

G. P. DE LOOR EN P. HOOGEBOOM

AARDOBSERVATIE MET RADAR: ONDERZOEK RICHTEN OP JUISTE VRAAGSTELLING

Een overzicht van het onderzoek dat op het terrein van de aardobservatie met behulp van radar in Nederland wordt verricht voor toepassing op land en op zee. Dit onderzoek vindt plaats onder auspiciën van de interdepartementale Begeleidings Commissie Remote Sensing (BCRS) en geschiedt in interdisciplinaire werkgroepen. Hierbij wordt zowel het aspect van de sensor definitie/ontwerp als het gebruik van de datastroom bekeken.

De laatste decennia is een aantal nieuwe apparaten beschikbaar gekomen die het mogelijk maken om de aarde niet alleen met behulp van zichtbaar licht maar te nemen vanuit de lucht en de ruimte. Dit zijn met name de mogelijkheden tot waarnemen in het verre (thermisch) infrarood (TIR) en het microgolffvenster (radar). Wij zullen ons hier beperken tot de radarwaarneming.

Organisatie van onderzoek

De gebruikte apparatuur is nieuw en hun implementatie levert dan ook nogal eens problemen op. Allereerst een schets van deze problematiek die bepalend is geweest voor de aanpak van het onderzoek op dit terrein in Nederland.

In figuur 1 wordt een ruwe schets gegeven van het totale aardobservatie (remote sensing) complex. Dit geldt zowel voor aardobservatie met satellieten als voor die met vliegtuigen. Allereerst is er het waarnemingssysteem zelf, tussen de vraagtekens A en B. Dit puur technische systeem zit dus in een vliegtuig of aardobservatiesatelliet. Het neemt het aardoppervlak waar in een van de genoemde vensters en transporteert deze waarnemingen naar een verwerkingseenheid (bijvoorbeeld een computer). Maar er zit nog iets voor en achter dit stuk techniek, en daar zitten de problemen.

Ervaringstechnieken

De interpretatie van afbeeldin-

gen van het aardoppervlak verkregen met de nieuwe sensoren (scanners, radar, enzovoort) is tot nu toe in hoge mate bepaald door de ervaringen verkregen met de luchtfotografie. De daar gebruikte technieken zijn in hoge mate ervaringstechnieken en vaak moeilijk expliciet te maken. Het gebruikte materiaal (luchtfoto's) is geometrisch goed, maar radiometrisch heel moeilijk te definiëren. De met de nieuwe sensoren in de aardobservatie – zoals radar – verkregen beelden lijken vaak erg op luchtfoto's en velen proberen ze dan ook te interpreteren alsof het luchtfoto's zijn. Voor een eerste indruk kan dat nuttig zijn, maar men moet zich dan wel heel goed realiseren dat men hier te maken heeft met transformaties. Immers de beschreven systemen hebben de in het micron- respectievelijk cm-golfgedebied ontvangen signalen voor ons omgezet naar een beeld in het zichtbaar licht. De waargenomen grijstonen betekenen nu heel iets anders dan de grijstonen in een gewone luchtfoto. Kortom op zo'n omzetting zullen de methodes die in de luchtfotografie gehanteerd worden niet direct toepasbaar zijn.

Bij de geschetste benadering accepteert je wat je krijgt aan beeldmateriaal zonder je er om te bekommeren hoe het tot stand kwam en wat de fysische oorzaak is geweest dat er überhaupt een beeld ontstond. Door zo te handelen wordt maar een heel



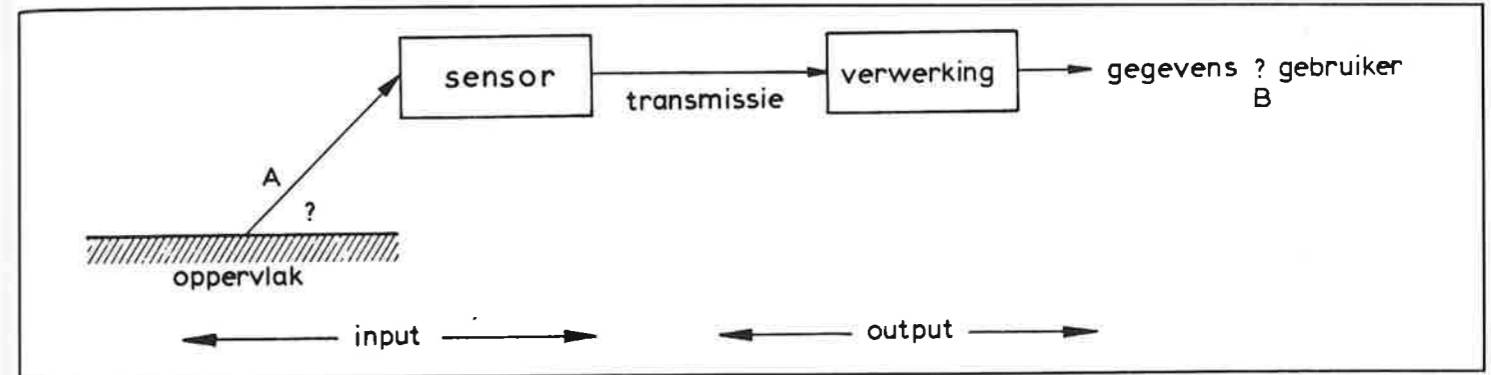
G. P. de Loor behaalde in 1951 het diploma van natuurkundig ingenieur aan de Technische Hogeschool te Delft. In 1956 promoveerde hij in Leiden. Sinds 1951 is hij werkzaam bij het Fysisch Laboratorium TNO waar hij sinds 1960 werkt aan aardobservatie (remote sensing). Zijn belangstelling gaat in het bijzonder uit naar de microgolftchniek van de verschijnselen die bijdragen aan de beeldvorming door de nieuwe sensoren voor aardobservatie. Dit zowel om deze sensoren optimaal te dimensioneren als om ze goed toe te passen.



P. Hoogeboom (1951) is geboren in Groningen. Na zijn studie elektrotechniek met als specialisatie microgolftchniek is hij sinds 1975 werkzaam bij het Fysisch Laboratorium TNO. Zijn werkteerrein omvat onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van remote sensing technieken (met name radar) op land en op zee. De fysische verschijnselen aan het oppervlak spelen daarbij een belangrijke rol en worden in aparte studieprojecten onderzocht.

klein deel van het totale systeem gebruikt: de output. De kwaliteit van deze output wordt echter wel bepaald door de kwaliteit van de input van het systeem. Wanneer we de verkeerde gegevens opnemen (bijvoorbeeld werken in een verkeerde frequentieband of kleur, met een verkeerde polarisatie, enzovoort) of wanneer we niet alle gewenste informatie opnemen, kan dat *nooit* meer worden goed gemaakt. Alles opnemen wat denkbaar is, lost het probleem ook niet op: het verzadigt alleen maar het transmissiekanaal of maakt dit nodeloos duur.

