

Dr. ir. G. P. DE LOOR

Physisch Laboratorium TNO, 's-Gravenhage

Remote sensing; een algemene inleiding

Inleiding

Remote sensing omvat het systematisch verzamelen van gegevens van objecten op of in de grond vanuit een vliegtuig of satelliet, dat uitgerust is met verschillende instrumenten, die werken met electromagnetische straling van zichtbaar licht tot microgolven, en het interpreteren daarvan tot bruikbare informatie (Brunsvelt van Hulten en De Loor, 1977). Letterlijk vertaald is „remote sensing” voelen of waarnemen op afstand. We willen de te onderzoeken voorwerpen dus niet aanraken, maar willen wel dezelfde soort inlichtingen verkrijgen als we thans gewend zijn door die voorwerpen onder meer wel aan te raken.

Kortom we werken *indirect* via een of andere omzetting. Hier raken we meteen al één der problemen in de remote sensing: om tot goede, en bij voorkeur betere, resultaten te komen dan de klassieke, vaak zeer tijdrovende, procedures moeten wij de aard van deze omzettingen eerst goed kennen.

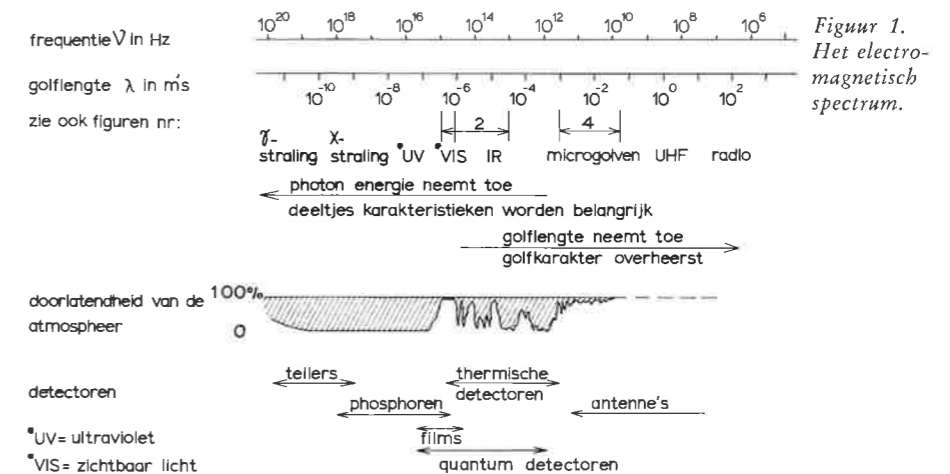
Met onze zintuigen doen wij dit op (kleinere) afstand waarnemen dagelijks. Wij kunnen horen, ruiken, voelen en zien. Met technische hulpmiddelen hebben wij de mogelijkheden van onze zintuigen verder uitgebreid. In het volgende zullen wij ons beperken tot het „zien”, maar dan in de ruimste zin. Zichtbaar licht is een deel van het electromagnetische (EM) spectrum en daarom zal het volgende handelen over waarnemen met EM golven.

Wij zullen ons zelf nog een verdere beperking opleggen. Wij zullen niet praten over de luchtfotografie, het oudste remote sensing systeem en ook niet over Landsat. De luchtfotografie heeft inmiddels een gewaardeerde plaats gevonden bij vele diensten en over Landsat bestaat al een uitgebreide literatuur. Wij zullen ons beperken tot afbeeldende systemen die afwijken van de gevestigde fotografische technieken en die in Nederland op het ogenblik uitvoerig worden onderzocht. Hun nieuwheid maakt hen onbekend. Nu maakt onbekend vaak onbemind wat juist door de vele nieuwe mogelijkheden, die deze systemen bij een goed gebruik kunnen bieden, zeer onterecht zou zijn.

De vensters en enkele algemene metrische aspecten

Figuur 1 geeft een overzicht van het gehele EM spectrum. Daar de atmosfeer alleen transparant is voor de delen: het ultraviolet tot het thermisch infrarood ($\lambda = 0,35-15 \mu\text{m}$) en de microgolven ($\lambda = 0,1-50 \text{ cm}$), de „vensters”, hebben voor deze twee gebieden van het EM spectrum de belangrijkste apparatuurontwikkelingen plaats gevonden.

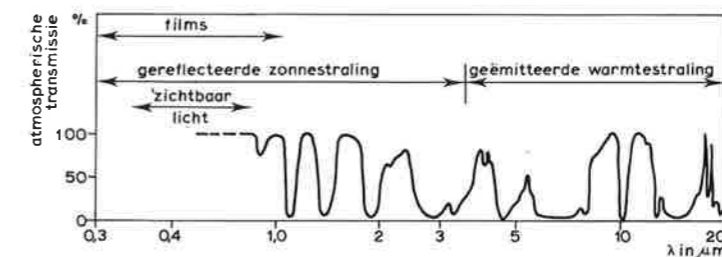
Figuur 2 geeft een overzicht van de transmissie van de atmosfeer voor het venster: zichtbaar licht tot thermisch infrarood. Drie gebieden kunnen daar worden onderscheiden: het zichtbare licht met daaraangrenzend gebied waar



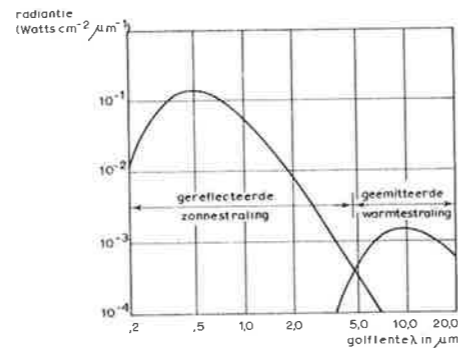
Figuur 1. Het electromagnetisch spectrum.

ook films en camera's kunnen worden gebruikt, het infrarood gebied waar het gereflecteerde zonlicht overheerst ($1-3,5 \mu\text{m}$) en het thermisch infrarood ($3,5-14 \mu\text{m}$) waar de door het aardoppervlak en voorwerpen daarop geëmitteerde warmtestraling overheersend is. Figuur 3 geeft de door een gemiddeld object gereflecteerde zonnestraling en geëmitteerde warmtestraling grafisch weer. Ook de detectoren worden in figuur 2 aangegeven, alle in hun (beperkte) omvang. Figuur 4 geeft een overzicht van het microgolfvenster. Hier hebben we dus te maken met „licht” met golflengtes van cm's. De meest gangbare coderingen voor de verschillende frequentiebanden worden aangegeven. De transmissie door de atmosfeer is ordes beter dan voor het vorige venster. Zelfs door wolken, regen en mist kan worden heen „gekeken”.

