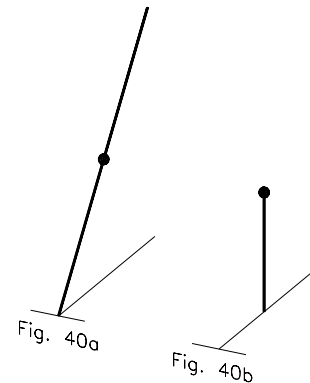
E-lussen.

Tijdsystemen.

Inleiding tot de puntzonnewijzer.

Op de stijl van een poolstijlzonnewijzer wordt een bolletje aangebracht zoals in figuur 40a is geschetst. Het moge duidelijk zijn dat op een bepaald uur de schaduw van dat bolletje op dezelfde uurlijn zal vallen als de schaduw van de poolstijl. De poolstijl kan dus eigenlijk weggelaten worden. Door het bolletje een eigen ondersteuning te geven in de vorm van een gnomon, haaks op het zonnewijzervlak, zoals in figuur 40b is weergegeven, blijft de zonnewijzer zijn werk doen. En dat is dan de puntzonnewijzer. Het bolletje is zelfs ook niet meer nodig; het eindpunt van de gnomon dient dan als schaduwgevend punt.

Het wezenlijke verschil met de poolstijlzonnewijzer is dat nu de aflezing plaats vindt met de schaduw van een enkel punt terwijl dat bij de poolstijlzonnewijzer met een schaduwlijn gebeurt.



Uit hetgeen hierboven geschreven staat lijkt het alsof de puntzonnewijzer een afgeleide is van de poolstijlzonnewijzer maar historisch gezien is dit niet zo. De puntzonnewijzer bestaat al van ver voor onze jaartelling terwijl de poolstijlzonnewijzer pas in de 15^e eeuw in Europa bekend is geworden.

Met een puntzonnewijzer kunnen **datumafhankelijke** zaken worden gerealiseerd zoals andere tijdsystemen, datumlijnen, hoogtelijnen en nog veel meer. In de oudheid werd een datumafhankelijk tijdsysteem gebruikt terwijl men pas in de 14^e eeuw is begonnen met het gebruik van een systeem van "elke dag heeft 24 even lange uren".

Datumlijnen.

Met een datumlijn wordt eigenlijk bedoeld een declinatielijns ofwel een lijn met gelijkblijvende declinatie van de zon.

Deze toevoeging wordt gemaakt omdat voor een bepaalde datum de zonsdeclinatie in de loop van de jaren verandert hetgeen in een schrikkelperiode van vier jaar goed te zien is.

Ook een datumindeling volgens de tekens van de dierenriem wordt in de gnomonica veel toegepast omdat een jaar dan met 7 datumlijnen kan worden omvat. Voor onze huidige kalender zijn er 12 nodig, voor elke maand een.

In fig. 41 is op de top van een gnomon de ruimtelijke figuur weergegeven die ontstaat bij de dagelijkse omloop van de zon. Dat is een dubbele kegel met halve tophoek $90 - \delta$ waarin δ de zonsdeclinatie is.

Bij $\delta = 0$ ontardt de kegel in een plat vlak.

De snijlijn van het zonnewijzervlak met deze dubbele kegel geeft de datumlijn.

De vorm van een datumlijn kan daarom zijn:

- een hyperbool
- een parabool
- een ellips
- een cirkel (voor stijlverheffing = $|90|$)
- een rechte lijn (voor $\delta = 0$)

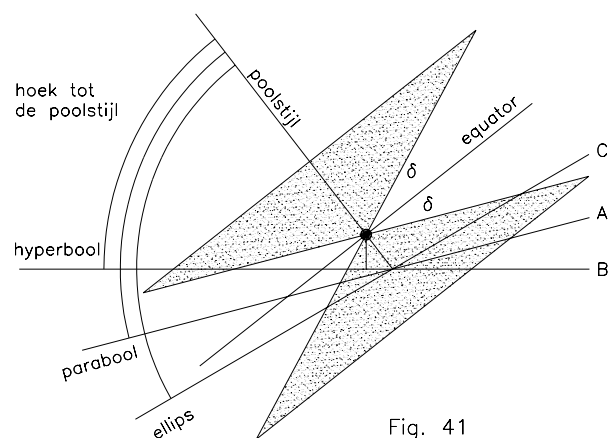


Fig. 41

De zonnewijzer vlakken A, B, en C in fig. 41 tonen dit aan. Een en ander hangt af van de stijlverheffing van de zonnewijzer, in de figuur aangegeven als "hoek tot de poolstijl", en de zonsdeclinatie.

