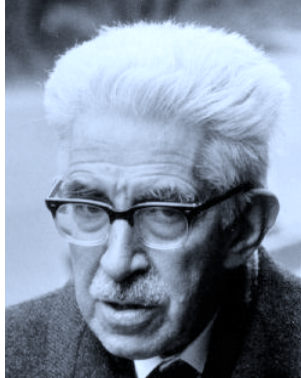
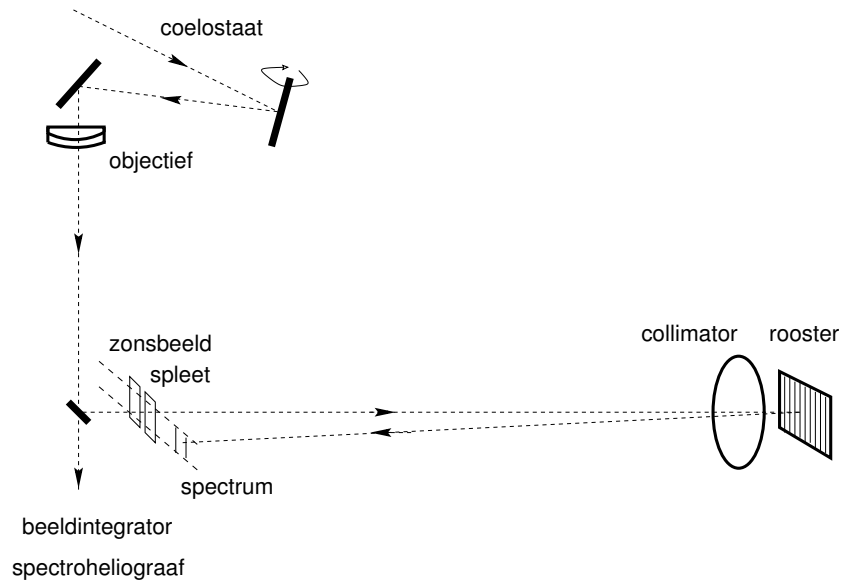
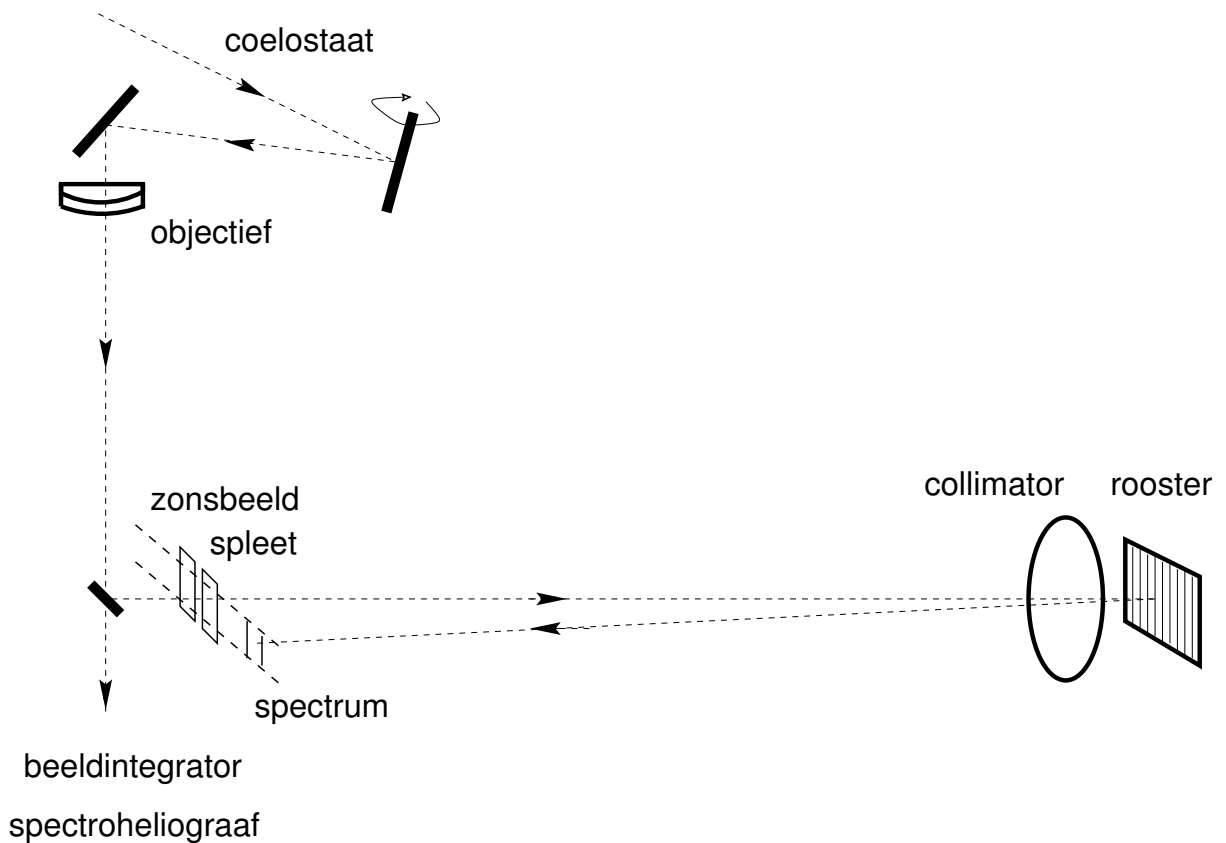


