

De Vaste Sterren in de Astrologie
Een Praktische Toepassing

Johan Ligteneigen

Auteur: Johan Ligteneigen
Uitgever: Johan Ligteneigen
Ontwerp omslag: www.bravenewbooks.nl
Gedrukt door: www.bravenewbooks.nl

Copyright © 2011, 2015 J. Ligteneigen, Lelystad, Nederland

ISBN : 978-940-214-0873

De tekst van hoofdstuk-1, enkele korte en lange citaten in diverse hoofdstukken en de astronomische informatie uit hoofdstuk-11 is onttrokken aan artikelen uit de Wikipedia en vallen onder de licenties van CC-BY-SA-3.0 of onder de GFDL. Dit betekent dat een vrij gebruik van deze tekst mogelijk is en niet valt onder het copyright van dit boek. De betreffende auteurs van de artikelen behouden hun rechten op deze artikelen. Links naar de licenties:
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.nl> & <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van de uitgever. Een uitzondering hierop vindt u direct hierboven vermeld.

De auteur heeft zijn uiterste best gedaan om dit boek voor te bereiden, gebruikmakend van tabellen, zelf geschreven software en diverse zelfontworpen spreadsheets. Ondanks deze zorg kan de auteur geen garantie bieden voor ultieme compleetheid en nauwkeurigheid van de inhoud van dit boek. Ook kan de auteur geen aansprakelijkheid van welke soort dan ook aannemen voor de gegeven interpretatie en uitwerking de planetaire- en stellaire invloeden in een persoonlijke horoskoop.

Eerder verscheen van dezelfde auteur:
De Tripliciteiten in de Klassieke Astrologie,
maart 2015, ISBN: 978-90-823441-0-3

Bezoek de website van de auteur op <http://home.kpn.nl/jligteneigen/>
of zoek op het internet naar Johan Ligteneigen

Derde uitgave, november 2015

Inhoudsopgave

Inleiding	7
Astronomisch gedeelte - H1. Sterren algemeen.....	9
1.01 Inleiding.....	9
1.02 Kernfusie.....	9
1.03 Kenmerken van sterren, massa	10
1.04 Kenmerken van sterren, afmetingen	10
1.05 Kenmerken van sterren, lichtkracht	10
1.06 Kenmerken van sterren, helderheid	10
1.07 Kenmerken van sterren, spectraalklasse	11
1.08 Sterrentypen, Hertzsprung-Russeldiagram	12
1.09 Sterrentypen, de verschillende sterrentypen en hun frequentie.....	13
1.10 Sterrentypen, populatie I, II en III.....	13
1.11 Naamgeving.....	13
1.12 Het ontstaan van sterren.....	14
1.13 Het einde van sterren, het einde van lichte sterren.....	14
1.14 Het einde van sterren gelijk aan de Zon.....	14
1.15 Het einde van zware sterren	15
1.16 Dubbelsterren.....	16
1.17 Soorten dubbelsterren	16
1.18 Fysische dubbelsterren.....	16
1.19 Waarneming van dubbelsterren	17
1.20 Geschiedenis van dubbelsterren.....	17
1.21 Eclipserende dubbelsterren	18
1.22 Evolutie van dubbelsterren	18
Astronomisch gedeelte - H2. Constellaties en sterrencatalogi	21
2.01 De eerste constellaties en de zodiak.....	21
2.02 De eerste Griekse beschrijvingen.....	22
2.03 Het werk van Hipparchus.....	23

Inhoudsopgave - 4

2.04 De Almagest van Claudius Ptolemeus.....	25
2.05 De sterrencatalogus in de Almagest: fraude of niet?	25
2.06 De periode van de Arabieren	28
2.07 Tycho Brahe	29
2.08 Johann Bayer	30
2.09 De zeevaarders van de 16 ^e eeuw.....	32
2.10 Snelle ontwikkelingen na Bayer's catalogus	33
2.11 Johan Hevelius.....	33
2.12 John Flamsteed	35
2.13 De ontwikkelingen na Flamsteed.....	37
2.14 De allermooiste ontwikkelingen in de sterrencatalogi.....	41
2.15 Constellaties versus zodiaktekens.....	43
2.16 Grenzen van de constellaties	47
2.17 De constellatie Ophiuchus	48
2.18 De vorm van een constellatie door de eeuwen heen	49
Astronomisch gedeelte - H3. Enkele bijzondere onderwerpen.....	53
3.01 Inleiding.....	53
3.02 Schijnbare helderheid van sterren.....	54
3.03 Absolute helderheid van sterren	56
3.04 Precessie van de equinox en de verschuiving van de constellaties.....	58
3.05 De vier koninklijke vaste sterren uit het verre verleden	62
3.06 Rijzen en ondergaan van de vaste sterren	65
3.07 De vaste sterren in een astrologisch computerprogramma	74
3.08 Tabellen met de posities voor het jaar 2000 van 110 vaste sterren.....	76
3.09 Omzetten van Rechte Klimming en Declinatie naar Lengte en Breedte.....	79
3.10 Een speciaal overzicht van de declinaties van de vaste sterren	81
Astrologisch gedeelte – H4. Constellaties	85
4.01 Inleiding.....	85
4.02 Andromeda	86
4.03 Perseus en de ster Algol.....	94
4.04 Taurus en de sterrengroep Pleiaden (o.a. Alcyone)	99
4.05 Taurus en de sterrengroep Hyaden	102
4.06 Auriga (Voerman) en de ster Menkalinan	105
4.07 Leo en Hydra (incl .Corvus en Crater)	107
4.08 Ophiuchus en Serpens	119
4.09 Scorpio en Libra	130
4.10 De overige klassieke constellaties in alfabetische volgorde	142
Aquarius, Aquilla, Ara.....	143
Argo Navis, Aries	144
Boötes, Cancer	145
Canis Major.....	146
Canis Minor	147
Capricornus.....	148
Cassiopeia, Centaurus.....	149
Cepheus, Cetus.....	150
Comae Berenices	151

Corona Australis.....	152
Corona Borealis, Cygnus.....	153
Delphinus, Draco.....	154
Equuleus, Eridanus.....	155
Gemini, Herkules.....	156
Lepus (de Haas).....	157
Lupus (de Wolf), Lyra.....	158
Orion.....	159
Pegasus, Perseus.....	160
Pisces.....	161
Piscis Australis, Sagitta.....	163
Sagittarius.....	164
Triangulum.....	165
Ursa Major.....	166
Ursa Minor, Via Lactea.....	167
Virgo.....	168
4.11 De resterende constellaties in alfabetische volgorde.....	169
Astrologisch gedeelte – H5. De Via Combusta.....	181
5.01 Inleiding.....	181
5.02 Het gebied van de Via Combusta.....	183
5.03 De invloed van de Via Combusta.....	184
5.04 De werkelijke Via Combusta.....	184
5.05 De moderne mythe van de Via Combusta.....	189
Astrologisch gedeelte – H6. De afzonderlijke vaste sterren.....	191
6.01 Inleiding.....	191
6.02 Een analyse naar de planeetinvloed van sterren.....	192
6.03 De initiële werking van de vaste sterren.....	194
6.04 De invloed van de sect van de planeten op het resultaat.....	200
6.05 Sterren met een Zon- of Maaninvloed.....	206
6.06 De invloed van de helderheid van de sterren.....	212
6.07 De werkzame orb van de vaste sterren.....	213
6.08 De werkzame aspecten met de vaste sterren.....	216
6.09 Het algehele beeld van de horoskoop is allesbepalend.....	217
Astrologisch gedeelte – H7. Praktisch werken met vaste sterren.....	225
7.01 Inleiding.....	225
7.02 Het gebruik van het aspectenrapje.....	225
7.03 Voorbeelden: radix invloeden.....	228
7.04 Voorbeelden: progressies over de vaste sterren.....	243
Astrologisch gedeelte – H8. Bijzondere verbanden tussen de sterren.....	249
8.01 Inleiding.....	249
8.02 Het onderzoek naar de onderlinge verbanden.....	249

Inhoudsopgave - 6

Astrologisch gedeelte – H9. De waarde van een computerprogramma	
m.b.t. de toepassing van de vaste sterren.....	257
9.01 Inleiding.....	257
9.02 De Vaste Sterren binnen Newcomb Versie-4	258
9.03 De Vaste Sterren binnen Newcomb Versie-5	262
Astrologisch gedeelte – H10. De vaste sterren en mundane astrologie	269
10.01 Inleiding.....	269
10.02 Het weer volgens de configuraties van de Vaste Sterren met de Zon.....	270
10.03 Statische- en dynamische assen in de astrologie.....	272
10.04 De passage van de sterren door de decanaten en de terms van de tekens	279
10.05 De passage van Vaste Sterren langs ASC en MC van steden	283
10.06 Overige invloed van de Vaste Sterren op het wereldgebeuren	290
Astrologisch gedeelte – H11. De invloed van de individuele vaste sterren	299
Overzicht van genoemde personen, steden en landen	407
Overzicht van afbeeldingen	410
Afbeeldingen met wel/geen copyright.....	415
Alfabetische index	416
Tabel met posities van vaste sterren op1-1-1950, gesorteerd op ecliptische lengte.....	423

Inleiding

Wie wel eens tijdens een vakantie in een mooi ver land naar de nachtelijke hemel heeft gekeken, heeft dit waarschijnlijk met grote verwondering gedaan. De verschillende kleuren van sterren, hun grootte, hun aantal en wellicht het aanschouwen van de melkweg zal menig mens in zijn geheugen hebben opgenomen en bij dit alles wellicht ook een gevoel van nietigheid hebben gekregen bij het bekijken van dit machtige kosmische schouwspel.

In onze huidige tijd met een toenemende lucht- en lichtvervuiling is het niet meer zo goed mogelijk om deze sterrenpracht met eigen ogen waar te nemen. Wie echt nog al deze verschijnselen goed wil zien – met of zonder verrekijker of telescoop – zal genoodzaakt zijn om naar een land te gaan waar deze vervuiling nog niet zo heeft toegeslagen als in onze drukbevolkte- en overgeïndustrialiseerde gebieden.

De Ouden echter uit de Babylonische-, Egyptische- of Griekse tijd waren in het geheel niet gehinderd door de genoemde vervuiling en hadden een prachtig overzicht van de hemel zoals deze zich aan hen toonde, hetzij bij nacht of overdag. Gedurende vele honderden, zometertijd duizenden jaren werden door de Ouden de invloeden opgetekend wanneer bepaalde sterren op een bepaalde plaats aan de hemel stonden en wanneer de bij hen bekende planeten zich in de buurt van bepaalde sterren ophielden. Van de vele duizenden sterren die met de heldere hemel van destijds door de Ouden waargenomen werden, zijn er toch slechts een “beperkt” aantal genoteerd, beschreven en gecatalogiseerd door onder andere Eudoxus, Aratus, Timocheus, Hipparchus en Ptolemeus om er slechts enkelen te noemen.

Veel van die destijds beschreven sterren en constellaties en de invloeden ervan zijn verloren gegaan in de lange tijd van duizenden jaren. Slechts bepaalde werken zijn in hun geheel bewaard gebleven en van andere geschriften zijn slechts fragmenten bewaard gebleven op papyrus of op kleitabletten. Sommige schrijvers uit de oudheid hebben commentaren geschreven op eerdere werken, die inmiddels verloren zijn gegaan. De commentaren echter zijn bewaard gebleven of vertaald naar het Perzisch of het Arabisch en deze zijn bijzonder waardevol gebleven.

Op deze wijze is er toch een en ander overgeleverd en vele generaties astrologen uit de Middeleeuwen en uit de 17^e eeuw en ook de moderne astrologen bedienden en bedienen zich nog steeds van die oeroude informatie over de toepassing van de Vaste Sterren in de astrologie.

Inleiding - 8

Dit boek bestaat uit twee delen: een astronomisch gedeelte en het grootste deel is gewijd aan de toepassing binnen de astrologie. Het **astronomisch gericht deel** bestaat uit drie hoofdstukken.

Hoofdstuk-1 bevat algemene informatie over sterren, hun ontstaan, classificatie, helderheid, spectraalklasse, dubbelsterren en het einde van sterren. Deze informatie is hoofdzakelijk encyclopedisch van aard.

Hoofdstuk-2 gaat in op het ontstaan van de eerste constellaties en de verdere rol van de astronomie bij de waarnemingen van recentere sterren en constellaties en het vervaardigen van sterrenkaarten.

Hoofdstuk-3 gaat dieper in op enkele belangrijke begrippen uit het eerste hoofdstuk. Deze begrippen spelen een belangrijke rol bij het verdere astrologisch gedeelte van dit boek. Zo is onder andere de helderheid een begrip dat zeer vaak wordt vermeld in diverse astrologische teksten. Even belangrijk is het om te weten hoe de posities van de belangrijkste Vaste Sterren worden berekend, maar ook is het belangrijk te weten wanneer de sterren rijzen (opkomen) of ondergaan. Hiervoor worden diverse formules gegeven met enkele voorbeelden. Tevens wordt aandacht gegeven aan de vorm en de positie van de sterren en constellaties door de eeuwen heen. Tot slot wordt de tabel getoond met de lengte, breedte, Rechte Klimming en declinaties van alle in het astrologische deel vermelde sterren. Het grootste deel van het boek is (uiteraard) astrologisch gericht en bestaat uit 7 hoofdstukken.

Hoofdstuk-4 gaat verder in op de constellaties, maar dan vanuit mythologisch opzicht. Ook de afzonderlijke sterren binnen de constellaties krijgen hier aandacht. Dit hoofdstuk vormt dé kern van de kennis over de constellaties en de daarbij behorende vaste sterren. Met zeer veel voorbeelden en figuren wordt de bedoeling van dit hoofdstuk verduidelijkt.

Hoofdstuk-5 werpt een nieuw licht op de Via Combusta, een gebied in de zodiak tussen 15° Weegschaal en 15° Schorpioen, althans dat dacht men. De huidige analyse schetst een ander beeld van deze “verbrande weg” die vooral bij de uurhoekastrologie wordt gebruikt.

De werking van de afzonderlijke vaste sterren wordt uitgebreid uiteen gezet in **hoofdstuk-6**. De sterren hebben een initiële werking, maar werken ook volgens de planeten in de horoskoop. Met veel voorbeelden wordt eindelijk duidelijk hoe men met de individuele sterren moet omgaan in een horoskoop. Echte praktische voorbeelden van de theorie uit hoofdstuk-6 worden in **hoofdstuk-7** gegeven. Ook wordt duidelijk welke onderdelen van een horoskooptekening noodzakelijk zijn. Sommige sterren staan in een vaste verbinding met enkele andere sterren. Op die manier ontstaan zelfs clusters van sterren die permanent met elkaar in een vierkant staan. **Hoofdstuk-8** geeft aandacht aan dit verschijnsel, terwijl in **hoofdstuk-9** het belang van een goed astrologieprogramma wordt benadrukt. Het door de auteur gemaakte programma Newcomb V4 en V5 wordt daarin toegelicht m.b.t. het gebruik van de vaste sterren. **Hoofdstuk-10** gaat in op de interessante toepassing van de vaste sterren op de mudane astrologie. Met diverse voorbeelden wordt het praktisch gebruik ervan verklaard. Een groot hoofdstuk-11 geeft per vaste ster de vermeende invloed en werking volgens Ptolemeus en andere grote astrologen uit de 19^e en 20^e eeuw, ook wordt veel astronomische informatie gegeven over de betreffende sterren.

Tweede uitgave:

Diverse tekstuele correcties. Toevoeging van een handige tabel met de vaste sterren in volgorde van ecliptische lengte aan het einde van het boek.

Derde uitgave: kleine tekstuele correcties toegepast.

