

# Utrechtse open torentelescoop ziet eerste licht

Felix Bettonvil en Rob Hammerschlag Sterrekundig Instituut Universiteit Utrecht

**F. Bettonvil en R. Hammerschlag** Op 31 oktober 1997 stelde prins Willem-Alexander officieel de Utrechtse open torentelescoop -formeel DOT (Dutch Open Telescope) genoemd- op de op het Canarische eiland La Palma gelegen sterrenwacht Roque de los Muchachos in bedrijf. De DOT is een nieuw type telescoop voor sterrenkundige waarnemingen met een hoog hoekoplossend vermogen zowel 's nachts als overdag. Elementair en revolutionair is dat de telescoop niet staat opgesteld in een koepelvormig gebouw; hij bestaat uit een open torenconstructie van 15 m met daarop een -eveneens open- telescoop. Hierdoor wordt gegarandeerd dat de lucht vrij door het instrument kan stromen. Wind blijkt essentieel om de lucht thermisch homogeen te krijgen: kleine verschillen in temperatuur veroorzaken al een merkbare verandering van de brekingsindex en verstoren daarmee het zicht door de atmosfeer.

## Seeing

Een veel gebruikte term in de astronomie is het engelse woord *seeing*. Het wordt gebruikt om de mate van beeldbederf aan te duiden als gevolg van de weg van het licht door de aardse atmosfeer. Vooral het onderste stuk van de atmosfeer zorgt voor veel problemen aangezien er sterke warmte-uitwisseling met het aardoppervlak plaatsvindt en de lucht daar ook de grootste dichtheid heeft. Sterker nog, vooral de directe omgeving van de telescoop kan heel grote invloed hebben, met name als de telescoop in een gebouw staat of is omringd door interne warmtebronnen. Dit wordt *interne seeing* genoemd en juist dit gebied vereist aandacht van de ingenieur.

Uit temperatuurmetingen aan masten bleek dat op enige tientallen meters hoogte de temperatuurverdeling veel homogener is dan bij de grond. Voorwaarde is wel dat er sprake is van wind. Het idee van een echt open telescoop op een open constructie boven de grond lag voor de hand...

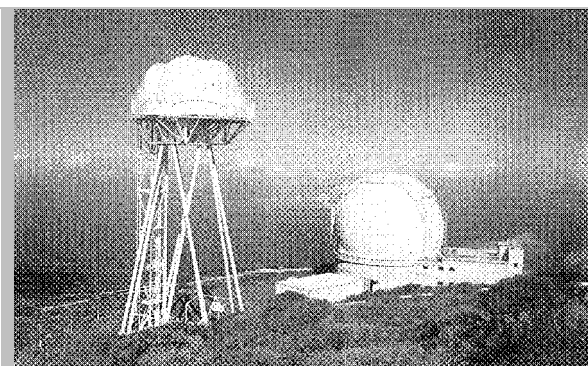
## Fijnmechanisch

Naast het streven naar een zo open mogelijk instrument moest bij het ontwerp bereikt worden dat de constructie tegelijkertijd ook voldoende stijf is om weerstand te kunnen bieden aan de variabele windbelasting. Dit geldt zowel voor de torenconstructie als voor de telescoop. Ook de aandrijving van de telescoop moet stijf zijn en tegelijkertijd bijzonder gelijkmatig lopen, zonder noemenswaardige stick-slip

Een ander aspect betrof het thermische

Uitzettingsverschillen zijn onvermijdelijk. Maar zolang relatieve verplaatsingen tussen samengeschoefde onderdelen geleidelijk zijn, zijn ze alleen van invloed op de positionering van de telescoop en niet op de beeldkwaliteit. Ze zijn echter funest indien daarbij schokjes optreden. Wederom dus stick-slip, die door speciale maatregelen voorkomen moet worden.

Ondanks de grote fysieke afmetingen van de telescoop heeft het project door dit alles bij uitstek een fijnmechanisch karakter. Ontwerp en vervaardiging vond grotendeels plaats door het Sterrekundig Instituut en de Instrumentele Groep Fysica van de Universiteit Utrecht alsmede door de Centrale Werkplaats van de Technische Universiteit Delft. Het project wordt ondersteund door de Technologiestichting STW.



