

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

REMOTE SENSING

ir. G.J.A. Nieuwenhuis

ing. J.M.M. Bouwmans*

*medewerker van de Landinrichtingsdienst te Utrecht

Deze nota is opgesteld als bijdrage aan het Cultuurtechnisch Vademecum

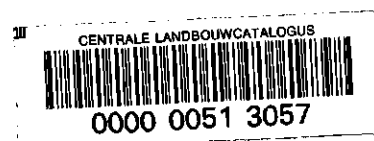
Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

4 OKT. 1984

ISN = 212115-02



I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Omschrijving vakgebied	1
1.2. Het waarnemen door de mens	2
1.2.1. Principe	2
1.2.2. Voorwaarden voor het waarnemen	2
2. ELECTROMAGNETISCHE STRALING	3
2.1. Stralingsbronnen	4
2.2. Interactie van EM-straling met de atmosfeer	6
2.3. Interactie van EM-straling met het object	6
3. REMOTE SENSING SYSTEMEN	8
3.1. Configuratie en sensor	8
3.2. Fotografische opnametechnieken	10
3.2.1. Algemeen	10
3.2.2. Kleuren- en false colour fotografie	11
3.2.3. Multi Spectrale Fotografie (MSP)	13
3.2.4. Stereofotografie	13
3.3. Electronische RS-technieken	14
3.3.1. Algemeen	14
3.3.2. Multi Spectrale Scanning (MSS) en Infra Red Line Scanning (IRLS)	14
3.3.3. Microgolftechnieken	16
3.4. Platforms	18
4. BEELDINHOUD	20
4.1. Invloed van het golflengtegebied waarin is waargenomen	21
4.2. Invloed van de wijze van opnemen	22
4.3. Invloed van eventuele beeldbewerkingen	23

	blz.
5. INTERPRETATIE VAN RS-OPNAMEN	24
5.1. Het afleiden van (geo)metrische informatie	24
5.2. Het afleiden van informatie over aard, toestand en ontwikkelingsstadium	24
5.2.1. Hulpmiddelen bij de interpretatie van analoge RS-beelden	26
5.2.2. Hulpmiddelen bij de interpretatie van digitale RS-beelden	27
5.3. Andere aspecten van de interpretatie	30
6. TOEPASBAARHEID VAN REMOTE SENSING	32
6.1. Wanneer is remote sensing in principe bruikbaar?	32
6.2. Wordt remote sensing in Nederland al operationeel toegepast?	35
6.3. Toekomstige ontwikkelingen	36
LITERATUUR	37
BIJLAGEN	38

1. INLEIDING

1.1. Omschrijving vakgebied

Remote sensing betekent letterlijk 'van afstand waarnemen'. Doel van het waarnemen is het verzamelen van gegevens over het aardoppervlak - zowel land als water - en processen die zich daarop afspelen om daaruit informatie over het aardoppervlak en de aard, toestand en fase van deze processen af te leiden. Deze informatie wordt afgeleid uit de wijze waarop door het aardoppervlak en objecten aan het aardoppervlak elektromagnetische straling wordt gereflecteerd en/of uitgezonden.

In fig. 1 is het principe van remote sensing schematisch samengevat.

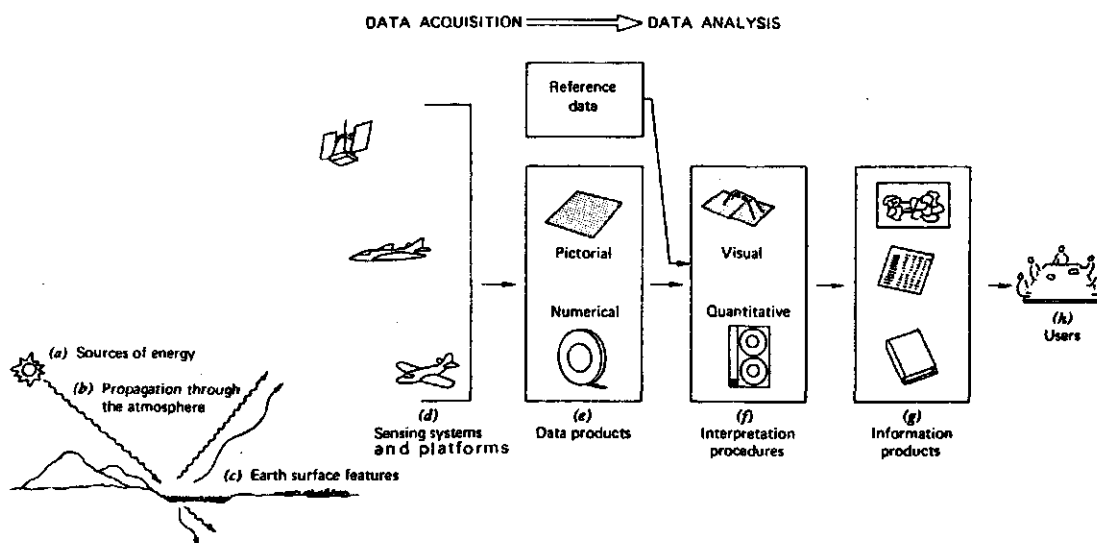


Fig. 1. Principe van remote sensing (naar LILLESAND and KIEFER, 1979)

Het waarnemen met remote sensing systemen en het afleiden van informatie uit het waargenomene wijkt in principe niet af van onze eigen waarneming. Dit waarnemen met onze eigen zintuigen gebeurt zo onbewust dat het goed is hier eerst in het kort op in te gaan.

1.2. H e t w a a r n e m e n d o o r d e m e n s

1.2.1. Principe

De mens beschikt voor het waarnemen over een vijftal zintuigen die elk een specifieke taak hebben (gezicht, gehoor, tast, smaak, reuk). Als deze zintuigen geprikkeld worden, zenden ze een signaal naar onze hersenen. De hersenen verwerken het signaal, vullen het aan met informatie uit het geheugenbestand (kennis en ervaring) en nemen op grond daarvan een beslissing. In feite is de signaalverwerking, de interpretatie, een h e r k e n n i n g s p r o c e d u r e. Als het signaal niet wordt herkend, wordt in eerste instantie naar een gelijkenis gezocht. Daarna wordt getracht om het signaal met behulp van aanvullende gegevens, eventueel afkomstig van andere zintuigen, te vertalen in informatie.

1.2.2. Voorwaarden voor het waarnemen

Om een object met het oog (sensor) te kunnen waarnemen moet aan een aantal voorwaarden zijn voldaan. Het object moet:

1. straling reflecteren of uitzenden in het golflengtegebied waar de sensor gevoelig is (speciaal bereik),
2. bepaalde minimale afmetingen bezitten die nog juist door de sensor kunnen worden onderscheiden (geometrisch scheidend vermogen),
- 3a. een bepaald minimaal kleurverschil met zijn omgeving hebben dat nog juist door de sensor kan worden gedetecteerd (spectraal scheidend vermogen), of
- 3b. een bepaald minimaal helderheidsverschil met zijn omgeving hebben dat nog juist door de sensor kan worden gedetecteerd (radiometrisch scheidend vermogen),
4. een bepaalde minimale tijd zichtbaar zijn omdat de sensor een bepaalde i n t e g r a t i e t i j d heeft. Hieronder wordt de minimale tijdsduur verstaan die ligt tussen twee opeenvolgende afhankelijke waarnemingen (temporeel scheidend vermogen).

Als de specificaties van het oog op een of meerdere van deze punten tekortschiet, kan soms door technische hulpmiddelen het van het object afkomstige signaal voor waarneming door het oog geschikt worden gemaakt. Denk in dit verband aan de microscoop, de verrekijker, vertraagde opnamen, röntgenfotografie, nachtkijkers en dergelijke. De elektronische remote sensing systemen zijn de nieuwste categorie hulpmiddelen om de waarnemingsmogelijkheden van het oog uit te breiden. Deze uitbreiding bestaat met name uit:

1. waarnemen in delen van het electromagnetisch spectrum, waarin ons oog niet gevoelig is (vergroting speciaal bereik),
2. onderscheiden van zeer geringe kleurverschillen (vergroting spectraal scheidend vermogen),
3. onderscheiden van zeer geringe helderheidsverschillen (vergroting radiometrisch scheidend vermogen).

Naast deze uitbreiding heeft waarnemen vanuit de lucht of vanuit de ruimte bovendien als voordeel dat het object in samenhang met zijn omgeving wordt waargenomen.

In 1.2.1 is reeds genoemd dat het waarnemen op zich nog geen informatie oplevert. Het signaal moet eerst herkend worden. Een verschil in signaal betekent in ieder geval wel dat er iets aan de hand is wat op zichzelf erg belangrijk kan zijn. Als kennis en ervaring geen oplossing aandragen over de oorzaak zal nader onderzoek uitsluitsel moeten geven.

2. ELECTROMAGNETISCHE STRALING

De gegevens die met remote sensing systemen over het aardoppervlak worden verzameld, worden afgeleid uit de wijze waarop door objecten aan het aardoppervlak opvallende electromagnetische (EM) straling wordt gereflecteerd en/of uit de wijze waarop door deze objecten EM-straling wordt uitgezonden. De EM-straling, vaak ook minder juist aangeduid als zichtbaar en onzichtbaar licht, is dus de drager van de informatie. De eigenschappen van de EM-straling die daarbij het meest van belang zijn, zijn de golflengte ('kleur'), de amplitude ('signaalsterkte' of 'intensiteit') en speciaal in het geval van de radar ook de polarisatie. In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de verschillende bronnen van

electromagnetische straling en de interactie van EM-straling met de atmosfeer.

2.1. Stralingsbronnen

Ieder object met een temperatuur boven het absolute nulpunt ($0\text{ K} = -273^\circ\text{C}$) zendt EM-straling uit. Naarmate de temperatuur van het object hoger wordt, neemt de emissie van EM-straling toe en breidt het golflengtegebied waarin straling wordt uitgezonden zich uit in de richting van de kortere golflengten. In fig. 2A is de spectrale verdeling gegeven van de door de zon en de aarde uitgezonden EM-straling.

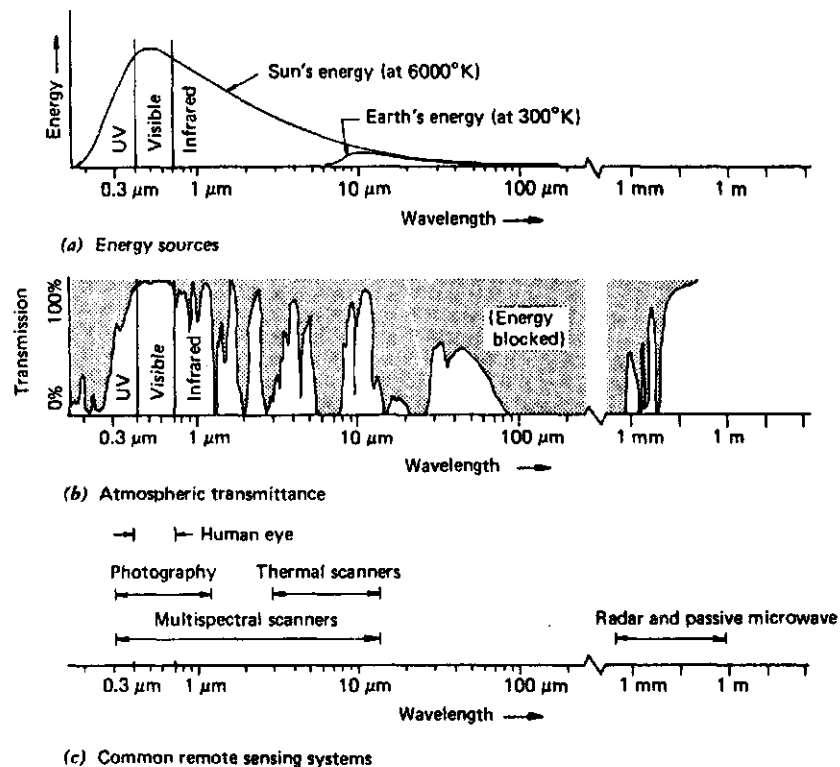


Fig. 2. Spectrale karakteristiek van energiebronnen (a), atmosferische effecten (b) en remote sensing systemen (c) (naar LILLESAND en KIEFER, 1979)

De emissie van warmtestraling door objecten hangt behalve van de temperatuur T van het object ook af van de emissiecoëfficiënt ϵ .