In het algemeen geldt:

Als de declinatie van de zon = 0° : de declinatielij is een rechte lijn.

Als de stijlverheffing = 90° of -90° : de declinatielij is een cirkel.

Als $| \text{stijlverheffing} | = 90 - | \delta |$: de declinatielij is een parabool.

Als $| \text{stijlverheffing} | < 90 - | \delta |$: de declinatielij is een hyperbool.

Anders: de declinatielij is een ellips.

Een voorbeeld is in figuur 42 getekend voor een horizontale zonnwijzer op een breedtegraad van 70° ofwel een zonnwijzer met een stijlverheffing van 70° .

Er zijn datumlijnen volgens de dierenriem getekend volgens de reeks: -23.5, -20, -11.5, 0, 11.5, 20, 23.5.

Alleen die lijnen die ook werkelijk kunnen voorkomen zijn getekend.

De volgende vormen zijn hier te onderscheiden:

- ellips $\delta = 23.5^\circ$
- parabool $\delta = 20^\circ$
- hyperbool $\delta = 11.5^\circ$ en -11.5°
- rechte lijn $\delta = 0^\circ$

Merk ook op dat de lijnen voor een declinatie van $+11.5$ en -11.5 spiegelbeeldig zijn en elk een tak van dezelfde hyperbool zijn.

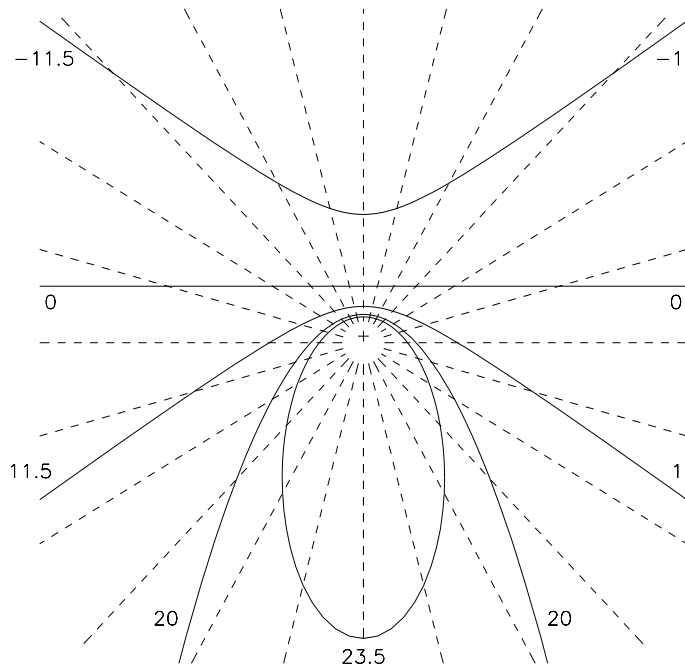


Fig. 42

Vaak worden als datumlijnen alleen die voor het begin van de vier seizoenen aangebracht. Dat zijn dan twee lijnen voor het zomer- en winter solstitium en een rechte lijn voor de twee equinoxen; totaal derhalve drie datumlijnen.

Welke datumlijnen ook worden aangebracht, in het algemeen ontstaat een typische vlindervorm van het totale aantal, zowel op een horizontale, een verticale als op een willekeurig georiënteerde zonnwijzer. Die algemene vorm is in figuur 43 voor een zonnwijzer geschetst waarvan de gegevens zijn:

- Breedtegraad 52°
- Inclinatie 45°
- Declinatie 45°
- Stijlverheffing 14.44°

De stieldriehoek is als streeplijn weergegeven en is in het vlak van de zonnwijzer neergeklapt.

De declinatielijnen zijn volgens de kalender van de dierenriem getekend zodat er maar zeven nodig zijn om het hele jaar te omvatten.

