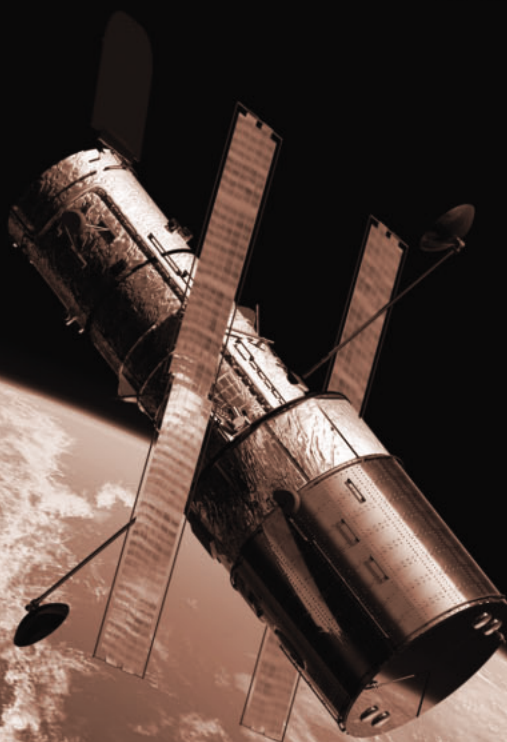


DE STERRENKUNDEPRACTICA VAN ESA/ESO

Sterrenkundige practica, gebaseerd op waarnemingen met de Hubble-ruimtetelescoop van NASA en ESA en de telescopen van ESO



ALGEMENE INLEIDING



De sterrenkundepractica van ESA en ESO

Sterrenkunde is een boeiende wetenschap die vaak ook nog eens fraaie foto's oplevert: ideaal voor educatieve doeleinden. De afgelopen jaren hebben NASA¹, ESA², de Hubble-ruimtetelescoop en de telescopen van ESO³ op La Silla en Paranal in Chili steeds spectaculairdere afbeeldingen van het heelal gemaakt. De Hubble- en ESO-telescopen zijn waardevolle astronomische instrumenten, die echter niet alleen mooie nieuwe plaatjes hebben opgeleverd: ze stellen sterrenkundigen in staat om verder dan ooit tevoren het heelal in te turen en antwoorden te vinden op nog openstaande vragen.

De analyse van waarneemgegevens is in de details vaak nogal ingewikkeld. De grote lijnen zijn echter eenvoudig genoeg om door middelbare scholieren zelf uitgevoerd te kunnen worden.

Deze reeks astronomische practica is een co-productie van de Europese deelnemer aan het Hubble-project, de ESA, die over 15% van de waarneemtijd met Hubble beschikt, en de ESO. Het doel van de reeks is een aantal kleine projecten te presenteren die de scholier een indruk geven van de manier waarop wetenschappelijke ontdekkingen tot stand komen. Op basis van eenvoudige meetkundige en natuurkundige berekeningen zullen antwoorden worden gevonden die vergelijkbaar zijn met de resultaten van de veel uitvoerigere analyses in de wetenschappelijke vakliteratuur.

Deze inleiding geeft een overzicht van de ideeën achter de Hubble- en ESO-faciliteiten, evenals een korte beschrijving van de telescopen, de bijbehorende instrumenten en de werkmethoden. Daarbij zullen we tevens duidelijk maken op welke waarnemingen de practica gebaseerd zijn.

De vier practica bestaan uit achtergrondinformatie, gevolgd door een reeks vragen, metingen en berekeningen. De practica kunnen klassikaal worden gebruikt, maar ze zijn ook heel geschikt als kleine praktische opdrachten voor één of enkele leerling(en).

De practica kunnen onafhankelijk van elkaar worden gebruikt en ze hoeven ook niet allemaal worden gedaan. We willen er evenwel op wijzen dat het verstandig is om relevante onderdelen van de *Hulpmiddelen* tezamen met de leerlingen door te nemen voordat zij aan hun opdracht(en) beginnen, tenzij zij reeds met de aangeboden leerstof bekend zijn.

In het moderne onderwijs hecht men waarde aan het leggen van verbanden tussen de verschillende vakgebieden, door interdisciplinaire activiteiten op te zetten die vaak uiteenlopende vaardigheden helpen ontwikkelen. Het is daarom ook heel goed mogelijk om de Engelse versies van deze practica te gebruiken: ze dienen dan tevens als oefening van het Engels. De betreffende bestanden zijn te vinden op <http://www.astroex.org>.