Astronomisch gedeelte

H1. Sterren algemeen

1.01 Inleiding

Een ster is een bolvormig hemellichaam, bestaande uit lichtgevend plasma. Bij de meeste sterren is de druk en temperatuur van de inwendige gasconcentratie zo hoog zijn dat er kernfusiereacties plaatsvinden. Daarbij worden enorme hoeveelheden energie geproduceerd die door de ster wordt uitgezonden in verschillende golflengten. De belangrijkste golflengte is waarschijnlijk de spectrale band van het zichtbare licht. Ook de eindstadia van sterren, de witte dwergen en neutronensterren, waarin de kernfusie tot een einde is gekomen, worden tot de sterren gerekend.

1.02 Kernfusie

Een ster bouwt in zijn binnenste een zo hoge temperatuur en druk op dat daar kernfusie optreedt. De druk naar buiten, die wordt veroorzaakt door de straling en de deeltjes die worden geproduceerd bij die kernfusie, voorkomt dat de gasbol onder zijn eigen gewicht verder in elkaar stort. In een stabiele ster heerst een evenwicht tussen de buitenwaarts gerichte stralingsdruk en de binnenwaarts gerichte zwaartekracht.

Er zijn twee soorten fusieprocessen bekend waardoor sterren waterstof omzetten in helium: de koolstof-stikstofcyclus in hete zware sterren en de proton-proton cyclus in koelere en lichtere sterren zoals onze zon. Daar fuseren een proton en een neutron tot een deuteriumkern. Komt daar nog een neutron bij, dan spreken we van een tritiumkern. Ten slotte spreken we van een heliumkern als er nog een proton is bijgekomen.

Astronomisch gedeelte – H1. Sterren algemeen - 10

Kenmerken van sterren

1.03 Massa

Sterren kunnen zeer verschillende massa's hebben. Er zijn sterren met een massa van slechts 1/13 van de massa van de zon, maar ook met meer dan 100 keer de zonsmassa.

1.04 Afmetingen

De diameters kennen een nog grotere variatie: van minder dan een centimeter (zwarte gaten, al heeft zo'n zwart gat natuurlijk een groot effect op het hem omringende gebied), terwijl de grootste diameters van sterren tot duizenden miljoenen kilometers kunnen bedragen. Dit zijn de zogeheten rode reuzen. Van het grootste bekende hemellichaam VY Canis Majoris wordt de diameter geschat op 2000 keer de diameter van de zon (1,4 miljoen km);

1.05 Lichtkracht

Niet alle sterren aan de hemel lijken even helder. Dit wordt gedeeltelijk veroorzaakt doordat sterren op verschillende afstanden staan, en verre sterren minder helder lijken dan die dichterbij. Ook als alle sterren vanaf dezelfde afstand bekeken zouden worden, zijn ze niet alle even helder. Zwarte sterren zijn helderder omdat ze over het algemeen harder 'branden'. Het totaal uitgezonden stralingsvermogen noemt men de lichtkracht van de ster.

De lichtkracht van sterren neemt heel snel toe bij grotere massa. De kleinste rode dwergen hebben een lichtkracht van ongeveer 1/100.000 van die van de zon. Grote blauwe reuzen hebben soms een lichtkracht enkele honderdduizenden malen groter dan die van de zon. Zwarte gaten daarentegen sloppen hun eigen licht op, ze beginnen pas te schijnen aan het einde van hun levenscyclus.

1.06 Helderheid

De schijnbare helderheid waarmee een ster zich aan ons voordoet is afhankelijk van de lichtkracht en de afstand van de ster. De schijnbare helderheid, of magnitude, is een belangrijk kenmerk waarop sterren ingedeeld worden. Onder gunstige observatieomstandigheden kunnen sterren met een magnitude van 6 bijvoorbeeld nog net bij donkere hemel met het blote oog gezien worden, voor zwakkere sterren is een telescoop nodig. Dat betekent bijvoorbeeld dat een ster met de absolute helderheid van onze zon op een afstand van 50 lichtjaar nog net met het blote oog kan worden gezien. In totaal zijn er, op beide halfronden van de Aarde tezamen, ongeveer 5000 sterren die onder gunstige omstandigheden met het blote oog kunnen worden waargenomen.

Ook is van niet alle sterren de helderheid constant, sommige variëren in helderheid en worden veranderlijke ster (of variabele ster) genoemd. Soms is dat omdat de ster zelf niet stabiel is en in grootte verandert, in andere gevallen is er een donkere begeleider die af en toe voor de ster langs trekt en een deel van het licht tegenhoudt.

1.07 Spectraalklasse

Het zal sommigen met het blote oog al opvallen dat sterren verschillende kleuren hebben, sommigen zijn blauwachtig, anderen zijn meer rood. Afhankelijk van de oorspronkelijke massa en leeftijd van de ster is de temperatuur verschillend en zendt hij verschillende spectra van licht uit.

De soorten spectra werden oorspronkelijk geclassificeerd volgens de letters van het alfabet, maar later bijgesteld tot de reeks O-B-A-F-G-K-M-R-N-S (te onthouden door het ezelsbruggetje O, Be A Fine Girl, Kiss Me Right Now, Sweety), waarbij de sterren uit de spectraalklasse O het heetst (en blauw) zijn, en de sterren van spectraalklasse M het koelst (en rood).

De R, N, S sterren zijn speciale gevallen en pas later toegevoegd, waarbij niet de temperatuur, maar de chemische samenstelling van de ster de bepalende factor is. Nog later zijn een type W toegevoegd (Wolf-Rayet sterren, hete sterren die hun waterstof en helium verloren hebben), en een type L (bruine dwergen). Een verdere verfijning wordt aangebracht door een cijfer toe te voegen, bijvoorbeeld K5 is "halverwege" K0 en M0. Naast deze onderverdeling kan ook een aanduiding gebruikt worden die bijvoorbeeld de lichtkracht aangeeft (I of c = superreus, III of g = reus, V of d = hoofdreeksster, D = "degenerate" = witte dwerg), of die aangeeft of spectraallijnen van bepaalde elementen sterker of juist zwakker zijn dan wat normaal is voor deze klasse. Een toegevoegde "e" geeft ongebruikelijke emissielijnen aan, een "p" wijst op een spectrum met eigenaardige ("peculiar") kenmerken.

Bij de meeste sterren is er een duidelijke relatie tussen de lichtkracht en de spectraalklasse, de hete en blauwe sterren geven het meeste licht, koele en rode sterren het minste. Dit verband is uitgezet in het Hertzsprung-Russell diagram en wordt de hoofdreeks genoemd. Naast de hoofdreeks zijn er rode reuzen en witte dwergen. Het onderstaande overzicht vermeldt enkele kenmerken van de sterren in een bepaalde spectraalklasse.

klasse	temperatuur	kenmerken
W	30 000 - 60 000 K	Wolf-Rayet ster, geen helium-absorptielijnen, wel koolstof of stikstof
O	30 000 - 50 000 K	absorptielijnen van geïoniseerd Helium
B	10 500 - 28 000 K	absorptielijnen van neutraal Helium
A	7500 - 10 000 K	sterke absorptielijnen van Waterstof
F	6100 - 7400 K	
G	5000 - 6050 K	
K	3550 - 4900 K	veel absorptielijnen, ook van CH en CN moleculen
M	2500 - 3500 K	absorptiebanden van TiO, "rode dwergen"
R	als G en K	absorptiebanden van moleculaire koolstof
N		sterke absorptie van koolstof en koolstofverbindingen
S	als M	absorptiebanden van zirkoonoxide
L	koeler dan M	variatie in absorptiespectra, "bruine dwergen"

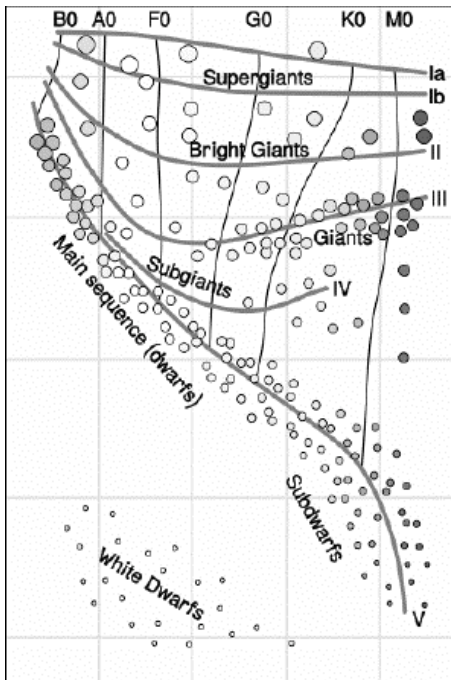
Afb. 1. Overzicht van spectraalklassen

Astronomisch gedeelte – H1. Sterren algemeen - 12

Sterrentypen

1.08 Hertzsprung-Russelldiagram

Als de lichtkracht en het spectraaltype van de sterren tegen elkaar in een grafiek uitgezet worden, ontstaat het Hertzsprung-Russell diagram, waarin een duidelijk patroon te herkennen is. Er tekent zich een band af waarin hete sterren meer licht geven dan koude sterren. Dit wordt de hoofdreeks genoemd en hierin staan alle sterren die hun energie onttelen aan de fusie van waterstof naar helium. Rode reuzen en witte dwergen vallen buiten de hoofdreeks, omdat zij op een andere manier hun energie opwekken. Een voorbeeld van een Hertzsprung-Russelldiagram vindt u hieronder afgebeeld.



Afb. 2. Hertzsprung-Russelldiagram

Links boven in het diagram zijn de hete heldere sterren en rechtsonder staan de koude en minder heldere sterren. Dit wordt de hoofdreeks genoemd. De meeste sterren zoals de zon volgen tijdens hun evolutie die hoofdreeks. Als een groot gedeelte van waterstof is gefuseerd tot helium zal de ster door de zwaartekracht instorten, waarna een heliumfusieproces op gang komt. Een deel van zijn atmosfeer wordt afstoten en de ster zal een rode reus worden. De ster "verlaat" dan de hoofdreeks en komt dan in het diagram in positie IV, om na verloop van tijd te eindigen als witte dwerg. Onze zon zit ongeveer in het midden van de diagonaal van linksboven naar rechtsonder in het Hertzsprung-Russell-diagram.

1.09 De verschillende sterrentypen en hun frequentie

Van de sterren van ons melkwegstelsel behoort ongeveer 65% tot de lichtzwakke rode dwergen, 15% tot de witte dwergen, die hun "actieve leven" al achter de rug hebben, 15% tot sterren van het type van onze zon (ca. 0,5 tot 1,5 zonsmassa) en 5 % tot de diverse typen van reuzensterren en subreuzensterren. De werkelijk gigantische sterren vormen maar een heel kleine minderheid. Vanwege hun grote lichtkracht zijn ze echter goed vertegenwoordigd onder de sterren die met het blote oog zichtbaar zijn.

1.10 Populatie I, II en III

Toen de astronomen in de eerste helft van de 20e eeuw enig inzicht begonnen te krijgen in de structuur van ons melkwegstelsel, ontdekten ze dat er zich rondom de galactische schijf een halo van bolvormige sterrenhopen bevindt. Uit spectraalanalytisch onderzoek bleek dat deze sterren in chemisch opzicht zeer verschillend waren van de sterren van de schijf: hun gehalte aan "metalen" (d.w.z. elementen zwaarder dan waterstof en helium) bleek enkele tientallen malen lager te zijn.

Om de twee soorten sterren van elkaar te onderscheiden, noemden de astronomen de sterren in de schijf sterren van Populatie I en die van de bolvormige sterhopen van Populatie II. In 2005 ontdekte een groep onderzoekers van het Goddard Space Flight Center van de NASA te Greenbelt spectraallijnen met een extreem hoge roodverschuiving, die waarschijnlijk afkomstig zijn van sterren die in de eerste paar honderd miljoen jaar na de oerknal gevormd zijn. Dit was de eerste aanwijzing voor het bestaan van een type sterren met gigantische lichtkracht, in de orde van miljoenen malen die van de zon, waarvan astronomen het bestaan reeds hadden vermoed. De sterren van dit type, die populatie-III-sterren zouden kunnen worden genoemd, zijn waarschijnlijk verantwoordelijk voor de geringe hoeveelheid "metalen" die in de populatie-II-sterren reeds aanwezig is.

1.11 Naamgeving

Veel heldere sterren hebben namen, die meestal uit het Arabisch afkomstig zijn. De oorzaak hiervan is dat de Arabieren veel eerder dan de westerse wereld op een serieuze manier de astronomie bedreven. Een stimulans hiervoor was dat het in de islam belangrijk is om het begin en eind van de Ramadan precies te bepalen. Hiervoor zijn nauwkeurige astronomische waarnemingen nodig. De Arabieren vervaardigden al in de middeleeuwen lijsten en hemelkaarten met daarop de Arabische namen voor de zichtbare heldere sterren. Toen in Europa de belangstelling voor de wetenschap weer opbloeiende, werd dit 'voortrekkerswerk', inclusief sternamen, door de Europeanen overgenomen.

Een alternatief voor de naamgeving is in 1603 ontwikkeld door Johannes Bayer. Hij was degene die de huidige indeling in sterrenbeelden opzette, en per sterrenbeeld de sterren benoemde volgens de letters van het Griekse alfabet. Dit gebeurt volgens afnemende sterkte, de helderste ster van bijvoorbeeld het sterrenbeeld Stier (Taurus) heet dan Alpha Tauri (naast Aldebaran), de tweede ster Beta Tauri (naast El Nath) en zo voorts. Omdat de helderheid indertijd niet absoluut gemeten kon worden, en omdat de helderheid ook wel eens varieert is de volgorde overigens niet exact.

Astronomisch gedeelte – H1. Sterren algemeen - 14

Omdat de 24 letters van het Griekse alfabet al gauw niet voldoende bleken introduceerde John Flamsteed een aanvullend systeem met nummers, zo heet de ster Atlas in Taurus 27 Tauri. Daarna zijn in de 19e en 20e eeuw verschillende stercatalogi opgesteld die allemaal ook een eigen nummersysteem hanteren, deze nummersystemen zijn bij het grote publiek niet gangbaar, behalve als een ster die niet onder een ander systeem valt, in het nieuws komt, bijvoorbeeld als er een planeet bij ontdekt wordt. Voorbeelden hiervan zijn GQ Lupi en HD69830.

1.12 Het ontstaan van sterren

Een ster als de zon begint als een deel van een moleculaire wolk zich samentrekt. Het wordt dan eerst een T Tauri ster, en beweegt zich in enkele miljoenen jaren naar de hoofdreeks. De tijd als hoofdreeksster is het 'rustige' stadium in de levenstijd van een ster. In de kern vindt kernfusie plaats van waterstof tot helium, en dat levert een langdurige, betrouwbare bron van energie. Hoe lang een ster op de hoofdreeks verblijft hangt af van de grootte van de ster, naarmate een ster zwaarder is, gaat het fusieproces sneller en is de waterstof sneller opgebruikt. De zon blijft circa tien miljard jaar in deze situatie, en heeft daarvan ongeveer de helft (ruim 4,5 miljard jaar) al achter de rug.

Objecten van minder dan 0,08 zonsmassa hebben te weinig zwaartekracht om kernfusie te doen opstarten. Dergelijke 'mislukte sterren' heten bruine dwergen.

Het einde van sterren

1.13 Het einde van lichte sterren

Een rode dwerg is een ster met een massa tussen 0,08 en 0,8 maal die van de zon. Wat er met rode dwergen gebeurt als de brandstof op is, is niet precies bekend. Reden daarvoor is dat deze sterren langer in de hoofdreeks verblijven dan de levensduur van het heelal tot nu toe, er is nog geen enkele rode dwerg die dit stadium bereikt heeft. Met behulp van een computermodel kan de evolutie van een rode dwerg wel worden berekend. Er wordt echter geen gedetailleerd onderzoek gedaan naar de evolutie van deze sterren, omdat geëvolueerde rode dwergen in het heelal niet voorkomen en onderzoek ernaar dus minder relevant is dan onderzoek naar late stadia van zwaardere sterren.