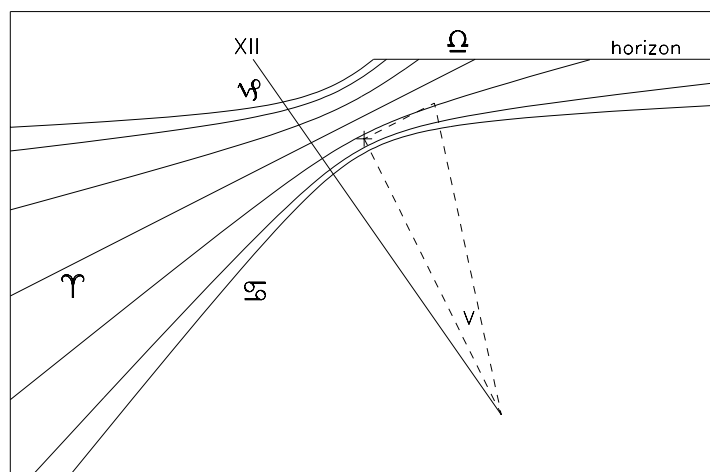


Fig. 43

Trigon.

Om datumlijnen te construeren zij vele methodes uitgedacht. Het gaat in deze basisserie te ver om dergelijke constructies te behandelen en daarvoor wordt verwezen naar de literatuur.

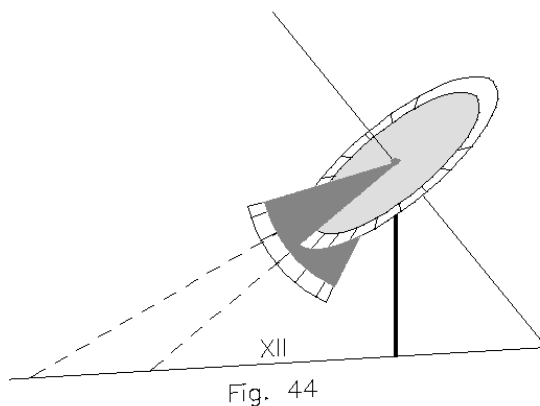
In plaats daarvan wordt in figuur 44 een praktische methode getoond met een instrument dat **trigon** wordt genoemd.

Op de poolstijl, waar de index of nodus zit, wordt een equatoriaal vlak aangebracht en haaks daarop de trigon, draaibaar om de poolstijl. De trigon kan zo in elk uurvlak worden gezet, hier op XII uur.

Op de trigon is een schaal voor de zonsdeclinatie aangebracht.

Door een al of niet elastisch koord langs de gewenste declinatie te houden tot op het zonnwijzervlak kan op de uurlijn een datumpunt voor die declinatie worden uitgezet. Zie de streeplijn.

Door deze handeling op alle uurlijnen uit te voeren en alle punten op de verschillende uurlijnen met elkaar te verbinden is de definitieve declinatielijn te tekenen.



Tijdvereffenings-lussen.

Onze poolstijlzonnwijzer uit de eerdere hoofdstukken geeft de zonnetijd of de voor een bepaalde lengte gecorrigeerde tijd aan.

Deze laatste kan al onze klokkentijd al benaderen, maar om die te weten te komen moet er nog gecorrigeerd worden voor de **tijdvereffening**. (Zie ook hoofdstuk 5.)

De tijdvereffening ontstaat doordat de zon niet regelmatig om ons heen loopt terwijl een klok wel regelmatig loopt.

De oorzaken voor de tijdvereffening zijn:

- De aardas staat onder een hoek van 66.5° met het omloopvlak rond de zon
- De aardbaan is geen cirkel maar een ellips.