Zoals gezegd, de *ESA/ESO Astronomy Exercise Series* is van oorsprong Engelstalig, de taal die door wetenschappers overal ter wereld het meest wordt gebruikt. Voor optimale toepasbaarheid in het Nederlandse voortgezet onderwijs hebben we de reeks vertaald. Deze Nederlandse uitgave verschijnt onder auspiciën van NOVA, de Nederlandse Onderzoeksschool voor Astronomie, en de Nederlandse Astronomen Club, NAC. Realisatie werd financieel mogelijk dankzij een subsidie van de Gratama-stichting. Ook NOVA, NAC, het Groninger Universiteitsfonds GUF en het Kapteyn Instituut van de Rijksuniversiteit Groningen droegen financieel bij.

De volledige Nederlandse versie (*Inleiding, Hulpmiddelen* en de vier practica) is beschikbaar via website www.astroex.org/dutch. Alle HAVO/VWO-scholen in Nederland ontvangen ter kennisgeving gedrukte exemplaren van een complete set.

De Nederlandse vertaling is van de hand van Eddy Echternach, die samen met Robert Wielinga en Peter Barthel ook verantwoordelijk is voor de eindredactie. Zij dragen deze Nederlandse editie in dankbare herinnering op aan de nagedachtenis van prof. dr. Kees Zwaan, voormalig hoogleraar Sterrenkunde te Utrecht en fervent pleitbezorger van de astrofysica in het voortgezet onderwijs.

¹National Aeronautics and Space Administration – het Amerikaanse ruimtevaartagentschap

²European Space Agency – het Europese ruimtevaartagentschap

³European Southern Observatory – de Europese Zuidelijke Sterrenwacht



De Hubble-ruimtetelescoop

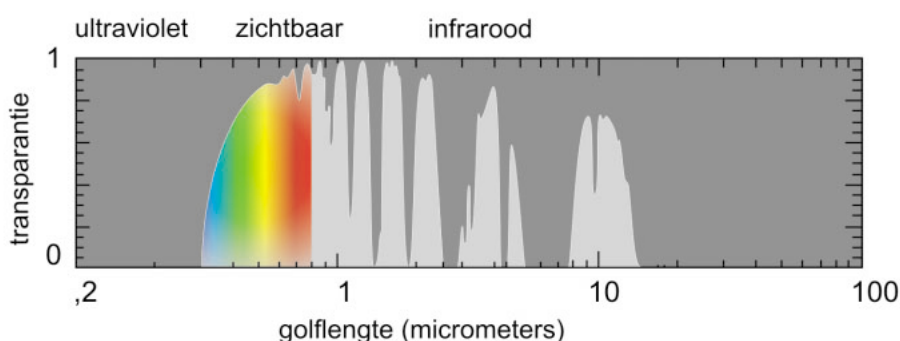
De Hubble-ruimtetelescoop werd op 26 april 1990 door het ruimteveer 'Discovery' in een baan om de aarde gebracht — 67 jaar nadat de Duitse ruimtevaartpionier Hermann Oberth op de mogelijke voordelen van sterrenkundig onderzoek vanuit de ruimte had gewezen. Reeds begin jaren zestig werden bij NASA serieuze voorstellen ingediend voor de realisatie van een ruimtetelescoop. Maar het project kreeg pas na een lange reeks haalbaarheidsonderzoeken in 1977 groen licht — het werd een gezamenlijke onderneming van NASA en ESA.

Wat beeldscherpte betreft levert de Hubble-telescoop nog steeds betere prestaties dan de telescopen op aarde. En dat terwijl hij met zijn hoofdspiegel van 2,4 meter bij lange na niet de grootste is. De telescopen op aarde hebben allemaal last van de twinkelingen die ontstaan als sterlicht door de turbulente lagen van de aardatmosfeer gaat. Dit vertroebelende effect heeft tot gevolg dat het oplossende vermogen van een telescoop — van welke grootte dan ook — nooit beter kan zijn dan ongeveer een halve boogseconde (1 boogseconde is $1/3600$ graad). De beeldscherpte van een ruimtetelescoop wordt uitsluitend bepaald door de grootte en kwaliteit van zijn optiek en de nauwkeurigheid waarmee het instrument tijdens een opname op een object gericht kan blijven. Hierdoor zijn Hubble-opnamen vijf keer zo detailrijk als soortgelijke opnamen met telescopen op aarde. Vanaf het aardoppervlak kunnen we met onze tele-

scopen krantenkoppen op een afstand van een kilometer lezen, met 'Hubble' ook de rest van de tekst!

