

H. BOKHOVE EN A. HAMMERSCHLAG

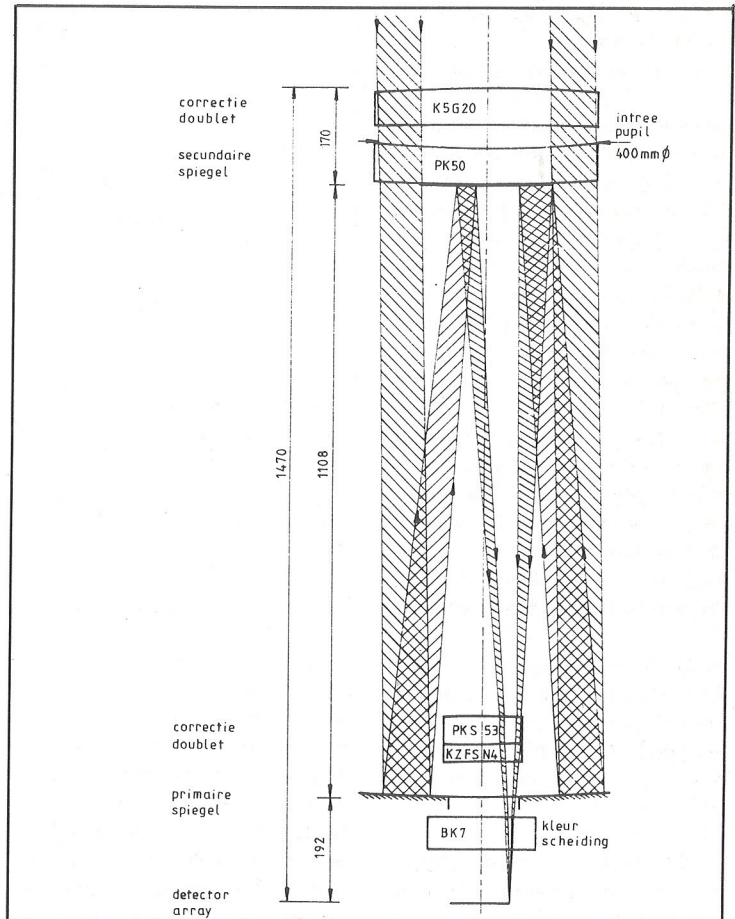
HET WAARNEMINGSINSTRUMENT VOOR DE 'TROPICAL EARTH RESOURCES SATELLITE'

De baanhoogte van de TERS-missie zoals beschreven door Hoeke is met 1680 km meer dan het dubbele van alle andere aardobservatiemissies die tot nu toe zijn uitgevoerd of voorgesteld. De zichtafstand tot gebieden op ongeveer 10° breedte, tot waar de specificaties gelden, bedraagt zelfs 2095 km. De genoemde baanhoogte betekent dat TERS dichtbij het maximum van de stralingsgordels om de aarde vliegt. De stralingsschade aan detectoren, optische componenten en andere gevoelige delen is door een belangrijke zorg van de ontwerper. De grote afstand tot het waar te nemen aardoppervlak maakt dat een groot instrument nodig is om de vereiste afbeeldingscherpte te halen. Om met vrucht multispectrale waarnemingen van 20 m beeldelementen op 2095 km afstand uit te voeren is tengevolge van de lichtbuiging een diameter van de optiek van minstens 300 mm nodig. Om enige reserve te hebben is bij het ontwerp uitgegaan van 400 mm. De benodigde lichthoeveelheid is bij de gevoeligheid van huidige detectoren niet meer bepalend voor de dimensionering van het systeem.

Het ontwerp is voornamelijk aangepast aan de op het ogenblik verkrijgbare detectoren die vrijwel allemaal een beeldelement van 13 µm x 13 µm hebben. Om de invloed van de vrij aanzienlijke 'overspraak' tussen naburige elementen te verminderen, worden twee elementen van de detector voor multispectraal werk tot één beeldelement samengevoegd. De 13 µm detectorelementen corresponderen dus met 10 m op 2095 km afstand. Hieruit volgt dan direct een brandpuntsafstand van 2,7 m. Ook volgt hieruit dat één detectorelement in hoekmaat vrijwel precies overeenkomt met 1 boogseconde. Om aan de kwalitatieve eisen van aardobservatie te voldoen moet het scheidend vermogen van de optiek op zich nog aanzienlijk beter zijn.

