

32/uu6(suz) 2<sup>e</sup> ex

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

**Mogelijkheden voor kartering van kleine  
landschapselementen met behulp van  
hoge-resolutiesatellietbeelden en het digitale  
topografische bestand schaal 1 : 10 000**

**H.A.M. Thunnissen  
H. Kramer**

**Rapport 542**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997**

- 5 MAART 1998

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0776 6542

Ungug030\*

## REFERAAT

Thunnissen, H.A.M. en H. Kramer, 1997. *Mogelijkheden voor kartering van kleine landschapselementen met behulp van hoge-resolutiesatellietbeelden en het digitale topografische bestand schaal 1 : 10 000*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 542. 50 blz.; 4 fig.; 8 tab.; 20 ref.

Kleine landschapselementen spelen een belangrijke rol in het Nederlandse landschap en daarom ook in het landschapsbeleid. In deze studie is nagegaan in hoeverre geïntegreerde toepassing van het digitale topografische bestand schaal 1 : 10 000 (Top10-vector) en (gesimuleerde) hoge-resolutiesatellietbeelden (HRS) een rol kan spelen bij de kartering van kleine landschapselementen. Hiertoe is voor twee studiegebieden nagegaan welke kleine landschapselementen herkenbaar en/of waarneembaar zijn op gesimuleerde HRS. De informatie uit de HRS is vergeleken met die uit de TOP10-vector. Voor landschapsmonitoring op regionale en lokale schaal kan het gebruik van HRS naast de Top10-vector belangrijke extra informatie verschaffen. Om operationele toepassing van HRS voor landschapsmonitoring mogelijk te maken is een demonstratieproject met werkelijke HRS gewenst.

Trefwoorden: digitale luchtfoto's, digitaal topografisch bestand, GIS, hoge-resolutiesatellietbeelden, landschap, Top10-vector

ISSN 0927-4499

Tevens verschenen als BCRS rapport 97-07

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.  
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## **Inhoud**

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Materiaal en methode	17
2.1 Keuze van kleine landschapselementen en studiegebieden	17
2.2 Beschikbaarheid van hoge-resolutiesatellietbeelden en digitale luchtfoto's	19
2.3 Geometrische correctie van luchtfoto's	24
2.4 Simulatie en bewerking van hoge-resolutiesatellietbeelden	25
2.5 Het digitale topografische bestand schaal 1 : 10 000	28
2.6 Methode van onderzoek	30
3 Herkenbaarheid en waarneembaarheid van kleine landschapselementen	33
3.1 Gesimuleerde hoge-resolutiesatellietbeelden	33
3.2 Combinatie van beelden en toepassing van grensdetectiefilters	38
4 Vergelijking van informatie uit gesimuleerde hoge-resolutiesatelliet- beelden met die uit de Top10-vector	41
4.1 Werkwijze	41
4.2 Resultaten	41
5 Nadere discussie en aanbevelingen	47
Literatuur	49

## **Woord vooraf**

Dit onderzoek sluit aan bij de 'Haalbaarheidsstudie Meetnet Landschap' die is uitgevoerd door DLO-Staring Centrum en het IKC Natuurbeheer (Dijkstra en Roos-Klein Lankhorst, 1995). Het IKC Natuurbeheer kan mede op basis van deze studie bekijken of en op welke wijze hoge-resolutiesatellietbeelden een rol kunnen spelen bij het Meetnet Landschap.

Vanuit de opdrachtgever, IKC Natuurbeheer, is de studie begeleid door J. Vissers en L.M.F. van den Aarsen.