1.14 Het einde van sterren gelijk aan de Zon

Bij sterren tussen 0,8 en 3,5 keer de massa van de zon, begint de kern van de ster te krimpen, als er niet meer de energie van de kernfusie is om dat tegen te houden. De fusie van waterstof tot helium verplaatst zich naar een schil rond de uitgebrande heliumkern. Daarbij komt veel energie vrij, en de ster gaat feller stralen. De buitenste lagen van de ster zwellen geleidelijk op, en de ster wordt een rode reus. Voor de zon duurt deze periode ongeveer twee miljard jaar. Aan het slot van die periode zal de ster een middellijn hebben gekregen die ongeveer zo groot is als de aardbaan. De oppervlaktetemperatuur is dan gezakt tot 2700 Kelvin (waardoor de ster een rode kleur heeft gekregen) en de ster straalt op zijn toppunt zo'n 3000 keer méér energie uit dan de zon nu.

Astronomisch gedeelte – H1. Sterren algemeen - 15

De contractie van de heliumkern en de expansie van de ster als geheel stoppen plotseling als in de kern de temperatuur (100 miljoen Kelvin) en dichtheid (1000 kg/cm³) groot genoeg zijn geworden om daar de omzetting van helium in koolstof mogelijk te maken. De ster komt dan weer in een rustiger periode, waarbij in nieuwe fusieprocessen koolstof en vervolgens zuurstof worden gevormd. De energie die bij deze fusiereacties vrijkomt is tien keer zo weinig als bij waterstoffusie. Maar een ster als de zon straalt in dit stadium wel ongeveer 50-100 keer zo helder als de huidige zon. Deze 'verspilling' maakt dat de fase van heliumfusie in de kern tamelijk kort duurt: voor de zon ongeveer 100 miljoen jaar. Daarna is de helium in de kern opgebruikt.

De heliumfusie verplaatst zich nu naar buiten, naar een schil rond de kern. Ook komt in een schil nog verder naar buiten opnieuw waterstofverbranding' op gang. (Het woord 'verbranding' is in dit verband gebruikelijk om kernfusie aan te duiden, thermonucleaire versmelting van atoomkernen. Met gewone verbranding, een "vuurtje", heeft het uiteraard niets te maken).

Het resultaat is dat de ster weer terugkeert naar de regio van de rode reuzen, en wel naar een gebied waar de ster nog wat groter, helderder en heter wordt dan de vorige keer. Dit is echter een chaotisch proces. Doordat heliumverbranding sterk temperatuursafhankelijk is gaat de ster pulseren, en uiteindelijk is de ster zo instabiel dat de buitenste lagen volledig weggeblazen worden. Deze vormen een planetaire nevel. De kern die overblijft is aanvankelijk zeer heet. Langzaam krimpt hij en koelt af. Wat overblijft is een witte dwerg, waarbij slechts kwantumeffecten zorgen dat de ster niet verder ineenschrompelt. Een witte dwerg verandert langzaam in een zwarte dwerg. Een witte dwerg bestaat voor het overgrote deel uit koolstof, en men zou deze als een enorme diamant kunnen beschouwen, ware het niet dat witte dwergen uit gedegenererde materie bestaan, waarbij geen enkele sprake meer kan zijn van een kristalstructuur zoals in een diamant.

1.15 Het einde van zware sterren

Bij sterren zwaarder dan circa 10 zonsmassa's is de vorming van koolstof en zuurstof niet het einde. Terwijl de kern steeds compacter en heter wordt, worden bij fusiereacties er steeds zwaardere elementen gevormd. Na de heliumverbranding zijn nog vier stadia te onderscheiden: namelijk koolstof-, neon-, zuurstof- en siliciumverbranding. Het eindproduct van de siliciumverbranding is ijzer en nikkel.

Gedurende de periode van koolstof- tot siliciumverbranding is de ster een blauwe superreus of een rode superreus, het is niet geheel duidelijk in welke fase de ster wat is, en of er al dan niet wordt 'teruggegaan' in het Hertzsprung-Russell diagram. Dit vormen van steeds zwaardere elementen houdt echter op bij ijzer: bij elementen zwaarder dan ijzer, levert kernfusie geen energie meer op, maar kost het juist energie. Op het moment dat dit gebeurt, implodeert de sterkern vrijwel meteen. Hierbij komen vele neutrino's vrij, die samen met een schokgolf zorgen voor een enorme explosie in de buitenste lagen, die wij zien als een van de meest extreme gebeurtenissen die zich in het heelal voordoen: een supernova.

In de overblijvende kern worden gedurende de supernova de elektronen de atoomkernen ingeduwde, waar ze samensmelten met protonen tot neutronen. Het einde van een zware ster is een zeer klein en zwaar object: een neutronenster.

Astronomisch gedeelte – H1. Sterren algemeen - 16

Bij nog zwaardere sterren, zwaarder dan 50 zonsmassa's, gaat het nog anders. Deze sterren liggen vanwege hun snelle verbranding slechts kort op de hoofdreeks, maar als ze vervolgens tot blauwe superreuzen uitgroeien, wordt hun lichtkracht zo sterk dat de ster zichzelf niet meer bij elkaar kan houden. De lichtkracht vormt een naar buiten drukkende druk, die op een zeker punt zo groot wordt dat de buitenlagen van de ster feitelijk niet meer aangetrokken worden - de naar binnen gerichte zwaartekracht wordt opgeheven door de naar buiten gericht lichtdruk. Deze sterren, luminous blue variables verliezen daardoor in hoog tempo massa, om nog onbekende redenen vaak in relatief korte, heftige perioden van uitbarsting. In de latere fasen kan de ster tot een Wolf-Rayetster worden.

Een ander verschil is dat vanaf een bepaalde massa de kern zelfs niet als een neutronenster bewaard blijft. De implosie is dan onherroepelijk, en een zwart gat ontstaat. Hoe een dergelijke hypernova in zijn werk gaat, is nog niet goed bekend. Het is zelfs onduidelijk of er hier ook een schokgolf en bijbehorende explosie ontstaat, of dat de ster simpelweg implodeert. Men vermoedt wel dat gammaflitsen bij dergelijke hypernova's ontstaan.

1.16 Dubbelsterren

Een dubbelster is een tweetal twee sterren die om elkaar heen bewegen. Een groep van drie of meer sterren wordt vaak ook een dubbelster genoemd, al zou het beter zijn dan te spreken van een meervoudige ster. Van de circa 5000 sterren die men met het blote oog kan waarnemen blijken er zo'n 2000 eigenlijk dubbelsterren of meervoudige sterren te zijn. Men denkt dat globaal geldt dat ongeveer 60% van alle sterren zich in een dubbelster bevindt. De ster die het dichtst bij de Zon staat, Proxima Centauri, maakt deel uit van een 'drievoudige ster', als begeleider van het veel nauwere paar Alpha Centauri, dat met het blote oog kan worden waargenomen.

1.17 Soorten dubbelsterren

Visuele dubbelsterren zijn dubbelsterren waarvan de afzonderlijke sterren met het blote oog of in een kijker te onderscheiden zijn. Als de sterren om een gemeenschappelijk zwaartepunt draaien, worden ze fysische of echte dubbelsterren genoemd. De sterren kunnen zich wel op zeer grote afstand van elkaar bevinden. Als de sterren ogenschijnlijk dicht bij elkaar staan, maar niet om elkaar heen draaien, spreekt men van een optische dubbelster. Een visuele dubbelster kan dus een fysische of een optische dubbelster zijn.

Wanneer de sterren in een dubbelster niet afzonderlijk kunnen worden gezien, kan vaak toch worden afgeleid dat het om een dubbelster gaat. In de meeste gevallen gebeurt dit met behulp van een spectroscop. Deze dubbelsterren worden spectroscopische dubbelsterren genoemd.

1.18 Fysische dubbelsterren

De sterren van een dubbelster worden componenten genoemd. De helderste ster noemt men de hoofdster, de zwakkere ster noemt men de begeleider. Vaak wordt ook de oorspronkelijk zwaarste ster de hoofdster genoemd. De twee componenten van een fysische dubbelster draaien in banen rond een middelpunt dat barycentrum of gemeenschappelijk zwaartepunt genoemd wordt. Als

beide sterren even zwaar zijn ligt het gemeenschappelijk zwaartepunt precies in het midden. Als beide sterren niet even zwaar zijn ligt het gemeenschappelijk zwaartepunt dicht bij de zwaardere ster.

Bij verscheidene dubbelsterren bestaan de afzonderlijke delen ook weer uit dubbelsterren (zoals Mizar), zodat er sprake is van een stelsel van 4 of nog meer lichamen die door de zwaartekracht om elkaar heen bewegen.

Vaak is er sprake van een heldere ster met een donkere begeleider. Deze laatste is slechts donker in vergelijking met de hoofdster. Zou men deze afzonderlijk kunnen zien dan blijkt het vaak ook een vrij heldere ster te zijn.

1.19 Waarnemingen van dubbelsterren

Bij fysische en optische dubbelsterren wordt de relatieve positie van de twee sterren aan de hemel weergegeven door de positiehoek. Deze hoek wordt gemeten van het noorden naar het oosten: als de begeleider juist in het oosten van de hoofdster staat is de positiehoek 90 graden. De schijnbare afstand aan de hemel tussen de beide componenten geven we meestal op in boogseconden. "Nauwe" dubbelsterren zijn een populair middel om het scheidend vermogen van een telescoop te bepalen.

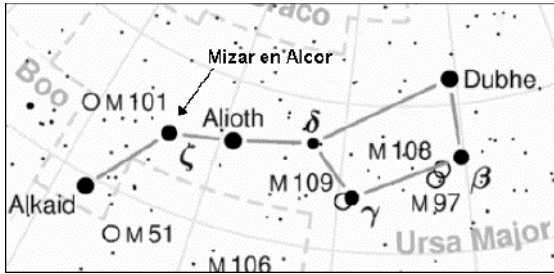
Voor waarneming en identificatie zijn ook de helderheid en kleur van beide componenten van belang. Door het contrast tussen twee dicht bij elkaar staande sterren zijn de kleurverschillen beter te zien dan bij individuele sterren, sommige dubbelsterren zoals Albireo staan bekend om hun spectaculaire kleuren.

1.20 Geschiedenis van dubbelsterren

De meest bekende optische dubbelster is het koppel Mizar en Alcor in het sterrenbeeld Grote Beer (Latijn: Ursa Major). Dit sterrenbeeld wordt ook wel de Steelpan genoemd en Mizar is de op één na laatste ster van de steel. De sterren hebben een gemeenschappelijke ruimtelijke beweging, doordat ze tot de zogenaamde Ursa Major groep van sterren behoren. Uit afstandsmetingen van de Hipparcos satelliet blijkt dat de ruimtelijke afstand tussen Mizar en Alcor ten minste 0,75 lj en waarschijnlijk zelfs 3,0 lj bedraagt. Op deze afstand is het onwaarschijnlijk dat de twee sterren een fysische dubbelster vormen.

Pas nadat in 1610 de sterrenkijker was uitgevonden bleek dat veel sterren die met het blote oog één ster leken, door een sterrenkijker als dubbelsterren te zien waren. Mizar is de eerst ontdekte fysische dubbelster (Riccioli, 1650). Mizar A en B hebben visuele magnitude 2,4 en 4,0, staan op een afstand van 14" en zijn al in een kleine telescoop te zien. In de 17de en 18e eeuw werden er steeds meer dubbelsterren gevonden. In 1800 liet William Herschel zien dat er ook sterren zijn die echt om elkaar heen draaien.

Astronomisch gedeelte – H1. Sterren algemeen - 18



Afb. 3. De dubbelster Mizar en Alcor

Mizar was ook de eerste dubbelster die werd gefotografeerd, door G.P. Bond in Harvard in 1857. Daarnaast is Mizar A de eerst ontdekte spectroscopische dubbelster (Pickering, 1889), met een periode van 20,54 dagen. In 1908 ontdekte E.B. Frost dat Mizar B ook een spectroscopische dubbelster is, met een periode van 182 dagen. W.R. Beardsley vond in 1964 een derde component in Mizar B, die met een periode van 1350 dagen om de andere twee draait.

1.21 Eclipserende dubbelsterren

Ligt het baanvlak van een dubbelster in de richting van de aarde, dan kunnen de componenten elkaar beurtelings verduisteren. Men spreekt dan van een eclipserende dubbelster of van een bedekkingsveranderlijke (b.v. Algol). Een merkwaardig voorbeeld is misschien wel de ster 61 Cygni, waarvan de donkere begeleider een massa heeft van 0,008 zonsmassa's of 8 keer de massa van de planeet Jupiter. Men weet niet of men dit lichaam moet beschouwen als een kleine donkere ster of een uitzonderlijk zware planeet. In 1963 vond Peter van de Kamp een donkere begeleider met een massa van $1\frac{1}{2}$ keer die van Jupiter, zodat men dit hemellichaam waarschijnlijk wel als een planeet kan opvatten.

1.22 Evolutie van dubbelsterren

Wanneer de twee componenten van een dubbelster ver van elkaar staan, zullen ze elkaars evolutie niet beïnvloeden en evolueren ze effectief als enkele sterren. Voor dubbelsterren met een baanperiode van minder dan 10 jaar geldt dat de sterren tijdens de rode reuzenfase of op de asymptotische reuzentak ongeveer zo groot kunnen worden als de afstand tussen de twee sterren. Het is duidelijk dat de twee sterren elkaar dan sterk zullen beïnvloeden en dat de evolutie in zo'n geval totaal anders is dan de evolutie van twee enkele sterren. We noemen zo'n dubbelster een nauwe dubbelster, waarvan de twee componenten dus ruimtelijk dicht bij elkaar staan.

Om ieder van de twee componenten van een dubbelster heen bevindt zich een gebied waarin een deeltje door de zwaartekracht gebonden is aan die ster. Zo'n gebied wordt de Roche-lob van de ster genoemd. Zolang het oppervlak van een ster binnen zijn Roche-lob blijft, blijft het gas dus gebonden aan de ster. Wanneer de ster echter opzwelt, bijvoorbeeld doordat de ster een rode reus wordt, kan deze zijn Roche-lob vullen. De ster zal dan in veel gevallen zijn gas overdragen aan zijn begeleider. Dit wordt materie-overdracht in een dubbelster genoemd.

Astronomisch gedeelte – H1. Sterren algemeen - 19

Aangezien de massa de belangrijkste factor is die de eigenschappen van een ster bepaalt, kan de evolutie van zo'n ster drastisch veranderen door materie-overdracht. Wanneer de donorster zijn waterstofmantel al voor de asymptotische reuzentak verliest, ontstaat een witte dwerg die veel lichter is dan de witte dwerg die zou zijn gevormd wanneer de ster zich niet in een dubbelster zou bevinden. Ook kan een zware ster hierdoor een witte dwerg produceren, in plaats van een supernova te worden. Daarnaast kan de begeleidende ster veel gas invangen en veel zwaarder worden dan voorheen. Met het overgedragen gas wordt bovendien ook impulsmoment overgedragen, waardoor de baanperiode van de dubbelster verandert. Wanneer een zwaardere ster materie overdraagt aan een lichtere ster en al het overgedragen gas wordt ingevangen, dan neemt de baanperiode af. Bij materie-overdracht van een lichtere naar een zwaardere ster neemt de baanperiode juist toe.

Astronomisch gedeelte

H2. Constellaties en sterrencatalogi

2.01 De eerste constellaties en de zodiak

Zeer waarschijnlijk zijn de verhalen over de eerste constellaties afkomstig uit zeer vroege bronnen, zoals de Babyloniërs of de Egyptenaren. De oude Grieken hebben tenslotte altijd hun bewondering uitgesproken over de Chaldeeërs en de Egyptenaren. Volgens Olcott¹ zijn de autoriteiten op historisch gebied het er over eens dat de eerste kennis over de sterren niet direct bij de Babyloniërs zelf vandaan kwam, maar bij een volk de “Akkadiërs” genoemd, die leefden in de bergen in het gebied wat nu Zuid-West Iran zou zijn. De Akkadiërs verzamelden hun kennis door observaties vanuit de hooggelegen gebieden en de sterren werden van namen voorzien en ook genummerd. De Babylonische kleitabletten, de alleroudste gegevensdragers uit die tijd onthullen dat de Akkadiërs hun hemel en dierenriem in Babylonië in de periode 3000 v.Chr. introduceerden. De dierenriem van de Akkadiërs komt vrijwel overeen met onze huidige zodiak.