De totale hoeveelheid uitgezonden energie (W) bedraagt

$$W = \epsilon \sigma T^4 \quad (\text{W.m}^{-2})$$

In deze formule is σ de constante van Boltzmann ($= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$). Voor een ideaal zwart lichaam (black-body) is ϵ per definitie gelijk aan 1. In tabel 1 zijn ter illustratie enkele waarden van ϵ gegeven.

Tabel 1. Emissiecoëfficiënten van een aantal materialen

Material	Temperature (°C) of	
	Sample Analyzed	Emissivity (ϵ) ^a
Human skin	32	0.98
Distilled water	20	0.96
Ice	-10	0.96
Carbon (candle soot)	20	0.95
Wet Soil	20	0.95
Glass	20	0.94
Paint (average of 16 colors)	100	0.94
Brick	20	0.93
Dry soil	20	0.92
Concrete	20	0.92
Plaster	20	0.91
Sand	20	0.90
Wood	20	0.90
Snow	-10	0.85
Anodized aluminum	100	0.55
Buffed stainless steel	20	0.16
Highly polished gold	100	0.02

^a Values measured normal to surface of object over all wavelengths. Emissivities measured at other angles and over discrete wavelength regions may vary somewhat.

De golflengte waarin de uitstraling maximaal is (λ_{max}), kan berekend worden met de wet van Wien.

$$\lambda_{\text{max}} = 2897 \cdot T^{-1} [\mu\text{m}]$$

In deze formule is T de temperatuur van het stralend lichaam uitgedrukt in K.

De λ_{max} van door de zon uitgezonden EM-straling is circa 0,5 μm en van door de aarde uitgezonden straling circa 10 μm . Omdat ons oog alleen gevoelig is voor EM-straling in het golflengtegebied van 0,4 - 0,7 μm (fig. 2c), kan met het oog door objecten uitgezonden

straling n i e t worden waargenomen. Alleen als de temperatuur van het object hoger is dan circa 1000 K, valt een deel van de uitgezonden EM-straling binnen het zichtbaar deel van het spectrum (lava, roodgloeiende pook).

Behalve langs natuurlijke weg (temperatuurstraling) kan EM-straling ook op kunstmatige wijze worden gegenereerd.

Een kunstmatig stralingspatroon wordt onder andere toegepast bij RADAR- (Radio Detecting And Ranging) en LIDAR- (Light Detecting And Ranging) technieken. De LIDAR, waarbij een laser als stralingsbron wordt toegepast, verkeert nog in een experimenteel stadium en wordt hier daarom niet besproken.

Voordeel van kunstmatige stralingsbronnen is dat de spectrale karakteristiek van de uitgezonden straling constant is en derhalve op ieder moment volledig bekend is. Remote sensing systemen waarbij gebruik wordt gemaakt van natuurlijke stralingsbronnen worden p a s s i e v e RS-systemen genoemd. Bij toepassing van kunstmatige stralingsbronnen spreekt men van a c t i e v e RS-systemen.

2.2. I n t e r a k t i e v a n E M - s t r a l i n g m e t d e a t m o s f e e r

In fig. 2B is de doorlatendheid van de atmosfeer gegeven in relatie tot de golflengte van de EM-straling. Golflengtebanden waarin de doorlatendheid van de atmosfeer relatief groot en de absorptie dus gering is, worden aangeduid met de term 'venster'. Zo onderscheidt men het venster van het zichtbaar licht en nabij-infrarood (0,4 - 1,1 μm), twee thermische vensters (3-5 μm en 8-14 μm) en het microgolfvenster (>1 mm). Maar zelfs in de vensters treedt enige atmosferische interactie op. Afhankelijk van de atmosferische omstandigheden heeft dit in meer of mindere mate consequenties voor de waarneming. In fig. 2C is aangegeven met welke sensoren in de verschillende golflengtegebieden kan worden waargenomen.

2.3. I n t e r a k t i e v a n E M - s t r a l i n g m e t h e t o b j e c t

Als EM-straling op een object valt, wordt een deel van de opvallende straling gereflecteerd, een deel geabsorbeerd en een deel door-

gelaten (fig. 3). De wijze waarop dit gebeurt, hangt zowel af van de aard en toestand van het object als van de aard en invalshoek van de opvallende straling.

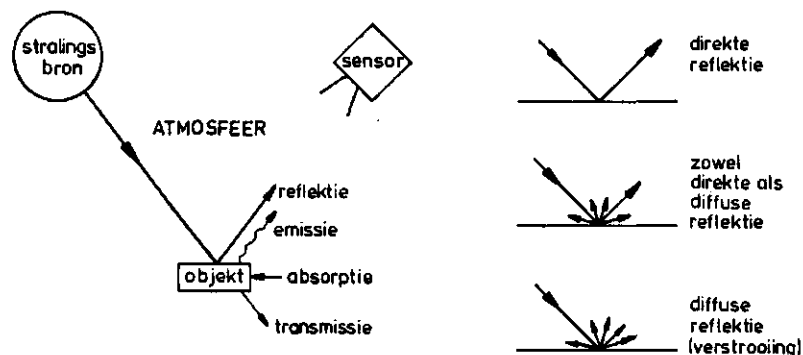


Fig. 3. Interaktie van EM-straling met het object

De reflectie wordt in hoofdzaak bepaald door de hoek waaronder de EM-straling invalt, de ruwheid van het reflecterend oppervlak en de spectrale reflectie-eigenschappen van het object. De spectrale reflectie-eigenschappen van het object is in wezen een vast gegeven en moet steeds in relatie tot de aard en intensiteit van de opvallende straling worden gezien. Een blauw object is blauw, omdat als er wit licht op valt (wit licht betekent, dat alle golflengten van 0,4- 0,7 μm in gelijke mate aanwezig zijn) alleen de straling in de blauwe golflengteband (circa 0,4 - 0,5 μm) wordt gereflecteerd. De overige EM-straling wordt geabsorbeerd. Als in het opvallende licht geen 'blauwe' straling aanwezig is, (oranje/geel licht) kan ook geen blauw licht worden gereflecteerd en zien we het object dus zwart. Om de spectrale reflectie van objecten met elkaar te kunnen vergelijken moet het reflectiepercentage (de verhouding opvallende en gereflecteerde EM-straling voor een bepaalde golflengte) bekend zijn.

Voor kunstmatige stralingsbronnen is de emissie-karakteristiek en dus de aard van de opvallende straling bekend. Bij natuurlijke stralingsbronnen (zonlicht) is dit niet het geval omdat door atmosferische interactie de spectrale samenstelling en spectrale intensiteitsverdeling van de EM-straling die het aardoppervlak bereikt, varieert. Door meting aan referentiepanelen of door bepaling van de momentane samenstelling van het zonlicht door middel van een hemel-sensor kan de absolute reflectie worden omgerekend tot reflectie-percentages.

De ruwheid van het reflecterende oppervlak is gedefinieerd als functie van de golflengte van de opvallende straling.

optisch ruw: oneffenheden vele malen groter dan λ (diffuse verstrooiing)

optisch glad: oneffenheden kleiner dan λ (spiegel)

Deze definitie van de ruwheid is met name van belang voor de bestudering van de reflectie van microgolven, waarbij de gebruikte golflengten kunnen variëren van circa 1 mm tot circa 50 cm. Voor golflengten van 0,4 μm tot 15 μm , waarin de meeste RS-systemen werken, is de ruwheid vele malen groter dan de golflengte en treedt er min of meer diffuse reflectie op.

3. REMOTE SENSING SYSTEMEN

3.1. Configuratie en sensor

De configuratie van ieder remote sensing systeem bestaat uit 3 hoofdelementen, namelijk een sensor, een beeldvormingssysteem en een opslagmedium voor de verzamelde data.

Naar sensortype kan onderscheid gemaakt worden in

- RS-systemen met als sensor fotografische emulsie
- RS-systemen met als sensor foto-electrische cel
- RS-systemen met als sensor antenne (radar)

De belangrijkste karakteristieken van de sensor zijn

1. het spectrale bereik, dit wil zeggen het golflengtegebied waarin de sensor gevoelig is en het spectraal scheidend vermogen
2. het radiometrisch bereik, dit wil zeggen de range tussen de minimale en maximale stralingsintensiteit waarin intensiteits-

verschillen kunnen worden waargenomen en het radiometrisch scheidend vermogen.

- ad 1. Het spectrale bereik van de verschillende sensoren is in fig. 2C reeds aangegeven. Door middel van optische of elektronische hulpmiddelen kan ook in afzonderlijke golflengtegebieden worden waargenomen en geregistreerd.
- ad 2. Bij het radiometrisch bereik is vooral de ondergrens, de minimale stralingsdosis die voldoende betrouwbaar kan worden waargenomen, van belang omdat deze het geometrisch scheidend vermogen mede bepaalt. Deze samenhang is globaal als volgt.

De stralingsdosis wordt bepaald door de grootte van het oppervlak waarvan straling wordt ontvangen, de breedte van de golflengteband waarin wordt waargenomen en de belichtingstijd. Waarnemen in een smallere golflengteband, houdt in dat slechts een deel van de stralingsenergie wordt gebruikt en derhalve moet de straling vanaf een groter oppervlak of gedurende een langere tijd worden gemeten om de minimale stralingsdosis te bereiken. Een hoger spectraal scheidend vermogen resulteert derhalve in een afname van het geometrisch scheidend vermogen (meetwaarde van groter oppervlak of meer bewegingsonscherpte door langere belichtingstijd).

Het radiometrisch bereik is binnen bepaalde grenzen instelbaar en wordt daarom ook vaak dynamisch bereik genoemd. In feite is het instellen van het radiometrisch bereik niets anders dan het kiezen van de juiste belichting bij het maken van foto's (keuze sluitertijd en diafragma in afhankelijkheid van de verlichtingssterkte van het object). Bij over- of onderbelichting raakt de sensor over- of onderverzadigd en kan geen verschil in intensiteit meer worden waargenomen.

Behalve het spectraal en radiometrisch bereik en het spectrale en radiometrisch scheidend vermogen is het belangrijk dat de respons van de sensor constant is in de tijd. Bij fotografische registratiemethoden is dit nog wel eens een probleem om dat de sensor tevens het registrerend medium is en dus wordt verbruikt. Door voor iedere gebruikte film de spectrale gevoeligheid te ijken met behulp van een standaardobject, kan het effect van variatie in respons grotendeels worden ondervangen.

