

2/11/84

THEMA

Bibl. Hoofdkantoor TNO
's-Gravenhage

H. BOKHOVE

25 JULI 1984

ONTWERP VOOR EEN
'OCEAN COLOUR MONITOR'

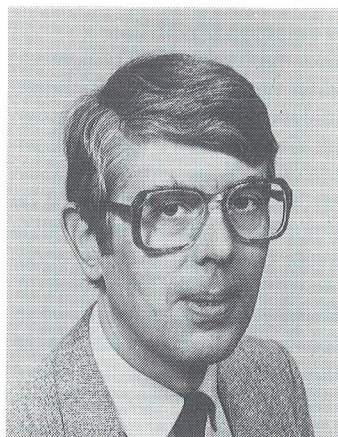
De 'Ocean Colour Monitor', afgekort tot OCM, zal volgens de huidige plannen deel uit maken van het instrumentenpakket van de tweede 'European Remote Sensing Satellite' ERS-2, te lanceren in 1989. Om diverse redenen werd de OCM geschrapt uit de ERS-1, welke omstreeks eind 1987 in een baan om de aarde gebracht zal worden. Dientengevolge is de ontwikkelingsgeschiedenis van de OCM nog langduriger dan gewoonlijk voor ruimtevaart-instrumenten het geval is. In dit geval kan dat ertoe leiden dat het uiteindelijk te bouwen apparaat wezenlijk verschilt van hetwelk oorspronkelijk voor de ERS-1 werd uitgedacht.

Deze oorspronkelijke opzet gaat uit van het gebruik van een klein aantal enkelvoudige lichtdetectoren. Met het instrument dat hier omheen is ontworpen kan op een gegeven ogenblik dus slechts een beperkt aantal stukjes aardoppervlak worden bekeken, gelijk aan het aantal detectoren, hetgeen hier een viertal was. Om op deze wijze toch een flinke strook ('zwade') van het onder de satelliet doortrekkende aardoppervlak te kunnen waarnemen, is voor de ingang van het eigenlijke instrument een bewegende spiegel geplaatst. Met deze bewegende spiegel kunnen achtervolgens zeer vele stukjes aardoppervlak gelegen langs een lijn loodrecht op de voortbewegingsrichting worden gezien, zodat in combinatie met de beweging van de satelliet (snelheid circa 7 km/s) het gewenste beeld lijn voor lijn wordt opgebouwd. Het zal duidelijk zijn dat in deze opzet de tijd die beschikbaar is voor het opnemen van de elementaire stukjes aardoppervlak (in fotografie-terminen de belichtingstijd) zeer gering is namelijk omstreeks 1/25.000 seconde. Andere nadelen die aan deze opzet kleven zijn onder andere de niet al te hoge betrouwbaarheid van bewegende onderdelen onder de in de ruimte heersende omstandigheden en de beperkte nauwkeurigheid waarmee het detectorsignaal met de stand van

de spiegel kan worden gecorrigeerd; met andere woorden: de precisie waarmee kan worden vastgesteld waar men iets gezien heeft.

Zoals uiteengezet in het artikel van Hammerschlag, heeft de komst van lijndetectoren (waarin tot ongeveer 2000 afzonderlijke detectorelementen zijn geïntegreerd tot één opnemer), ertoe geleid dat de aandacht zich op dit moment zeer sterk richt op de zogenaamde 'pushbroom' instrumenten. Met een dergelijke lijndetector, of eventueel met enkele in elkaars verlengde geplaatst, kan men nu in één klap de gehele lijn bestrijken, die men voorheen middels de bewegende spiegel moest aftasten. Naast het behalen van een geweldige winst in belichtingstijd verdwijnen met de bewegende spiegel tevens de daaraan verbonden problemen van betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van plaatsbepaling. Deze ontwikkeling tezamen met het verschuiven van de OCM van ERS-1 naar ERS-2 waren voor ESA aanleiding studies te laten verrichten naar de haalbaarheid van een zogenaamde 'Advanced OCM' gebaseerd op het 'pushbroom' principe.

Een van deze studies is uitgevoerd door de combinatie MATRA-TPD-DERO. De TPD, ook reeds betrokken bij de vroegere



H. Bokhove (38) in 1971 afgestudeerd als natuurkundig ingenieur aan de Technische Hogeschool te Delft. Sinds 1972 is hij werkzaam bij de afdeling Instrumentatie Ruimteonderzoek, met als voornaamste activiteit het onderzoek aan detectiesystemen, onder meer met CCD's, voor optische instrumenten voor diverse toepassingen in het ruimteonderzoek.

