

THE VERY LARGE TELESCOPE, DE DROOM VAN ELKE ASTRONOOM

TELESCOPENMAGIE IN CHILI

Wetenschapsjournalist en *Eos*-medewerker Govert Schilling bracht in september een bezoek aan de *Very Large Telescope* in Chili – de absolute successtory van de Europese sterrenkunde. Maar wat maakt de VLT zo bijzonder? Over de magie van dunne spiegels, adaptieve optiek en interferometrie – de sterrenkundige truken-
doos waarmee hedendaagse astronomen alles uit hun instrumenten halen.

Door Govert SCHILLING

Het telescopenkwartet in Chili is voorlopig het grootste en gevoeligste observatorium ter wereld.





Het is aardedonker op het platform van de Europese Very Large Telescope. De vier kolossale telescoopgebouwen steken als inktzwarte silhouetten af tegen een met sterren bezaaide hemel. Maanlicht is er vannacht niet; de Melkweg strekt zich majestueus uit langs het firmament. Op Cerro Paranal in Noord-Chili, 2.635 meter boven de zeespiegel, kun je de kosmos bijna aanraken. De Schorpioen, het Zuiderkruis, Alpha en Bèta Centauri ... hier ligt een heel universum voor het grijpen.

Twee jonge sterrenkundigen, gehuld in winddichte ESO-jacks, brengen samen met een groep Nederlandse verslaggevers een nachtelijk bezoek aan het platform, waar je normaal gesproken niemand aantreft als de telescopen in bedrijf zijn. Er wordt zachtjes gepraat; sterrenkundige observatoria zijn de kathedralen van de wetenschap. Paranal-directeur Andreas Kaufer vertelt enthousiast over het lasersysteem van Yepun, de vierde gigant van het telescopenkwartet. Verderop liggen twee journalisten gezellig samen op hun rug naar de sterren te kijken. Af en toe schiet er een meteoriet langs de hemel.

De twee jonge astronomen weten alles van sterevolutie en spectroscopie, maar echt goed thuis aan de sterrenhemel zijn ze niet. Met een extreem heldere, knalgroene laserpointer wijst een van de aanwezige sterrenkundejournalisten ze de planeet Jupiter aan, en de Kolenzaknevel, en de Kraanvogel. Kijk, en daar ligt het verre centrum van ons eigen sterrenstelsel, bijna dertigduizend lichtjaar hiervandaan... Plotseling komt Kaufer kwaad aangelopen. 'Uit, die laserpointer! Je verstoort de waarnemingen! Wat denk je wel niet dat de Very Large Telescope per minuut kost?'

EXOTISCH KWARTET

De Very Large Telescope (VLT) is het paradigma van de Europese Zuidelijke Sterrenwacht (ESO). De vier identieke sterren-

kijkers, elk met een spiegel van 8,2 meter in middellijn, vormen samen het grootste en gevoeligste observatorium ter wereld. De twee Amerikaanse Keck-telescopen op Hawaï zijn met een spiegelmiddellijn van tien meter weliswaar een slag groter, maar in combinatie scoren de vier Unit Telescopes van de VLT toch beter op beeldscherpheid en gevoeligheid. Het telescopenkwartet heeft exotische namen gekregen, afkomstig uit de taal van de Mapuche-indianen, de oorspronkelijke bewoners van de kurkdroge Atacama-woestijn waar de VLT is gebouwd: Antu (Zon), Kueyen (Maan), Melipal (Zuiderkruis) en Yepun (Avondster). Het zijn stuk voor stuk giganten, gehuisvest in glimmende cilindrische silo's van bijna dertig meter hoog. Vernuftige

Melipals kolossale hoofdspiegel – gebogen als een scheerspiegel om het licht van verre sterren te bundelen in het brandpunt van de telescoop – produceert psychedelisch gebogen reflecties van de kaarsrechte stalen buizen die de veel kleinere secundaire spiegel ondersteunen. Vannacht worden er weer fotonen uit het heelal – na een ruimtereis van miljarden jaren – via de twee volmaakte spiegels naar gevoelige elektronische detectoren geëist, verborgen in diepgekoelde waarnemingsinstrumenten zo groot als een personenauto. De VLT-spiegels wegen elk 23 ton, wat een schijntje is voor een spiegel met een diameter van meer dan acht meter. Het zijn dan ook dunne, meniscusvormige spiegelschalen, in verhouding slechts twee keer zo dik als een

Sterrenkundige observatoria zijn de kathedralen van de wetenschap

astronomische ontdekkingsmachines, waarin de meest geavanceerde technieken zijn verwerkt om de kosmos zijn geheimen te ontfutselen.