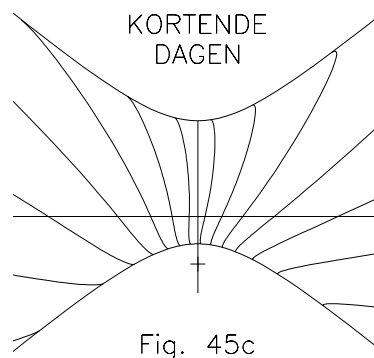
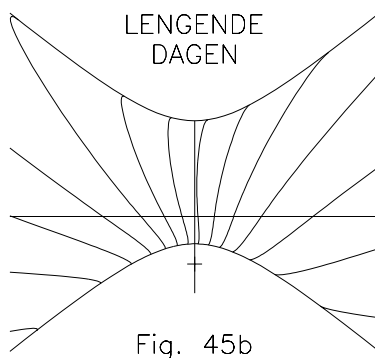
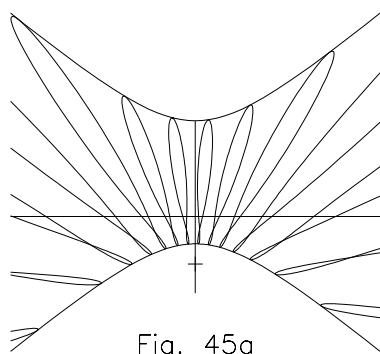
Hierdoor loopt de zon in de loop van het jaar soms sneller en soms langzamer dan onze klok. Het maximale verschil is circa 30 seconden rond Kerstmis. De ware zonnedag duurt dan 24 uur en 30 seconden, gemeten met onze klok.

Door cumulatie van deze verschillen kan de tijdvereffening oplopen tot ongeveer + of - een kwartier.

De tijdvereffening is datumafhankelijk en daarom is een puntzonnwijzer nodig om deze in onze zonnwijzer te kunnen verwerken. In figuur 45a is zo'n horizontale zonnwijzer voor een breedtegraad van 52° en een lengte van -5° getekend.

Het is nodig om te weten welk deel van de 8-vormige lussen gebruikt moet worden.

Om dat te vereenvoudigen kan de zonnwijzer opgedeeld worden in twee zonnwijzers, een voor het halve jaar met de lengende dagen en een voor het halve jaar met de kortende dagen. Daarvan is een voorbeeld te zien in figuur 45b en 45c.



Tijdsystemen.

Allereerst wordt nogmaals een uitleg gegeven over de zonnetijd, middelbare tijd (= tijdvereffening) en tijdzones (= lengtecorrectie).

Zonnetijd (ware of plaatselijke zonnetijd).

In een etmaal legt de zon een cirkel van 360 graden af. Zo wordt de zonsbeweging ervaren hoewel in werkelijkheid deze ervaring het gevolg is van de draaiing van de aarde om zijn as.

Een etmaal wordt verdeeld in 24 gelijke uren. Elk uur wordt verdeeld in 60 minuten en een minuut in 60 seconden. De zon legt dus $360/24 = 15$ graden per uur af ofwel 1 graad per 4 minuten.

Als de zon op zijn dagelijkse baan zijn hoogste punt heeft bereikt, wordt dat XII uur zonnetijd genoemd. Dit is ook het tijdstip van de ware middag.

Op het noordelijke halfrond, tussen de noordpool en de kreeftskeerkring (23,5 graden), staat de zon dan in het zuiden en op het zuidelijk halfrond, tussen de zuidpool en de steenbokskeerkring (-23,5 graden) staat de zon dan in het noorden. Tussen de keerkringen staat de zon om XII uur zonnetijd of in het zuiden, of in het noorden of recht boven ons (in het zenit), afhankelijk van de datum in het jaar.

Zonnetijd wordt geteld in 2 perioden van 12 uur: XII, I, II... van middag tot middernacht en opnieuw XII, I, II... van middernacht tot middag.

Als op een bepaalde lengtegraad de zon in het zuiden of noorden staat en het in die plaats dus XII uur zonnetijd is, is het ten oosten daarvan al XII uur geweest en moet het ten westen daarvan nog XII uur worden. Zo kent elke plaats zijn eigen zonnetijd. Alleen plaatsen die op een zelfde lengtegraad liggen hebben dezelfde zonnetijd. De oude zonnwijzer van vroeger geeft vaak deze zonnetijd aan.

Middelbare tijd.

