

Lessen over Cosmografie

Les 2 : De aswenteling van de aarde en de schijnbare dagelijkse beweging

- Horizon, zenit en hemelpolen
- Azimut en hoogte. Poolshoogte
- De hemelequator
- Poolsafstand en declinatie
- De dagelijkse schijnbare beweging van de zon
- Uurhoek, rechte klimming en sterrentijd
- Verband tussen poolshoogte en geografische breedte
- De dagelijkse beweging gezien vanop verschillende plaatsen op -
aarde : het noordelijk halfrond, de noordpool, de evenaar, het
zuidelijk halfrond, de zuidpool

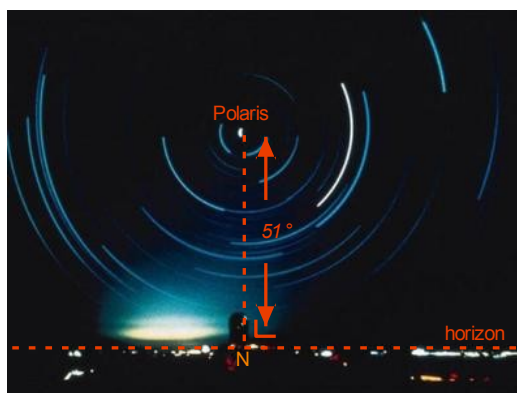


De schijnbare dagelijkse beweging van de hemel¹ is het gevolg van de aswenteling van de aarde. Doordat deze niet rechtstreeks wordt gevoeld, ontstaat de illusie dat niet de aarde wentelt, maar wel de hemelsfeer : alle hemellichamen schijnen in blok omheen de aarde te wentelen. In de oudheid, toen er over de afstanden van de verschillende soorten hemellichamen nog niets bekend was, ontstond door deze beweging ‘in blok’ het idee van een hemelsfeer waarop de hemellichamen dan bevestigd zouden zijn.

De laatste 200 jaar is er echter een grondig inzicht gegroeid in de ruimtelijke verdeling van de sterren, waardoor meteen zonder discussie vast staat dat die beweging ‘in blok’ geen beweging van die sterren zelf² is, maar het gevolg van een rotatiebeweging van de aarde : de aarde wentelt continu rond een welbepaalde as. In wat volgt bestuderen we deze beweging eerst zoals ze gezien wordt in België, meer specifiek in Antwerpen. Bij het gebruik van numerieke gegevens moet daarmee rekening worden gehouden. Zij gelden voor Antwerpen tenzij uitdrukkelijk anders vermeld. Eenmaal de Antwerpse situatie uitgewerkt, gaan we ook eens kijken op andere plaatsen. Eerst in het noordelijk halfrond en op de noordpool, daarna ook op de evenaar, de zuidpool en elders in het zuidelijk halfrond.

Horizon, zenit en hemelpolen

Er zijn slechts twee punten aan de hemel die niet aan die schijnbare dagelijkse beweging meedoen. Slechts één daarvan is zichtbaar (dus boven de horizon) vanuit Europa (zie figuur 1). Het bevindt zich in Antwerpen $51^{\circ}13'$ boven de noordelijke horizon vlak bij de ster Polaris, officieel α UMi genoemd (ook Poolster) en de helderste ster van Ursa Minor (Kleine Beer).

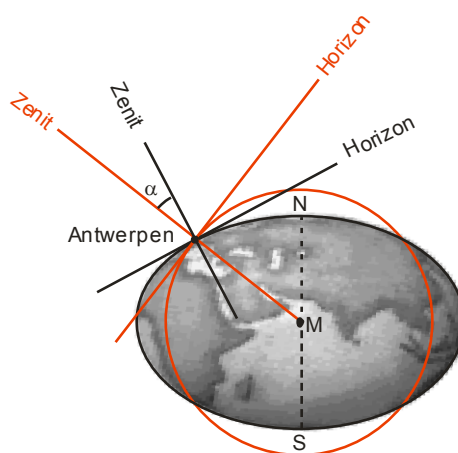


Figuur 1 : De noordelijke hemel vijf uren lang gefotografeerd vanuit Europa. Elke ster heeft zich in die tijd duidelijk verplaatst en op de foto een lichtspoor getrokken. Alle sporen zijn concentrische cirkelbogen. Hun gemeenschappelijk middelpunt is het enige punt aan de noordelijke hemel dat gedurende de nacht niet van plaats verandert. (Foto Urania)

Nauwkeurige waarneming leert dat Polaris (de poolster) nog een klein cirkeltje beschrijft aan de hemel. Elk ander hemellichaam beschrijft eveneens een cirkel met hetzelfde middelpunt en die cirkel is des te groter naarmate dat hemellichaam zich verder van Polaris bevindt. Dat gemeenschappelijke middelpunt van al deze **dagcirkels** wordt de **noordelijke hemelpool** (NHP) genoemd. Van alle met het blote oog zichtbare sterren bevindt α UMi zich het dichtst bij die noordelijke hemelpool. Dat komt omdat ze nagenoeg *op* (het verlengde van) de wentelingsas van de aarde ligt, zij het op zeer grote afstand. Eeuwenlang werd ze in de navigatie gebruikt om het Noorden te vinden. Dat is per definitie de loodrechte projectie op

de horizon van die noordelijke hemelpool (in de navigatiepraktijk projecteerde men natuurlijk gewoon de poolster zelf) en met het Noorden zijn meteen ook de andere windrichtingen bekend.

Vermits de noordelijke hemelpool altijd in de buurt van de poolster ligt, en de aardas dus *altijd* naar de poolster wijst, dus steeds naar *dezelfde* ster, heeft hij een *vaste ruimtelijke richting!* Het feit dat de aarde ook nog in een baan om de zon beweegt doet hier niets aan af³. De noordelijke hemelpool is dus een fictief punt tussen de sterren, als het ware ‘aangewezen’ door de wentelingsas van de aarde. Deze aardas wijst twee punten aan tussen de sterren. Voor bewoners op het zuidelijk halfrond wijst hij in de andere richting even goed een bepaald punt tussen de sterren aan : de **zuidelijke hemelpool**. Er is echter geen zuidelijk equivalent voor de poolster. De sterren in de buurt van de zuidelijke hemelpool zijn allemaal te zwak voor het ongewapende oog. Over het zuidelijke halfrond hebben we het verder in de tekst in een afzonderlijke paragraaf.



Figuur 2 : De richting van het horizonvlak in Antwerpen op een bolvormige veronderstelde aarde (rood) vergeleken met dat op een (overdreven) afgeplatte aarde. Het verschil, uitgedrukt door de hoek α , is hier erg overdreven. Het is het grootst op middelbare geografische breedtes en bedraagt hoogstens 11,6 boogminuten. Aan de polen en de evenaar is het verschil nul.

Een waarnemer op aarde kan op een gegeven ogenblik slechts die hemellichamen zien die zich boven zijn **horizon** bevinden. Dat is de snijcirkel van het **horizonvlak** met de schijnbare hemelsfeer⁴. En het horizonvlak is het raakvlak aan de aarde in de waarnemingsplaats. De loodlijn op het horizonvlak, vanuit de waarnemingsplaats wijst aan de hemelsfeer het **zenit** aan. Op een perfect bolvormige aarde zou deze loodlijn het verlengde zijn van de aardstraal in het waarnemingspunt (zie Figuur 2). Op de echte aarde zijn er kleine afwijkingen die op middelbare geografisch breedte kunnen oplopen tot hoogstens 11,6'.