Eerder op de dag, met de zon hoog aan de strakblauwe hemel, opent Melipal zijn poorten voor de bezoekers. Letterlijk: de huizenhoge 'deuren' van de derde silo schuiven geruisloos open. Zonlicht stroomt naar binnen en omspoelt de telescoop – een gedrongen gevaarte van ruim tweehonderd ton, dat binnen enkele tientallen seconden op elk gewenst punt aan de hemel kan worden gericht. Soepel en gracieus buigt Melipal zich voor- en achterover, zwenkt van links naar rechts, laat zich aan alle kanten bewonderen. De Leidse astronoom Tim de Zeeuw, sinds september directeur-generaal van de ESO, is nog steeds in de wolken: 'De telescoop wordt gedragen door een heel dun laagje olie, en is zo goed uitgebalanceerd dat je hem met de hand kunt bewegen!'

cd-schijfje. Een gigantische spiegelcelconstructie van beweegbare, computergestuurde ondersteuningspunten zorgt ervoor dat de 17,5 centimeter dikke spiegel altijd de perfecte paraboolvorm behoudt, onafhankelijk van de stand, de temperatuur of de windbelasting. Met die techniek – actieve optiek geheten – deed ESO eind jaren tachtig al veel ervaring op in de *New Technology Telescope* (NTT) op La Silla, een paar honderd kilometer ten zuiden van Paranal.

Dunne spiegels en actieve optiek worden tegenwoordig in alle grote telescopen toegepast. Ze maken het mogelijk reuzentelescopen te bouwen die relatief licht, compact en daardoor betaalbaar zijn. Maar voorzichtigheid is wel geboden, want de ogen van de Very Large Telescope zijn buitengewoon kwetsbaar. Ongeveer eens in de twee jaar moeten de spiegels aan de voet van de bergtop van een nieuw laagje reflecterend aluminium voorzien worden, steeds weer een risicovolle operatie. Het Mirror

Maintenance Building, in het basiskamp van de VLT, is een gigantische hangar die helemaal is ingericht op het naar binnen rijden, optillen, verplaatsen, vacuümzuigen en veraluminiseren van de reuzenspiegels. Optisch ingenieur Stéphane Guisard, die verantwoordelijk is voor het spiegelonderhoud, kan het niet nalaten te wijzen op het belang van die paar gram opgedampt aluminium: 'Die hele telescoopconstructie van tweehonderd ton is nodig om dat flinterdunne spiegelende laagje tot op een nanometer nauwkeurig in de juiste positie te houden.'

SPIEGEL AAN BOORD

De vier overmaatse VLT-spiegels zijn gegoten in Duitsland – in gigantische roterende ovens, zodat het stollende glaskeramische zerodur automatisch al een paraboolvorm kreeg –, geslepen en gepolijst in Frankrijk, verscheept over de Seine en de Atlantische Oceaan naar de Chileense havenstad Antofagasta, en uiteindelijk over de weg vervoerd naar Paranal

Voorzichtigheid is geboden, want de ogen van de Very Large Telescope zijn buitengewoon kwetsbaar

– een reis van zo'n 140 kilometer dwars door de droogste woestijn op de planeet. De afslag naar het dorpje Taltal ligt vrij opvallend in een bocht van de tweebaans Panamericana, de belangrijkste verkeersader van Zuid-Amerika. Een paar kilometer verderop verandert de weg in een onverharde en hobbelige route, die in de loop van de jaren overigens wel steeds beter begaanbaar is gemaakt, onder meer door hem enigszins te egaliseren met materiaal uit de nabijgelegen zoutvlakten. 'Vroeger stuiterde je hier met je *four wheel drive* overheen', zegt Claus Madsen van ESO's publiciteitsafdeling. 'Nu is het bijna een snelweg geworden.'

Tien jaar geleden was de tientallen kilometers lange weg naar Paranal nog één grote verzameling kuilen en rotsblokken. Het transport van de VLT-spiegels, in de tweede helft van de jaren negentig, gebeurde dan ook letterlijk stapvoets, en nam enkele dagen in beslag. Een speciale draagconstructie hield de breekbare spiegel continu horizontaal, ook op de flauwe hellingen van het desolate woestijnlandschap en tijdens het laatste stukje van de rit, naar de top van Cerro Paranal. Een bergtop die overigens met behulp van dynamiet is afgevlakt om ruimte te bieden aan het observatorium.

