

# Satellietbeelden: Waardevolle hulpmiddelen bij bodem- en grondwaterbeschermingsstudies

*H.A.M. Thunnissen*

*Staring Centrum, Postbus 125, 6700 AC Wageningen*

## **Inleiding**

De grootschalige toevoer van verontreinigde stoffen aan het milieu, onder andere via atmosferische depositie (zure regen), mest, herbiciden en pesticiden is met name de laatste jaren een grote bron van zorg. De overheid probeert dan ook in toenemende mate om via wetgeving en ruimtelijk beleid de nadelige effecten te minimaliseren.

Om de effectiviteit van beleidsmaatregelen te kunnen evalueren, worden in dit kader regionale modellen ontwikkeld waarmee veranderingen in bodem- en grondwaterkwaliteit worden voorspeld bij een gegeven belasting aan verontreinigde stoffen. Bij de toepassing van deze modellen is informatie over de geografische spreiding van het grondgebruik noodzakelijk, omdat de belasting met verontreinigde stoffen mede afhankelijk is van het grondgebruik.

Voor het verkrijgen van actuele grondgebruiksgegevens zijn topografische kaarten over het algemeen minder geschikt, omdat deze kaarten voor een deel verouderd zijn en bovendien niet alle gewenste onderscheidingen in grondgebruik aangeven. Een alternatief vormt het karteren in het veld. Deze methode is echter tijdrovend en duur. Vertaling van met remote sensing verkregen informatie naar het huidige grondgebruik lijkt een mogelijke oplossing. Een voordeel van het gebruik van remote sensing technieken is, dat de gegevens direct opgenomen kunnen worden in een zogenaamd geografisch informatiesysteem. Op die manier kunnen de gegevens op eenvoudige wijze gekoppeld worden met andere gedigitaliseerde geografische infor-

matie, bijvoorbeeld over bodemtype en grondwaterregime.

Dit artikel gaat in op de mogelijkheden die remote sensing opnamen bieden om informatie af te leiden over het grondgebruik. Aangegeven wordt hoe de wisselwerking van zonnestraling met de atmosfeer en vegetatie plaats vindt. Gereflecteerde zonnestraling kan worden opgevangen en vastgelegd door satellieten. Er draaien verschillende satellieten om de aarde die beelden opnemen met een detail dat voldoende is om afzonderlijke percelen te onderscheiden. De bewerkingen die nodig zijn om uit deze beelden grondgebruiksgegevens af te leiden, komen aan de orde. Onlangs is met behulp van satellietbeelden een nationaal grondgebruiksdatabank opgezet. De uitvoering van dit project en de kwaliteit van de databank worden kort beschreven. Voor veel toepassingen is het van belang dat satellietbeelden kunnen worden gekoppeld met andere geografische informatie. Hiervan worden twee voorbeelden gegeven. Tenslotte wordt ingegaan op de toepassing van uit satellietbeelden afgeleide grondgebruiksgegevens bij bodem- en grondwaterbeschermingsstudies.

## **Spectrale signatuur**

De wijze waarop een voorwerp aan het aardoppervlak zonnestraling reflecteert wordt spectrale signatuur genoemd. Voor de toepassing van satellietbeelden voor grondgebruiksclassificatie is vooral de wisselwerking van zonnestraling met de atmosfeer en vegetatie van belang. Elektro-