Azimut en hoogte. Poolshoogte

Om de positie van een hemellichaam t.o.v. de horizon vast te leggen, worden het azimut en de hoogte gedefinieerd. Hiervoor wordt het hemellichaam eerst loodrecht op het meest nabije deel van de horizon geprojecteerd. Die projectie heet het voetpunt (vp, zie Figuur 3) van dat hemellichaam. Het **azimut** A van dat hemellichaam is dan de hoek tussen de richting naar het Noorden en de richting naar het voetpunt, uitgedrukt in graden en gemeten in wijzerzin. Het azimut van het noordpunt zelf is dus 0° , van het oostpunt 90° , van het zuidpunt 180° en van

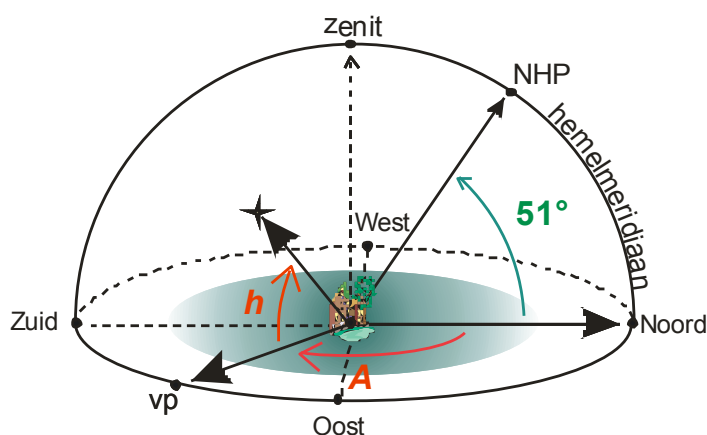
het westpunt 270° . Het azimut van 360° wordt teruggebracht op 0° . Voor om het even welk punt op de horizon geldt :

$$0^\circ \leq A < 360^\circ$$

Merk op dat het azimut van het zenit niet bepaald is. Elk punt op de horizon kan immers beschouwd worden als loodrechte projectie van het zenit.

De **hoogte** h van een hemellichaam is de hoek tussen de richting naar het voetpunt en de richting naar het hemellichaam zelf. De hoogte van het zenit is dus 90° en voor elk punt op de horizon is de hoogte 0° . In het algemeen geldt voor om het even welk zichtbaar punt aan de hemel :

$$0^\circ \leq h \leq 90^\circ$$



Figuur 3 : Hemelmeridiaan, horizonvlak, hoogte (h) en azimut (A) van een ster.
De hoogte van de hemelpool in Antwerpen bedraagt ongeveer 51° .

Hemellichamen die zich onder de horizon bevinden, krijgen per definitie een negatieve hoogte. Dat is natuurlijk hoofdzakelijk van belang bij berekeningen.

Door de schijnbare dagelijkse beweging hebben hoogte en azimut van een hemellichaam geen vaste waarde. Bij opkomst en ondergang is de hoogte vanzelfsprekend gelijk aan nul, terwijl elk hemellichaam halfweg tussen opkomst en ondergang ergens een grootste hoogte bereikt. Terzelfdertijd neemt het azimut tussen opkomst en ondergang gestadig toe. Voor het opzoeken van een hemellichaam moet dus naast hoogte en azimut ook het tijdstip opgegeven worden waarop het hemellichaam deze azimut en deze hoogte heeft. Eveneens door de dagelijkse schijnbare beweging heeft het zenit geen vaste plaats t.o.v. de sterren (behalve op noord- en zuidpool, zie verder). Bekende sterrenbeelden die in Antwerpen dagelijks doorheen het zenit trekken zijn De Grote Beer en Cassiopeia. Door deze afhankelijkheid van de tijd kunnen hoogte en azimuth niet gebruikt worden om in een sterrencatalogus de positie van een ster te vermelden.

De hoogte van de NHP heet de **poolhoogte**⁵, wordt voorgesteld door h_n , en bedraagt in het centrum van Antwerpen $51^\circ 13'$. Zoals reeds eerder vermeld, is de NHP het enige punt aan de noordelijke hemel dat een vaste positie heeft t.o.v. de horizon. De poolhoogte is dus constant. Verder in deze tekst zal blijken dat de poolhoogte wel verschillend kan zijn voor verschillende plaatsen. In Barcelona bijvoorbeeld bedraagt hij $41^\circ 23'$, in Stockholm $59^\circ 20'$ en in Kaïro $30^\circ 03'$.

'Verbinden' we nu in gedachten op de schijnbare hemelsfeer het zenit met het Noorden en het Zuiden (punten op de horizon), dan vormen deze samen op de schijnbare hemelsfeer een even schijnbare halve (groot)cirkel, die bovendien door de hemelpool gaat. Deze halve cirkel heet de **hemelmeridiaan** en snijdt de zichtbare hemel in twee gelijke stukken : een oostelijk en een westelijk. Dikwijls wordt hij gedacht als verder lopend onder de horizon⁶ helemaal terug van het noorden tot aan het zuiden. De niet zichtbare hemelpool ligt op dat niet zichtbare stuk van de hemelmeridiaan.

Een belangrijke eigenschap van deze hemelmeridiaan is dat alle hemellichamen er hun hoogste en laagste stand op bereiken. Dat heet in vaktermen de **bovenculminatie** en de **benedenculminatie** van die hemellichamen.

De hemelequator

Vanuit Antwerpen is dus enkel de noordelijke hemelpool zichtbaar. De omgeving van de zuidelijke hemelpool bevindt zich permanent onder de horizon. Dit is zo voor alle waarnemers op heel het noordelijke halfrond. Op het zuidelijk halfrond is dat net omgekeerd. Daar is enkel de zuidelijke hemelpool zichtbaar, en het is daar de omgeving van de noordelijke hemelpool die zich permanent onder de horizon bevindt (verder meer daarover).

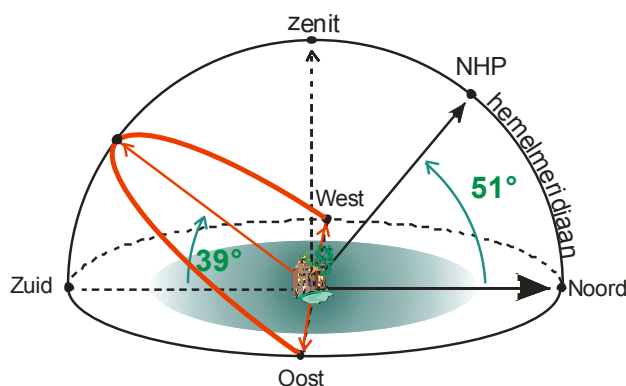
Het noordelijk en zuidelijk halfrond van de aarde worden van elkaar gescheiden door het **equatorvlak**. Dat is het vlak loodrecht op de wentelingsas en door het middelpunt van de aarde. Het snijdt het aardoppervlak langs de **equator** (ook **evenaar** genoemd), die dan het aardoppervlak verdeelt in een **noordelijk** en een **zuidelijk halfrond**.

Het equatorvlak kan in gedachten in alle richtingen ver weg van de aarde worden uitgebreid. Het 'snijdt' dan ook de schijnbare hemelsfeer volgens een (groot)cirkel die de **hemelequator** wordt genoemd en die ook de schijnbare hemelsfeer in een noordelijk en een zuidelijk deel verdeelt.

Er werd reeds opgemerkt dat de rotatieas van de aarde een vaste ruimtelijke richting heeft. Hij wijst vanop het Noordelijke halfrond steeds naar hetzelfde punt tussen de sterren : een punt dicht bij de ster Polaris. Het equatorvlak, loodrecht op die rotatieas, heeft dan natuurlijk ook een vaste ruimtelijke stand, wat zich aan de hemelsfeer toont doordat de hemelequator een vaste ligging heeft t.o.v. de sterren.

Elke richting in of parallel met het equatorvlak staat meteen ook loodrecht op de aardas. Aan de hemel(sfeer) wordt de equator dus bepaald door alle punten waarnaar de richting loodrecht staat op de richting naar de NHP. Het oostpunt en het westpunt op de horizon zijn al twee dergelijke punten. Op de zichtbare helft van de hemelmeridiaan vinden we gemakkelijk een derde dergelijk punt. Voor de waarnemer vormt de hoek van het zuidpunt S naar het noordpunt N een gestrekte hoek, dus een hoek van 180° . In Antwerpen staat de NHP $51^\circ 13'$ boven de noordelijke horizon. Bepaal nu op de hemelmeridiaan boven de zuidelijke horizon het punt op een hoogte van $90^\circ - 51^\circ 13' = 38^\circ 47'$. De richting naar dit punt staat loodrecht op de richting naar de hemelpool, vermits de hoek tussen die beide richtingen gelijk is aan $180^\circ - 51^\circ 13' - 38^\circ 47' = 90^\circ$. In Antwerpen loopt de hemelequator dus door het oost- en het westpunt en door het punt van de hemelmeridiaan op een hoogte van $38^\circ 47'$ boven het zuidpunt.