## Samenvatting

Het landschapsbeleid van de rijksoverheid is gericht op het behoud, het herstel en de ontwikkeling van een kwalitatief hoogwaardig landschap in Nederland (Ministerie van LNV, 1992). Om een goed beleid te kunnen voeren is het nodig inzicht te hebben in de 'toestand van het landschap' en in veranderingen daarin. Door het IKC Natuurbeheer en DLO-Staring Centrum is een Monitoringsysteem Landschap ontworpen (Dijkstra en Roos-Klein Lankhorst, 1995). Voorgesteld wordt om de veranderingen aan de hand van het digitale topografische bestand schaal 1 : 10 000 (Top10-vector), eventueel aangevuld en geactualiseerd met behulp van satelliet-beelden, i.c. het Landelijk Grondgebruiksbestand van Nederland (LGN-bestand), te meten. Het Monitoringsysteem Landschap is in de eerste plaats ontworpen voor monitoring op landelijke schaal.

Kleine landschapselementen spelen een belangrijke rol in het Nederlandse landschap en daarom ook in het landschapsbeleid. Nauwkeurige monitoring van kleine landschapselementen is dan ook van groot belang. Eerder onderzoek heeft echter grote verschillen aangetoond tussen topografische kaarten en luchtfoto's, met name bij lijnvormige beplantingen. Ook de actualiteit van topografische bestanden kan voor sommige toepassingen een probleem vormen.

In dit rapport wordt verslag gedaan van een onderzoek naar de mogelijkheden van geïntegreerde toepassing van hoge-resolutiesatellietbeelden (HRS-beelden) met een ruimtelijke resolutie<sup>1</sup> tussen 1 en 10 m en de Top10-vector voor de kartering van kleine landschapselementen in het (agrarisch) cultuurlandschap. Het onderzoek is uitgevoerd in twee studiegebieden: studiegebied 'Groenraven', gelegen ten westen van Utrecht, en studiegebied 'Paasloo' in Noordwest-Overijssel. Verschillende satellieten die HRS-beelden (zullen) opnemen, zijn recent of zullen de komende jaren worden gelanceerd. Voorzover HRS-beelden tijdens het onderzoek nog niet beschikbaar waren, zijn deze gesimuleerd met behulp van digitale panchromatische, full color en false color luchtfoto's<sup>2</sup>. Met de beschikbare luchtfoto's was het niet mogelijk om de veel voorkomende zwartwitinfraroodsatellietopnamen<sup>2</sup> te simuleren.

De beschikbare gescande Russische HRS-foto's met een theoretische ruimtelijke resolutie van 8 en 5 m bleken dermate veel ruis te vertonen dat ze verder niet meer in het onderzoek zijn meegenomen. Voor de overige (met digitale luchtfoto's gesimuleerde) HRS-beelden is nagegaan welke kleine landschapselementen herkenbaar en/of waarneembaar zijn op de beelden. De verkregen resultaten zijn geheel gebaseerd

---

1 Het kleinste detail dat kan worden waargenomen.

2 Een panchromatische opname komt overeen met een gangbare zwartwitopname en legt straling vast in één (brede) band in het zichtbare deel van het spectrum. Een zwartwit infaarde opname legt 66k straling vast in één (brede) band. Deze laatste opname omvat echter naast straling uit het zichtbare deel van het spectrum ook straling uit het nabij-infrarode deel van het spectrum. True color- en false color opnamen bestaan uit meerdere spectrale banden. Deze opnamen worden multi-spectrale opnamen genoemd. True color opnamen komen overeen met de standaard kleurenopnamen. False color opnamen bestaan in de regel uit twee banden in het zichtbare deel (groen en rood) en één band in het nabij-infrarode deel van het spectrum.

op visuele interpretatie van de betreffende beelden. Omdat verschillende vormen van lijnvormige beplanting slecht van elkaar zijn te onderscheiden op luchtfoto's is slechts één klasse 'lijnvormige beplanting' onderscheiden. De informatie uit de HRS is vervolgens vergeleken met die uit de TOP10-vector.