Uit de oudste afbeeldingen van constellaties blijkt een merkwaardig feit: ze beslaan slechts een klein deel van de hemel en een groot cirkelachtig gebied aan de Zuidelijke hemel is geheel leeg. Dit bracht enkele astronomen op het idee dat de waarnemers wel eens een Noordelijke verblijfplaats zouden hebben, waardoor ze een deel van de Zuidelijke hemel gewoonweg niet konden waarnemen. Door een bewoonde breedte tussen de 36° en 42° Noord aan te nemen en de afbeeldingen te reconstrueren zodat het lege gedeelte overeenkwam met de Zuidpool, kwamen de astronomen op een datum rond de 2800 v.Chr. wat de meest waarschijnlijke periode is dat de oudste constellaties zijn bedacht.

Olcott² vermeldt verder dat in de constellatieafbeeldingen dieren zoals de olifant, de kameel, het nijlpaard, de krokodil of de tijger ontbreken, dus is het niet aannemelijk dat in de landen India, Arabië of Egypte de constellaties zijn “geboren”. Als de aanname van de breedte tussen 36° en 42° Noord juist is, dan vallen ook Egypte en Babylon af als landen. Het feit dat de Leeuw een der constellaties is, zou ook Griekenland, Italië en Spanje doen afvallen, want de leeuw kwam daar niet voor.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 22

In dat geval blijven enkele landen over als de meest waarschijnlijke geboortegrond voor de constellaties en dat zijn dan Klein-Azië, Armenië en de gebieden die begrensd worden door de Zwarte Zee, Kaspische Zee en de Middellandse Zee.

In de dageraad van onze beschaving waren de mensen erg aangewezen op wat er zich in de hemel allemaal afspeelde. De strikte regelmaat waarmee sterren opkwamen, de gang van de Zon door de constellaties heen werden vaste bakens die een bepaalde houvast gaven. Zeer waarschijnlijk dienden bepaalde sterren en constellaties ook als een soort van klok gedurende de nacht en als een kalender door het gehele jaar heen. Maar ook de boeren op het land en anderen die erg van de natuur afhankelijk waren, zullen heel goed hebben gelet op de sterren die ongetwijfeld aanduiders waren van de zaaitijd en de periode van oogsten. En buiten dit alles om dienden bepaalde sterren, zoals o.a. de Poolster en constellaties, zoals de Grote Beer ook nog in de navigatie van schepen.

De opkomst en ondergang van sterren en constellaties werden zaken van groot belang voor de mensen op het land en ter zee. Bepaalde sterren werden ook in meteorologisch opzicht gebruikt en wij kunnen dus gerust stellen dat het belang van sterren en constellaties alsmear groter werd. Veel later toen de astrologie haar intrede deed, werden de constellaties en sterren als onmisbaar beschouwd.

Ook de verdeling van de dierenriem in twaalf tekens, het aantal maanden in het jaar, is een feit van grote betekenis, want wij moeten er van uit gaan dat dit zodanig was geconstrueerd dat de positie van de Zon tussen de sterren op deze wijze kon worden gevolgd.

Experts geven aan dat de oorsprong van de zodiak wordt ingeschat op 3000 v.Chr. wat heel goed overeenkomt met de positie van de vier Koninklijke sterren Aldebaran, Regulus, Antares en Fomalhaut, allemaal sterren van de 1^e magnitude helderheid, op de vier kardinale punten van de dierenriem. Ram, Kreeft, Weegschaal en Steenbok. Over deze vier Koninklijke sterren volgt in hoofdstuk-3 nog meer uitleg.

2.02 De eerste Griekse beschrijvingen

Wanneer de eerste sterrenconstellaties door de mens zijn bedacht en beschreven, is niet met nauwkeurigheid vast te stellen. Dat de geschiedenis ervan een erg lange is, hoeft niet in twijfel te worden getrokken. Het is algemeen bekend dat in de tijden van **Homerus** (8^e eeuw v.Chr.) en **Hesiodus** (8^e eeuw v.Chr.) tot aan **Ptolemeus** toe (150 na Chr.) de Grieken erg geïnteresseerd waren in de constellaties aan de hemel en vele van hun geschriften zijn voor latere generaties bewaard gebleven.

In de verhalen van **Thales** (Grieks astronoom en filosoof, 640-546 v.Chr.) wordt al gesproken van de constellatie Ursa Major (de Grote Beer), de ster Sirius en de sterrencluster de Pleiaden. Wellicht had hij deze kennis opgedaan tijdens zijn verblijf in Babylon.

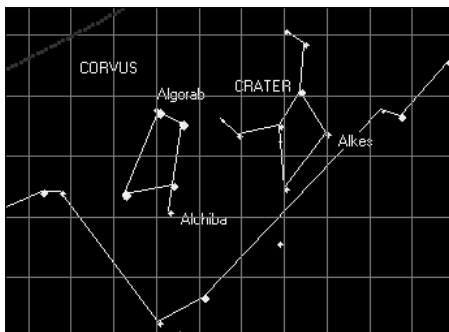
De Griek **Eudoxus** (ca. 360 v.Chr.) bracht zijn verhalen volgens velen naar aanleiding van zijn ervaringen in Egypte, waar hij 16 maanden verbleef om zijn studie in astronomie te vervolgen, en verwerkte zijn kennis over de constellaties in zijn werk, de *Phainomena*. Helaas is van dit werk in proza niets overgebleven, maar **Aratus**, de dichter uit Alexandrië (ca. 270 v.Chr.) heeft het werk van Eudoxus in vers omgezet en dit is wél voor het nageslacht behouden gebleven.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 23

Aratus kwam uit Soli in Cililië (het huidige Zuid-Oosten van Turkije) en was hofarts van de Koning van Macedonië en was een tijdgenoot van **Aristarchus** en **Theocritus**. Aratus noemde zijn in versregels omgezette werk ook de *Phainomena*³ en beschrijft daarin 47 constellaties, waarvan hieronder twee voorbeelden vermeld worden.

“..de constellatie van de Centaur zult gij vinden onder twee andere. Het gedeelte in menselijke vorm ligt onder Scorpio, maar de rest, de voorkant van het paard en zijn staart, liggen onder de klauwen (van de Schorpioen, nu Weegschaal – JL). Hij schijnt voor altijd zijn rechterhand uit te strekken naar het ronde Altaar (ook een constellatie – JL), maar ondanks dit heeft zijn hand stevig aan een ander teken vastgegrepen, namelijk het Beest, zoals de Ouden dit genoemd hebben...”

“... een andere constellatie ligt onderaan, die men Hydra noemt. Als een levend wezen slingert hij zijn spiraalvorm ver weg. Zijn kop komt uit onder het midden van de Krab (de Kreeft – JL), zijn krul onder het lichaam van de Leeuw en hij heeft zijn staart boven de Centaur hangen. In het midden van zijn spiraalvorm is de Crater (de Beker – JL) gesitueerd en aan het uiteinde staat het beeld van de Raaf die op de slang schijnt te pikken....”



Afb. 4. De constellaties Corvus, Crater en Hydra.

“...al deze constellaties kunt gij opmerken als de seizoenen voorbij gaan, elke constellatie op zijn eigen bepaalde tijd, want allemaal zijn ze onveranderlijk en stevig vastgelegd in de hemelen om als ornamenten te dienen tijdens de passerende nacht...”

De constellaties die door Aratus zijn beschreven, komen overeen met de constellaties zoals die tussen 2000 en 3000 v.Chr. aan de hemel stonden en weerspiegelen niet de posities uit zijn eigen tijd. Dit feit leidde tot vele kritieken op het werk van Aratus, maar deze was tenslotte ook geen astronoom. Ondanks dit feit bleef de *Phainomena* een gerespecteerd werk gedurende vele eeuwen tot aan de 6^e eeuw na Chr.

2.03 Het werk van Hipparchus

Hipparchus werd geboren in Nicaea (in het huidige Turkije) en hij is waarschijnlijk gestorven op het eiland Rhodos. Gedurende de jaren 162 tot 127 v.Chr. was hij werkzaam als astronoom en deed zijn observaties op het eiland Rhodos nabij Griekenland, naar alle waarschijnlijkheid net even buiten de stad Lindos, blijkens de berekeningen uit de declinaties van de sterren uit zijn catalogus⁴. Over zijn geboortjaar is nog wat twijfel, maar dit is waarschijnlijk rond 190 v.Chr.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 24

geweest. Hipparchus wordt beschouwd als een der grootste astronomen die ooit geleefd heeft en volgens sommigen is hij zelfs de allergrootste astronoom uit de antieke tijd.

Van de werken van Hipparchus is weinig overgebleven, maar het is bekend dat hij zo'n 14 boeken heeft geschreven. Alleen zijn commentaar op de Phainomena van Aratus en Eudoxus is bewaard gebleven onder de titel "Tōn Aratou kai Eudoxou Fainomenōn exēgēsis".

Alles wat wij verder van Hipparchus' werk weten, is afkomstig uit de **Almagest** van **Ptolemeus**, een lijvig boekwerk dat samen met de **Tetrabiblos** in eerste instantie in zijn geheel bewaard is gebleven.

Hipparchus besloot de Phainomena van Aratus ter hand te nemen en de daarin vermelde constellaties en sterren aan de hemel te controleren. Ook gebruikte hij de boeken van **Timocharis** en **Aristillus** die over dit onderwerp hadden geschreven. Hij gebruikte voor zijn waarnemingen speciaal ontworpen instrumenten zoals de astrolabus, een voor die tijd geavanceerd instrument, en de gnomon. Hij deed hiermee nauwkeurige observaties van de posities van de sterren. In totaal mat hij de posities van ruim 850 sterren. Bij al zijn metingen constateerde hij dat de posities die de sterren aan de hemel innamen niet klopten met de posities die zijn "voorgangers" hadden beschreven. Op deze wijze had hij geheel door eigen waarneming het verschijnsel van de precessie ontdekt. Hij beschreef ook dat de verschuiving van alle sterrenposities met minstens 3 graden per 300 jaar optrad, ofwel 1 graad per eeuw, een getal dat in de latere geschiedenis van sterrencatalogi nog veel opschudding zou veroorzaken. Tegenwoordig weten wij dat de precessie van de Aardas optreedt met een tempo van ca. 50,25 boogseconden per jaar, ofwel 1 graad per 72 jaar.

Rond het jaar 135 v.Chr. stelde Hipparchus zijn sterrencatalogus samen, een catalogus waarvan het origineel niet meer bestaat, maar waarvan de inhoud wél bekend is door de uitvoerige beschrijvingen van **Ptolemeus** in de **Almagest**. In zijn sterrencatalogus vermeldde Hipparchus naast de posities van alle waargenomen sterren ook nog eens de tijden van opkomst, culminatie en ondergang van de constellaties waartoe deze sterren behoorden. Hij vervaardigde ook een hemelglobe waarop de constellaties afgebeeld stonden, dit alles gebaseerd op zijn observaties.

Hipparchus' sterrencatalogus bevatte zo'n 1080 sterren en er werden 49 constellaties genoemd. Uniek voor deze catalogus is dat voor het allereerst de sterren ook werden ingedeeld naar helderheid, ofwel magnitude, waarover in hoofdstuk 3 veel meer wordt uitgelegd. Hipparchus classificeerde de sterren in zes magnitudeklassen en hij deelde 20 sterren in bij klasse magnitude-1, de groep van de allerhelderste sterren. De posities van de door Hipparchus geobserveerde sterren werden waarschijnlijk genoteerd in een mix van ecliptische coördinaten (lengte en breedte ten opzichte van de ecliptica) en van equatoriale coördinaten (Rechte Klimming en Declinatie ten opzichte van de hemelequator). Dit is niet met zekerheid vast te stellen, omdat het originele werk verloren is gegaan.

Het werk van Hipparchus kan met stelligheid een zeer grote mijlpaal genoemd worden in de astronomie van zijn tijd. Behalve het werk aan de sterrencatalogus hield hij zich ook uitgebreid bezig met de beweging van de Zon, de Maan en de planeten, waarvoor hij de bewegingstheorieën opstelde. Ook deed hij zelf waarnemingen aan de beide equinoxen: de momenten waarop de Zon in zijn baan het pad van de hemelequator doorkruist en waarbij dag en nacht even lang zijn. Dit gebeurt op twee momenten in het jaar. Hipparchus heeft vele waarnemingen gedaan van de equinoxen over een lange tijdsperiode en dat was in feite de ontdekking van de precessie en hij heeft dit ook vastgelegd in een document over de verschuiving van de equinox. De latere astronoom,

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 25

geograaf en wiskundige **Claudius Ptolemeus** heeft van de geschriften van Hipparchus uitgebreid gebruik gemaakt, zoals hierna is te lezen.

2.04 De Almagest van Claudius Ptolemeus

Er bestaat geen enkel ander astronomisch werk dat zo lang het astronomisch denken heeft bepaald als de Almagest van Ptolemeus, een boek bestaande uit 13 hoofdstukken waarin de complete astronomische theorie uiteen wordt gezet. De oorspronkelijke benaming was de Syntaxis, ofwel “Μεγαλη Συναξυς”, vertaald als de “Grote Constructie”. De latere Arabische vertalers van het oorspronkelijke Griekse werk hebben het boek de titel “Al Magest” gegeven en uiteindelijk werd het dan de “Almagest”, de “grote” (astronomische verhandeling) in tegenstelling tot latere “kleinere” geschriften die niets anders waren dan korte inleidingen tot dit majestueuze werk.

Over Claudius Ptolemeus is feitelijk net zo weinig bekend als over Hipparchus. Hij woonde en werkte waarschijnlijk zijn hele leven lang in Alexandrië, Egypte. Hij werd omstreeks het jaar 90 na Chr. geboren en stierf waarschijnlijk rond 150 na Chr. Zijn waarnemingen als astronoom deed hij ongeveer tussen de jaren 127 en 141 na Chr. en in de Almagest doet hij veelvuldig melding van zijn waarnemingen en vermeldt hij ook een “wiskundige genaamd Theon”, waarschijnlijk zijn collega of misschien wel zijn leraar.

Behalve zich met de sterren bezighouden, heeft Ptolemeus de planetaire theorie uitgewerkt: het ingewikkelde systeem van cirkels en hulpcircels (deferent en epicykels) om maar steeds het geocentrische wereldbeeld te kunnen aanhouden dat de filosoof Aristoteles eeuwen eerder had ontwikkeld. Ptolemeus verfijnde ook de Maantheorie en bracht verbeteringen aan in de Zonnetheorie van Hipparchus. Dit zijn slechts enkele van de vele astronomische feiten die Ptolemeus op zijn naam heeft staan, maar ik zal mij verder beperken tot zijn werk met betrekking tot de sterren en constellaties om in de lijn van dit boek te blijven.

2.05 De sterrencatalogus in de Almagest: fraude of niet?

De Almagest was gedurende de 1400 jaar lang sinds de uitgave ervan hét standaard astronomiewerk voor iedereen die zijn schreden op de paden in deze wetenschap wilde zetten. Het geocentrisch wereldbeeld bleef tot aan de uitgave van Nicolaas Copernicus' werk “De Revolutionibus Orbium Coelestium” in 1543 bestaan. De grote omwentelingen in het astronomisch denken gebeurden allemaal pas na deze tijd.