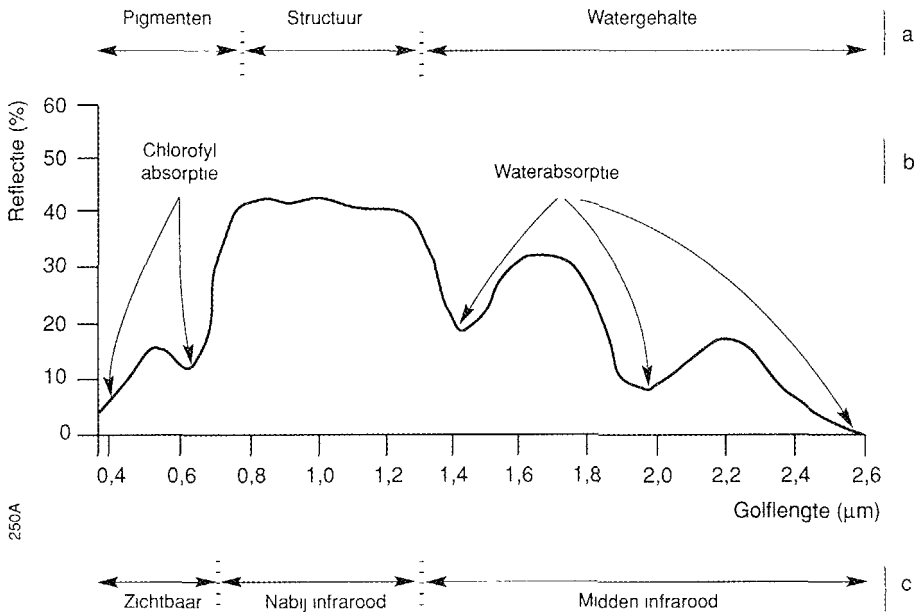
toont de belangrijkste factoren die de reflectie van vegetatie bepalen. In het zichtbare licht (0,4-0,7  $\mu\text{m}$ ) wordt de reflectie van elektromagnetische straling door vegetatie vooral bepaald door de aanwezigheid van diverse pigmenten, waaronder chlorophyl. Daarnaast is de toestand van het bladoppervlak (behaving, waslaag, enz.) en de structuur van het gewas van invloed op de reflectie. In het nabij-infrarode deel van het spectrum (0,7-1,3  $\mu\text{m}$ ) wordt tussen de 40 à 70% van de zonnestraling gereflecteerd (afhankelijk van de celstructuur van de bladeren), terwijl de rest door het blad heen gaat. De doorgelaten straling komt op de onderliggende bladeren terecht, die ook weer een deel reflecteren en een deel doorlaten. naarmate er meer bladeren onder elkaar voorkomen, neemt de reflectie in dit golflengtegebied toe totdat bij 5 à 6 bladeren onder elkaar een verzadigingspunt wordt bereikt. In het midden-infrarode

deel van het spectrum (1,3-3  $\mu\text{m}$ ) absorbeert het water dat zich in de plantecellen bevindt een groot deel van de straling. Wanneer gewassen op verschillende wijze zonnestraling reflecteren, bijvoorbeeld als gevolg van verschillen in structuur, biomassa of watergehalte van de bladeren, dan kunnen deze gewassen in principe met behulp van remote sensing beelden van elkaar worden onderscheiden

### Satellietbeelden

#### LANDSAT en SPOT

Op dit moment draaien er om de aarde verschillende satellieten waarvan de ruimtelijke resolutie voldoende is om afzonderlijke landbouwpercelen in Nederland te kunnen onderscheiden. De belangrijkste hiervan zijn de Amerikaanse satelliet LANDSAT-5 en de Franse satelliet SPOT-1 en -2. De zogenaamde Thematic Mapper (TM) aan boord van de LANDSAT-5 heeft 6 reflectie-



Figuur 3

Spectrale signatuur van vegetatie Voor het zichtbare, nabij-infrarode en midden-infrarode deel van het spectrum (c) is aangegeven wat de belangrijkste factoren zijn die de reflectie van vegetatie bepalen (a) en wat de belangrijkste absorptiebanden zijn (b) (naar Hoffer, 1978)

banden met een pixelgrootte (pixel = picture element) van 30 x 30 m (tabel 1) De SPOT heeft 3 reflectiebanden met een pixelgrootte van 20 x 20 m en één reflectieband met een pixelgrootte van 10 x 10 m (tabel 2). In iedere pixel wordt de gemiddelde straling, die door een bepaald oppervlak wordt gereflecteerd, vastgelegd. Omdat LANDSAT — in tegenstelling tot SPOT — spectrale banden heeft in het midden-infrarode deel van het spectrum, wordt bij het uitvoeren van gewasclassificaties meestal de voorkeur gegeven aan LANDSAT-TM-beelden. In figuur 4 zijn voor een aantal verschillende grondgebruiksklassen gemiddelde spectrale curven gegeven. De gemiddelde reflectiewaarden in de TM-banden zijn door rechte lijnen met elkaar verbonden. Uit de grote spreiding in reflectiewaarden in de midden-infrarode banden (banden 5 en 7) blijkt het belang van deze banden voor het onderscheid tussen verschillende grondgebruiksklassen. Uit verschillende studies (o.a. Townshend, 1984, DeGloria, 1984 en Epema, 1987) is gebleken dat een optimale combinatie van spectrale banden voor het uitvoeren van grondgebruikclassificaties in ieder geval één band uit het zichtbare deel van het spectrum (bij voorkeur band 3), een nabij-infrarode band en één band uit het midden-infrarode deel van het spectrum (bij voorkeur band 5) moet omvatten. Voor grondgebruikclassificaties wordt daarom meestal gebruik gemaakt van de banden 3, 4 en 5.

