

Aardobservatie met radar *

G.P. de Loor en P. Hoogeboom

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 waar te nemen vanuit de lucht en de ruimte. Dit zijn met name de mogelijkheden tot waarnemen in het verre (thermisch) infrarood (TIR) en het microgolfvenster (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 waarnemings-systeem 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 afbeeldingen 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-golfgebied 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 accepteer 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 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 (bijvoor-

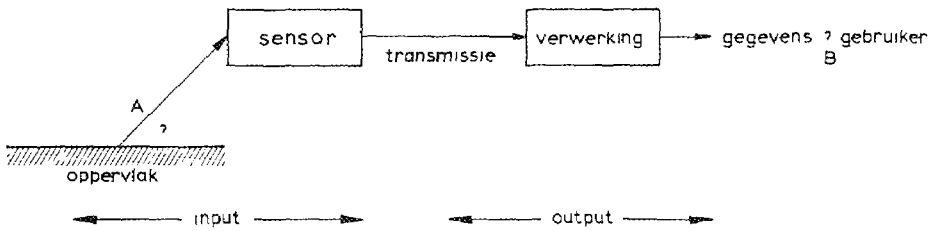


Fig 1
Overzicht van het aardobservatie systeem

beeld 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 grootheden 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 een 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;
- controles op ziekte en stress;
- bepaling van de grondvochtigheid en -ruwheid (gevoeligheid voor verslemping);

De werkgroep Microgolven en Watergolven heeft als aandachtsgebieden:

- controle (en routing) scheepvaart;
- richtingspectra van zeegolven;
- ijs;
- windvelden;
- verontreinigingen;
- expressie aan het zeeoppervlak van:
- interne golven;
- bodem topografie;
- stroming en wervels.

De algemene aanpak van het onderzoek in alle werkgroepen van de BCERS 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 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 gewassen mogelijk is. In het ruimere kader van het werk in de WG ROVE is dit werk aanzienlijk verdiept.

Tussen 1975 en 1981 zijn door deze werk-

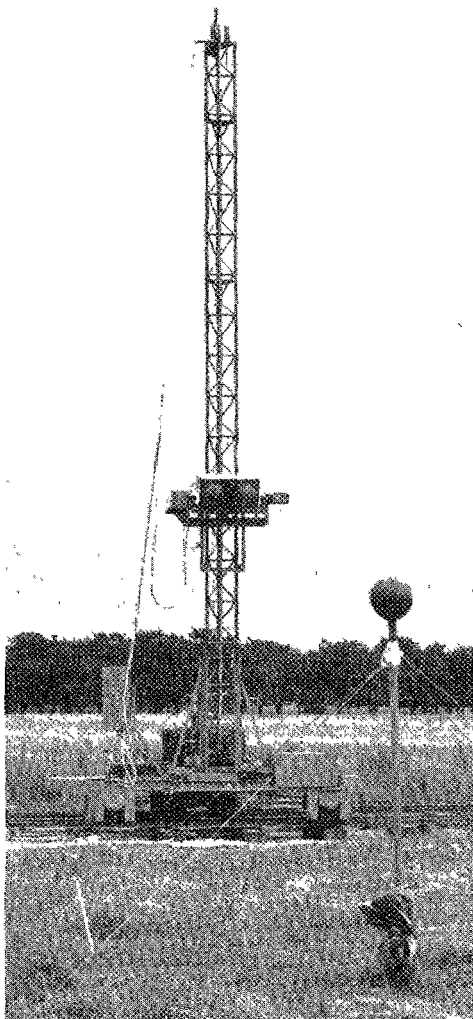


Fig. 2
Foto van de meetradar t.o. een kalibratie-object (Luneburg reflector) aan het begin van een meetserie

