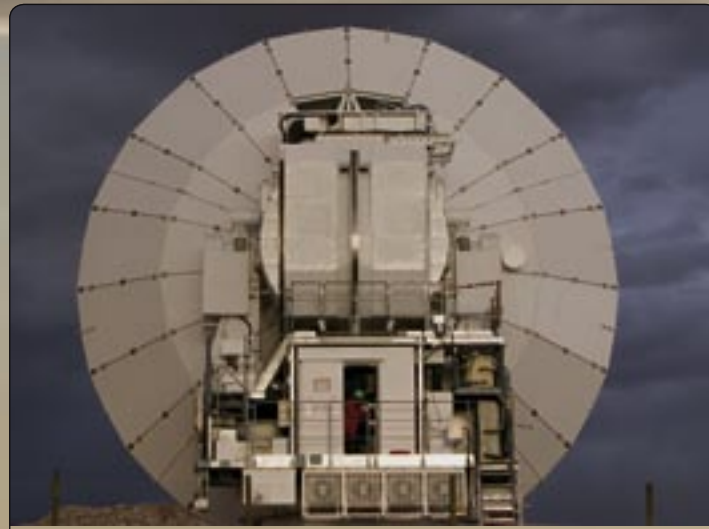


De Chileense Atacamawoestijn is een ideale plek om naar de sterrenhemel te kijken. Niet zo gek dus dat hier de grootste radiotelescoop ter wereld verrijst: ALMA. Maar werken op vijf kilometer boven zeeniveau heeft zo zijn nadelen, ondervond KIJK-verslaggever Sander Koenen aan den lijve.

Tekst en foto's: Sander Koenen



↑ Twee technici testen een van de Japanse schotels met een middellijn van zestien meter. Ook in deze telescopen worden straks de Nederlandse band 9-ontvangers geplaatst. Die zullen turen naar nu nog onbekende gaswolken en objecten in het heelal.

**I**k beseft dat ik serieus ziek kan worden van dit bezoek, of zelfs dood kan gaan." Punt drie van de gezondheidsverklaring die ik moet tekenen voordat ik verder omhoog mag naar de 'high site' liegt er niet om. Blijkbaar is het link om naar vijf kilometer hoogte te reizen op de grens van Chili en Bolivia. Helemaal als je normaal onder zeeniveau woont. In een kleine medische post meet de dokter van dienst mijn bloeddruk, hartslag en de zuurstofratio in mijn bloed. "Hartslag 78, bloeddruk 117 over 88 en saturatie 91 procent. Oké, je

mag omhoog."

De dokterspost ligt verstopt tussen hagelnieuwe prefab-woninkjes, instant-kantoren en een hele reeks gebouwtjes waarvan niet meteen duidelijk is welke functie ze in de toekomst gaan vervullen. Dit 'dorpje' staat drieduizend meter hoog op een bergwand. Aan de dalkant een adembenemend uitzicht over de Salar de Atacama, het grootste opgedroogde zoutmeer van Chili. Als ik me omdraai, zie ik de piek van de stratovulkaan Licancabur, die nog eens drieduizend meter boven ons uit torent. Iets ten oosten van die vulkaan moet



## STERREN KIJKEN

# Op eenzame hoogte



↑ ALMA wordt gebouwd aan het begin van de Andes, vlakbij de stratovulkaan Licancabur (6000 meter hoog). Het is een van de droogste plekken ter wereld; ideaal voor astronomische waarnemingen met een telescoop als ALMA.

← De supergevoelige instrumenten van APEX worden gekoeld tot 272,85 graden onder nul. Dat is 0,3 graden boven de absolute minimumtemperatuur. Voor de koeling wordt elke dag een vat helium bijgevuld, wat medewerkers drie uur kost.

← Laboca is een van de supergevoelige APEX-instrumenten. In feite bestaat deze zogenoemde bolometer uit 295 heel precieze thermometers, in een achthoek bij elkaar geplaatst. Kosmische straling kaatst via een spiegel op deze 295 'pixels'. Zo ontstaat een beeld van het koude heelal.