De beste benadering is een 'a priori' benadering: het stellen van de juiste vragen direct bij de sensor. Dat vereist kennis van de kant van de input. En daar ligt het probleem. Wat doet die sensor? De 'sensor' neemt een fysische grootheid waar: een reflectie- of emissiecoëfficiënt. Bovendien is de fysica van elk venster verschillend. De gebruiker van de data is echter in heel wat anders geïnteresseerd. Hij zoekt bijvoorbeeld naar ziekten in een gewas, naar een bedekkingsgraad, naar de waterinhoud van de bodem. Of hij wil economische groothe-



den kennen zoals bevolkingsdichtheid, verwachte opbrengst van de oogst, areaal schatting, enzovoorts en dat bij voorkeur in numerieke vorm, compleet met de foutengrenzen. Al deze informatie is in en aantal gevallen en onder bepaalde voorwaarden af te leiden uit de waargenomen fysische grootheden waarmee het technische opname-systeem werkt. Nu raken we de kern van het probleem: welke zijn die gevallen en welke zijn die bepaalde voorwaarden? De techniek is daarbij veelal *niet* het probleem, althans het is een oplosbaar probleem mits de juiste vraagstelling bekend is. Het onderzoek moet dan ook gericht zijn op een juiste vraagstelling. Nodig zijn de transformaties van de gebruikersgrootheden naar de fysische grootheden die de aardobservatie systemen kunnen waarnemen (B naar A in figuur 1) en weer terug (A naar B). Pas met deze kennis kan het gehele technische systeem worden geoptimaliseerd: de 'sensor' (input) zowel als de output (de juiste data voor de gebruiker).

Meer kennis noodzakelijk

Meer kennis van deze transformaties is nodig. Dit betekent meer kennis van de object-sensor interactie. Deze aanpak wordt in Nederland gevolgd in de verschillende werkgroepen van de BCRS (Begeleidings Commissie Remote Sensing). Deze interdepartementale commissie coördineert onder voorzitterschap van Rijkswaterstaat alle onderzoek op het gebied van aardobservatie (remote sensing) in Nederland, ook dat wat verricht

wordt voor Europese instellingen als de EEG en ESA.

De werkgroepen van de BCRS die zich met radar bezighouden zijn:

- de WG ROVE (Radar Observatie van VEgetatie) voor de landtoepassingen
 - de WG Watergolven en Microgolven voor de oceanografische toepassingen.
- Deze werkgroepen zijn principieel interdisciplinair van opzet en het Fysisch Laboratorium TNO werkt hier samen met Rijkswaterstaat, de Technische Hogeschool in Delft, de Landbouwhogeschool in Wageningen, het KNMI, het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR, Amsterdam) en het Centrum voor Agro-Biologisch Onderzoek (CABO, Wageningen).

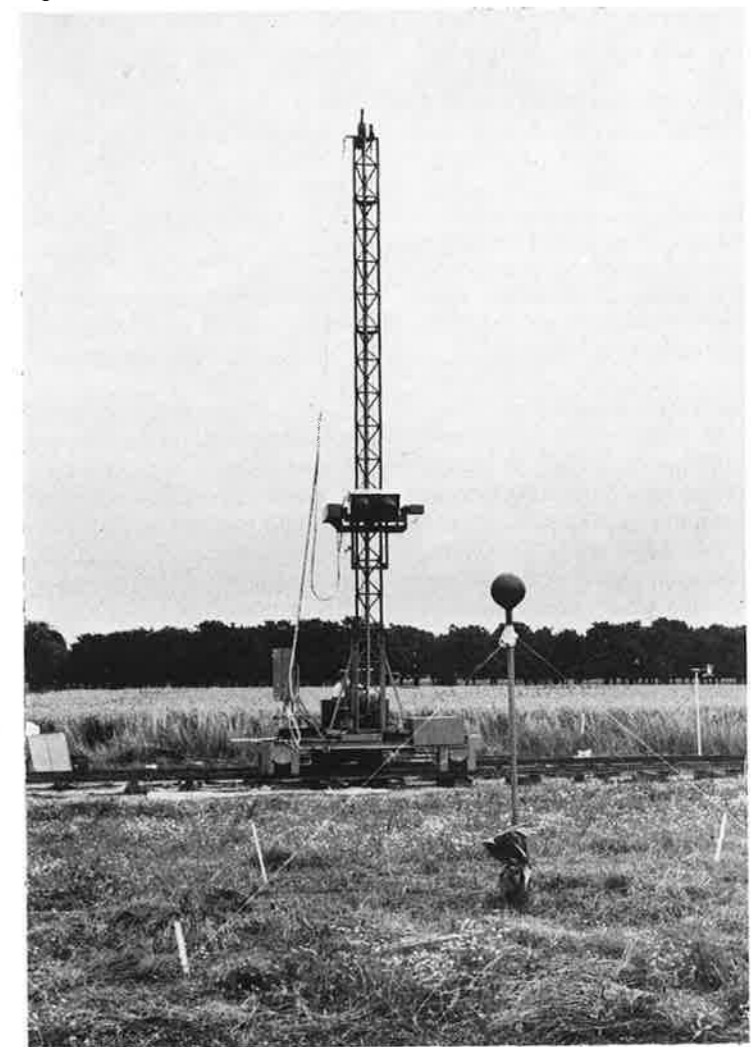
De werkgroep ROVE heeft als aandachtsgebieden:

- snelle controle van het natuurlijk milieu;
- vegetatie kaartering;
- classificatie van landbouwgewassen en natuurlijke vegetaties;
- oogstvoorspelling;
- controle op ziekte en stress;
- bepaling van de grondvochtigheid en -ruwheid (gevoeligheid voor verslapping);

De werkgroep Microgolven en Watergolven heeft als aandachtsgebieden:

- controle (en routing) scheepvaart;
- richtingspectra van zee-golven;
- ijs;
- windvelden;
- verontreinigingen;