Voor een gegeven plaats op aarde heeft de hemelequator dus een vaste positie t.o.v. de horizon, onafhankelijk van de schijnbare dagelijkse beweging, net zoals de hemelpool. Verder in deze tekst zal blijken dat deze positie t.o.v. de horizon wel verschillend kan zijn voor verschillende plaatsen, net zoals de positie van de hemelpool.



Figuur 4 : Horizonvlak en hemelequator vormen in Antwerpen een hoek van ca 39°.

Het gedeelte van de hemel boven de zuidelijke horizon en onder de equator is een deel van de zuidelijke hemelsfeer.

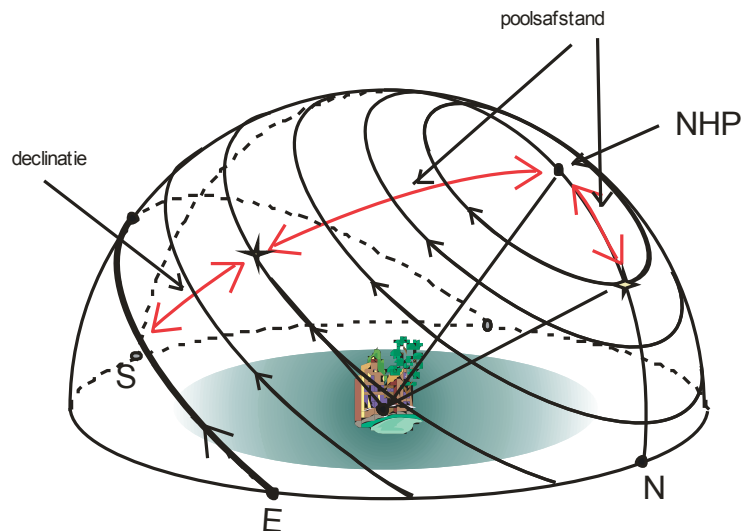
Poolsafstand en declinatie

De hoek bepaald door de richtingen naar de noordelijke hemelpool (NHP) en een willekeurig hemellichaam, heet de poolsafstand p_n van dat hemellichaam (fig.5). Heeft de dagelijkse schijnbare beweging een grote invloed op de hoogte van de hemellichamen, dan toch niet op de poolsafstand. Als de poolsafstand van een hemellichaam verandert, dan is dat niet ten gevolge van de schijnbare dagelijkse beweging, maar omwille van een werkelijke positiewijziging aan de hemelsfeer. Een trouwe hemeltoerist weet echter dat er in de onderlinge posities van de sterren niets merkbaars verandert. Slechts na vele jaren worden kleine verschuivingen merkbaar. Een van de meest opvallende gevallen is de ster van Barnard. Elk jaar schuift ze ongeveer 10,3 boogseconden op aan de hemel. Slechts binnen 350 jaar zal dat tot 1° opgelopen zijn⁷. In wat volgt kunnen we dus voor de komende honderd jaren gerust veronderstellen dat de sterren een vaste positie op de (wentelende) hemelsfeer hebben en dus een constante afstand tot de hemelpool. Pas na jaren hoeven we slechts hier en daar enkele kleine correcties aan te brengen. Maar dat is helemaal niet zo voor de zon, de maan en de planeten. Zij verplaatsen zich zeer duidelijke t.o.v. die 'vaste achtergrond van sterren'. In cosmografie 3 en verder zal daar nog op worden ingegaan.

Elk hemellichaam bereikt elke dag een *laagste* stand. Men zegt dat het **benedenculmineert**. Sommige bevinden zich dan nog steeds boven de horizon, op de hemelmeridiaan precies boven het noorden. Hun volledige dagcirkel ligt boven de horizon en ze worden **circumpolair** genoemd. Dit is het geval als de *poolsafstand* kleiner is dan de *pools hoogte*, dus als

$$p_n \leq h_n.$$

Bekende voorbeelden in Antwerpen zijn de sterren van de Kleine en de Grote Beer en Cassiopeia.



Figuur 5 : Elk hemellichaam beschrijft dagelijks een cirkel rond de hemelpool. De poolsafstand blijft daarbij constant. Deze cirkels heten dagcirkels. De hemelequator is meteen de dagcirkel voor elk hemellichaam dat in het equatorvlak ligt. De laagste stand die een ster kan innemen komt overeen met een hoogte gelijk aan de poolhoogte verminderd met de poolsafstand van die ster. De hoogst mogelijke stand wordt berekend vertrekkend van de som van poolhoogte en poolsafstand. In plaats van poolsafstand p_n wordt dikwijls de declinatie δ gebruikt. Hun som is steeds 90° .

Bij die laagste stand is de hoogte h_{min} van het hemellichaam gelijk aan het verschil tussen poolhoogte en poolsafstand :

$$h_{min} = h_n - p_n$$

De helderste ster van Ursa Major (de Grote Beer), α UMa heeft een poolsafstand van $28^\circ 15'$ en zakt in Antwerpen dus nooit lager dan $h_n - p_n = 51^\circ 13' - 28^\circ 15' = 22^\circ 58'$ boven de horizon.

De ster Sirius (α CMa), de helderste ster aan de winterhemel, heeft een poolsafstand van $96^\circ 43'$, duidelijk groter dan de poolhoogte. Bij haar laagste stand staat ze dus op een 'hoogte' van $h_n - p_n = 51^\circ 13' - 96^\circ 43' = -45^\circ 30'$. Het negatieve resultaat wijst er op dat het $45^\circ 30'$ onder de horizon is.

De ster Wega (α Lyr), een heldere ster aan de zomerhemel, is een randgeval. Ze heeft een poolsafstand van $51^\circ 13'$. Bij haar laagste stand staat ze in Antwerpen dus op een hoogte van $h_n - p_n = 51^\circ 13' - 51^\circ 13' = 0^\circ 00'$. Ze ligt dan precies op de horizon in het Noorden. Ze gaat net niet onder.

Elk hemellichaam bereikt elke dag evengoed een *hoogste* stand. Men zegt dat het **bovenculmineert**. Ook deze hoogste positie ligt op de hemelmeridiaan. Voor de hoogte h_{max} van het hemellichaam wordt in de eerste plaats gedacht aan de hoogte boven de noordelijke horizon : de *som* van poolhoogte en poolsafstand :

$$h_{max} = h_n + p_n$$

De ster α UMa van de Grote Beer, met een poolsafstand van $28^{\circ}15'$ klimt in Antwerpen op tot $h_n + p_n = 51^{\circ}13' + 28^{\circ}15' = 79^{\circ}28'$ boven de noordelijke horizon.

Als de poolsafstand van een hemellichaam gelijk is aan $38^{\circ}47'$, dan bereikt het in Antwerpen een maximale hoogte van $h_n + p_n = 51^{\circ}13' + 38^{\circ}47' = 90^{\circ}00'$. Dat is precies in het zenit ! Zolang de poolsafstand van het hemellichaam kleiner blijft dan $38^{\circ}47'$ ($= 90^{\circ} - 51^{\circ}13'$), geschiedt de bovensculminatie dus op de hemelmeridiaan *boven de noordelijke horizon*.

Voor Sirius met een poolsafstand van $96^{\circ}43'$ vinden we echter $h_n + p_n = 96^{\circ}43' + 51^{\circ}13' = 147^{\circ}56'$. Vanuit het noordpunt moeten we dus $147^{\circ}56'$ afmeten langs de meridiaan. Dat is $57^{\circ}56'$ *voorbij* het zenit, en dus $90^{\circ} - 57^{\circ}56' = 31^{\circ}04'$ boven de *zuidelijke horizon*. Is in Antwerpen de poolsafstand van het hemellichaam groter dan $38^{\circ}47'$ dan geschiedt de bovensculminatie *boven de zuidelijke horizon*.

Als de poolsafstand voldoende groot is, dan komt het betreffende hemellichaam zelfs nooit boven de horizon. Zijn volledige dagcirkel blijft onder de horizon. Dat is het geval als de *poolsafstand* groter is dan het goniometrisch supplement van de *poolshoogte*, dus als

$$p_n \geq 180^{\circ} - h_n.$$

In Antwerpen is dat het geval als de poolsafstand groter is dan $180^{\circ} - 51^{\circ}13' = 128^{\circ}47'$. Dat is de hoekafstand van de NHP, langs de hemelmeridiaan over het zenit, tot aan de zuidelijke horizon.