De verschillende systemen van beeldvorming zijn sterk gebonden aan de RS-opnametechnieken en worden daarom bij de bespreking van de technieken kort behandeld.

3.2. Fotografische opnametechnieken

3.2.1. Algemeen

De luchtfotografie is de oudste vorm van remote sensing. Het principe is eenvoudig. Vanuit een vliegtuig worden foto's gemaakt van het aardoppervlak. Men maakt daarbij op de eerste plaats onderscheid in verticaal- en oblique fotografie (zie fig. 4).

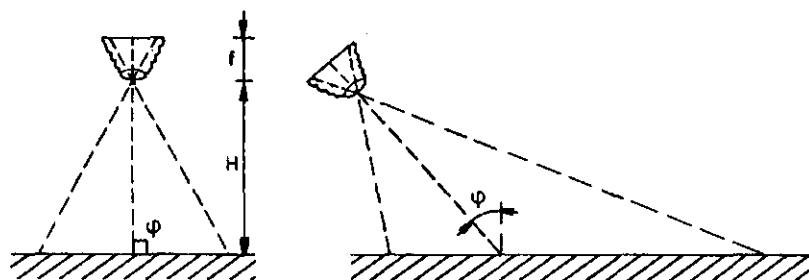


Fig. 4. Verticaal en oblique fotografie

Bij verticaal fotografie maakt de hoofdas van de camera een hoek van 90° met het aardoppervlak, bij oblique fotografie een bepaalde hoek ϕ .

Verticaal fotografie wordt het meest toegepast en heeft het voordeel dat in hetzelfde horizontale vlak de opnameschaal overal gelijk is. De opnameschaal S hangt af van de vlieghoogte H en de brandpuntsafstand van het objectief f .

$$S = \frac{f}{H}$$

(voorbeeld $H = 2000 \text{ m}$, $f = 0,1 \text{ m} \rightarrow S = 1:20\ 000$)

Het tweede onderscheid dat gemaakt kan worden is naar het type film dat gebruikt wordt, b.v. zwart-wit, zwart-wit infrarood, kleur, kleur infrarood(= false colour).

In fig. 5 is de spectrale gevoeligheid van een zwart-wit panchromatisch en een zwart-wit infraroodfilm gegeven. De spectrale gevoeligheid van panchromatische films sluit zo goed mogelijk aan bij die van het menselijk oog en wordt daarom gebruikt voor de normale zwart-wit fotografie.

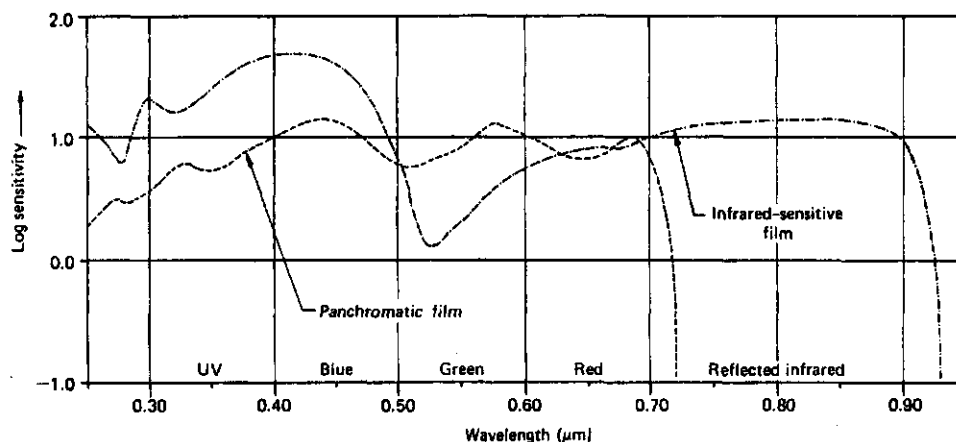


Fig. 5. Spectrale gevoeligheid van een zwart-wit panchromatisch en een zwart-wit infraroodfilm (naar: LILLESAND and KIEFER, 1979)

3.2.2. Kleuren- en false colour fotografie

Kleurenfilms zijn opgebouwd uit 3 lichtgevoelige lagen waarvan een laag zorgt voor de blauwe kleur in het beeld, een voor de groene en een voor de rode kleur. In tabel 2 zijn voor de hoofdkleuren de verschillende deelkleuren gegeven.

Bij een normale kleurenfilm is de kleurkoppeling van de emulsielagen zoals schematisch weergegeven in fig. 6. De laag die verantwoordelijk is voor de blauwe kleur in het beeld is gevoelig voor blauw licht, de groene laag voor groen licht en de rode laag voor rood licht.

Bij de kleureninfrarood film, beter bekend als false colour film, is de rode laag gevoelig gemaakt voor infrarode straling tot een golflengte van circa 1,1 μm, de groene laag voor rood licht en de blauwe laag voor groen licht. Blauw licht dat eventueel van het object afkomt, wordt weggefilterd en draagt dus niet bij aan de beeldvorming.

Tabel 2. Belichting emulsielagen en kleur op foto of diapositief

Kleur op foto (of diapositief)	Emulsielaag		
	'blauwe'	'groene'	'rode'
wit	1	1	1
blauw	1	0	0
cyaan (blauwgroen)	1	1	0
groen	0	1	0
geel	0	1	1
rood	0	0	1
purper (magenta)	1	0	1
zwart	0	0	0

1 = wel belicht
0 = niet belicht



Fig. 6. Weergave van de kleuren bij een normale foto (links) en bij een false colour foto (rechts).

B = blauw, G = groen, R = rood en IR = infrarood

Door deze verschuiving in kleurkoppeling wordt het object in onechte kleuren (false colour) afgebeeld op de foto of diapositief. Met tabel 2 kan de kleur van het object op de FC-foto worden bepaald. Bijvoorbeeld een rood object met IR-reflectie wordt $[0,1,1]$ = geel, hetzelfde object zonder IR-reflectie wordt $[0,1,0]$ = groen. False colourfotografie wordt toegepast omdat in het nabij infrarode golflengtegebied soms aanvullende informatie wordt verkregen. Dit geldt met name voor de bestudering van vegetatiedekken. Bovendien is het kleurcontrast en de contrastfactor (relatie stralingsdosis-densiteit) groter dan bij een normale kleurenfilm, hetgeen bij visuele interpretatie voordeel kan bieden.

De tinten op de false colourfoto hebben niets te maken met temperatuurverschillen zoals vaak ten onrechte wordt beweerd.

3.2.3. Multi Spectrale Fotografie (MSP)

Onder multi spectrale fotografie, ook multiband fotografie genoemd, wordt verstaan het afzonderlijk waarnemen in verschillende golflengtebanden. Voor dit doel wordt gebruik gemaakt van 3 à 4 camera's met voorzetfilters, met daarin zwart-wit of zwart-wit infrarood films. Per camera wordt in één specifieke golflengteband waargenomen. De bandbreedte kan afhankelijk van de filterkeuze sterk variëren. Stel dat met een camera alleen het blauwe licht wordt vastgelegd, met de tweede groen licht, de derde rood licht en de vierde nabij infrarood dan kan daaruit een normale of een false colour foto worden samengesteld. Men spreekt dan van composieten, bijvoorbeeld een false colour composiet (FCC). Bij de beeldverwerking (hoofdstuk 4) wordt hier nog op teruggekomen. Het voordeel van MSP is dat de aan het aardoppervlak gereflecteerde zonnestraling in verschillende golflengtebanden gescheiden wordt vastgelegd.

3.2.4. Stereofotografie

Als we met 2 ogen waarnemen, krijgen we tot een bepaalde afstand een ruimtelijke indruk van objecten die we waarnemen. Dit komt omdat het beeld van het linker- en het rechteroog enigszins verschillen doordat vanuit een iets ander standpunt wordt waargenomen.

Fotografisch kan dit worden nagebootst door van verschillende standpunten opnamen te maken van het object, vanzelfsprekend op dezelfde schaal. Het principe is weergegeven in fig. 7.

Met op deze wijze opgenomen luchtfoto's, een zogenaamd 'stereopaar' kan een ruimtelijke indruk van het aardoppervlak worden verkregen bij bestudering van de foto's onder een stereoscoop. Bij bekende opnameschaal kan kwantitatieve hoogte-informatie worden afgeleid. Voor de wijze waarop dit gebeurt wordt verwezen naar (PAINE, 1981).

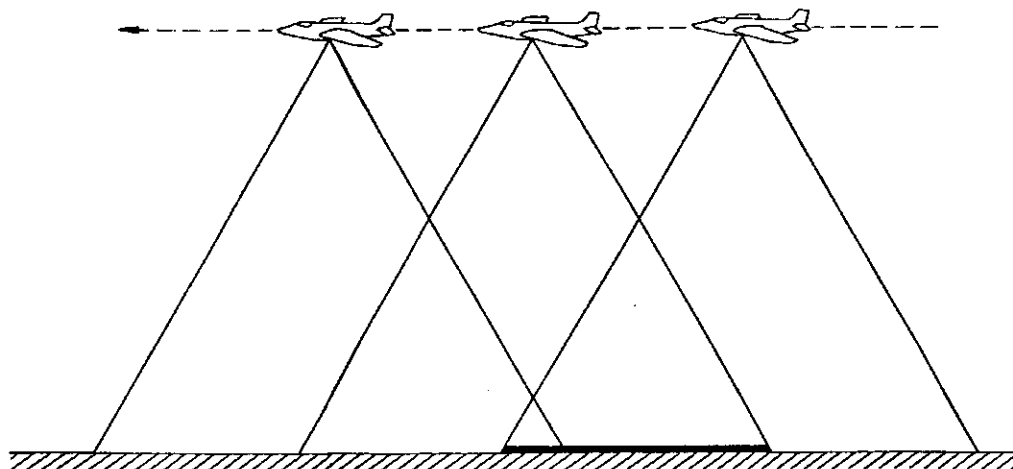


Fig. 7. Principe van de stereografie

3.3. Electronische RS-technieken

3.3.1. Algemeen

De grote voordelen van de moderne elektronische RS-technieken zijn:

1. vergroting spectraal bereik (warmtestraling + radar)
2. hoger spectraal scheidend vermogen
3. hoger radiometrisch scheidend vermogen
4. gegevens worden digitaal vastgelegd
5. sensor wordt niet verbruikt zoals bij fotografische RS-technieken, dus constant, dus betere mogelijkheden om kwantitatief te werken.

De elektronische RS-technieken kunnen worden onderverdeeld in systemen met een foto-electrische cel als sensor, de zogenaamde 'scanners' en met een antenne als sensor, de 'microgolf-technieken'.

3.3.2. Multi Spectrale Scanning (MSS) en Infra Red Line Scanning (IRLS)

Het verschil tussen MSS en IRLS, ook thermografie genoemd, is het golflengtegebied waarin wordt waargenomen. Met MSS wordt gereflecteerd zonlicht geregistreerd, met IRLS door het object uitgezonden warmtestraling. Vaak bedoelt men met MSS impliciet IRLS. In fig. 8 is het principe van MSS schematisch weergegeven.