Figuur 1. Overzicht van het aardobservatie systeem

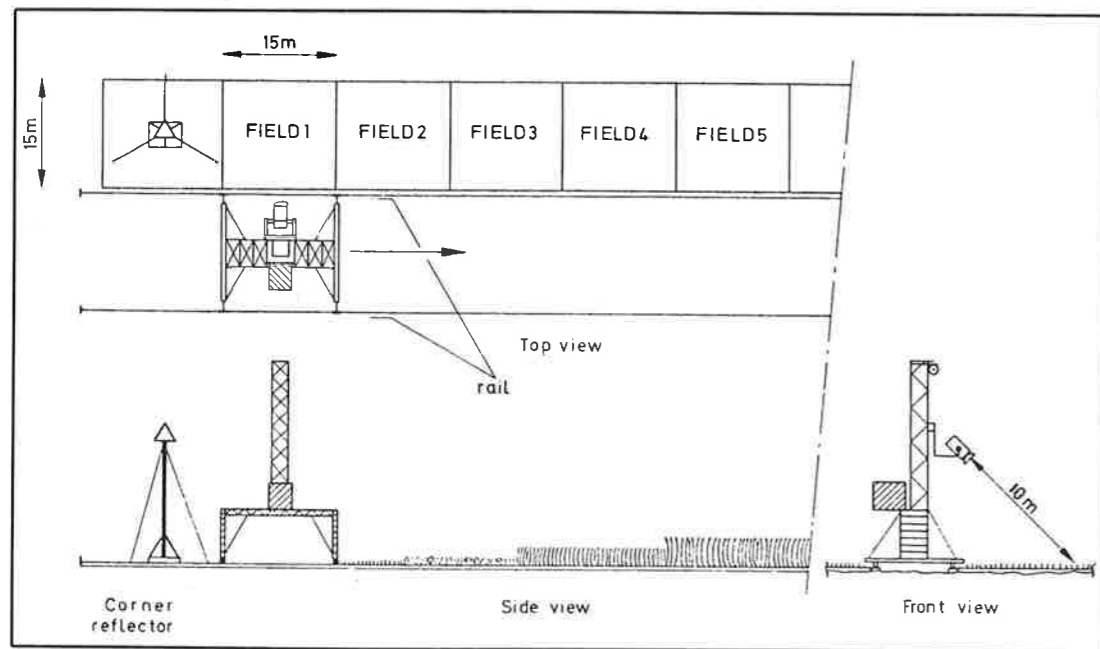


Figuur 2. Foto van de meetradar t.o. een kalibratie-object (Luneberg reflector) aan het begin van een meetserie

- expressie aan het zeeoppervlak van:
 - interne golven;
 - bodem topografie;
 - stroming en wervels.

De algemene aanpak van het on-

derzoek in alle werkgroepen van de BCRS is om na de probleemstelling eerst op de grond de relevante parameters te meten, deze vervolgens met behulp van metingen vanuit een vliegtuig te verifiëren om ten slotte de resultaten



Figuur 3. Overzicht van de meetopstelling

te implementeren. Hierbij krijgen zowel de sensoren als de verwerking beide de aandacht.

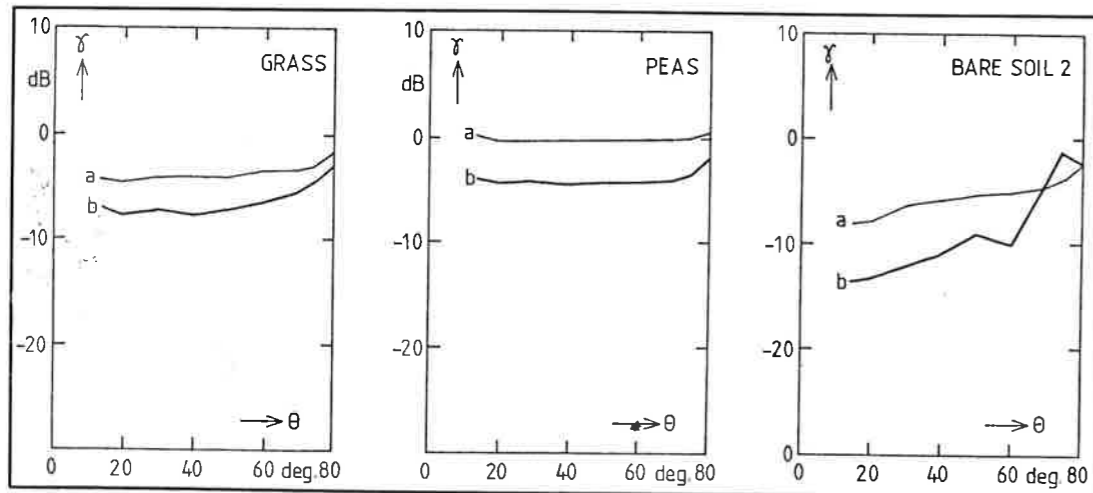
Het ROVE-programma

Al in 1968 begon het Fysisch Laboratorium TNO te werken aan de radareigenschappen van vegetaties en kale grond door tussen 1968 en 1970 systematisch metingen te verrichten door het hele groeiseizoen vanaf TV-torens. Daarbij bleek dat de radar-doorsnede γ (radar-reflectiecoëfficiënt in m^2/m^2) een belangrijke grootheid is waarmee classificatie en 'herkenning' van ge-

wassen mogelijk is. In het ruime kader van het werk in de WG ROVE is dit werk aanzienlijk verdiept.

Tussen 1975 en 1981 zijn door deze werkgroep metingen verricht aan groepen van landbouwgewassen op proefvelden van het CABO met behulp van een FM/CW meetradar. Met deze radar kan op korte afstand en onder verschillende inzichtshoeken de radar-reflectie worden gemeten. Figuur 2 geeft een foto van de meetradar. Deze werkt bij 10 GHz ($\lambda = 3$ cm) en 35 GHz ($\lambda = 8$ mm). Zij is gemonteerd op een

Figuur 4. Voorbeeld van de meting van de radar-reflectie als functie van de hoek van inzien; 3 juni 1980, HH polarisatie; a. 35 GHz, b. 10 GHz



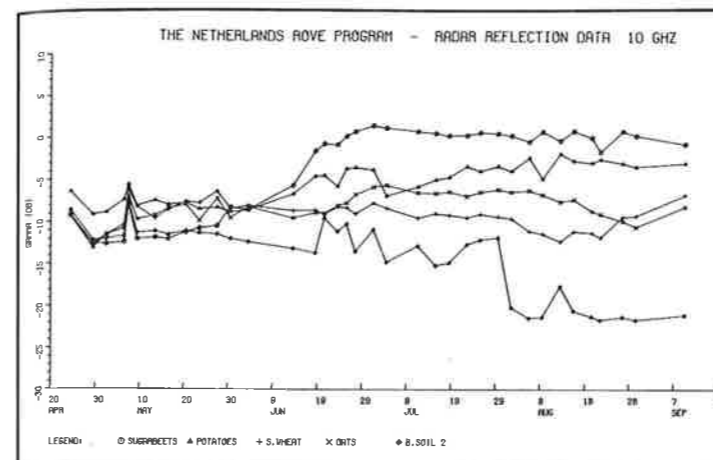
kleine bouwlift (voor de hoekinstelling) die weer is aangebracht op een wagentje dat op rails langs de te meten proefvelden rijdt. Figuur 3 geeft een overzicht van de gehele meetopstelling. Op deze wijze kan snel de radar-reflectie van een hele groep gewassen gemeten worden bij twee frequenties, verschillende polarisaties en hoeken van inzien (depressiehoeken θ) tussen 15 graden (scherend inzien) en 85 graden (bijna verticaal inzien). Figuur 4 geeft een voorbeeld van zulk een meting voor drie veldjes bij één polarisatietoestand. Deze metingen worden gedurende het gehele groeiseizoen uitgevoerd. De frequentie van meten wordt

aangepast aan het groeistadium. Als functie van de tijd worden dan (voor één frequentie, één hoek van inzien en één polarisatietoestand) resultaten verkregen als weergegeven in figuur 5. Ook wordt door de groep gewerkt aan modelvorming.