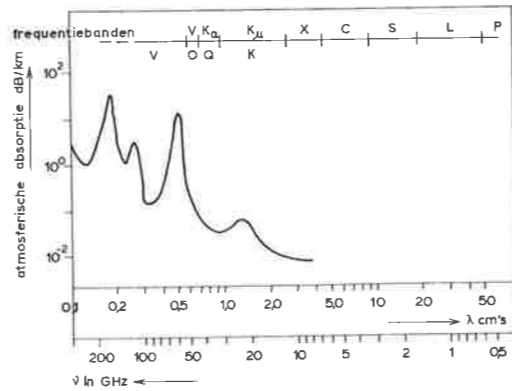
Figuur 1 geeft een overzicht van het gehele EM spectrum, samen met de detectoren waarmee waarneming mogelijk wordt. Alleen voor het gebied tussen $0,35$ en $1 \mu\text{m}$ zijn er films en is er met behulp van een camera waarneming over een vlak mogelijk. Voor de rest van het EM spectrum is men aangewezen op *puntvormige* detectoren, die overigens zeer gevoelig kunnen zijn en in quantum-efficiëncy veelal de films overtreffen. Voor het maken van een afbeelding betekent dit, dat het beeldveld via een afbeeldingssysteem moet worden



Figuur 2. Het zichtbaar licht tot het thermisch infrarood. Doorlatendheid atmosfeer in %.



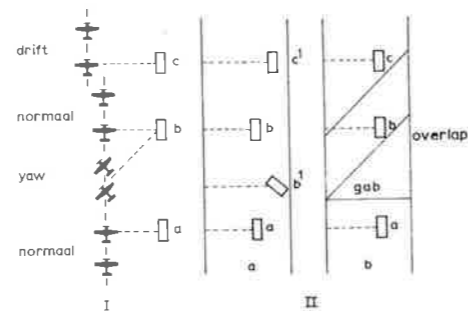
Figuur 3. Door een gemiddeld object gereflecteerde zonnestraling en geëmitteerde warmtetraling.



Figuur 4. De microgolven. Absorptie door de atmosfeer in dB/km; deze is erg laag. Bovenin: aanduiding der verschillende frequentiebanden.

afgetast, b.v. in een raster van evenwijdige lijnen, zoals bij de televisie. Dit aftasten kan mechanisch geschieden bij gebruik van één detector, maar door het toepassen van meerdere detectoren tegelijk (geplaatst op één lijn of in een matrix) ook elektronisch.

Alle systemen die aldus de beeldruimte lijn voor lijn aftasten worden „line-scan” systemen genoemd. Een duidelijk voordeel hierbij is, dat het beeldsignaal direct in elektrische vorm beschikbaar komt. Dit hoeft niet omgezet te worden in een beeld, maar kan ook als zodanig worden opgeslagen (op magneetband), worden overgezonden naar de grond, of direct worden gebruikt als invoer in een rekentuig dat automatisch een deel van of de gehele bewerking van de opname uitvoert. Wel betekent het gebruik van een line-scan systeem dat men met deze lijnstructuur bij de verwerking rekening moet houden: het beeld komt niet in zijn geheel tot stand zoals in een luchtcamera, maar lijn na lijn. Dit heeft als consequentie dat bij metrische correctie het beeld ook lijn voor lijn moet worden gecorrigeerd en niet als totaalbeeld, e.e.a. met inachtneming van alle vliegtuigbewegingen als: dompen, rollen, gieren, krabben, snelheids- en hoogtevariaties. Figuur 5 toont de invloed van gieren en krabben; een en ander maakt het noodzakelijk om, samen met het beeldsignaal, de stand in de ruimte en de hoogte van het vliegtuig mee te registreren.



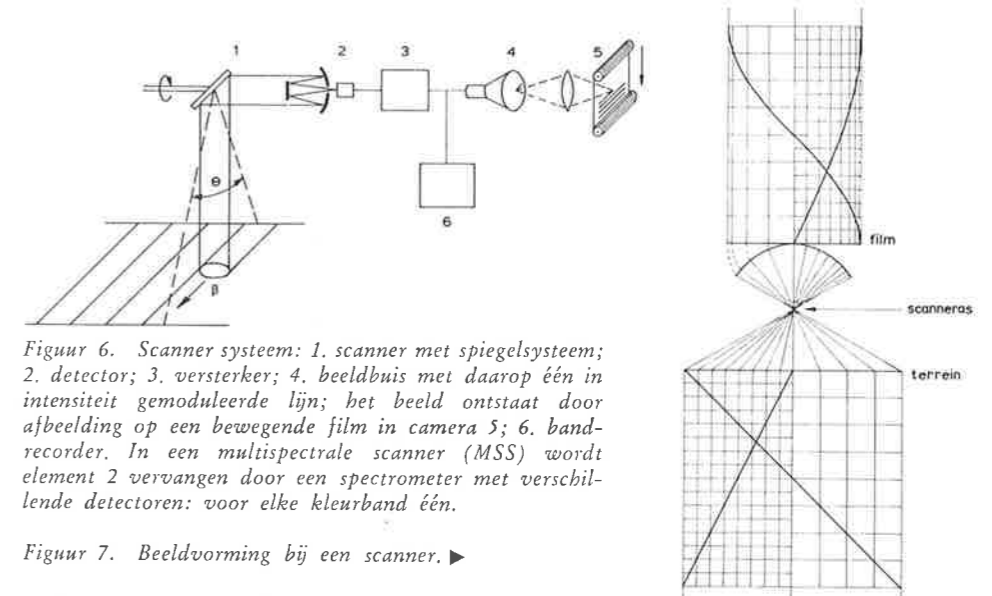
Figuur 5. Invloed van gieren (yaw, d.w.z. plotselinge positieverandering) en krabben (drift, een vorm van verschuiven) op de afbeelding; I. vluchtsituatie; II. afbeelding: a. ongecorrigeerd, b: gecorrigeerd.

De waarnemingsapparatuur

De scanners

Beide vensters hebben hun eigen typische waarnemingsapparatuur. Voor het eerste venster, zichtbaar licht tot infrarood, zijn dit de zgn. „scanners”, voor de microgolven is het belangrijkste apparaat de radar.