Een gesimuleerd panchromatisch satellietbeeld met een ruimtelijke resolutie van 10 m blijkt aanmerkelijk meer details te vertonen dan een werkelijke panchromatische satellietopname die een ruimtelijke resolutie van 10 m heeft. Dit zou betekenen dat de gesimuleerde satellietbeelden een overschatting geven van de kwaliteit van de HRS-beelden. Naar verwachting zullen de verschillen tussen beide beelden bij hogere ruimtelijke resoluties geringer zijn. Voor de toetsing van deze uitspraak is het echter nodig over geschikte HRS-beelden te beschikken.

De zwartwit HRS-beelden hebben over het algemeen een hogere ruimtelijke resolutie dan de multispectrale<sup>3</sup> HRS-beelden. Combinatie van beide beelden levert echter geen meerwaarde, vergeleken met het originele zwartwitbeeld. Ook de toepassing van grensdetectiefilters, waardoor de grenzen in een beeld op automatische wijze extra worden benadrukt, heeft geen meerwaarde boven een volledige interactieve classificatie van het originele beeld.

In z'n algemeenheid kan worden gesteld dat veel kleine landschapselementen met hoge nauwkeurigheid uit (gesimuleerde) HRS-beelden kunnen worden afgeleid. Bij (gesloten) lijnvormige beplanting is onderbegroeiing niet waar te nemen op verticaal genomen foto's. De spectrale resolutie heeft over het algemeen weinig invloed op de herkenbaarheid en waarneembaarheid van de diverse kleine landschapselementen, in tegenstelling tot de ruimtelijke resolutie en de opnameperiode, die respectievelijk een zeer grote en aanzienlijke invloed hebben. Het optreden van schaduw vergroot de herkenbaarheid en waarneembaarheid van opgaande elementen aanzienlijk. Bij begroeiing heeft ook het in blad zijn een positieve invloed op de herkenbaarheid en waarneembaarheid. Het naast elkaar voorkomen van lijnvormige elementen vermindert de herkenbaarheid en waarneembaarheid vaak aanzienlijk. Contextuele informatie kan soms behulpzaam zijn voor een juiste classificatie. Het is niet goed mogelijk om voor de kartering van kleine landschapselementen een algemene voorkeur uit te spreken voor een bepaalde ruimtelijke resolutie en opnameperiode. In de praktijk zal de keuze sterk afhangen van de gewenste informatie en het gewenste detail. De resultaten van deze studie kunnen daarbij een leidraad zijn.

Om inzicht te krijgen in de manier waarop de landschapselementen in de Top10-vector voorkomen en wat de toegevoegde waarde van HRS-beelden kan zijn, zijn elementen uit de Top10-vector afgebeeld over luchtfoto's van de studiegebieden. In de Top10-vector is veel informatie beschikbaar over kleine landschapselementen. Vooral lijnvormige beplantingen zijn op diverse wijzen opgeslagen in de Top10-vector waardoor de selectie van deze elementen moeizaam verloopt. Voor landschappelijke toepassingen van de Top10-vector lijkt het gewenst de opslag van lijnvormige beplantingen nader te structureren.

---

3 Twee of meer golflengtebanden omvattend.

De meeste lijnvormige beplantingen in de studiegebieden zijn in de Top10-vector opgenomen (naar schatting minimaal 90%). Wel verschaffen de Top10-vector enerzijds en luchtfoto's (of HRS-beelden) anderzijds andere thematische informatie. Zo zijn bijvoorbeeld campings niet in de Top10-vector opgenomen en is uit een luchtfoto meer informatie over de breedte en structuur van lijnvormige beplantingen en over de ruimtelijke rangschikking van de bomen af te leiden. In beide studiegebieden zijn de lijnvormige beplantingen op verschillende wijze opgeslagen. Het verdient daarom aanbeveling ook voor enkele andere gebieden na te gaan hoe lijnvormige beplantingen in de Top10-vector zijn opgenomen.