# ZONNEOPSTELLING SONNENBORGH



R.J. Rutten  
Sterrekundig Instituut Utrecht  
Voorjaar 2000

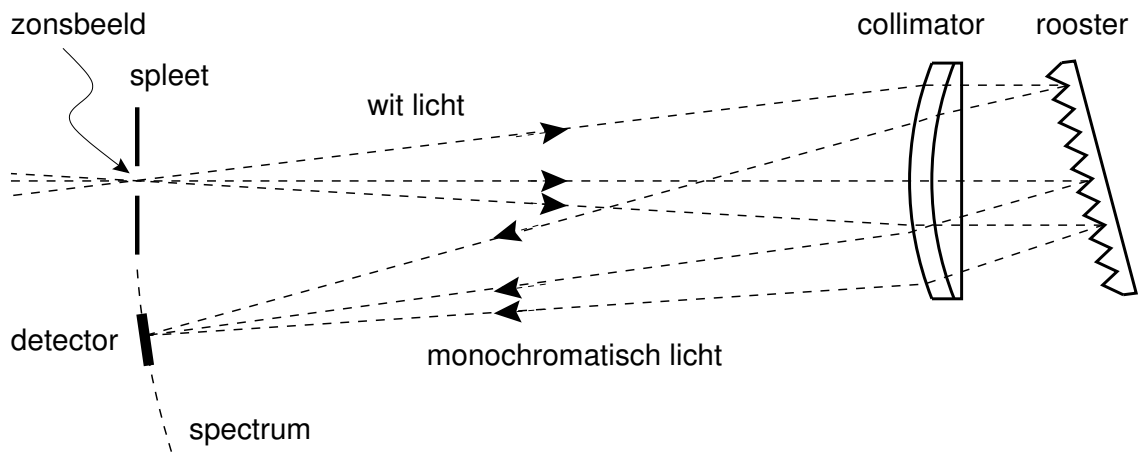


*Figuur 1: Optiekschema van de zonneopstelling, van opzij gezien, niet op schaal. De dimensies staan in Tabel 1 op bladzij 3. De coelostaat levert een stilstaande verticale bundel zonlicht. Het objectief vormt een zonsbeeld op de ingangsspleet van de horizontale spectrograaf. Het spectrum verschijnt ter weerszijden van de spleet. De beeldintegrator en spectroheliograaf (Appendix ) worden in deze proef niet gebruikt.*

## De Utrechtse zonneopstelling

**Inleiding** Deze tekst werd geschreven als een appendix bij de natuurkundeprakticumproef "Spectrografische bepaling van de zonsrotatie" waarin de zonneopstelling van Sterrewacht Sonnenborgh door tweedejaars-studenten natuurkunde van Universiteit Utrecht werd gebruikt om inzicht te geven in de werking van een spectrograaf. De instructie van deze proef, opgesteld in 2000 door R.J. Rutten, M.A. Brentjens, P.R. den Hartog, A.J.T. Poelarends, en M.V. van der Sluys, is nog aanklikbaar op <http://www.staff.science.uu.nl/~rutte101/rrweb/rjr-edu/onderwijs/opdrachten/sonnenborgh-znsp-2000.pdf>.

**Museum Sterrenwacht Sonnenborgh.** Op het bolwerk Zonneburg werd in 1855 door toedoen van C.H.D. Buys Ballot "Sterrenwacht Sonnenborgh" gevestigd. De universitaire astronomen verruilden het bolwerk in 1987 voor een minder sfeervolle étage van het Buys Ballot-laboratorium. Het beheer van de instrumenten werd overgenomen door amateursterrenkundigen van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrekunde die zich hiertoe verenigden in de werkgroep Volkssterrenwacht Sonnenborgh. Inmiddels wordt Sterrenwacht Sonnenborgh



Figuur 2: Stralengang in de spectrograaf, van boven gezien, niet op schaal. De spleet en de roosterkrassen staan loodrecht op het vlak van tekening. In het spectrum wordt de door de spleet doorgelaten uitsnede van het zonsbeeld monochromatisch afgebeeld.