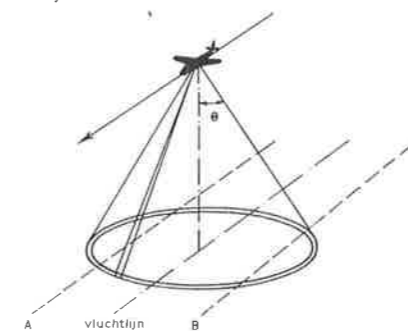
Scanners zijn systemen waarin mechanische aftasting wordt toegepast. Men gebruikt een snel ronddraaiend spiegelsysteem (zie figuur 6) met openingshoek β (grootte in orde van milliradialen), dat de grond aftast over een hoek θ lood-



Figuur 6. Scanner systeem: 1. scanner met spiegelsysteem; 2. detector; 3. versterker; 4. beeldbuis met daarop één in intensiteit gemoduleerde lijn; het beeld ontstaat door afbeelding op een bewegende film in camera 5; 6. bandrecorder. In een multispectrale scanner (MSS) wordt element 2 vervangen door een spectrometer met verschillende detectoren: voor elke kleurband één.

Figuur 7. Beeldvorming bij een scanner. ►

recht op de vliegrichting. De rotatiesnelheid van het spiegelsysteem is zodanig aan de vliegsnelheid aangepast dat opeenvolgende lijnen elkaar raken of overlappen. Er kunnen flinke geometrische distorsies optreden — speciaal aan de randen van het beeld — bij gebruik van een lineaire tijdbasis in de beeldbuis. Immers door de constante rotatiesnelheid van de spiegel beweegt het waargenomen punt zich aan de randen van het beeld sneller dan in het midden. De afbeelding lijkt daardoor als op een cilinder gelegen. In figuur 7 wordt aangegeven hoe de beeldvorming tot stand komt. Dit wat betreft de afbeelding loodrecht op de vliegrichting. Langs de vlieglijn bepaalt de vliegsnelheid de schaal. Ook andere vormen van aftasten zijn mogelijk, zoals bijv. de door het Fysisch Laboratorium TNO ontwikkelde conische scanner (figuur 8). Samen



Figuur 8. Conische scanner; aftast-patroon.

met een eveneens door hen ontwikkelde 2-kanaals lineaire scanner vliegt dit systeem thans in het vliegtuig van het International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC) te Enschede. Het voordeel van dit systeem is dat de hoek van inzien met het aardoppervlak constant blijft.

Zoals reeds werd opgemerkt tracht men het hier beschreven mechanisch aftasten tegenwoordig te vervangen door elektronisch aftasten met behulp van één-dimensionale rijen of tweedimensionale matrices van detectoren. Problemen zijn nog de wisselende gevoeligheid van detector tot detector en het lokaal uitvallen van detectoren.

De detector in figuur 6 (onderdeel 2) kan ook vervangen worden door een spectrometer opstelling die het opgevangen licht of warmtestraling uiteenlegt in verschillende frequentiebanden (kleuren) elk met hun eigen detector.

Op deze wijze ontstaat een zgn. multispectrale scanner, waarmee men de „kleur” van een object kan vastleggen.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt dat men scannersystemen ook actief kan maken door toepassing van een tweede spiegelsysteem, dat synchroon meedraait met het waarnemingsysteem. Door middel van een lichtbron (b.v. een laser) wordt het waargenomen punt via dit tweede spiegelsysteem belicht.

Van deze scanner systemen wordt wel gezegd dat ze minder goed zouden zijn dan luchtfotografie omdat hun scheidend vermogen (en men bedoelt dan geometrisch scheidend vermogen) zo slecht zou zijn ten opzichte van de gewone luchtfoto. Uit de aard der zaak moet men bij een operationele inzet een en ander goed tegen elkaar afwegen, maar toch is dit een (te) éénzijdige kijk op de zaak. Allereerst heeft men hier een apparaat dat door zijn elektrische uitgang beter absoluut te maken is (een meer directe relatie met de waargenomen grootte, bijv. de reflectie-coëfficiënt, dan een vaag gedefinieerde grijstoon) en een directe ingang biedt tot de computer waardoor verdergaande automatisering mogelijk wordt. Men kan de data-stroom dan echter niet straffeloos opvoeren.

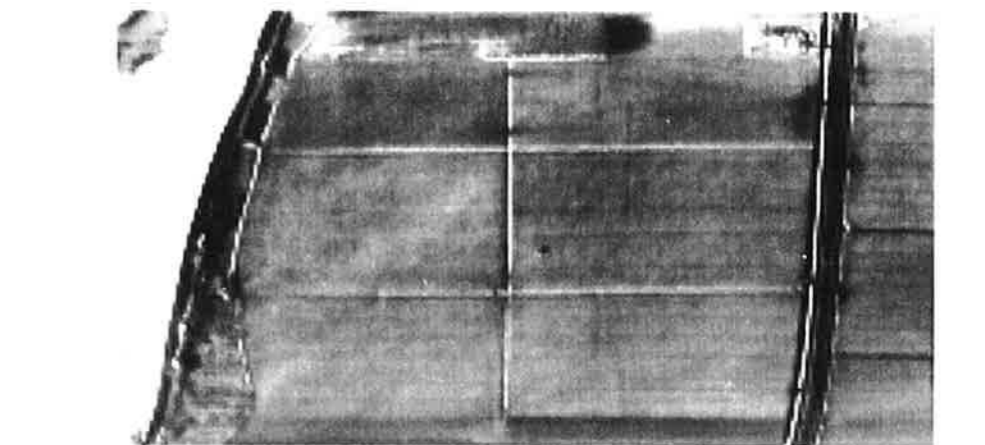
Naast het geometrisch scheidend vermogen heeft men echter ook met het *dynamisch scheidend vermogen* te maken. Wil men bijv. het thermisch scheidend vermogen van een scanner opvoeren om ook kleine temperatuurverschillen te kunnen „zien” dan gaat dit veelal ten koste van het geometrisch scheidend vermogen. Hetzelfde geldt voor de multispectrale scanner: wil men een hoog scheidend vermogen in frequentie (dus veel kleuren banden) dan gaat ook dit ten koste van het geometrisch scheidend vermogen*).

In figuur 9 tenslotte geven we een voorbeeld van een met een thermische scanner opgenomen beeld, dat digitaal verder werd bewerkt.