OCM-ontwikkelingen droeg in deze samenhang de verantwoordelijkheid voor het eigenlijke optische instrument. De in dit artikel gegeven instrumentbeschrijving is dan ook voornamelijk gebaseerd op het 'Advanced OCM'-instrument zoals gedefinieerd aan het eind van deze studie. De beslissing of voor ERS-2 in deze richting wordt doorgegaan, zal in de zeer nabije toekomst door ESA genomen moeten worden.

Voornaamste karakteristieken

De voor de ERS-2 gekozen baan is cirkelvormig op een hoogte van 777 km boven het aardoppervlak. Hij voert praktisch over de polen en is zo gekozen dat het baanvlak ten opzichte van de zon niet van positie verandert. Dit betekent dat de satelliet passages steeds op dezelfde lokale tijd plaatsvinden (Zie het artikel van Hammerschlag). In eerste opzet is gekozen voor een passagetijd van 10.15 uur op de evenaar; voor noordelijker en zuidelijker gelegen oorden verschuift dit geleidelijk naar latere respectievelijk vroegere tijdstippen. De bewegingsrichting aan de dagzijde is van noord naar zuid. Karakte-

ristiek voor een instrument voor zeewaarneming zoals OCM is het grote aantal spectrale banden waarin beelden moeten worden opgenomen, in totaal acht, waarvan zes in het zichtbare gebied en twee in het nabije infrarood. De wens van de gebruikers om ook in het wat verdere infrarood nog vier banden ter beschikking te hebben kan niet worden vervuld, dit in tegenstelling tot de OCM in oude opzet. Hiermee is dan tevens een zwakke plek van de 'pushbroom' blootgelegd, namelijk het ontbreken van geschikte lijndetectoren voor het infrarode deel van het spectrum. In de niet al te verre toekomst zal hier echter zeker verandering in komen. Het ontwikkelingsterrein van deze detectoren is momenteel nog tamelijk chaotisch, terwijl het zicht op de juiste stand van zaken wordt belemmerd door de militaire belangstelling voor dit golfnengtegebied. Voor de 'Advanced OCM' betekent deze situatie echter een serieuze bedreiging van de voortzetting voor ERS-2.

De ruimtelijke resolutie, te beschouwen als een maat voor de kleinste objecten die kunnen worden gezien, bedraagt 250 m,

waarbij een 1000 km brede zwade wordt afgetast. Door de draaiing van de aarde schuift deze zwade met elke satelliet omloop (in ongeveer anderhalf uur) een stuk op, zodanig dat na drie dagen het gehele aardoppervlak bestreken is. Om een indruk te geven van de nauwkeurigheid waarmee het van de aarde afkomstige signaal gemeten wordt, zij vermeld dat het gehele bereik tussen donker en maximum helderheid is opgedeeld in 4000 stappen ('grijs'-tinten). Dit houdt in dat het signaal afkomstig van elke $250 \times 250 \text{ m}^2$ aardoppervlak wordt gerepresenteerd door een combinatie van twaalf enen en nullen (bits). De grote stroom informatie die door dit instrument wordt afgeleverd drukt men gewoonlijk uit in een aantal bits per seconde. Een eenvoudige rekensom, gebaseerd op de genoemde twaalf bits per oppervlakte-element van $250 \times 250 \text{ m}^2$, de breedte van de afgetaste zwade en de voortbewegingssnelheid van de satelliet, levert een getal op van 1,3 miljoen bits per seconde (1,3 Mbits/s) per spectrale band, ofwel 10 Mbits/s voor alle acht banden gezamenlijk! Deze stroom van gegevens wordt in eerste instantie opgeslagen met behulp van een aan boord zijnde bandrecorder. Zodra de satelliet in de buurt van een daartoe bestemd grondstation komt, worden de gegevens van de band gehaald en via de radiozender van de satelliet naar beneden geseind. Met name de noodzakelijke tussenstap van een bandrecorder maakt een onafgebroken gegevensstroom van 10 Mbits/s onaanvaardbaar. De instrument opzet voorziet daarom in een aantal mogelijkheden deze stroom in te dammen, zonder het nut niet al te zeer te beperken. In de eerste plaats is het mogelijk de ruimtelijke resolutie terug te brengen naar 500 m, hetgeen de gegevensstroom met een factor vier vermindert.