#### Opnamedatum

De meest geschikte opnamedatum van de satellietbeelden is afhankelijk van de toepassing. Voor het uitvoeren van een grondgebruikclassificatie ligt de meest geschikte opnamedatum in juli en begin augustus. In deze periode vertonen de meeste gewassen een volledige bodembedekking en is het oogstseizoen nog niet begonnen. Toch kan het voorkomen dat in deze periode de spectrale signaturen van twee verschillende vormen van grondgebruik zodanig met elkaar overeenkomen, dat een

nauwkeurig onderscheid niet mogelijk is. Dit probleem kan vaak worden opgelost door nog een extra beeld bij de classificatie te betrekken. De ervaring leert dat voor een optimaal classificatieresultaat vaak een beeld uit de periode juli-begin augustus en een beeld uit het voorjaar gewenst

Tabel 1

Overzicht van de golflengte ( $\mu\text{m}$ ) en de geometrische resolutie (m) van de Thematic Mapper sensor in de LANDSAT satelliet. In band 6 wordt door het aardoppervlak uitgezonden warmtestraling geregistreerd. Deze band heeft een afwijkende geometrische resolutie.

Band	Golflengteband	Resolutie
1	0,45- 0,52	30
2	0,52- 0,60	30
3	0,63- 0,69	30
4	0,75- 0,90	30
5	1,55- 1,75	30
6	10,40-12,5	120
7	2,08- 2,35	30

Tabel 2

Overzicht van de golflengtebanden ( $\mu\text{m}$ ) en de geometrische resolutie (m) van de sensors in de SPOT satelliet. De panchromatische band omvat een relatief breed golflengtetraject in het zichtbare deel van het spectrum.

Band	Golflengteband	Resolutie
1	0,50-0,59	20
2	0,61-0,68	20
3	0,79-0,89	20
panchromatisch	0,51-0,73	10

moeten besluiten om bepaalde klassen samen te voegen

### *Validatie*

Om de nauwkeurigheid van de classificatie vast te stellen, moet het classificatieresultaat worden gevalideerd. Hiertoe wordt voor een aantal deelgebieden het classificatieresultaat vergeleken met referentiegegevens die zijn vermeld in het veld of zijn afgeleid van luchtfoto's of topografische kaarten.

### **Nationale grondgebruiksdatabank**

Vanwege de grote vraag naar actuele grondgebruiksgegevens is in 1988 besloten een grondgebruiksdatabank met behulp van satellietbeelden op te zetten. Hiertoe heeft het Staring Centrum in samenwerking met DHV Raadgevend Ingenieursbureau B.V. een project uitgevoerd met een tweeledig doel: het opzetten van een grondgebruiksdatabank voor Nederland en het onderzoeken van de mogelijkheden om nauwkeurige informatie over het grondgebruik uit satellietbeelden af te leiden voor de verschillende fysiografische eenheden van Nederland (Thunnissen et al.) De Beleidscommissie Remote Sensing steunde het project financieel.