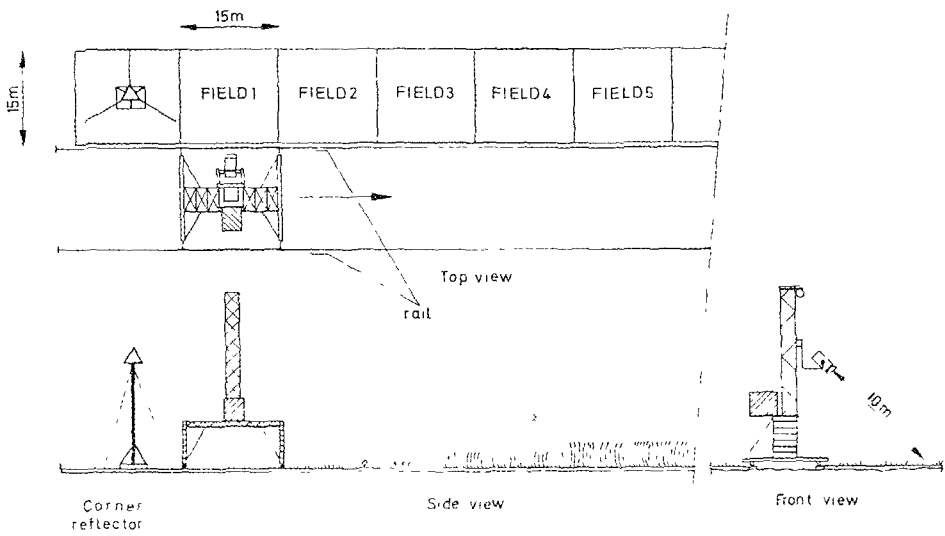


Fig. 3
Overzicht van de meetopstelling

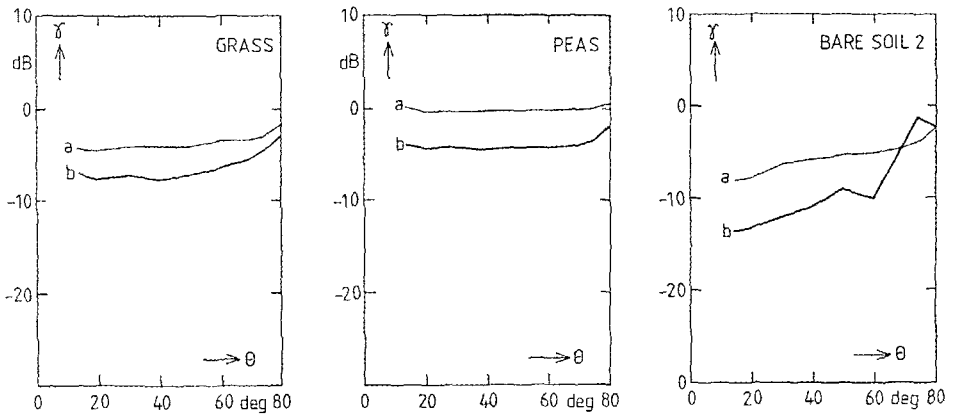


Fig. 4
Voorbeeld van de meting van de radar-reflectie als functie van de hoek van inzien; 3 juni 1980, HH polarisatie, a. 35 GHz, b. 10 GHz

groep 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 inijkhoeken de radar-reflectie worden gemeten. Figuur 2 geeft een foto van de meetradar. Deze werkt bij 10 GHz ($\lambda = 3\text{cm}$) en 35 GHz ($\lambda = 8\text{ mm}$). Zij is gemonteerd op een 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 Airborne 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 ge-