Toen de mechanische uurwerken meer en meer in gebruik kwamen, werd ontdekt dat de regelmatig lopende klok en de zonnwijzer niet altijd gelijk lopen. In werkelijkheid is de schijnbare zonsbeweging om ons heen onregelmatig en soms "loopt" de zon wat sneller en soms wat langzamer. Hiervoor zijn 2 oorzaken aan te wijzen:

- de baan van de aarde om de zon is geen cirkel maar een ellips

- de aardas staat scheef ten opzicht van het vlak van de aardbaan om de zon. (ca 23,5 graad)

Soms is de zonnwijzer dus voor op de regelmatig lopende klok en soms achter. Men voerde toen een middelbare zon in. Deze denkbeeldige zon loopt wel regelmatig om ons heen en daarnaar regelde men de klok. Het tijdsverschil tussen de ware en de middelbare zon noemt men de tijdvereffening. Het verschil van dag tot dag is slechts beperkt tot maximaal 30 seconden maar door cumulatie kan de ware zon tot ongeveer een kwartier voor (november) of achter (februari) lopen. De tijdvereffening kan in de zonnwijzer worden verwerkt waardoor deze de middelbare tijd aangeeft.

Allengs verschenen er dan ook zonnwijzers met zogenaamde tijdvereffeningslussen op een of meerdere uren. De middelbare tijd wordt geteld van 0 tot 24 uur, te beginnen om middernacht, of in twee perioden van 12 uur zoals bij de zonnetijd.

Tijdzones.

Aldus ontstond de zonnwijzer en de klok die de plaatselijke middelbare tijd aangeven, maar nog steeds heeft elke plaats zijn eigen tijd, tenzij zij op dezelfde lengtegraad liggen. Dit werd lastig toen de spoorwegen tot ontwikkeling kwamen en de mensen meer gingen reizen.

Op het eind van de 19-de eeuw werd de wereld verdeeld in 24 tijdzones van elk 15 graden breed. De lengtecirkel door Greenwich, UK, is het nulpunt van de zonetelling en de zones worden oostwaarts geteld van 0 tot en met 23.

Hoewel Nederland eigenlijk behoort tot tijdzone 0 is ons land nu aangesloten bij tijdzone 1 waarvoor de lengtecirkel van 15 graden oosterlengte geldt. Voor de klok in Nederland (en andere landen die tot zone 1 behoren) geldt nu dat het 12 uur middag is als de middelbare zon op 15 graden oosterlengte in het zuiden (of noorden) staat. Op deze wijze hebben de klokken in alle plaatsen in eenzelfde tijdzone dezelfde tijd. Gedurende de zomertijd komt hier nog een uur bij. Dan worden onze klokken gelijk

gezet aan de middelbare zonnetijd van tijdzone 2 waarvoor de lengtecirkel van 30 graden oosterlengte geldt.

Opm. In Nederland heeft ook nog de Amsterdamse tijd gegolden. Die tijd was gebaseerd op de middelbare tijd van Amsterdam. Heel Nederland had wel dezelfde klokkentijd maar ons land liep toen niet in de pas met de landen om ons heen.

De bestaande zonnewijzers, die de plaatselijke zonnetijd of de plaatselijke middelbare tijd aangeven, wijken dus af van wat nu onze klokken aangeven maar zij werken nog steeds correct.

Zonnewijzers kunnen gecorrigeerd worden opdat zij de zonnetijd aangeven. Deze correctie wordt vaak aangeduid als lengtecorrectie. De lengtecorrectie kan zowel voor de zonnetijd als voor de middelbare tijd worden aangebracht. In het eerste geval moet alsnog de tijdvereffening worden verrekend om een aflezing te vertalen naar wat de klok aanwijst, in het tweede geval is de aanwijzing van de zonnewijzer direct gelijk aan de aanwijzing van de klok.

Antieke tijd (horae antiqua of ongelijke uren).

Voor dat de uurwerken in gebruik kwamen werd een geheel ander tijdsysteem toegepast dan hierboven is aangegeven. De lichte dag van zonsopkomst tot zonsondergang werd verdeeld in 12 uren. Per dag zijn de uren dan gelijk van lengte maar door het jaar heen zijn ze ongelijk omdat de daglengte varieert. Alleen op de evenaar zijn de uren het gehele jaar door gelijk en ook gelijk aan "onze" uren.

