

25 JULI 1984

1/17/84

## THEMA

N. J. J. BUNNIK EN C. SMORENBURG

**CAESAR: BIJDRAGE OM REMOTE SENSING  
OP HOGER NIVEAU TE BRENGEN**

Door het ministerie van Onderwijs en Wetenschappen wordt sedert 1981 bijgedragen aan het versterken van de Nederlandse inspanningen voor het ontwikkelen van toepassingen van remote sensing technieken. Een belangrijk onderdeel daarvan is het ontwikkelen van daarvoor benodigde apparatuur, teneinde in Nederland expertise op te bouwen in de technologie van sensorsystemen en de behandeling van de dikwijls grote hoeveelheid gegevens.

Voor het beschikbaar stellen van financiën uit het Stimuleringsfonds van Wetenschapsbeleid konden in Nederland zowel een CCD-scanner als een mechanische scanner worden ontwikkeld voor waarnemingen in het zichtbare spectrale gebied en in het nabije infra-rood. In het microgolfgebied kon een Radar Verstrooiingsmeter worden gebouwd, bestemd voor gebruik van een vliegtuig, voor onderzoek naar de interactie tussen microgolfstraling en het zee- en landoppervlak. Dit artikel geeft een overzicht van de doelstelling, de specificaties en de gebruiksmogelijkheden van de CCD-scanner die wordt ontwikkeld en gerealiseerd door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium en de Technisch Fysische Dienst TNO-TH.

De doelstelling van het project was het opbouwen van technische kennis en ervaring met betrekking tot het gebruik van CCD-detectoren voor remote sensing toepassingen voor land- en zee-observatie. Daarbij kon worden voortgebouwd op de bij de TPD reeds aanwezige kennis op detectorgebied en op optisch gebied en op de NLR-kennis en ervaring met betrekking tot de signaalverwerking en registratie, de remote sensing beeldverwerking en het gebruik van laboratoriumvliegtuigen.

Een afgeleide doelstelling was dat Nederlandse kennis van remote sensing kon worden inge-

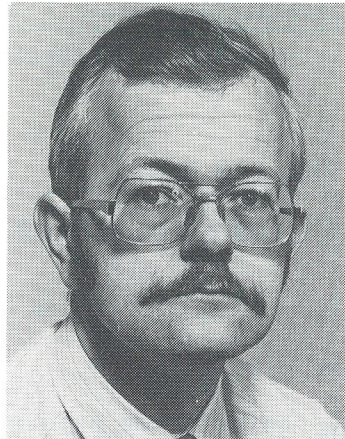
bracht in het systeemontwerp, en dat het gerealiseerde systeem ter beschikking kon worden gesteld van Nederlandse remote sensing onderzoeksprogramma's in nationaal en internationaal verband. Het project verkreeg het acronym CAESAR, hetgeen staat voor 'CCD Airborne Experimental Scanner for Applications in Remote Sensing'.

**Duidelijke voordelen**

Het gebruik van lineaire detector arrays voor de beeldvorming in een of meer spectrale gebieden van het zichtbare licht en het nabije-infrarood biedt in vergelijking tot de klassieke techniek, waarbij gebruik wordt gemaakt van lijnsgewijze aftasting met behulp van een roterende spiegel en afbeelding op een of enkele detectoren, een aantal duidelijke voordelen:

- aanmerkelijk langere integratietijd, waardoor het ruimtelijk oplossend vermogen kan worden vergroot;
- verbeterde kwaliteit van de afbeelding van het aardoppervlak in geometrische zin;
- ontbreken van mechanisch bewegende onderdelen.

Voor deze toepassing zijn de zogenaamde 'Charged Coupled Devices' (CCD's) bijzonder geschikt, die men in de vorm van lineaire arrays of twee-dimensionale matrices van detectorelementen kan verkrijgen. Hierdoor kan met de gewenste geometrische resolutie een oppervlak van



C. Smorenburg (41) studeerde aan de TH-Delft, afdeling der Technische Natuurkunde. Sinds 1968 is hij werkzaam bij de Technisch Fysische Dienst TNO-TH en houdt hij zich voornamelijk bezig met het ontwikkelen van optische systemen voor uiteenlopende toepassingen, met name m.b.t. ruimtevaart en aardobservatie. Hij is projectleider van het sensorgedeelte van de CAESAR scanner.

voldoende grootte worden opgenomen.

Als nadelen van de huidige CCD's kunnen worden genoemd de hogere eisen die worden gesteld aan de afbeeldingskwaliteit van de hoofdoptiek, de problemen die zich voordoen bij de (relatieve) radiometrische kalibratie en het golflengte-interval dat zich bij silicium CCD's beperkt tot het gebied van 400 tot 1100 nm.

Het gebruik van CCD-detectoren is met name aantrekkelijk voor toepassing vanuit satellieten, waarvoor ondanks de grote afstand vanaf de satelliet tot het aardoppervlak toch een groot geometrisch oplossend vermogen wordt vereist (ordegrootte: 10-30 meter). Het ontbreken van mechanisch bewegende delen levert bovendien het voordeel dat de technische levensduur kan worden verlengd.

Op verschillende plaatsen wordt reeds met CCD's voor remote sensing toepassingen geëxperimenteerd of zullen zij voor satellietinstrumenten worden gebruikt. In dit verband wordt verwezen naar de toepassing van CCD's in de Franse aardobservatiesatelliet SPOT die in 1985 zal worden gelanceerd, de Duit-

se experimenten met een CCD-scanner vanuit Spacelab, de Japanse plannen voor een landobservatiesatelliet en de satellietconcepten die momenteel in de Verenigde Staten worden uitgewerkt. Ook voor de Europese ruimtevaartorganisatie ESA zijn studies uitgevoerd, waarbij wordt uitgegaan van het gebruik van CCD's voor zowel land- als zee-observatie. In Nederland wordt sedert 1979 een voorbereidende studie uitgevoerd naar een aardobservatiesatelliet voor de tropen, de zogeheten 'Tropical Earth Resources Satellite' (TERS), waarin ook CCD-detectoren worden toegepast.