Voor de waarneming en meting van bossen is de opstelling van figuur 2 en 3 ongeschikt. Een recent beschikbaar gekomen meetradar in een vliegtuig is hiervoor wel geschikt.

Voor de verificatie van de experimenten op de grond wordt gebruik gemaakt van een speciaal voor dit doel door leden van de groep ontwikkelde vliegtuigradar die digitale beelden maakt, een zogenaamde SLAR (Side Looking Airbone Radar). Zoals figuur 5 laat zien is het verschil in radar-reflectie tussen de verschillende landbouwgewassen onderling niet groot (orde van 10 dB). Een radar voor aardobservatie moet dus een hoog radiometrisch scheidend vermogen hebben om aan de doelstellingen te voldoen die de groep zich gesteld heeft. In de Nederlandse digitale SLAR is hier speciaal in voorzien. Deze voorziening komt tot uiting in de vrij egale grijstoon in de verschillende velden. Zie figuur 6. Als hier geen aandacht aan wordt besteed krijgen de beelden het bekende (coherente belichting) 'spikkelige' karakter, bekend onder meer van de radar-beelden van de SEASAT-satelliet.

Met de voorkennis uit de grondmetingen is nu met deze radar een gewasclassificatie programma uitgevoerd. Hiervoor zijn op drie tijdstippen in het groeiseizoen opnames gemaakt als weergegeven in figuur 6. Deze procedure wordt ook gebruikt bij de analyse van beelden van de LANDSAT satellieten, maar daar heeft men vaak last van bewolking, waardoor een en ander misgaat. Van wolken heeft de radar geen last. In het midden van het radarbeeld werd een proefgebied gekozen (figuur 7) in de buurt van de proefboerderij waar op dat moment de meetopstelling voor de grondmetingen (figuur 2 en 3) stond opgesteld. De



Figuur 5. De radar-reflectie als functie van de tijd in het groeiseizoen; 10 GHz, $\theta = 30^\circ$, HH polarisatie, 1980

resultaten zijn weergegeven in tabel 1. Met drie vluchten is dus een succespercentage van tenminste 85% bereikt. Ook voor de meting van 'verslemping' ('plat' regenen en uitwassen van de ploegvoren), dat een belangrijk effect heeft op de opbrengst van een landbouwgewas, biedt radar mogelijkheden, zoals metingen aan kale gronden en recente SLAR-vluchten hebben aange-

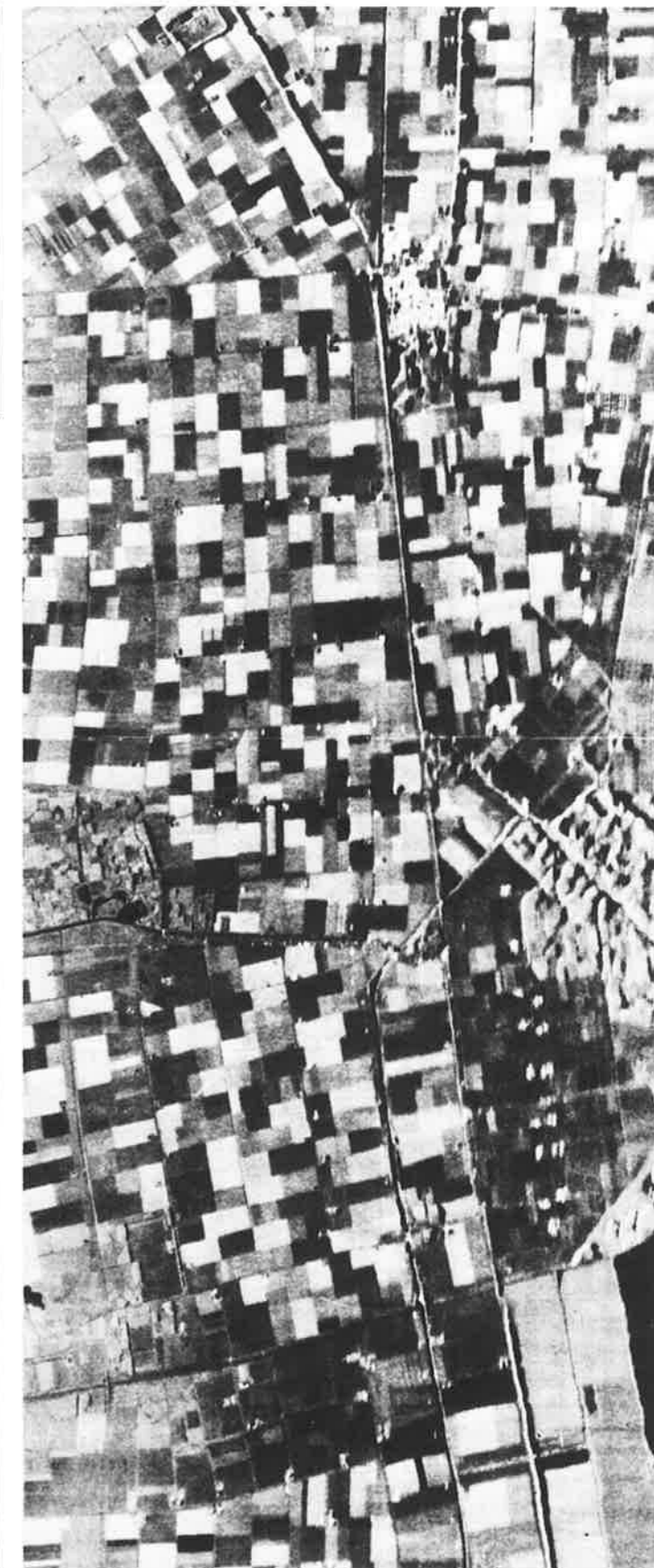
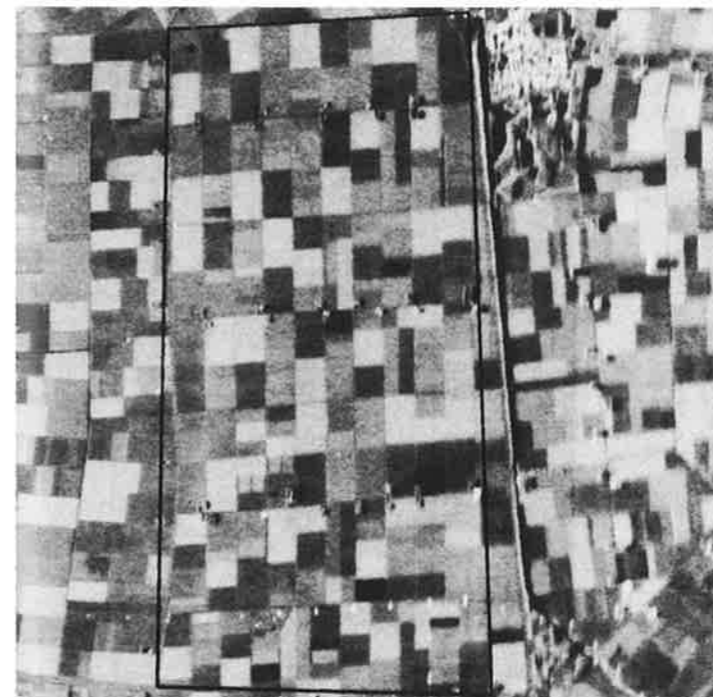
toond.