Alle hemellichamen, met poolsafstand groter dan $90^{\circ} - h_n = 38^{\circ}47'$ maar kleiner dan $180^{\circ} - h_n = 128^{\circ}47'$ komen dagelijks op aan de oostelijke horizon, trekken dan naar rechts richting zuidelijke horizon, waarboven ze een hoogste stand bereiken en zakken dan naar de westelijke horizon toe waaronder ze tenslotte verdwijnen. Hun dagcirkel ligt gedeeltelijk boven en gedeeltelijk onder de horizon.

Het goniometrisch complement van de poolsafstand heet de **declinatie**. Deze geeft de hoekafstand van een hemellichaam tot de hemelequator gemeten loodrecht op die equator, en wordt voorgesteld door *Dec* (zie figuur 5). Door definitie geldt dus :

$$Dec = 90^{\circ} - p_n$$

Elk hemellichaam op de hemelequator heeft een declinatie van 0° en vermits de poolsafstand van de NHP vanzelfsprekend 0° is, wordt zijn declinatie 90° . De ster α UMa van de Grote Beer, met een poolsafstand van $28^{\circ}15'$, heeft dus een declinatie van $90^{\circ} - 28^{\circ}15' = 61^{\circ}45'$. De ster Sirius met een poolsafstand van $96^{\circ}43'$, heeft een declinatie van $90^{\circ} - 96^{\circ}43' = -6^{\circ}43'$. Een positieve declinatie, zoals voor α UMa betekent dat de ster in de noordelijke hemelsfeer staat, vanuit Europa gezien dus 'boven' de hemelequator. Met een negatieve declinatie, zoals voor Sirius, staat de ster in de zuidelijke hemelsfeer, in Europa dus 'onder' de hemelequator.

Net als de poolsafstand is ook de declinatie onafhankelijk van de dagelijkse beweging. Beide kunnen dus dienen voor gebruik in catalogi. In professioneel sterrenkundig werk is het gebruikelijker te werken met de declinatie en minder met de poolsafstand.

De dagelijkse schijnbare beweging van de zon

Net zoals de sterren komt de zon dagelijks op aan de oostelijke horizon en gaat ze onder aan de westelijke. Zij bepaalt daarmee het onderscheid tussen dag en nacht. Ze onderscheidt zich van de andere sterren doordat ze geen vaste positie behoudt t.o.v. die sterren, waardoor haar dagelijks verschijnen verschillend is in verschillende seizoenen (daarover uitvoeriger in een volgende les).

Na zonsondergang verdwijnt het zonlicht slechts geleidelijk. Pas als de zon 6° onder de horizon staat, worden de helderste sterren zichtbaar (als het weer dat toelaat). Op dat ogenblik eindigt bij afspraak de **burgerlijke schemering**. Maar om sterrenbeelden te herkennen (Grote Beer, Orion, ...) is het dan nog niet donker genoeg. Daarvoor moet de zon 12° onder de horizon zijn gezakt. Op dat ogenblik eindigt de **nautische schemering**. Maar elk spoor van zonlicht is maar verdwenen als de zon 18° onder de horizon staat. Pas dan worden (bij gunstig weer) alle sterren zichtbaar die met het blote oog kunnen gezien worden⁸. Op dat ogenblik eindigt de **astronomische schemering**.

Ook 's morgens wordt het al licht vooraleer de zon opkomt. Het eerste zonlicht breekt door als de zon genaderd is tot op 18° onder de oostelijke horizon. Dit markeert het begin van de astronomische ochtendschemering. De zwakste sterren beginnen dan stilaan in de ochtendgloed te verdwijnen. Zodra de zon tot op 12° van de horizon is genaderd, zijn nog enkel de hoofdsternen van de sterrenbeelden te zien : het begin van de nautische ochtendschemering. Zodra alle sterren in de ochtendgloed verdwenen zijn, dat is als de zon op 6° van de horizon is genaderd, begint de burgerlijke ochtendschemering.

Er is nog een kleine invloed van de atmosfeer op de tijdstippen van opkomst en ondergang. De zon (en de maan) hebben een schijnbare diameter van ongeveer een halve graad. Net voor ondergang, of net na opkomst, 'raakt' de zon de horizon. Als op dat ogenblik de atmosfeer zou wegvallen, dan zou de zon onmiddellijk onder de horizon verdwijnen. Door atmosferische refractie (straalbreking in de atmosfeer) kijken we enigszins over de horizon heen en zien we de zon aan de horizon schijnbaar ongeveer een halve graad hoger dan zuiver meetkundig het geval zou moeten zijn. Dit vervroegt zonsopkomst en verlaat zonsondergang met enkele minuten.

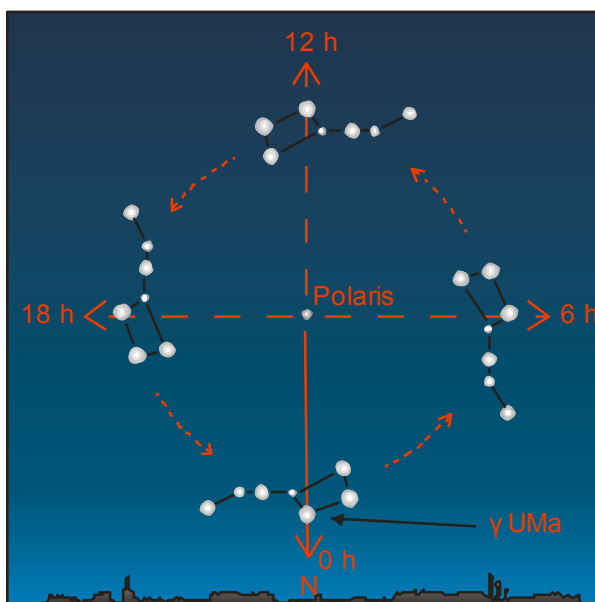
Sterrentijd, Uurhoek, Rechte Klimming

Elk hemellichaam bereikt dus elke dag opnieuw zijn hoogste stand. Dit laat dus toe de duur van één aardomwenteling precies te bepalen : het is in principe de tijd tussen twee opeenvolgende bovensculminaties van een welbepaalde vooraf gekozen ster en wordt **sterrendag** genoemd of siderische dag. Strikt genomen doet men dat echter met het **lentepunt**. Dat is in principe een punt *op de hemelequator*, dat een *vaste positie* heeft tussen de sterren en dat dus deelneemt aan de dagelijkse schijnbare beweging. In deze tekst kan het dus voorgesteld worden als een fictieve ster op een vaste plaats tussen de andere sterren en op de equator. In een volgende les over de schijnbare jaarlijkse beweging van de zon, zal het lentepunt precies gedefinieerd worden.

In het kort gaat dat als volgt. Door de baanbeweging van de aarde omheen de zon lijkt het alsof de zon zich tussen de sterren verplaats. Het lijkt wel alsof het de zon is die in een jaar omheen de aarde wentelt in plaats van andersom. Zij volgt daarbij schijnbaar een vaste weg tussen steeds dezelfde sterren, deze van de Zodiak (dierenriem). Deze schijnbare zonnebaan heet de **ecliptica** en snijdt de hemelequator in twee diametraal tegenover elkaar liggende punten, die dan even

goed een vaste positie hebben t.o.v. de sterren. De zon (beter : haar middelpunt) staat dus tweemaal per jaar op de hemelequator : een eerste keer is dat rond 21 maart (lenteëquinox) en een tweede keer rond 23 september (herfstequinox). De twee overeenkomstige punten op de hemelequator worden het lentepunt en het herfstpunt genoemd. Op heel lange termijn verplaatsen beide punten zich toch tussen de sterren, éénmaal rond langs de ecliptica (Zodiak) in 26000 jaar, wegens de precessie van de aarde.