### *Grondgebruiksklassen en satellietbeelden*

Aan de hand van discussies met potentiële gebruikers van de grondgebruiksgegevens en ervaring met de interpretatie van satellietbeelden is besloten de volgende klassen in de databank op te nemen

- |                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| - gras                | - kale grond               |
| - maïs                | - loofhout                 |
| - granen              | - naaldhout                |
| - bieten              | - heide                    |
| - aardappelen         | - overig natuur-<br>gebied |
| - fruitbomen          | - open water               |
| - bollenteelt         | - wegen en<br>bebouwing    |
| - overige<br>gewassen |                            |

Voor het grootste deel van Nederland zijn TM-beelden van 3 augustus 1986 gebruikt. Voor de gebieden die op deze datum bewolkt waren of buiten het beeld van 3 au-

gustus 1986 vallen zijn, voor zover mogelijk, aanvullende beelden uit juli of augustus 1986, 1987 of 1988 gebruikt. Voor enkele gebieden waren slechts beelden beschikbaar die waren opgenomen in juni of september. Voor het uiterste zuidwestelijke deel van de provincie Zeeland moesten we zelfs terugrijpen naar beelden uit augustus 1984. Er is slechts voor enkele gebieden gebruik gemaakt van beelden van meerdere opnamedata, vanwege de beperkte beschikbaarheid van beelden en om financiële redenen.

### *Stratificatie*

Voorafgaande aan de classificatie is Nederland verdeeld in min of meer homogene gebieden wat betreft grondgebruik en bodemtype. Bij deze stratificatie is gebruik gemaakt van topografische kaarten, bodemkaarten, de landbouwstatistiek van het Centraal Bureau voor de Statistiek en de satellietbeelden zelf. Door de classificatie voor ieder stratum afzonderlijk uit te voeren, wordt de verwarring tussen verschillende klassen beperkt.

### *Classificatieresultaat*

Op een hoog aggregatieniveau (bebouwd gebied, bos, landbouw, natuurgebied en water) is de classificatienauwkeurigheid over het algemeen goed. Op het niveau van de afzonderlijke klassen varieert de classificatienauwkeurigheid aanzienlijk (van ca. 50% tot 90%), afhankelijk van verschillende factoren. De belangrijkste factoren zijn.

- het grondgebruik. Wanneer verschillende vormen van grondgebruik waarvan de spectrale signaturen elkaar enigszins overlappen, in hetzelfde stratum aanwezig zijn dan treden er foutieve classificaties op,
- het opnametijdstip. Het gebruik van beelden die opgenomen zijn op ongunstige data, heeft negatieve gevolgen voor de classificatienauwkeurigheid,
- de perceelsgrootte. In gebieden met veel kleine of smalle percelen zullen veel pixels voorkomen waarbinnen ver-

schillende grondgebruiksklassen liggen. Deze 'mixed pixels' kunnen aanleiding geven tot foutieve classificaties, – stressfactoren. Verdroging, wateroverlast, ziekte en dergelijke veroorzaken vaak verandering van de gewasstructuur en daardoor van de reflectie. Hierdoor kunnen gewassen die normaal spectraal goed scheidbaar zijn, elkaar spectraal gaan overlappen.

Uit de analyse van de classificatiefouten zijn verschillende suggesties naar voren gekomen ter verbetering van het classificatieresultaat. Deze suggesties zullen in vervolgprojecten verder worden uitgewerkt.

### **Koppeling van satellietbeelden met andere geografische informatie**

#### *Geografische informatiesystemen*

Voor allerlei toepassingen is het van belang dat remote sensing beelden gekoppeld kunnen worden met andere geografische informatie. Een voorwaarde voor een dergelijke koppeling is dat de geografische gegevens in digitale vorm beschikbaar zijn. Digitale geografische gegevens kunnen op efficiënte wijze worden opgeslagen, geanalyseerd en gepresenteerd met behulp van een zogenaamd geografisch informatiesysteem (GIS). Geografische informatie in een GIS wordt gedefinieerd door een positie (x- en y-coördinaten) en door één of meerdere kenmerken. Deze kenmerken kunnen zowel kwalitatief (bijv. grondgebruik of bodemtype) als kwantitatief (bijv. hoogteligging of percentage humus) van aard zijn.