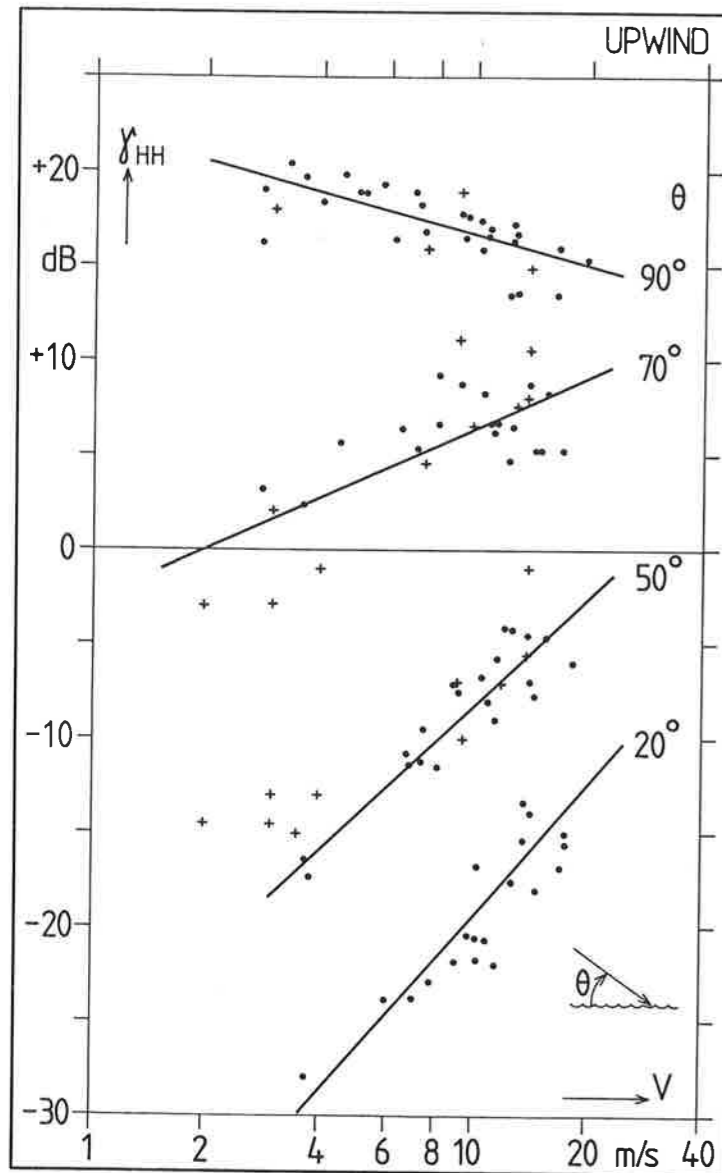
Waarneming van de zee

Voor het doen van metingen aan de zee vanaf een vaste opstelling kan de WG W en M beschikken over het meetplatform 'Noordwijk' van Rijkswaterstaat, dat 10 km voor de kust van Noordwijk in de Noordzee ligt. Figuur 8 geeft een voorbeeld van een meting met dezelfde FM/CW meetradar

Figuur 6. Radarbeeld van de Flevopolder opgenomen met de Nederlandse digitale SLAR; 11 juli 1980

Figuur 7. Het proefgebied, aangegeven in een deelvergroting van figuur 6; P: proefboerderij met meetopstelling





Figuur 8. Radarreflectie van de zee als functie van de windsnelheid voor verschillende inkijkhoeken θ

als is gebruikt voor de landtoepassingen en beschreven in het vorige hoofdstuk, nu echter opgesteld op dit meetplatform. Zoals figuur 8 laat zien is de radarreflectie γ een functie van de windsnelheid.

Omgekeerd kan meting γ dus gebruikt worden voor de meting van windsnelheid en -richting op zee. Dit principe werd in SEASAT toegepast. Op het ogenblik wordt meegewerkt aan een programma van de ESA (European Space Agency) die zulk een windscatterometer wil opnemen in de ERS-1 satelliet.

Figuur 9 en figuur 10 laten weer twee andere mogelijkheden zien waarop door de werkgroep is gestudeerd: opsporing van olievluchten en het meten van golf-richtingsspectra. Ook hier betreft het een radar opgesteld op meetplatform Noordwijk. Figuur 9 laat zien hoe bij een scheepsradar (36 GHz) door langer waarnemen een olievlucht beter waarneembaar wordt (meerdere beelden door meer antenne-omwentelingen over elkaar), omdat het golfpatroon, dat hier storend werkt, verdwijnt. Figuur