Behalve de bewegingstheorieën van de Zon, de Maan en de planeten had Ptolemeus in de Almagest ook een omvangrijke sterrencatalogus gepubliceerd met daarin de gegevens zoals lengte en breedte van 1025 sterren, inclusief 125 sterren die niet tot een bepaalde constellatie behoorden, de zogenaamde “αμόρφωτοι” ofwel “zonder vorm”. Ptolemeus vermeldde in totaal 48 constellaties, waarvan 12 zodiakale (dus Ram tot een met Vissen), 21 Noordelijke en 15 Zuidelijke. Deze constellaties worden ook in Ptolemeus' andere werk, de Tetrabiblos vermeld, waarover veel meer in het astrologische gedeelte van dit boek.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 26

De 48 constellaties volgens Ptolemeus. De aangehouden volgorde is die uit Ptolemeus' Tetrabiblos, hoofdstukken 9, 10 en 11 over de astrologische invloed van de vaste sterren. In vet gedrukte namen zijn nog steeds in gebruik.

<u>Zodiakale constellaties</u>	<u>Noordelijke constellaties</u>	<u>Zuidelijke constellaties</u>
Aries (Ram)	Ursa Minor (Kleine Beer)	Piscis Australis (Zuidelijke Vis)
Taurus (Stier)	Ursa Major (Grote Beer)	Cetus (Walvis)
Gemini (Tweelingen)	Draco (Draak)	Orion
Cancer (Kreeft)	Cepheus	Fluvius / Eridanus (Rivier Eridanus)
Leo (Leeuw)	Bootes (Osenhoeder)	Lepus (Haas)
Virgo (Maagd)	Corona Borealis (Noorderkroon)	Canis (Grote Hond)
Libra (Weegschaal)	Hercules	Procyon (Kleine Hond)
Scorpius (Schorpioen)	Lyra (Lier)	Hydra (Waterslang)
Sagittarius (Boogschutter)	Cygnus (Zwaan)	Crater (Beker)
Capricornus (Steenbok)	Cassiopeia	Corvus (Raaf)
Aquarius (Waterman)	Perseus	Argo (Het Schip)
Pisces (Vissen)	Auriga (Voerman)	Centaurus (Centaur)
	Serpentarius (Slangendrager)	Lupus (Wolf)
	Serpens (Slang)	Ara (Altaar)
	Sagitta (Pijl)	Corona Australis (Zuiderkroon)
	Aquila (Arend)	
	Delphinus (Dolfijn)	
	Equuleus (Veulen)	
	Pegasus	
	Andromeda	
	Delta (Driehoek)	

De constellatie Argo werd later gesplitst omdat het te groot was. Huidige deelbenamingen zijn: Vela, Puppis en Carina.

Afb. 5. De 48 constellaties van Ptolemeus.

De zogenaamde “handige tabellen” waarover ook wel gesproken wordt, slaan op het feit dat de sterrenposities zijn gegeven in lengte en breedte in de ecliptica, dus kunnen ze meteen gebruikt worden in een horoskoop, waar de posities van de hemellichamen ook in eclipticale lengte wordt gegeven. Op de een of andere manier heeft Ptolemeus de posities die door Hipparchus waren geobserveerd (in rechte klimming en declinatie) omgezet naar lengte en breedte.

Dennis Duke⁵ heeft kunnen aantonen dat de sterrencoördinaten van Hipparchus in rechte klimming en declinatie waren gegeven en dat deze door Ptolemeus zijn omgezet in lengte en breedte. Dat is op zich niet erg, maar wij komen nu op een zeer pijnlijk punt aan dat binnen de astronomie sinds ca. 400 jaar een grote discussie is geweest en het feitelijk nog steeds is tussen de voor- en tegenstanders van Ptolemeus.

Wat is dan het probleem?

Zoals reeds eerder beschreven, leunde Ptolemeus zeer sterk op het werk van Hipparchus die grofweg 250 jaar eerder leefde. Hipparchus had al opgemerkt dat de posities van de meeste sterren waren verschoven sinds de observaties van Aratus, Timocharis en Aristillus om er slechts enkelen te noemen. Ptolemeus beschrijft dit verschijnsel zelfs letterlijk in Boek-7, hoofdstuk-2 en schrijft daarin onder meer:

“...Op dezelfde manier deden wij observaties van de ster Spica en de andere helderste sterren in de buurt van de ecliptica, relatief ten opzichte van de Maan. Toen wij dat gedaan hadden, waren wij in een betere positie om deze sterren te gebruiken bij de observaties van de resterende sterren. Wij vonden aldus dat de onderlinge afstanden ten opzichte van elkaar vrijwel dezelfde waren als door Hipparchus waargenomen zijn, maar hun individuele afstanden vanaf de solsticia en de equinoxen waren elke keer 2 2/3 graad verder dan die welke door Hipparchus waren geobserveerd.....”. Ptolemeus citeert dan nog letterlijk wat Hipparchus al eerder schreef:

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 27

“...want áls de solstitia en de equinoxen bewogen door die oorzaak (de draaiing om de eclipticas – JL), **in de 300 jaren** (sinds Timocharis-JL) **zouden ze dan niet minder hebben bewogen dan 3 graden...**”.

Hipparchus schrijft diverse keren dat de precessie minstens 1 graad per 100 jaar bedraagt, waardoor de posities van de sterren steeds verder vanaf de lente-equinox komen te liggen bij het voort-schrijden der jaren. Ptolemeus schrijft zelf ook diverse keren dat hij sinds de tijd van Hipparchus als gevolg van de precessie **de waargenomen positie** van alle sterren steeds $2^{\circ} 40'$ verder ligt dan tijdens Hipparchus' tijd.

En hier ligt dus het grote probleem, want de werkelijke precessie bedroeg tijdens Ptolemeus' leven ca. $50''$ per jaar ofwel $1^{\circ} 23'$ in 100 jaar. De verschillen voor elke geobserveerde ster zouden dan in de 250 jaar tussen Hipparchus en Ptolemeus ongeveer $3^{\circ} 28'$ moeten bedragen, maar Ptolemeus vond altijd $2^{\circ} 40'$ schrijft hij constant in de Almagest. Aan de onnauwkeurigheid van zijn waarnemingen zou het niet liggen, want de precisie van zijn astrolabus en andere instrumenten bedroeg ongeveer 10 boogminuten, daarmee kon het verschil van 1 graad niet verklaard worden.

Door alle moderne astronomen sinds Tycho Brahe wordt beweerd dat áls Ptolemeus daadwerkelijk alle sterren zelf had geobserveerd, zoals hij uitgebreid in hoofdstuk-7 van de Almagest beschrijft, dan was het onmogelijk dat hij steeds $2^{\circ} 40'$ als verschil vond met de sterrenposities uit Hipparchus' catalogus. De eerste astronoom die dit vermoedde was Tycho Brahe die in 1602 zelf een sterrencatalogus uitbracht. Voordien was deze vreemde afwijking niet opgevallen, ook niet bij de Arabieren die al in de 8^e eeuw nauwkeurige observaties deden aan de sterrenposities van de helderste sterren. De Arabieren vergeleken hun geobserveerde posities (1 maart 880) met die uit de Almagest en zij constateerden alleen maar dat in de 743 jaar sinds de Almagest de positie van de sterren bijna 11,25 graden meer was geworden. Op deze wijze telden de Arabieren bij elke sterrenpositie uit de Almagest 11,25 graden op en zo hadden zij een nieuwe sterrencatalogus voor hun epoch.

In feite hadden de Arabieren waargenomen dat de precessie 11,25 graden per 743 jaar bedroeg, dus per jaar een voortgang van bijna 55 boogseconden, maar zij dachten er niet aan dat Ptolemeus slechts 36 boogseconden per jaar berekende. Ook was het vertrouwen in Ptolemeus dermate groot dat niemand überhaupt aan zijn juistheid twijfelde.

Het was Tycho Brahe die zelf uiterst nauwkeurige waarnemingen deed, die op het idee kwam om zijn waarnemingen eens te vergelijken met die van de Arabieren. Op die manier kwam hij er achter dat de precessie ca. 50 boogseconden per jaar bedroeg. Toen hij daarna zijn observaties met die van Hipparchus vergeleek bleek dat de precessie van ca. 50 boogseconden per jaar de juiste was. Kortom, Tycho uitte de beschuldiging richting Ptolemeus dat die helemaal niet de observaties had verricht zoals beschreven in de Almagest. Ptolemeus had gewoon de observaties van Hipparchus gebruikt, omgezet naar eclipticale lengte en daar $2^{\circ} 40'$ aan toegevoegd en gepubliceerd als de nieuwe uitgebreide sterrencatalogus.

Generaties astronomen na Tycho Brahe hebben zich op deze materie gestort, er zijn uitgebreide analyses gemaakt met de moderne computers op alle sterrencatalogi uit het verleden. Ook werden uitgebreide foutenanalyses gedaan en deze toonden allemaal aan dat Ptolemeus eerdere waarnemingen heeft gebruikt, zoals die van Hipparchus en daar de foutieve precessie van $36''$ per jaar

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 28

(zijnde 1 graad per 100 jaar) op heeft toegepast. Sommige astronomen, zoals R.R. Newton⁶ gingen in hun kritieken op Ptolemeus erg ver met harde bewoordingen over fraude en vervalsing.

Een voorbeeld uit een artikel van Pickering⁷ vermeldt één van de vele vele tientallen bevindingen in het nadeel van Ptolemeus en dat is de waarneming van ster 32-Cygni. De coördinaten worden door Ptolemeus gegeven als breedte $\beta = 64^\circ 30'$, lengte $\lambda = 302^\circ 40'$. Trekken wij dan $2^\circ 40'$ af voor de (verkeerde) precessie van Ptolemeus, dan is de door Hipparchos geobserveerde lengte gelijk aan $\lambda = 300^\circ$. Hipparchos converteerde naar equatoriale coördinaten en kreeg als rechte klimming $\alpha = 287^\circ$, een waarde die hij in zijn catalogus vermeldde. Hipparchus maakte echter een fout bij het noteren. Hij keek in de kolom waar 300° stond (in plaats van te kijken naar de rechte klimming 287°) en bepaalde de ecliptische lengte voor een midhemel-gebeurtenis. Hij kwam daardoor uit op 298° en het is precies deze verkeerde waarde van Hipparchus die in Ptolemeus' sterrencatalogus verschijnt. Als Hipparchus zich niet had verschreven, dan was hij uitgekomen op een ecliptische lengte van $285^\circ 30'$ en niet op 298° , een verschil van ruim 12 graden, het grootste verschil dat men is tegengekomen bij de onderzoeken naar beide sterrencatalogi.

Natuurlijk werden ook andere hoofdstukken uit de Almagest aan een minitieuus onderzoek onderworpen en ook daar werden enkele ongerechtigdheden aangetroffen. Tja, als de beer eenmaal los is....

2.06 De periode van de Arabieren

Vanaf de tijd na Ptolemeus werden er gedurende 1300 jaar geen vorderingen gemaakt in de astronomische wetenschap en de Almagest bleef de enige standaard in de wereld van de astronomie, een soort van "astronomische bijbel", waaruit niets werd weggenomen en waaraan ook niets werd toegevoegd. Ondanks de vele commentaren die op de Almagest (en overigens ook op de Tetrabiblos) werden geschreven, bleef de vernieuwende tendens uit.

Na de terugval van het tijdperk van Alexandrië in de 6^e eeuw als centrum van het wetenschappelijk onderzoek namen de religieuze centra van het Oosten de fakkel over. De Griekse wetenschappen werden door de Arabieren intensief beoefend, hun wiskundige kennis maakte gigantische vorderingen en zo kon ook het onderzoek naar de posities van de Vaste Sterren een nieuwe fase ingaan.

Aan het einde van de 8^e eeuw was de islamitische beschaving een bloeiend tijdperk ingegaan. Volgens Grasshoff⁸ liet kalief **al-Ma'mûn** diverse observatoria bouwen om de traditionele astronomische kennis te testen en te herzien. Er werd met een kleine lijst van 24 geselecteerde sterren gewerkt en de posities van deze sterren werden zeer zorgvuldig geobserveerd. De eerste vertalingen van de Almagest in het Arabisch komen ook uit deze periode. Men twijfelde nog steeds niet aan de onderliggende bewegingstheorie van de hemellichamen, echter men probeerde alleen door observaties zoveel mogelijk met de nauwkeurigste parameters te werken.

Ook nu werd de sterrencatalogus "gemoderniseerd" door de nauwkeurig geobserveerde posities van de 24 referentiesternen te gebruiken en de verschillen te bepalen met de ecliptische lengte in Ptolemeus' catalogus. De berekende verschillen werden opgeteld bij alle andere sterrenposities uit de Almagest en zodoende hadden de Arabieren weer een "up-to-date" catalogus. Natuurlijk bleven op die manier alle systematische fouten in de Almagest ook in de moderne catalogus van de Arabieren bestaan.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 29

De astronoom **Al Sufi** (903 – 986 na Chr.) die aan het hof van Emir Adud-ad-Daula te Isfahan (Perzië) werkte, deed astronomische studies gebaseerd op het werk van de Grieken, in het bijzonder aan de *Almagest* van Ptolemeus. Hij bracht diverse verbeteringen aan in de sterrencatalogus, met name bij de helderheden van diverse sterren. Hij was ook degene die voor het eerst Arabische namen toekende aan bepaalde sterren en aan sommige constellaties. In het jaar 964 publiceerde Al-Sufi zijn “Boek over de Vaste Sterren” en zijn werk bevatte vele beschrijvingen en afbeeldingen van diverse constellaties. In zijn beschrijvingen van de constellatie Andromeda vermeldde hij “een kleine wolk” wat in feite de M31 Andromeda Galaxy is. Hij beschrijft verder dat deze ligt “vlak voor de bek van de grote Vis”.

Het werk van Al-Sufi was verder niet bekend in Europa, althans niet bij de massa want zijn werk werd niet vertaald in het Latijn en zo gebeurde het dat na de ontdekking van de telescoop de Andromedanevel M31 “opnieuw” werd ontdekt in 1612.

Uiteindelijk moeten wij concluderen dat de door Al-Sufi “gemoderniseerde” sterrencatalogus dezelfde sterren bevatte en ook dezelfde 48 constellaties als Ptolemeus ruim 800 jaar eerder had vermeld. Echter, en dit is zeer belangrijk in de verdere geschiedenis van de sterrencatalogi, voor het eerst waren de posities van de belangrijkste sterren zeer zorgvuldig waargenomen.

Pas in 1420 verscheen er weer een vernieuwing in de sterrencatalogus door het werk van de Arabische astronoom **Ulugh Beg** (1393 – 1449). Ulugh Beg werd geboren in het gebied dat het huidige Iran voorstelt. In 1411 werd hij de regent van het gebied dat tegenwoordig in Uzbekistan ligt. Zijn grote interesse in de astronomie bleef niet ongemerkt. Hij liet een gigantisch observatorium bouwen, de “Gurkhani Zij” en dit is te vergelijken met het observatorium van Tycho Brahe in Uraniborg. Omdat Ulugh Beg nog geen telescopen had, verlengde hij zijn sextant die een doorsnede had van 36 meter. Hiermee kon hij hemelobjecten waarnemen met een nauwkeurigheid van ca. 3 boogminuten. Ulugh Beg vond vele fouten in de eerdere Arabische sterrencatalogi (die natuurlijk een simpele update waren van Ptolemeus’ *Almagest*-catalogus) en hij besloot om 994 sterren geheel opnieuw te observeren en voegde daaraan de 27 sterren toe die eerder door Al-Sufi werden gepubliceerd in diens “Boek van de Vaste Sterren”. Die 27 sterren lagen namelijk té Zuidelijk om door Ulugh Beg te worden geobserveerd. Ulugh Beg vervaardigde in 1437 een catalogus met 994 sterren, na Ptolemeus de grootste en nieuwste catalogus tot aan de tijd van Tycho Brahe. Door de zeer grote reputatie van Ulugh Beg bleef diens werk gedurende de daarop volgende twee eeuwen een zeer belangrijke sterrencatalogus.