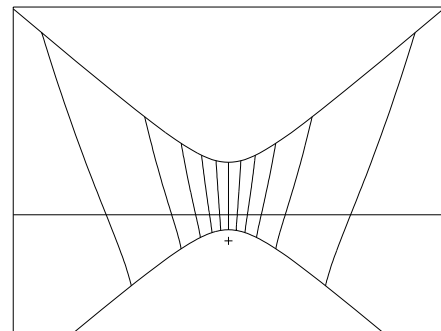


Fig. 46

De telling van de uren in dit systeem verloopt anders. Met onze tijdsaanduiding wordt steeds een tijdstip bedoeld, de antieke tijd wordt geteld in periodes. Wij zeggen b.v. "het is 4 uur", in antieke tijd zegt men "in het vierde uur". Bedoeld wordt de periode tussen het einde van het derde uur en het begin van het vijfde uur. De dag begint met het eerste uur en eindigt op het einde van het twaalfde uur. Het is middag als de zon in het zuiden of noorden staat en dan eindigt het zesde uur en begint het zevende uur.

In figuur 46 is een horizontale zonnewijzer voor 52° noorderbreedte getekend. Merk op dat de berekende uurlijnen niet recht zijn maar de lijnen werden gewoonlijk wel als rechten getekend.

Babylonische tijd (ab ortu) en Italiaanse tijd (ab occasu).

Beide systemen tellen 24 gelijke uren, van dezelfde lengte als "onze" uren en de telling loopt van 0 tot 24.

De Babylonische tijd begint bij zonsopkomst, de Italiaanse tijd bij zonsondergang. Het nulpunt verschuift dus door het jaar heen, behalve op de evenaar. Zo valt ook de ware middag steeds op een andere tijd, behalve op de evenaar.

De Babylonische tijd geeft direct aan "hoeveel uur de zon die dag geschenen heeft", de Italiaanse tijd, afgetrokken van 24, geeft aan "hoeveel uur de zon die dag nog schijnen zal".

Opm. Er zijn plaatsen geweest waar de Italiaanse tijd geteld werd vanaf een half uur na zonsondergang. De zon ging daar dan onder om 23:30 uur.

Sterrentijd.

Een zonne-etmaal duurt 24 uur, een sterren-etmaal duurt 23 uur 56 minuten en 04 seconden. Dit komt omdat de aarde om de zon draait en de zon steeds tegen een andere sterrenachtergrond "wordt gezien". De sterrenhemel in de zomer ziet er dan ook anders uit dan in de winter.

Zo'n sterren-etmaal wordt toch verdeeld in 24 sterrenuren. Een sterrenuur is dus iets korter dan "ons" uur.

De sterrentijd wordt geteld van 0 tot 24 uur en het is 0 uur sterrentijd als het lentepunt in het zuiden (op het noordelijk halfrond) of in het noorden (op het zuidelijk halfrond) staat.

Het lentepunt is dat punt aan de hemelbol waar de zon staat bij het begin van de lente (rond 21 maart). Elke plaats heeft zo zijn eigen sterrentijd, tenzij de plaatsen op de zelfde lengtegraad liggen.

Nog meer over de puntzonnwijzer.

Naast de tijdsystemen die hiervoor zijn vermeld zijn er nog meer fenomenen die op een zonnwijzer kunnen worden afgelezen. De meeste van die fenomenen zijn weer datumafhankelijk en daarvoor is dan een puntzonnwijzer nodig.

Hoogte en azimut van de zon.

Zonnwijzers waarop azimutlijnen zijn aangebracht zijn niet ongebruikelijk maar zonnwijzers waarop hoogtelijnen zijn aangebracht komen niet veel voor. Toch kennen wij in ons land enkele mooie voorbeelden daarvan zoals:

- Drievoudige zonnwijzer aan de kerk in Maassluis
- Zonnwijzer aan de Bullekerk in Zaandam (zie schets aan het einde van dit hoofdstuk)
- Zonnwijzer aan de kerk in Oosthuizen.

In feite is de vorm van een gecombineerd lijnenpatroon voor azimut en zonshoogte identiek aan het patroon op een zonnwijzer dat de zonnetijd en de declinatie van de zon aangeeft.

Het azimut kan ook worden afgelezen met de schaduwlijn van een verticale stijl, de zonshoogte alleen met de schaduw van een index of nodus.