#### *Gedigitaliseerde perceelsgrenzenkaarten*

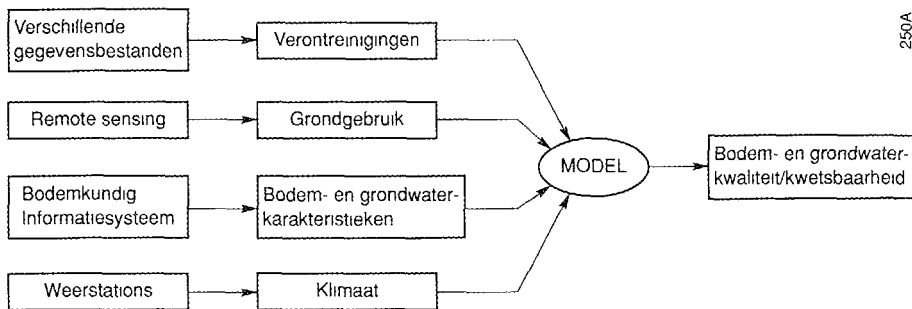
De nauwkeurigheid van uit satellietbeelden afgeleide grondgebruiksgegevens is over het algemeen voldoende voor toepassing op regionale en landelijke schaal, maar onvoldoende voor gedetailleerde studies in relatief kleine gebieden, zoals landinrichtings- of waterwingebieden. Naast satellietbeelden is er echter vaak nog een grote hoeveelheid andere geografische gegevens over een gebied beschikbaar, zoals bodemkaarten en topografische kaar-

ten. De nauwkeurigheid van uit satellietbeelden afgeleide grondgebruiksgegevens kan vaak aanzienlijk worden verbeterd door deze gegevens als voorkennis bij de classificatie te betrekken. Met name toepassing van gedigitaliseerde perceelsgrenzenkaarten blijkt goede resultaten op te leveren (Janssen et al., 1990). Als gevolg van ruis, spectrale verwarring en de aanwezigheid van mixed pixels zullen over het algemeen een aantal pixels binnen een perceel foutief worden geclassificeerd. De meerderheid van de pixels binnen een perceel zal echter meestal correct worden geclassificeerd. Wanneer de perceelsgrenzen in digitale vorm beschikbaar zijn, dan kan worden vastgesteld welke klasse het meest is toegewezen aan de pixels binnen een perceel. Vervolgens wordt deze klasse toegewezen aan alle binnen het betreffende perceel voorkomende pixels. Bij studies in proefgebieden in Noord-Brabant en Flevoland zijn verbeteringen van de classificatienauwkeurigheid gevonden van respectievelijk 12 en 20% (Janssen et al., 1990). Vanwege de beperkte beschikbaarheid van digitale topografische bestanden en de benodigde inspanning om deze bestanden te vervaardigen, kan deze procedure op dit moment alleen worden toegepast voor relatief kleine gebieden. Gedigitaliseerde topografische bestanden zullen echter in de toekomst op grote schaal beschikbaar komen.

Een ander voorbeeld van de koppeling van uit remote sensing opnamen afgeleide gegevens met andere geografische informatie wordt gegeven in het volgende hoofdstuk.

### **Bodem- en grondwaterbeschermingsstudies**

Om de effectiviteit te kunnen evalueren van beleidsmaatregelen die tot doel hebben de verontreiniging van bodem en grondwater te verminderen, zijn verschillende regionale stoftransportmiddelen ontwikkeld. Met deze modellen kunnen voorspellingen worden gemaakt van de verandering in bodem- en grondwaterkwaliteit bij



Figuur 5

Schematische opzet van de toepassing van een regionaal model ter voorspelling van de bodem- en grondwaterkwaliteit (naar Schoumans et al., 1990)

een gegeven belasting aan verontreinigende stoffen. Deze modellen vereisen als invoer gegevens over het weer en over de geografische spreiding van bodemkundige en hydrologische eigenschappen, belasting met verontreinigende stoffen en grondgebruik (fig 5)

Grondgebruiksgegevens zijn nodig omdat de belasting met verontreinigende stoffen mede afhankelijk is van het grondgebruik, zoals blijkt uit de volgende voorbeelden:

- naaldbomen hebben een grotere filterende werking voor verzurende atmosferische depositie dan loofbomen,
- overschotten aan dierlijke mest worden met name toegediend aan percelen met snijmaïs, omdat de opbrengst van snijmaïs niet nadelig wordt beïnvloed door een teveel aan mest;
- de hoeveelheid toegediende kunstmest is gewasafhankelijk;
- het grondgebruik beïnvloedt de grootte van het neerslagoverschot en daardoor de concentratie aan verontreinigende stoffen in het bovenste grondwater.