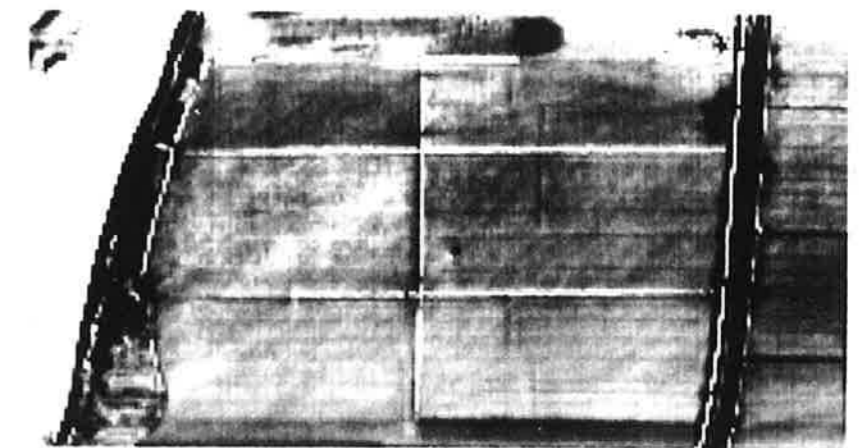
De microgolven

Ook in het microgolfgebied treft men passieve systemen aan die de warmtestraling van de aarde opvangen en registreren. De rechter curve in figuur 3 kan

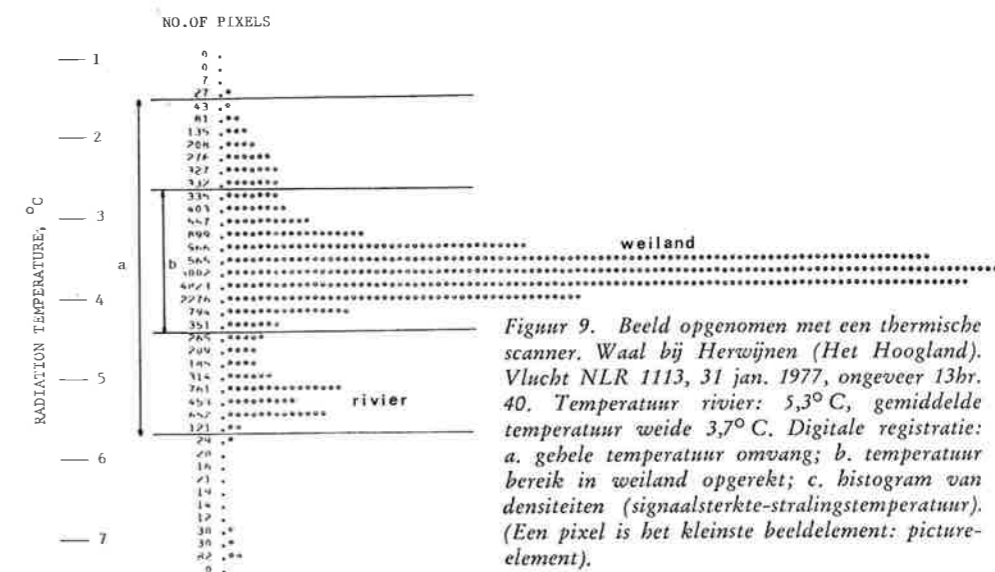
*) Hierbij is het volgende op te merken: een kleurenfoto heeft slechts 3 matig gedefinieerde banden over een beperkt golflengtegebied.



a.

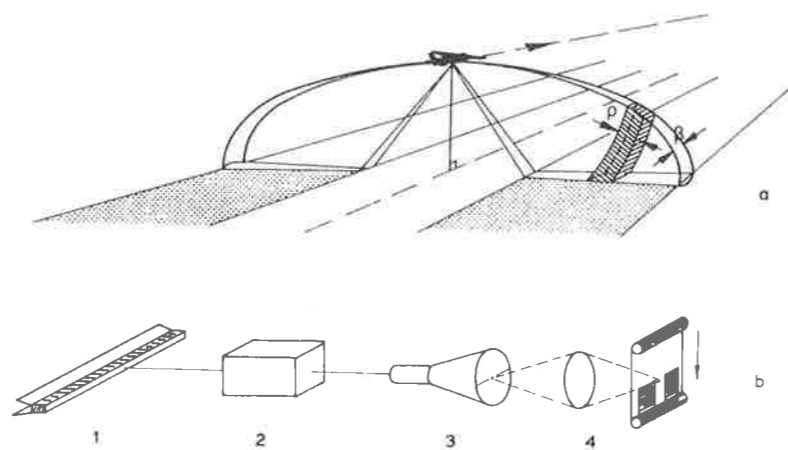


b.



c.

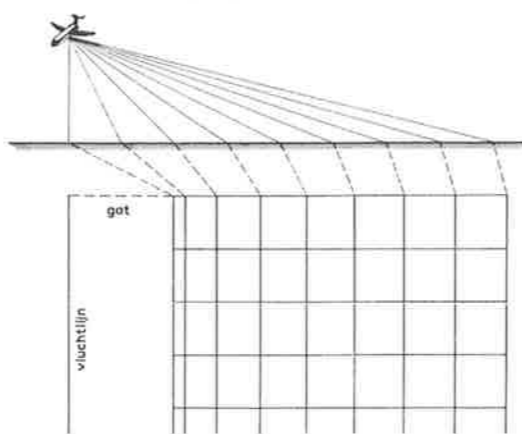
Figuur 9. Beeld opgenomen met een thermische scanner. Waal bij Herwijnen (Het Hoogland). Vlucht NLR 1113, 31 jan. 1977, ongeveer 13hr. 40. Temperatuur rivier: 5,3° C, gemiddelde temperatuur weide 3,7° C. Digitale registratie: a. gehele temperatuur omvang; b. temperatuur bereik in weiland opgerekt; c. histogram van densiteiten (signaalsterkte-stralingstemperatuur). (Een pixel is het kleinste beeldelement).



*Figuur 10. Werkwijze van de side-looking airborne radar (SLAR).
a) wijze van aftasten van de grond: p = puls.
b) systeem:
1 antenne (openingshoek β),
2 zender-ontvanger,
3 beeldbuis met één intensiteit gemoduleerde lijn;
het beeld komt tot stand door deze lijn af te beelden op de bewegende film in camera 4.*

worden doorgetrokken tot in het microgolfg gebied. Het aanwezige signaal is echter zeer zwak. Ook hier past men voor de waarneming systemen toe die de grond aftasten. Zij worden echter nog maar beperkt toegepast en in Nederland worden zij (nog) niet gebruikt. We zullen ze hier daarom buiten beschouwing laten.