Met behulp van een snel ronddraaiende spiegel met openingshoek β wordt het aardoppervlak loodrecht op de vliegrichting lijn voor lijn afgetast ('line-scan'). De rotatiesnelheid van het spiegelsysteem wordt

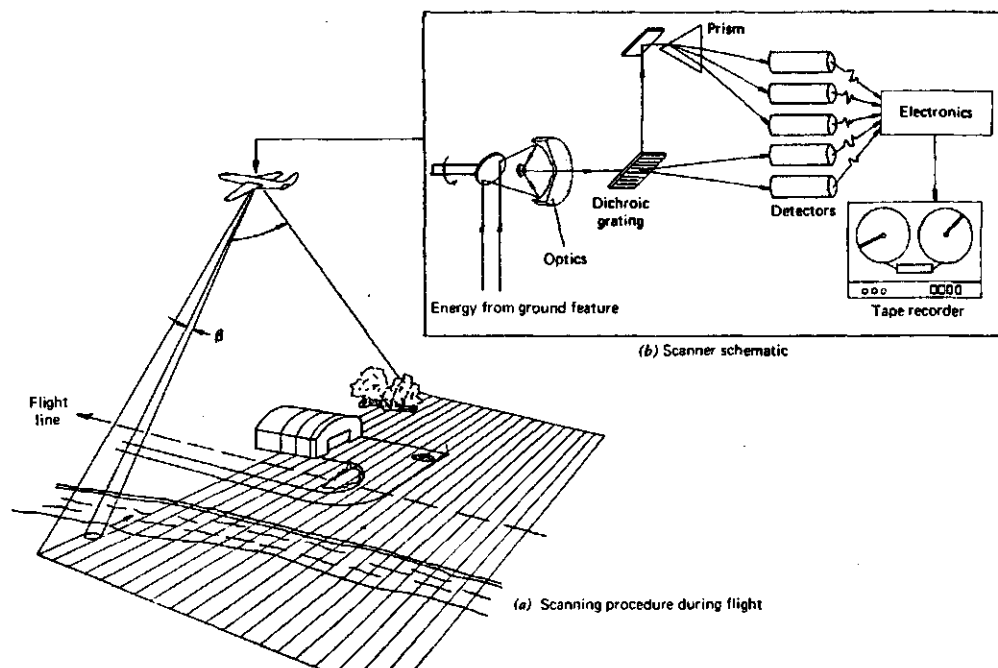


Fig. 8. Principe van een scanner (naar LILLESAND en KIEFER, 1979)

zodanig aan de vliegsnelheid aangepast, dat opeenvolgende lijnen elkaar raken of overlappen.

De EM-straling, die door het object wordt uitgezonden of gereflecteerd, komt via de roterende spiegel en een tralie of een prisma op een detector terecht. Het tralie en het prisma hebben tot doel de inkomende EM-straling te splitsen in een aantal golflengtebanden. In fig. 8 zijn vijf detectoren getekend. Dan wordt gesproken van een 5-kanaalsscanner.

De openingshoek β bedraagt enkele milliradialen. De grootte van het grondoppervlak, dat op de detector wordt afgebeeld, hangt dus samen met de vlieghoogte. Dit kan variëren van slechts enkele vierkante meters tot enkele honderden vierkante meters. Eén zo'n 'grondoppervlakje' wordt afgebeeld in één p i x e l of beeldelement (pixel is afgeleid van 'Picture Element').

IJking van het detectorsignaal vindt plaats door meting van de straling van een referentiestralingsbron. Voor zichtbare straling wordt een lichtbron met bekende en constante emissiekenmerken gebruikt, terwijl voor de warmtestraling 2 zwartstralers worden gebruikt, de zogenaamde 'black bodies'.

Momenteel worden scanners ontwikkeld, waarbij het mogelijk is een hele scanlijn ineens op te nemen. De detector is daarbij vervangen

door een rij van detectoren (Charged Coupled Devices, CCD's). In plaats van punt voor punt waarnemen met een roterende spiegel wordt lijn voor lijn waargenomen. Per detector wordt de stralingswaarde van één pixel vastgelegd. In dit geval is niet de openingshoek β maar het aantal detectoren bepalend voor het geometrisch scheidend vermogen.

3.3.3. Microgolftechnieken

Onderscheiden worden *p a s s i e v e* en *a k t i e v e* microgolftechnieken. In het eerste geval worden natuurlijke microgolven (temperatuurstraling) waargenomen, die door objecten worden uitgezonden, afhankelijk van de temperatuur. Bij dergelijke golflengten is de stralingsintensiteit echter gering, hetgeen in fig. 2A is te zien, indien de curve van de aarde wordt doorgetrokken tot in het microgolfgebied. Vanwege de geringe signaalsterkte is het geometrisch scheidend vermogen beperkt. Voor het betrouwbaar waarnemen van stralingsverschillen is een bepaalde minimale stralingsdosis vereist (zie 3.1).

Bij actieve systemen wordt gebruik gemaakt van een kunstmatige stralingsbron. Sensor en stralingsbron bevinden zich naast elkaar in één instrument. (Vergelijk dit met een fototoestel en elektronenflitser in het zichtbare licht). In dit geval is de stralingsbron nauwkeurig gedefinieerd, dit in tegenstelling tot de situatie bij natuurlijke stralingsbronnen. Dit heeft als voordeel, dat het verschil tussen uitgezonden en terugontvangen signaal volledig is toe te schrijven aan de interactie met het object.

Onderscheiden worden twee actieve systemen:

- SLAR = Side Looking Airborne Radar
- SAR = Synthetic Aperture Radar

Het belangrijkste verschil tussen beide actieve systemen is het geometrisch scheidend vermogen dat vooral wordt bepaald door de lengte van de antenne. Bij opnamen van grote hoogten is dit bij de SAR veel beter omdat de antennelengte kunstmatig wordt vergroot door gebruik te maken van de voortbeweging van het vliegtuig of de satelliet. Beide methoden werken volgens dezelfde principes en worden daarom niet afzonderlijk behandeld.

De werking van de SLAR is schematisch weergegeven in fig. 9. Vanuit een vliegtuig of satelliet wordt een EM-puls uitgezonden in een bepaalde golflengteband (bijvoorbeeld X- of L-band), zie fig. 10 en

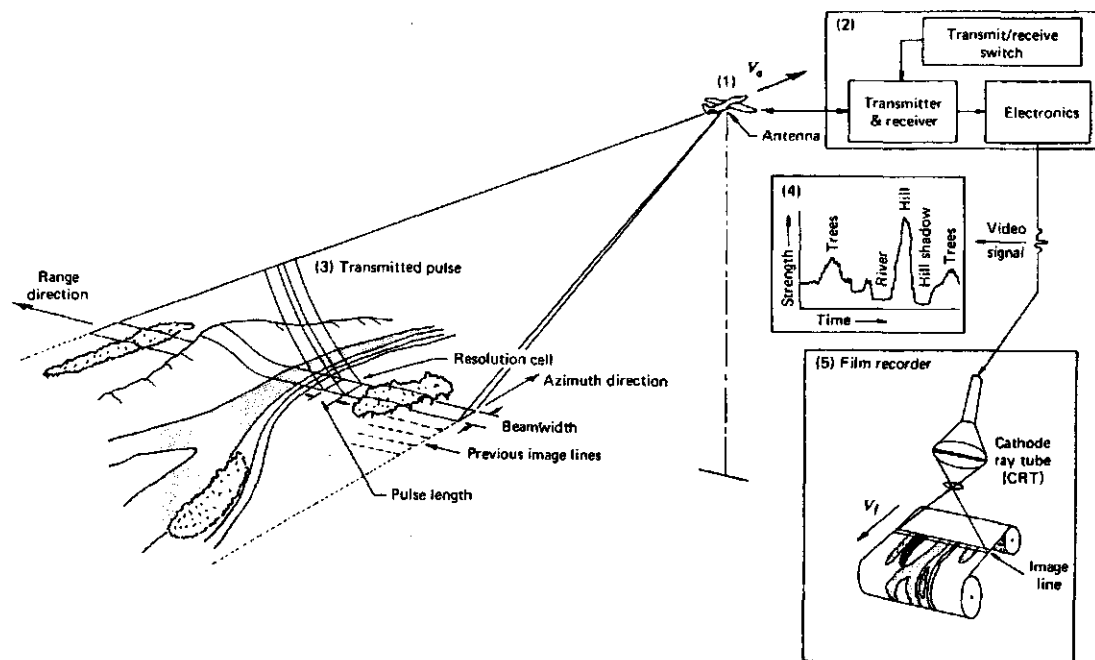


Fig. 9. Principe van de Side Looking Airborne Radar
(naar: LILLESAND en KIEFER, 1979)

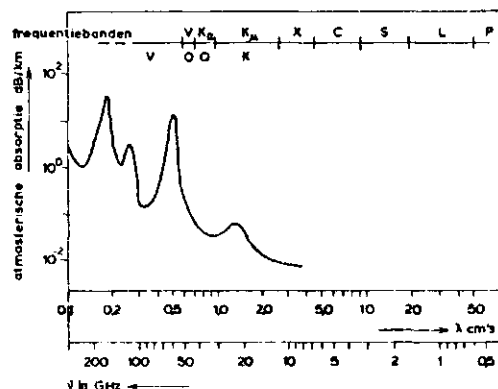


Fig. 10. Absorptie door de atmosfeer in dB/km; deze is erg laag.
Bovenin: aanduiding van de verschillende frequentiebanden (naar: DE LOOR, 1980 in Cultuurtechnisch Tijdschrift, jaargang 19, nr. 5)

met een bepaalde regelmaat. De uitgezonden radarpuls wordt door objecten op het aardoppervlak gereflecteerd en door de antenne van het vliegtuig of de satelliet weer opgevangen. Het is ook mogelijk tegelijkertijd aan beide zijden van het vliegtuig een strook af te

tasten. Bij radartechnieken wordt behalve een signaalsterkte ook de polarisatierichting in beschouwing genomen.

Het grote belang van de microgolftechnieken zit in de geringe interactie van de microgolven, met de atmosfeer. Daardoor betreft dit een zogenaamd 'all weather' systeem en kunnen opnamen worden gemaakt van gebieden die vrijwel altijd bewolkt zijn (denk aan tropische regenwouden).

3.4. P l a t f o r m s

Gebruikelijke platforms zijn vliegtuigen en satellieten. Het grote verschil tussen vliegtuig en satelliet remote sensing is de flexibiliteit. Bij vliegtuig remote sensing bepaalt de opdrachtgever zelf de opnameschaal, het opnametijdstip en de opnamefrequentie. In het vliegtuig wordt de opnametemperatuur zodanig ingesteld, dat het radiometrisch scheidend vermogen optimaal wordt benut. Naast MSS, IRLS of radaropnamen, kunnen ook voor nauwelijks meerkosten lucht-foto's worden opgenomen. Bij satelliet remote sensing ligt de opnameschaal, opnametijdstip en opnamefrequentie vast. Bovendien is vanwege bewolking niet iedere opname bruikbaar. De toepasbaarheid van satellietopnamen wordt wel steeds groter, omdat het geometrisch scheidend vermogen van de nieuwe apparatuur steeds beter wordt. In de nabije toekomst wordt een geometrische resolutie van 10 x 10 m gehaald (panchromatisch) en 20 x 20 m in verschillende spectrale banden (Franse satelliet SPOT te lanceren in het voorjaar 1985). Dit ligt in dezelfde orde van grootte als de geometrische resolutie, die momenteel vanuit vliegtuigen wordt gehaald bij opnamen van 4 à 5 km hoogte.

De specificaties van enkele bestaande scanners staan in tabel 3. De genoemde Daedalus scanner is onder andere in bedrijf bij de firma Eurosense. De Landsat-MSS scanner is bij elke Landsat satelliet toegepast, terwijl de Thematic Mapper scanner naast de MSS scanner voor het eerst is toegepast in de Landsat-4 satelliet.