↑ De Operations Support Facility, ook wel ALMA Camp genoemd, is volop in aanbouw. Vanaf september 2008 rolt hier elke maand een nieuwe schotelantenne van de band. Er is plaats voor zeven schotels: vier binnen en drie buiten.

## ALLEEN ANTARCTICA IS DROGER DAN DE ATACAMAWOESTIJN

↑ Het Atacama Pathfinder Experiment, kortweg APEX, op vijf kilometer hoogte, gezien van achter de luxaflex in het servicegebouw. Hier kunnen astronomen en technici op adem komen. Binnen is namelijk de zuurstofsituatie van drie kilometer hoogte nagebootst.

ik zijn, op Llano de Chajnantor. Nu is dat nog een lege vlakte groter dan Amsterdam, over vijf jaar is het de droom van elke astronoom. Want in 2012 staat hier de grootste radiotelescoop ter wereld: de *Atacama large millimeter array*, afgekort ALMA, die bestaat uit 66 schotelantennes die samen verder het heelal in kunnen kijken dan ooit voor mogelijk gehouden werd.

### BOVEN DE MONT BLANC

In een busje met collega-journalisten en mensen van de Europese zuidelijke sterrenwacht ESO rijden we langs de uitgestrekte cactusvelden verder het Andesgebergte in. Hier en daar loopt een ver-

dwaald troepje lama's of een wilde ezels. Anders dan wij zijn zij *wel* geweest aan het leven op grote hoogte. Het horloge van cameraman Maurits begint te piepen. Zijn hoogtemeter knippert op 3776 meter, de hoogte van Mount Fuji in Japan. Even later horen we opnieuw van hem: nu zitten we boven de Matterhorn in Zwitserland en kort daarna passeren we zelfs de hoogste top van West-Europa: de Mont Blanc. Een klim die bergbeklimmers soms weken kost, doen wij in vijf kwartier over een halfverharde weg. Dat klinkt makkelijker dan het is. Hoe hoger je komt, hoe meer last je krijgt van zuurstofarmoede. De lucht is hier twee keer zo ijl als op zeeniveau; je hart moet daardoor harder pompen om voldoende zuurstof naar je hersenen te brengen. Ik merk dat ik steeds langzamer wil bewegen. Mijn vingers tintelen, een lichte hoofdpijn komt opzetten. Terwijl mijn lichaam in gevecht is met de omstandigheden, doemt door de voorruit een grote schotelantenne op. Het is APEX

(het Atacama Pathfinder Experiment), een voorloper van het geheel aan schotels dat hier straks over de vlakte verspreid staat. Van die vlakte is nu helemaal niets te zien. We zijn op een van de droogste plekken ter wereld en uitgerekend vandaag raast een sneeuwstorm over de anders zo imposante Llano de Chajnantor. Met lood in mijn benen klim ik in de APEX-telescoop om te kijken hoe twee operators het koelsysteem bijvullen met vloeibaar helium (de meetinstrumenten van deze telescoop werken alleen bij een ijzige 270 graden Celsius onder nul).

Langzaam dringt het tot me door hoe die bergbeklimmers op een expeditie naar de top van de Mont Blanc zich moeten voelen. Zuurstof... Zuurstof... Eigenlijk is het een onmogelijke opgave: een telescoop bouwen op vijf kilometer hoogte. Daarom doen Chilenen het zware werk. Zij zijn gewend aan de omstandigheden; veel koper- en nitraatmijnen liggen hier ook hoog in de bergen. Zij vrolijk sjouwend met leidingen en platen voor het plafond van een nieuw kantoor, alle Europeanen (inclusief de staf van ESO) aan de zuurstof. Af en toe een flin-

ke hijs aan een van de flesjes O<sub>2</sub> doet wonderen. Ineens produceer je weer een handschrift dat te lezen is en stel je vragen die niet krom staan van de grammaticale onzin. Een enkeling moet wat langer aan de fles, omdat de zuurstofsaturatie in zijn bloed is gedaald onder de magische grens van tachtig procent.