Daarbij is aan te tekenen dat 500 m meestal ruim voldoende is; 250 m wordt voornamelijk verlangd voor de kustgebieden. Ten

tweede kan gekozen worden voor het terugbrengen van het aantal spectrale banden tot vier of twee, hetgeen voor bepaalde toepassingen aanvaardbaar is. Tenslotte kan besloten worden slechts een gedeelte van de zwade op te nemen, zowel 500 km als 250 km is daarbij mogelijk.

Problemen boven zee

Kijkt men vanuit de hoogte op water neer dan blijkt bij nadere analyse dat men maar weinig van het water zelf ziet. Om te beginnen veroorzaakt verstrooiing van het invallende zonlicht door de atmosfeer een gelijkmatige 'sluier' over het beeld. Daarenboven werkt het wateroppervlak gedeeltelijk als een spiegel, waardoor zowel direct zonlicht als diffuus hemellicht door het instrument wordt opgevangen zonder dat dit in het water is binnengedrongen. Slechts een geringe fractie (meestal minder dan 10%) is daadwerkelijk afkomstig van weerkaatsing door in het water zwevend materiaal en dientengevolge drager voor informatie omtrent aard en concentratie ervan. Daar komt nog bij dat de onderlinge verhoudingen tussen de diverse signaalbestanddelen afhangen van de toestand van de atmosfeer en het wateroppervlak en van de waarnemingsgeometrie, met name de hoek waaronder naar het water wordt gekeken en de zonnestand ter plaatse. Deze moeilijke omstandigheden, die karakteristiek zijn voor het waarnemen van watereigenschappen, verklaren groten-deels de hoge eisen aan de meetnauwkeurigheid en het grote aantal spectrale banden, waarvan sommige enkel bedoeld zijn om correcties toe te passen voor de storende invloeden van atmosferische verstrooiing en waterreflectie. In hetzelfde licht moet ook de mogelijkheid gezien worden om tijdens de vlucht een ijking van het instrument uit te voeren met de zeer hoge nauwkeurigheden van twee procent in absolute zin en een half procent voor wat betreft de onderlinge verschillen tussen de detector elementen. Om ver-

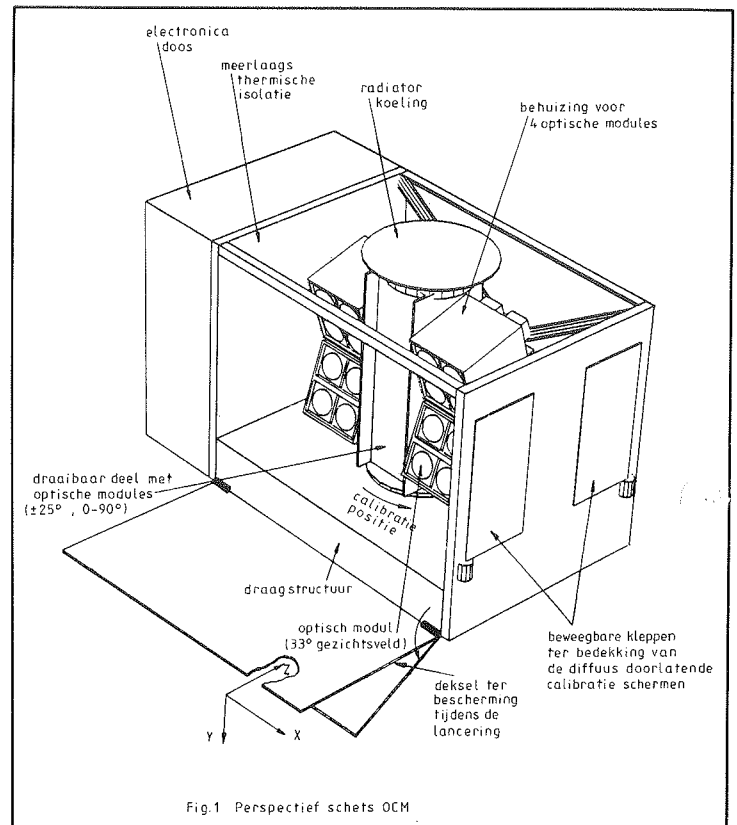


Fig.1 Perspectief schets OCM

dere complicaties te vermijden als gevolg van de polarisatie toestand van het opgevangen licht, is er naar gestreefd de polariserende werking van het instrument beneden een procent te houden.