In de wijde omtrek van de Very Large Telescope is geen enkele nederzetting te vinden.

Er leeft hier vrijwel niets, en de nachtelijke hemel is dan ook gitzwart. Gelegen tussen de Atlantische kust en de hoge toppen van het Andesgebergte is de Atacamawoestijn een gortdroge wildernis, waar je het aantal neerslagdagen in de afgelopen eeuwen op de vingers van één hand kunt tellen. Paranal ligt hemelsbreed slechts twaalf kilometer uit de kust, maar wel hoog boven de inversielaag in de dampkring, waar de meeste wolken ontstaan. Vanaf het VLT-platform kijk je in westelijke richting neer op de bovenzijde van een wolkendek, maar boven je hoofd is het kraakhelder.

De combinatie 'hoog en droog' is van groot belang voor de hedendaagse astronomie, waarbij niet alleen het zichtbare licht van sterren en sterrenstelsels wordt bestudeerd, maar ook de infrarode warmtestraling uit het heelal. Die wordt gedeeltelijk geabsorbeerd door waterdamp in de atmosfeer, dus hoe ijler en droger de lucht is, hoe beter.

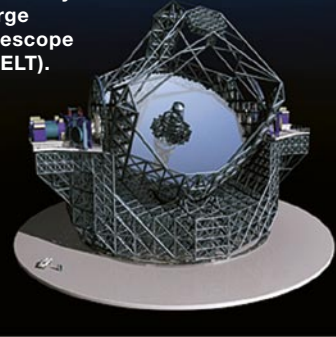
Daar komt dan nog bij dat de atmosferische turbulentie op grote hoogte geringer is dan op zeeniveau, zodat er veel scherpere beelden verkregen kunnen worden. Trillingen in de dampkring vormen de grootste vijand van de observationele astronomie. Ook op een heldere, wolkenloze nacht wordt de blik op het heelal vertroebeld door atmosferische turbulentie. Het effect daarvan is met het blote oog al te zien in de vorm van het twinkelen van de sterren – romantisch voor de man en vrouw in de straat, maar rampzalig voor de sterrenkundige. Lichtstralen worden afgebogen door turbulentiëcellen, waardoor een lang belichte foto van een verre ster geen scherp lichtstipje te zien geeft, maar een wazig vlekje.

Normaal gesproken is de beeldscherpte van een telescoop recht evenredig met de middellijn van de hoofdspiegel: maak je de spiegel twee keer zo groot, dan zie je ook twee keer zo scherp. Maar door de storende invloed van de dampkring komt daar in de praktijk niets van terecht. Hoe groot je je telescoop ook maakt, de uiteindelijke gezichtsscherpte wordt bepaald door de mate van atmosferische turbulentie. Zonder speciale maatregelen zou de Very Large Telescope dus niet méér details kunnen onderscheiden dan een forse amateurtelescoop.

ADAPTIEVE OPTIEK

Nóg groter

De European Extremely Large Telescope (E-ELT).



Binnen de Europese Zuidelijke Sterrenwacht (ESO) wordt gewerkt aan plannen voor een monstertelescoop met een spiegelmiddellijn van 42 meter. Die *European Extremely Large Telescope* (E-ELT) kan rond 2016 klaar zijn, en is dan verreweg de grootste optische/infraroodtelescoop ter wereld. Eind 2008 zal de ESO Council een definitieve knoop doorhakken over de financiering.

De E-ELT krijgt geen spiegel uit één stuk, zoals de afzonderlijke VLT-telescopen. In plaats daarvan wordt gewerkt met enkele honderden zeshoekige segmenten. Ook de twee Amerikaanse Keck-telescopen op Hawaï en de nieuwe Gran Telescopio Canarias op La Palma hebben zulke gesegmenteerde spiegels.

In de loop van 2008 moet ook een keuze gemaakt worden voor de locatie van de nieuwe recordhouder. Er zijn drie opties: een bergtop in de onmiddellijke omgeving van de Very Large Telescope (Noord-Chili), een locatie in Argentinië, en een plek temidden van vele andere telescopen op de Roque de los Muchachos-sterrenwacht op het Canarische eiland La Palma.