Het aanpassen van bestaande optische ontwerpen voor instrumenten in een gebruikelijke baanhoogte aan de bovengenoemde dimensies zou leiden tot onaanvaardbaar grote en zware constructies. Er was dus een andere opzet nodig. Men kan daar-

bij profiteren van de omstandigheid dat door de hoge baan, en door de betrekkelijk kleine zwade die voor een actief richtbaar instrument nodig is, het gezichtsveld van het TERS-instrument betrekkelijk klein kan blijven. De opzet is dat in ieder van de drie kleurbanden de zwade wordt bestreken door vier CCD detectoren met ieder 2048 elementen. Met enige overlap tussen de detectoren geeft dit een zwade van 8000 elementen die overeenkomt met ongeveer 1,1°. Hiermede is het mogelijk een spiegelstelsel toe te passen zoals voor astronomische telescopen gebruikelijk is. Men kan dan de lichtweg opvouwen en men krijgt zo een veel korter en lichter instrument. Gekozen is voor een zogenoemd catadioptrisch systeem waarbij de aanzienlijke afbeeldingsfouten van de bolvormige spiegels met lenzen worden gecorrigeerd (figuur 1). De beeldfouten van het getoonde systeem blijken inderdaad aanzienlijk kleiner te zijn dan de effecten van lichtbuiging. Er is dus nog reserve in het ontwerp, die



Figuur 1. Het optisch ontwerp voor het TERS instrument. In dit catadioptrische systeem worden de beeldfouten van de bolvormige spiegels gecorrigeerd door twee lens doubletten. Het voorste doublet dient vooral om de afbeeldingscherpte te corrigeren. Het tweede doublet bij de primaire spiegel dient vooral om een vlak beeldvlak te verkrijgen, en om de brandpuntsafstand in de spectrale banden gelijk te maken. Het ontwerp is afgeleid van een door Beckers van de Optische Industrie Oude Delft ontworpen systeem voor een nachtkijker. Dit heeft bij TPD voor verschillende projecten diverse transformaties ondergaan, die uiteindelijk tot dit ontwerp hebben geleid.

op verschillende wijzen nuttig gebruikt zou kunnen worden. Bij het ontwerp is rekening gehouden met het gebruik van stralingsgeharde glazen.

Karakteristieke eigenschap

Het is een karakteristieke eigenschap van de TERS-missie dat de prestaties bij gelijkblijvende

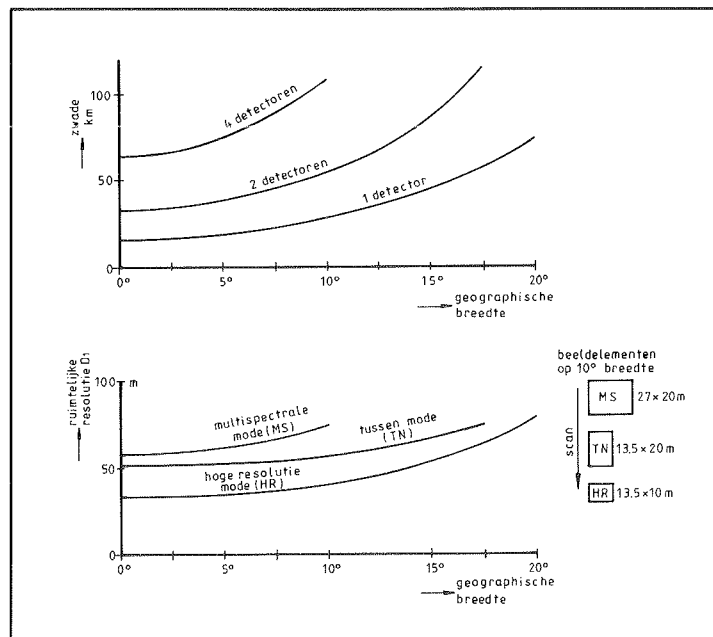
instrumenteigenschappen, sterk afhankelijk zijn van de breedtegraad die wordt waargenomen tengevolge van de veranderde afstand en inkijshoek. Hierdoor veranderen zowel de zwade als de vorm en afmetingen van de beeldelementen. In lichte mate verandert ook de bewegingsonscherpte. Omdat al deze groot-

heden op andere wijze van de breedtegraad afhangen ontstaat een verwarrend beeld. Om hierin enige orde te brengen zijn de resolutie-parameters samengevat tot één maatstaf voor de ruimtelijke resolutie: D1. Deze is gedefinieerd als de minimale diameter die de ingeschreven cirkel van een veld moet hebben om er zeker van te zijn dat er minstens één beeldelement wordt waargenomen waarvan het signaal geheel van dit veld afkomstig is, als men optische beeldfouten en detectoroverspraak verwaarloost. D1 is veel groter dan de afmetingen van het beeldelement, vooral ook omdat men er rekening mee moet houden dat het raster van waargenomen beeldelementen een volstrekt willekeurige ligging ten opzichte van de veldgrenzen heeft. De waarde van D1 is echter een vrij realistische maat voor de objecten die nog multispectraal kunnen worden geanalyseerd. De afmetingen van het beeldelement zelf zijn een goede maat voor de objecten die nog onderscheiden kunnen worden.