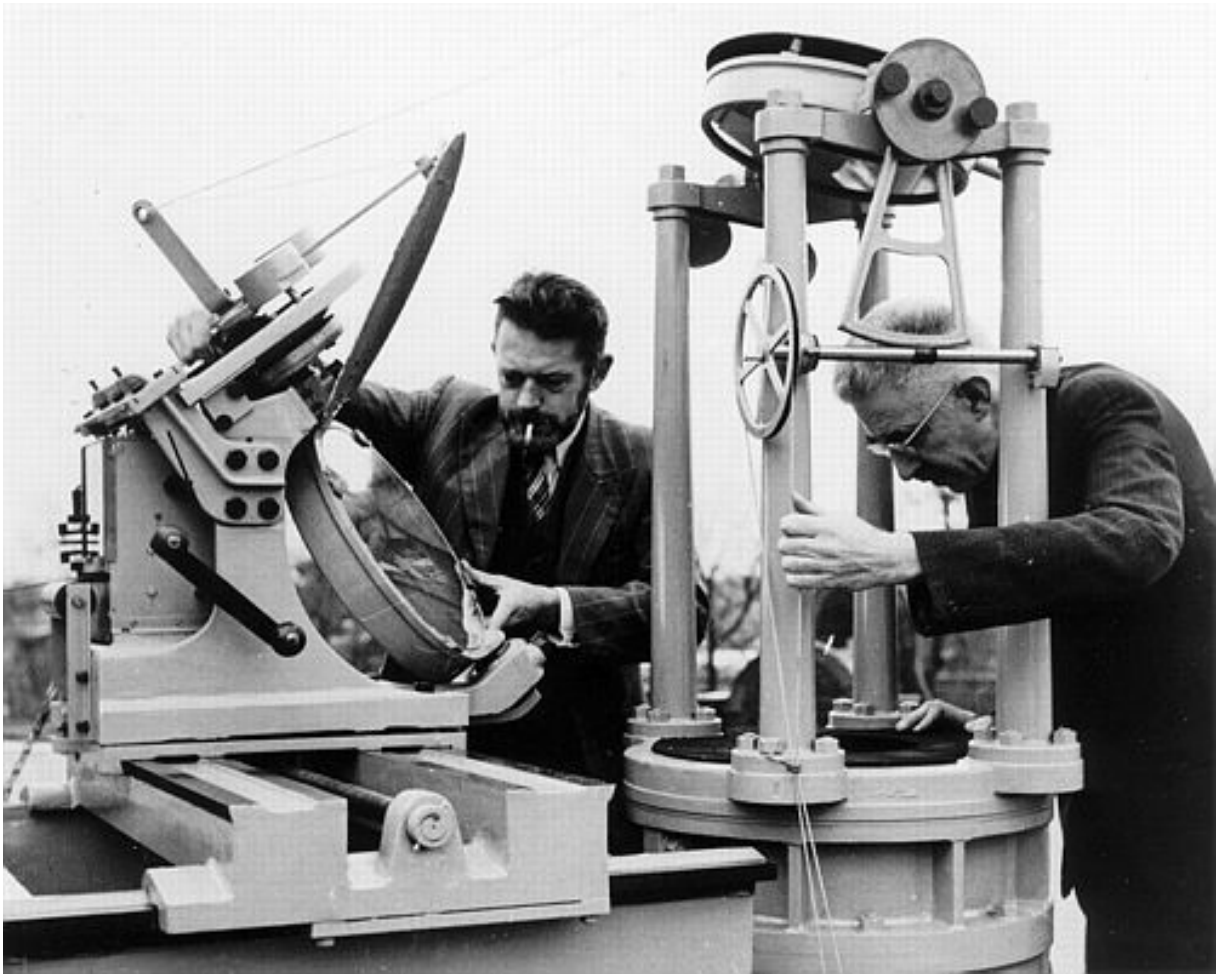
gerestaureerd en getransformeerd tot museum.

**Geschiedenis van de zonneopstelling.** De zonneopstelling werd oorspronkelijk in 1919 gebouwd in het toenmalige Fysisch Laboratorium door de directeur ervan, W.H. Julius, die een "heliophysische" afdeling oprichtte en zich bezig hield met de verklaring van de randverzwakking van de zon (net als de donkere lijnen het gevolg van de naar buiten afnemende temperatuur) en de verklaring van de spectraallijnen (waarbij hij het volledig mis had, zoals uitvoerig beschreven door Hentschel 1991, aanklikbaar op <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2010/5285/pdf/hen8.pdf>). Julius' zonneopstelling was de derde ter wereld, na die te Mount Wilson en Arcetri.