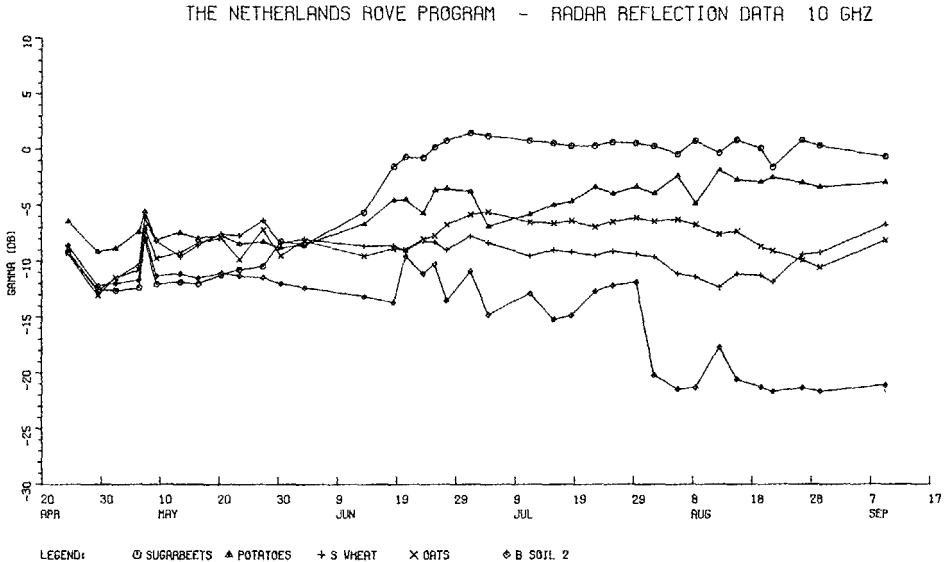


Fig. 5
De radar-reflectie als functie van de tijd in het groeiseizoen; 10 GHz, $\theta = 30^\circ$, HH polarisatie, 1980

steld 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 radarbeelden 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 resultaten zijn weergegeven in tabel 1. Met drie vluchten is dus een succespercentage van tenminste 85% bereikt. Ook voor de meting van 'verslamping' ('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 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

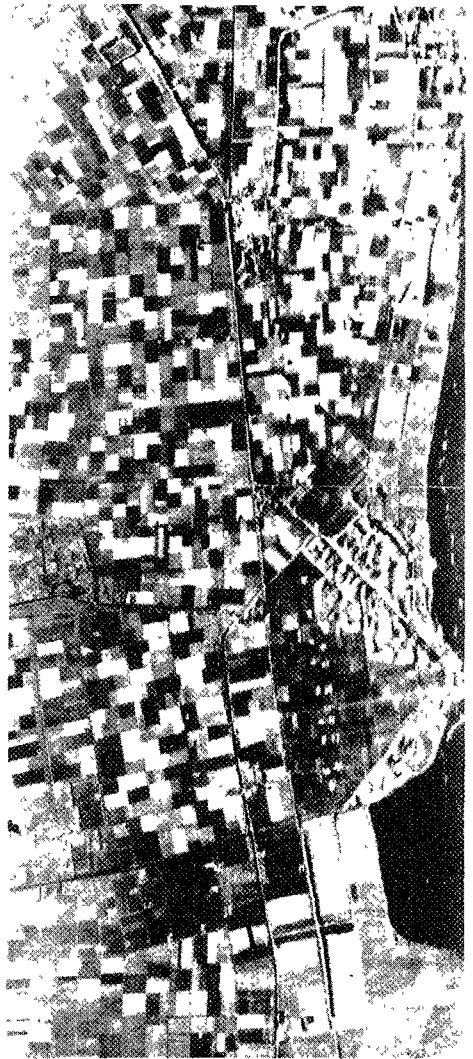


Fig. 6
Radarbeeld van de Flevopolder opgenomen met de Nederlandse digitale SLAR; 11 juli 1980