In figuur 2 is het verloop van D1 en de zwade met de breedtegraad weergegeven. Er is daarbij uitgegaan van drie verschillende manieren om de detectoren te bedienen:

1. 'Multispectrale mode' Detectorelementen paarsgewijze samengevoegd. Bewegingsonscherpte 20 m op $\pm 10^\circ$. 4 detectoren/band operationeel.
2. 'Tussen mode' Detectorelementen apart. Bewegingsonscherpte 20 m op $\pm 10^\circ$. 2 detectoren/band operationeel.
3. 'Hoge resolutie mode'. Detector elementen apart. Bewegingsonscherpte 10 m op $\pm 10^\circ$ (halve integratietijd). 1 detector/band operationeel.

De datastroom is precies gelijk voor de drie gevallen (circa 8 Mbps/band) zodat dit operationele mogelijkheden zijn die het systeem naar keuze kan verwerken. Men ziet uit de figuur dat



Figuur 2. Verloop van zwade en de ruimtelijke resolutie parameter D1 van het TERS-instrument als functie van de breedtegraad van het waargenomen gebied en afhankelijk van de operatiemodus. De parameter D1, gedefinieerd als de minimum diameter die de ingeschreven cirkel van een veld moet hebben om er zeker van te zijn dat er minstens één beeldelement wordt waargenomen waarvan het signaal geheel van dit veld afkomstig is, is veel groter dan het beeldelement. Dit laatste, dat bijvoorbeeld op de evenaar voor de hoge resolutie mode 8 m bedraagt is een maat voor de objecten die nog kunnen worden gedetecteerd. D1 is een maat voor de objecten die nog betrouwbaar multispectraal kunnen worden geanalyseerd.

deze mogelijkheden kunnen worden gebruikt om waarnemingen boven 10° breedte op enigszins vergelijkbaar niveau te doen, waarbij men zich natuurlijk moet realiseren dat de beeldkwaliteit door de scheve inblik en de grotere padlengte door de atmosfeer toch achteruit gaat, terwijl ook optische en detector-effecten een grotere invloed hebben als de detectorelementen apart worden gebruikt. Er zijn echter toepassingen zoals bijvoorbeeld waarneming van grote natuurrampen en het bewaken van scheepsbewegingen waar dit niet zo belangrijk is. Uiteraard kan een gebruiker ook van de mogelijkheden gebruik maken om bij de equator een klein gebied met maximale resolutie op te nemen. Met deze flexibiliteit in de kleurkanalen werd het niet nodig geacht een speciaal panchromatisch kanaal voor hoge resolutie werk op te nemen. Hiervoor kan naar keuze het meest geschikte kleurkanaal worden gekozen. Het signaal van TERS is

hoog genoeg om onder de meeste waarnemingscondities multispectraal in hoge resolutie waar te nemen. Het is bovendien juist een kenmerk van TERS dat waarnemingscondities, bijvoorbeeld zonnestand, nog verregaand gekozen kunnen worden. Het lijkt erop dat multispectraal werk in de hoge resolutie mode voor TERS belangrijk zou kunnen zijn. Het wordt dan belangrijk de invloed van beeldfouten en de detectoroverspraak nog verder te beperken. De optiek heeft al een zekere overmaat. Voor wat betreft de detectoren zijn er mogelijkheden in ontwikkeling om de eigenschappen te verbeteren zoals door Declerck en Debusschere beschreven.

Totaalindruk instrument

Figuur 3 geeft een totaalindruk van het instrument. De as van het instrument ligt evenwijdig aan de vliegrichting van de satelliet. Met een 45° spiegel wordt de zichtrichting naar de aarde afgebogen. Door het hele instrument om

zijn as te verdraaien kan de zwade langs de meridiaan worden verplaatst. De verstelsnelheid is ongeveer $3^\circ/\text{s}$. Om van 10° zuidbreedte naar 10° noorderbreedte te gaan moet de zichtrichting over 64° worden versteld. Dit kan dus in 22 seconden.

