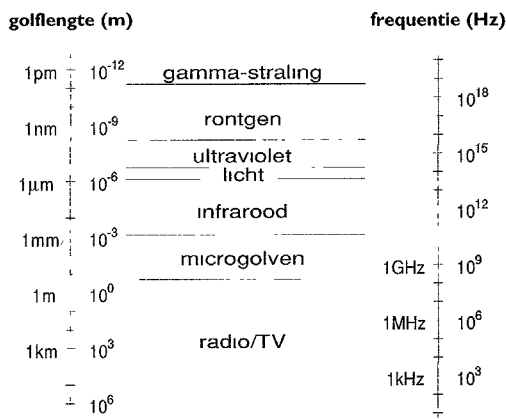


Aardonderzoek vanuit de ruimte

Sciarnachy

Gert Nützel, Rob Lansbergen Om inzicht te krijgen op de chemische samenstelling van de atmosfeer hebben de Nederlandse en de Duitse overheden samen met de Europese ruimtevaartorganisatie (ESA) besloten een spectrometer te laten ontwikkelen die op de 'milieusatelliet' Envisat zal gaan vliegen. Dit instrument heet Sciarnachy (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) en komt tot stand via een Nederlands-Duits industrieel consortium. Het door TNO-TPD ontwikkelde optisch en opto-mechanisch hart van dit instrument wordt hierbij beschreven.

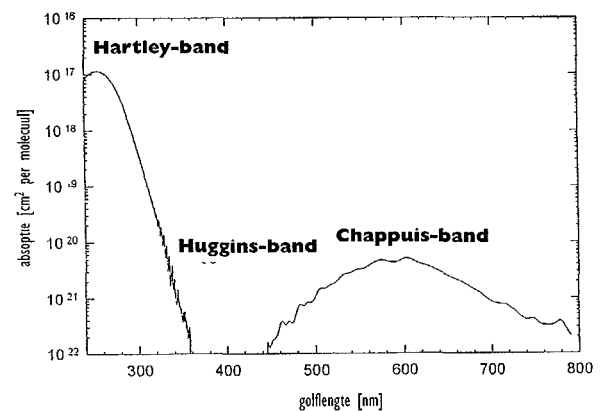
Het leven op onze planeet is afhankelijk van de atmosfeer rond de aarde. Deze reguleert de temperatuur, bevat zuurstof en transporteert vocht. De atmosfeer heeft nog een functie die letterlijk van levensbelang is: ze filtert de gevaarlijke UV component uit het zonlicht. Het is voornamelijk de ozonlaag op 10 - 20 km hoogte die deze functie vervult. Er zijn aanwijzingen dat de ozonlaag wordt aangetast door onder andere CFK-gassen, vrijgekomen als drijfgassen uit spuitbussen en via industriële processen. Ondanks deze mogelijke bedreiging is er relatief weinig bekend over de voor ons leven zo belangrijke chemische processen in de bovenste lagen van de atmosfeer. Dit komt omdat er weinig meetgegevens zijn over de chemische samenstelling van deze lagen. Omdat de processen in de ozonlaag zich over de wereldbol verplaatsen, vergelijkbaar met de ontwikkeling van het weer, is het ook noodzakelijk om de opbouw van de laag wereldwijd te kennen.



Figuur 1 Dit overzicht geeft de verschijningsvormen van elektromagnetische straling weer. Het belangrijkste kenmerk van de straling is de golflengte. Het hele elektromagnetische spectrum strekt zich uit van radiogolven (met een golflengte van 10 km) tot aan gammagolven (< 1 pm) die gepaard gaan met radioactieve verschijnselen. Het bereik van Sciarnachy loopt van ultraviolet tot aan infrarood.

Spectrometers

Sciarnachy geeft van het door de atmosfeer teruggekaatste zonlicht de intensiteit als functie van de golflengte weer. Het spectrum is afgebeeld in figuur 1. Het principe waarom spectrometers veel toegepast worden voor chemische analyse laat zich eenvoudig beschrijven. Licht op weg naar de spectrometer wordt gedeeltelijk geabsorbeerd door gassen die het tegenkomt. Deze absorptie is niet gelijkmatig over het spectrum uitgesmeerd, maar concentreert zich op een aantal golflengtes die karakteristiek zijn voor het type gas. Figuur 2 laat als voorbeeld het absorptiespectrum van ozon zien. Omdat elk gas zijn eigen 'vingerafdruk' nalaat is het mogelijk om een chemische analyse te maken van typen gas en concentraties.