Minnaert was na zijn voorafgaande carrière als bioloog en natuurkundige onder Julius ook heliofysicus geworden, en nam de hele afdeling mee naar Zonneburg toen hij in 1937 directeur van de Sterrenwacht werd. Zo ook de zonneopstelling, die verkleind moest worden omdat het Fysisch Laboratorium aan de Bijlhouwerstraat drie verdiepingen had en Sterrenwacht Sonnenborgh maar twee. In 1940 kwam de zonneopstelling daar in gebruik, vooreerst zonder horizontale spectrograaf die in de vijftiger jaren werd toegevoegd.

In de jaren zestig werd de zonneopstelling onder leiding van C. de Jager uitgebreid gerenoveerd; daarna is er nog een fotoelectrische scanner bij gekomen en voegde B.J. Oranje de zonsintegrator toe. De plaatsing door het Julius Instituut van een CCD camera met computer voor deze proef is de eerste uitbreiding sindsdien.

**Spectroheliograaf.** De zonneopstelling bevatte oorspronkelijk alleen een verticale spectrograaf die ook als spectroheliograaf kon worden gebruikt. Dit was ook een roosterspectrograaf, in principe gelijksoortig aan de horizontale, maar kantelbaar gemonteerd om een draaipunt onder het rooster zodat de meekantelende ingangsspleet het zonsbeeld kon aftasten. Het spectrum werd dan bemonsterd door een eveneens meekantelende uitgangsspleet, die slechts één



Figuur 3: J. Houtgast en M.G.J. Minnaert bij de coelostaat, 1952

Tabel 1: Gegevens van de zonneopstelling, ontleend aan Oranje (1982, 1985).

coelostaat	twee vlakke spiegels, diameter 30 cm
volgsysteem	synchroonmotoren, 4-sensor randvolger in hulpbeeld
objectief	doublet, diameter $d = 14.5$ cm, brandpuntsafstand $f = 734$ cm
zonsbeeld	diameter 69 mm
spectrograaf	horizontaal, Littrow autocollimatie, single-pass
spleet	verticaal, 20 mm lengte, breedte instelbaar
collimator	Steinheil doublet <sup>a</sup> , brandpuntsafstand $f = 1260$ cm
rooster	Bausch & Lomb, vlak, $206 \times 154$ mm <sup>2</sup> , 1200 lijnen/mm
dispersie	$0.295 \text{ \AA}/\text{mm}$ in 2e orde bij $\lambda = 3950 \text{ \AA}$
scheidend vermogen	$\lambda/\Delta\lambda \approx 100\,000$

<sup>a</sup>Volgens Oranje fabricaat Steinheil, maar dit is niet een van de twee 26 cm objectieven die door Steinheil voor de "grote kijker" op Zonneburg zijn geleverd (daar zit echter een doublet van Merz in waar de kijker nu naar heet). Deze Steinheil was oorspronkelijk het objectief van Julius' zonneopstelling in het voormalige Fysisch Laboratorium aan de Bijlhouwerstraat.



*Figuur 4: C. de Jager bij de spectroheliograaf, 1944. De heliograafbuis kantelde om een draaipunt beneden in de kelder, zodat de ingangsspleet het zonsbeeld aftast. De Jager, toen nog zwartharig en met andere studenten ondergedoken op Zonneburg, verdraait de tweede coelostaatspiegel in azimut. Het touw met katrol en zandzak diende voor de elevatie-instelling met een worm en wormwiel die, met Minnaertse handbediening, te zien zijn in Figuur 3.*

spectraallijn doorliet tot de fotografische plaat. De laatste bewoog niet mee met de kanteling, zodat daarop een opname van de zon spleet-voor-spleet werd opgebouwd, genomen in het licht van de geselecteerde spectraallijn.

De techniek was oorspronkelijk rond 1900 door G.E. Hale op Mount Wilson tot grote bloei gebracht. Later, in 1960, ontdekten R. Leighton en medewerkers daar met een verfijning ervan<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Een interessante fotografische beeldverwerkingstechniek waarin periodieke variaties van de zonsintensiteit over het hele zonsoppervlak werden gemeten door positieve en negatieve spectroheliogrammen middels contact-



*Figuur 5: C. de Jager bij de coelostaat in 1957.*

de solaire vijf-minutenoscillatie (waarvan de verklaring in 1974 inmiddels tot het bloeiende vakgebied helioseismologie heeft geleid) en de supergranulatie (die nog steeds niet begrepen is). Beide verschijnselen zul je in je metingen tegenkomen. De Zonneburgse spectroheliograaf is sinds ongeveer 1970 buiten gebruik.