Islamitische gebedslijnen.

Op veel zonnwijzers uit de Islamitische landen zijn gebogen lijnen te zien die aangeven wanneer het tijd is om het gebed te houden.

In figuur 48 is te zien welke vorm die lijnen op een zuid-west wijzer in Utrecht krijgen voor de drie belangrijkste namiddag gebeden.

De tijdstippen voor deze drie gebedslijnen worden als volgt bepaald:

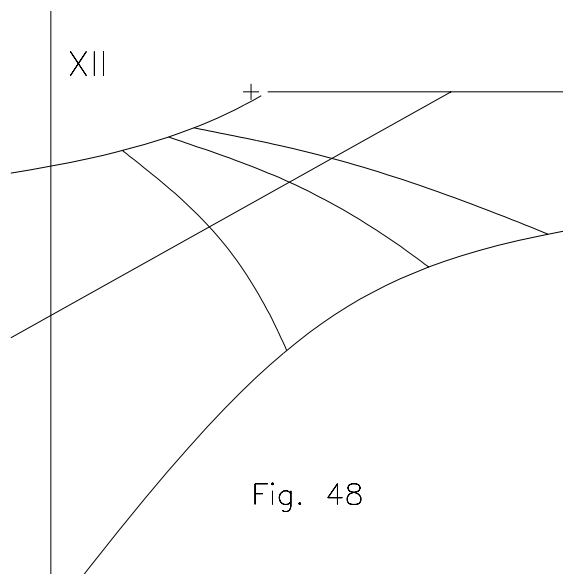
Bepaal de lengte van de schaduw van een gnomon op de ware middag.

Tel bij deze lengte respectievelijk op:

0.25 x de gnomonlengte

1 x de gnomonlengte en

2 x de gnomonlengte.



Astrologische huizen.

Er zijn in de historie diverse systemen bedacht waarmee de hemelbol ingedeeld wordt in sectoren die huizen genoemd worden. Het was voor astrologen belangrijk te weten in welk huis de zon zich bevindt en op de zonnwijzer is dat dan weer af te lezen.

Het meest bekende systeem is de indeling volgens Regiomontanus met 12 huizen.

Een horizontale noord-zuid gerichte stijl dient als schaduwgever en de schaduwlijn daarvan geeft aan in welk huis de zon zich bevindt.

De telling van de huizen begint met het 12^e huis als de zon opkomt en telt terug tot 6^e huis dat direct na zonsondergang begint.

Ook dit is een periode telling net zoals de antiek uren.

Om de ligging van de lijnen te bepalen wordt een waaier van 12 vlakken rond de stijl in gedachten genomen. De snijlijnen van deze waaier met het equatoriale vlak liggen in het equatoriale vlak om de 30°, om de twee uur dus.

De hoeken tussen de vlakken van de waaier zelf zijn dan niet meer van gelijke waarde.

Ascendant en descendant.

Voor astrologen is het belangrijk te weten welk teken van de dierenriem op enig moment juist boven de horizon verschijnt dan wel aan de andere zijde ondergaat. Deze momenten worden ascendant en descendant genoemd.

In fig. 49 zijn de ascendants voor de halfjaarperiode van 22 december tot 21 juni voor een horizontale zonnewijzer in Utrecht getekend.

De descendants zijn het zelfde als in dit patroon waarbij alleen de tekens bij de lijnen moeten worden aangepast. Immers als bijvoorbeeld het teken Aries opkomt gaat Libra, dat zes tekens verder ligt, juist onder.