Figuur 1: De Dutch Open Telescope (DOT) temidden van enkele andere telescopen van de sterrenwacht Roque de los Muchachos op La Palma. Zichtbaar achter de DOT is de William Herschel Telescope (WHT), de grootste van de drie Brits-Nederlandse nachttelescopen op La Palma.

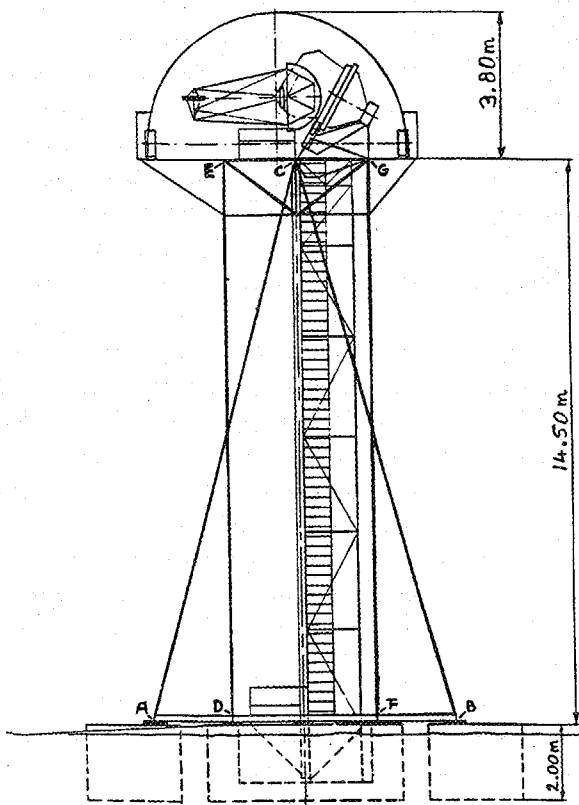
## Utrechtse open torentelescoop

Figuur 1 laat de DOT zien op de Roque de los Muchachos temidden van de andere telescopen. Door zijn karakteristieke open constructie valt hij onmiddellijk op.

### Toren

Bij de toren is gekozen voor een stalen constructie. De vraag is of zo'n constructie voldoende stijf te maken is, zodat de veroorzaakte beweging door de wind kleiner blijft dan de buigingsgrens van de telescoop (ordegrootte 0.1", of wel 1/20.000e van de diameter van de Zon). Een klassieke oplossing is twee torens in elkaar te bouwen waar de binnenste de telescoop draagt en de buitenste de binnenste omsluit. Bij zo'n oplossing vraagt vooral de overspraak tussen de funderingen bijzondere aandacht. Daarnaast is het onvermijdelijk dat de telescoop zelf blootgesteld is aan wind waardoor dus toch voor de binnentoren stijfheidseisen gelden. Voor de DOT werd daarom gekozen voor een enkele stijve toren. Bij het doen van astronomische waarnemingen bevinden alle objecten zich dusdanig ver weg dat het alleen nodig is de toren rotatiestijfheid te geven; translaties van het torenplatform leiden immers niet tot een verschuiving van het telescoopbeeld.

Figuur 2:  
Principe-schets van de DOT. De toren bestaat uit 4 driehoeken, opgesteld in twee parallelle paren: het eerste parallel aan het vlak van tekening (driehoek ABC en de daar achterliggende), het tweede loodrecht op het vlak van tekening (driehoek afgebeeld door DE en door FG). De telescoop staat in de parkeerstand en de vouwbare tent is gesloten.



Figuur 2 en 3 illustreren het gebruikte principe. De toren bestaat uit vier driehoeken opgesteld in twee parallelle paren. Elk paar geeft stijfheid in één richting en functioneert als parallelgeleiding in de andere. Alle vier de driehoeken samen geven stijfheid tegen rotatie rond de verticale as.