### TELESCOPENFABRIEK

Na anderhalf uur keren we terug naar het Operations Support Facility, door de *locals* omgedoopt tot ALMA Camp, op drie kilometer hoogte. Projectmanager en astronoom Tony Beasley legt uit wat we zullen zien als we over vijf jaar nog eens langskomen: "ALMA wordt het grootste observatorium in de geschiedenis. Dat werkt eigenlijk net als een zoomlens op je foto-toestel: zet je de telescopen dichtbij elkaar, dan kun je een groot deel van de hemel onderzoeken, maar niet zo heel scherp. Zet je ze wijd uit elkaar, dan heb je een telelens en kun je een heel klein stukje onderzoeken met een heel

hoge resolutie. In de wijde opstelling is ALMA een microscoop voor de hemel." Het kost soms dagen om zo'n wijde opstelling te maken. Elke telescoop wordt apart vervoerd op een speciaal hiervoor gebouwd voertuig met 28 wielen dat net zoveel vermogen heeft als twee Formule 1-wagens. Beasley ging twaalf jaar geleden voor het eerst omhoog naar Chajnantor. "Toen was hier nog helemaal niets. We reden met twee trucks. Als die het begaven, dan was je dood. Zo simpel was het. Ik dacht toen: op zo'n afgelegen plek in de woestijn kun je nooit een telescoop bouwen. Maar zodra je een weg aanlegt, komt alles in een stroomversnelling terecht en blijkt ineens heel veel mogelijk." Begin volgend jaar is ALMA Camp af. Dan staat er een mini-industrie, helemaal gericht op het AIV-proces: assemblage, integratie en verificatie. Schotelontvangers komen in onderdelen de berg op en worden hier in elkaar gezet, getest en klaargezet voor transport naar boven. Elke maand spuugt de fa-

briekshal een telescoop uit. In totaal moeten het er 66 worden: 25 van Amerika, 25 van Europa en 16 van Japan. ALMA is daarmee de grootste internationale samenwerking ooit in de astronomie. **VIJANDIGE ATMOSFEER** Waarom al die moeite? En waarom helemaal in Chili, twaalfduizend kilometer ten zuidwesten van het ESO-hoofdkwartier in Duitsland? Dat heeft alles te maken met de soort straling waar ALMA voor gebouwd is. De telescoop ontvangt frequenties tot 1 terahertz. Deze straling gaat dwars door van alles heen, behalve door waterdamp.

"De atmosfeer is de vijand," zegt APEX-stationmanager David Rabanus. "Daarom gaan we zo hoog mogelijk zitten, zodat er zich zo weinig mogelijk waterdamp bevindt tussen de telescoop en de objecten in de ruimte die we willen waarnemen." Zelfs in de bijna altijd onbewolkte Atacamawoestijn zit er waterdamp in de lucht, al is het niet veel. Als je het opvangt en uitgiet over de grond sta je in een plasje van nog geen halve millimeter diep. Tien weken per jaar zijn de waarnemingsomstandigheden optimaal en is het plasje zelfs maar 0,2 millimeter. Tegen zo'n droge lucht kan alleen Antarctica op.

## IJSKOUDE INSTRUMENTEN

ALMA is een radiotelescoop die straling uit het heelal onderzoekt. Die straling kun je onderbrengen in het elektromagnetisch spectrum, dat loopt van extreem lage radiofrequenties (50 hertz of minder) aan de ene kant tot röntgenstraling (een triljoen hertz) en gammastraling aan het andere uiterste. In golf lengtes uitgedrukt kan ook: radiogolven zijn lang (tot zelfs duizenden kilometers) en röntgenstraling is kort (tienden van nanometers). ALMA ziet straling in het zeer verre infrarood en het submillimetergebied van het spectrum. Deze straling kun je alleen ontvangen met extreem gekoelde instrumenten. Alles boven de -269 graden Celsius zou de waarnemingen verstoren.