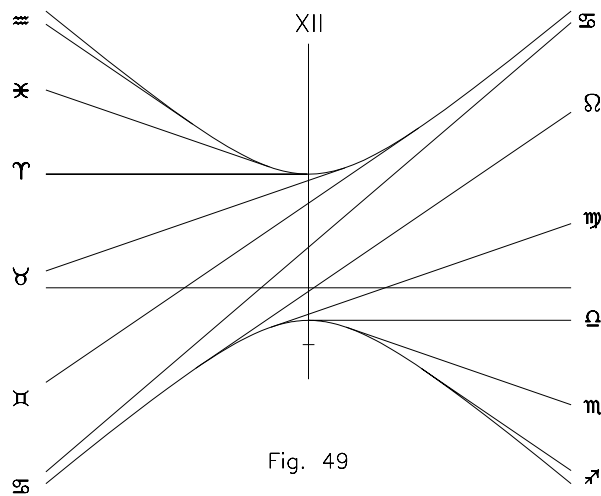
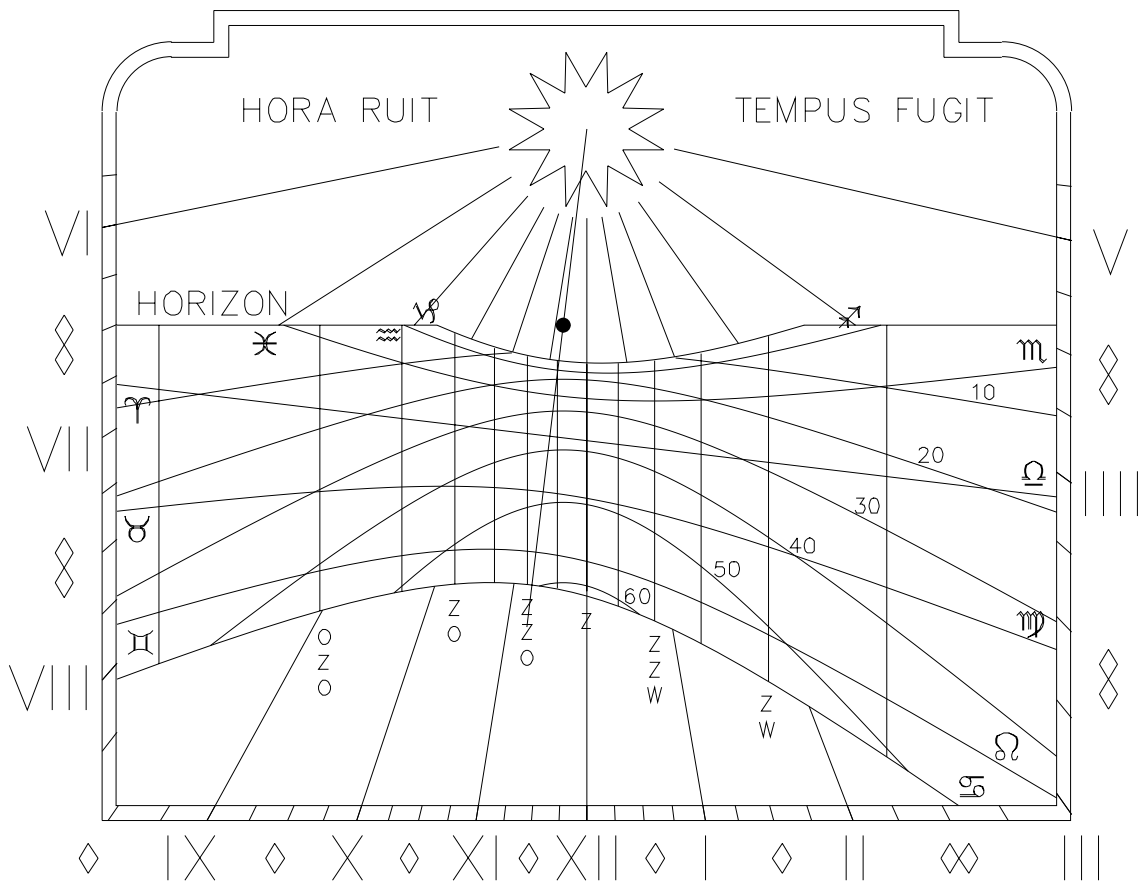


Fig. 49

Hiermee eindigt de serie Basiskennis Zonnewijzerkunde maar het verhaal van de Gnomonica is daarmee nog lang niet beëindigd. In deze serie is slechts gesproken over vlakke poolstijlzonnewijzers en puntzonnewijzers maar er zijn nog veel meer andere vormen en typen zonnewijzers waarvoor naar andere bronnen wordt verwezen.



Schets van de zonnewijzer aan de Bullekerk in Zaandam met lijnen voor hoogte en azimut van de zon.