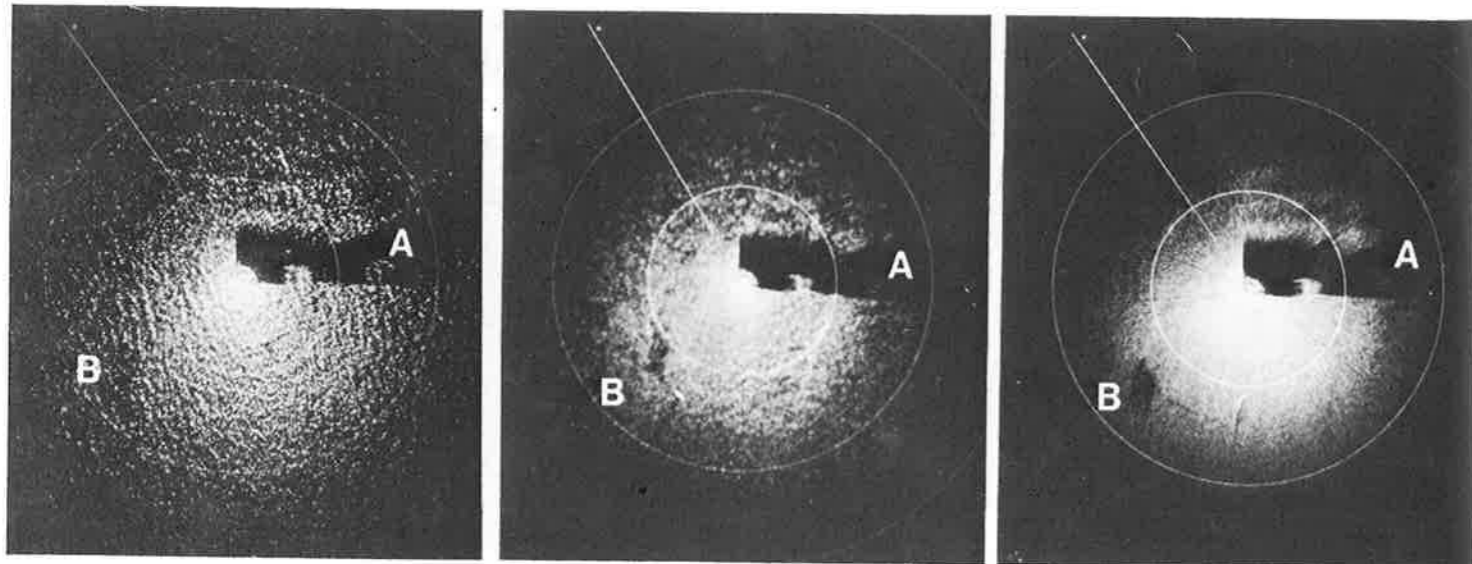
10 daarentegen toont dat bij één antenne-omwenteling (1.5 sec) juist het golfpatroon goed zichtbaar wordt. Met name het golf-richtingsspectrum kan zo goed worden bepaald.

Ook met behulp van radar in vliegtuigen en satellieten kan het voorgaande bereikt worden. Bij de olie-opsporing is radar voor Rijkswaterstaat inmiddels bruikbaar gereedschap geworden. Van het meten van richtingsspectra geeft figuur 11 een voorbeeld. In figuur 11 b wordt het waargenomen richtingsspectrum gegeven door tweedimensionale fourieranalyse van 128 x 128 pixels in het naastliggend radarbeeld. Figuur 12 geeft het bijbehorende genormeerde golfspectrum. Inmiddels zijn ook vele resultaten van opnames van golfspectra door SEASAT bekend geworden.

In zee kijken

Een laatste voorbeeld: Het is gebleken dat radar ook informatie kan verschaffen over verschijnselen onder het zeeoppervlak: bodemtopografie en interne golven. Toch kan de radar niet 'in de zee' kijken, maar alleen het op-

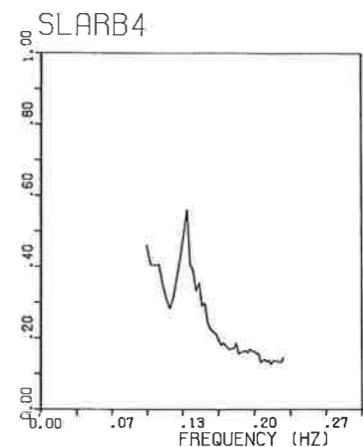
Figuur 9. Waarneming van een olievlucht met behulp van een 35 GHz scheepsradar op meetplatform Noordwijk. A: radarschaduw van het platform, B: olievlucht; a. 2 antenneomwentelingen (tijd: 3 s), b. 25 antenneomwentelingen (37 s), c. 100 antenneomwentelingen (2½ min.)



Tabel 1. Enkele classificatie resultaten voor 1, 2 en 3 vluchten.

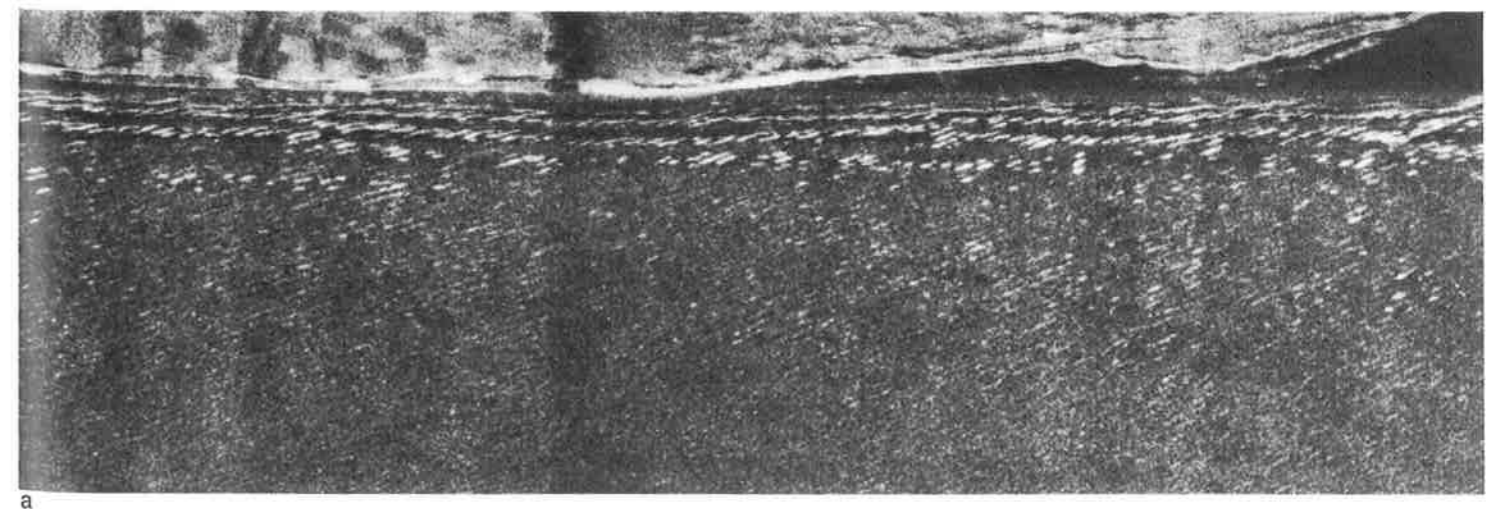
gewastype	aantal velden	11 juli	11 juli, 12 aug.	10 juni,	11 juli en 12 aug.
		goed gecl.	goed gecl.	goed gecl.	perc. van proefgebied goed gecl.
suikerbieten	40	40	40	40	100
aardappelen	40	12	32	39	97,1
tarwe	58	0	39	42	76,2
uien	22	5	18	19	88,5
haver	5	0	1	4	87,3
erwten	12	3	5	5	45,1
bonen	5	3	4	5	100