**Horizontale spectrograaf.** In de vijftiger jaren van de afgelopen eeuw werd de zonneopstelling uitgebreid met de horizontale spectrograaf die je in deze proef gebruikt. Minnaert kreeg tijdens een bezoek aan de VS het rooster kadoo. Toen hij daarmee terug kwam bedacht Houtgast dat het oorspronkelijk telescoopobjectief uit de de zonneopstelling in het Fysisch Laboratorium nog voorhanden was. De brandpuntsafstand bleek net te passen in het zonnelaboratorium. Later werd een koker aangebracht om turbulentie in de lichtweg te vermijden.

**Detectoren.** De zonneopstelling was gebouwd voor fotografische platen; die hebben tot einde jaren zestig als detector stand gehouden. De plaathouder waarin nu de CCD camera is gemonteerd stamt uit die tijd. De platen (emulsie op glas) werden uitgemeten met microfotometers, apparaten die op het Fysisch Laboratorium door Moll waren ontwikkeld en door Houtgast uitgebreid met een ingenieuze analoge ijkingscorrectie (zie het schema in het voorwoord van

---

belichting "af te trekken". Uitvoerig beschreven in Rutten (1989), aanklikbaar op <http://www.staff.science.uu.nl/~rutte101/rrweb/rjr-pubs/1989vakidiot-zonzingt.pdf>.

de Zonneatlas van Minnaert, Houtgast & Mulders 1940). Zo'n microfotometer was tot rond 1980 druk in gebruik in het kamertje naast het zonnelaboratorium, vanaf 1971 met digitale uitvoer op ponsband.

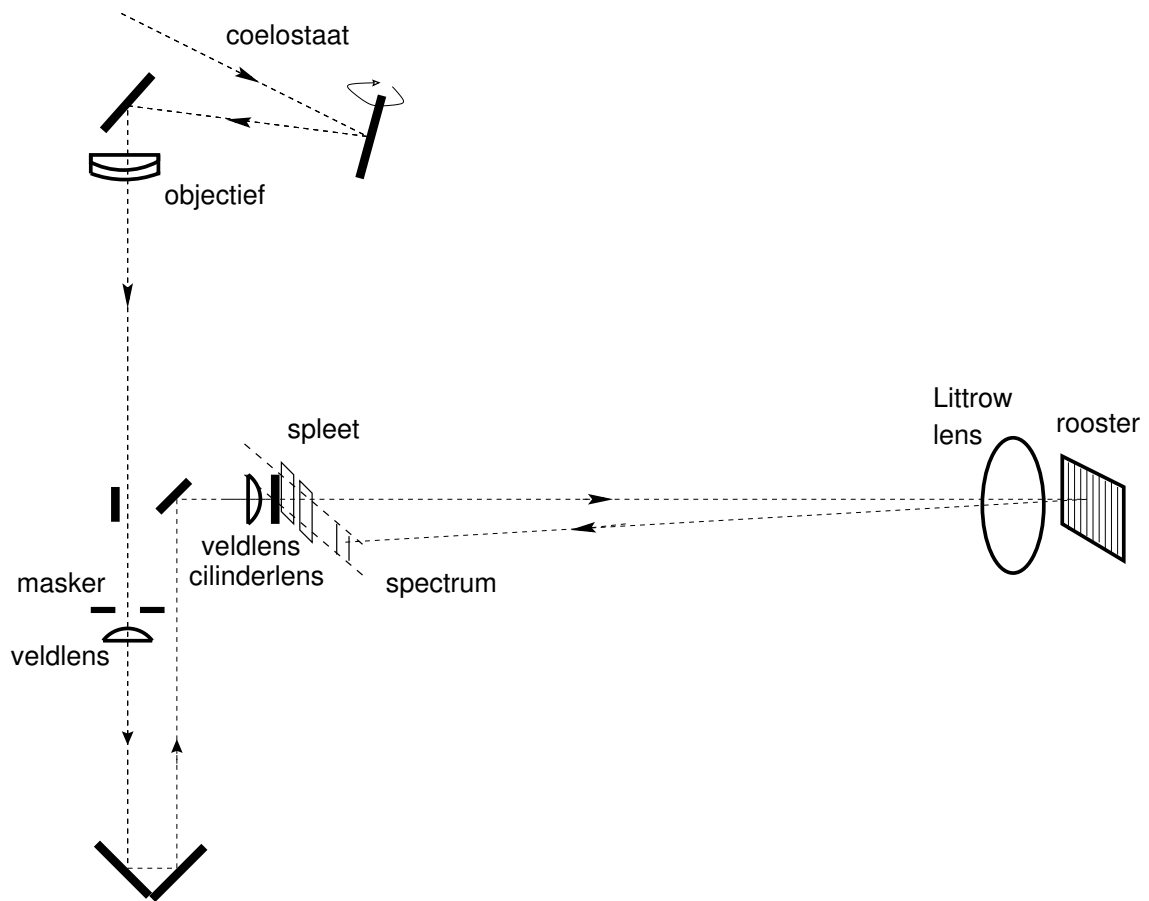
Rond 1974 kwam er een (nog steeds aanwezige) fotoelectrische scanner, waarin één "photomultiplier" (kathodestraalbuis met inwendige versterking) werd heen en weer bewogen, achter een uittredespleet, om het spectrum af te tasten terwijl een tweede stilstaande fotomultiplier diende om gelijktijdige wisselingen in de hemeloorlating te meten. De beide signalen werden electronisch op elkaar gedeeld, gedigitiseerd met een eigenbouw analoog-digitaal converter, en ook uitgevoerd op acht-gats ponsband, 1 byte per meting, 100 metingen per seconde. De ponsbanden gingen voor verwerking naar de universitaire computer op de Uithof; de voornaamste stap was het optellen van een groot aantal scans om de signaal/ruisverhouding te verbeteren. Later werd de ponsbanduitvoer vervangen door een Apple II computer waarin de scans ter plekke werden opgeteld.