Het is voornamelijk deze veel betere beeldkwaliteit die de ruimtetelescoop zo bijzonder maakt. Het instrument stelt astronomen echter niet alleen in staat om reeds bekende hemelobjecten veel gedetailleerder waar te nemen, maar ook om objecten te ontdekken die veel lichtzwakker zijn dan de objecten die vanaf de aarde zijn waargenomen. Aldus heeft 'Hubble' het astronomische gezichtsveld enorm vergroot.

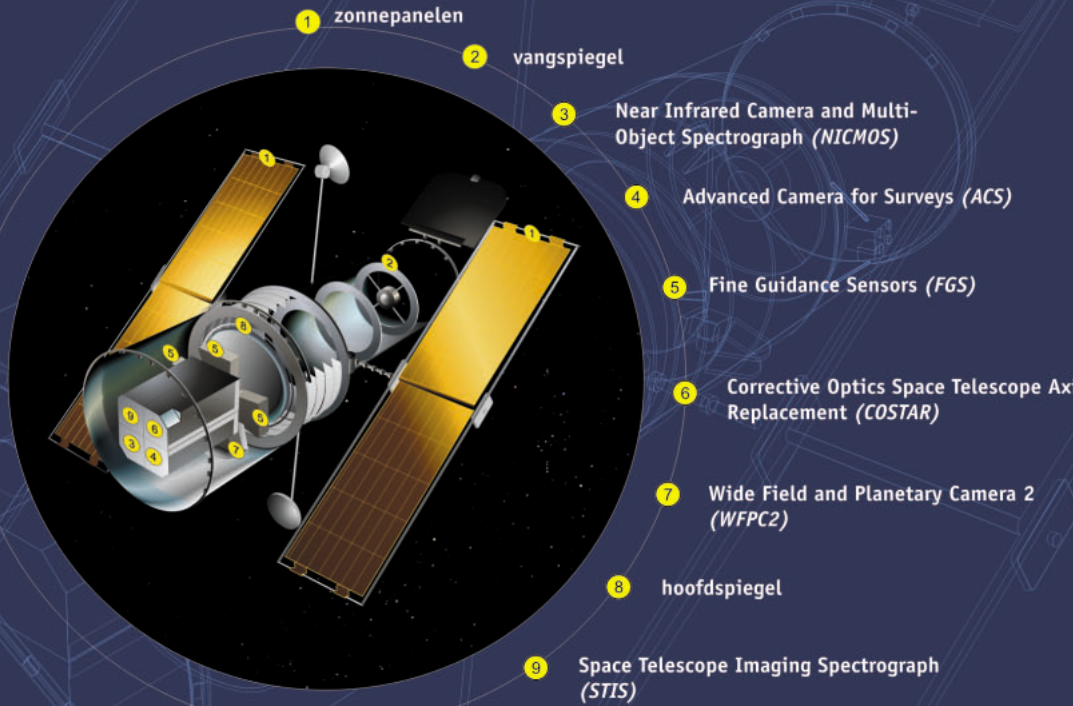
Ruimtetelescopen zijn ook in staat om straling in andere delen van het elektromagnetische spectrum te detecteren. Het golflengtebereik van telescopen op aarde is beperkt door de absorberende werking van de aardatmosfeer (zie fig. 1). Dat betekent dat 'Hubble' objecten niet alleen op zichtbare golflengten kan waarnemen, maar ook op ultraviolette en infrarode. Het ultraviolette deel van het spectrum is van groot belang voor astronomen, omdat hier de zogeheten 'atomaire overgangen' van veelvoorkomende elementen zichtbaar zijn. Alle scheikundige elementen hebben karakteristieke eigenschappen die ertoe leiden dat ze licht op bepaalde golflengten absorberen of juist uitzenden. Door in het spectrum van een object naar tekenen van emissie of absorptie van licht op deze golflengten te kijken, kunnen samenstelling, temperatuur en andere fysische eigenschappen ervan worden bepaald.



Figuur 1: De doorlating van straling door de aardatmosfeer

Hemelobjecten zenden licht en straling van allerlei golflengten uit, maar lang niet al deze golflengten kunnen de aardatmosfeer passeren: de betreffende straling wordt geabsorbeerd of verstrooid door atomen en moleculen in de lucht. De grafiek laat zien welke golflengten er wél worden doorgelaten: ultraviolet licht en een groot deel van het infrarood worden vrijwel geheel geabsorbeerd of verstrooid.

Hubble-ruimtetelescoop (anno 2002)



De instrumenten

'Hubble' heeft een aantal instrumenten aan boord – twee camera's, twee beeldspectrografen en een stelsel van richtsensoren – die allerlei soorten waarnemingen mogelijk maken.