**Stappen**

In de ontwikkeling van een instrument als de CCD-scanner zijn duidelijk een aantal opeenvolgende stappen te onderscheiden. Na een eerste ruw idee, dat zowel op kennis van de meest recente ontwikkelingen van de technologie als op te verwachten behoeften uit de gebruikerswereld is gebaseerd, volgt een voorstudiefase. Hierin worden de gebruikersideeën verder uitgewerkt en getoetst aan de technische mogelijkheden. Hierna wor-

Figuur 9

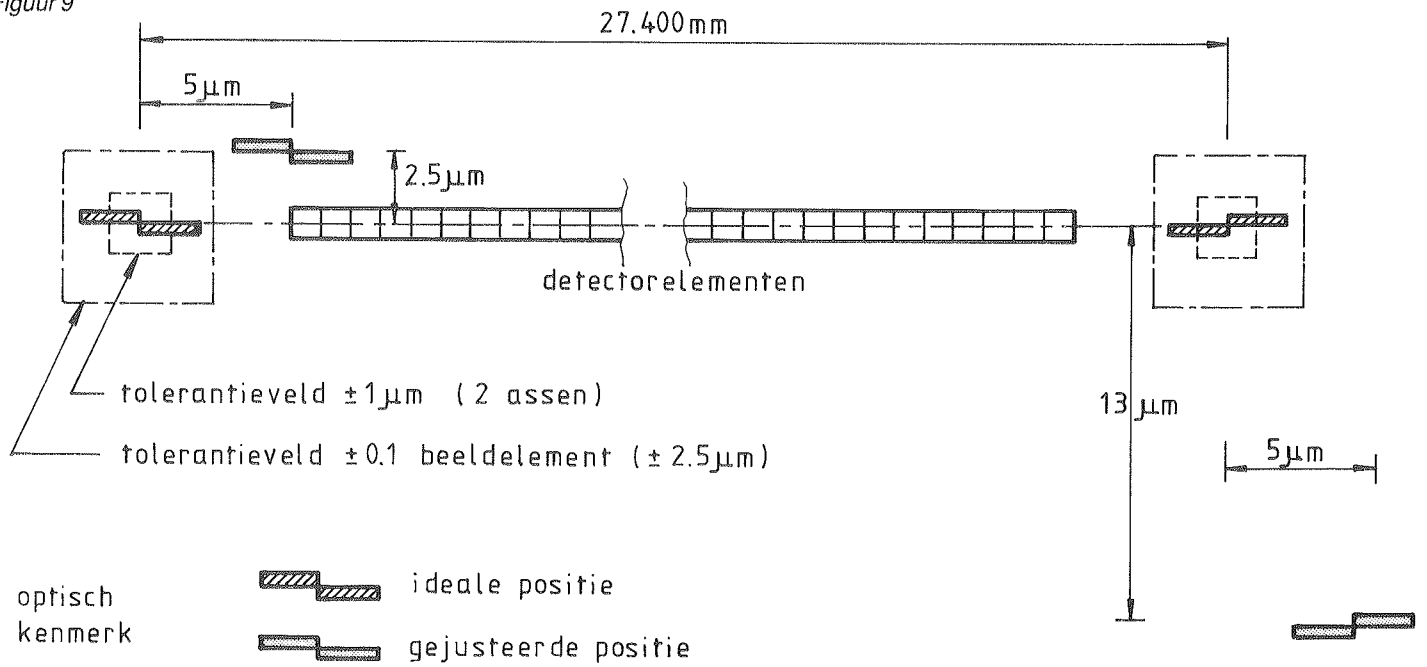


Fig. 9<sup>a1</sup> Positioneringsfouten t.g.v. parasitaire capaciteiten

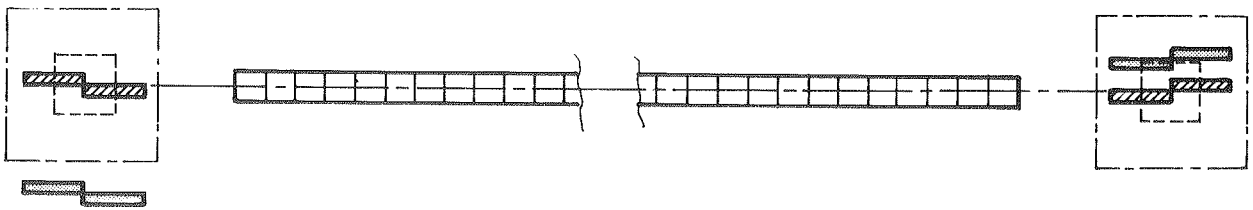


Fig. 9<sup>a2</sup> Positioneringsfouten na aanbrengen van aardschermen ter onderdrukking van parasitaire capaciteiten

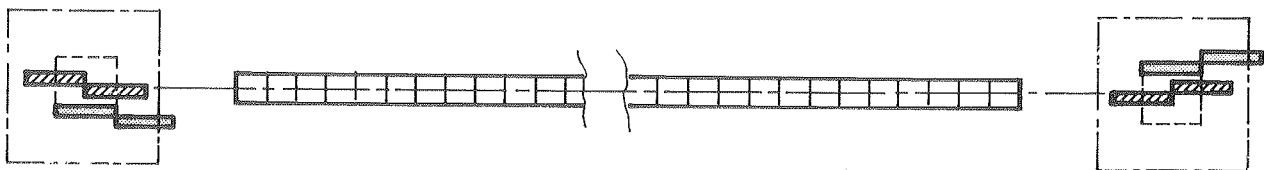


Fig. 9<sup>b</sup> Na optimalisering aardschermen, justernauwkeurigheid beter dan 0.1 beeldelement

Figuur 1. De keuze van de spectrale banden voor land- en zee-observatie is zeer verschillend. Voor landobservatie, waar men te maken heeft met voornamelijk groene vegetatie en/of grond wordt de keuze bepaald door het reflectiegedrag aan vegetatiedekken. Hierbij is men geïnteresseerd in het waarnemen van de bedekkingsgraad en in het onderscheiden van bladkleur- en gewasverschillen. De observatie geschiedt hiertoe in drie spectrale banden. Bij waarneming boven zee zijn in de in het zeewater aanwezige zwevende stoffen interessant. Men kan hierbij denken aan onder andere plankton met daarin aanwezig het blauw en rood absorberend chlorophyl en met de rivieren meegevoerde organische afbraakprodukten (de zogenaamde 'Gelbstoffe'). Uitvoerige studies hebben aangetoond, dat voor optimale waarneming boven zee minimaal acht spectrale banden nodig zijn.

den in de ontwerp-/en bouwphase de specificaties geconcretiseerd tot een apparaat.

Voor CAESAR is tijdens de definitiefase een gebruikersteam geformeerd uit onderzoekers op relevante sensing gebied, afkomstig van de Landbouwhogeschool Wageningen, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Rijkswaterstaat, het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee en het Internationaal Instituut voor Luchtkaartering en Aardkunde (ITC).

De CAESAR-scanner dient geschikt te zijn voor het observeren van zowel het landoppervlak (met name vegetatie) als het zeeoppervlak (met name de zeewaterkleur).