Het meest succesvolle apparaat voor waarneming vanuit de lucht in het microgolfg gebied is de radar. De gewone radar met ronddraaiende antenne wordt alom toegepast, ook in vliegtuigen. Voor karteringsdoeleinden is dit apparaat echter minder geschikt. Hiervoor werd de „side-looking airborne radar” of SLAR ontwikkeld. Dit is een radar met stilstaande antennes die aan weerszijden van het vliegtuig (of satelliet) zijn bevestigd (zie figuur 10). De radar is een actief systeem. Het zendt een korte puls electromagnetische energie uit en registreert de terugontvangen echo's in volgorde van binnenkomst en zet deze op een lijn achter elkaar uit op een beeldbuis in de vorm van lichte vlekjes. Na de laatste echo ontvangen te hebben (bepaald door de afstand waarover men wil waarnemen) wordt een nieuwe puls uitgezonden, enz. Daar de EM golf zich met de lichtsnelheid voortplant is de omlooptijd kort en kunnen vele pulsen per seconde worden uitgezonden. Door deze techniek meet de radar in feite afstanden tot de reflecterende objecten (tijd tussen uitzenden puls en terugontvangen van de echo). De afbeelding is dus anders dan de stereografische projectie waar wij aan gewend zijn en hiermee moet bij de uitwerking rekening worden gehouden (zie figuur 11). Bij de SLAR kunnen 2 antennes worden gebruikt, die de uitgezonden energie bundelen, één aan elke zijde van het vliegtuig (figuur 10). Er wordt



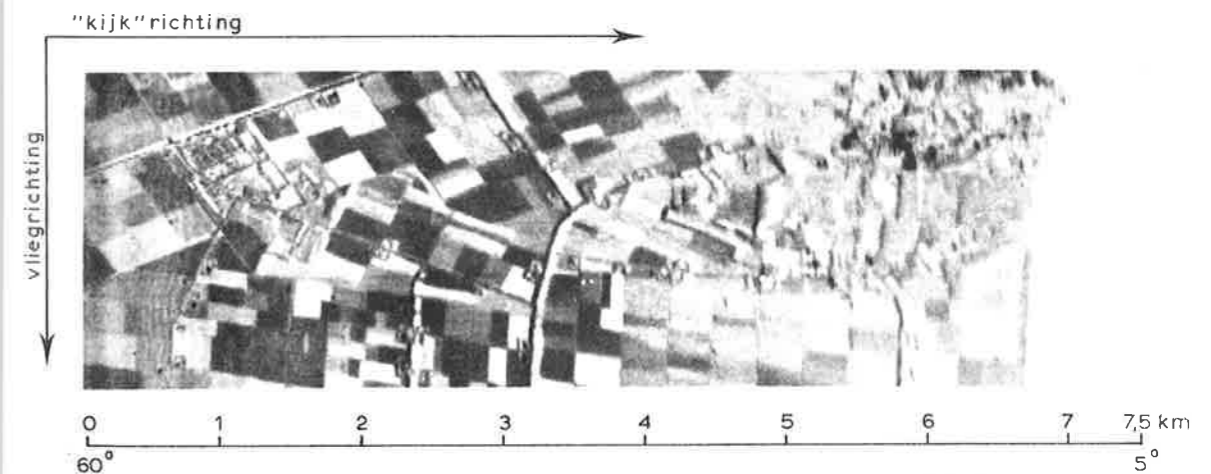
Figuur 11. Beeldvorming bij SLAR. Radar met afstanden.

steeds één lijn afgebeeld op de beeldbuis. Door deze lijn af te beelden op een film, die voortbewogen wordt met een snelheid die evenredig is met de vliegsnelheid, wordt een continu beeld verkregen. Van dit beeld wordt de schaal-nauwkeurigheid in de vliegrichting bepaald door de nauwkeurigheid van de overzetverhouding: vliegsnelheid vs. filmsnelheid. De meeste systemen gebruikten tot nu toe de hier beschreven methode: dus registratie op film. Dit heeft zijn bezwaren omdat er moeilijk een relatie te vinden is tussen op de film geregistreerde grijstonen en de werkelijke reflectie-coëfficiënt van het waargenomen object. Moderne ontwikkelingen gaan dan ook hier naar absolute systemen (interne calibratie) en digitale opslag van het beeld. Ook de nieuwe Nederlandse SLAR die gebouwd is in een samenwerking van het Fysisch Laboratorium TNO, het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) en het Microgolf Laboratorium van de TH Delft, wordt zo uitgevoerd. Figuur 12 geeft een stukje opname in de NO-polder bij Urk gemaakt met dit nieuwe systeem. De gebruikte radargolflengte is $\lambda = 3$ cm (X-band).

Radar is met name geschikt voor het snel maken van grote overzichten (afstand 15 tot 100 km) en wel dag en nacht en onder praktisch alle weersomstandigheden.

De gebruikte afbeeldingsschalen liggen dan tussen de 1 : 100 000 en 1 : 1 000 000, en het gebruikte geometrisch scheidend vermogen wordt steeds met deze (kleine) schalen in overeenstemming gebracht.

Ook hier hebben we te maken met een afweging van geometrisch tegen dynamisch scheidend vermogen, al ligt de problematiek hier iets anders dan bij de scanners. Hetzelfde blijft dat een grote nauwkeurigheid in het meten van de radar-reflectie-coëfficiënt veelal gepaard gaat met een verlaging van het geometrisch scheidend vermogen. Er zijn goede compromissen mogelijk maar het zou te ver voeren hier thans diep op in te gaan.



Figuur 12. Stukje NO-polder bij Urk, opgenomen met de nieuwe digitale Nederlandse SLAR. Afbeelding gecorrigeerd voor afstanden.

Problemen; de fysica van de beeldvorming

Nu gaan we deze systemen gebruiken en komen dan vaak meteen al in de problemen. De gegeven voorbeelden (figuur 9 en figuur 12) geven beelden die wel erg op gewone luchtfoto's lijken en velen zullen dan ook eerst proberen zo'n beeld te interpreteren alsof het een luchtfoto was. Voor een eerste indruk kan dat heel 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- resp. cm-golfgebied ontvangen signalen voor ons omgezet in een „beeld” in het zichtbaar licht. Op zo'n transformatie zullen de methodes die gehanteerd worden in de luchtfotografie niet direct toepasbaar zijn. De fysica van de beeldvorming verschilt voor de verschillende vensters. Tabel 1 vat een en ander samen.

Tabel 1. Fysica van de beeldvorming.