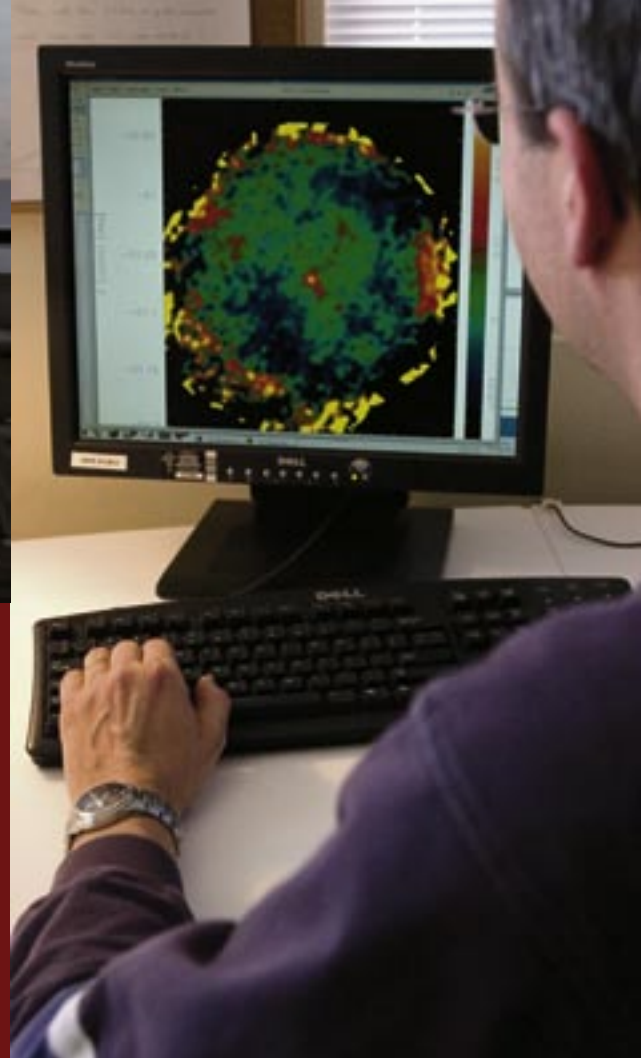
← Voor de bouw van ALMA moest 43 kilometer weg aangelegd worden. Om de natuur niet al te veel te verstoren, werden tientallen cactussen 'getransplanteerd' naar een nieuwe locatie. Ook de ezels en andere dieren konden rekenen op bescherming. Alles om de Chileense bevolking te vriend te houden...

↓ APEX wordt met een microgolfverbinding aangestuurd vanuit het APEX Control Centre. Zo wordt 45 kilometer glasvezelkabel bespaard. Het controlecentrum heeft veel weg van een vakantieverblijf. Al moeten astronomen lange dagen (en nachten) draaien, hier net buiten San Pedro.



↑ Japan bouwt zestien van de 66 schotelantennes voor ALMA. Aan de eerste drie wordt hard gewerkt op drieduizend meter hoogte in ALMA Camp. Samen vormen de schotels in 2012 het hart van de supertelescoop.

← Helemaal klaar telt ALMA 66 schotelantennes die tegelijkertijd naar hetzelfde object aan de hemel kijken. Ruim een miljard euro aan hardware op het dak van de wereld. De verwachtingen onder astronomen zijn hooggespannen.



Daar is het nog een factor tien droger, maar de kosten om er een telescoop neer te zetten zijn daar ook minstens tien keer zo hoog. Als je voor een miljard euro aan hightech-apparatuur op het dak van de wereld zet, krijg je daar wetenschappelijk heel wat voor terug. Optische telescopen zoals de Very Large Telescope (ook in Chili) of de Hubble-ruimtetelescoop maken mooie kleurrijke platen. Maar ALMA ziet wat zij niet zien, door lagere frequenties te onderzoeken. "Een plaatje zegt meer dan duizend woorden," stelt APEX-projectwetenschapper Carlos De Breuck grijnzend, "maar een spectrogram zegt meer dan duizend plaatjes." Een spectrogram is een grafiek die vertelt hoeveel straling de telescoop ontvangt bij verschillende frequenties. De pieken en dalen in zo'n spectrogram heten spectraallijnen. "Dat zijn de vingerafdrukken van moleculen in het heelal. Vaak kom je heel bekende spectraallijnen tegen, zoals die van koolmonoxide. Maar soms

## ALMA ZIET WAT DE HUBBLE-TELESCOOP NIET ZIET

vinden we lijnen waarvan we nog niet weten bij welke moleculen ze horen. Dat zijn de verrassingen van het universum."