Een sterrendag wordt onderverdeeld in 24 gelijke delen, (sterren)uren genoemd⁹. Het is per definitie 0 uur **sterrentijd** op het ogenblik dat het lentepunt in de hemelmeridiaan staat. Vierentwintig uur later staat het er terug, en is elk ander punt van de equator eveneens de hemelmeridiaan gepasseerd. Per sterrenuur passeert dus 1/24^{ste} deel van de hemelequator langs de hemelmeridiaan. Dat komt overeen met een equatorboog van 15° per sterrenuur. Als het 1 uur sterrentijd is, is de equatorboog van het lentepunt tot aan de hemelmeridiaan dus precies 15° lang. Als het 2 uur sterrentijd is, is dat 30°. Als het 3 uur sterrentijd is, 45°, enz. Elk uur wordt de equatorboog van het lentepunt tot aan de hemelmeridiaan 15° langer, tot hij aangegroeid is tot 360°, dus tot het lentepunt terug in de meridiaan is aangekomen.



Figuur 6 : Voor het schatten van de sterrentijd kan de verbindingslijn van de poolster naar de ster γ UMa van de Grote Beer kan als 'wijzer' gebruikt worden. De rechte klimming (zie verder) van γ UMa is ongeveer 12 uur. Dat wil dus zeggen dat als deze ster door haar laagste punt gaat (benedenculmineert), het lentepunt in zijn hoogste punt staat (bovenculmineert) en dus in de hemelmeridiaan ! Is deze 'wijzer' loodrecht op de horizon gericht dan is het dus 0 uur sterrentijd. Op één sterrendag gaat deze éénmaal helemaal rond in tegenwijzerzin.

Wat we net voor het lentepunt deden, kunnen we eigenlijk herhalen voor om het even welk hemellichaam. In geval dat niet op de equator ligt, projecteren we het wel eerst (loodrecht) op de hemelequator en werken dan met die projectie. Als die projectie (en dus het hemellichaam zelf) in de meridiaan staat, zegt men dat de **uurhoek H van dat hemellichaam** 0 uur is. Als de equatorboog tussen die projectie en de meridiaan 15° lang is, dan zegt men dat de uurhoek van het hemellichaam 1 uur is. Is die equatorboog 30°, dan is de uurhoek 2 uur, enz. (zie fig.6). De uurhoek H van een hemellichaam evolueert dus van 0 tot 24 uur tussen twee opeenvolgende bovenculminaties van dat hemellichaam :

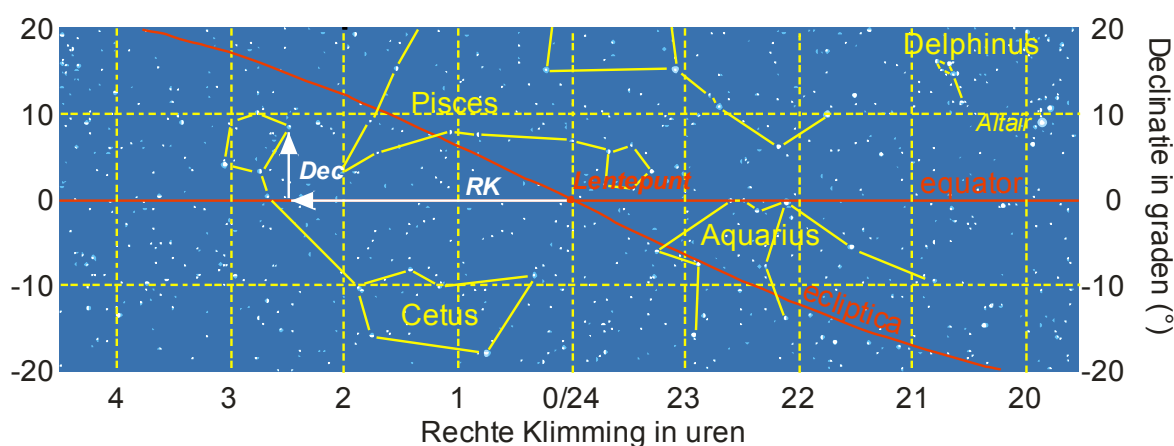
$$0 \leq H < 24 \text{ h}$$

Op die wijze geformuleerd is de sterrentijd t_s , dus heel gewoon *de uurhoek van het lentepunt*.

De *uurhoek van de zon* is de basis voor de ware **zonnetijd**. De ware zonnetijd zoals aangewezen door een correct opgestelde zonnwijzer is per definitie gelijk aan de uurhoek van de zon. Voor burgerlijk gebruik wordt daar nog 12 uur bijgeteld zodat 0 uur op middernacht valt en niet op de middag. Men spreekt dan ook wel van de **burgerlijke tijd**. Meer daarover in de les over tijdsbepaling.

Omdat de zon geen vaste plaats aan de hemelsfeer heeft, zijn sterrentijd en zonnetijd niet gelijk aan elkaar. Een middelbare zonnedag duurt ongeveer 4 minuten langer dan een sterrendag. Op 21 maart staat de zon in het lentepunt en gaat ze samen het het lentepunt door de hemelmeridiaan. Zonnetijd en sterrentijd zijn dan gelijk. Na deze datum loopt het verschil tussen middelbare zonnetijd en sterrentijd op met ca 4 minuten per dag. Zonnetijd loopt dan achter t.o.v. de sterrentijd. Ook daarover meer in een volgende les.

De positie van een hemellichaam aan de hemelsfeer kan dus meegedeeld worden door opgave van de uurhoek en de declinatie. Omdat de uurhoek echter continu verandert door de dagelijkse beweging, moet ook het tijdstip vermeld worden waarop het hemellichaam deze positie zal hebben. Voor de declinatie alleen hoeft dat niet, vermits die onafhankelijk is van de dagelijkse beweging.



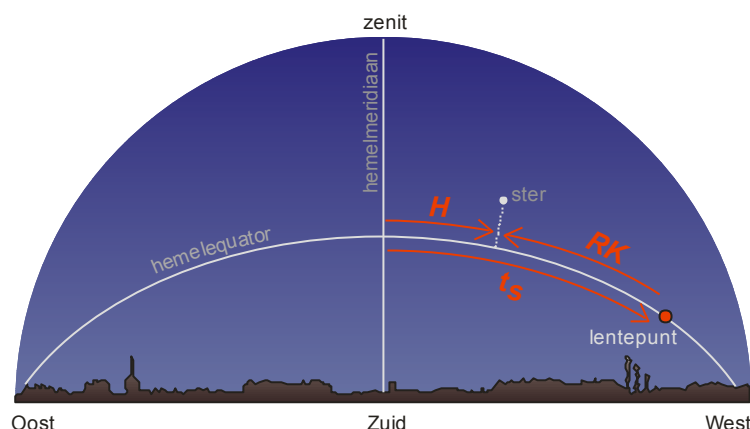
Figuur 7 : Een kaart van de omgeving van het lentepunt. De schijnbare zonneweg tussen de sterren is de ecliptica. Het lentepunt is één van de beide snijpunten van de ecliptica met de hemelequator. Eénmaal per jaar, rond 21 maart trekt de zon door het lentepunt. Ze gaat dan van de zuidelijke naar de noordelijke hemelsfeer. Vanuit het lentepunt linksom (op het N-halfond !) wordt de Rechte Klimming *RK* gemeten, helemaal de equator rond van 0 tot 24 uur, of van 0° tot 360°. De declinatie *Dec* wordt gemeten in graden vanaf de equator, positief naar het Noorden en negatief naar het Zuiden.

Om een coördinatenstelsel te bekomen dat helemaal onafhankelijk is van de dagelijkse beweging wordt de **rechte klimming** *RK* ingevoerd. Deze wordt bepaald door de equatorboog van het lentepunt naar het projectiepunt van het hemellichaam op de equator, doorlopen in tegenwijzerzin, zoals gezien vanuit het noordelijk halfond. Men kan de rechte klimming uitdrukken in graden, maar wegens het verband met de uurhoek geschiedt dat dikwijls in uren. Door te meten in tegenwijzerzin zullen de hemellichamen met grotere rechte klimming ook later culmineren. Deze rechte klimming *RK* is nu onafhankelijk van de

dagelijkse beweging vermits ze wordt bepaald t.o.v. het lentepunt, dat net zoals het beschouwde hemellichaam meegaat in de dagelijkse beweging.