De spectrograaf werd hierbij meestal in tweede orde gebruikt; zowel de fotografische korrelgrootte als de uitgangsspleet van de scanner eisten grootschalige afbeelding. De pixelgrootte van de CCD camera ( $23 \mu\text{m}$ ) is kleiner en noopt tot gebruik van de eerste orde in deze proef. In feite zijn dat nog relatief grote pixels; modernere CCD chips hebben pixels van  $7\text{--}12 \mu\text{m}$ . Spectrografen worden daarom nu veel compacter gebouwd dan voorheen.

**Zon-als-een-ster integrator.** Rond 1980 kreeg de zonneopstelling nieuw wetenschappelijk leven ingeblazen door conversie tot "zon-als-een-ster" spectrograaf waarmee het stellaire gebruik van de emissiekernen in de sterke Ca II K  $3933.7 \text{ \AA}$  lijn als magnetometer werd geijkt (proefschrift Oranje 1985).

Het schema staat in Figuur 6. Het lijkt misschien gemakkelijk om de zon als een ster waar te nemen maar dat is het helemaal niet. Van de zon krijg je intensiteit, energie per eenheid van ruimtehoek (steradiaal), maar sterren worden niet opgelost in telescopen zodat je daarvan slechts de "irradiantie" of "flux" ontvangt, zonder meting per eenheid van ruimtehoek. Je kunt niet simpelweg een microscoopobjectief voor de spleet zetten om het zonsbeeld tot een puntje te reduceren dat als een ster geheel binnen de spleet valt (waarvan de breedte wordt gedictieerd door de gewenste spectrale resolutie) omdat de bundel dan na de spleet zo breed wordt dat er nauwelijks licht op het rooster terecht komt. Oranje's integrator gebruikt een cilinderlens in plaats van een microscoopobjectief, en schuift de telescoop en spectrograaf uitéén om richtingsmiddeling te bereiken. Een voordeel van deze opstelling is dat er ook over willekeurige delen van de zonnescijf gemiddeld kan worden, bijvoorbeeld over een enkel groot actief gebied. Daarmee kon op de zon getoetst worden hoe spectra van sterren tot stand komen. In het werk van Oranje (en ook van F. Middelkoop en R.G.M. Rutten) met de zonneopstelling werd dit onder leiding van C. Zwaan gedaan met de Ca II K  $3933.7 \text{ \AA}$  lijn omdat dat de beste indicator is voor de magnetische activiteit van koele sterren (spectraaltipe F, G en K).