### NIEUWE PLANETEN

De Breuck leidt me rond in het controlecentrum van APEX net buiten San Pedro, een wildwest-achtig dorpje aan de voet van het Andesge-

bergte met stoffige straten en alleen huizen van één hoog. Basecamp APEX valt een beetje uit de toon. Het is meer een soort vakantiedorpje. Keurige huisjes voor de dienstdoende astronomen en een gezamenlijke ruimte waar je kunt fitnesssen, tafeltennisballen of poolen. Het kloppend hart is een ronde bunker vol computerapparatuur.

## 'S NEERLANDS TROTS: BAND 9

"Vijfduizend meter is een dure hoogte," zegt Joost Adema van het Kapteyn Instituut in Groningen. "Dat ALMA juist daar gebouwd wordt, komt voor een groot deel door Nederland." Een combinatie van Nederlandse instituten bouwt voor ALMA namelijk de zogenoemde band 9-ontvangers, bedoeld voor frequenties van 600 tot 720 gigahertz. Deze frequenties worden in de atmosfeer snel door waterdamp opgevreten. Op drie kilometer hoogte kun je ze niet meer ontvangen. Ga je naar vijfduizend meter, dan is het nog wel te doen. Volgens de bouwers zijn de Nederlandse band 9-ontvangers vijftig keer gevoeliger dan elk ander instrument in hetzelfde frequentiebereik en gaan astronomen een spannende tijd tegemoet. Hoe sterren en planeten precies ontstaan, is straks geen raadsel meer. En zelfs het weer op planeten rond andere sterren dan de zon kan met ALMA bestudeerd worden.

's Nachts zitten hier astronomen waarnemingen te doen. Overdag zijn ze boven bij de schotel, in een kantoor met zuurstof als airconditioning vanwege de zware omstandigheden. De Breuck: "Als er iets vastloopt, moet je snel in kunnen grijpen. Anders loop je het risico dat de schotel pal in de zon komt te staan. Het zonlicht wordt dan automatisch door de schotel gebundeld in de ontvanger. En dan branden alle kabels door." Op het dak van het basecamp APEX staat een zender/ontvanger voor microgolven. Het is de enige link naar de telescoop, want 45 kilometer glasvezel aanleggen in een rotswoestijn paste niet in de begroting. Commando's voor de telescoop gaan van het basecamp naar het tussenstation van Cerro Chico, veertig kilometer verderop. Tussen dat station en de telescoop, nog zo'n vijf kilometer, ligt wel een kabelverbinding. De Breuck en zijn collega's gebruiken APEX de komende jaren vooral om interessante gebieden te zoeken voor de supertelescoop

↑ De Belgische astronoom Carlos De Breuck toont resultaten van waarnemingen met de APEX-telescoop. Waar optische telescopen het af laten weten, gaat de radio-astronoom verder. Want die kan door donkere stofwolken heen kijken.

ALMA. Wolken van koolmonoxide, maar ook de verste (en dus vroegste) sterrenstelsels in het heelal. En stofschijven rond sterren zoals Beta Pictoris, waar op dit moment nieuwe planeten worden 'geboren'. Als ALMA de verwachtingen waarmaakt, is het niet alleen mogelijk om planeten te zien ontstaan, maar zelfs om de omstandigheden te onderzoeken op planeten die honderden lichtjaren van de aarde staan. APEX-stationmanager David Rabanus kan niet wachten tot de 66 schotels in volle glorie op de Chajnantor-vlakte staan: "Het zuidelijk halfrond is in de frequenties die ALMA kan zien nog nauwelijks onderzocht; het is terra incognita. We gaan vanaf deze plek in Chili nog heel veel ontdekken..."