De gebruikerseisen vallen ruwweg uiteen in twee delen, namelijk het aantal en de ligging van de spectrale banden waarin men wil waarnemen, en de omstandigheden waaronder men de metingen nog wil verrichten. Voor landobservatie wordt de keuze van de spectrale banden bepaald door het reflectiegedrag van vegetatiedekken. Eerder onderzoek heeft reeds aangetoond dat men de verschijnselen waarin men geïnteresseerd is, het best kan waarnemen in drie spectrale banden. (Zie figuur 1)

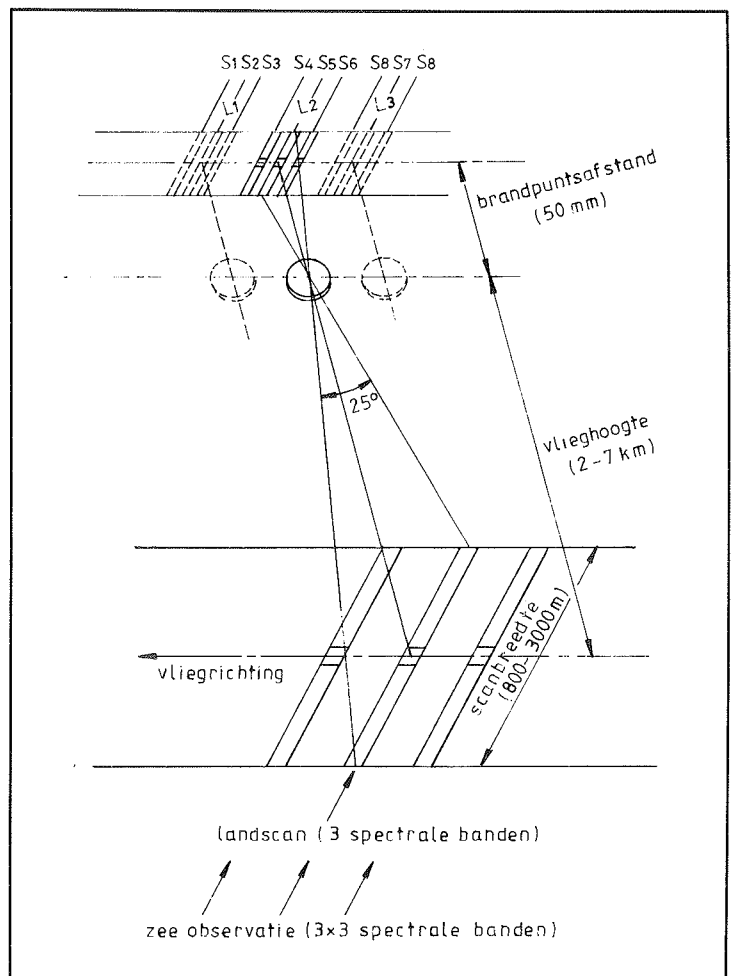
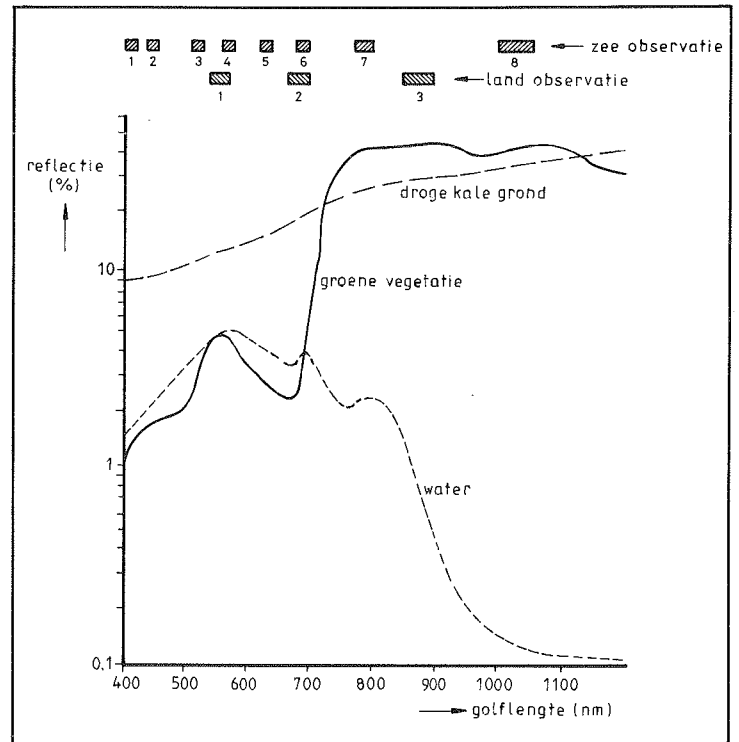
Deze banden zijn gepositioneerd in het groene, het rode en het

nabij-infrarode deel van het reflectiespectrum. In het rood vertoont de absorptie door in het groene blad aanwezige chlorophyl een maximum. In de meeste gevallen resulteert dit voor bladerdekken in een maximaal reflectiecontrast tussen de bladeren en de bodem. Metingen in het rode deel geven een hoge gevoeligheid voor verschillen in bedekkingsgraad. Verschillen tussen vegetatiedekken als gevolg van bladkleurverschillen kunnen voor dichte vegetaties optimaal gemeten worden in het groen. Reflectie-informatie in het rode en het groene deel van het spectrum tezamen wordt gebruikt om gewassen van elkaar te onderscheiden op basis van vooral de kleurverschillen tussen de individuele bladeren.

#### Ontwikkeling van gewas

In het nabije infrarood wordt de gewasreflectie voornamelijk bepaald door de totale hoeveelheid blad per eenheid van grondoppervlak. De bladkleur speelt hier nauwelijks een rol. De ontwikkeling van het gewas tijdens de groei nadat een volledige grondbedekking is bereikt, kan in het nabije infrarood optimaal worden gevolgd. Dit is het gevolg van de in dat golflengtegebied minimale absorptie van de individuele bladeren.

Figuur 2. Voor begrip van het gebruik van CAESAR voor land- en zee-observatie denkt men zich de drie CCD's van elke module op de grond geprojecteerd. Deze drie ruimtelijke gescheiden projecties bewegen zich met de vliegsnelheid over het grondoppervlak. De geprojecteerde CCD's van de drie modules vallen, bij goede uitlijning van het instrument nauwkeurig samen. Voor landobservatie wordt van elke module het centrale CCD gebruikt, waardoor het object in drie spectrale banden gelijktijdig wordt waargenomen. Bij zee-observatie neemt men waar in 3x3 spectrale banden, waarbij hetzelfde stuk zee-oppervlak niet in alle spectrale banden gelijktijdig wordt waargenomen. Teneinde voor eventuele variatie van de straling van het waargenomen oppervlak binnen het geringe tijdsverschil van waarneming door de diverse banden te kunnen corrigeren is de module 3 voorzien van tweemaal dezelfde spectrale band (band nr. 8, = 1020 nm), waarin met een maximaal tijdsverschil hetzelfde object wordt bekeken.





Een belangrijk voordeel van het gebruik van drie spectrale banden is de mogelijkheid om opnamen af te beelden in bijvoorbeeld drie basiskleuren in een pseudo-kleurbeeld.

Daarnaast is voor landobservatie ook de richting waarin men het gewas waarneemt, een belangrijke factor. Door het vegetatiedek zowel recht onder het vliegtuig als onder een schuine hoek van ongeveer 52° met een normaal op te nemen, wordt het niet-ideaal diffuus reflectiegedrag in de drie spectrale banden geregistreerd. Achtergrondonderzoek heeft aangetoond dat het reflectiegedrag van vegetatiedekken en landbouwgewassen afwijkt van dat van een ideale (Lambert) verstrooier.

In plaats van te zoeken naar correctiemethoden voor dit richtingsafhankelijke reflectiegedrag (die overigens nauwelijks haalbaar zijn) wordt dit gedrag gemeten als een extra kenmerk dat karakteristiek voor de gewassen groeifase kan zijn. Naar verwachting kan het gewasidentificatievermogen van CAESAR door het toepassen van deze 'dual look' mode worden opgevoerd.