Door gebruik te maken van radar vanuit satellieten wordt geen hinder meer ondervonden van bewolking. Met name voor het volgen van de ontbossing in aride gebieden is hiervoor veel belangstelling.

Tabel 3. Specificaties van enkele bestaande scanners

Daedalus - 1240/1260				Landsat- 4 en 5-TM				Landsat-MSS				SPOT (HRV-CCD scanner)			
Nr.	Banden	NEAp*) NEAT	Nr.	Banden	NEAp NEAT	Nr.	Banden	Nr.	Banden	NEAp NEAT	Nr.	Banden	NEAp NEAT	Nr.	Banden
1	380-420 nm	3 %													
2	420-450	1,2													
3	450-500	0,4	1	450-520 nm	0,8 %										
4	500-550	0,3													
5	550-600	0,2	2	520-600	0,5	4	500-600 nm	0,57 %	1	500-590 nm	0,5 %				
6	600-650	0,2													
7	650-690	0,2	3	630-690	0,5	5	600-700	0,57	2	610-690	0,5				
8	700-790	0,2				6	700-800	0,65	3	790-900	0,5				
9	800-890	0,2	4	760-900	0,5				P	510-730	0,5				
10	920-1100	0,35	5	1,55-1,75 μ m	1,0	7	800-1100	0,70							
11	3,0-5,5 μ m	0,2 K	6	2,08-2,35	2,0										
12	8,0-14,0 μ m	0,2	7	10,4-12,5	0,5 K	8	10,4-12,6 μ m	1,4 K							
FOV	77,2°														
IFOV	2,5 mrad														
strookbreedte	-			185 km			185 km					60 km			
ruimtelijke	-			30x30 m			76x76 m					20 m			
resolutie				120x120 m voor band 7			234x234 m voor band 8					10 m P			

*) NEAp, NEAT: Reflectie - c.q. stralingstemperatuurverschillen welke equivalent zijn aan het gemiddelde ruisniveau.

In de nabije toekomst zal de satelliet remote sensing voor land-observatie door genoemde technische vooruitgang een steeds belangrijkere plaats gaan innemen. Hierbij speelt mede het kostenaspect een belangrijke rol. Satelliet remote sensing is namelijk goedkoop ten opzichte van vliegtuig remote sensing. In tabel 4 staat een vergelijking tussen remote sensing vanuit een vliegtuig en een aardobservatiesatelliet nog eens samengevat.

Tabel 4. Vergelijking tussen vliegtuig en satelliet remote sensing

	Vliegtuig	Aardobservatie satelliet	
Opnameschaal	naar keuze	staat vast	
Opnametijdstip	naar keuze	staat vast	
Opnamefrequentie	naar keuze	staat vast	bruikbaarheid is onzeker ivm bewolking
Scheidend vermogen:			
radiometrisch	instelbaar	staat vast	
geometrisch	tot ± 1 m	tot ± 10 m (SPOT)	
Kosten	hoog	laag	
Beschikbaar komen opnamen	vrijwel direct	tenminste enkele weken	

4. BEELDINHOUD

De beeldinhoud van een RS-opname wordt bepaald door de golflengteband waarin is opgenomen, de wijze waarop het beeld is opgenomen en eventuele bewerkingen die op de ruwe data zijn uitgevoerd.

In de inleiding is reeds genoemd dat de moderne RS-technieken een hulpmiddel zijn om EM-straling waarvoor het oog niet gevoelig is, waarneembaar te maken. Het tussenprodukt kan zijn een false colour foto of een fotografisch produkt van MSS, IRLS of RADAR-opnamen, dat via een beeldverwerkingssysteem is vervaardigd.

Voor de leek is ieder fotografisch produkt dat lijkt op een luchtfoto ook een luchtfoto en wordt als zodanig ook geïnterpreteerd.

Voor een eerste indruk kan dat heel nuttig zijn, maar men moet zich goed realiseren, dat men hier te maken heeft met transformaties. De in het vorige hoofdstuk beschreven systemen hebben de in het micron- respectievelijk cm-golflengtegebied ontvangen signalen voor ons omgezet in een 'beeld' in het zichtbare licht. Op zo'n transformatie zullen de methoden, die worden gehanteerd in de luchtfotografie, niet direct toepasbaar zijn. De fysica van de beeldvorming verschilt voor de verschillende vensters. Tabel 5 vat een en ander samen.

Tabel 5. Fysica van de beeldvorming (naar DE LOOR, 1980 in Cultuurtechnisch Tijdschrift, jaargang 19, nr. 5)

Vensters	Physisch mechanisme	Probleemgebieden
Zichtbaar licht en nabij infrarood (0,35-2,5 μm)	Reflectie $R = f(\lambda)$; kleur als kenmerk; polarisatie	Belichting van het object 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: $e=f(\lambda)$ temp. Actief : $\gamma=f(\lambda)$ als een functie van de polarisatie	Integratietijd Dynamisch scheidend vermogen (Dynamic resolution)

4.1. Invloed van het golflengtegebied waarin is waargenomen

In het zichtbaar licht is er een direct verband tussen de waargenomen straling en de kleur van het object. De kleur van een plant is afhankelijk van de soort, het ontwikkelingsstadium en fysiologische processen in de plant. Via de kleur (spectrale reflectie-karakteristiek) kan dus bepaalde informatie over de aard en toestand van de plant (gewas) worden verkregen.

De reflectie van nabij infrarode straling treedt met name op aan de groene delen van de plant. De mate van IR-reflectie hangt onder

andere af van de gewassoort (structuur van de plant), bedekkingsgraad (Leaf Area Index (LAI) en het ontwikkelingsstadium. Bij thermografie wordt door het object uitgezonden warmtestraling geregistreerd waaruit de temperatuur van het object kan worden afgeleid. De temperatuur van een gewas hangt samen met fysische processen in de plant zoals verdamping, opwarming en dergelijke.

Bij radar-opnamen is het verband tussen de teruggekaatste straling en het object gecompliceerder. De belangrijkste parameters die de terugkaatsing van de door de radar uitgezonden microgolven bepalen zijn de hoek van inval, de ruwheid van het object in relatie tot de gebruikte golflengte en de diëlectrische constante van het object. Voor gewassen en kale grond wordt deze laatste parameter vooral bepaald door de hoeveelheid water die in het gewas respectievelijk de bovengrond aanwezig is.

4.2. Invloed van de wijze van opnemen

Behalve de golflengteband waarin is waargenomen, heeft ook de wijze waarop het beeld is opgenomen consequenties voor de beeldinhoud. Dit betreft dan met name de geometrie en de perspectief in het beeld.

Bij een luchtfoto wordt het hele beeld in een fractie van een seconde opgenomen. Indien niet zuiver verticaal is gefotografeerd kan door onthoeken (ONTSCHRANKEN) het beeld worden gecorrigeerd.

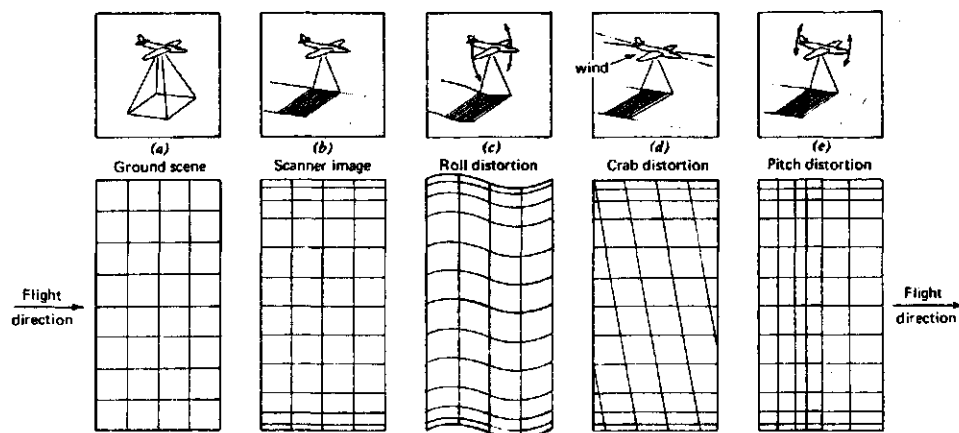


Fig. 11. Beeldvervorming in een scanneropname als gevolg van variaties in vliegrichting en vlieghoogte (naar: LILLESAND en KIEFER, 1979)

Bij scanners en RADAR wordt het beeld lijn voor lijn opgebouwd. Door variatie in vlieghoogte en vliegrichting worden beeldfouten geïntroduceerd (fig. 11). Door middel van paspunten kan het beeld geometrisch worden gecorrigeerd.

De perspectief van een luchtfoto wijkt af van de perspectief in een scanneropname (fig. 12). Bij stereoscopische beschouwing van een opname met een lijnperspectief zien we allerlei vervormingen omdat onze hersenen niet op dit soort perspectief zijn ingesteld.

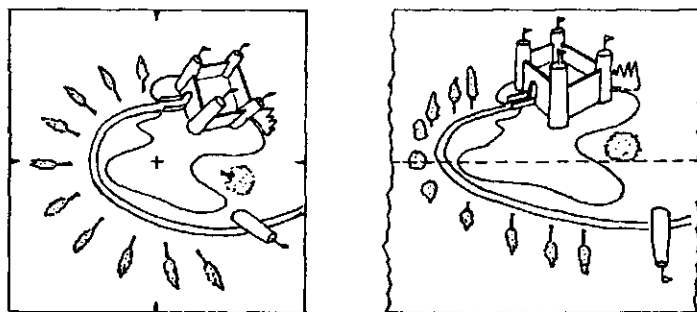


Fig. 12. Luchtfoto met een puntperspectief (links) en een beeld verkregen door lijnscanning (rechts) (naar: LILLESAND en KIEFER, 1979)

4.3. Invloed van eventuele beeldbewerkingen

Tot slot van dit hoofdstuk over de beeldinhoud wordt voor de volledigheid nog gewezen op enkele veel toegepaste presentatievormen van multispectrale en/of multitemporele RS-opnamen, namelijk de zogenaamde 'composieten'.

Bij composieten worden opnamen (meestal 3), gemaakt op verschillende tijdstippen of in verschillende golflengtebanden, in een beeld samengevoegd. Het ene beeld wordt in blauw, het tweede in groen en het derde in rood afgebeeld. Behalve het samenvoegen van beelden zijn nog andere beeldbewerkingen mogelijk.

Alvorens men RS-opnamen nader gaat bestuderen is het dus raadzaam zich eerst te realiseren hoe het beeld is opgenomen, in welk golflengtegebied is geregistreerd en welke beeldbewerkingen eventueel zijn uitgevoerd.

5. INTERPRETATIE VAN RS-OPNAMEN

RS-opnamen worden gemaakt met het doel om er informatie uit af te leiden. De soort informatie is in 2 hoofdgroepen onder te verdelen namelijk (geo)metrische informatie en informatie over aard, toestand en ontwikkelingsstadia van objecten.

5.1. Het afleiden van (geo)metrische informatie

Een van de eerste toepassingen van luchtfoto's was het gebruik ervan bij het vervaardigen van kaarten. Met de bestaande kartografische kennis en projectiemethoden was men in staat het gebruik van luchtfoto's voor bovengenoemd doel snel te operationaliseren. Het afleiden van metrische informatie werd een aparte discipline binnen het vakgebied van de landmeetkunde. Deze wordt aangeduid als 'fotogrammetrie'. Over de fotogrammetrie is erg veel literatuur verschenen. Er wordt volstaan met een overzicht van de belangrijkste hulpmiddelen.