Het gebruik van een luchtfoto (of HRS-beeld) naast de Top10-vector kan belangrijke extra informatie over landschapselementen verschaffen. Dat betreft in de eerste plaats de actualiteit van de foto's. De informatie uit de Top10-vector kan enige jaren oud zijn, terwijl luchtfoto's, of in de nabije toekomst HRS-beelden, meestal van recentere datum beschikbaar zijn. Daarnaast kan uit een luchtfoto (of HRS-beeld) ook aanvullende thematische informatie over landschapselementen verkregen worden. Zo zijn bijvoorbeeld campings niet in de TOP10-vector opgenomen en is uit een luchtfoto (of HRS-beeld) meer informatie over de breedte en structuur van lijnvormige beplantingen en over de ruimtelijke rangschikking van bomen af te leiden.

Voor de toetsing van het rijksbeleid is het belangrijk dat de landschapsmonitoring landsdekkend plaatsvindt. Gezien de gewenste gedetailleerdheid van de informatie zijn de aanwezige verschillen tussen de Top10-vector en de HRS-beelden over het algemeen niet relevant voor toepassingen op *landelijke* schaal.

Om de identiteit van Nederlandse landschappen te waarborgen kent het landschapsbeleid naast een algemeen beleid op nationale schaal ook een specifiek beleid voor bepaalde gebieden met een hoge landschappelijke kwaliteit. Het Meetnet Landschap dient daarom tevens bruikbare informatie te leveren voor andere overheden en organisaties (provincies, gemeenten en particuliere organisaties). Bovengenoemde gebieden hebben over het algemeen een hoge prioriteit in het kader van het landschapsbeleid. Hier kan, steeksproefgewijs of ad hoc, een hogere actualiseringsfrequentie in vergelijking met de Top10-vector van belang zijn. Ook voor de beantwoording van ad hoc vragen vanuit het beleid kan het gewenst zijn over zeer actuele gegevens te beschikken. Voor toepassing van het Meetnet Landschap in relatief kleine maar waardevolle gebieden kunnen bovendien de geconstateerde onnauwkeurigheden in de Top10-vector voor problemen zorgen. HRS-beelden kunnen aan veel van de genoemde bezwaren tegemoet komen. Door (elementen uit) de Top10-vector te projecteren op de HRS-beelden kan afhankelijk van de vraagstelling vanuit het beleid de specifiek gewenste informatie snel en gericht uit de satellietbeelden worden afgeleid en worden gepresenteerd op een op het beleid afgestemde wijze (bijv. de locatie en aard van in de tijd opgetreden veranderingen). Om dergelijke operationele toepassingen mogelijk te maken is een demonstratieproject gewenst, waarbij gebruik moet worden gemaakt van werkelijke HRS-beelden en waarbij meerdere (potentiële) gebruikers bij het project worden betrokken. Voor operationele toepassing is het verder noodzakelijk dat de monitoring met HRS-beelden ingebed wordt in het landelijke monitoringsysteem dat gebaseerd is op de Top10-vector. De resultaten van beide benaderingen moeten consistent zijn en elkaar aanvullen.

## 1 Inleiding

Het landschapsbeleid van de rijksoverheid wordt in hoofdlijnen beschreven in de Nota Landschap (Ministerie van LNV, 1992). De behoefte aan het voeren van landschapsbeleid komt voort uit de bezorgdheid voor de kwaliteit van het landschap in Nederland. Deze staat onder druk ten gevolge van voortdurende veranderingen die plaatsvinden vanuit de behoeften van de samenleving. Veel van de voormalige, huidige en te verwachten ontwikkelingen hebben gevolgen die door het landschapsbeleid als negatief worden beschouwd. Veranderingen en intensivering van het grondgebruik hebben onder andere tot gevolg (gehad):

- verstoring, verdwijning en aftakeling van historisch gegroeide landschapsstructuren;
- verstedelijking van het landschap;
- versnippering van het landschap;
- verlies aan verscheidenheid in schaalkenmerken en karakteristieke openheid.