De stijfheid van een driehoek in zijn vlak is proportioneel met het kwadraat van de sinus van zijn tophoek. Een tophoek van 30° blijkt dan voldoende te zijn om te voldoen aan de gestelde stijfheidseisen. Bij een dergelijke tophoek zou, indien we uitgaan van vier basispunten op de grond, een veel groter torenplatform ontstaan dan vereist is



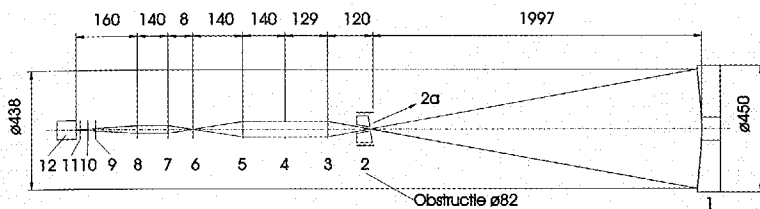
Figuur 3: De DOT in werking. Let op de rubberen dempers halverwege iedere torendriehoek die er voor zorgen dat de staven op elkaar dempen bij het eventueel aanslaan in de wind.

voor de telescoop. Om deze reden zijn de driehoeken naar elkaar toe geschoven. Dit geeft acht basispunten in plaats van vier.

Modellen toonden aan dat het van groot belang is zoveel mogelijk de mathematische driehoek te benaderen: het niet goed laten samenkomen van de staven in de punt kan namelijk tot aanzienlijk verlies van stijfheid leiden. Bij het uiteindelijke ontwerp is hier veel aandacht aan besteed.



## Utrechtse open torentelescoop



Figuur 5:

Schematische weergave van het optisch systeem van de DOT (niet op schaal, afmetingen in mm).

1. Hoofdspiegel,  $\varnothing$  450mm (effectief  $\varnothing$  438mm bepaald door pupil diafragma, Pos. 4). Brandpuntsafstand 1997mm. Gat in hoofdspiegel  $\varnothing$  80mm. Materiaal: Cervit
2. Diafragma  $\varnothing$  1.6mm, watergekoeld (debiet 6 dm<sup>3</sup>/min) en voorzien van luchtafzuiging.
  - 2a. Gereflecteerde bundel van diafragma met overtollige licht.
3. Commerciële achromaat, brandpuntsafstand 120mm.
4. Pupildiafragma.
5. Commerciële achromaat, brandpuntsafstand 140mm.
6. Velddiafragma  $\varnothing$  0,52mm overeenkomend met beeldhoek van 46°.
7. Commerciële micro-objectief, Plan-apochromaat 20x, brandpuntsafstand  $\approx$ 8mm.
8. Tubuslens behorend bij micro-objectief, brandpuntsafstand  $\approx$ 160mm.
9. Commerciële interferentie filter, 546nm, bandbreedte  $\approx$ 7nm, transmissie  $\approx$ 60%
10. Absorberend grijsfilter, transmissie  $\approx$ 10%
11. Infrarood filter behorend bij CCD-camera.
12. CCD-camera (Hitachi KP-M1 industriële 2/3" videocamera, 756x581 pixels, pixelafmetingen: 11,0x11,0  $\mu$ m).