Overigens is de keuze voor de spiegelmiddellijn (42 meter) niet helemaal toevallig: daarmee is het spiegeloppervlak van de E-ELT exact twee keer zo groot als dat van de Amerikaanse Thirty Meter Telescope, die rond dezelfde tijd in gebruik genomen moet worden.

Gelukkig hoeft de VLT het niet te stellen zonder speciale maatregelen. Net zoals andere grote sterrenwachten is het Europese observatorium in Noord-Chili uitgerust met zogeheten adaptieve optiek – een spectaculaire techniek die het mogelijk maakt de beelden van de kosmos te 'onttrillen'. Het doet een beetje denken aan antigeluid, waarbij geluidsgolven gedooft worden door kunstmatig opgewekte golven met precies de

tegenovergestelde amplitude. Bij adaptieve optiek worden de trillingen in de dampkring gecompenseerd door 'tegenovergestelde' trillingen van een kleine hulpspiegel in de lichtweg van de telescoop.

Adaptieve optiek (AO) is in de jaren zeventig ontwikkeld door de Amerikaanse defensie-industrie. Luchttrillingen zijn niet alleen hinderlijk voor astronomen die vanaf het aardoppervlak het heelal willen bestuderen, ze vormen ook een hinderpaal voor spionagesatellieten die vanuit de ruimte gedetailleerde foto's van de aarde willen maken. Begin jaren negentig werd adaptieve techniek gedeclasificeerd, en konden ook wetenschappers ermee aan de slag. Inmiddels hebben astronomen de buitengewoon complexe techniek goed in de vingers.

Om je vijand te kunnen verslaan, moet je hem goed kennen. Wil je luchttrillingen compenseren, dan moet je de effecten van die luchttrillingen op het telescoopbeeld dus eerst heel nauwkeurig opmeten. Dat gebeurt met een zogeheten golffrontsensor. Onverstoord lichtstralen hebben een vlak golffront (in feite gaat het hier om het vlak dat loodrecht op de evenwijdige lichtstralen staat). Maar als de lichtstralen in sommige gedeelten van het beeldveld in meer of mindere mate zijn afgebogen door atmosferische turbulentie, heeft het resulterende golffront meer weg van een heuvelslandschap. Een golffrontsensor brengt de pieken en dalen in dat landschap nauwkeurig in beeld.

Om het golffront weer vlak te krijgen, zodat er weer een scherp, onverstoord beeld ontstaat, wordt een kleine, flexibele spiegel in de lichtweg van de telescoop geplaatst. Piezo-elektrische kristallen vervormen dat dunne, vlakke hulpspiegeltje precies zó dat de pieken en dalen in het golffront exact gecompenseerd worden. De kristallen zetten elektrische stroom om in warmte, waardoor het flexibele spiegeltje op bepaalde punten warmer wordt en uitzet, en op andere punten juist afkoelt en krimpt. Het gevolg is dat het oppervlak van het spiegeltje een klein beetje bobbelig wordt. Op basis van de metingen van de golffrontsensor berekent een krachtige computer hoeveel stroom er door welke kristallen moet lopen om het spiegeltje precies zó te vervormen dat de atmosferische trillingen volledig teniet worden gedaan.

De 'rubberen spiegel', zoals het kleine, flexibele hulpspiegeltje wel wordt genoemd, bevindt zich doorgaans vlak bij het brandpunt van de telescoop (vaak zelfs in een van de waarnemingsinstrumenten), waar alle lichtstralen die door de hoofdspiegel worden opgevangen al sterk gebundeld zijn. Alleen dáár kan een kleine 'rubberen spiegel' volstaan, en is het mogelijk om het oppervlak ervan snel

Sterrenkunde-paradijs

Noord-Chili is het walhalla van de astronomie. In de jaren zestig werden de eerste sterrenkundige verkenningstochten ondernomen (met paarden en ezels, dwars door de wildernis), om de waarnemingsomstandigheden te meten in de Cordillera de la Costa – het middelhoge kustgebergte dat tussen de Atlantische Oceaan en de hoge toppen van de Andes ligt. Op basis van die eerste site surveys werd de Amerikaanse Las Campanas-sterrenwacht hier gebouwd. Korte tijd later volgden de Europese sterrenwacht op La Silla en de Amerikaanse Cerro Tololo-sterrenwacht.