Figuur 10. Golfpatroon waargenomen door de 35 GHz scheepsradar op meetplatform Noordwijk; 24 okt. 1978; windsnelheid $v = 15$ m/s



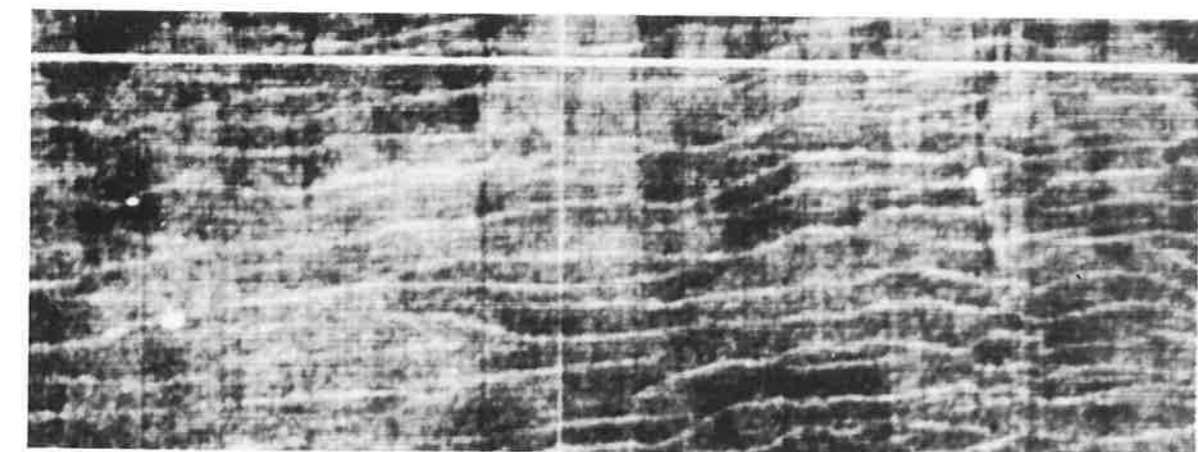
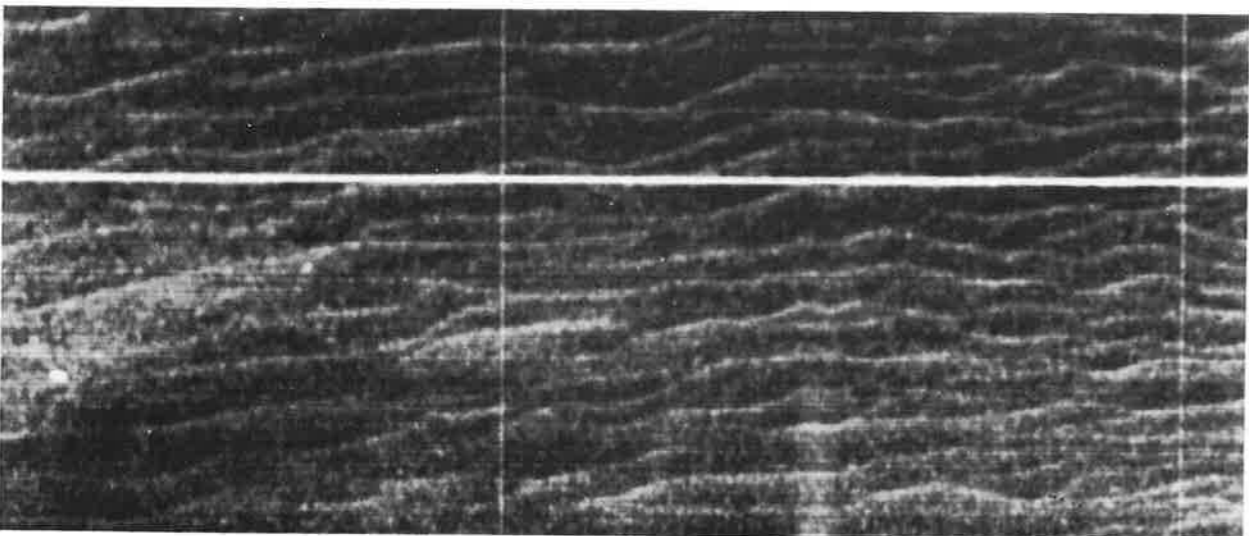
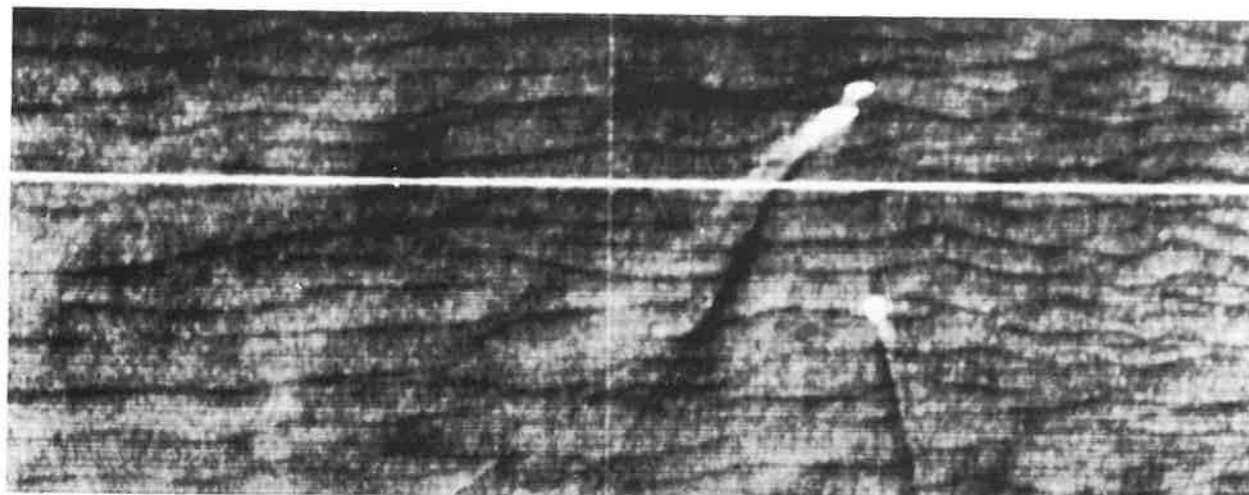
Figuur 12. Golfspectrum (genormaliseerd) verkregen uit fig. 11b

Figuur 11. SLAR beeld van de Noordzee voor Terschelling (a) en richtingsspectrum (b)



pervlak waarnemen. Het verschijnsel komt als volgt tot stand. Het radarbeeld van het zeeoppervlak ontstaat door resonantie van de radargolven met zeegolven van ongeveer gelijke golflengte (3 cm bij 10 GHz, 8 mm bij 36 GHz). De grote zeegolven moduleren deze kleine golfjes en worden zo zichtbaar. Via de getijstroom kan de bodem ook zo doorwerken. Dit verschijnsel was al in 1970 uit eigen waarnemingen in Nederland bekend, maar kreeg pas grotere belangstelling toen de radarsatelliet SEASAT het algemene karakter ervan aantoonde. Figuur 13 (zie pag. 136) geeft een voorbeeld van een stukje van het onderzeese duinenpatroon 20 km uit de kust voor Noordwijk. Het laat zien dat zelfs in een jaar tijd dit patroon niet veel verandert. Verwachte veranderingen waren lange tijd onderwerp van discussie. Radar zou hier kunnen assisteren om lodingsprogramma's efficiënter te maken.