Het landschapsbeleid is gericht op het behoud, het herstel en de ontwikkeling van een kwalitatief hoogwaardig landschap in Nederland. Om een goed beleid te kunnen voeren is het nodig inzicht te hebben in de 'toestand van het landschap' en in veranderingen daarin. In de Nota Landschap wordt gesteld: 'Aan de hand van een monitoringonderzoek zal de komende jaren moeten worden nagegaan hoe de kwaliteit van het Nederlandse landschap zich heeft ontwikkeld'. Een monitoringsysteem of meetnet landschap levert de mogelijkheid tot het vroegtijdig en betrouwbaar signaleren van belangrijke ontwikkelingen in het landschap, zodat beoordeeld kan worden in hoeverre de door het beleid gestelde doelen zijn gerealiseerd en het landschapsbeleid kan worden verbeterd (Dijkstra en Roos-Klein Lankhorst, 1995). Door IKC Natuurbeheer en DLO-Staring Centrum is de haalbaarheid van een monitoringsysteem landschap onderzocht (Dijkstra en Roos-Klein Lankhorst, 1995). Als resultaat van de haalbaarheidsstudie is een Ontwerp Monitoringsysteem Landschap ontworpen. Het Ontwerp Monitoringsysteem Landschap bestaat uit een samenstel van 9 meetdoelen. Voor het bereiken van de meerderheid van de meetdoelen speelt het digitale topografische bestand schaal 1 : 10 000 (Top10-vector) of schaal 1 : 50 000, eventueel aangevuld en geactualiseerd met behulp van satellietbeelden, i.c. het Landelijk Grondgebruiksbestand van Nederland (LGN-bestand), een belangrijke rol. Voorgesteld wordt om de monitoring van het landschap eens in de 4 of 8 jaar uit te voeren. Het Ontwerp Monitoringsysteem Landschap is in de eerste plaats ontworpen voor monitoring op landelijke schaal. Het Meetnet Landschap dient echter tevens bruikbare informatie te leveren voor andere overheden en organisaties (provincies, gemeenten en particuliere organisaties) die belast zijn met de uitvoering van het landschapsbeleid op regionale schaal.

Kleine landschapselementen spelen een belangrijke rol in het Nederlandse landschap en daarom ook in het landschapsbeleid. Nauwkeurige monitoring van kleine landschapselementen is dan ook van groot belang. Bij een vergelijking van topografische kaarten met luchtfoto's vonden Kuipers (1985) en Bakermans (1986) grote verschillen, met name bij lijnvormige beplantingen. Veranderingen van het beplantingspatroon in de tijd konden deze verschillen slechts gedeeltelijk verklaren.



Rumpff (1991) adviseert naar aanleiding van deze studies om bij onderzoeken waarbij een grote nauwkeurigheid is vereist omtrent de plaats en de kwantiteit van beplantingen, naast de topografische kaart, gebruik te maken van luchtfoto's en veldwerk. Een ander mogelijk bezwaar van het gebruik van topografische bestanden is, dat deze bestanden pas enige tijd (6 à 16 maanden) na de opname van de betreffende luchtfoto's en de veldverkenningen verschijnen. Ook de actualiteit van reeds beschikbare bestanden kan een probleem zijn.

Wat betreft kleine landschapselementen leveren luchtfoto's de meest gedetailleerde informatie. De interpretatie van luchtfoto's en digitalisatie van het interpretatie-resultaat is echter tijdrovend. Door middel van scannen kan een foto worden omgezet in een digitaal beeld, dat bestaat uit een raster waarin elke rastercel een bepaalde grijswaarde krijgt. Op een digitale foto kunnen gemakkelijk automatische bewerkingen, zoals geometrische correcties of contrastverbetering, worden toegepast. De noodzakelijke geometrische correctie van grote aantallen afzonderlijke luchtfoto's blijft echter zeer tijdrovend. Een digitale foto kan direct op een beeldscherm worden geprojecteerd, waardoor digitaliseerwerkzaamheden op het scherm kunnen worden uitgevoerd. De grote benodigde verwerkings- en opslagcapaciteit bij het gebruik van digitale luchtfoto's zal steeds minder een probleem vormen, omdat computers steeds krachtiger worden en de opslagcapaciteit steeds goedkoper wordt.