De periode waarin men boven land wil waarnemen, is duidelijk gekoppeld aan het groeiseizoen. In de specificaties is deze periode vastgesteld van maart tot september. Tezamen met de tijdsgrenzen van 10-16 uur wordt hierdoor de laagste zonnestand bepaald waaronder gemeten gaat worden, wat een belangrijke parameter vormt voor de dimensionering van het systeem.

Voor het observeren van de spectrale eigenschappen van de diffuus in opwaartse richting verstrooide zonnestraling vanuit het zeewater worden aan CAESAR geheel andere eisen gesteld. Ter onderscheiding van de in het zeewater aanwezige zwevende stoffen worden acht spectrale banden verlangd. De zwevende stoffen die veelal voorkomen, zijn het plankton met daarin aanwezig het blauw en rood absorberende chlorofyl, de zogenaamde 'Gelbstoffe': dat zijn or-

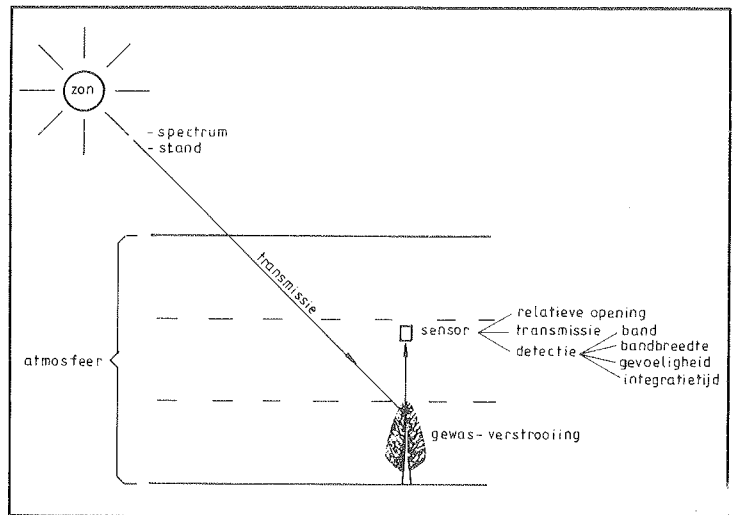
ganische afbraakproducten die door rivieren in zee worden geloosd, en niet direct selectief absorberende hydrosol sedimenten of industriële verontreinigingen. De keuze van de banden wordt nader toegelicht in het artikel van Spitzer en ir. H. Bokhove. Daarnaast vervalt de eis om in hoog ruimtelijk detail waar te nemen. Juist voor het vaststellen van de diffuse component die vanuit het zeewater in de richting van de sensor wordt verstrooid, is het noodzakelijk om over een groter oppervlak uit te middelen, vanwege de lokale verstoringe invloed van het in beweging verkerende wateroppervlak.

Verder is een correctie wenselijk voor reflectie van de hemelstraling aan het eigenlijke oppervlak en dient het observeren van directe zonnereflectie beslist te worden vermeden. Het toepassen van een correctie voor de reflectie aan het wateroppervlak van de hemelstraling vereist bovendien extra spectrale banden in het reflectie-infrarood. In dit gebied is de diffuse straling vanuit het zeewater zelf bijna verwaarloosbaar.

Uit onderzoek naar het reflectiegedrag voor directe zonnestraling is gebleken dat deze te vermijden is door het combineren van een geschikte vliegrichting en het instellen van de scanner onder een voor- of achterwaarts gerichte vaste hoek van 10° à 20° ten opzichte van de verticaal. De waarnemingsperiode is in tegenstelling tot die bij landobservatie niet gebonden aan het groeiseizoen, maar strekt zich uit over het gehele jaar. Voor de dimensionering wordt het geringe verlichtingsniveau bij metingen in de winter gecompenseerd door het vereiste lagere oplossend vermogen.

#### Complete strook

In essentie bestaat de scanner uit een objectief dat het aardoppervlak op een lineaire detector array afbeeldt. Door de vliegbeving wordt een beeld verkregen van de complete strook onder het vliegtuig.



Figuur 3. Voor de dimensionering van het systeem wordt allereerst het op de detector vallende stralingsniveau uitgerekend. Belangrijke factoren voor deze berekening zijn onder andere de verlichtingsbron, de atmosfeer, de lichtverstrooiingseigenschappen van het voorwerp en de scanner. Het minimaal te detecteren signaalverschil wordt vervolgens afgewogen tegen het achtergrondsignaal van de detector. Als resultaat hiervan vindt men de gewenste lichtsterkte van de sensor optiek.

De beperkende randvoorwaarde voor het ontwerp was dat per spectraal gebied slechts gebruik zou worden gemaakt van één lineaire CCD-detector. Daarbij was het uitgangspunt dat de te gebruiken detectoren niet zelf worden ontwikkeld, maar dat na laboratoriumonderzoek een keuze zou worden gemaakt uit reeds op de markt verkrijgbare CCD's. Voor de afbeeldingsoptiek werd gebruik gemaakt van standaard verkrijgbare objectieven.

Uit de afmeting van de CCD-detector en het gezichtsveld dat men per scan wil aftasten, volgt de brandpuntsafstand van het optisch systeem en derhalve een van de hoofdafmetingen van de scanner. De gevonden kleine waarde van de brandpuntsafstand opende de mogelijkheid om voor een beperkt aantal spectrale banden een modulaire opzet te kiezen, waarmee de problemen van kleurscheiding vermeden kunnen worden. Voor CAESAR is het instrument concept voor metingen boven zee iets ingewikkelder geworden. (Zie figuur 2).

In een vroeg stadium is een eerste berekening uitgevoerd, waarmee aangetoond is onder welke omstandigheden het gewenste

minimale reflectieverschil kan worden waargenomen. Voor de dimensionering wordt allereerst het op de detector vallende stralingsniveau berekend, waarvoor factoren als zonnestraling, invloed van de atmosfeer, weerkaatsing van het zonlicht door het object en vooral instrumentele eigenschappen van belang zijn. (Zie figuur 3). Bij een dergelijke berekening gaat men uit van de meest ongunstige omstandigheden, zoals een lage zonnestar, troebele atmosfeer, kleinste bandbreedte en het hoogste oplossend vermogen (kortste integratietijd).

Het minimaal te detecteren signaal wordt vervolgens afgewogen tegen het achtergrondsignaal, dat het instrument zonder enige belichting 'van zichzelf al' produceert (donkerstroom). Voor waarnemingen boven land leidden de berekeningen tot een vereiste lichtsterkte van F/2.6. Dit getal is uitgangspunt voor het verdere ontwerp van CAESAR.

Voor waarnemingen boven zee zijn de dimensioneringsberekeningen eveneens uitgevoerd, waarbij bleek, dat bij de gekozen lichtsterkte van F/2.6 met toe-

passing van correctie voor de donkerstroom en van een redelijke temperatuurstabilisatie in praktisch alle gevallen aan de gestelde waarnemingseisen kan worden voldaan.