2.07 Tycho Brahe

De uitwerking door **Nicolaas Copernicus**’ van zijn heliocentrische planetentheorie in 1543 was het begin van een stormachtige ontwikkeling binnen de gehele astronomie. Copernicus had onder druk van de katholieke kerk zijn theorie enorm moeten inbinden en wellicht was dit er de oorzaak van dat de methodische structuur van zijn “*De Revolutionibus*” nog steeds op Ptolemeus’ werk was gebaseerd. Copernicus’ sterrencatalogus was ook nog steeds geheel gebaseerd op de gegevens uit de *Almagest* en ook hij klaagde over de onnauwkeurigheden van de posities.

Tycho Brahe (1546 – 1601) werd geboren in het Deense Knutstorp als kind van een hoge Duitse edelman. Hij studeerde in Kopenhagen en in 1560 was er een Zonsverduistering die zijn aandacht trok. Op die manier ontstond zijn interesse in de astronomie en hij besloot hierin verder te studeren.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 30

In 1572 ontdekte hij een nieuwe heldere ster in het sterrenbeeld Cassiopeia. Hij beschreef deze vreemde gebeurtenis in zijn boek “*De Stella Nova*” (Latijn: Over de nieuwe ster). Tegenwoordig is bekend dat het om een supernova explosie ging. Deze ontdekking maakte hem op slag beroemd in de rest van Europa. Het betekende tevens dat de sfeer der sterren zoals die beschreven was door Aristoteles niet onveranderlijk was. Na zijn publicatie van *De Stella Nova* kreeg hij uit heel Europa aanbiedingen voor wetenschappelijke posten. Hij nam het aanbod van koning Frederik II aan om in Denemarken te blijven. Hij kreeg het eiland Hven (Ven) in de Sont tussen Denemarken en Zweden aangeboden om zijn observatoria Uraniborg en Stjerneborg te bouwen.

Tycho had de beschikking over de waarnemingen van de Arabieren die enkele honderden jaren vóór hem zeer nauwkeurige observaties hadden verricht. Maar tevens had Tycho de opmerkelijke gave om zelf zéér nauwkeurige waarnemingen te doen en dat vóór de komst van de telescoop. Hij vergeleek zijn eigen waarnemingen met die van de Arabieren en constateerde op die manier dat de precessie een heel andere was dan Ptolemeus had beweerd, cq. had overgenomen uit Hipparchus' metingen. Ook de “eerste Arabieren” (ca. 880 na Chr.) hadden de precessie al zelf vastgesteld op ca. 55” per jaar door hun eigen nauwkeurige observaties te vergelijken met die van Ptolemeus. De “latere Arabieren” (ca. 1250 na Chr.) berekenden een precessie van ca. 51,4” per jaar. Tycho bestudeerde aandachtig het werk van de Arabieren en kwam tot de conclusie dat de foutieve precessie van de Arabieren te wijten was aan het feit dat zij steeds teruggrepen op de foutieve posities uit de *Almagest*. Hij suggereerde zelfs dat Ptolemeus de gegevens van Hipparchus had “gekopieerd” in plaats van waargenomen en daarna domweg de (foutieve) precessie van 36” per jaar van Hipparchus had toegepast. De opmerkingen van Tycho Brahe waren het begin van de twijfel over Ptolemeus's eerlijkheid ten aanzien van diens sterrencatalogus en vele onderzoeken naar het werk van Ptolemeus hebben elkaar in de daarop volgende 400 jaar opgevolgd.

De sterrencatalogus van Tycho Brahe werd postuum in 1602 uitgebracht en bevatte 46 constellaties en 777 sterrenposities, een merkwaardig (en ook een mystiek) getal aangezien zijn voorgangers meestal rond de duizend sterren wisten te publiceren.

2.08 Johann Bayer

Johann Bayer was een Duits astronoom en tevens advocaat. Hij werd geboren in Rain aan de Lech in 1572 en stierf in 1625 te Augsburg. Vanaf 1592 studeerde hij filosofie en rechtswetenschappen aan de universiteit van Ingolstadt. Na deze studie werd hij advocaat in de rechten te Augsburg.

Daarnaast hield hij zich intensief bezig met de wiskunde, de archeologie en de astronomie. Zeer waarschijnlijk waren de basis van zijn astronomisch werk, de nauwkeurige observaties van Tycho Brahe geweest. In dezelfde periode werden ook de zeevaartroutes naar het Oosten en naar Zuid-Amerika ontdekt en de waarnemingen door de diverse zeevaarders van die tijd van de Zuidelijke sterrenhemel werden steeds meer geopenbaard.

Bayer vervaardigde in 1603 zijn eigen sterrencatalogus, de “*Uranometria*”. Deze bevatte de 48 constellaties uit de Oudheid plus een twaalfstal nieuwe constellaties van de Zuidelijke sterrenhemel die korte tijd eerder door Pieter Keyser en Hendrick Houtman waren geïntroduceerd, waarover later meer. In totaal werden ruim 1700 sterrenposities weergegeven in een totaal van 51 sterrenkaarten, voorzien van mooie tekeningen door Albrecht Dürer. Hiermee was de “*Uranometria*” de eerste catalogus die de sterren van de gehele hemelbol omvatte.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 31

De 12 nieuwe Zuidelijke constellaties uit de Uranometria van Johann Bayer 1602). Deze constellaties zijn nog steeds in gebruik.

<u>Bayer-benaming</u>	<u>Nederlandse benaming</u>	<u>Rechte Klimming</u>	<u>Declinatie</u>
Apus	Paradijsvogel	13h45m – 18h17m	67 – 83 Zuid
Chamaeleon	Kameleon	07h32m – 13h48m	75 – 83 Zuid
Dorado	Goudvis	03h53m – 06h36m	49 – 70 Zuid
Grus	Kraanvogel	21h25m – 23h25m	37 – 57 Zuid
Hydrus	Kleine Waterslang	00h02m – 04h33m	58 – 82 Zuid
Indus	Indiaan	20h25m – 23h25m	45 – 75 Zuid
Musca	Vlieg	11h17m – 13h46m	64 – 75 Zuid
Pavo	Pauw	17h37m – 21h30m	57 – 75 Zuid
Phoenix	Phoenix	23h24m – 02h24m	40 – 58 Zuid
Triangulum Australe	Zuiderdriehoek	14h50m – 17h09m	60 – 70 Zuid
Tucana	Toekan	22h05m – 01h22m	57 – 76 Zuid
Volans	Vliegende Vis	06h35m – 09h02m	64 – 75 Zuid

Afb. 6. De twaalf nieuwe constellaties uit de catalogus van Bayer.

Geheel nieuw sinds de Uranometria was de invoering van een benamingssysteem met Griekse letters en Latijnse constellatienamen. Dit systeem werd feitelijk pas vele tientallen jaren later in gebruik genomen, maar het werd snel populair en is tot op de dag van vandaag nog steeds terug te vinden in diverse sterrencatalogi en –kaarten. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

Betelgeuze, ofwel Alfa-Orionis, geschreven als α -Orionis, **Zosma**, ofwel Delta-Leonis, geschreven als δ -Leonis, **Wega**, ofwel Alfa-Lyrae, geschreven als α -Lyrae en **Albireo**, ofwel Beta-Cygni, geschreven als β -Cygni.

Hierbij wordt de constellatienaam verbogen tot de 2^e vorm (genitief). Mannelijke constellatienamen zijn o.a. Cygnus (Zwaan). De vorm “us” gaat dan over in “i”, zo krijgt men dan “de beta ster van Cygnus” ofwel beta-Cygni. Vrouwelijke namen zijn o.a. Lyra (Lier). De vorm “a” gaat dan over in “ae”, zo krijgt men dan “de alfa ster van Lyra” ofwel alfa-Lyrae. Andere namen eindigen niet op “us” of “a”, zoals Leo of Orion. Deze krijgen dan de vorm “nis”, zoals alfa-Leonis.

U vindt deze notatie veelvuldig terug in de tabellen en de beschrijving van de afzonderlijke betekenis van de vaste sterren in dit boek. Het idee van deze benaming was dat de Griekse letter Alfa werd toegekend aan de helderste ster van de betreffende constellatie, de letter Beta aan de daaropvolgende ster qua helderheid en zo verder met de rest van de Griekse letters.

Voor de volledigheid treft u hieronder een tabel aan met de Griekse letters.

α	alfa	ι	iota	ρ	rho
β	beta	κ	kappa	σ	sigma
γ	gamma	λ	lambda	τ	tau
δ	delta	μ	mu	υ	upsilon
ϵ	epsilon	ν	nu	ϕ	phi
ζ	zeta	ξ	ksi	χ	chi
η	eta	\omicron	omicron	ψ	psi
θ	theta	π	pi	ω	omega

Afb. 7. Het Griekse alfabet.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 32

In de jaren die volgden, werden steeds meer nieuwe sterren ontdekt en het systeem van Bayer werd al snel ontoereikend om alle sterren een unieke benaming te geven. De volgorde van Alfa tot Omega was op zich niet het probleem, maar er zijn zeer veel sterren binnen een en dezelfde constellatie die nagenoeg dezelfde helderheid hebben. De aanduiding van Bayer kon op den duur niet meer aan deze “vraag” voldoen.

2.09 De zeevaarders van de 16^e eeuw

De Italiaanse zakenman **Amerigo Vespucci** (1454 – 1512) was een der eerste zeelieden die diverse zeereizen ondernam naar de “nieuwe wereld”, voornamelijk naar Zuid-Amerika en het Caraïbisch gebied. Tijdens deze reizen deed Vespucci waarnemingen aan de Zuidelijke hemel en bepaalde posities van diverse sterren. Hij verzamelde deze waarnemingen in een catalogus die hij aanbood aan koning Manuel-I van Portugal en aan zijn opdrachtgever Lorenzo de Medici. Deze catalogus werd in 1504 bekend als de “*Mundus Novus*” en werd wijd verspreid gedurende de 16^e eeuw.

Een andere Italiaan die juist naar het Oosten diverse zeereizen ondernam gedurende de periode 1515-1517 was **Andreas Corsali**. Hij voer in opdracht van koning Manuel-I van Portugal. In 1516 schreef hij een brief en maakte een kaart van 8 bij 5 cm met daarop 18 door hem geobserveerde Zuidelijk sterren, de twee Magellaanse Wolken en een fraaie beschrijving van het Zuiderkruis. Deze brief en kaart werden pas veel later officieel uitgegeven.

Vanaf het einde van de 16^e eeuw toen de landroutes naar het Oosten door de Ottomanen werden geblokkeerd, begon men de zeevaartroutes te verkennen om alsnog het Oosten te kunnen bereiken. Zo waren de Portugezen een der eersten die met hun schepen langs de westkust van Afrika zeilden en zo Kaap de Goede Hoop bereikten, waarna zij koers konden zetten naar China, India en andere landen. Andere zeevarende landen volgden spoedig, waaronder Nederland, Spanje en Engeland.

De Verenigde Oost-Indische Compagnie (VOC) beleefde gouden tijden en Nederland werd rijk dankzij de “veroveringen in de Oost”. Al bij de eerste expedities waren **Pieter Dirkszoon Keyser** en **Frederick Houtman** betrokken bij de waarnemingen van de sterren aan de Zuidelijke hemel. Zoals de Poolster dienst deed aan de Noordelijke hemel, zo zocht men een “baken” aan het Zuidelijke firmament. Keyser en Houtman deden dus waarnemingen in opdracht van **Pieter Plancius** die een flink aanzien had verkegen in het hart van de VOC te Amsterdam. Keyser had waarnemingen van 135 sterren gedaan die hij in een twaalftal constellaties verwerkte, maar hij stierf echter tijdens de reis van 1596. De waarnemingen kwamen alsnog bij Plancius terecht en hij verwerkte deze sterren en constellaties op een globe die later door **Hondius** ofwel **Joost d’Hondt** in 1600 werd vervaardigd.

De Hondt, een Vlaams cartograaf, werkte in Londen en later in Amsterdam en was vooral bekend als de uitgever van de atlanten van Gerardus Mercator.

Keyser werd bij zijn waarnemingen geassisteerd door Frederick Houtman en deze werd tijdens een zeevaartexpeditie in 1598 gevangen genomen op Sumatra. Tijdens zijn gevangenschap deed hij diverse waarnemingen aan de Zuidelijke hemel. Bij zijn terugkeer in Nederland in 1603 publiceerde hij een catalogus met de gecombineerde waarnemingen van Keyser’s 135 sterren (12 constellaties) en zijn eigen 168 sterren. Alle 303 sterren van Keyser en Houtman zijn tot op de dag

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 34

ria Gonzage in 1660 en in 1678 bracht de Poolse koning Johan-III Sobieski daar ook een bezoek. Een jaar later werd het observatorium vereerd met een bezoek van de nog jonge Edmund Halley die later wereldberoemd zou worden door de komeet die hij ontdekte.

Hevelius deed ontzettend veel observaties aan verschillende hemellichamen, waaronder ook aan de zonnevlekken op de Zon en kon hierdoor zeer nauwkeurig de rotatietijd van de Zon bepalen. Ook maakte hij zeer gedetailleerde kaarten van de Maan op basis van 10 jaar observaties. Ook de sterren werden door hem geobserveerd en wel 1564 stuks met een zeer grote nauwkeurigheid. Deze sterren werden na zijn dood (1687) door zijn tweede vrouw in 1690 gepubliceerd door middel van een catalogus, de “*Prodomus Astronomiae*” en een atlas, de “*Uranographia*” die 54 schitterende platen bevatte. Beide werken bevatten ook de positie van 16 stuks nevelachtige sterren. Deze postume uitgaven werden wereldberoemd. Het bijzondere van de atlas was dat voor het eerst de constellaties werden afgebeeld zoals ze op een globe eruit zouden zien, dus kijkend “van buiten naar binnen” dit in tegenstelling tot eerdere versies zoals die van Bayer, waarbij de constellaties werden afgebeeld, zoals deze door een persoon vanaf de Aarde zouden worden gezien. Een voorbeeld hiervan ziet u in onderstaande afbeelding.



Afb. 9 De constellatie Leo Johan Hevelius

Hevelius voegde elf nieuwe constellaties toe aan zijn catalogus, maar vier ervan werden uiteindelijk in andere bestaande constellaties opgenomen. De zeven resterende constellaties vindt u hieronder vermeld in een tabel.

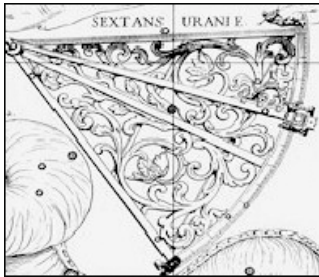
De 7 nieuwe constellaties uit de <i>Uranographia</i> van Johan Hevelius (1690). Deze constellaties zijn nog steeds in gebruik.			
<u>Hevelius-benaming</u>	<u>Nederlandse benaming</u>	<u>Rechte Klimming</u>	<u>Declinatie</u>
Canes Venatici	Jachthonden	12h04m – 14h05m	28 – 53 Noord
Lacerta	Hagedis	21h55m – 22h56m	35 – 57 Noord
Leo Minor	Kleine Leeuw	09h19m – 11h04m	23 – 42 Noord
Lynx	Lynx	06h13m – 09h40m	33 – 62 Noord
Sextans	Sextant	09h39m – 10h49m	07 Noord – 11 Zuid
Scutum Sobiescanum	Schild	18h18m – 18h56m	04 – 16 Zuid
Vulpecula cum Anser	Vosje	18h56m – 21h28m	19 – 29 Noord

Afb. 10. De zeven nieuwe constellaties van Hevelius.

Een grote aanvulling van Hevelius was de vermelding en de schetsen van de Zuidelijke sterren. In 1676 voer Edmund Halley naar St. Helena in het Zuidelijk deel van de Atlantische Oceaan en deed daar waarnemingen aan 341 Zuidelijke sterren. Hevelius gebruikte de sterrenkaart van Hal-

ley voor zijn eigen Zuidelijke hemelkaart en zodoende werden deze sterren voor de wereld geopenbaard.