1. Stereoscoop : instrument waarmee een ruimtelijke indruk van het aardoppervlak wordt verkregen bij bestudering van 'n stereopaar luchtfoto's.
2. Parallax meter : instrument waarmee in combinatie met een stereoscoop kwantitatieve hoogte informatie uit een stereopaar luchtfoto's kan worden afgeleid.
3. Planimeter : instrument waarmee oppervlakten kunnen worden bepaald.

5.2. Het afleiden van informatie over aard, toestand en ontwikkelingsstadium

Het afleiden van informatie over aard, toestand, verbreiding en ontwikkelingsstadium van objecten, processen en verschijnselen aan het aardoppervlak is in de meeste gevallen veel gecompliceerder dan het afleiden van metrische informatie uit RS-opnamen. Dit komt omdat er gewoonlijk meerdere factoren in het geding zijn die gezamenlijk resulteren in een bepaalde toestand.

Voor verdroging van landbouwgewassen zijn deze factoren onder andere het beschikbaar vocht in de wortelzone, de capillaire nalevering, aanwezigheid van storende lagen, de diepte van de grondwaterstand, eventuele wateraanvoer via sloten of beregening, etc. Voorts zijn er nog een aantal factoren die samenhangen met de opnametechniek. Het vaststellen van verdroging is relatief eenvoudig maar het aangeven van de oorzaak (of oorzaken) is veel moeilijker. Voor de meeste toepassingen is geen standaard interpretatieprocedure aan te geven en in die gevallen is de interpretatie niet of nauwelijks te automatiseren. De interpretatie gebeurt voor een belangrijk deel visueel. Daarom zijn er hulpmiddelen en programmatuur ontwikkeld om een voor de visuele interpretatie optimaal beeld te produceren, waarin het verschijnsel dat wordt bestudeerd zo goed mogelijk zichtbaar is. In tabel 6 zijn de differentiërende kenmerken aan de hand waarvan de interpretatie wordt uitgevoerd, samengevat.

Tabel 6. Differentiërende kenmerken

Soort informatie	Kenmerken
- geometrie	patroon, structuur, textuur, stereoscopisch effect
- (multi-) spectraal	spectrale reflectie/emissie in verschillende golflengtebanden ('kleur'/temperatuur)
- radiometrisch	mate van reflectie/emissie (signaal sterkte)
- (multi-) temporeel	situatie op één of meerdere tijdstippen
- veldwaarnemingen	informatie ten behoeve van de ijking
- thematische kaarten	bodem, grondwatertrappen, hoogtelijnen, etc.
- kennis en ervaring	vergelijking met eerder onderzochte situaties

Het ligt voor de hand dat in de praktijk bij de interpretatie steeds een combinatie van de genoemde differentiërende kenmerken tot de oplossing van het probleem leiden. Het zal ook voorkomen dat in het RS-beeld waargenomen verschillen niet tot een bepaalde oorzaak kunnen worden herleid. Aanvullend (veld-)onderzoek is dan noodzakelijk om dat verschil op het RS-beeld te verklaren.

Het vaststellen dat er iets aan de hand moet zijn, ook al kan niet direct worden afgeleid wat het is, is op zichzelf natuurlijk al erg belangrijk. Naarmate men meer interpretatie-ervaring heeft, zal deze situatie minder vaak voorkomen.

5.2.1. Hulpmiddelen bij de interpretatie van analoge RS-beelden

Bij analoge RS-beelden is de informatie vastgelegd in densiteit (grijswaarden, kleuren, kleurnuances) op een fotografische emulsie. Het kan hier gaan om gewone luchtfoto's, maar ook om fotografische produkten van digitale RS-opnamen (o.a. quick looks).

Als hulpmiddelen voor beeldverbetering naar soort informatie worden genoemd:

- geometrie
 - 1. v e r g r o t e n van details
 - 2. s t e r e o s c o o p voor constateren ruimtelijke verschillen.
- multispectraal en multitemporeel indien opnamen op gelijke schaal en vanaf ongeveer hetzelfde standpunt opgenomen zijn over elkaar projecteren met:
 - 1. c o l o u r a d d i t i v e v i e w e r (fig.13)
De afzonderlijke opnamen worden in verschillende kleuren geprojecteerd waardoor reflectieverschillen in de verschillende golflengtebeelden of op de verschillende tijdstippen als kleurverschillen zichtbaar worden.
 - 2. copiëren op d i a z o m a t e r i a a l en bekijken op lichtbak.
- radiometrie
 - 1. opname copiëren op contrastrijke emulsie
 - 2. meten densiteit met (micro-)densitometer
 - 3. fotografische procedé's als A g f a c o n - t o u r en K o d a k p a t h é waarmee een bepaald densiteitsinterval in kleur kan worden omgezet.

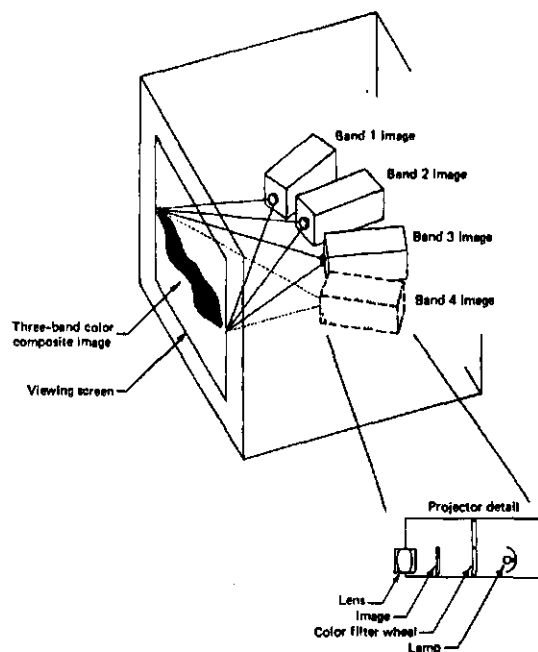


Fig. 13. Principe van de colour additive viewer (naar: LILLESAND en KIEFER, 1979)

5.2.2. Hulpmiddelen bij de interpretatie van digitale remote sensing beelden

Bij digitale RS-beelden is de informatie vastgelegd in numerieke waarden op magneetband (Computer Compatible Tape = CCT). Met de moderne RS-technieken wordt de informatie direct digitaal vastgelegd. Soms worden ook luchtfoto's gedigitaliseerd om verwerking met een grafisch computersysteem mogelijk te maken. Bij dit digitaliseren gaat geometrische informatie verloren en radiometrisch wordt een schijnnaauwkeurigheid geïntroduceerd (de densiteit wordt namelijk mede door een aantal toevallige factoren bepaald; BOUWMANS, 1982, hfdst. 1.3.2).

De hulpmiddelen waarover men bij digitale beeldbewerking kan beschikken, zijn in 2 groepen onder te verdelen, namelijk bewerkingen ten behoeve van de

1. beeldverbetering (image enhancement)
2. beeldverwerking (image processing)

- ad 1. Men spreekt van beeldverbetering indien men uitsluitend uitvergroet, contrast verbetert, kleuromzettingen doet of beelden over elkaar heen brengt;
- ad 2. onder beeldverwerking wordt verstaan het produceren van een nieuw - synthetisch - beeld via een algoritme.

Hulpmiddelen voor beeldverbetering:

- geometrie uitvergroten
- multi spectraal en geometrisch overeenkomstige beelden in verschil-
multitemporeel lende kleuren over elkaar heen op het beeldscherm
brengen
- radiometrie 1. contrast verbetering (stretching) via meerdere
opties
 2. 'density slicing' pixels in een opgegeven
 densiteitswaarde-interval verschijnen in een
 bepaalde kleur op het beeldscherm. De overige
 pixels houden hun grijstinten of verschijnen
 desgewenst in andere kleuren.

Ter ondersteuning bij de interpretatie kunnen ook gedigitaliseerde thematische kaarten worden ingevoerd.

Voor de beeldverwerking zijn in hoofdzaak twee soorten bewerkingen mogelijk namelijk:

1. statistische
2. empirische.

De statistische bewerkingen worden met name gebruikt ten behoeve van het indelen van de objecten in klassen, bijvoorbeeld gewassoorten. Verschillende stappen daarbij zijn:

- m a k e n v a n e e n f e a t u r e s p a c e p l o t

Met een 'feature space' wordt de ruimte van de spectrale kenmerken bedoeld.

Bij MSS-opnamen is de spectrale signatuur van het object vastgelegd in bijvoorbeeld 10 golflengtebanden. De informatie uit deze 10 banden vormen dan een 10-dimensionale feature space.

In een feature space plot worden de densiteitswaarden van een pixel in twee banden in een X-Y diagram tegen elkaar uitgezet (fig. 14).

Men kan op het scherm een pixel aanwijzen en er een symbool aan toekennen. Dit symbool verschijnt dan op de feature space plot.

Fig. 14 geeft tevens de 3-dimensionale voorstelling van de waarschijnlijkheidsverdeling volgens de maximum likelihood methode.

Op de verticale as staat uitgezet hoe groot de kans is dat bij een bepaalde pixelwaarde een object tot een klasse behoort.

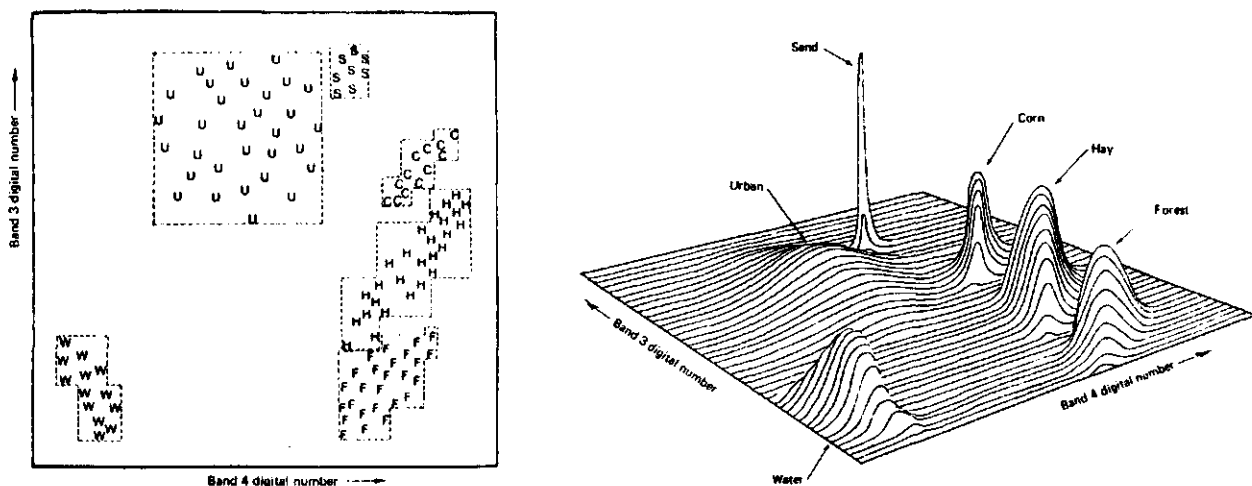


Fig. 14. Voorbeeld van een 2-dimensionale feature space plot (links) en de bijbehorende waarschijnlijkheidsverdeling volgens de maximum likelihood methode (rechts) (naar: LILLESAND en KIEFER, 1979)

In deze figuur staan tevens de soort objecten aangegeven. Een object wordt dus niet gekarakteriseerd door slechts één densiteitswaarde in een bepaalde band. De densiteitswaarden van een object liggen meestal wel gegroepeerd in een min of meer scherp begreind gebied, een zogenaamd 'cluster'.