Figuur 13. Bodemtopografie zichtbaar gemaakt door SLAR. Afbeelding van een stukje Noordzee-bodem 20 km uit de kust voor Noordwijk. a. bij laag tij op 11 okt. 1977, b. bij hoog water op 14 okt. 1977, c. bij hoog water op 17 okt. 1978



0 2 4 km

THEMA

PROF. NOSSIN, VICE-RECTOR ITC:

'TECHNIEK AARDOBSERVATIE IS AL VER, MAAR GEBRUIK LOOPT JAREN ACHTER'

'Sinds 1972, toen de eerste Amerikaanse Landsat-satelliet de ruimte inging, zijn in totaal ruim vijftien miljoen beelden naar de verschillende ontvangstations op aarde gezonden. Elk van die beelden bestrijkt ongeveer 32 000 vierkante kilometer, een oppervlakte ongeveer zo groot als Nederland. We worden geplaatst tegenover een voortdurende, massale stroom gegevens. Vroeger ging het om een stapel foto's, door vliegtuigen genomen. Nu zijn het pakhuizen vol met digitale informatie op banden geworden. De techniek van het vergaren van data via aardobservatie (remote sensing, teledetectie) is al ver gevorderd. Maar ons vermogen uit die massale stroom gegevens gebruiksklare informatie te halen, loopt jaren achter.'

Aan het woord is prof. dr. J. J. Nossin. Hij beoefent de geomorfologie, de wetenschap die de vormen van het aardoppervlak beschrijft en het ontstaan van die vormen verklaart. Tevens is hij vice-rector van het ITC, het Internationaal Instituut voor Luchtkaartering en Aardkunde in Enschede. Een 'uniek instituut' dat in ruim dertig jaar ongeveer 7000 'luchtkaarteerders' en gebruikers van remote sensing-technieken heeft opgeleid. Vooral uit landen van de Derde Wereld, want op dat deel van de aardbol richt het Twentse instituut zich in de eerste plaats.

Het Twentse instituut was oorspronkelijk in Delft gehuisvest. Twintig jaar, van 1951 tot 1971, was het 'International Training Centre for Aerial Survey' (ITC) te vinden aan de Kanaalweg in die stad. Dertien jaar geleden verhuisde het in 1966 tot 'International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences' omgedoopte instituut naar het oosten.

Sterke politieke druk

Prof. Nossin: 'We waren er in Delft uitgegroeid. Er was geen ruimte meer voor de huisvesting van onze studenten. Geld om een nieuwe huisvesting te bouwen was er eigenlijk niet. Beter gezegd, er was geen politieke wil om dat geld op tafel te leggen, noch bij de gemeente Delft, noch bij de regering. Bovendien leefden we toen in de tijd van het spreidingsbeleid.'

Lang niet iedereen was het destijds eens met de verhuizing. 'We zijn in feite naar oost-Nederland

gegaan', zegt de vice-rector van het ITC, 'onder sterke politieke druk. Niet alleen van Twente en van de gemeente Enschede, maar ook van de regering. De regering wilde resultaten van het spreidingsbeleid op tafel kunnen leggen. Er stond hier al twee, drie jaar een groot gebouw leeg. Dat was neergezet door het Algemeen Burgerlijk Pensioenfonds (ABP) en bedoeld voor de Twentse textielindustrie, maar die was inmiddels ter ziele gegaan.'

'Wij, als leiding van het instituut, zitten nu met het probleem van de excentrische ligging. Elke keer als je in Den Haag moet zijn bij D.E.G.I.S., het directoraat-generaal internationale samenwerking van het ministerie van Ontwikkelingssamenwerking, zit je drie uur heen en drie uur terug in de trein. Het leven in Twente bevat ons en veel van onze medewerkers echter uitstekend.'



Prof. dr. J. J. Nossin: 'Nu zijn het pakhuizen vol met digitale informatie op banden.'

Ziel en zaligheid

Remote sensing' betekent letterlijk 'van verre voelen'. In 1951, toen prof. Schermerhorn - oud-minister-president en hoogleraar landmeetkunde aan de Technische Hogeschool Delft - de stoot gaf tot de oprichting van het ITC, was het maken van luchtfoto's de voornaamste werkwijze.

Met de camera vliegtuig of ballon in betekende al een belangrijke verbetering vergeleken bij nog oudere vormen van aardobservatie. Patronen die in het veld, en zelfs op een heuvel of berg, niet of nauwelijks waarneembaar zijn, komen op een luchtfoto vaak duidelijk naar voren. Van boven af gezien, zien geleidelijke overgangen er soms opvallend abrupt uit.

Prof. Nossin: 'De luchtfoto is van het begin af aan de ziel en zaligheid van het ITC geweest en is dat voor een groot deel nog. De te fotograferen landstreken worden lijn voor lijn overvlogen. De luchtfoto's worden zo genomen dat ze elkaar in de vluchtrichting voor zestig procent en zijwaarts voor twintig tot dertig procent overlappen. Een en hetzelfde terreindeel

staat zodoende op twee achtereenvolgende foto's afgebeeld en dat stuk kun je stereoscopisch bekijken. Je ziet dan een reliëfbeeld dat overigens de hoogteverschillen in het gefotografeerde terrein veel sterker benadrukt dan ze in werkelijkheid zijn.'

False colour

Nog steeds levert de luchtfoto (zwart-wit of in kleur) veel informatie over bijvoorbeeld het verspreidingspatroon van ziekten in gewassen of de vochtverdeling in een bepaalde streek. Bij gewone films, hoe vervolmaakt ook, gaat het dan echter steeds om het door de aarde weerkaatste zichtbare zonlicht dat wordt waargenomen. Het gebruik van een 'false colour-film' levert een uitbreiding van de mogelijkheden op.

Niet alleen het voor het menselijk oog zichtbare weerkaatste zonlicht komt op de foto, zoals bij een vakantiekiekje, maar ook een voor ons onzichtbaar deel van het zonlicht: het 'reflectie infrarood', ook wel betiteld als het 'nabije infrarood', dat wil zeggen dat deel van het elektromagnetische