Vensters	Fysisch mechanisme	Probleemgebieden
Zichtbaar licht en nabij infrarood (0,35—2,5 μm)	Reflectie $R = f(\lambda)$; kleur als kenmerk; polarisatie	Belichting kan niet worden geregeld Verhouding directe/diffuse straling. Richtingsafhankelijke reflectantie
Thermisch infrarood (4—14 μm)	Emissie $e = f(\lambda)$; verschillen in emissie coëfficiënt temperatuur verschillen	Thermische eigenschappen van de objecten Thermische voorgeschiedenis
Microgolven (0,1—30 cm) (0,8—25 cm)	Emissie/terugverstrooiing (backscatter) Passief: $e = f(\lambda)$; temperatuur Actief: $\gamma = f(\lambda)$ als een functie van de polarisatie	Integratie tijd Dynamisch scheidend vermogen (Dynamic resolution)

Er zijn dus nog al wat verschillen aan te wijzen en het wordt zinvol een lijst samen te stellen van eigenschappen van een voorwerp (in ons geval dus gewassen, bodems en vegetaties) waarmee het mogelijk wordt dit voorwerp waar te nemen en te herkennen zoals:

1. vorm en afmetingen („optisch” scheidend vermogen);
2. reflectie-eigenschappen (dynamisch bereik en dynamisch scheidend vermogen);
3. spectrale eigenschappen („kleur”, frequentie);
4. polarisatie-effecten (horizontaal, verticaal, „cross”);
5. temporele effecten (verandering in tijd en plaats).

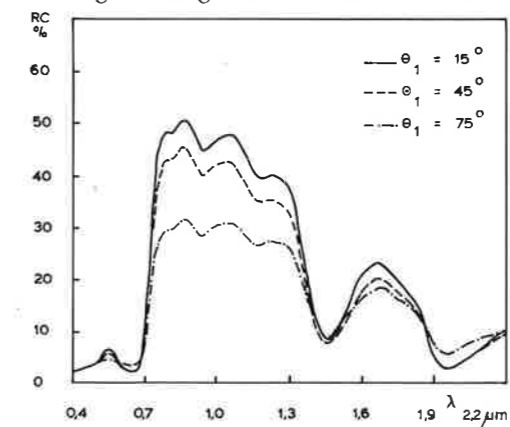
De problemen rond de criteria 1 en 2 werden al aangestipt in de vorige paragraaf. Afhankelijk van de toepassing zal het ene of het andere criterium belangrijk zijn. De luchtcamera dankt haar grote nut aan eigenschap 1 en deels aan eigenschap 2 (kleurenfilm, false-color film). Bij een nadere beschouwing

blijken de line-scan systemen echter beter in staat te zijn juist een optimaal gebruik te maken van de laatste vier eigenschappen.

Laat mij een en ander adstrueren aan voorbeelden. Het eerste komt uit het venster: zichtbaar licht tot infrarood. De lezer kent het gebruik van „false-color” fotografie voor het opsporen van zieke bomen (en „gas”-bomen) in steden. Dit bleek een vrij toevallige maar prettige toepassing. Grondwaarnemingen bevestigen de luchtwaarneming. De gangbare procedure is dan meestal: „probleem van de gebruiker is opgelost, de gebruiker is geholpen, einde probleem”. Tegenwoordig noemt men dat ook wel „innovatie”. Een dergelijke houding is erg begrijpelijk, maar zij brengt de remote sensing natuurlijk niet verder. Inderdaad is een gebruiker geholpen in zijn specifieke probleem, maar wat hebben we eigenlijk waargenomen? Als we iets meer zouden weten van het fysisch mechanisme, dat ons dit resultaat gaf, zijn er misschien meer toepassingen te vinden. In principe is dit immers een onderdeel van het meer algemene probleem van het vaststellen van de gezondheidstoestand van een gewas. Het zit hem dus waarschijnlijk in de kleur: dus een verandering in spectrale signatuur (criterium 3). Maar wat verandert?

Sommige onderzoekers dachten dat het een verandering was in het fotografisch infrarood, anderen dat het een verandering was in de chlorophyl absorptieband. Bestudering van de film-eigenschappen geeft hier geen antwoord: de infrarood gevoelige laag (cyan) is gevoelig in beide banden. Veldmetingen gaven beide partijen gelijk. De fysicus zal nu suggereren: gebruik voor dit probleem beide banden: 0,600—0,690 μm en 0,750—0,900 μm in een goede verhouding; dus gebruik een multispectrale scanner. In principe is dit juist, maar het probleem is nog niet werkelijk rond en begrepen. De zaak wordt nog gecompliceerder als blijkt dat het verschijnsel eerder aan de plant als totaal (groepen van bladeren) te zien is dan bij metingen aan individuele bladeren. Uiteindelijk bleek dit probleem alleen interdisciplinair oplosbaar. De botanicus wees op bladstand veranderingen. Bladstand veranderingen bewerken veranderingen in de verhouding licht en donker en dus in de reflectie en transmissie van licht in vegetaties. In Nederland onderzochten Bunnik en Verhoef (1975, 1978) dit verder zowel experimenteel als modelmatig.

Figuur 13 geeft één van hun resultaten (1975). Duidelijk blijkt uit dit werk dat



Figuur 13. Verandering in reflectiecoëfficiënt van een gewas door een veranderde bladstand (θ); volgens Verhoef en Bunnik (1975).

bladstand veranderingen de kleur beïnvloeden. Nu begrijpen we ook waarom het verschijnsel hoewel niet goed zichtbaar op individuele bladeren wel aan groepen (plantendek) te zien was. Dit betekent ook dat je hier het geometrisch scheidend vermogen ook niet te hoog moet opvoeren, want als je losse bladeren gaat zien kon het wel eens fout gaan.

Voordat het probleem werkelijk werd begrepen, hebben we dus vrij diep moeten spitten. Nu ging het hier nog om een stuk van het EM spectrum dat ons van nature goed bekend is. Hoe moet het dan wel niet gaan in de andere vensters? Neem bijvoorbeeld radar.

Hier hebben wij te maken met het enorme verschil in golflengte ten opzichte van het zichtbaar licht (een factor 10^5). De afmetingen van antennes („optiek”) en voorwerpen worden hier van de orde van grootte van de gebruikte golflengte terwijl deze bij zichtbaar licht juist zeer groot zijn ten opzichte van de golflengte. Tabel 2 vat deze verschillen samen.

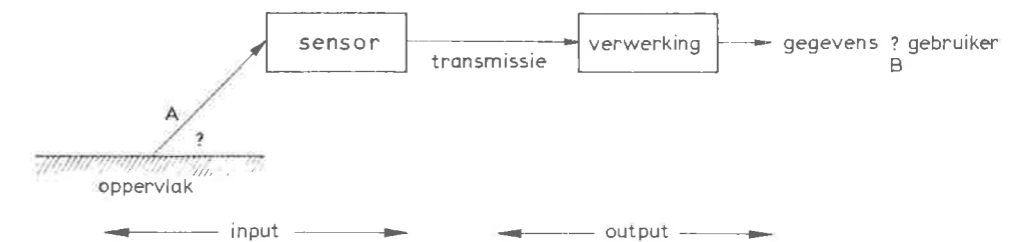
Tabel 2. Verschillen in het waarnemen met een camera en met radar.