Inmiddels zijn er ook andere grote observatoria verrezen in het kurkdroge en klimatologisch zeer aantrekkelijke gebied, zoals de Europese Very Large Telescope op Cerro Paranal en de internationale sterrenwacht op Cerro Pachón (waar zich onder andere de 8,1-meter Gemini South-telescoop bevindt).

Ook in de toekomst blijft Chili zijn paradijselijke functie vervullen. Op vijftienduizend meter hoogte in het Andesgebergte wordt het internationale ALMA-observatorium gebouwd (*Atacama Large Millimeter Array*); een schotelpark voor astronomie op extreem korte radiogolflengten; op Cerro Pachón verrijst in de toekomst de Amerikaanse *Large Synoptic Survey Telescope* (LSST), die drie keer per week de gehele zichtbare sterrenhemel in kaart brengt, en onlangs is besloten dat de *Giant Magellan Telescope* (GMT), met een effectieve spiegmiddellijn van ruim twintig meter, op de Las Campanas-sterrenwacht gebouwd zal worden.

De enorme concentratie aan internationale supertelescopen is een zegen voor de Chileense astronomie: Chileense sterrenkundigen krijgen standaard tien procent van de waarnemingstijd toegewezen op alle telescopen op hun grondgebied.



genoeg te laten trillen. Want dat is de grootste uitdaging voor een werkend AO-systeem: de luchtcellen in de dampkring verplaatsen zich voortdurend, en het resulterende golffront verandert continu van vorm. De hele cyclus van golffrontmetingen, computeranalyse en vervorming van de hulpspiegel moet dan ook honderdmaal per seconde plaatsvinden, anders heeft het totaal geen zin.

Een bijkomend probleem is dat je voor het opmeten van het golffront een relatief heldere ster nodig hebt. Als je een zwak, verwijderd sterrenstelsel wilt waarnemen en er bevindt zich toevallig ook zo'n heldere ster in het beeldveld, is er dus niets aan de hand. Maar de kans is maar klein. Daarom worden lasers ingezet om hoog in de aardse dampkring natriumatomen te ioniseren. Op die manier ontstaat op een hoogte van zo'n tachtig kilometer een

kleine, gloeiende lichtvlek, die als 'kunstster' dienst doet voor de golffrontsensor. De natriumlaser van de Yepun-telescoop is 's nachts vanaf het VLT-platform duidelijk zichtbaar, vooral wanneer je er schuin naast omhoog kijkt. Als een ragfijne, oplichtende 'vinger' wijst hij vanuit het vierde telescoopgebouw in de richting van het waargenomen object – waarschijnlijk een interessante ster ergens in een uithoek van het Melkwegstelsel. Minder fel dan de groene laserpointer waar Paranal-directeur Andreas Kaufer zo kwaad om werd, maar veel effectiever: niet alleen lijkt hij de hemellichamen 'aan te wijzen'; hij maakt het ook mogelijk om ze spat-scherp in beeld te brengen.

'Adaptieve optiek is een soort zwarte magie van de sterrenkunde', zegt Kaufer. Met laserstralen, kunststerren, golffrontsensoren en rubberen spiegels, die gezamenlijk honderd

Ruimtetelescopen

Waarom zou je nog grote telescopen op de grond bouwen wanneer er al gevoelige telescopen in een baan om de aarde draaien? Wie heeft er nog een Very Large Telescope nodig als we de *Hubble Space Telescope* hebben? Het is een veel gestelde vraag, met een even simpel als verrassend antwoord: Hubble kan onmogelijk voorzien in alle behoeften van sterrenkundigen.

Om te beginnen kan de ruimtetelescoop natuurlijk maar één object tegelijk bekijken. Alleen om die reden al hebben sterrenkundigen behoefte aan een groot aantal telescopen (en dan nog kan slechts een klein deel van alle ingediende waarnemingsvoorstellen gehonoreerd worden). In het ideale geval zouden al die instrumenten in een baan om de aarde moeten draaien, maar dat is natuurlijk onbetaalbaar.

Ter vergelijking: de Hubble Space Telescope heeft ruwweg twee keer zoveel gekost als de Very Large Telescope. En dat terwijl Hubble één relatief kleine teles-

coop is met een spiegelmiddellijn van 2,4 meter, terwijl de VLT uit vier 82 meterkijkers bestaat. Daarmee komt meteen een ander minpunt van de ruimtetelescoop in zicht: hij produceert weliswaar heel scherpe beelden (ook in golflengtegebieden die vanaf het aardoppervlak niet waarneembaar zijn), maar hij is verhoudingsgewijs niet bijzonder gevoelig. Voor spectroscopisch onderzoek aan extreem zwakke sterrenstelsels aan de rand van het waarneembare heelal zijn astronomen aangewezen op grote telescopen op aarde.