Rechte klimming RK en declinatie Dec zijn wél geschikt voor gebruik in overzichtlijsten, catalogi of atlassen. Samen bepalen zij ondubbelzinnig de positie van een hemellichaam en beide zijn onafhankelijk van de dagelijkse beweging.

Op langere termijn RK veranderen de rechte klimming en de declinatie van de *sterren* toch ook, zij het slechts zeer langzaam. Een eerste reden is de ruimtelijke beweging van de sterren zelf. Deze toont zich aan de hemelsfeer echter slechts als een kleine verplaatsing van de ster met enkele boogseconden per jaar voor de meest opvallende gevallen (eigenbeweging). Een tweede reden is dat de snijpunten van de equator met de ecliptica, waaronder dus het lentepunt, zich langzaam langs de ecliptica verplaatsen. Maar ook dat geschiedt behoorlijk langzaam aan een tempo van ongeveer $50''$ /jaar. Steratlassen en -catalogi moeten dus toch nog vermelden voor welk tijdstip (**epoche** genoemd) de gegevens die ze bevatten bepaald zijn. De huidige atlassen en catalogi worden gepubliceerd voor de epoche 2000.0 (het begin van het jaar 2000) en zo nodig moet op de positiegegevens die ze bevatten een kleine correctie worden toegepast voor het tijdsverschil.



Figuur 8 : Het verband tussen uurhoek H , sterrentijd t_s en rechte klimming RK .

Er is een merkwaardig en nuttig verband tussen uurhoek, sterrentijd en rechte klimming : de som van uurhoek H en rechte klimming RK is gelijk aan de sterrentijd t_s :

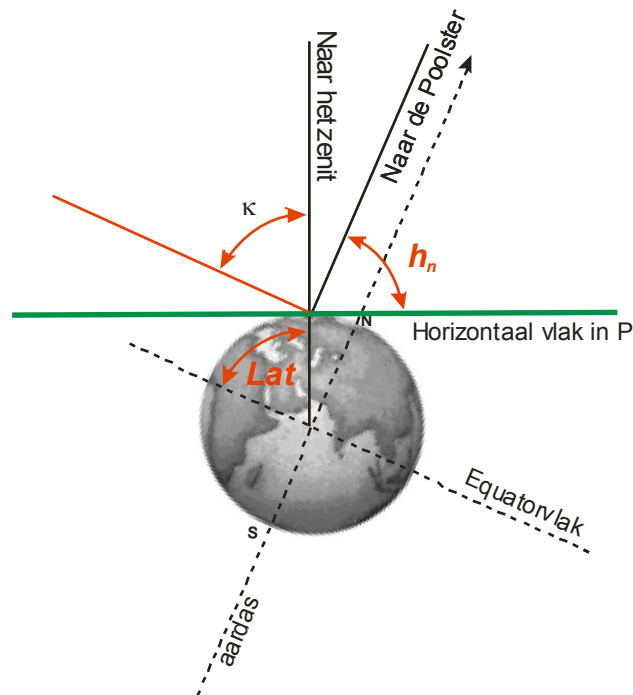
$$t_s = RK + H$$

Verg. 1

Om een hemellichaam aan de hemel op te zoeken heeft men zijn uurhoek en declinatie nodig. Bij een correct opgestelde telescoop kunnen deze parameters gewoon ingesteld worden, waardoor de telescoop meteen in de juiste richting 'kijkt'. Voor duidelijk zichtbare objecten is dat natuurlijk niet echt nodig. De waarnemer ziet ze wel staan. Maar voor hemellichamen die niet met het blote oog zichtbaar zijn moet de telescoop eerst goed gericht worden. In dat geval kunnen rechte klimming en declinatie uit een atlas of catalogoog gehaald worden. De declinatie kan meestal meteen aan de telescoop ingesteld worden. Voor het bepalen van de uurhoek moet nog het tijdstip van de waarneming gekend zijn. Vergelijking 1 leert ons immers dat de uurhoek gelijk is aan de sterrentijd verminderd met de rechte klimming : $H = t_s - RK$. De rechte klimming hadden we al uit de atlas, en de sterrentijd lezen we af op de klok, die in een observatietoren precies voor dat doel sterrentijd aanwijst !

Verband tussen poolhoogte en geografische breedte

In het bovenstaande werd de dagelijkse schijnbare beweging in hoofdzaak beschreven zoals ze gezien wordt in onze contreien. Op andere plaatsen zullen bepaalde aspecten ervan zeker anders zijn. Er werd reeds gewezen op het verschil in poolhoogte op enkele verschillende plaatsen. In Antwerpen is ze $51^{\circ}13'$. Maar in Barcelona wordt dat $41^{\circ}23'$, in Stockholm $59^{\circ}20'$ en in Kaïro $30^{\circ}03'$. Voor Stockholm moeten we naar het noorden en de poolhoogte is er groter dan bij ons in Antwerpen. Voor Barcelona en Kaïro moeten we naar het zuiden en de poolhoogte is er kleiner, terwijl nog verder naar het zuiden de poolhoogte nog kleiner wordt.



Figuur 9 : De poolhoogte is gelijk aan de geografische breedte. Als h_n de poolhoogte is, dan is $Lat = \kappa = h_n$. Dit steunt op twee stellingen uit de elementaire meetkunde. Een eerste leert dat, als van twee hoeken de benen twee aan twee evenwijdig zijn, deze hoeken gelijk zijn of supplementair. Vermits Lat en κ hier beide kleiner zijn dan 90° en voldoen aan de voorwaarden van de stelling, zijn ze gelijk : $Lat = \kappa$. Een tweede stelling leidt tot dezelfde conclusie als de benen twee aan twee loodrecht op elkaar staan. Op grond hiervan geldt $\kappa = h_n$.

Er is duidelijk een verband tussen poolhoogte en geografische breedte : zij zijn gewoon gelijk aan elkaar :

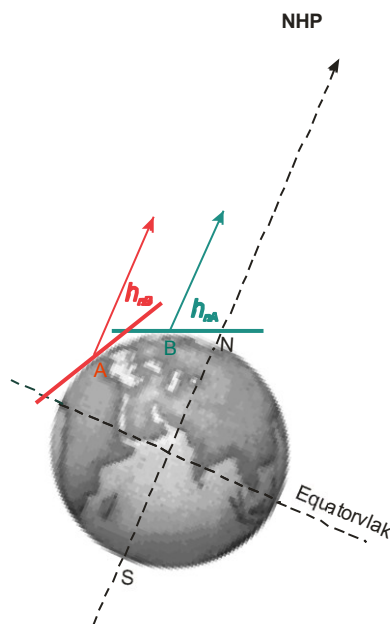
$$h_n = Lat$$

Verg. 2

Dat wordt meteen duidelijke op figuren 9 en 10.

In plaatsen op dezelfde geografische breedte is de poolhoogte dus even groot, en is er bijgevolg geen verschil te merken in de dagelijkse schijnbare beweging. Het enige verschil bestaat erin dat de verschijnselen (bijvoorbeeld opkomst of culminatie van een welbepaalde ster) vroeger geschieden in een plaats meer naar het oosten. Dat zullen de waarnemers ook merken als ze dezelfde tijdschaal gebruiken (bijv. wereldtijd UTC). Als elk zijn eigen lokale tijd gebruikt, zal er zelfs *nominaal* in de 'timing' geen verschil meer te merken zijn.

Voor een waarnemer in België is de geografische breedte ongeveer 51° en bedraagt de poolshoogte dus eveneens ongeveer 51° . De noordelijke hemelpool bevindt zich dus 51° boven de horizon. Alle hemellichamen met poolsafstand kleiner dan 51° zijn er dus circumpolair (vb. Grote Beer, Cassiopeia, Kleine Beer, ...). Het equatorvlak maakt in België met het horizontale vlak een hoek van $90^\circ - 51^\circ = 39^\circ$. Dat betekent dat de hemellichamen van de zuidelijke hemelsfeer die niet verder dan 39° van de hemelequator liggen, dagelijks boven de horizon komen. Alle hemellichamen die wel verder dan 39° ten zuiden van de hemelequator liggen, zijn in België permanent onzichtbaar (vb. het Zuiderkruis). Dit alles geldt voor alle plaatsen die dezelfde geografische breedte hebben, zoals bijvoorbeeld Czernobyl in Ukraine of Astana in Kazakstan.