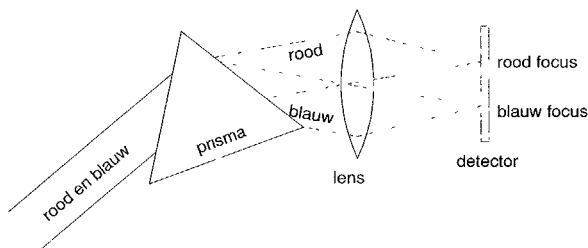


Figuur 2 Een ozon-absorptiespectrum. De hoge absorptie bij kleine golflengtes (UV) in de Hartley-band beschermt het leven op deze aarde. De wilde structuren in de Huggins-band zijn goed bruikbaar voor concentratiemetingen. (Bron Turk en Burrows)

De twee meest gebruikte optische elementen om het licht in zijn golflengtes uiteen te rafelen zijn prisma's en tralies. Een prisma heeft een groter golflengtebereik terwijl een tralie een hogere golflengteresolutie heeft.

Figuur 3 geeft het principe van een zeer eenvoudige spectrometer met een prisma weer

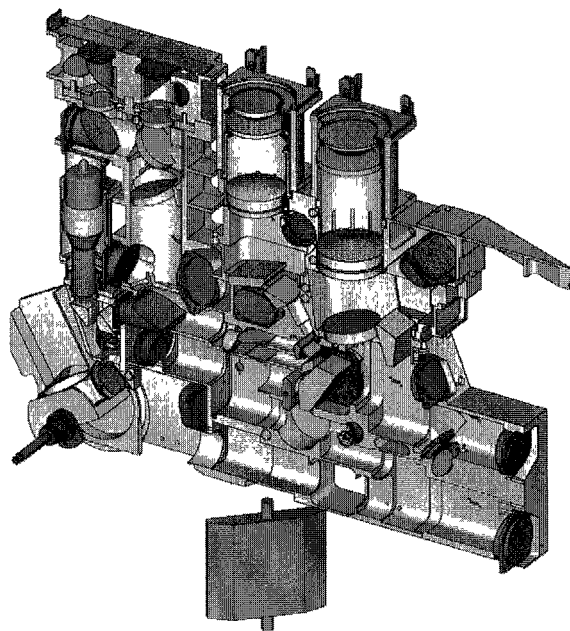
Figuur 3 Het principe van een prisma-spectrometer De kleuren blauw (450 nm) en rood (700 nm) krijgen door het prisma een andere richting De lens concentreert het licht van één golflengte op één detectorpositie



Optische concept van Sciamachy

De aan Sciamachy gestelde eisen waren dermate hoog, zie kader, dat het optisch ontwerp uitkwam op een 'tweetraps'-spectrometer. De eerste trap werkt met een prisma en zorgt voor de grove verdeling van het licht over acht spectrometerkanalen. De tweede trap bestaat uit acht spectrometerkanalen die elk met een deel van het spectrum uit de eerste trap gevoed worden. Alle kanalen van de tweede trap werken met tralies. Vervolgens worden de spectra afgebeeld op lineaire CCD-detectoren met 1024 pixels (geleverd door SRON). Eén volledig spectrum bestaat dus uit ongeveer 8000 gegevens.

Figuur 4 De eerste laag van Sciamachy. Onderin de telescoop over de volle breedte. Rechts onder het midden de vijfhoekige component is het prisma van het eerste kanaal. Rechtsboven de eerste twee kanalen. Links de inkoppel-optiek voor de IR kanalen (op de tweede laag) en de kalibratieoptiek. Helemaal linksonder de scanspiegel.