Satellietbeelden bieden in principe goede mogelijkheden voor de waarneming van landschapselementen. Onderzoek heeft de laatste jaren aangetoond dat satellieten uit de zogenaamde 'Landsat-TM' serie van de NASA in de VS en de Franse 'SPOT'-serie (Système Probatoire d'Observation de la Terre), die opnamen leveren met een ruimtelijke resolutie van respectievelijk 30 en 20 m, geschikt zijn voor waarneming van ruimtelijke landschapselementen, zoals bossen en steden (bijv. Van der Laan et al., 1986 en Thunnissen et al., 1992). Lijnvormige beplantingen kunnen echter niet met voldoende nauwkeurigheid uit deze satellietbeelden worden afgeleid (Van der Laan et al., 1986; Farjon et al., 1987 en Dirx et al., 1989). Dat laatste geldt ook voor puntelementen. Recent zijn Russische satellietbeelden met (zeer) hoge resolutie (2-8 m) beschikbaar gekomen. Bovendien zullen in de (nabije) toekomst diverse satellieten worden gelanceerd die beelden met (zeer) hoge resolutie (1-8 m) zullen opnemen. Het voordeel van satellietbeelden ten opzichte van digitale luchtfoto's is dat ze regelmatig beschikbaar komen, goedkoop zijn, relatief grote oppervlakten beslaan en slechts in geringe mate geometrische verstoringen vertonen.

In dit rapport wordt verslag gedaan van een onderzoek naar de mogelijkheden van geïntegreerde toepassing van hoge-resolutiesatellietbeelden (HRS-beelden) en de Top10-vector voor de kartering van kleine landschapselementen in het (agrarisch) cultuurlandschap. Het onderzoek is uitgevoerd in twee studiegebieden: studiegebied 'Groenraven', gelegen ten westen van Utrecht, en studiegebied 'Paasloo' in Noordwest Overijssel. Voorzover HRS-beelden nog niet beschikbaar zijn, zijn deze, voorzover mogelijk, gesimuleerd met behulp van digitale luchtfoto's.

In hoofdstuk 2 worden materiaal en methoden beschreven. Hoofdstuk 3 geeft aan welke (kenmerken van) kleine landschapselementen met (gesimuleerde) HRS-beelden kunnen worden waargenomen en herkend. In hoofdstuk 4 wordt nagegaan hoe kleine

landschapselementen in de Top10-vector zijn opgenomen. De uit (gesimuleerde) satellietbeelden afgeleide informatie over kleine landschapselementen wordt vergeleken met de informatie uit de Top10-vector. Hierbij komen actualiteit, volledigheid en inhoud van de informatie aan de orde. Tenslotte wordt bekeken of geïntegreerde toepassing van (gesimuleerde) HRS-beelden en de Top10-vector aanvullende informatie oplevert. Het laatste hoofdstuk bevat discussie en aanbevelingen.

## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Keuze van kleine landschapselementen en studiegebieden

Van een aantal kleine landschapselementen van het (agraris) cultuurlandschap is onderzocht of ze karteerbaar zijn met behulp van HRS-beelden. De lijst van landschapselementen (tabel 1) is opgesteld door het IKC Natuurbeheer. De betreffende elementen zijn ruimtestructurerend dan wel kenmerkend voor de wordingsgeschiedenis van het landschap. Combinaties van landschapselementen zijn mogelijk, zoals wegbeplanting (bomenrij in wegberm), erfbeplanting (bebouwing + opgaande begroeiing) en houtwallen of -kades (reliëf + opgaande begroeiing).