De tweede Wide Field/Planetary Camera (WFPC2) is de belangrijkste camera van de ruimtetelescoop. Deze is met behulp van filters in staat om objecten te fotograferen in een golflengtegebied van 1000 nm (nabij-infrarood) tot 115 nm (ultraviolet).

De satelliet

hoofdspiegel	Ritchey-Chrétien optiek	2,4 m
totale lengte		15,9 m
middellijn (excl. zonnepanelen)		4,2 m
spanwijdte (incl. zonnepanelen)		12,1 m
gewicht		11.110 kg
richtnauwkeurigheid		7 milliboogseconde over 24 uur

De baan

hoogte (oorspronkelijk)		598 km
inclinatie op de evenaar		28,5 graden
missieduur		20 jaar (tot 2010)

Meer algemene en technische informatie over de Hubble-ruimtetelescoop van NASA/ESA is te vinden bij het Hubble European Space Agency Information Centre: <http://hubble.esa.int>

De Very Large Telescope van ESO

De Very Large Telescope (VLT) van ESO is de grootste optische/infraroodtelescoop ter wereld. Het initiatief om een grote Europese telescoop te bouwen werd al eind jaren zeventig geboren. Begin jaren tachtig bespraken Europese sterrenkundigen uitvoerig hoe deze telescoop er uit zou moeten zien. Op basis van een gedetailleerd plan voor de bouw en financiering gaf de raad van bestuur van ESO in december 1987 het groene licht aan het VLT-project.

De ESO is een internationale onderzoeksorganisatie die in 1962 werd opgericht door België, Duitsland, Frankrijk, Nederland en Zweden, met als doel "het gezamenlijk oprichten van een sterrenwacht met krachtige instrumenten op het zuidelijk halfrond en het aldus stimuleren en

organiseren van samenwerking op het gebied van de astronomie". Inmiddels hebben ook Denemarken, Groot-Brittannië, Italië, Portugal en Zwitserland zich aangesloten. Ook andere landen hebben belangstelling om zich bij ESO aan te sluiten.

ESO beheert twee moderne sterrenwachten: Paranal en La Silla. Cerro Paranal, de locatie van de VLT, is een 2635 meter hoge berg ($24^{\circ}37' \text{ ZB}$, $70^{\circ}24' \text{ WL}$) in het noorden van Chili. De berg ligt 12 km van de kust, 130 km ten zuiden van de stad Antofagasta, 1200 km ten noorden van Santiago de Chile en 600 km ten noorden van La Silla. Cerro Paranal ligt in een van de droogste gebieden ter wereld: de Atacama-woestijn. Omdat slecht weer de grootste vijand van astronomen is, heeft de ESO uitgebreid klimatologisch onderzoek gedaan voordat deze plek voor de VLT werd geselecteerd. De hemel is hier 350 nachten per jaar onbewolkt.

De VLT bestaat uit vier afzonderlijke telescopen (*Unit Telescopes* — *UT's*), die elk een hoofdspiegel hebben met een middellijn van 8,2 meter. Daarnaast heeft elke telescoop nog een tweetal kleinere vangspiegels. Om het twinkelen van sterren ten gevolge van de turbulenties in de aardatmosfeer tegen te gaan, is de VLT uitgerust met een adaptief optieksysteem. Dankzij dit systeem zijn de VLT-beelden net zo scherp als die van een telescoop in de ruimte. Alle vier de telescopen zijn sinds eind 2000 in bedrijf en hebben al verrassende wetenschappelijke resultaten opgeleverd.

Momenteel worden drie 1,8-meter hulptelescopen — *Auxiliary Telescopes* (*AT's*) — gebouwd. Elke UT kan afzonderlijk worden gebruikt, maar als ook de AT's gereed zijn, kunnen alle telescopen worden gecombineerd tot één instrument: de VLT Interferometer (VLTI). De VLTI zal een beeldscherpte hebben die vergelijkbaar is met die van een 200-meter telescoop. In 2001 zijn de eerste testopnamen met de VLTI gemaakt.



Figuur 2: Kaart van Chili

De locaties van de twee ESO-sterrenwachten in Chili: La Silla en Paranal.

De Very Large Telescope van ESO

ANTU and FORS

De bouwwerkzaamheden op Paranal begonnen in 1991 en zes jaar later kwam de eerste van vier spiegels op zijn bestemming aan. Op 25/26 mei 1998 werd de eerste telescoop, ANTU, in gebruik genomen. In de taal van de Mapuche-indianen betekent ANTU "zon". De overige telescopen vingen in respectievelijk maart 1999, januari 2000 en september 2000 hun "eerste licht" op.