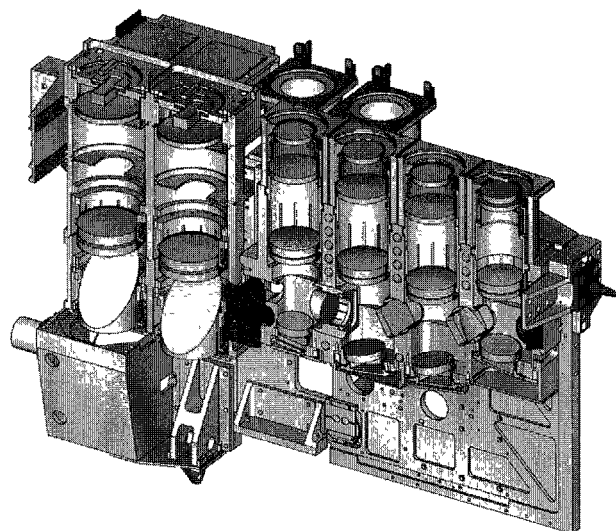


De spectrometer ontvangt licht uit een telescoop die de grootte van het waargenomen deel van de atmosfeer bepaalt. De richting waarin de telescoop kijkt wordt bepaald door een systeem bestaande uit twee scan-spiegels. Om Sciamachy tijdens de vlucht regelmatig te kun-

nen kalibreren is het instrument voorzien van een kalibratie-eenheid bestaande uit een spectraallamp (die licht uitzendt op een beperkt aantal nauwkeurig bekende golflengten), een 'witlicht'-lamp (halogeenlamp) en een diffusor die door de zon verlicht kan worden. Door combinatie van deze kalibratiebronnen kan men corrigeren voor verouderingsverschijnselen van het instrument.

De spectrometer is een complex instrument met 24 spiegels, 40 lenzen en 8 prisma's. Om deze grote hoeveelheid optische componenten in de beperkt beschikbare ruimte onder te brengen zijn twee maatregelen genomen.

- Ten eerste is de spectrometer opgebouwd uit twee lagen. De eerste laag bevat de telescoop, de eerste spectrometertrap, 2 spectrometerkanalen en de kalibratie-eenheid, zie figuur 4. De tweede laag bevat de overige zes kanalen, zie figuur 5.
- Ten tweede is veel gebruik gemaakt van spiegelopbouw. Hierdoor kan de lichtweg opgevouwen worden zodat de afmetingen van het instrument beperkt blijven.



Figuur 5 De tweede laag van het instrument. Duidelijk zijn de zes min of meer gelijke kanalen te herkennen. Het licht uit de eerste laag wordt via de twee (donkere) spiegels, links naast het grote schuine tralie, naar deze laag gekoppeld.

Hoge eisen

Aan ruimtevaartinstrumenten worden hoge eisen gesteld. Deels vanwege de omstandigheden waarin zij moeten werken, deels vanwege de vereiste hoge betrouwbaarheid. We zullen hier een aantal belangrijke eisen de revue laten passeren.

De lancering kost omgerekend ongeveer f 100 000 per kg. Er moet dus zuinig met massa worden omgespron-

gen De totale massa voor het optisch en opto-mechanisch gedeelte van Sciamachy moest lager zijn dan 70 kg. De Europese ruimtevaartorganisatie ESA stelt eisen aan de eigenfrequentie van instrumenten in verband met de enorme trillingen die ze tijdens de lancering moeten ondergaan. De laagst toegestane eigenfrequentie van Sciamachy is 70 Hz.

Sciamachy in cijfers	
Golflengtebereik	240 nm (UV) - 2385 nm (IR)
Geometrische resolutie	32 x 22 km
Spectrale resolutie	0,2 nm (l 240 nm) tot 1,4 nm (l 2385 nm)
Totale massa	215 kg
Massa opto-mechanisch blok	65 kg
Energieverbruik	155 W

Overigens wordt elk instrument op het Europese ruimtevaartcentrum ESTEC gemarkeerd op een 'shaker' (trilapparaat, red.) voordat het geaccepteerd wordt voor een lancering.

Verder is de thermische omgeving een belangrijke randvoorwaarde. Tijdens verblijf in de ruimte wordt het instrument binnen $\pm 0,25$ K gestabiliseerd op 253 K (-20° C). Deze temperatuurfluctuaties mogen geen invloed hebben op de optische prestaties van het instrument. Overigens wordt ook dit getest in de 'Large Space Simulator' bij ESTEC in Noordwijk. Is de temperatuurstabilisatie niet ingeschakeld, dan kan de temperatuur fluctueren tussen 253 ± 5 K. Binnen deze marge moet de integriteit en uitlijning van Sciamachy gewaarborgd blijven. Dit stelt hoge eisen aan de stijfheid en de krupvastheid van het instrument.