	Camera	optiek	Radar
diameter:	lens tot $10^4 \lambda$		antenne 60 tot 400λ
orde van grootte:	μrad	resolutie	mrad
maat:	$\gg \lambda$	object	$\sim \lambda$
glad:		oppervlakte ruwheid	
variëties:	$< 0.1 \mu\text{m}$	$< \frac{1}{4} \lambda$	cm's

Ter illustratie nemen we bijv. ruwheid (laatste regel van tabel 2). Deze verandert dan ook enige ordes van grootte en zelfs binnen het microgolffvenster zelf kan het een orde variëren: een geploegd veld zal voor een X-band radar ($\lambda = 3 \text{ cm}$) ruw zijn maar kan voor een L-band radar ($\lambda = 25 \text{ cm}$) „vlak” worden. Hopelijk is het hiermee duidelijk geworden, dat men voorzichtig moet zijn bij het interpreteren van remote sensing beelden. Bedenk echter ook dat het juist de verschillen zijn, die het interessant maken om remote sensing te gaan gebruiken door de nieuwe mogelijkheden die ons hiermee geboden worden. Enig begrip van de fysica van de beeldvorming is dan wel noodzakelijk. Daarvoor is onderzoek nodig en dat gebeurt nu op een aantal plaatsen in Nederland. De overige artikelen in dit nummer geven daarvan voorbeelden.

Problemen; het operationeel maken van remote sensing

In figuur 14 wordt een ruwe schets gegeven van het remote sensing complex. Allereerst zien we het remote sensing systeem zelf, tussen de vraagtekens A en B: een technisch systeem dat in een van de besproken vensters de aarde waarneemt,



Figuur 14. Overzicht van het remote sensing systeem (sensor: waarnemingsapparaat).

de waarneming transporteert (overzendt) naar een verwerkingseenheid (bijv. een computer) en vervolgens de data (veelal beelden) aflevert aan een gebruiker. Tot op heden wordt meestal een „a posteriori” benadering gebruikt in de remote sensing: er wordt alleen naar de verkregen gegevens (beelden) gekeken al of niet met inschakeling van een computer. Door zo te handelen gebruiken we eigenlijk maar een heel klein deel van het totale systeem: de output. De kwaliteit van deze output wordt echter wel bepaald door de kwaliteit van de input naar het systeem. Wanneer we de verkeerde gegevens opnemen (bijv. werken in een verkeerde frequentieband of kleur, met een verkeerde polarisatie, enz.) of wanneer we niet alle gewenste informatie opnemen, kan dat nooit meer worden goed gemaakt, niet met de grootste computer, noch met het beste algoritme. Dan maar alles opnemen waar je aan kunt denken lost het probleem ook niet op: het verzadigt alleen maar je 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 input kant en dat is kennis van de soort beschreven in de vorige paragraaf. De vraag is echter hoe je die kennis verwerft en zo komen we bij vraagteken A in figuur 14.

In de vorige paragraaf werd het voorbeeld aangehaald van de zieke bomen en gewassen. Daarbij was de gebruiker van de informatie helemaal niet geïnteresseerd in een veranderende reflectie of kleur van die bomen of gewassen maar alleen in het vinden van de zieke. Doordat zulk een verandering in reflectie optreedt ten gevolge van ziekte constateert het remote sensing systeem een verandering in kleur en dat detectiemiddel wordt daarna gehanteerd om dat zieke gewas op te sporen. Zo is er meer. Een gebruiker is geïnteresseerd in onderwerpen als: bedekkingsgraad, begroeid oppervlak, biomassa, opbrengst, bodemvocht, waterinhoud enz., allemaal grootheden die in tabel 1 niet voorkomen! Willen we remote sensing systemen dus nuttig gaan gebruiken, dan zullen we eerst de transformaties moeten vinden van de vragen van de gebruiker naar één of meer van de fysische grootheden die remote sensing systemen kunnen waarnemen (tabel 1). Je kunt dit aan het toeval overlaten — zoals op het ogenblik in feite gebeurt („a posteriori” benadering) — door maar raak te gaan vliegen en te kijken wat er op je foto's en beelden komt. Dat is echter wel een erg kostbare en tijdrovende procedure en veel gebruikers zullen dan spoedig afhaken of er überhaupt maar niet aan beginnen. Nuttiger is een goed stuk achtergronds onderzoek waarbij interdisciplinaire teams deze transformaties gericht opzoeken en onderzoeken met behulp van een goed meetprogramma en gesteund door testvluchten voor de noodzakelijke verificatie en terugkoppeling.

Op deze „a priori” manier wordt het ook mogelijk de sensoren optimaal te dimensioneren zodat het transmissie kanaal niet nodeloos breed moet worden en ook de verwerking van de gegevens (beelden) de pan niet uitrijst. En hiermee komen we aan vraagteken B.

De uit het systeem verkregen stroom gegevens is in de grootheden van tabel 1, zij het (na een „a priori” studie) geoptimaliseerd en aangepast. Nu moeten deze gegevens weer worden teruggetransformeerd naar de oorspronkelijke gevraagde: bedekkingsgraad, begroei oppervlak, biomassa, opbrengst, enz. en wel correct gekwantificeerd in getallen compleet met betrouwbaarheids grenzen. Pas met deze getallen kan een gebruiker: landbouwer, bosbouwer, hydroloog, bodemkundige, econoom, enz., verder werken en een operationeel totaal systeem gaan opbouwen waarin de remote sensing een rol speelt.

Zulke operationele systemen zijn er nog praktisch nergens. Er zijn wel aanzetten (geweest) maar door een gebrek aan kennis van de input (figuur 14) komt dit niet veel verder.

Een poging om dit gat te vullen was destijds de NIWARS. Naast het meer bekendheid geven aan remote sensing was het haar belangrijkste taak het doen van achtergrondsonderzoek naar het vinden van de genoemde transformaties van de parameters, gehanteerd door de gebruikers, naar de fysische grootheden die remote sensing systemen waarnemen.

Dit alles geschiedde mede met de hoop dat dit zou kunnen leiden tot de ontwikkeling van echt nieuwe sensoren (apparaten) en applicaties (adviezen) waarbij er van uit gegaan werd dat de verwerkingsapparatuur (computers, algoritmes) toch wel zouden worden ontwikkeld, wat ook inderdaad gebeurd is.