In deze tijd beweegt de satelliet zich over ongeveer 120 km van het aardoppervlak. In deze opzet is de bewegingsmogelijkheid vrij gemakkelijk uit te breiden tot $\pm 180^\circ$. Hiermede kan de aarde onbeperkt worden waargenomen tot aan de horizon die voor 1680 km baanhoogte op $\pm 37,5^\circ$ breedte ligt. Van de mogelijkheid wordt verder gebruik gemaakt voor kalibratiedoeleinden. Onder 90° met de verticaal kan worden gekeken naar een door de zon verlicht diffusor-paneel dat een relatieve kalibratie tussen alle detectorelementen geeft. Onder 180° wordt gekeken naar sterren die steeds voor enkele elementen een absolute kalibratie leveren. De sterpassages worden eveneens gebruikt als periodieke absolute referentie voor het standsregelsysteem. Deze soort operaties zijn gepland in de baanfase waar de satelliet reeds in zonlicht is, en dus vermogen ter beschikking is, en het onderliggende aardoppervlak zich nog in de schaduw bevindt, en dus niet waarneembaar is.

Stralingsgordel

Zoals opgemerkt ligt de baan van TERS binnen de stralingsgordel die de aarde omgeeft. De straling in deze gordel bestaat voornamelijk uit van de zon afkomstige elektronen en protonen die door het magneetveld van de aarde worden vastgehouden. Op 1680 km hoogte waar de TERS zich zal gaan bewegen is de grootste bedreiging afkomstig van energierijke protonen. Wanneer deze snel voortvloeiende deeltjes op materie stoten vindt een geleidelijke afremming plaats tot ze tenslotte geheel tot stilstand komen. Langs hun pad vinden veranderingen in het materiaal plaats, die de eigenschappen daarvan

doorgaans ongunstig beïnvloeden. Wat betreft de satelliet liggen de in dit opzicht te verwachten problemen vooral bij de zonnepanelen en de boardelektronica. Binnen het instrument zijn het met name de CCD detectoren en de lenzen van de optiek die ernstige schade kunnen oplopen.

De degradatie van CCD detectoren komt aan de orde in het artikel van Declerck en Debusschere. Het glas van de lenzen ondergaat in het algemeen een bruinverkleuring, waardoor er minder licht op de detectoren terecht komt.

De omstandigheid dat de stralingsdeeltjes worden afgeremd door materie, kan men benutten door gevoelige onderdelen met zware wand te omringen. Een dergelijke afscherming kan wat betreft de protonen niet volledig zijn gezien de wanddikten die dit zou vereisen. Niettemin kan met een matige afscherming van zo'n 10 mm wolfram (soortelijke massa: 19 g/cm^3) reeds een zeer aanzienlijke deel van de straling

worden tegengehouden. Voor wat de CCD detectoren aangaat, dient men een dergelijke maatregel aan te vullen met het gebruik van volgens speciale procédé's vervaardigde exemplaren, waardoor een zekere mate van bestralingsbestendigheid verkregen wordt. Mocht dit nog onvoldoende blijken, dan kan koeling van de detectoren een laatste redmiddel zijn. Het effect daarvan is een vermindering van de tengevolge van stralingsbescha-

figuur 3. Overzicht van de instrument configuratie. Het hele instrument is draaibaar in de satelliet ingebouwd om de verstelling van de zichtrichting mogelijk te maken. Met deze beweging kan het instrument gericht worden op een kalibratiepaneel of op sterren. De laatste geven absolute kalibratiereferenties en referenties voor de standregeling. De buitenbus waarin het instrument draait dient tevens als stralingsafscherming. De detectoren zijn nog van extra lokale afscherming voorzien. De eerste lens die niet afgeschermd kan worden is van stralingsbestendig glas.

diging toegenomen donkerstroom.

Ook voor glas zijn technologieën ontwikkeld die de stralingsgevoeligheid verminderen, tot dusver echter niet voor alle glassoor-

ten. De voor de optiek aangewezene aanpak behelst het aanbrennen van enige afscherming rondom en aan de achterzijde, terwijl stralingsbestendig glas wordt gebruikt voor de eerste lens aan de voorzijde. Waar voor volgende componenten de eisen van het optisch ontwerp het gebruik van stralingsbestendige lenzen zou uitsluiten, zijn deze daardoor tenminste niet aan directe straling blootgesteld. De optiek als geheel vormt een uitstekende afscherming aan de voorzijde van de detectoren.