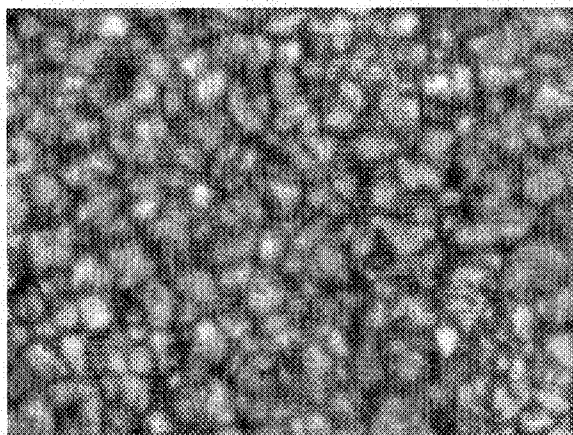
### Instrumentatie

Op dit moment is alle instrumentatie ondergebracht achter het primaire focus in de kop van de telescoop, zie figuur 4. In feite bestaat deze secundaire optiek uit een vergrotingssysteem en een spectraal bandfilter zoals weergegeven is in figuur 5. Zoveel mogelijk zijn standaard componenten gebruikt en dit maakt dat beste resultaten bereikt worden bij een golflengte van circa 550 nm vanwege de nog aanwezige sferische aberratie op andere golflengten. Bijzonder is de aanwezigheid van een watergekoeld diafragma in het primaire focus. Dit is nodig voor zonswaarnemingen waarbij in het primaire focus een intense afbeelding van de Zon gevormd wordt. Omdat slechts een klein deel van de Zon op de camera kan worden afgebeeld zorgt de resterende energie (circa 200 W) voor opwarming van instrumentatie en omringende lucht. Om te voorkomen dat deze opgewarmde lucht in de inkomende lichtbundel terecht komt, is een diafragma ontwikkeld dat door middel van reflectie, waterkoeling en luchtafzuiging vrijwel alle warmte elimineert. Koelpomp en ventilator staan ongeveer 25 m van de toren opgesteld om verwarming van lucht in de omgeving van het instrument tot een minimum te beperken.

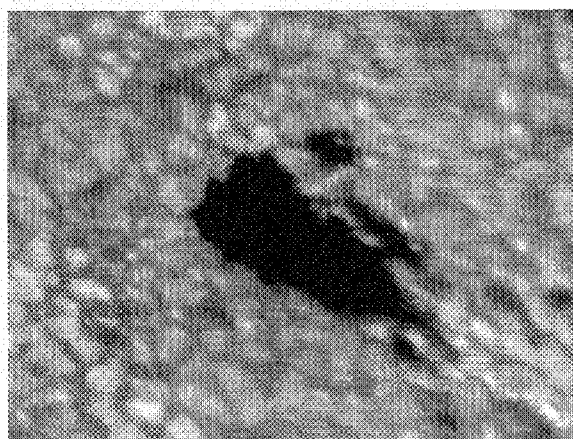
Besturing van de DOT en waarnemen gebeurt vanuit de op 60 m afstand gelegen Swedish Vacuum Solar Telescope SVST, zie figuur 1. Besturing, motorvoeding en beeldsignalen lopen door een stalen buis tussen de twee lokaties voor afscherming en bescherming tegen de gevolgen van blikseminslag.

### Beeldselectie

Vastleggen van de beelden wordt gedaan met een commerciële industriële videocamera. Vanwege de hoge beeldsnelheid is een videosignaal goed geschikt voor testen van het telescoopprincipe en kan seeing goed bestudeerd worden. Voor het maken van opnamen met hoge resolutie is het gebruikelijk kort te belichten (ordegrootte 10 ms) om beeldvervormingen als het ware te bevroren. Alleen de beste beelden worden voor analyse opgeslagen. Hiervoor