### Afweging

Voor CAESAR is een afweging gemaakt van de mogelijkheden om een object in een aantal golflengtebandjes waar te nemen, waarbij het gebruik van CCD-detectoren een duidelijke randvoorwaarde vormt. De klassieke manier is het gebruik van een spectrometer, waarin met behulp van een kleurscheidend element (bijvoorbeeld een prisma) een voorwerp spectraal 'uiteengerafeld' wordt. Deze methode wordt veelvuldig toegepast voor bestudering van verschijnselen in een breed golflengtegebied met een hoog spectraal oplossend vermogen. Een andere methode is het gebruik van zogenaamde spectrale bandfilters. Dit zijn filters die zijn opgebouwd uit een groot aantal dunne lagen van dielektrisch materiaal, meestal gecombineerd met absorberend glas, waardoor alleen straling binnen een smalle golflengteband wordt doorgelaten. De overige straling wordt gereflecteerd of geabsorbeerd. Elke detectorfilter-combinatie bepaalt nu de waarneming in één spectrale band. Voor deze laatste oplossing is gekozen. Hiervan is namelijk de ontwikkeling het best te overzien en deze zal naar verwachting het meest efficiënt tot een bruikbaar resultaat leiden.

De opzet van het systeem is nu strikt modulair, waarbij bij elke spectrale band een objectief, een filter en een CCD-detector vereist is. Bij de geringe afmetingen van het optische systeem en drie spectrale banden voor de landobservatie is dit een aantrekkelijke opzet. Voor waarneming boven zee, waarbij een 8-tal spectrale banden nodig zijn, dreigde het grote aantal modules problemen te geven met betrekking tot de beschikbare doorkijkopening, aan de onderzijde van het METRO-vliegtuig van de N.L.R., dat

voor het gebruik van de scanner voorzien is.

Bij CAESAR zijn in het beeldvlak van elk objectief drie CCD-detectoren met filter geplaatst. Hierdoor blijft het aantal modules beperkt tot drie, maar het object wordt nu niet meer in alle spectrale banden gelijktijdig waargenomen. Elke module heeft drie ruimtegescheiden spectrale banden die, met enig tijdsverschil, hetzelfde voorwerp waarnemen. Door deze oplossing is

ruimte ontstaan die benut kan worden voor andere experimenten, die een uitbreiding van de mogelijkheden geven. Momenteel is voorzien in de toevoeging van een moduul dat onder een hoek van 52° vooruitkijkt. Met deze module kan de invloed van de verstrooiingskarakteristiek van het gewas worden bestudeerd. In een later stadium kan de ruimtewinst eventueel worden benut om een in het infrarode deel van het spectrum metend module

aan het systeem toe te voegen, een mogelijkheid, waarin gebruikers zeer geïnteresseerd zijn, maar waarvoor nu nog geen geschikte detectoren bestaan.