Een groot voordeel van een telescoop op de grond is natuurlijk dat je er veel makkelijker bij kunt, bijvoorbeeld om nieuwe waarnemingsinstrumenten te plaatsen of storingen te verhelpen. Voor de Hubble Space Telescope is daar altijd een peperdure shuttlevlucht voor nodig. In die zin is een instrument als de Very Large Telescope veel flexibeler dan een grote ruimtetelescoop. Overigens is het einde voor Hubble in zicht. In het najaar van 2008 wordt de vijfde en laatste onderhoudsvlucht uitgevoerd, en



naar schatting zal de ruimtetelescoop rond 2013 of 2014 de geest geven. Tegen die tijd moet de opvolger van Hubble gelanceerd worden: de 6,5 meter James Webb Space Telescope, die overigens voornamelijk infraroodwaarnemingen gaat verrichten. Maar ook dan blijven grote monstertelescopen op de grond onmisbaar.

keer per seconde hun toverkunsten verrichten, slagen astronomen erin de dampkring 'uit te schakelen', zoals dat in vakjargon heet. Alleen daardoor lukt het om met een reuzentelescoop de beeldscherpte te bereiken die je onder ideale omstandigheden zou verwachten.

De resultaten liegen er bepaald niet om. Op deuren en prikborden in het controlegebouw van de Very Large Telescope, maar ook in het half ondergrondse astronomenhotel en in het bezoekerscentrum, hangen spectaculaire foto's van planeten en planeetmanen, zwakke begeleiders bij andere zonnen, rondzwierende sterren in het centrum van ons Melkwegstelsel, en ongekend scherpe opnamen van verre sterrenstelsels en quasars. Vierhonderd jaar na de uitvinding van de telescoop lijkt de sterrenkunde zijn grootste vijand voorgoed te hebben verslagen.

SAMEN STERK

Zonder adaptieve optiek zouden de VLT-telescopen niet veel meer zijn dan kolossale 'lichtemmers', die wel veel fotonen uit het heelal opvangen, maar niet in staat zijn daar extreem scherpe beelden bij te leveren. Niet dat een grote telescoop zonder adaptieve optiek volstrekt nutteloos is. Juist door zo veel mogelijk licht van een zwak, ver verwijderd hemellichaam op te vangen, kunnen astronomen dat licht ook analyseren met behulp van

spectroscopen – onderzoek waaruit informatie kan worden afgeleid over de samenstelling en de bewegingen van hemellichamen.

Wat dat betreft is het telescopenkwartet op Paranal natuurlijk de droom van elke astronoom. Als de vier afzonderlijke reuzenkijkers op hetzelfde object worden gericht, vangen ze samen viermaal zoveel fotonen op, waardoor nog veel zwakkere objecten bestudeerd kunnen worden. Bij het spectroscopisch onderzoek van extreem ver verwijderde sterrenstelsels aan de rand van het waarneembare heelal is dat dan ook een waardevolle optie: Antu, Kueyen, Melipal en Yepun hebben samen hetzelfde lichtverzamelend vermogen als een denkbeeldige supertelecoop met een spiegelmiddellijn van 16,4 meter.

Een alsmat groter lichtverzamelend vermogen is echter maar één van de heilige gralen waar sterrenkundigen al eeuwenlang jacht op maken. Oplossend vermogen is een andere. Juist om ruimtelijke details in een waargenomen hemellichaam te onderscheiden, is een zo groot mogelijke beeldscherpte van kardinaal belang, en dat is precies wat adaptieve optiek biedt: de vier VLT-telescopen zijn daardoor geen veredelde lichtmeters, maar geavanceerde camera's die beelden opleveren met een ongekend hoge resolutie.

En daarmee is meteen het tweede wonder van de Very Large Telescope geïntroduceerd. Want dankzij de revolutionaire techniek

van de optische interferometrie slagen sterrenkundigen erin om de beeldscherpte nog enorm veel verder op te voeren – een ongehoofd wapenfeit dat gerealiseerd wordt door de waarnemingen van de vier afzonderlijke telescopen op een heel speciale manier met elkaar te combineren. Optische interferometrie is de ware reden waarom er op Paranal vier reuzenkijkers staan in plaats van één.