*Tabel 1 De kleine landschapselementen in het cultuurlandschap die zijn geselecteerd voor de studie*

Klasse	Onderverdeling
Wegen	verharde en onverharde wegen smaller dan 6 m verharde en onverharde wegen 6-10 m breed
Bebouwd gebied	verspreide bebouwing
Reliëf	dijken lager dan 1 m dijken hoger dan 1 m aarden wallen lager dan 1 m aarden wallen hoger dan 1 m steilranden lager dan 1 m steilranden hoger dan 1 m
Water	greppels sloten van 1-3 m breed sloten 3-6 m breed sloten breder dan 6 m poelen (altijd kleiner dan 0,5 ha) moerassen en riet (altijd kleiner dan 0,5 ha)
Opgaande beplanting	heggen grienden van 0,1-0,5 ha grienden 0,5-2 ha bomen solitair bomen in groepjes bomenrijen (aantal rijen) bomensingels tot 5 m breed bomensingels 5-10 m breed bomensingels breder dan 10 m bosjes van 0,1-0,5 ha bosjes 0,5-2 ha boomgaarden van 0,1-0,5 ha boomgaarden van 0,5-2 ha

Het onderzoek is uitgevoerd in twee studiegebieden (fig. 1). De keuze van de studiegebieden is bepaald door de landschapsstructuur en de beschikbaarheid van satellietbeelden en luchtfoto's. Studiegebied 'Groenraven' is globaal gelegen tussen Bunnik, Odijk en Houten in het Kromme-Rijngebied. In het gehele studiegebied worden rivierkleigronden aangetroffen. Grasland en boomgaard zijn de belangrijkste vormen van landbouwkundig grondgebruik. Het gebied is vrij open van karakter en de aanwezige lijnvormige beplanting is over het algemeen open en smal. Studiegebied

'Paasloo' is gelegen in Noordwest-Overijssel in de omgeving van het plaatsje Paasloo en grenst aan de zuidkant aan het natuurgebied de Weerribben. Op een smalle strook veengronden in het zuiden van het studiegebied na bestaat het gebied voornamelijk uit zandgronden, vaak met keileem ondiep in het profiel. Het grootste deel van het gebied heeft een gesloten karakter als gevolg van de talrijke, vaak brede lijnvormige beplantingen. Het landbouwgebied bestaat voornamelijk uit grasland en enkele akkerbouwpercelen. Daarnaast komen er veel bosjes en enkele campings voor.



*Fig. 1 Ligging van de studiegebieden*

## 2.2 Beschikbaarheid van hoge-resolutiesatellietbeelden en digitale luchtfoto's

Bij de opname van luchtfoto's wordt door het aardoppervlak gereflecteerde electro-magnetische straling in verschillende spectrale banden op film vastgelegd. Deze spectrale banden liggen in het zichtbare en nabij-infrarode deel van het spectrum (tabel 2). Veel gebruikte bandcombinaties zijn 'panchromatisch', 'zwartwitinfrarood', 'true color' en 'false color' (tabel 2). In de praktijk blijken de aanduidingen panchromatisch en zwartwitinfrarood nogal eens door elkaar te worden gebruikt. Een panchromatische opname komt overeen met een gangbare zwartwitfoto en legt straling vast in één (brede) band in het zichtbare deel van het spectrum (0,4-0,7  $\mu\text{m}$ ). Een zwartwitinfraroodfoto legt óók straling vast in één (brede) band. Deze laatste opname omvat echter naast straling uit het zichtbare deel van het spectrum ook straling uit het nabij-infrarode deel van het spectrum (tot 0,9  $\mu\text{m}$ ).

True color en false color foto's bestaan uit meerdere spectrale banden (tabel 2). True color foto's komen overeen met de standaard kleurenopnamen. False color foto's bestaan in de regel uit twee banden in het zichtbare deel (groen en rood) en één band in het nabij-infrarode deel van het spectrum.