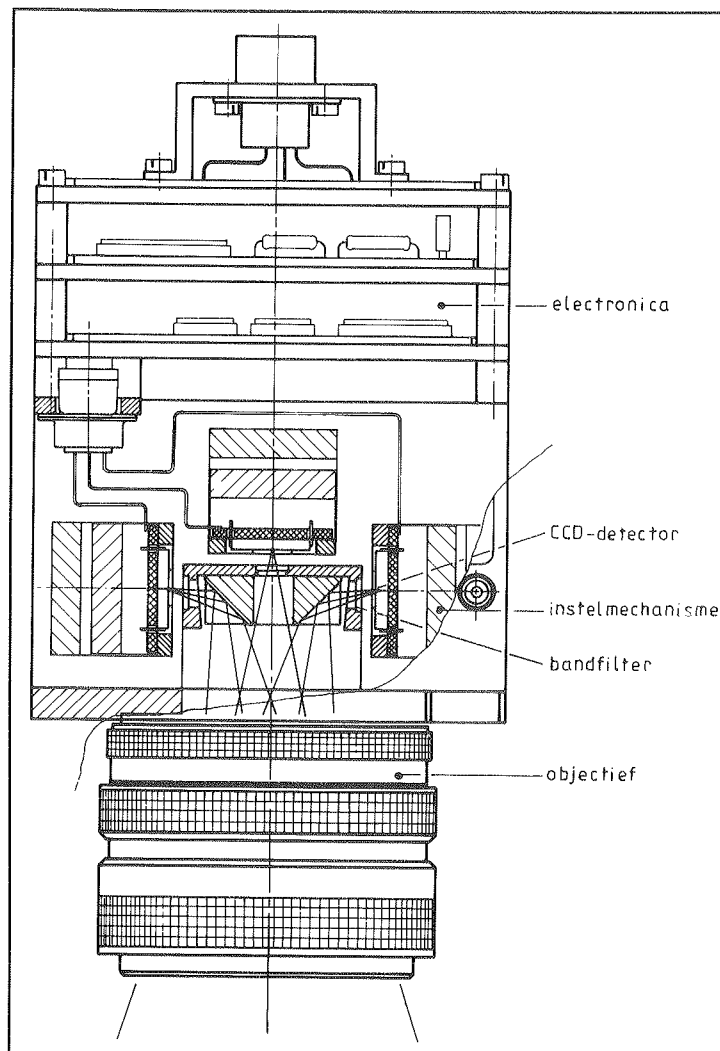
### CAESAR

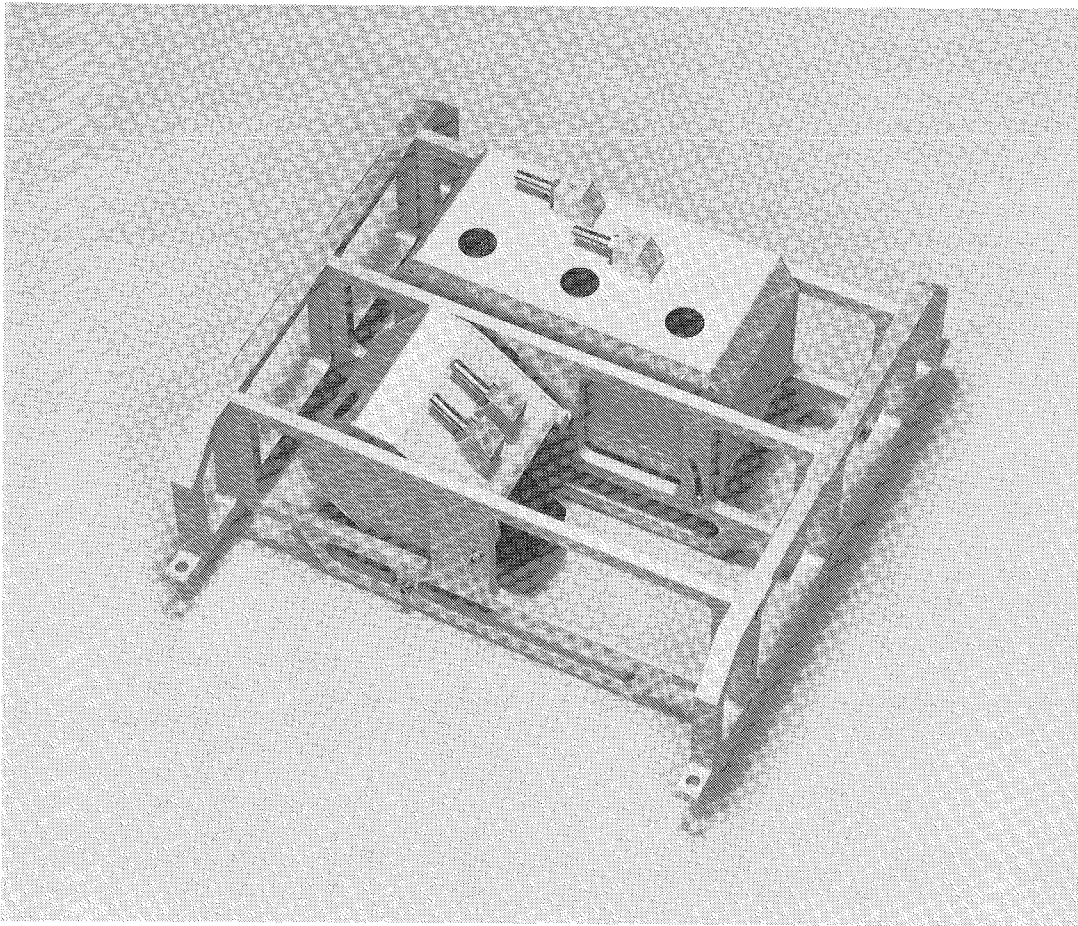
CAESAR is opgebouwd uit een aantal identieke modules. (Zie figuur 4). De eerste component van de module is het objectief. Gekozen is voor gebruik van standaard verkrijgbare optiek, voor de neerwaarts kijkende module met een brandpuntsafstand van 50 mm en voor de voorwaarts kijkende module met een brandpuntsafstand van 85 mm. Teneinde in de zee-versie de veldhoek tussen de CCD-detectoren, en derhalve het tijdsverschil in waarneming van hetzelfde object in de verschillende spectrale banden zo klein mogelijk te houden, worden de CCD-detectoren niet naast elkaar in het beeldvlak gepositioneerd, maar wordt een gedeelte van het gezichtsveld aan weerskanten opzij uitgespiegeld door middel van (totale) reflectie aan het achtervlak van een prisma, waardoor enerzijds een hoge reflectie-efficiency wordt bereikt (100%) en anderzijds geen polariserend effect op de straling optreedt. Voor de scanner worden CCD-detectoren met 1728 elementen gebruikt. Dit betekent een gezichtsveld van de twee verschillende modules van respectievelijk 25° en 15°. De scanebreedte op de grond wordt bepaald door de combinatie van gezichtsveld en vlieghoogte en varieert tussen ca. 800 en 3000 m. De detectoren worden op een apart ontworpen instelmechanisme gemonteerd, waarmee deze onderling zeer nauwkeurig gepositioneerd kunnen worden. Hierachter bevindt zich in elke module een compartiment, waarin de elektronica wordt opgeborgen die nodig is voor besturing en voeding van de detectoren en voor uitvoer van de signalen.

De drie filters in elke module worden in een zogenaamde filterlade gemonteerd, die op een eenvoudige wijze door een andere

*Figuur 4. Aan een CAESAR module, waarmee in drie spectrale banden waargenomen kan worden kan men het volgende onderscheiden:*

- Een (standaard) objectief voor de afbeelding van het voorwerp.
  - Een gedeelte bij het beeldvlak. Hier bevinden zich de prisma's voor afbuiging van het licht, de spectrale bandfilters en de CCD detectoren, die op het instelmechanisme gemonteerd zijn.
  - Het elektronica gedeelte. Op een tweetal printplaten wordt die elektronica opgeborgen, die nodig is voor besturing en voeding van de detectoren en voor uitvoer van de signalen.
- Op de spectrale bandfilters en eventueel het objectief na zijn de modules volkomen identiek.*





*Figuur 5. CAESAR bestaat uit een tweetal kasten, die gemonteerd zijn in een frame, dat boven de vliegtuigruij geplaatst kan worden. De grote kast bevat drie modules, waarmee in negen spectrale banden gemeten kan worden. De kleine kast bevat slechts één module, waarmee onder een hoek van circa 52° gemeten wordt. Aan de achterzijde van elke kast bevinden zich de pluggen voor aansluiting van de uitwendige elektronica en van de koellucht.*

kan worden vervangen. Hierdoor bereikt men een grote flexibiliteit in de keuze van de spectrale banden. Momenteel is voorzien in de aanmaak van twee filtersets, één voor waarneming boven land en één voor waarneming boven zee. Daarnaast is het mogelijk vóór het objectief speciale filters aan te brengen, die dan uiteraard functioneren voor alle drie de detectoren binnen de module. Voor deze toepassing wordt op dit moment een set 'correlatie filters' ontwikkeld op basis van een door het ITC ontwikkeld principe.

#### **Twee kasten**

Het instrument bestaat uit twee kasten, die in een juk boven de vliegtuigruij worden geplaatst. (Zie figuur 5.) De grootste kast bevat drie modules die bij monta-

ge op een bodemplaaf onderling nog kunnen worden uitgericht. Bij waarneming boven land wordt van elke module de middelste CCD-detector gebruikt. Deze bevindt zich in het centrale deel van het gezichtsveld en wordt voor metingen met het hoogste oplossende vermogen gebruikt. De uiteindelijke beeldkwaliteit hangt van verschillende factoren af, zoals de optische kwaliteit van het objectief, de afmeting van een detector-element en de integratietijd van elke meting. Maar ruwweg kan men zeggen dat het oplossend vermogen wordt bepaald door de afmeting van een detector-element.

Voor waarneming boven zee worden per module alle drie de spectrale banden gebruikt. Het vereiste oplossend vermogen

maakt hier samenvoeging van de signalen van verscheidene CCD-elementen mogelijk, met als bijkomend voordeel dat de enorme stroom van meetgegevens flink kan worden gereduceerd. Bij deze meting wordt in band 8 zowel met een voorwaarts als achterwaarts liggend CCD-detector gemeten om eventueel te corrigeren voor variatie van de reflectie aan het wateroppervlak van de hemelstraling. De tweede kast wordt gevormd door de al eerder genoemde schuin vooruit kijkende module.

Twee voorzieningen van de scanner dienen nog te worden genoemd. In de eerste plaats is de mogelijkheid van koeling aanwezig. Hiertoe kan men via een kanalsysteem droge, gekoelde lucht langs detectoren en elektronica laten stromen door aansluiting op een uitwendig aggregaat. Deze voorziening heeft het doel in de toekomst met de scanner experimenten in tropi-

sche gebieden mogelijk te maken, terwijl men tevens de mogelijkheid achter de hand heeft de prestatie van het instrument te verbeteren.