P

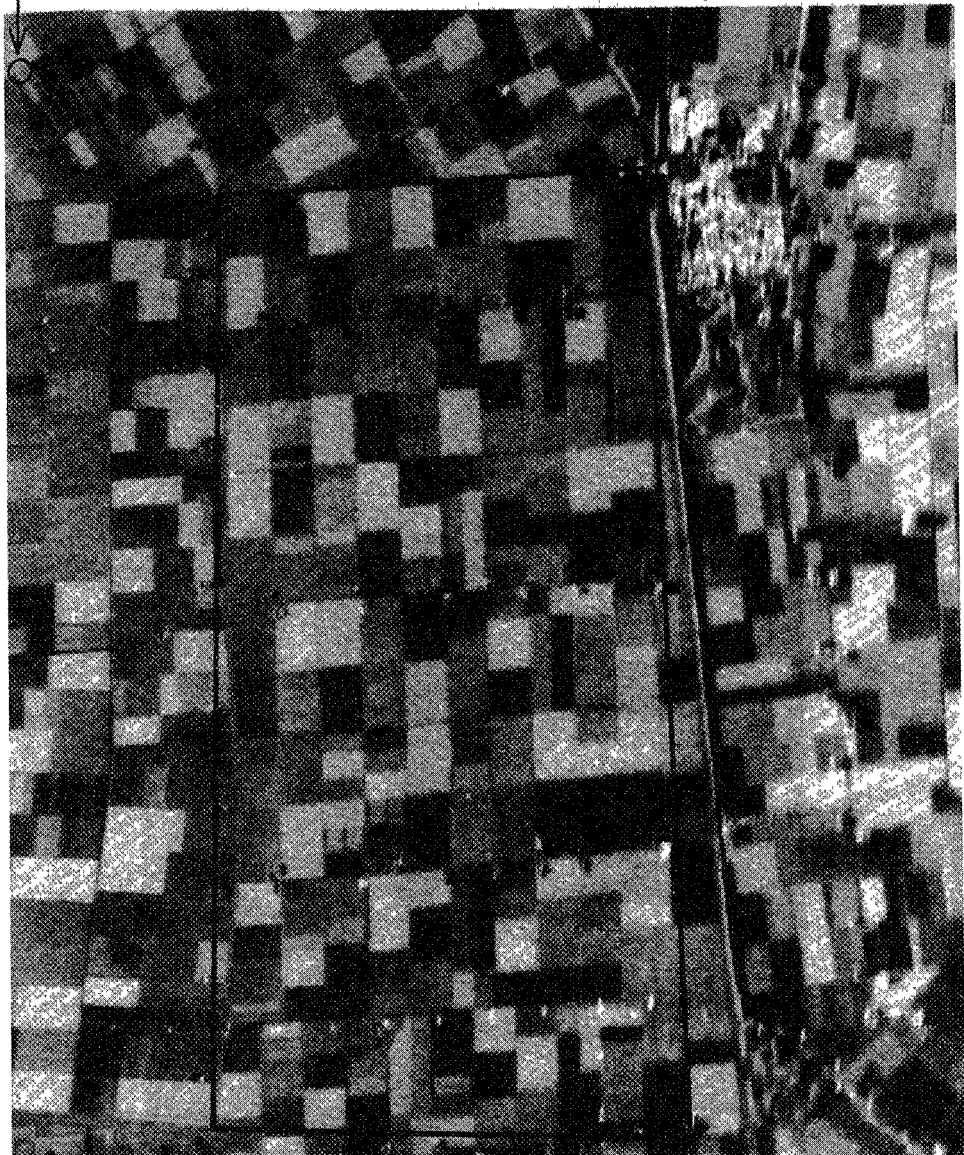


Fig. 7
Het proefgebied, aangegeven in een deelvergroting van figuur 6; P proefboerderij met meetopstelling

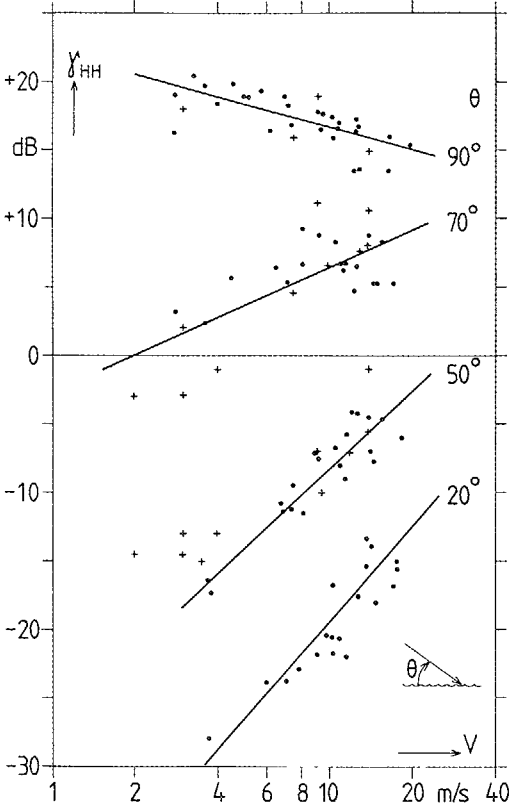


Fig. 8
Radar-reflectie van de zee als functie van de windsnelheid voor verschillende inijkshoeken θ