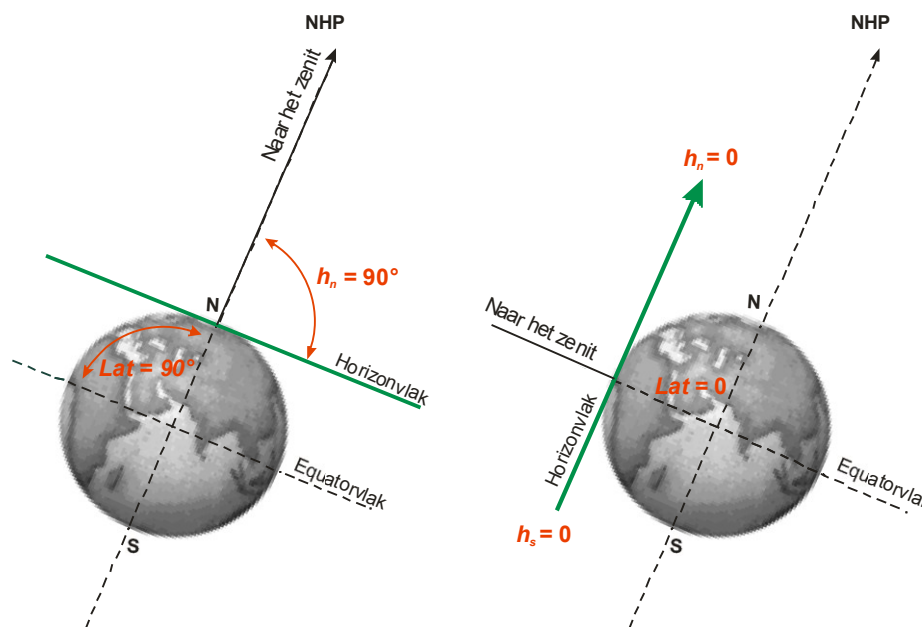


Figuur 10 : De poolshoogte op verschillende geografische breedtes in het noordelijk halfrond. Naarmate de waarnemer zich dichterbij de noordpool bevindt, staat de NHP hoger aan de hemel (groen). Naarmate de waarnemer zich dichterbij de evenaar bevindt, staat de NHP lager aan de hemel (rood).

Maar voor plaatsen op verschillende geografische breedte kan de dagelijkse schijnbare beweging er heel verschillend uitzien. Dat wordt duidelijk op figuur 10.

Trekken we nu naar het noorden dan neemt onderweg de poolshoogte geleidelijk toe. In Spitzbergen ten noorden van Scandinavië, op een geografische breedte van 80°N , is hij al toegenomen tot 80° . De NHP staat er dus slechts 10° van het zenit. Dat wil zeggen dat alle hemellichamen met een poolsafstand kleiner dan 80° daar circumpolair zijn. Dat is het grootste deel van de noordelijke hemelhelft en dus heel wat meer dan in België. Enkel de hemellichamen die minder dan 10° van de hemelequator staan of ten zuiden ervan zijn niet circumpolair. Het equatorvlak maakt op Spitzbergen met het plaatselijke horizontale vlak een hoek van $90^\circ - 80^\circ = 10^\circ$. Dat betekent dat enkel de hemellichamen van de zuidelijke hemelsfeer die niet verder dan 10° van de hemelequator liggen, nog dagelijks onder de horizon komen. Dat zijn er heel wat minder dan in België. Alle hemellichamen die verder dan 10° ten zuiden van de hemelequator liggen, zijn op Spitzbergen permanent onzichtbaar (vb. het Zuiderkruis). Zo komen Sirius (α CMA in de Grote Hond) en Spica (α Vir in het sterrenbeeld Maagd) wel in België boven de horizon maar niet op Spitzbergen.

Gaan we door tot op de noordpool, dan wordt de poolhoogte 90° (fig.10). De noordelijke hemelpool bevindt er zich dan in het zenit, en de hemelequator valt samen met de horizon. De schijnbare dagelijkse beweging van de hemel, die overal op aarde geschiedt rond de hemelpool, geschiedt op de noordpool dus ook rond het zenit en dus *parallel met de horizon* (van links naar rechts). Alle hemellichamen van de noordelijke hemelsfeer zijn circumpolair ! Van de zuidelijke hemelsfeer krijgen we niets meer te zien.



Figuur 11 (Links): Voor een waarnemer op de noordpool valt de NHP samen met het zenit. De schijnbare dagelijkse beweging geschiedt er dus ook rond het zenit en dus parallel met de horizon. Alle zichtbare sterren zijn circumpolair.

Figuur 12 (Rechts): Op de evenaar liggen de NHP én de ZHP op de horizon ! De schijnbare dagelijkse beweging geschiedt dus loodrecht op de horizon en er zijn geen circumpolaire sterren.

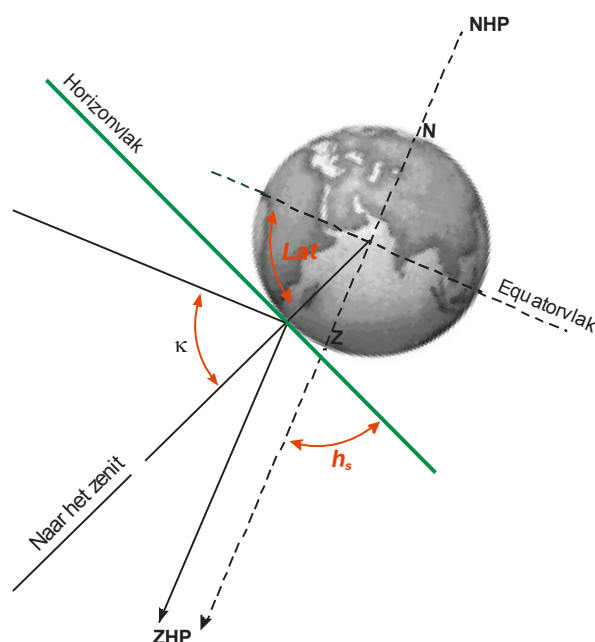
Trekken we vanuit België naar het Zuiden, dan zakt onderweg de NHP naar de horizon toe. In Kaïro staat hij ongeveer 30° boven de noordelijke horizon. De meeste sterren van de Grote Beer zijn er niet meer circumpolair. De equator maakt een hoek van ongeveer 60° met de horizon.

Vanop de evenaar zelf gezien ligt de NHP *op* de horizon in het noordpunt, terwijl in het zuidpunt voor het eerst de zuidelijke hemelpool (ZHP) te zien is. Zowel de hoogte van de NHP als van de ZHP is er nul : $h_s = h_n = 0^\circ$ (fig.11). De dagelijkse schijnbare beweging geschiedt er loodrecht op de horizon en er zijn geen circumpolaire hemellichamen. Er zijn bijgevolg ook geen hemellichamen permanent *onder* de horizon. De richting naar het zenit is er loodrecht op de richting van de aardas en dus loodrecht op de richting naar de beide hemelpolen.

Het zuidelijk halfrond

Australië, Madagascar, een groot deel van Zuid-Amerika en van Africa liggen in het zuidelijk halfrond. De meest zuidelijke 'bewoonde' streken zijn Kaap Goede Hoop (35°S),

Tasmanië (43°S), Nieuw Zeeland (47°S), Falkland eilanden (51°S), Kaap Hoorn (56°S). Verder naar het zuiden houdt de (door mensen) bewoonde wereld zowat op¹⁰.



Figuur 13 : Op het zuidelijk halfrond ligt de NHP onder de horizon en neemt de ZHP diens rol over.

Trekken we het zuidelijk halfrond binnen, dan zakt de NHP onder de horizon en wordt dus onzichtbaar. Zijn zuidelijke tegenhanger de ZHP neemt zijn rol over. Deze klimt hoger op boven de zuidelijke horizon naarmate we verder in het zuidelijk halfrond doordringen. De dagelijkse beweging geschiedt er op gelijkaardig wijze als op het noordelijke halfrond. Het enige verschil is dat elke referentie naar 'zuid' moet gewijzigd worden in 'noord' en omgekeerd ('oost' en 'west' mogen niet verwisseld worden !). Een gewone 'vertaling' van al het voorgaande geeft volgende conclusies.