In 1679 ging het observatorium van Hevelius in vlammen op. Hij herstelde het daarna, nog net op tijd om de grote komeet van 1680 te kunnen waarnemen. De constellatie **Sextans** werd door hem benoemd als herinnering aan zijn verloren instrumenten. In 1683 vernoemde hij ook een constellatie naar koning Sobieski, nl. “Scutum Sobiescianum” dat later simpelweg “Scutum” (Schild) werd genoemd. De verwoesting van zijn observatorium knaagde echter aan zijn gezondheid en hij stierf uiteindelijk in 1687 in de stad Gdansk.



Afb. 11 De constellatie Sextans, geïntroduceerd door Johan Hevelius

2.12 John Flamsteed

Zoals reeds eerder in dit hoofdstuk is vermeld, hadden de Ouden de sterren een eigen naam gegeven, zoals Sirius of Arcturus, maar tevens hadden zij de ster als onderdeel van een constellatie benoemd. Zij deden dat met een uitgebreide beschrijving, zoals “het hart van de Leeuw”, “de linkerschouder van Orion” of “het gezicht van de Schutter”, etc.

Johann Bayer had met zijn uniek systeem geprobeerd om de helderste ster van een constellatie aan te duiden als de “Alfa” ster, daarna de “Beta” ster en zo verder. Bayer behield hiermee ook de oorspronkelijke naam van de constellatie, zodat men bijvoorbeeld bij α -Orionis altijd weet dat de ster deel uitmaakt van de constellatie Orion. Deze indeling werd door Hipparchus opgezet en door Ptolemeus aangehouden en alle andere astronomen hebben deze constellatie-aanduiding gevolgd.

Bayer’s classificatie was ook handig om de helderste sterren van een bepaalde constellatie via de aanduiding te herkennen. Het zei echter verder weinig over de helderheid van sterren tussen constellaties onderling. Zo is α -Orionis niet even helder als α -Aquarii en ook is het zo dat de ster ϵ -Canis Majoris helderder is dan α -Hydrae. Als er echter bijvoorbeeld binnen dezelfde constellatie een 10-tal sterren min of meer even helder was, dan was de aanduiding volgens Bayer niet meer te doen.

Ook bevatte de catalogus van Bayer vele tekortkomingen. Vele sterren van de Zuidelijke hemel die een onnauwkeurige positie hadden, kregen ook nog eens een aanduiding die onterecht bleek, want veelal waren het sterren van een zeer kleine helderheid, terwijl het Bayer’s oorspronkelijke idee was om alleen de helderste sterren tot en met magnitude 4 (of 5) aan te duiden met de Griekse letters.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 36

Het voortgezette gebruik van Bayer's systeem door andere astronomen zoals Louis de Lacaille leidde tot een absurde toepassing van letters, zoals in de constellatie Argo, waarin Lacaille behalve het Griekse alfabet ook nog eens drie keer het gewone alfabet gebruikte, zowel in kleine- als in grote letters, hierbij een totaal van 180 letters benuttend. Het is hier waar ten aanzien van een nieuwe opzet van een sterrencatalogus de beroemde Engelse astronoom John Flamsteed zijn in-trede doet.

John Flamsteed werd geboren in 1646 in Denby, Derbyshire in Engeland. Hij ontwikkelde een zeer goed gevoel voor de Latijnse taal en was dol op geschiedenis. Op jonge leeftijd had hij last van een chronische slechte gezondheid wat hem op oudere leeftijd ook parten zou spelen. Hij werd op jonge leeftijd gefascineerd door het 13^e eeuwse werk "De spaera mundi" van Johannes de Sacrobosco en tevens leerde hij al jong hoe hij met zonnewijzers moest omgaan en tevens kwam hij in dezelfde tijd in aanraking met de theorie van de beweging van hemellichamen. In 1665 schreef hij voor zijn vriend zijn eerste astronomische verhandeling over de constructie en het gebruik van een kwadrant (een waarnemingsinstrument – JL). In 1675 werd hij benoemd tot "Astronomisch Observator van de Koning", de eerste Britse Astronomer Royal met een riant salaris. In augustus van dat jaar legde Flamsteed de eerste steen voor het beroemde observatorium van Greenwich. Hij schijnt zo te zijn dat Flamsteed voor deze gelegenheid de juiste datum en het juiste tijdstip uitkoos: hij kende de oude mystieke leer van Sacrobosco en was ook bekend met de uurhoekastrologie van William Lilly en John Gadbury.

In 1676 werd hij als Fellow in de Astronomical Royal Society opgenomen en hij betrok het observatorium van Greenwich waar hij woonde tot 1684. Zeer opmerkelijk is dat Flamsteed een van de allereerste waarnemingen deed van de planeet Uranus, die pas in 1781 door Herschel ontdekt zou worden. Flamsteed catalogiseerde in het jaar 1690 de planeet als een ster, nl. 34-Tauri. Op 16 augustus 1680 catalogiseerde hij een ster, 3-Cassiopeiae die daarna niet meer door astronomen zou worden waargenomen. Pas 300 jaar later heeft men gesuggereerd dat Flamsteed de meest recente Supernova in de geschiedenis had waargenomen. Als "restanten" van deze supernova is de allersterkste radiobron buiten het Zonnestelsel overgebleven en deze is tegenwoordig gecatalogiseerd als "Cassiopeia-A". Flamsteed overleed in het jaar 1719.

In 1725 werd postuum Flamsteed's *Historia Coelestis Britannica* uitgegeven door zijn vrouw. Dit werk bevatte zijn observaties en ook een uitvoerige sterrencatalogus, een werk dat ontstond onder zeer nieuwe en ook moeilijke omstandigheden voor Flamsteed. Nadat hij in 1675 het Greenwich observatorium had opgericht, begon hij zijn waarnemingen te doen met een lenzentelescoop en hiermee was hij een der eersten die dit deed. Tycho Brahe had zijn waarnemingen gedaan met een luchttelescoop (dus zonder lenzen) en hoe scherp Tycho zijn waarnemingen ook verrichtte voor zijn tijd, toch bevatte de door Brahe vervaardigde catalogus vele onnauwkeurigheden. Flamsteed was daardoor min of meer gedwongen alle waarnemingen weer opnieuw te doen. De grote hoeveelheden sterren die nu met de telescoop zichtbaar werden, kon absoluut niet meer met het Bayer systeem worden aangeduid.

Het systeem van Flamsteed

Flamsteed ontwikkelde een uiterst simpel en toch doeltreffend systeem: hij nummerde alle sterren in een bepaalde constellatie vanaf nummer 1. De volgorde van nummering was die van oplopende rechte klimming. Het enige probleem dat af en toe voorkwam, was dat Flamsteed een ster die tot een bepaalde constellatie behoorde, indeelde in een naburige constellatie. Ook publiceerde hij

sterren die helemaal niet bleken (en blijken) te bestaan, maar bij later onderzoek door Baily⁹ bleken dit fouten te zijn in de berekeningen.

De sterrencatalogus van Flamsteed bevatte 2935 sterren, waarvan er 22 dubbel waren genoteerd, dus uiteindelijk waren het er 2913 stuks. In dit aantal zijn ook 61 sterren begrepen die helemaal niet bleken te bestaan. Flamsteed's catalogus telde in totaal 54 constellaties.

Het werk van Flamsteed is een enorme prestatie geweest, want de nauwkeurigheid van de observaties was groter dan ooit tevoren en ook het grote aantal sterren was ongeëvenaard. Voor de geschiedenis van het Greenwich observatorium is dit de eerste grote astronomische bijdrage van betekenis geweest.

2.13 De ontwikkelingen na Flamsteed

Een grote naam was die van de Fransman **Nicolas Louis de Lacaille**. Hij werd in 1713 te Rumigny in Frankrijk geboren en als leerling was hij vooral geïnteresseerd in wiskunde en in theologie. In 1740 werd hij benoemd tot professor in de astronomie en heeft diverse boeken over dit vakgebied op zijn naam staan.

In 1750 ging hij op zeereis naar Zuid-Afrika om deel te nemen aan de waarnemingen van de Zons- en Maanparallax en om de posities van de sterren van de Zuidelijke hemel telescopisch te bepalen. Gedurende 1 jaar tijd heeft Lacaille van bijna tienduizend sterren de posities waargenomen en vastgelegd. Tevens heeft hij 14 nieuwe constellaties geïntroduceerd, die tot op de dag van vandaag worden gebruikt. Feitelijk creëerde hij er 17, maar drie stuks (Carina, Puppis en Vela) maakten oorspronkelijk deel uit van de zeer grote constellatie Argo.

In 1754 presenteerde Lacaille zijn werk aan de Academie Royale des Sciences. De constellaties die hij introduceerde wijken af van de traditionele namen als die van dieren of mythologische figuren. Lacaille benoemde de constellaties naar wetenschappelijke instrumenten die in zijn tijd in gebruik waren. In 1763 verscheen zijn sterrencatalogus, "*Coelum Australe Stelliferum*". Een overzicht van deze constellaties vindt u in onderstaande tabel.

<u>Lacaille-benaming</u>	<u>Nederlandse benaming</u>	<u>Rechte Klimming</u>	<u>Declinatie</u>
Antila	Luchtpomp	09h25m – 11h03m	24 – 40 Zuid
Caelum	Graveerstift	04h18m – 05h03m	27 – 49 Zuid
Circinus	Passer	13h35m – 15h26m	54 – 70 Zuid
Fornax	Oven	01h44m – 03h48m	24 – 40 Zuid
Horologium	Slingenuurwerk	02h12m – 04h18m	40 – 67 Zuid
Mensa	Tafelberg	03h20m – 07h37m	70 – 85 Zuid
Microscopium	Microscoop	20h25m – 21h25m	28 – 45 Zuid
Norma	Winkelhaak	15h25m – 16h31m	42 – 60 Zuid
Octans	Octant	nagenoeg ronde vorm	75 – 90 Zuid
Pictor	Schildersezel	04h32m – 06h51m	43 – 64 Zuid
Pyxis	Compas	08h26m – 09h26m	17 – 37 Zuid
Reticulum	Net	03h14m – 04h35m	53 – 67 Zuid
Sculptor	Beeldhouwer	23h04m – 01h44m	25 – 40 Zuid
Telescopium	Telescoop	18h06m – 20h26m	45 – 57 Zuid

Afb. 12 Nieuwe constellaties, geïntroduceerd door Louis De Lacaille

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 38

Een andere beroemde Franse astronoom was **Pierre Charles Le Monnier**. Hij werd in 1715 in Parijs geboren en was de zoon van een astronoom die tevens professor in de filosofie was. Le Monnier kwam al vroeg in aanraking met de astronomie en toen hij nog maar 16 jaar oud was, deed hij zijn eerste astronomische observaties. In 1736 werd hij toegelaten tot de Academie en hij had toen al een uitgewerkte maankaart vervaardigd.

In datzelfde jaar ging hij mee op een expeditie naar Lapland waarvan hij in 1738 weer terugkeerde en bij zijn terugkeer verdedigde hij zeer sterk de methode van Flamsteed voor de positiebepaling in Rechte Klimming en diens methodiek voor de nummering van sterren in een catalogus (op volgorde van Rechte Klimming). Le Monnier was een vlijtig astronoom: hij deed langdurige observaties aan de Maan, bestudeerde de verstoringen aan de baan van Jupiter door Saturnus en hij deed diverse observaties aan de toen nog onontdekte planeet Uranus.

Uiteraard deed hij positiebepalingen aan een groot aantal sterren en hij introduceerde ook een aantal constellaties in de periode 1741-1755, maar deze constellaties (zoals Solitaire, een uitgestorven vogelsoort en Tarandus het rendier) zouden later weer worden afgeschaft. In zijn sterrencatalogus vermeldde hij een 88-tal constellaties.



Afb. 13 De constellatie Solitaire van Le Monnier, maar deze werd later afgeschaft.

Een andere beroemde Franse astronoom die ik hier nog wil vermelden is **Joseph Jerome de Lalande**. Hij werd in 1732 geboren in het Franse Bourg-en-Bresse en studeerde in zijn jonge jaren in Parijs. Hij kwam al vroeg in aanraking met de astronomie, omdat in het hotel waar hij in die periode overnachtte de astronoom Delisle een klein observatorium had. Uiteindelijk werd hij een zeer ijverige leerling van Delisle en van Pierre Le Monnier die hierboven reeds besproken werd.

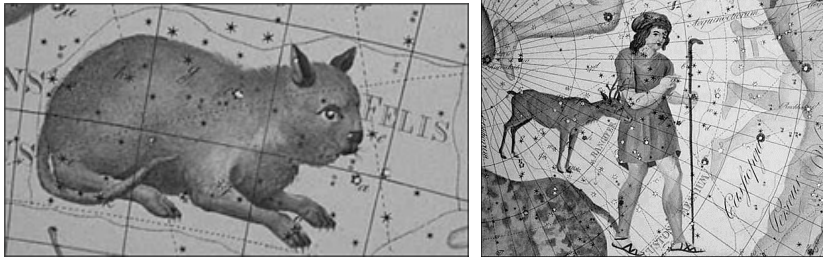
Le Monnier verkreeg toestemming om Lalande naar Berlijn te laten komen om daar observaties te laten doen aan de Maanparallax.

Dit werk deed Lalande zo goed dat hij aan de Academie van Berlijn werd toegelaten en tevens werd hij gekozen als adjunct-astronoom aan de Franse Academie van Wetenschappen. Hij hield zich daarna bezig met de planetaire theorie en werkte mee aan de tabellen van de komeet van Halley. In 1762 werd Lalande de opvolger van Delisle aan het Collège de France. Grote vermaardheid verkreeg Lalande door zijn werk aan de baantheorie van Venus, waarmee hij ook de theorie van de baan de Aarde om de Zon wist te verbeteren. In 1801 publiceerde Lalande een sterrencatalogus, de "*Histoire Céleste Française*" waarin de posities van 47.390 sterren waren vermeld, de meeste daarvan zijn vele niet-heldere sterren van kleine massa die relatief dichtbij staan.

Ook introduceerde Lalande enkele constellaties, maar ook deze werden later door de IAU afgeschaft. De constellaties zijn o.a.: **Felis**, de Kat die zich vlak onder de constellatie Hydra bevond,

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 39

waarvan hieronder een afbeelding te zien is, verder **Custos Messium** (de Oogster), **Quadrans Muralis** en tenslotte **Globus Aerostaticus** (de hete luchtballon).



Afb. 14 De constellaties Felis (de Kat) en Custos Messium geïntroduceerd door Lalande in 1801. Links van Custos Messium ziet u de constellatie Tarandus, het rendier die door Le Monnier werd gevormd. Alle constellaties zijn later door de International Astronomical Union verworpen.

Opmerkelijk in de sterrencatalogus van Lalande is de grote hoeveelheid sterren die vermeld werden. Het is slechts het begin van een sterke ontwikkeling in het onderzoek naar de sterren in het universum. De waarnemingsinstrumenten werden kwalitatief steeds beter, de diverse astronomische theorieën werden geperfectioneerd en de steeds nauwkeuriger wordende waarnemingen moesten deze theorieën natuurlijk bevestigen. Zo zijn wij als het ware een wedloop ontstaan tussen theorie en observaties die tot aan de dag van vandaag voortduurt.

Wij komen bijna aan het einde van de vermelding van de belangrijkste astronomen in het kader van de sterrencatalogi en de constellaties. Een persoon die zeer zeker genoemd moet worden is **Johann Eler Bode**.

Bode werd in 1747 in Hamburg geboren en werd een der belangrijkste Duitse astronomen van de laatste tijd. Merkwaardig genoeg als astronomisch observator leed hij al vanaf jonge leeftijd aan een ziekte aan zijn rechteroog, waaraan hij zijn hele leven lang last had. Hij werd in het jaar 1786 directeur van het observatorium te Berlijn. Maar enkele jaren daarvoor werd hij wereldberoemd door zijn werk aan de ontdekking van de planeet Uranus. Toen deze planeet in 1781 door William Herschel werd ontdekt, werd tevens duidelijk dat de planeet ook met het blote oog zichtbaar was. Bode besloot daarop de oude sterrencatalogi door te nemen om te zien of de planeet niet ergens al was waargenomen "als ster". Uiteindelijk wist Bode diverse oude posities te vinden in de oudere sterrenkaarten, waarvan de eerste waarnemingen reeds in 1690 (dus 90 jaar eerder) door John Flamsteed waren gedaan als zijnde ster "34-Tauri".