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 olieverontreinigingen en het meten van golf-richtingsspectra. Ook hier betreft het een radar opgesteld op meetplatform Noordwijk. Figuur 9 laat zien hoe bij een scheepsradar (36GHz) door langer waar-

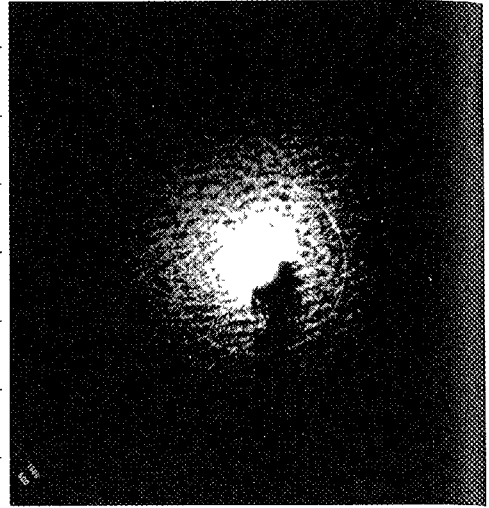


Fig. 10
Golfpatroon waargenomen door de 35 GHz scheepsradar op meetplatform Noordwijk; 24 okt. 1978, windsnelheid $v = 15$ m/s

SLARB4

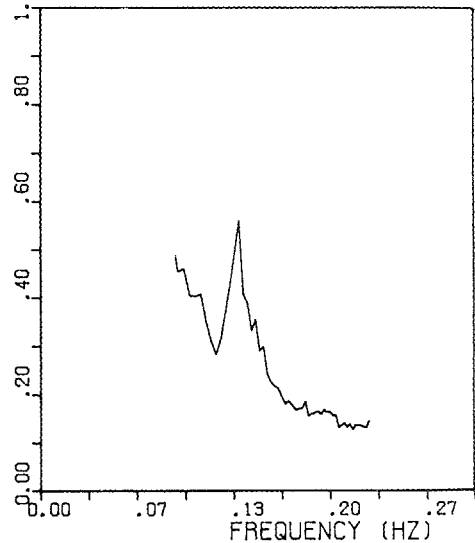
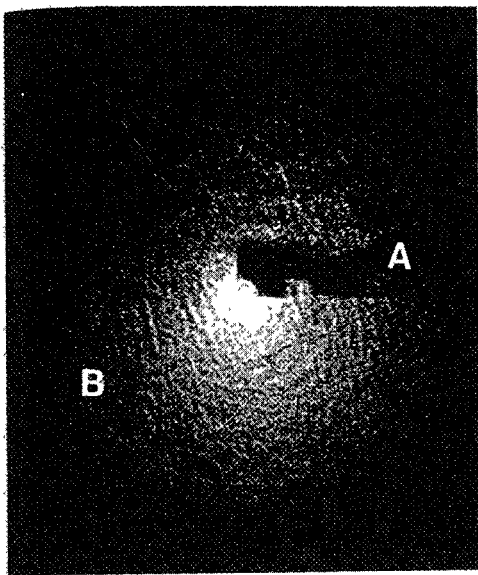
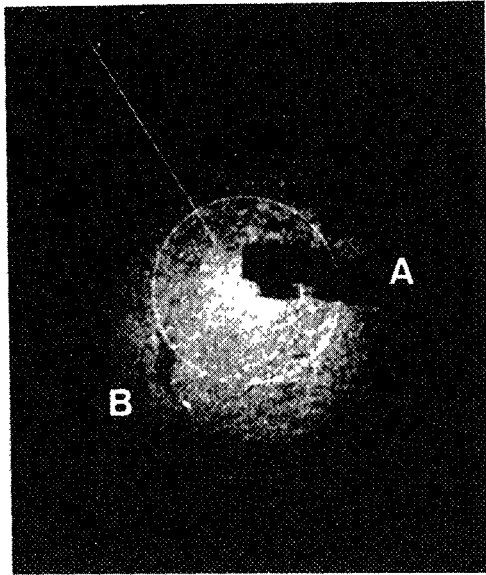