De geografische **zuidbreedte** is gelijk aan de hoogte van de *zuidelijke* hemelpool h_s , de dagelijkse beweging gaat rond de *zuidelijke* hemelpool en de *noordelijke* hemelpool is onzichtbaar.

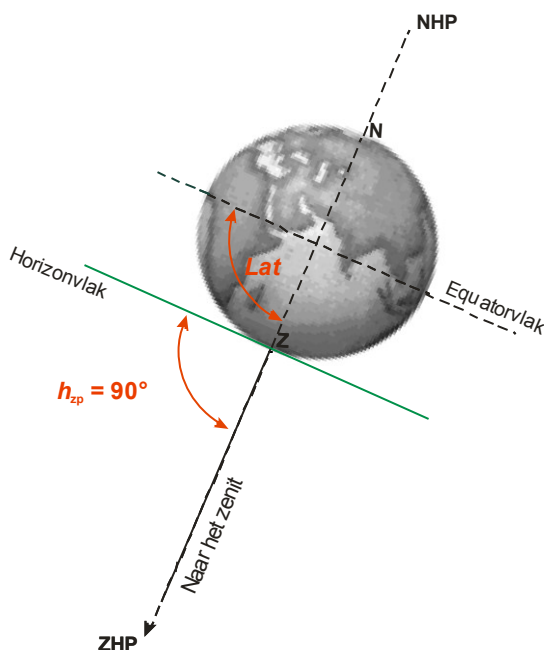
De hoek bepaald door de richtingen naar de ZHP en een willekeurig hemellichaam, heet de **zuidelijke poolsafstand** p_s van dat hemellichaam.

De hemellichamen waarvan de *zuidelijke* poolsafstand kleiner is dan of gelijk aan de *zuidelijke* poolhoogte, dus $p_s \leq h_s$, die verdwijnen nooit onder de horizon en heten **circumpolair**.

Is de *zuidelijke* poolsafstand groter dan het supplement van de *zuidelijke* poolhoogte, $p_s \geq 180^\circ - h_s$ dan betreft het een hemellichaam dat op die plaats nooit boven de horizon verschijnt.

De hemellichamen waarvoor $h_s \leq p_s \leq 180^\circ - h_s$ komen dagelijks op aan de oostelijke horizon, trekken dan richting *noordelijke* horizon (naar links dus !), waarboven ze een hoogste stand bereiken¹¹ en zakken dan naar de westelijke horizon toe waaronder ze tenslotte verdwijnen.

Op de Falkland eilanden in het zuidelijk halfrond, is de NHP dus niet te zien ! De ZHP bevindt er zich ongeveer 51° boven de zuidelijke horizon. De hemellichamen met $p_s \leq 51^\circ$ (vb. het Zuiderkruis) die in Antwerpen permanent onder de horizon blijven, zijn op de Falklands circumpolair. De Grote en de Kleine Beer en Cassiopeia e.a. die in Antwerpen circumpolair zijn, blijven op de Falklands permanent onder de horizon, wegens $p_s \geq 180^\circ - 51 = 129^\circ$.



Figuur 14

Als we ons tenslotte verplaatsen tot op de zuidpool, dan klimt de ZHP hoger op aan de hemel en neemt h_s dus gestadig toe, naarmate we dichterbij de zuidpool komen. Op de zuidpool zelf is de zuidelijke poolhoogte $h_s = 90^\circ$ (fig. 14). De ZHP bevindt er zich in het zenit. De schijnbare dagelijkse beweging van de hemelsfeer geschiedt er dan ook rond het zenit en dus *parallel met de horizon*, maar dan *van rechts naar links*. Alle zichtbare hemellichamen zijn meteen circumpolair. Dat zijn deze van de zuidelijke hemelsfeer. Deze van de noordelijke bevinden zich permanent onder de horizon.

In dit hele verhaal is één ding zeer duidelijk : de hoogte van de zichtbare hemelpool laat een waarnemer toe gedeeltelijk zijn plaats op aarde te bepalen. Als de poolster zichtbaar is, dan bevinden hij zich op het noordelijk halfrond. Staat ze laag bij de horizon dan bevindt hij zich dicht bij de evenaar, staat ze hoog aan de hemel, dan bevindt hij zich dicht bij de noordpool. De poolhoogte leert ons dus waar we ons ergens bevinden tussen pool en evenaar. Op zeeschepen werd dan ook regelmatig de poolhoogte gemeten. Dat gebeurde met een speciaal daarvoor ontworpen toestel : de sextant. Meteen weten we ook waar de uitdrukking 'poolhoogte nemen' vandaan komt.

Als de poolster niet te vinden is, dan bevinden we ons waarschijnlijk op het zuidelijk halfrond (het kan ook slecht weer zijn ;-). Jammer genoeg is er geen zuidelijk equivalent voor de poolster, maar een ervaren navigator weet ook gebruik te maken van andere sterren, maar daar gaan we hier niet verder op in.

Opmerking :

In meer gespecialiseerde literatuur wordt gewerkt met een positieve en een negatieve breedte in plaats van noorder- en zuiderbreedte. De zuidelijke poolsafstand wordt dan in alle formules vervangen door het supplement van de noordelijke poolsafstand ($p_s = 180^\circ - p_n$), en de zuidelijke poolshoogte wordt vervangen door het tegengestelde van de noordelijke poolshoogte ($h_s = -h_n$). De poolshoogte zelf is dan positief als de noordelijke hemelpool zichtbaar is, en negatief als hij onzichtbaar is. Voor het echte rekenwerk is dat veel handiger. Bij een eerste kennismaking biedt dat echter geen enkel inzichtelijk voordeel.

Nota's

¹ Zie ook de inleidingsles 'Kijk Omhoog'.

² Ook in de oudheid had men opgemerkt dat enkele hemellichamen bovenop de dagelijkse beweging van opkomst en ondergang zich ook nog verplaatsen t.o.v. de 'vaste achtergrond' van sterren. Naast de zon en de maan kende men zo nog vijf 'dwaalsterren', nl de vijf met het blote oog zichtbare planeten Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus.

³ Hierover meer in 'Cosmografie 3'. Door de enorme afstand tussen aarde en poolster, is de invloed van deze baanbeweging op de richting waarin we die poolster zien totaal verwaarloosbaar, net als de invloed van een eventuele ruimtelijke beweging van de Poolster zelf.

⁴ Wie al eens op zee is, kent de 'kim' als die scheidingslijn tussen lucht en water. Deze ligt net iets onder de eigenlijke horizon. Omdat je ogen zich nog enkele meter boven het gemiddeld zeeniveau bevinden, kijk je net nog iets verder, over de eigenlijke horizon heen. Bovendien is er de straalbreking in de atmosfeer waardoor we nog eens extra over de horizon heen kijken. Het hoekverschil tussen horizon en kim heet 'kimduiking' en is van belang bij de klassieke navigatie.

⁵ Soms wordt verduidelijkt dat het om de 'noordelijke' poolhoogte gaat ter onderscheiding van de hoogte van de zuidelijke hemelpool. Vandaar de index 'n' in de notatie h_n . Dezelfde opmerking geldt voor het begrip poolsafstand.

⁶ De hemelmeridiaan is eigenlijk de snijcirkel met de schijnbare hemelsfeer van het vlak bepaald door de waarnemer en de aardas.

⁷ Dat is tweemaal de schijnbare doormeter van de zon of van de maan.

⁸ Er zijn slechts enkele duizenden sterren die met het blote oog kunnen gezien worden. Miljarden andere zijn enkel zichtbaar met telescopen.

⁹ Sterrenuren mogen niet verward worden met zonne-uren.

¹⁰ Beeld je in dat op het noordelijk halfrond ter hoogte van Nederland de bewoonde wereld ophoudt, verder naar het noorden niemand meer. Wij zouden er van opkijken, maar zo is het wel op het zuidelijk halfrond.

¹¹ De hemellichamen dicht genoeg bij de ZHP, d.w.z. met een Z-poolsafstand kleiner dan de hoek $\beta = 90^\circ - h_s$, bereiken hun hoogste stand eigenlijk boven de zuidelijke hemelpool (voorbij het zenit).