Interferometrie is een techniek die sinds de jaren zestig al wordt toegepast in de radiosterrenkunde. Ook de bekende radiotelescoop van Westerbork in Noord-Nederland werkt volgens dit principe: de signalen van de veertien afzonderlijke schotelantennes worden heel precies ('in fase') bij elkaar opgeteld, en op die manier kan de beeldscherpte van een denkbeeldige radiotelescoop met een middellijn van drie kilometer bereikt worden. De techniek is op infrarode en zichtbare golflengten echter veel moeilijker toepasbaar, omdat de golflengte enorm veel kleiner is.

De eenvoudigste manier om het idee achter interferometrie te begrijpen is de volgende. Stel je voor dat je een telescoop hebt gebouwd met een spiegelmiddellijn van 120 meter (ruwweg de afstand tussen de twee buitenste VLT-telescopen). Die denkbeeldige reuzenkijker heeft – behalve een gigantisch lichtverzamelend vermogen – ook een enorm hoog (theoretisch) scheidend vermogen, oftewel een extreem grote beeldscherpte. Als

een deel van die monsterspiegel zwart wordt geschilderd, zal het lichtverzamelend vermogen natuurlijk verminderen, maar de beeldscherpte blijft in principe gelijk. Schilder je uiteindelijk de hele spiegel zwart, behalve vier rondjes van 8,2 meter in middellijn, dan heb je heel veel gevoeligheid ingeleverd, maar levert de telescoop nog steeds dezelfde beeldscherpte (vooropgesteld dat minstens twee van die vier reflecterende stukjes spiegel 120 meter uit elkaar liggen).

Het idee is duidelijk: de vier schoongebleven stukjes spiegel zijn de vier Unit Telescopes van de VLT. Die hebben samen het lichtverzamelend vermogen van een 16,4-meter grote spiegel (en niet van een spiegel van 120 meter), maar als ze deel uit zouden maken van hetzelfde reusachtige parabolische spiegeloppervlak, en als ze de opvallende straling naar hetzelfde gemeenschappelijke brandpunt zouden weerkaatsen, zou je (in elk geval bij objecten die helder genoeg zijn) evenveel detail kunnen onderscheiden als met die denkbeeldige 120 meterkolos.

TOVEREN MET LICHT

Het probleem is alleen dat de vier VLT-spiegels geen deel uitmaken van één groot denkbeeldig parabooloppervlak, en de opvallende straling uit de kosmos niet in één brandpunt reflecteren. Bovendien komt het licht van een verre ster doorgaans iets eerder in het ene telescoopbrandpunt aan dan in het andere, waardoor de opgevangen lichtgolven 'uit fase' raken (de golf toppen en -dalen vallen niet langer samen), zodat de enorme beeldscherpte verloren gaat. De magie van interferometrie bestaat uit het zorgvuldig om de tuin leiden van het waargenomen licht, waardoor de lichtgolven niet beter weten of ze zijn wel door één monsterachtige spiegel weerkaatst. Uiteindelijk gaat het daarbij allemaal om het vertragen van licht. Wanneer het licht van het waargenomen object iets eerder in het brandpunt van Antu aankomt dan in het brandpunt van Kueyen, moeten de Antu-lichtgolven een poosje 'opgehouden' worden alvorens te worden samengevoegd met de Kueyen-golven. En wanneer de afstand tussen de spiegel van Melipal en die van Yepun (een van de zogenoemde 'basislijnen' van de interferometer) bekend is tot op een fractie van de golflengte van de waargenomen straling, kunnen de lichtgolven exact de juiste vertraging meekrijgen om op het goede moment bij elkaar te komen.

Licht reist altijd met dezelfde snelheid – driehonderdduizend kilometer per seconde. Op die lichtsnelheid hebben astronomen geen invloed. Maar ze kunnen er wel voor zorgen dat het licht van de ene telescoop een langere weg aflegt dan het licht van de andere. Op

die manier ontstaan weglengteverschillen die er uiteindelijk voor zorgen dat lichtstraal A later in het gemeenschappelijke 'brandpunt' aankomt dan lichtstraal B. Zo wordt het licht bijna letterlijk 'om de tuin geleid', en kan toch de extreem hoge beeldscherpte van een denkbeeldige 120 metertelescoop bereikt worden.