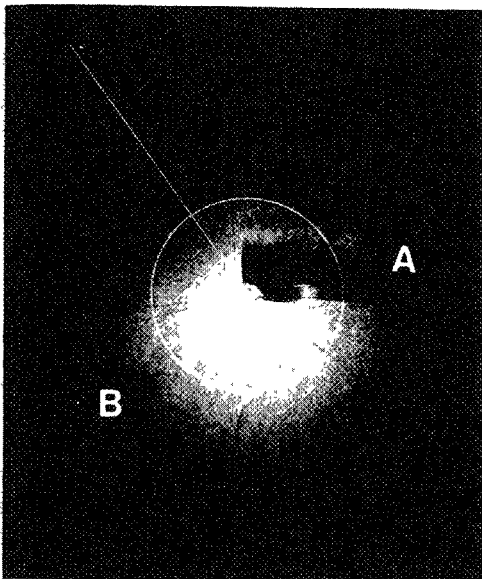
Fig. 12
Golfspectrum (genormaliseerd) verkregen uit fig. 11b



a



b



c

Fig. 9

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

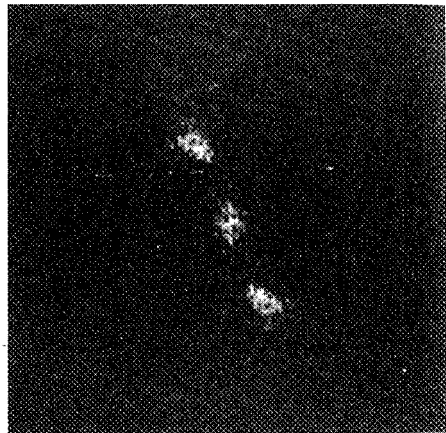
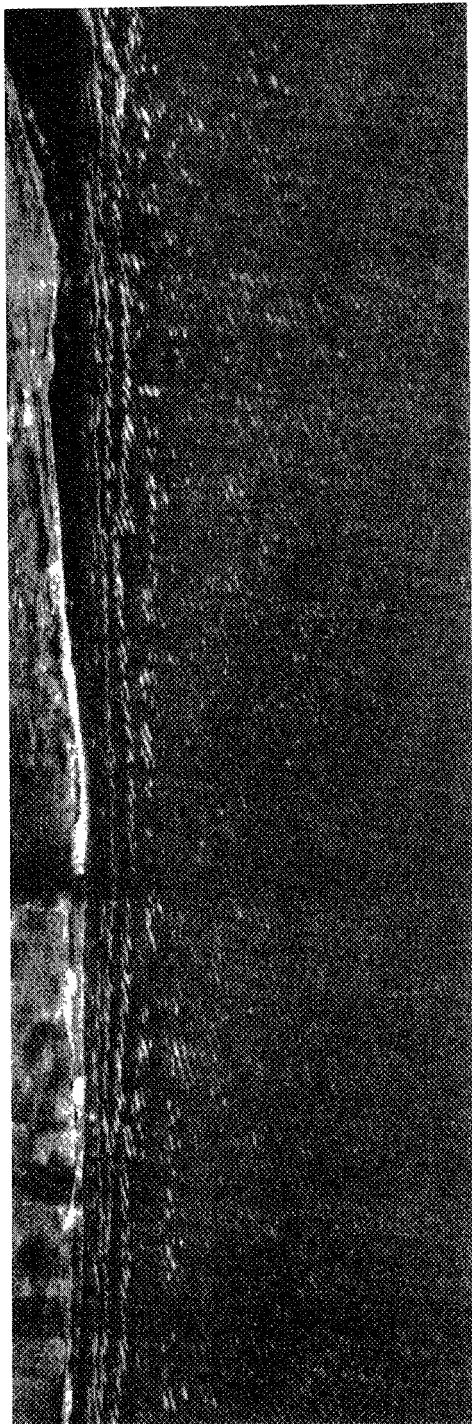
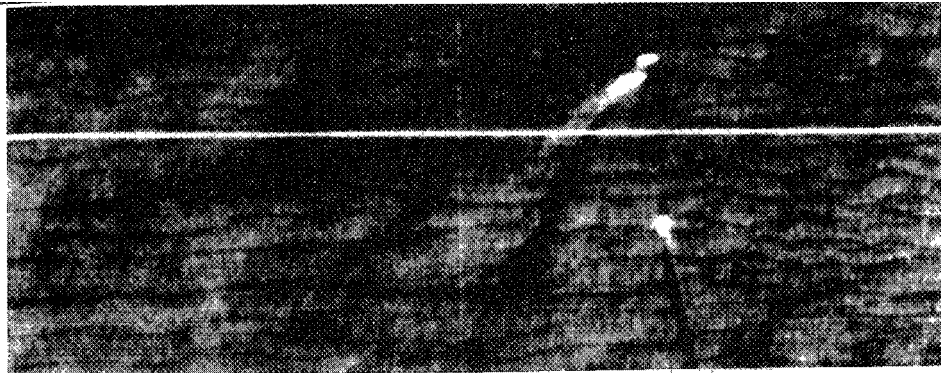