Een ander probleem waarmee men bij meting boven zee te maken heeft, is de zonspiegeling aan het wateroppervlak. Hierdoor wordt de detector plaatselijk verzadigd en is de meting onbruikbaar. Na analyse is gebleken dat door zorgvuldige keuze van het tijdstip waarop de meting plaatsvindt en door het instrument te plaatsen met een helling van 20° in de richting 'van de zon af', de invloed van deze zonspiegeling grotendeels kan worden vermeden. Bij CAESAR is in deze mogelijkheid voorzien.

#### **Vergroten know-how**

Een van de doelstellingen van het CAESAR-project is het ver-

#### **De periode waarin men boven land wil waarnemen, is duidelijk gekoppeld aan het groeiseizoen.**

groten van de Nederlandse know-how inzake het gebruik van lineaire CCD-detectoren voor toepassingen voor aardobservatie. Daartoe vormt het testen van en het meten aan deze detectoren een belangrijke activiteit bij de ontwikkeling van de scanner. In de beginfase van het project is besloten van standaard verkrijgbare CCD-detectoren gebruik te maken, voornamelijk vanwege budgettaire redenen. Uit een eerste marktonderzoek bleek dat voor CAESAR een negen CCD-detectoren verkrijgbaar waren. Na evaluatie van fabriekantsgegevens (vooral betreffende technische prestaties en commerciële verkrijgbaarheid) bleken er nog slechts drie in aanmerking te komen. Om hieruit een verantwoorde keuze te kunnen maken, zijn deze op een door de TPD vervaardigde testopstelling nader aan de tand gevoeld. (Zie figuur 6) Deze opstelling bestaat onder andere uit een mechanisme om de detector zeer

nauwkeurig te kunnen positioneren, uit een microscoop voor inspectie en uit een verlichtingsstelsel waarmee zowel een homogene lichtbundel als een zeer klein lichtvlekje met een afmeting van ongeveer vijf micrometer aangeboden kan worden. De gehele testopstelling wordt met een microcomputer bestuurd, waarmee tevens een snelle verwerking van de grote hoeveelheid meetgegevens gebeurt.

De verschillende CCD-detectoren zijn aan een uitvoerig testprogramma onderworpen, waarbij, zonder op de details van de metingen in te gaan, grote verschillen in de technische prestaties zijn geconstateerd. Als resultaat hebben deze metingen geleid tot een duidelijke keuze van de detector die voor het vluchtmodel van CAESAR gebruikt gaat worden, waarbij als bijzonderheid nog vermeld kan worden, dat in dit geval de gekozen detector ongeveer éénderde kost van zijn eveneens geteste collega's.

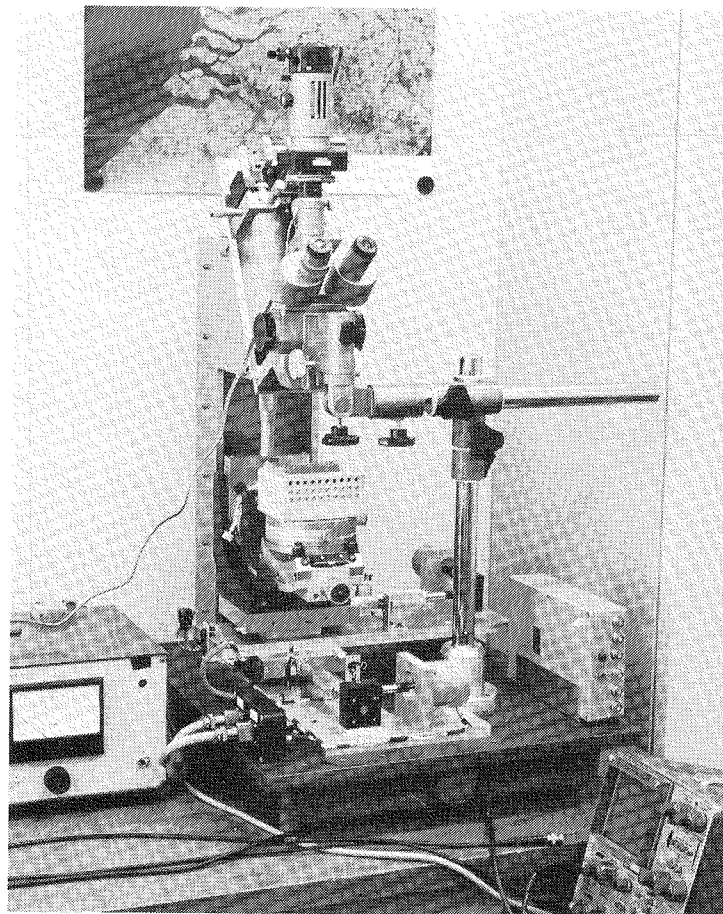
#### Veel gegevens

Elke meting met CAESAR levert een enorme hoeveelheid gegevens, die opgeslagen en voor de gebruiker verder verwerkt dient te worden. Tijdens de vlucht

### CAESAR-scanner dient geschikt te zijn om zowel land- als zee-oppervlak te observeren.

wordt de stroom meetgegevens na een eerste bewerking weggeschreven op een zogenaamde vluchttape. Om enige indruk te verkrijgen van de hoeveelheid: bij meting met het hoogste oplosend vermogen wordt elke 0.005 sec. de inhoud van 1024 detector-elementen (pixels) voor een drietal spectrale banden weggeschreven, waarbij de inhoud van elke pixel, na omzetting van het analoge detector signaal in een digitale waarde wordt weergegeven als een getal dat bestaat uit twaalf enen of nullen (12 bits). De maximale capaciteit van de door het NLR gebruikte opnamerecorder bedraagt 8,5 megabits per seconde (8.500.000 bits/sec.).

Met deze gegevensstroom wordt één vluchttape in ongeveer 15 minuten volgeschreven. Bij metingen boven zee is door het lager oplosend vermogen de gegevensstroom minder, ondanks het feit dat hier in veel meer spectrale kanalen wordt gemeten. De vol-



Figuur 6. Voor het testen van de CCD's is een complexe opstelling vervaardigd, die opgebouwd is uit een groot aantal standaard componenten. Met behulp van een microscoop kan het CCD geïnspecteerd en (homogeen) verlicht worden. Een laser met enige optiek biedt het CCD een zeer kleine beeldvlek aan. Nauwkeurige positionering van een detector geschiedt met behulp van enkele rotatietafels en een tweetal lineaire sleden die met een micro-computer bestuurd kunnen worden. De computer verzorgt tevens de uitlezing en de verwerking van het detector signaal.

#### Beknopt overzicht van de CAESAR specificaties.

Spectrale band	NE $\Delta \rho$ (%)*	
Band 1	535 – 565 nm	≤ 0.5 <b>Landobservatie</b>
Band 2	655 – 685 nm	≤ 0.5
Band 3	845 – 895 nm	≤ 0.5
		Minimaal oplosend vermogen: 0.5 m
		Meetomstandigheden: maart-september 10-16 uur
Band 1	400 – 420 nm	≤ 0.05 <b>Zeeobservatie</b>
Band 2	435 – 455 nm	≤ 0.05
Band 3	510 – 530 nm	≤ 0.05
Band 4	555 – 575 nm	≤ 0.05
Band 5	620 – 640 nm	≤ 0.05
Band 6	675 – 695 nm	≤ 0.05
Band 7	770 – 800 nm	≤ 0.05
Band 8	990 – 1050 nm	≤ 0.05
		Oplosend vermogen: 10 – 20 m
		Meetomstandigheden: gehele jaar 10-16 uur

Gezichtsvelde : totaal 25°, per detector element : 0.26 mrad.