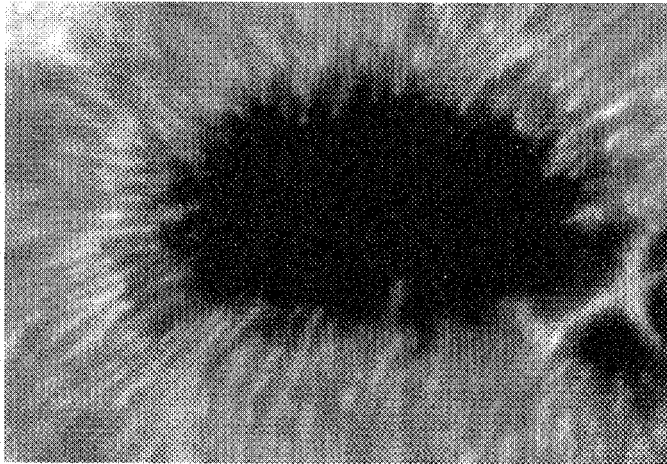
Figuur 6a



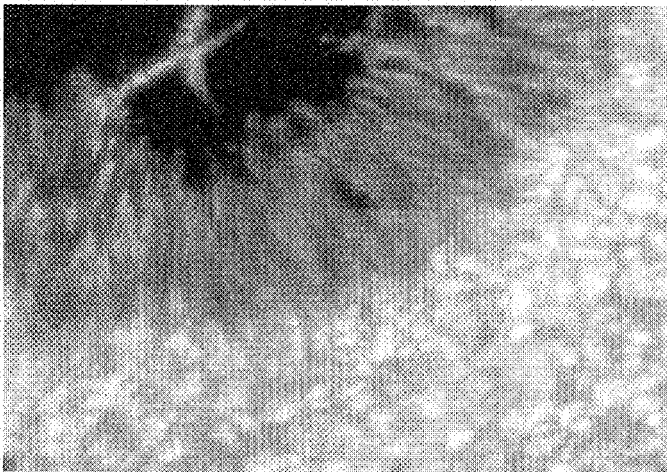
Figuur 6b

DOT opnamen van de Zon bij 546nm, beeldveld 32x24" (23000x17000km), a) granularie, b) kleine zonnevlek zonder penumbra,

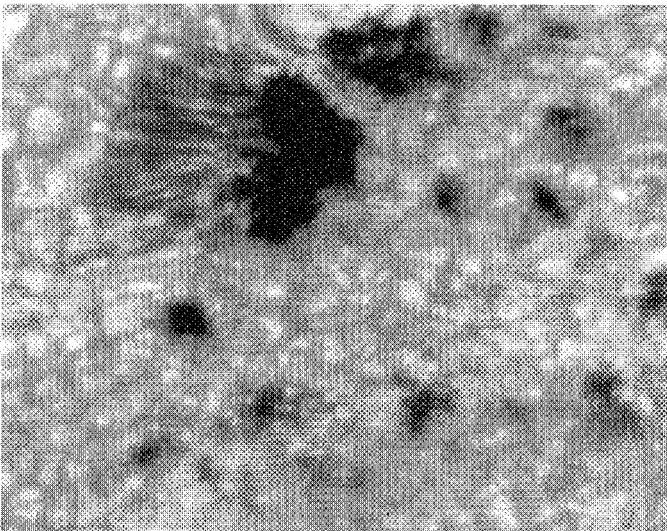
wordt real time het contrast in ieder beeld bepaald en de kwaliteit beoordeeld. Aangezien het zonsop-



Figuur 6c



Figuur 6d



Figuur 6e

Zelfde lichtgolflengte en beeldveld als bij figuur 6a en 6b.

c) grote zonnevlek met uitgebreide penumbra ("oog") en brugvormige structuur, d) zelfde vlek als c) met naburige granulatie, e) actief gebied met vele kleine vlekken en een gedeeltelijke penumbra.

pervlak pas na meer dan 10 seconden zichtbaar veranderd is, wordt alleen het scherpste beeld uit een tijdserie van 10 seconden bewaard.

### Eerste waarnemingen

Najaar 1997 werden de eerste waarnemingen gedaan van zowel sterren als Zon. De figuren 6 tonen de grote gedetailleerdheid van het oppervlak van de zon bij een golflengte van 546 nm. Het betreft afzonderlijke beelden waarbij alleen voor de donkerstroom en ongelijke gevoeligheid van de CCD-pixels is gecorrigeerd. Achteraf is het mogelijk uit een aantal beelden een nog beter resultaat te reconstrueren. Dit wordt wel spikkel-reconstructie genoemd. Deze techniek of andere soortgelijke aanscherpings-technieken zijn hier nog niet toegepast.

De afbeeldingen tonen het 'oppervlak' van de Zon, dat wil zeggen het deel van de Zon waar gasvormige convectiecellen hun energie afgeven naar buiten. Deze celstructuur wordt granulatie genoemd en is karakteristiek voor de Zon. Soms zijn ook donkere plekken te zien, zonnevlekken genoemd. Het zijn gebieden met magnetische activiteit die de convectiestromen naar buiten tegenwerken waardoor minder energie naar buiten komt.