Helaas was de tijd te kort. Wel kwam het onderzoek in het venster zichtbaar licht tot nabij infrarood (IR) tot een goede afronding (Verhoef en Bunnik, 1975; Bunnik, 1978), maar het kreeg geen operationeel vervolg meer. Het onderzoek in het thermisch IR- en het microgolf venster kwam goed van de grond en wordt thans nog voortgezet.

Conclusies

Letterlijk en figuurlijk hangt de remote sensing in de lucht (figuur 14). Het heeft nog geen echte kop (kennis van de input) en daarmee ook nog geen staart (reële operationele implementatie). Omdat meestal een „a posteriori” benadering wordt gebruikt in de remote sensing („plaatjes kijken”) is er al zeer veel gedaan aan beeldverwerking (de output) en computer apparatuur en algoritmes zijn daarvoor nu ruim aanwezig. Toch is de remote sensing nog bijna niet in operationele systemen geïmplementeerd. Technisch is alles mogelijk. Er ontbreekt echter een juiste vraagstelling: de transformatie van gebruikersparameters naar de fysische grootheden die remote sensing systemen waarnemen. Het is dat gebrek aan „a priori” kennis (van de input in figuur 14) die de verdere ontwikkeling van echt nieuwe sensoren en toepassingen stagneert en daarmee ook de invoering van remote sensing in operationele systemen.

Meer kennis van genoemde transformaties is nodig. Dit betekent meer kennis van de fysica van de object-sensor interactie of zo u wilt: de fysica van het vrije veld. Snelle doorbraken zijn in de nabije toekomst niet te verwachten,

tenzij er meer ruimte komt voor zulk achtergronds onderzoek. Van wat er op het ogenblik op dit gebied in Nederland toch gebeurt vindt u iets in de bijgaande artikelen weergegeven.

Literatuur

H. W. Brunsveld van Hulst en G. P. de Loor. 1977. Inleiding tot het verslag van het Symposium Luchtwaarneming, gehouden 1 en 2 september 1977 te Delft. Uitg. Ned. Ver. Fotonica. *Manual of Remote Sensing*. 1975. Uitgave van de American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia, USA.

G. Fraysse, editor. 1980. *Remote Sensing Applications in Agriculture and Hydrology*. Balkema, Rotterdam.

W. Verhoef en N. J. J. Bunnik. 1975. A model Study on the Relations between Crop Characteristics and Canopy Spectral Reflectance, NIWARS publication no. 33, Delft.

N. J. J. Bunnik. 1978. *The Multispectral Reflectance of Shortwave Radiation by Agricultural Crops in Relation with their Morphological and Optical Properties*. Dissertatie Wageningen, 1978. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen 78-1, pp. 1-176.

MEDEDELINGEN

15 april 1980 *IMAG-Veehouderij-Automatiseringsdag* (Boer-koe-computer, samen op weg in de jaren 80) in het Intern. Agrarisch Centrum te Wageningen. Aanvang 09.00 uur. Inl.: IMAG, tel. 08370-19119.

16 en 17 april 1980: „Geomorfologische Kartering”, 86e Wetensch. Bijeenkomst Ned. Bodemk. Ver. De voordrachten op 16 april worden gehouden in de aula van de Schermerhornhal van het ITC te Enschede, 17 april excursie. Inl.: Secr. Marijkeweg 11, Wageningen, tel. 08370-19100. 18 april 1980, Bedrijfsomvang en staltype in de melkveehouderij. (Bijeenkomst Ned. Ver. Techn. in de Landbouw), Intern. Agrarisch Centrum, Wageningen. Aanvang 14.00 uur.

23 en 24 april 1980: „Mondiale Bosbouw”, voorjaarsbijeenkomst van de Kon. Ned. Bosbouwvereniging, Delta-hotel, Vlaardingen. Aanvang op 23/4 om 10.00 uur, 24/4 om 09.00 uur. Naast de internationale problematiek zal ook de nationale problematiek ruimschoots aandacht krijgen. Inl.: Secr. K.N.B.V., PB 139, 6800 AC Arnhem.

6-9 mei 1980. *Veiligheidsbeurs*. RAI Tentoonstellingscentrum Amsterdam.

8 (middagbijeenkomst) en 9 mei (excursie) 1980. *Meervoudig gebruik van militaire oefenterreinen. Voorjaarsbijeenkomst Studiekring voor Cultuurtechniek (KGvL) en Sectie voor Cultuurtechniek (KIVI) Provinciehuis te Zwolle*. Inleidingen over: militaire wensen en eisen in relatie tot de mogelijkheden (Gen.-majoor Ir. G. C. Gelderblom); Planologische aspecten van militaire oefenterreinen (Mr. M. J. Barendrecht); Inrichting en beheer van militaire oefenterreinen ten behoeve van natuur en recreatie (Ir. F. C. Prillewitz) en inrichtingsplan voor militaire oefenterreinen (Ir. L. Touwen). Kosten: beide dagen f 40,—, middagbijeenkomst op 8 mei f 20,—. Inl.: Secr. Studiekring, PB 91, 9200 AB Drachten, tel. 05120-12246. Opgave vóór 24 april a.s.

19 mei 1980. *Voorlichtingsdag Stichting Studiecentrum voor Vastgoedinformatie (in oprichting) in het Gebouw voor Geodesie (TH Delft), Thijssseweg 11 te Delft*. Aanvang 10.00 uur Inl. en opgave: tel. 015-784548 of 782580. Aan de deelname zijn geen kosten verbonden.

30 mei 1980. *Thema dag „Landbouw en Natuur” van de Studiekring voor Voorlichting (KGvL) in de Leeuwenborgh, Hollandseweg 1, Wageningen*. Aanvang 10.00 uur.

Deze voorjaarsbijeenkomst van de Studiekring is gewijd aan het thema: „De rol van de voorlichting gericht op het raakvlak van landbouw en natuur en landschap”. De discussies worden ingeleid door Drs. G. van der Lely (Dir. Beheer Landbouwgronden) en Prof. dr. ir. A. W. van den Ban (LH Wageningen), waarna de aanwezigen een aantal — door een voorbereidingscommissie opgestelde — vragen zullen bespreken.

In verband met het grenzen moeten stellen aan het aantal deelnemers worden belangstellenden verzocht hun deelname bekend te maken aan het secretariaat, waarna informatie-materiaal zal worden toegezonden. Ter vergoeding van onkosten wordt f 5,— gevraagd, te storten op postgiro 900555 van het KGvL te Wageningen, onder vermelding van Thema dag Voorlichting / 30 mei 1980. Bij het bereiken van een deelnemersaantal van 200 zal de opgave gesloten worden. Inl.: Secr. Ir. F. Korten, Hollandseweg 1, Wageningen, tel. 08370-83588 - 84310.