- P r i n c i p a l C o m p o n e n t (P C)-t r a n s f o r m a t i e

Het zal duidelijk zijn dat het vergelijken van densiteitswaarden in de verschillende banden nogal wat computertijd kost. Om bewerkingen sneller en eenvoudiger uit te kunnen voeren, kunnen PC-transformaties worden toegepast. Deze hebben datareductie tot doel. De informatie uit de verschillende banden wordt zodanig gecombineerd dat het aantal beschikbare banden wordt teruggebracht tot een beperkter aantal synthetische banden en met zo min mogelijk verlies aan informatie. Het aantal dimensies van de feature space wordt dus gereduceerd. Men kan desgewenst een feature space plot maken waarbij op beide assen een principale component is uitgezet.

- c l a s s i f i c a t i e v a n o b j e c t e n

Objecten kunnen worden geclassificeerd aan de hand van hun spectrale en eventueel multitemporale kenmerken.

Vaak gebeurt de classificatie met behulp van bekende objecten. Door vergelijking van de spectrale kenmerken van onbekende objecten met die van bekende objecten, kunnen deze worden geclassificeerd. Deze wijze van classificeren wordt wel de geleide classificatie genoemd ('supervised classification'). De computer kan ook zelf de pixels indelen in s p e c t r a l e klassen. Daarna wordt uitgezocht wat iedere klasse voorstelt ('unsupervised classification'). De beste classificatieresultaten worden gehaald door op beide manieren te classificeren en de resultaten ervan te combineren.

De empirische bewerkingen houden in het algemeen in dat geconstateerde relaties tussen de reflectie in verschillende spectrale banden en een bepaalde parameter door middel van berekeningen met de densiteitswaarden in beeld worden gebracht. Een veel gebruikte formule voor verwerking van Landsat-opnamen luidt:

$$\frac{\text{band 7} - \text{band 5}}{\text{band 7} + \text{band 5}} * \text{constante} = \frac{\text{wordt vaak gebruikt als indicator voor de hoeveelheid}}{\text{biomassa}}$$

5.3. A n d e r e a s p e c t e n v a n d e i n t e r p r e t a t i e

In deze paragraaf zijn een aantal hulpmiddelen en methodieken besproken die de visuele interpretatie van RS-opnamen kunnen vereenvoudigen.

Degene die de opname interpreteert, verbindt conclusies aan hetgeen hij op de opname ziet vanuit zijn kennis en ervaring. De geoloog en de vegetatiekundige interpreteren dezelfde opname voor een verschillend doel. Beiden zullen uit dezelfde verschijnselen andere informatie afleiden. Fig. 15 geeft een overzicht van een interpretatiewerkwijze.

Een multidisciplinaire aanpak van de interpretatie levert méér informatie op dan interpretaties vanuit de verschillende disciplines afzonderlijk.

Ook op het psychologisch aspect van het waarnemen en interpreteren moet nog gewezen worden. In de fig. 16 kan zowel een jonge vrouw als een oude vrouw worden herkend. De interpretatie van hetzelfde patroon hoeft dus geen eenduidig gegeven te zijn. Zelfs binnen één discipline kan de interpretatie van persoon tot persoon verschillen.

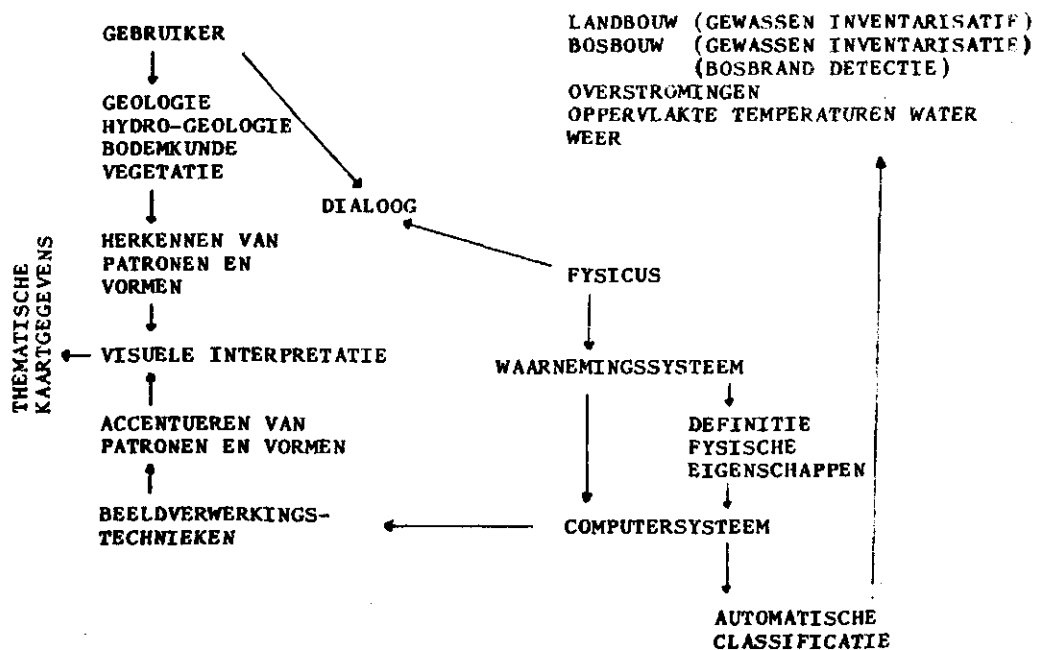


Fig. 15. Multidisciplinaire aanpak van de interpretatie
(naar: Verslag Symposium Luchtwoarneming 1977, Delft)



Fig. 16. Deze figuur kan op twee manieren worden gezien; er kan zowel een jonge als een oude vrouw in worden herkend
(naar: Verslag Symposium Folonica 1975, Eindhoven)

6. TOEPASBAARHEID VAN REMOTE SENSING

6.1. Wanneer is remote sensing in principe bruikbaar?

In het algemeen kan worden gesteld, dat indien het verschijnsel, dat men wil onderzoeken gekarakteriseerd wordt door een of meerdere parameters, die met remote sensing kunnen worden vastgelegd of kunnen worden gekwantificeerd, remote sensing technieken in principe bruikbaar zijn. Om een indruk te geven van de mogelijkheden van remote sensing staat in tabel 7 een aantal toepassingen gebaseerd op het werk van de NIWARS (Nederlandse Interdepartementale Werkgemeenschap voor het Applicatieonderzoek van Remote Sensing technieken) in de periode van 1971-1977.

Met remote sensing wordt van een object informatie verkregen over:

1. geometrie: vorm, textuur ruimtelijke kenmerken
2. spectrale eigenschappen: kleur, temperatuur, radarreflectie.

Aan de hand van multitemporele opnamen kunnen bovendien veranderingen in de tijd worden gevolgd.

Het succes waarmee een remote sensing techniek kan worden gebruikt wordt in belangrijke mate bepaald door het aantal parameters, dat op het te bestuderen verschijnsel van invloed is en de mogelijkheden, die er zijn om al die parameters afzonderlijk te kunnen bepalen. Aan de hand van een tweetal voorbeelden wordt dit nader toegelicht.

V o o r b e e l d 1:

Doel	: onderzoek naar de gezondheidstoestand van bomen
Gegeven	: bij het optreden van ziekteverschijnselen (b.v. iepen-ziekte) veranderen de reflectie-eigenschappen van bomen
Toegepaste techniek	: False colour fotografie en MSS
Problemen	: betreffen het diverse boomsoorten dan is het reflectie-gedrag zowel bepaald door de boomsoort en ontwikkelingsstadium als door de gezondheidstoestand
Aantal parameters	: binnen één boomsoort + groeistadium en ontwikkeling is de kleur op de false colour foto of het waargenomen EM signaal een directe maat voor de gezondheidstoestand van bomen.

Tabel 7. Overzicht toepassingsmogelijkheden RS-technieken in Nederland
gebaseerd op NIWARS-activiteiten

Nr.	Vakgebied	IRLS	SLAR	MSS	MSP False colour Full colour
Vegetatie					
1	Gewasclassificatie		+	+	*
2	Bepaling hoeveelheid biomassa			+	*
3	Oogstverwachting			*	
4	Ziekteverschijnselen	*		*	*
5	Stress (door vocht- gebrek)	+		*	
Bodemkunde					
6	Vochthuishouding	+			*
7	Droogteschade	+			*
8	Nachtvorstgevoe- ligheid	+			
Geologie					
9	Holoceen kartering	+		+	+
10	Pleistoceen "	+		+	+
Waterbeheer					
11	Golven en deining		*		
12	Circulatie kust- water; stromingen	+			
13	Menging en ver- spreiding koel- en afvalwater	+			
14	Kwel onder en door dijken	*			
15	Olie op water	*	*		*
16	Verkeer te water	*	*		
17	Waterkwaliteit			*	
18	IJsdetectie		*		
Diversen					
19	Opsporing lekkage leidingen	+			
20	Gladheid op wegen	+			
21	Karteren lokaal klimaat	*			

Legenda

+ applicatiemogelijkheid aangetoond

* applicatiemogelijkheid zeer waarschijnlijk of met zekerheid volgens
onderzoekingen elders

De oorzaak van een waargenomen afwijking kan slechts worden vastgesteld met aanvullend veldwerk. Is een dergelijk verschijnsel reeds eerder waargenomen dan kan de ervaring toereikend zijn

Betekenis van remote sensing: veel ziekteverschijnselen treden veelal het eerst op in de kruin van bomen. Vanuit de lucht kan dit worden waargenomen en vastgelegd. De oorzaak van de ziekteverschijnselen, zoals bijvoorbeeld lekken in gasleiding, zure regen, aantasting door virussen, dennenscheurder etc., kan alleen met aanvullende gegevens worden vastgesteld.

V o o r b e e l d 2:

Doel	: bepalen en verklaren van het optreden van reductie in verdamping
Gegeven	: als het gewas niet meer potentieel verdampt neemt de temperatuur van het gewas toe.
Toegepaste techniek	: thermografie
Problemen	: 1. Bepaling van de gewastemperatuur uit gemeten warmtestraling; o.a. de invloed van kale grond bij een onvolledige bodembedekking. 2. De gewastemperatuur bij potentiële verdamping is voor verschillende gewassen niet gelijk. Deze is namelijk afhankelijk van de gewasruwheid.
Aantal parameters	: worden de waargenomen temperaturen per gewas geïnterpreteerd, dan kan worden vastgesteld waar en in welke mate droogteschade optreedt. Bij het verklaren van de oorzaak spelen een groot aantal factoren een rol: - bodemkundige verschillen - diepte grondwaterstand - capillaire eigenschappen ondergrond - bewortelingsdiepte - wateraanvoer via sloten en/of kunstmatige beregening - neerslagverdeling over het onderzoeksgebied (lokale bui)

Betekenis

remote sensing : het optreden van reductie in verdamping kan in combinatie met gegevens over gewassoort en bedekkingsgraad worden gekwantificeerd.
De oorzaak van het optreden van het vochttekort kan alleen met behulp van aanvullende gegevens worden vastgesteld.