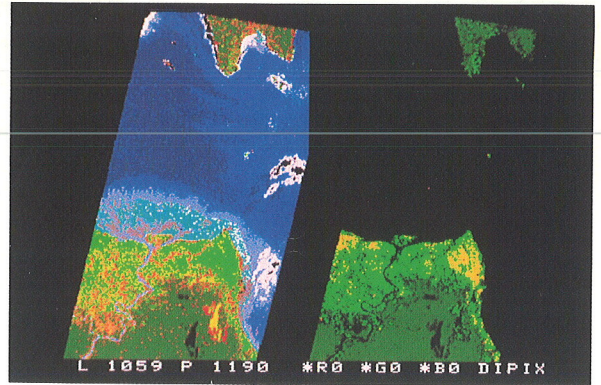
\* NE  $\Delta \rho$  = Kleinste detecteerbare signaalverschil, gerelateerd aan verschil in reflectiepercentage.

geschreven banden worden verder verwerkt op het RESEDA (= Remote Sensing Dataverwerking) systeem van het NLR. Hier kunnen met een computer de gegevens geordend, gecorrigeerd en in spectrale beelden omgezet worden en hier wordt de informatie uiteindelijk in door de gebruikers gewenste vorm weergegeven.

Met het beschikbaar stellen van financiële middelen uit het Stimuleringsfonds van Wetenschapsbeleid wordt beoogd de omvang en kwaliteit van de Nederlandse remote sensing inspanningen naar een hoger niveau te brengen. Daardoor worden zowel onderzoekers

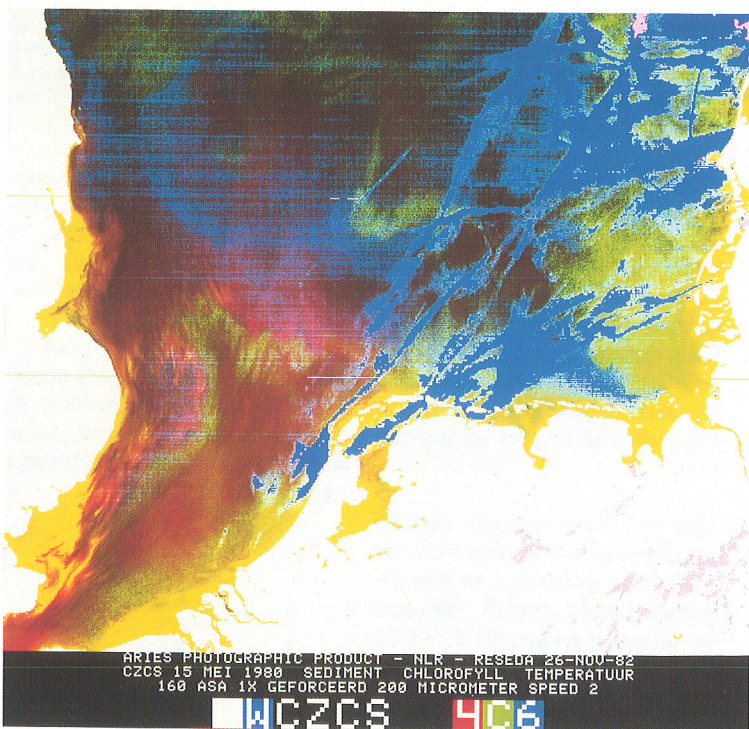
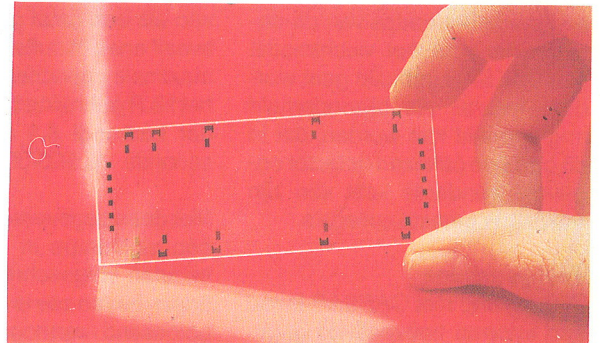
als het bedrijfsleven perspectieven geboden om de te verwachten resultaten aan te wenden ten dienste van het ontwikkelen van nieuwe toepassingen en producten. Verwacht wordt dat de ontwikkeling van de CAESAR scanner, die volgens planning in 1985 operationeel wordt, daaraan een belangrijke bijdrage zal leveren ■



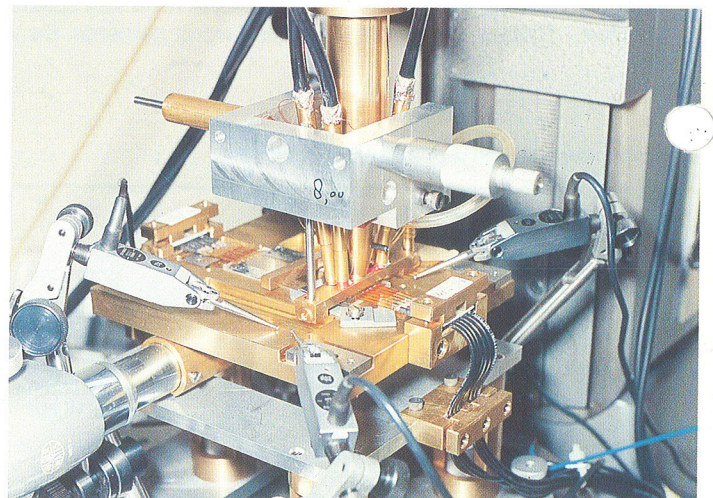


Figuur 2, artikel Bunnik, pag. 93

Figuur 6. Deze foto toont het venster waarop de CCD detector-eenheden zullen worden gemonteerd. Op dit venster zijn, met elektronen-straal lithografie, zeer nauwkeurig ( $\pm 0.6 \mu\text{m}$ ) instelkenmerken aangebracht. Deze kenmerken zijn een twigtigtal paren condensatorplaten van  $0,6 \times 2,2 \text{ mm}^2$ . De afstand tussen een platenpaar is ongeveer  $0,6 \mu\text{m}$ . (Artikel Van Agthoven, pag. 104)



Figuur 3, artikel Bunnik, pag. 93



Figuur 8. Hier wordt een beeld gegeven van de CCD justeeropstelling. De op dragers gemonteerde CCD chips worden hiermee een voor een boven het venster ( $250 \mu\text{m}$ ) op de juiste plaats gejusteerd, waarna de mechanische verbinding aan het venster wordt uitgevoerd. Met de chip-dragers combinatie kunnen de zes graden van beweging t.o.v. het venster worden uitgevoerd. De stand van de chip t.o.v. de kenmerken op het venster worden capacitief gemeten. (Artikel Van Agthoven, pag. 105)