De vertragingstruc vindt ondergronds plaats, in een uitgestrekt netwerk van tunnels waarmee de vier VLT-telescopen onderling verbonden zijn. In die vacuümtunnels staan zogeheten *delay lines* opgesteld, bestaande uit vlakke spiegels op soepel bewegende treintjes. Door de treintjes te verrijden over rails van tientallen meters, nemen de afstanden tussen de spiegels toe of af, en is het licht dus langer of korter onderweg. Die afstanden worden voortdurend opgemeten met nauwkeurige laserinstrumenten. Tijdens een waarnemingssessie moeten de treintjes continu in beweging blijven. Het waargenomen hemellichaam verandert immers doorlopend van plaats aan de hemel (als gevolg van de draaiing van de aarde), zodat ook de telescopen steeds in een andere stand gebracht moeten worden, en de lengte van de basislijnen voortdurend varieert.

Met kunststerren, golffrontsensors en rubberen spiegels kunnen astronomen de dampkring 'uitschakelen'

Vanaf het betonnen VLT-platform, dat zich grotendeels vóór de vier telescopsilo's uitstrekt, is van al die ondergrondse activiteit niets te zien. Maar boven de grond trekken andere onderdelen van de Very Large Telescope Interferometer de aandacht. Behalve de vier Unit Telescopes zijn de afgelopen jaren op Paranal ook vier kleinere telescopen verzezen, de zogeheten Auxiliary Telescopes. Die hebben spiegelmiddellijnen van 'slechts' 1,8 meter, waardoor ze bijna in het niet vallen bij hun vier grote broers. De 'hulptelescopen', gebouwd door de Belgische firma AMOS, zijn echter veel flexibeler: ze kunnen via een bovengronds railsysteem verreden worden naar verschillende basisstations, om daar te worden gekoppeld aan de interferometer. Op die manier ontstaat een groot aantal extra basislijnen, wat de resulterende beeldscherpte ten goede komt.

Optische interferometrie – tot nu toe voornamelijk bedreven op infraroodgolflengten – is een buitengewoon complexe techniek, die in feite nog in de kinderschoenen staat. Maar nergens zijn tot nu toe zulke indrukwekken-

de resultaten behaald als met de Very Large Telescope. Zo zijn Europese sterrenkundigen erin geslaagd de sterk afgeplatte vormen van sommige sterren in beeld te brengen, terwijl in een ver verwijderd sterrenstelsel de torusvormige stofwolk rond een superzwaar zwart gat is waargenomen.

NACHT

In de kale verlatenheid van de Atacama-woestijn lengen de schaduwen. Aan de voet van Cerro Paranal, in de kantine van de luxueuze Residencia, waar elke maaltijd en elke druppel water aangevoerd moet worden vanuit Antofagasta, bespreken sterrenkundigen van over de hele wereld hun waarnemingsplannen voor de komende nacht. Collega's treffen in de telescoopgebouwen en in de controle-ruimte van de VLT al voorbereidingen voor een nieuwe nacht vol kosmische verrassingen. Telescoopdeuren schuiven open, waarnemingsinstrumenten worden in stelling gebracht, computerroutines geladen en getest. Als de nacht eenmaal is gevallen, komt Paranal tot leven. Telescoopkolossen draaien geruisloos rond op dunne olielaagjes, om voortdurend op onvoorstelbaar verre hemellichamen gericht te blijven. Computergestuurde

ondersteuningspunten houden onder alle omstandigheden de perfecte paraboolvorm van de acht meter grote hoofdspiegels intact. Een natriumlaser schiet de ruimte in en creëert een kunstster hoog in de dampkring, onzichtbaar voor het blote oog. Atmosferische turbulentie wordt honderd keer per seconde opgemeten en geanalyseerd; het oppervlak van een 'rubberen spiegel' golft en bobbelt voortdurend om de beelden van de kosmos te onttrillen. Spiegelreintjes rijden heen en weer; lichtsignalen worden naar believen vertraagd om de werking van een monster-telescoop te simuleren. En op de computermonitoren van astronomen verschijnen foto's, spectra en polarisatiemetingen – de wetenschappelijke buit van een gemiddelde waarnemingsnacht. Hier wordt de kosmos ontraadseld. ●

Govert Schilling bracht een bezoek aan de Very Large Telescope als onderdeel van een reis die werd gesponsord door de Europese Zuidelijke Sterrenwacht en de Nederlandse Onderzoeksschool Voor Astronomie.