Betrouwbaarheid

De huidige ruimtevaartfilosofie van ESA laat weinig geëxperimenteer toe. Alle materialen, onderdelen en mechanismen moeten 'space-qualified' (uitdrukkelijk door ESA toegelaten) zijn. Omdat na de lancering een instrument niet meer toegankelijk is, mag er geen 'single point failure' in kunnen voorkomen. Dit is een enkelvoudige defect dat het gehele instrument nutteloos maakt wanneer het optreedt.

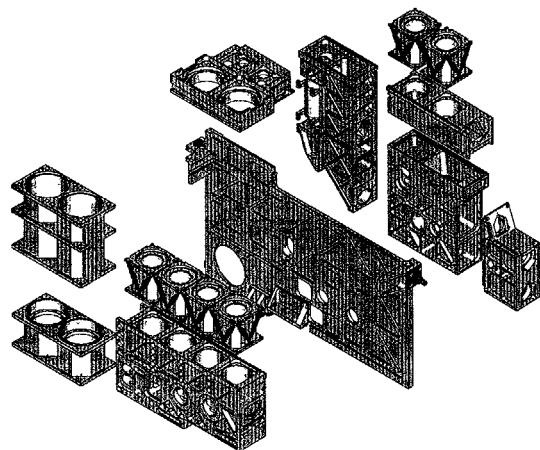
Om Sciamachy te kwalificeren (het goede functioneren te bewijzen) werd een aantal afgeleide modellen aan zware tests onderworpen. Zo heeft het 'structuurmodel' dezelfde massa, vorm, zwaartepunt en traagheidsmomenten als het 'vluchtmodel' maar is het geheel van aluminium opgebouwd. Dit model heeft vibratietests

ondergaan. Een 'thermisch model' werd gebruikt voor thermische testen. De stabiliteit van optische uitlijning in extreme omstandigheden werd getest met het '2/8 model' waarin alleen de optische kanalen 2 en 8 zijn gerealiseerd. Al deze modellen hebben de kwalificatietests doorstaan. Het vluchtmodel wordt aan minder zware acceptatietests onderworpen alvorens met ENVISAT mee te mogen.

Mechanisch concept

Het optisch hart van Sciamachy bestaat uit een relatief slappe basisplaat met daarop aan weerszijden diverse stijve modules die samen één solide geheel vormen, zie figuur 6. In het ontwerp is meegenomen dat de meeste optische componenten van buitenaf instelbaar of vervangbaar moeten zijn. De componenten zijn niet rechtstreeks op de blokken gemonteerd maar met behulp van afstandbussen of 'shims', zie figuur 7. Door het toepassen van deze shims kunnen de toleranties op de afmetingen van de blokken minder nauw gesteld worden. Bovendien worden ze gebruikt om de optische trein uit te lijnen. Hierbij worden ze stuk voor stuk op hun juiste dikte en in de juiste wigvorm gebracht. Dit is een langdurige klus die het geduld van de optische ingenieur tot het uiterste beproeft. Toepassing van instelmechanismen zou het uitlijnproces aanzienlijk kunnen versnellen, maar deze zijn te zwaar en te volumineus. Met het oog op de vibratietests zijn ze ook te instabiel en te onbetrouwbaar.

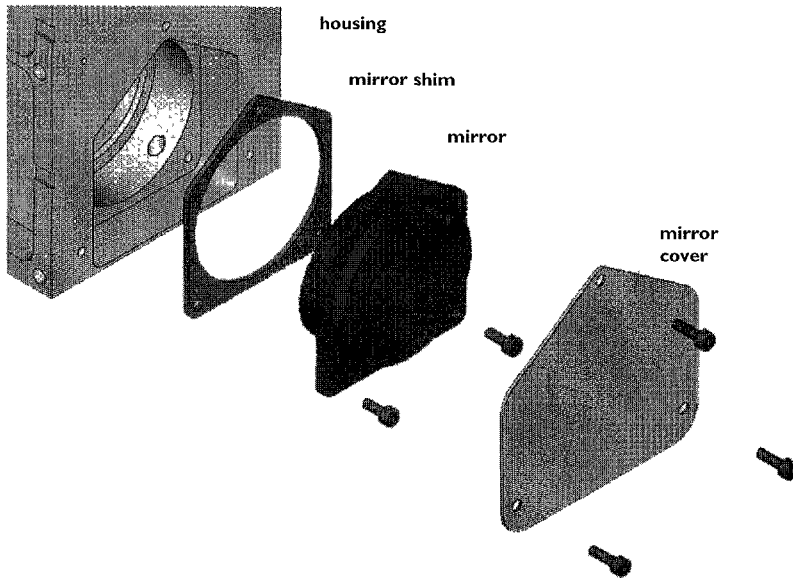
Tenslotte zijn alle grote modules na het samenbouwen vastgezet met paspennen zodat hun positie tijdens de triltest en de lancering gewaarborgd is.