Bodemkundige en hydrologische eigenschappen zijn van belang in verband met allerlei omzettings-, vastleggings- en mobilisatieprocessen in de bodem. In Nederland hebben we de beschikking over een gedigitaliseerd bodem- en grondwatertrappenkaart op schaal 1:50 000. Grondwatertrappen geven informatie over de fluctuatie

en diepte van de grondwaterstand. Bovendien is een bodemkundig informatiesysteem (BIS) ontwikkeld waarin onder andere informatie is opgeslagen over fysische en chemische eigenschappen van individuele bodemprofielen. De belasting met stoffen varieert sterk over Nederland. De toediening van meststoffen kan bijvoorbeeld worden geschat aan de hand van het grondgebruik en de productie en samenstelling van mest. Meteorologische gegevens kunnen in voldoende mate worden verkregen via de regelmatig over het land verspreide weerstations.

Automatische integraties van regionale stoftransportmodellen met uit remote sensing opnamen afgeleide grondgebruiksgegevens en met gegevensbestanden met informatie over bodem, grondwater en belasting aan verontreinigende stoffen maakt het mogelijk op snelle wijze per pixel de kwaliteit van bodem en grondwater te voorspellen als functie van verschillende belastingsscenario's. De schematische opzet van een dergelijk modelconcept is weergegeven in figuur 5.

### Samenvatting

Voor studies op het gebied van de bodem- en grondwaterbescherming, de waterhuishouding en de ruimtelijke ordening is er vaak behoefte aan actuele informatie over het grondgebruik. Informatie over het

grondgebruik kan op automatische wijze worden afgeleid uit satellietbeelden. De nauwkeurigheid van zo'n grondgebruik-classificatie hangt af van het aanwezige grondgebruik, het opnametijdstip van de satellietbeelden, de perceelgrootte en het optreden van stress, zoals verdroging. De classificatienauwkeurigheid kan aanzienlijk worden verbeterd door bij de classificatie gebruik te maken van andere, in digitale vorm beschikbare geografische informatie, zoals perceelgrenzen.

Door uit satellietbeelden afgeleide grondgebruiksgegevens te koppelen met informatie over bodem, grondwater, het weer en belasting aan verontreinigende stoffen, wordt het mogelijk om voor grote gebieden op snelle wijze de effecten te evalueren van veranderingen in de belasting met verontreinigende stoffen op de kwaliteit van bodem- en grondwater.

#### Literatuur

DeGloria, S.D., 1984. Spectral variability of Landsat-4 Thematic Mapper and Multi-spectral Scanner; Data for selected crop and forest cover types. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-22, 3:303-311.

Epema, G.F., 1987. New information of second-generation Landsat satellites for agriculture applications in the Netherlands. Netherlands Journal of Agricultural Science 35:497-504.

Hoffer, R.M., 1978. Biological and physical considerations in applying computer aided analysis techniques to remote sensor data. In: P.H. Swains and S.M. Davis (ed.), Remote Sensing the quantitative approach. McGraw-Hill, New York.

Janssen, L.F., M.N. Jaarsma and E.T.M. van der Linden. Integrating topographic data with remote sensing for land cover classification. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (accepted).

Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer, 1979. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, New York.

Loor, G.P. de, 1986. Remote Sensing; een algemene inleiding. Nederlands tijdschrift voor Fotonica 12:5-14.

Schoumans, O.F., A. Breeuwsma and H.A.M. Thunnissen, 1989. Use of remote sensing and geographic information systems in soil and groundwater vulnerability assessment. Proceedings of the 9th symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL), held in Espoo, Finland, 27 June-1 July 1989. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg, 54-60.

Thomas, I.L., V.M. Benning and N.P. Ching, 1987. Classification of remote sensing images. Adam Hilger, Bristol.

Thunnissen, H.A.M., M.N. Jaarsma and O.F. Schoumans. Land cover inventory in the Netherlands using remote sensing; application in a soil and groundwater vulnerability assessment system. International Journal of Remote Sensing (accepted).

Townshend, J.R.G., 1984. Agricultural land cover discrimination using Thematic Mapper spectral bands. International Journal of Remote Sensing 5 (4): 681-698.