**Moderne zonnetlescopen.** De zonneopstelling is nu onderdeel van een museum maar blijft instructief; zoals in de inleiding gezegd veranderen optische principes niet. Voorbeeld: de zeer succesvolle Zweedse zonnetelscoop op het eiland La Palma is eveneens een door twee vlakke spiegels gevoede verticale refractor. Anders is daar dat het zonlicht eerst door de lens valt, dan pas op de vlakke spiegels (en die zijn daar alt-azimut gemonteerd in plaats van parallactisch). De lens dient daarbij tevens als vacuumvenster; de verdere telescoop is leeggezogen

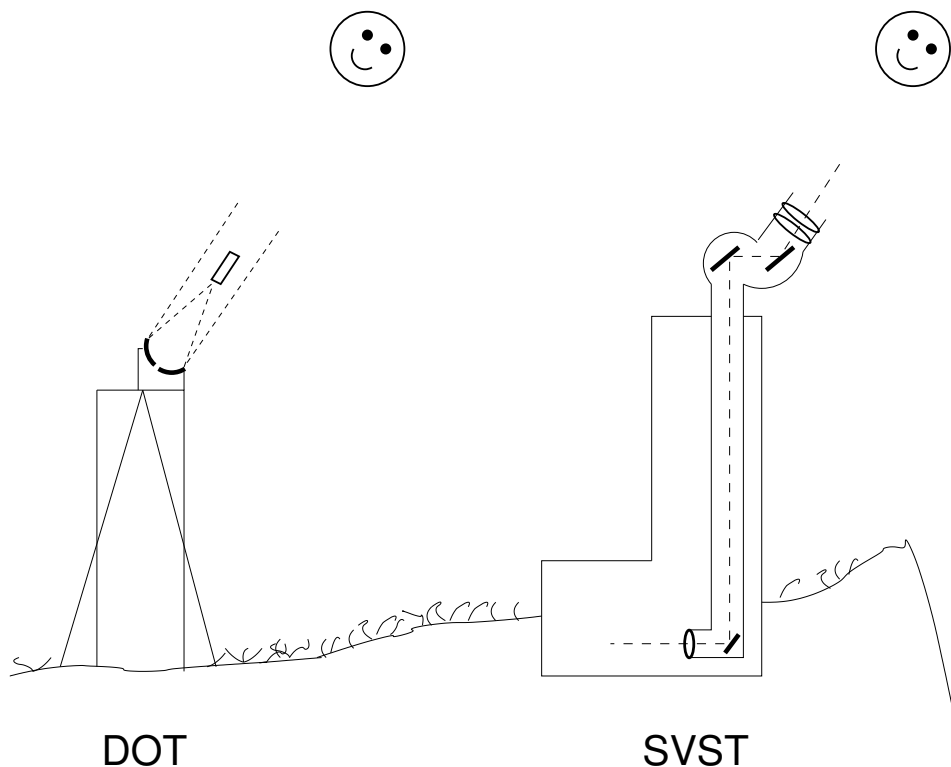


Figuur 6: Schema van de zonneopstelling met de beeldintegrator van B.J. Oranje. De buis van de spectroheliograaf werd gebruikt om een "optical delay line" ("lichttrombone") te installeren tussen telescoop en spectrograaf, zodat deze effectief uit elkaar worden geschoven. De lengte ervan is instelbaar door de twee 45°-spiegels onderin op en neer te hijsen. Een veldlens in het primaire zonsbeeld en een cilinderlens plus veldlens bij de spleet persen het hele zonsbeeld of een deel ervan door de spectrograafspleet; de cilinderlens (as evenwijdig aan de spleet) dient om een deel van het licht dat anders naast het rooster zou vallen er naar terug te buigen. Met een masker in het primaire focus kan een deel van de zon, bijvoorbeeld een groot actief gebied, worden geselecteerd voor optische integratie. Zo wordt het licht van de zon gemiddeld over dat deel, of over de hele schijf net zoals dat bij de waarneming van een puntvormige ster gebeurt.

om interne turbulentie te vermijden. De spectrograaf erachter is precies zo'n Littrow als die op Sonnenborgh, maar kleiner in overeenstemming met de maat van moderne CCD detectoren. Deze telescoop wordt momenteel verdubbeld ("New Swedish Solar Telescope", apertuur van 48 cm naar 96 cm lensdiameter) maar het optische schema blijft in principe gelijk.

De "Dutch Open Telescope" die naast de Zweedse op La Palma staat is een Utrechts product van geheel andere snit: een spiegeltelescoop zonder gebouw er omheen. Hij wordt door de lokale passaatwind verschoond van interne turbulentie. Deze twee zonnetlescopen zijn de scherpste ter wereld. Voor beide telescopen worden technieken ontwikkeld om de resterende beeldverslechtering door de aardatmosfeer weg te werken, respectievelijk adaptieve optiek en spikkelinterferometrie. Daar is veel aan en mee te doen; je hulp is welkom!