Instrument opzet

De opzet van het instrument is verregaand modulair. Het is opgebouwd uit zestien vrijwel identieke modules. Een module omvat een afbeeldingsoptiek, een 2048-elements detector, een kleurfilter en een minimale hoeveelheid elektronica. Het aantal van zestien komt tot stand door per spectrale band twee modules te gebruiken die ieder een helft van de zwade voor hun rekening nemen (500 km ofwel een gezichtsveld van 33°). De acht modules die naar hetzelfde deel van de zwade kijken, zijn ondergebracht in een stabiel frame. Binnen dit frame waarvan de temperatuur nauwkeurig wordt geregeld om vervormingen in de hand te houden, kunnen de modules ten opzichte van elkaar worden 'uitgelijnd'. Dit houdt in dat hun

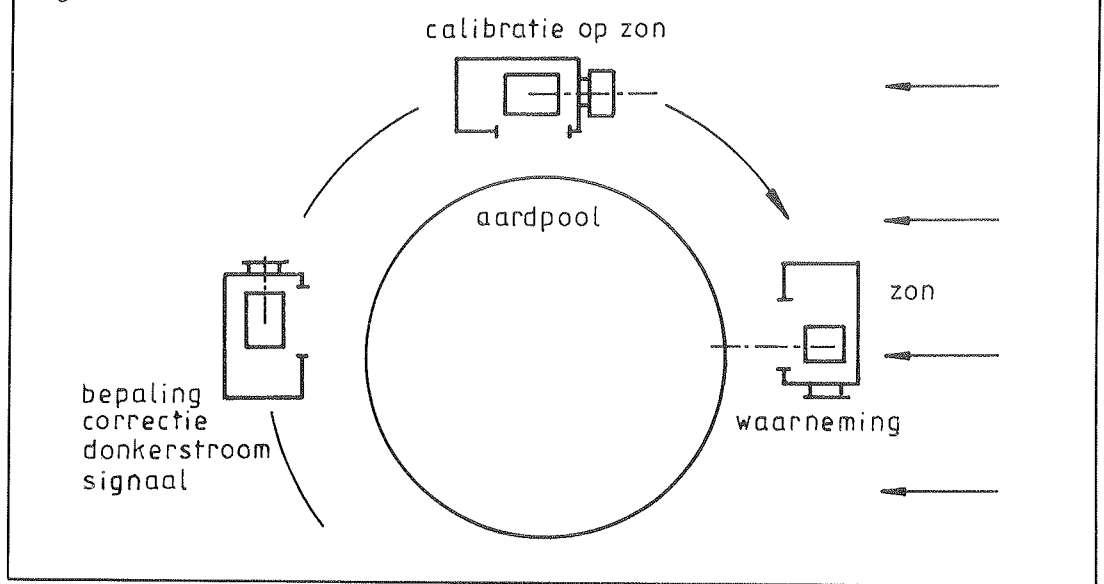
kijkrichtingen nauwkeurig aan elkaar gelijk worden gemaakt, zodat overeenkomstige detector-elementen van de acht modules precies hetzelfde stukje aarde zien (co-registratie). De uiteindelijke fout in dit opzicht mag niet meer dan 50 meter bedragen. Deze eis stelt men om de in van de acht spectrale banden maakte opnamen goed met elkaar te kunnen combineren. De beide clusters van de acht modules worden onder een hoek van 33° ten opzichte van elkaar gemonteerd en wel zodanig dat hun gezichtsvelden elkaar vlak voor het instrument kruisen. Deze opstelling is bijzonder gunstig met het oog op de ijking. Hiervoor wordt nu een diffuus verstrooend scherm gebruikt, geplaatst in het gebied waar de gezichtsvelden elkaar overlappen, waardoor de afmetingen van dit onderdeel minimaal blijven ($15 \times 30 \text{ cm}^2$). De optische modules worden tezamen met dat deel van de elektronica welk men dichtbij de modules wenst te houden, draaibaar gemonteerd in een metalen doos, waarin tevens de overige

elektronica is gehuisvest. Hiermee is tenslotte het complete instrument verkregen zodat dat in de satelliet kan worden opgesteld. (Zie figuur 1).