6.2. Wordt remote sensing in Nederland al operationeel toegepast?

De luchtfotografie wordt reeds lang operationeel toegepast. Toepassing van elektronische opnametechnieken in het zichtbare licht en nabij infrarood bevindt zich nog vrijwel volledig in een experimenteel stadium.

Toepassing van thermografie in de praktijk is reeds in een ver gevorderd stadium. Met thermografie wordt informatie verkregen over processen aan het aardoppervlak, die op vrijwel geen andere wijze zijn vast te leggen. Denk hierbij aan het optreden van verdroging, het vaststellen en bepalen van het effect van koelwaterlozingen en het functioneren van isolatie van gebouwen.

Wat betreft radar zijn er potentieel vele toepassingsmogelijkheden. Binnen de landbouw wordt deze techniek nog slechts op experimentele basis toegepast. Vanwege de geringe weersafhankelijkheid wordt verwacht dat deze techniek in de toekomst een belangrijke rol gaat spelen.

Op enkele vakgebieden buiten de landbouw worden bovengenoemde technieken in Nederland al volledig operationeel toegepast:

- . Meteorologie; het volgen van de verplaatsing van frontsystemen, zowel met reflectie als warmtebeelden vanuit satellieten (o.a. Meteosat).
- . Opsporing olieverontreiniging op zee, zowel met reflectie-, warmtebeelden als radar vanuit vliegtuigen (toepassing door Rijkswaterstaat op de Noordzee).

6.3. Toekomstige ontwikkelingen

Wat betreft het te verwachten toekomstig gebruik van remote sensing moet een onderscheid worden gemaakt naar toepassing in en buiten Nederland. In Nederland beschikt men vaak al over veel en gedetailleerde informatie. Middels remote sensing wordt dan informatie verkregen over eventueel optredende veranderingen. Hoe meer je weet, hoe meer je uit de beelden af kunt leiden (herkennen). Het grote belang van remote sensing is, dat de situatie op een bepaald moment is vastgelegd met een onafhankelijke meettechniek. Met name bij schaderegelingen is remote sensing potentieel dan ook een belangrijk hulpmiddel.

Zowel vanwege het gewenste detail als vanwege het klimaat (frequentie bewolking) blijft men in Nederland de komende jaren aangewezen op vliegtuig remote sensing. De kans, dat op het juiste moment bruikbare satellietbeelden worden verkregen is te gering.

Voor grootschalige studies, bijvoorbeeld het schatten van het areaal landbouwgrond in Rusland, zijn satellietbeelden van groot belang.

Ook in aride gebieden heeft satelliet remote sensing goede toekomstmogelijkheden. Het betreft grote gebieden, waarvan slechts zeer gebrekkige informatie beschikbaar is. Voor het afleiden van globale regionale informatie is de schaal van satellietbeelden in de meeste gevallen toereikend. Met satellietbeelden kunnen kaarten voorzover beschikbaar worden geactualiseerd danwel worden samengesteld (bijvoorbeeld bodemgebruikskaarten). Satellietbeelden hebben voor deze gebieden hun grote waarde al bewezen. In de toekomst zijn dergelijke beelden van groot belang voor het volgen van processen (monitoring), denk in dit verband aan problemen als de uitbreiding van woestijnen en ontbossing en daarmee gepaard gaande erosie.

LITERATUUR

BOUWMANS, J.M.M., 1982. Remote sensing: wat is het en wat heeft de HBCS-er eraan? ICW-nota 1346, Wageningen, 73 pp

CULTUURTECHNISCH TIJDSCHRIFT, 1980. Jaargang 19, nr. 5, 219-278.

Dit nummer was volledig gewijd aan remote sensing

LILLESAND, T.M. and R.W. KIEFER, 1979. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, Inc. 612 pp.

Een bijzonder geschikt leerboek op het gebied van de remote sensing. Het eerste deel van dit boek betreft de luchtfotografie, terwijl in het tweede deel de elektronische opname-technieken MSS, IRLS en radar worden behandeld. Er wordt zowel ingegaan op de technische achtergronden als op de interpretatie van remote sensing opnamen

MANUAL OF REMOTE SENSING PUBLISHED BY AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 1983. The Sheridan Press

Volume I-theory, instruments and techniques

Volume II - interpretation and applications

Het manual is een uitgebreid naslagwerk voor mensen met ervaring op het gebied van de remote sensing

PAINE, D.P., 1981. Aerial Photography and Image interpretation for Resource Management. John Wiley & Sons, Inc. 571 pp

Een bijzonder geschikt boek op het gebied van de luchtfotografie, waarin de fotogrammetrie en het gebruik van luchtfoto's voor inventarisatiestudies uitgebreid worden behandeld

Bijlage 1

A. Gangbare afkortingen in de remote sensing

CCD	Charge Coupled Device (lineaire reeks detectoren)
CCT	Computer Compatible Tape
EM	Electro Magnetisch
FC	False Colour
FCC	False Colour Composiet
IR	Infra Rood
IRLS	Infra Rood Line Scanning
MSP	Multi Spectrale Fotografie of Multiband Fotografie
MSS	Multi Spectrale Scanning
RADAR	RAdio Detecting And Ranging
RS	Remote Sensing
SAR	Synthetic Aperture Radar
SLAR	Side Looking Airborne Radar
TIR	Thermisch Infra Rood

B. Verklaring van gebruikelijke remote sensing termen

Actieve RS-technieken	RS-technieken waarbij door het opnameinstrument uitgezonden straling na reflectie door het object wordt geregistreerd (RADAR)
Backscatter	In de richting van de radar zelf, gereflecteerde microgolven
Calibratie	IJking van het ontvangen signaal, om daaruit de objecteigenschappen af te kunnen leiden. Hiervoor moeten zowel op de grond als in het vliegtuig maatregelen worden genomen.
Density slicing	Toekennen van een kleur aan pixels in een opgegeven densiteitswaarde-interval
Detector	zie sensor
Densiteit	1. fotografische registratie: mate van zwarting of kleurdichtheid op een fotografische emulsie 2. elektronische registratie: sterkte van het geregistreeerde signaal; bij de beeldverwerking wordt dit vertaald in een densiteitswaarde.

Emissie-coëfficiënt	De verhouding tussen de uitgezonden straling door een object met een bepaalde temperatuur en die door een ideale zwartstraler met dezelfde temperatuur
Feature space	Kenmerkruimte
Groundtruth	Informatie uit veldwaarnemingen die nodig is voor de calibratie van het signaal
Image enhancement	Het wijzigen van de contrastfactor en de kleurweergave van een RS-beeld met tot doel geringe dichtheitsverschillen voor het oog beter waarneembaar te maken
Image handling	Alle handelingen, die de gebruiker helpen bij de interpretatie van remote sensing beelden
Image processing	Geautomatiseerde beeldverwerking
Intensiteit	Sterkte van het signaal dat van het object afkomstig is (reflectie, emissie)
Interactie	Beïnvloeding van de EM-straling door atmosfeer en object (absorptie, reflectie, transmissie, e.d.).
Microgolven	EM-straling uit het golflengtegebied van 1 mm - 1 m. Toegepast bij Radar en Radiometrie
Nabij Infrarood	EM-straling uit het golflengtegebied van 0,7 - 1,1 μm . Infrarood-films zijn gevoelig tot circa 0,9 μm .
Passieve RS-technieken	RS-technieken waarmee gereflecteerde zonnestraling of door het object zelf uitgezonden straling wordt geregistreerd
Pixel	Afgeleid van PICTURE ELEMENT. Beeldelement waarin het gemiddeld signaal afkomstig van een bepaald grondoppervlak is vastgelegd.
Preprocessing	Voorbewerking van de ruwe data, o.a. calibratie en beeldcorrectie
Quick look	Scanner- of Radaropname afgebeeld op fotografisch materiaal
Reflectie-spectrum	De reflectie van een object in een zeker golflengte-traject

Bijlage 1 (vervolg)

Resolutie	zie scheidend vermogen
Scannen	aftasten; met een scanner wordt door middel van een roterende spiegel het aardoppervlak punt voor punt en lijn voor lijn afgetast
Scatter	Diffuse verstrooiing van EM-straling aan objecten van dezelfde grootte-orde als de golflengte van de opvallende EM-straling
Scheidend vermogen	- geometrisch: het kleinste detail dat in de opname nog juist kan worden waargenomen; - radiometrisch: het kleinste intensiteitsverschil dat in de opname nog met zekerheid kan worden waargenomen; - spectraal: het kleinste golflengtegebied waarin nog afzonderlijk kan worden waargenomen; - temporeel: de kortst mogelijke tijdsduur tussen twee opeenvolgende opnamen van hetzelfde gebied.
Sensor	Medium dat de EM-straling ontvangt en omzet in een signaal. De sensor kan zijn: - fotografische emulsie: EM-straling wordt omgezet in een densiteit; - foto-electrische cel: EM-straling wordt omgezet in een electrisch signaal; - radarantenne: EM-straling wordt omgezet in een electrisch signaal.
Spectrale signatuur	De wijze waarop het object EM-straling reflecteert of uitzendt en welke karakteristiek is voor de aard en de toestand van het object
Stretching	Contrastverhoging van digitale opname
Structuur	De ruimtelijke ligging van vlakken ten opzichte van elkaar in een zeker patroon (bijv.: stippel- of streepstructuur)
Textuur	De grootteverdeling van de verschillende structuurelementen (bijv.: fijn- of grof korrelig)

Thermisch	EM-straling uit het golflengtegebied van 4-14 μm .
Infrarood	De emissie van EM-straling door het object staat in relatie tot zijn temperatuur
Venster	Golflengtegebied in het EM-spectrum waarin de atmosferische absorptie is te verwaarlozen, b.v. het microgolf-venster
Warmtebeeld	Opname, gemaakt met een Infra Rood Line Scanner en waarin de densiteitsniveaus overeenkomen met een bepaalde temperatuur.

Adressen

Coördinatie remote sensing activiteiten in Nederland:

Begeleidingscommissie Remote Sensing (BCRS)

Secretaris: ir. M. Nijhof

Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat

Postbus 5023

2600 GA Delft

tel. 015 - 569200

Datadistributie satellietbeelden (o.a. Landsat):

als National Point of Contact (NPOC) in ESA-verband treedt op:

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR)

contactpersoon: ing. P. Peteri

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

tel. 020 - 5113113

Verwerkingssystemen:

RESEDA operationeel bij het NLR

contactpersoon: drs. P. Binnenkade

adres: zie boven

Kleurengrafisch systeem van het Rekencentrum van de

Landbouwhogeschool.

Contactpersoon: drs. G. Stafleu

Hollandseweg 1

6706 KN Wageningen

tel. 08370 - 82304

Archief luchtfoto's Nederland

Fototheek van de Topografische Dienst

Westvest 9

2611 AX Delft

tel. 015 - 120846

Bedrijven actief op het gebied van de remote sensing:

EARS b.v.

Kanaalweg 1, 2628 EB Delft, tel. 015 - 562404

Eurosense b.v.

Jozeff Israelsplein 8, 2596 AS 's Gravenhage, tel. 070 - 244056

Geosens b.v.

Vliegveldweg 30, Postbus 12067, 3004 GB Rotterdam, tel. 010 - 378188

Hansa Luftbild, Elbestrasse 5, P.O.B. 3609, D-4400 Münster, Duitsland

tel. (0251) - 30971

KLM Aerocarto

Fruitweg 9, 2525 KE Den Haag, tel. 070 - 894441