Figuur 6 De optomechanische opbouw met een middenplaat en een groot aantal modules. De modules zijn door middel van paspennen op de middenplaat gefixeerd.

Aardonderzoek vanuit de ruimte

Figuur 7 Het shim-systeem waarmee de aluminium spiegels aan de aluminium structuur worden vastgezet. Tijdens het uitlijnen moeten de shims op maat worden gebracht. Mechanisch instelbare voorzieningen zouden makkelijker zijn geweest voor het instellen. In dit geval zijn ze te zwaar (bij dezelfde stijfheid) en niet bestand tegen de trillingen van de tests en de lanceerring.



Materiaalkeuze

Alle structuurdelen zijn van aluminium 6082 T6 en aluminium 7075. Aluminium is niet alleen licht maar heeft een goede warmtegeleiding, hetgeen kleine temperatuurgradienten tot gevolg heeft. De genoemde legeringen zijn gekozen omdat ze 'space qualified' en gemakkelijk te bewerken zijn. Zoveel mogelijk optische componenten (spiegels en diafragma's) bestaan ook uit aluminium 6082. Dit heeft het voordeel dat er ten gevolge van temperatuurfluctuaties slechts geringe spanningen ontstaan, het instrument ademt als het ware in zijn geheel. Alle

optische componenten die uit andere materialen bestaan (BK7, IRG3, silicium, K5, Suprasil1 en ZnSe) zijn gevat in materialen met dezelfde uitzettings-coëfficiënt (bijvoorbeeld uitaan of invar). Het optische element is met zijn vattning verend gemonteerd op de structuur. Hierdoor blijft de optiek bij temperatuurschommelingen toch gecentreerd en ontstaan er geen interne spanningen in de optische componenten. De structuurblokken zijn anorganisch zwart geanodiseerd om zo min mogelijk last te hebben van strooilicht en andere ongewenste reflecties.

Organisatie van Sciamachy

Sciamachy is een gezamenlijk Nederlands-Duits-Belgisch project. De Nederlandse deelnemers zijn TNO-TPD (optische en opto-mechanisch blok), Fokker Space (hoofdaannemer, thermische huishouding en koelers) en SRON (detectoren). Om de efficiëntie van het project te optimaliseren hebben de Nederlandse partners besloten hun projectteams bij de TPD in Delft samen te brengen. Verder onderhoudt het projectteam niet alleen contacten met de Duitse partners maar ook met de Nederlandse Ruimtevaartorganisatie (NIVR), de Europese Ruimtevaartorganisatie ESA en de 'Science Advisory Group', een comité van internationale wetenschappers die de gegevens die Sciamachy verzamelt zullen bestuderen en evalueren.

Stand van zaken

TPD heeft de optische en opto-mechanische module afgeleverd aan Fokker Space. Nu vindt de integratie met de detectoren en thermische onderdelen ten behoeve van de koeling van de detectoren plaats. Na de koppeling aan de elektronica wordt Sciamachy uitgebreid functioneel getest en gekalibreerd. Hierna vinden diverse acceptatietests van het instrument en de satelliet plaats. Na de lancering van ENVISAT in 1999 verwachten we beelden van de ozonlaag die vergelijkbaar zijn met die van Scia's klein broertje GOME, zie figuur 8, maar nog nauwkeuriger en rijker aan informatie.

Auteursnoot

Ir Gert Nutzel en Rob Lansbergen zijn werkzaam bij TPD-TNO te Delft.

Telefoon 015-269 2071,

E-mail nutzel@tpd.tno.nl

Figuur 8 Een meting van de dikte van de ozonlaag door het GOME-instrument. Bij de lichte gebieden is de ozonlaag dik, bij de donkere gebieden dun. Duidelijk is te zien dat ten tijde van de opname de ozonlaag op het zuidelijk halfrond dunner was dan op het noordelijk halfrond. (Bron: ESA)