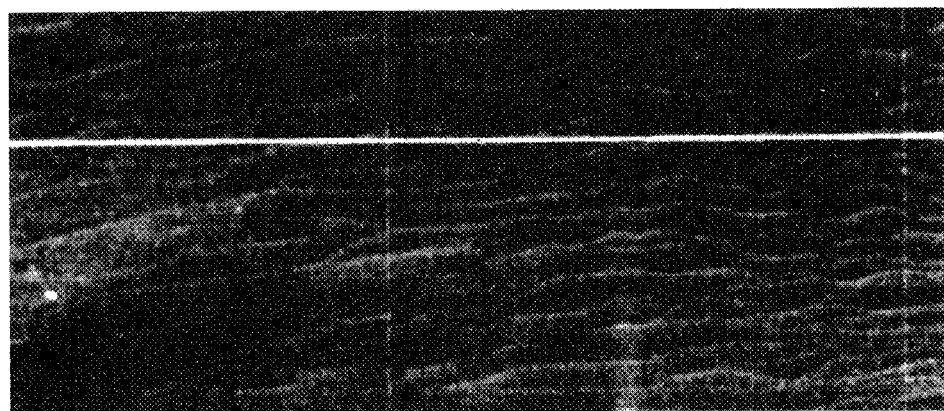
Fig. 11
SLAR beeld van de Noordzee voor Terschelling
(a) en richtingsspectrum (b)

nemen een olievlek 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 golfrichtingsspectrum kan zo goed worden bepaald.

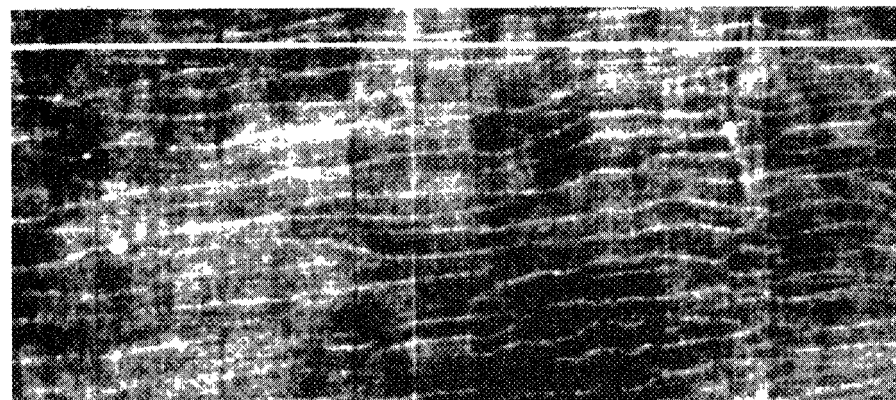
Ook met behulp van radar in vliegtuigen en satellieten kan het voorgaande bereikt worden. Bij de olie-opsporing is radar voor Rijkswaterstaat inmiddels bruikbaar gereedschap geworden. Van het meten van richtingsspectra geeft figuur 11 een voorbeeld. In figuur 11b wordt het waargenomen richtingsspectrumgegeven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



a



b



c

0 2 4 km

Fig. 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

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 geclass.	goed geclass	goed geclass	perc van proefgebied goed geclass
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

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 oppervlak waarnemen. Het verschijnsel komt als volgt tot stand. Het radarbeeld van het zee-oppervlak 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.

* Eerder verschenen in TNO-Project 84-3