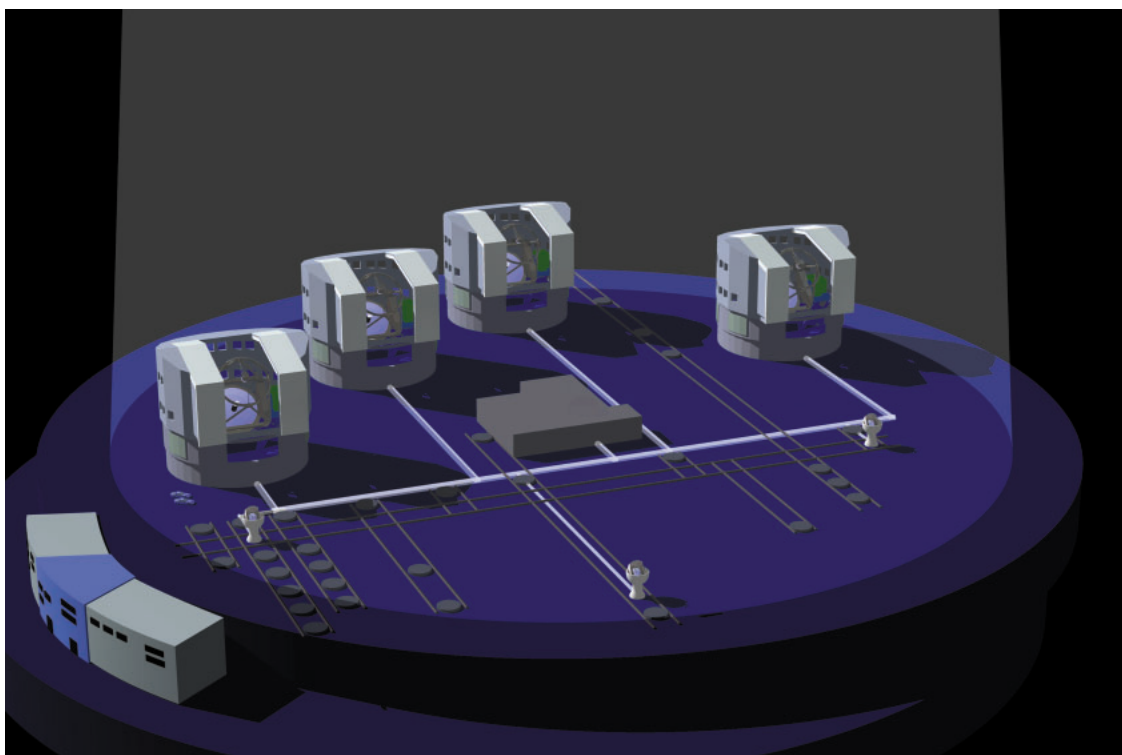
De vier *units* van de VLT zijn opgesteld op zogeheten alt-azimut-monteringen. Bij zo'n montering kan de telescoopbuis om twee assen draaien: de horizontale (de hoogte-as) is in een reusachtige 'vork' gemonteerd die om een verticale as (de azimut-as) kan draaien. Met behulp van de beide draaiassen kan de telescoop op elk punt aan de hemel worden gericht.

Op 15 september 1998 werd de FORS1 (FOcal

Reducer and Spectrograph) in gebruik genomen. Met dit instrument, dat aan ANTU is gekoppeld, zijn direct al indrukwekkende hemelopnamen gemaakt. Dankzij FORS1 en de andere VLT-instrumenten hebben Europese sterrenkundigen nu vele nieuwe waarneem mogelijkheden.

FORS1, en zijn soortgenoot FORS2, zijn het resultaat van het meest grondige onderzoek dat ooit aan de bouw van een sterrenkundig instrument voor toepassing op aarde is voorafgegaan. Met de FORS-instrumenten kunnen opnamen op twee verschillende afbeeldingschalen (vergrotingen) en spectra met verschillende resoluties (scheidend vermogen) worden gemaakt van zowel enkel- als meervoudige objecten. Met FORS is het dus mogelijk om eerst afbeeldingen van verre melkwegstelsels te maken, en vervolgens ook direct hun spectra op te nemen, zodat de afstanden tot de stelsels kunnen worden bepaald.

Meer informatie over de VLT is te vinden op: <http://www.eso.org>



Figuur 3: Een schematisch overzicht van de VLT Interferometer



www.astroex.org