De structuur van de fijnste details toont aan dat de DOT zijn theoretische buigingsgrens bereikt en reeds nu kan gesteld worden dat een open telescoop als de DOT geschikt is voor het doen van eerste klas astrofysica.

### Eerste winter

Enige scepsis ten aanzien van een open telescoop kan bestaan als men een open en dus slecht beschermde telescoop denkt op een hoge bergtop met ruige weersomstandigheden. Ook op het Canarische eiland La Palma doen zich die met name in de wintermaanden voor. Gemakkelijk kunnen zich letterlijk tonnen ijs afzetten als wolken met onderkoelde druppels het niveau van de sterrenwacht (hoogte 2350m) bereiken. De wind zorgt er voor dat het ijs tegen de wind in aangroeit en kan zo voor gevaarlijke situaties zorgen, in het bijzonder als hierna ook nog een storm optreedt. Bij de bouw van andere telescopen op de Canarische Eilanden is zo in het verleden meer dan een enkele bouwkraan gesneuveld.

In het ontwerp van de DOT is nadrukkelijk rekening gehouden met het vergrote oppervlak door ijsvorming en dus grotere windbelasting. De telescoop is



Figuur 7:

De DOT met gesloten tent in wintertijd. Er is ijsafzetting zichtbaar maar op het tentdoek zelf is dat minimaal vanwege de teflon-achtige coating.

Op de achtergrond is de koepel te zien van de Nordic Optical Telescope (NOT).

beschermd door een geheel wegvouwbare tent waarvan het PVC tentdoek met polyester weefsel gecoat is met een teflon-achtig materiaal (PVDF, merknaam Foraflon). Ijs kan zich hierdoor slechts moeilijk afzetten.

Inmiddels heeft de DOT zijn eerste echte winter doorstaan. Het weerstation van de naburige Nordic Optical Telescope registreerde toen een maximale windsnelheid van 48 m/s.

Het openen en sluiten van de tent bij windsnelheden tot 20 m/s leidde ook niet tot problemen. De tent is ontworpen voor sluiten tot 30 m/s en moet windsnelheden tot 70 m/s kunnen weerstaan.

Figuur 7 toont het instrument met gesloten tent.

### Nieuwe ontwikkelingen

Op dit moment wordt er hard gewerkt aan het uitbreiden van het optisch systeem. Er komt een nieuw focus om ook grotere instrumentatie een plaats te geven. Gepland is dit te realiseren naast de primaire spiegel. Dit is goed toegankelijk en maakt snel wisselen van instrumentatie (dag/nacht) mogelijk. Voor zonne-onderzoek kan dan gelijktijdig gewerkt worden in drie verschillende golflengten (430,5 nm, 393,4 nm en 656,3 nm).

Omdat het open principe nog nieuw is, bestaat er

veel interesse voor de thermische eigenschappen van de DOT: in hoeverre blijft de thermische homogeniteit van de omringende lucht gehandhaafd?

Uitgebreide temperatuurmetingen op alle kritische plaatsen zijn gepland in combinatie met meteorologische gegevens. Mogelijk komen hieruit nog verdere verbeteringen voort.

Met name voor zonnetelescopen is het DOT-principe bijzonder interessant omdat het mogelijkheden biedt voor een grotere klasse telescopen. Nog steeds wordt overwegend gebruik gemaakt van vacuümsystemen om de temperatuurvariaties in de lucht de baas te zijn. Een hoogwaardig afsluitvenster moet dan de luchtdruk weerstaan en moet tevens aan hoge optische eisen voldoen. In verband met de mogelijkheden voor vervaardiging van zo'n venster is de grens voor dit type telescoop wel bereikt bij 1 m diameter. Het principe van de DOT kan dan uitkomst bieden...

### Auteursnoot

Felix Bettonvil en Rob Hammerschlag zijn werkzaam bij het Sterrekundig Instituut Utrecht van de Universiteit Utrecht. Meer en actuele informatie over de DOT is te vinden op WWW: <http://www.fys.ruu.nl/~rutten/dot>