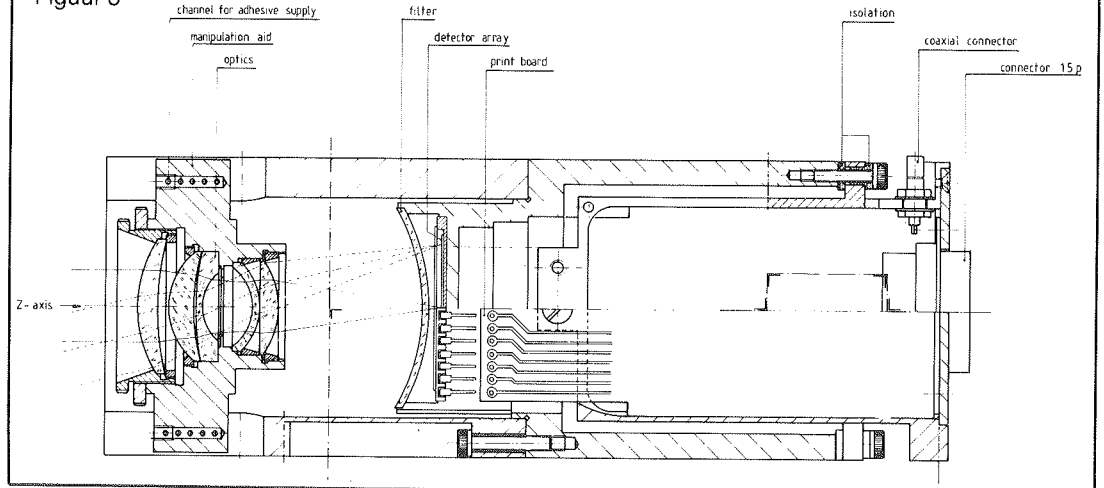
Het optische deel is draaibaar in de bewegingsrichting van de satelliet. In de normale stand kijken de modules door een opening in de doos recht naar beneden. Voor het maken van opnamen in gebieden waar schittering van de zon op het water problemen oplevert, kan schuin naar voren of naar achteren gekeken worden. Door een kwart slag te draaien komt de zijwand van de doos in

z. Hierin bevindt zich een scherm van opaal glas, hetgeen in een bepaalde fase van de omloop rond de aarde door de zon beschenen wordt. In deze situatie vindt de ijking van de gevoeligheid van de detectoren plaats. Indien niet gebruikt voor ijking is het scherm met behulp van een klep aan de buitenzijde afgedekt ter bescherming. Tevens geeft dit de mogelijkheid om aan de donkere zijde van de aarde de modules op de nu gesloten, donkere wand te richten en een ijking uit te voeren van het nulniveau van de detectoren. (Zie figuur 2). Van een individuele optische module is een doorsnede gegeven in figuur 3. Men onderscheidt hierin de vier essentiële onderdelen: de optiek, het kleurfilter, de detector en de module elektronica. Ook op het niveau van het module was veel aandacht nodig om te kunnen voldoen aan de eerder genoemde eis tot coregistratie. Zo is de eerste component van de optiek verstelbaar om de vergroting van de modules nauwkeurig aan elkaar gelijk te maken. Bovendien wordt de optiek in zijn geheel eerst nauwkeurig gepositioneerd met behulp van een speciale optische testopstelling waarna deze positie door verlijming gefixeerd wordt. Opmerkelijk is voorts het gekromde filter. Deze kromming dient zowel ter vermindering van lichte verschillen in de spectrale doorlaatband gezien door de verschillende detectorelementen als tot minimalisering van de polarisatie.

Figuur 2



Figuur 3



Wat betreft de detector is de keuze gevallen op een CCD-detector met 2048 elementen. Dit aantal is in dit geval vrijwel optimaal.

Een langere detector zou om te beginnen reeds het dubbele aantal elementen moeten hebben om een vereenvoudiging tot één module per spectrale band (en dus een halvering van het aantal modules) mogelijk te maken. Bovendien blijkt een dergelijke vereenvoudiging op optische bezwaren te stuiten, gezien de vele eisen waaraan reeds voldaan moet worden. Interessant voor de toekomst, en ook optisch haalbaar, is de toepassing van

een zogenoemde *dichromatische* detector, waarbij twee lijnen van 2048 elementen op één chip dicht naast elkaar aanwezig zijn. Hiermee kunnen twee spectrale banden in één module ondergebracht worden. Een gering nadeel hierbij is dat de waargenomen stukken aardoppervlak nu niet meer samenvallen. De verschuiving is met een dergelijke detector echter uiterst gering en bedraagt bovendien een geheel aantal malen de afmeting van een oppervlakte element ($250 \times 250 \text{ m}^2$), waardoor de beide opnamen met een eenvoudig uit te voeren verschuiving achteraf toch weer nauwkeurig tot dek-

king zijn te brengen. De grote winst die te bereiken is met deze nog in ontwikkeling zijnde detector, is een vermindering van het aantal modules tot een achttal. ■