Het werd daardoor mogelijk om de baan van Uranus veel eerder dan normaal met een grote nauwkeurigheid vast te stellen. Toen de baan van Uranus eenmaal zo nauwkeurig mogelijk was bepaald, viel het in latere observaties op dat er toch kleine afwijkingen waren die niet verklaard konden worden. De suggestie dat een nóg verder weg staande planeet die verstoringen veroorzaakte, leidde tot de uiteindelijke ontdekking van Neptunus in 1846, een zeer groot hoogtepunt van de wiskunde binnen de astronomie.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 40

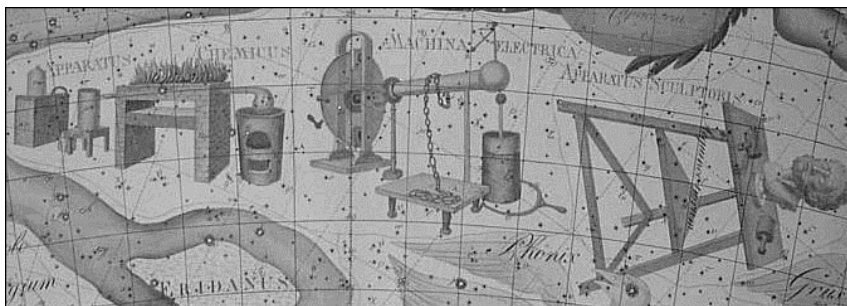
In de naamgeving van de nieuw ontdekte planeet (Uranus) heeft Bode voorstellen gedaan die uiteindelijk leidde tot de definitieve naam Uranus. Voordien werd de planeet vernoemd naar zijn ontdekker Herschel en zelfs naar de Engelse koning George-III. Uranus' notatie Υ is dus afkomstig van de naam Herschel.

In 1777 publiceerde Bode een catalogus met 75 objecten uit het universum die tegenwoordig als “deepsky” objecten worden aangeduid. Dit zijn doorgaans nevels of clusters van sterren die op gigantische afstanden van ons verwijderd staan. In deze catalogus zijn onder andere de objecten M81, M82, M53 en M92 te zien en vaak vermeld als een “vlek”, maar die later door de krachtige telescopen van de moderne tijd volledig in kaart zijn gebracht.

Nadat deze lijst was gepubliceerd, ging Bode verder met waarnemingen en in 1782 volgde nog een lijst, de “*Vorstellung der Gestirne*” met vermelding van 110 objecten.

In 1801 publiceerde Bode zijn “*Uranographia*”, een hemelatlas die niet alleen de posities toonde van de sterren en andere hemellichamen, maar ook nog eens de objecten met een zeer grote precisie in tabellen publiceerde. Met recht kan gezegd worden dat de *Uranographia* hét hoogtepunt is in een tijdperk van sterrenkaarten en -atlassen. Met mooie artistieke voorstellingen van de constellaties, vervaardigd op een 20 stuks koperen platen is dit wellicht een der mooiste sterrencatalogi ooit. Latere atlassen die door anderen gepubliceerd werden, toonden steeds minder van dergelijke constellatieplaatjes. Uiteindelijk is het tonen van een constellatie als één figuur komen te vervallen. De *Uranographia* vermeldde in totaal 17.240 sterren.

Bode introduceerde ook nog enkele nieuwe constellaties, zoals Harpa Georgii, Honores Friderici, Lochium Funis, Machina Electrica en Officina Typographica, maar deze werden later allemaal door de IAU vervallen verklaard.



Afb. 15 De constellatie Machina Electrica van Johann Bode. Deze constellatie werd gevormd als eerbewijs voor de eerste elektrische generator. De sterren uit de constellatie zijn allemaal lichtzwak en zijn te vinden ten Zuiden van de constellatie Cetus (het zeemonster). Machina Electra ligt in tussen de constellatie Fornax (links) en Sculptor (rechts) die eerder door Lacaille werden geïntroduceerd.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 41

Als laatste vermelding wil ik **Friedrich Wilhelm August Argelander (1799 – 1875)** onder de aandacht brengen, een astronoom van Pruisische afkomst. Hij werd uit een Finse vader en een Duitse moeder geboren in het Pruisisch gebied dat tegenwoordig Letland voorstelt. Hij studeerde samen met Friedrich Bessel, zeer bekend uit de astronomie en in 1822 haalde hij zijn doctoraal. Vanaf 1823 tot 1837 was hij hoofd van het Fins observatorium, daarna verhuisde hij naar Bonn in Duitsland. Onder de toenmalige koning Frederick Wilhelm-4, met wie hij beste vrienden was, werd een nieuw observatorium in Bonn bekostigd.

Argelander blonk uit in het ontwikkelen van eenvoudige, maar zeer effectieve manieren om sterrenposities te bepalen en ook om helderheden te meten. Ook deed hij metingen aan de afstanden van sterren met zogenaamde heliometers. Hiermee heeft hij een onmisbare basis gelegd voor de verdere moderne astronomie. Hij was ook de eerste astronoom die een zorgvuldige studie deed van variabele sterren, een destijds nagenoeg onontgonnen terrein.

Samen met enkele andere knappe koppen was Argelander verantwoordelijk voor de sterrencatalogus die beter bekend stond als de “*Bonner Durchmusterung*”, die tussen 1852 en 1859 werd uitgegeven en die de posities en de helderheden aangaf van maar liefst 324.000 duizend sterren! De catalogus is geheel samengesteld uit waarnemingen met behulp van telescopen, dus zonder het gebruik van fotografische platen, dat pas jaren later op gang kwam. Bovendien bevatte de catalogus de sterren van de Noordelijke sterrenhemel, die van het Zuidelijke gedeelte waren slechts matig vertegenwoordigd.

In de astronomie staat “BD” voor de algemene aanduiding van de Bonner Durchmusterung, die na 1859 continu werd bijgewerkt tot aan 1903 en natuurlijk steeds meer sterren met een verbeterde precisie ging bevatten. In dit mega-werk dat 44 jaar in beslag nam zijn de posities van ca. 325.000 sterren vermeld met een helderheid tot aan magnitude 9 à 10. De aanduidingen BD zijn nog steeds terug te vinden in moderne sterrencatalogi. Bijvoorbeeld de ster **Wega** wordt aangegeven als “BD 38 3238”, waarbij 38 staat voor de declinatie (38° Noord) en 3238 is het unieke volgnummer. Uiteraard wordt Wega ook nog steeds aangegeven als Alfa-Lyrae, de aanduiding van Johann Bayer.

2.14 De allermooiste ontwikkelingen in de sterrencatalogi

De Bonner Durchmusterung is voor het merendeel van astronomische projecten op het gebied van sterrenwaarneming en astrofysica dé basis geweest. Toen eenmaal de “wedloop” goed op gang kwam tussen de theorie enerzijds en waarnemingen anderzijds, werden steeds meer eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van de waarnemingen. Met deze nauwkeurige waarnemingen werden de wiskundige modellen weer getest en verbeterd, zodat daarna steeds nauwkeuriger observaties nodig waren om de bijgestelde theorieën weer te toetsen en zo ging dit steeds verder. Een groot nadeel van de BD was het feit dat de Zuidelijke hemel onvolledig in kaart was gebracht door de eenvoudige reden dat die vanuit Duitsland niet totaal waarneembaar is.

Er werd binnen de astronomische gemeenschap besloten om ook in het Zuidelijk halfrond enkele observatoria te plaatsen, zoals in Córdoba in Argentinië en Kaapstad in Zuid-Afrika. De door deze observatoria gepubliceerde catalogi heten heel toepasselijk de “*Cordoba Durchmusterung*”, ofwel CD en resp. “*Cape Photographic Durchmusterung*”, ofwel CPD.

Astronomisch gedeelte – H2. Constellaties en sterrencatalogi - 42

De Zuidelijk waargenomen sterren hebben dan ook deze CD- of CPD-aanduidingen, zoals de ster **Achernar**, beter bekend als Alfa-Eridanus van de Bayer-aanduiding. Deze heeft ook de aanduiding “CP -57 334”, waarbij CP slaat op CPD, -57 is de Zuidelijke declinatie ($57^{\circ}14'$) en 334 is het unieke volgnummer.

Behalve de toegenomen precisie in allerlei positiebepalingen werd er ook hard gewerkt aan wetenschappelijke modellen van de Aardas, zoals de beweging ervan door de eeuwen heen, de precieze stand van de Aardas, stabiliteit, de positie van de Equinox, enzovoorts. Deze activiteiten leidden tot de ontwikkeling een Fundamenteel Coördinatenstelsel dat zo stabiel mogelijk moest zijn tot in lengten van eeuwen. Dit kon alleen maar gerealiseerd worden door als “referentie” heel ver weg staande sterren te nemen, waarvan de posities niet meer aan verandering onderhevig waren.

Als eerste kwam hieruit de Fundamentele Catalogus voort dat diende als een exact coördinatenstelsel voor de BD. Dit heette in de jaren 1920 de FK3 (Fundamental Katalog) met een nauwkeurigheid van **ca. 1”** (1 boogseconde). Dus alle posities van sterren en andere hemellichamen die in de FK3-catalogus stonden, hadden minstens deze nauwkeurigheid. Door de jaren heen werd de FK steeds verbeterd, vooral de lancering van satellieten, het Apollo-project en andere ruimtemissies, leverden een substantiële bijdrage aan de verbetering van de nauwkeurigheden. Op dit moment is FK6 met een nauwkeurigheid van **ca. 0,1”** (0,1 boogseconde) het meest acuteel.

In augustus 1989 werd de Hipparcos satelliet van het Europese ESA gelanceerd en deze was operationeel tot maart 1993. In deze periode heeft de satelliet de sterposities opgemeten van ca. 108.000 sterren met een precisie van **ca. 0,003”** (0,003 boogseconde). Van 1 miljoen andere sterren werden de posities iets minder nauwkeurig gemeten. Ook werden helderheden gemeten en zelfs werden sterren gedurende 4 jaar lang ongeveer 100 keer bekeken om uit de (verschillende) posities de parallax te bepalen om zodoende de afstanden tot de Aarde te bepalen. Dit project bracht een gigantische gegevensstroom op gang, waarbij duizenden computers in verschillende landen dag en nacht de gegevens analyseerden. Hipparcos ontdekte ook dat ons melkwegstelsel van vorm verandert.

De Hipparcosmissie genereerde twee soorten sterrenkaarten: de Hipparcos-catalogus van metingen met hoge precisie van ca. 108.000 sterren (op 0,003”) en de Tycho-catalogus van metingen van meer dan 1.000.000 sterren (op 0,03”).

De Tycho catalogus werd in het jaar 2000 bijgewerkt tot Tycho-2, die gegevens bevat van meer dan 2.500.000 sterren en verbeterd is door systematische fouten te verwijderen.

In de komende jaren staat het project “*Gaia*” op het programma. Gaia (“Global Astrometric Interferometer for Astrophysics”) is een in aanbouw zijnde satelliet van ESA, waarvan de lancering gepland is in 2011. Het doel van deze satelliet is een uiterst precieze driedimensionale dynamische kaart van heel onze Melkweg te maken. Gaia moet de posities, afstanden en snelheden van meer dan 1000 miljoen sterren bepalen met een nauwkeurigheid van zo'n 10 miljoenste boogseconde. De waarnemingen van Gaia moeten antwoord geven op fundamentele vragen: wat is de ontstaansgeschiedenis, hedendaagse structuur en de toekomst van ons sterrenstelsel, de Melkweg.

Deze ontwikkelingen zijn voor gewone stervelingen bijna niet meer te bevatten. Als wij dit afzetten tegen de ontwikkeling van de eerste waarnemingen van de Grieken, waarmee dit overzicht startte, dan begint het ons daadwerkelijk te duizelen.

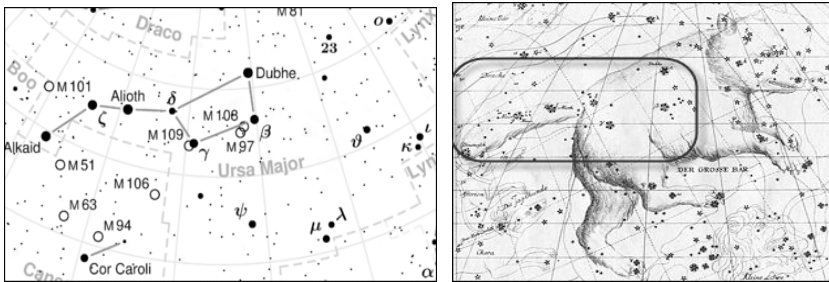
2.15 Constellaties versus zodiaktekens

Uit de voorgaande paragrafen heeft u wellicht begrepen dat er een groot verschil bestaat tussen de **constellaties** en de **zodiak** (dierenriem) **tekens**. Constellaties zijn figuren die gevormd zijn door de posities van de afzonderlijke sterren met elkaar denkbeeldig op een bepaalde wijze te verbinden. Op die manier ontstonden figuren van dieren, mythologische personen en goden en zelfs voorwerpen, zoals de wetenschappelijke instrumenten van Louise De Lacaille. De andere naam voor constellatie is “sterrenbeeld”, maar die term vermijd ik liever, omdat er zeer veel verwarring bestaat tussen de term “sterrenbeeld” en “dierenriemtekens”.

U ziet hieronder nog een voorbeeld van de constellatie “Grote Beer”, een zeer oude constellatie die reeds door de oudste Grieken werd vermeld en ook zeer waarschijnlijk al door de Akkadiërs als zodanig werd benoemd. Links ziet u de moderne vorm, zoals wij die allemaal hebben leren kennen van onze ouders of op school. Rechts ziet u een mooie tekening uit de catalogus van Johann Elert Bode die reeds hiervoor uitgebreid ter sprake kwam.

De Grote Beer ofwel “de steelpan” kennen wij allemaal. De constellatie werd en wordt gebruikt om de positie van de Poolster te vinden en deze kan worden verkregen door de lijn “ β – Dubhe” in Noordelijke richting 5 keer te verlengen. De plaats waar men uitkomt, komt vrijwel overeen met die van onze Noordelijke Poolster. In de rechter-tekening ziet u met een apart kader de sterren van de steelpan aangegeven.

Maar als u naar de linkerfiguur kijkt dan zult u hierin niet direct de figuur van een beer ontdekken. Natuurlijk is de steelpan alléén niet synoniem met de Grote Beer, sterker nog: de meeste sterren van de Grote Beer liggen er omheen: de kop en de voorpoten liggen “rechts” en de achterpoten liggen “eronder”. De sterren “Alkaid”, “ ζ ” en “Alioth” vormen de staart van de beer en de “pan” is in feite de zijflank van de beer. Zijn rechter achterpoot wordt gevormd door de sterren “ λ ”, “ μ ”, “ ψ ”, dan een niet-benoemde ster en vervolgens M106. De ogen van de beer bestaan uit kleinere lichtzwakke sterren, zoals “ π ”, “ ι ”- Ursa Major.



Afb. 16 De constellatie Grote Beer op een moderne sterrenkaart (links) en op een koperen plaat uit de catalogus van Johann Elert Bode (rechts).

Deze constellatie vindt u ook genoemd in de Tetrabiblos van Ptolemeus in Boek-1, Hoofdstuk-10 dat gewijd is aan de constellaties ten Noorden van de zodiakale constellaties.

Wij komen dan vanzelf aan bij de term “zodiak” of “dierenriem”. Zoals de naam al zegt, is de zodiak vernoemd naar dieren, met een paar uitzonderingen, zoals het teken Tweelingen, Maagd, Weegschaal en Waterman.