Figuur 7: Schema van de Utrechtse (DOT) en de Zweedse (SVST) zonnetelescopen op La Palma. De SVST lijkt op de Utrechtse zonneopstelling, de DOT niet. In de SVST komt de lens eerst en dient tegelijk als vacuumvenster. In de kelder is een Littrow spectrograaf vergelijkbaar met de Utrechtse. De DOT is een open spiegeltelescoop op open stellen, niet luchtledig maar door de (op La Palma meestal harde) passaatwind vrijgehouden van interne turbulentie. Het primaire zonsbeeld wordt bovendien door een watergekoeld spiegelkje grotendeels weggekaatst, zodat het gebundelde zonlicht de telescoop niet opwarmt. De DOT heeft geen spectrograaf maar wordt gebruikt voor afbeelding door smalbandige filters. De DOT wordt bediend vanuit het Zweedse gebouw, met beeldtransport per fiber. De struiken (Codeso, een alleen op La Palma voorkomende brom) dragen bij aan de goede waarnemingsomstandigheden door de grondverhitting door de zon te verminderen. Rechts de afgrond van de 2000 m diepe Caldera de Taburiente, waar alle andere calderas hun naam aan danken. Websites: <http://dot.astro.uu.nl> en <http://www.solarphysics.kva.se>.

## Literatuur

- Hentschel, K.: 1991, *Julius und die anomale Dispersion: Facetten der Geschichte eines gescheiterten Forschungsprogramms*, Studien aus dem Philosophischen Seminar 3, Heft 6, Universität Hamburg
- Minnaert, M. G. J., Mulders, G. F. W., en Houtgast, J.: 1940, *Photometric Atlas of the Solar Spectrum 3332 Å to 8771 Å*, Schnabel, Amsterdam
- Oranje, B. J.: 1982, "A Selective Solar Irradiance Spectrometer", *Astron. Astrophys.* **109**, 32–36
- Oranje, B. J.: 1985, *Solar-type Stellar Chromospheres*, PhD thesis, Utrecht University
- Rutten, R. J.: 1989, "De zon zingt", *Vakidoot* **88/89-3**, 17–25



Figuur 8: Drie Utrechtse zonnefysici. Foto's door de auteur gemaakt in 1967 tijdens de Bilderberg Study Week en de Nederlandse Astronomenconferentie.

Marcel G.J. Minnaert (Brugge 1893 — Utrecht 1970) was een Vlaamse bioloog die na de Eerste Wereldoorlog in Utrecht natuurkundige werd en in 1937 directeur van de Utrechtse sterrenwacht. Hij deed die uitgroeien tot een spectroscopisch-georiënteerd instituut van wereldfaam. Ook zijn drie boeken "De natuurkunde van het vrije veld" zijn wereldberoemd. Minnaert eiste bij zijn benoeming dat de "zonneopstelling" van het Fysisch Laboratorium aan de Bijlhouwerstraat met hem mee verhuisde naar Sterrewacht Sonnenborgh.

Jacob ("Jaap") Houtgast (Assen 1908 — Utrecht 1982) werkte bij Minnaert op het Fysisch Laboratorium en verhuisde mee naar de Sterrenwacht. Hij baseerde een beroemd proefschrift over de mate van herverdeling over frequentie binnen spectraallijnen van de zon op waarnemingen met de zonneopstelling, was co-auteur van de Utrechtse zonneatlas en de daaruit voortvloeiende lijnentabel, en concentreerde zich naderhand op de vorming van het chromosferische "flitspectrum" tijdens totale zonsverduisteringen, waarvan hij er tien meemaakte.

Cornelis ("Kees") de Jager (Den Burg, Texel 1921) gebruikte de zonneopstelling voor zijn promotieonderzoek over de waterstoflijnen van de zon. Hij was in de zestiger jaren de architect van en de motor achter de expansie van de Utrechtse Sterrenwacht en het nationale ruimteonderzoek (nu SRON), deed veel pioniersonderzoek aan de zon (van infrarood tot Röntgenstraling en van fotosfeer tot zonnewind), en legt zich sinds zijn pensionering vooral toe op superreuzen. Daarnaast heeft hij hoge functies in internationale organisaties bekleed, Stichting "De Koepel" opgericht, helpt hij Museum Sterrenwacht Sonnenborgh op poten zetten, en draagt hij in woord en geschrift actief bij aan de popularisatie van de sterrenkunde. Een uittreksel van zijn lange wetenschappelijke publicatielijst staat op [http://www.staff.science.uu.nl/~rutte101/solar\\_abstracts/solabs\\_dejager.html](http://www.staff.science.uu.nl/~rutte101/solar_abstracts/solabs_dejager.html).