Digitale satellietopnamen leggen ook straling vast in verschillende golflengtebanden. Omdat iedere golflengteband afzonderlijk wordt vastgelegd wordt gesproken over multi-spectrale opnamen. Multi-spectrale satellietbeelden kunnen worden omgezet in kleurcomposieten, die lijken op de desbetreffende foto's (bijvoorbeeld een multispectraal false color beeld). In de praktijk kunnen de multi-spectrale golflengtebanden sterk afwijken van die in tabel 2. De meeste hoge-resolutiesatellieten zullen ook afzonderlijke panchromatische of zwartwit infrarode opnamen maken (tabel 4). Hier sprake is van één golflengteband en spreken we over panchromatische of zwartwit infrarode satellietbeelden.

*Tabel 2 Veel gebruikte foto-opnamen en de globale aanduiding van de golflengtebanden*

Opname	Spectrale banden ( $\mu\text{m}$ )
panchromatisch	0,4-0,7 (zichtbaar)
zwartwitinfrarood	0,4-0,9 (zichtbaar en nabij-infrarood)
true color	0,4-0,5 (blauw)
	0,5-0,6 (groen)
	0,6-0,7 (rood)
false color	0,5-0,6 (groen)
	0,6-0,7 (rood)
	0,7-0,9 (nabij-infrarood)

Sinds enkele jaren heeft de Russische regering satellietbeelden met een ruimtelijke resolutie tussen 2 en 8 m beschikbaar gesteld voor civiele doeleinden (tabel 3). De meeste beschikbare Russische satellietbeelden betreffen vanuit satellieten genomen foto's. Grote aantallen van deze in archieven opgeslagen foto's zijn recent door westerse bedrijven gescand en op de markt gebracht. Omdat de meeste Russische satellietfoto's genomen worden vanaf tijdelijke ruimteplatforms zijn de beschikbaarheid en continuïteit van de foto's niet gegarandeerd. In dit onderzoek hadden

wij de beschikking over een KFA-1000- en een MK4-beeld. Deze beelden zijn in gescande, d.w.z. digitale vorm gekocht bij een Engels bedrijf. De KFA-1000-beelden bestaan uit één panchromatische band. The MK4-camera legt drie verschillende spectrale banden vast op afzonderlijke films. De ruimtelijke resoluties van beide opnamen bedragen respectievelijk 5 en 8 m.

*Tabel 3 Kenmerken van enkele Russische hoge-resolutiesatellietopnamen*

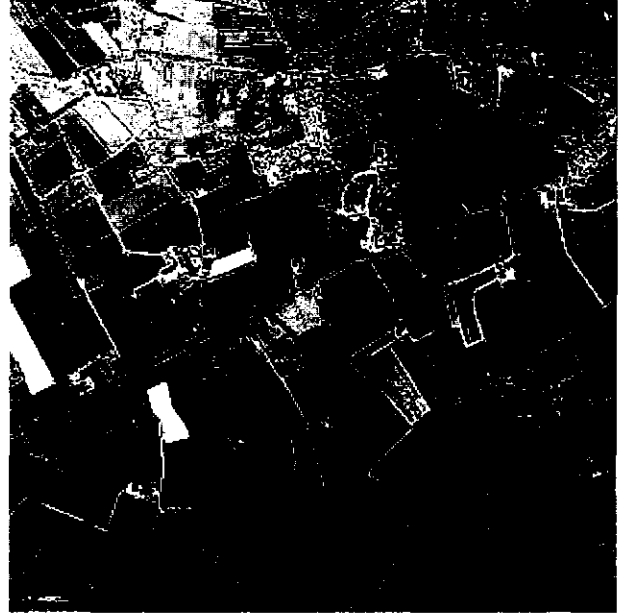
Satelliet-/ cameracombinatie	Opnamegrootte (km <sup>2</sup> )	Spectrale banden (µm)	Ruimtelijke resolutie (m)
Resource-F1/KFA-1000	6 400	0,570-0,810	5
Resource-F2/MK4	30 000	0,515-0,565 0,635-0,690 0,810-0,900 0,580-0,800	8
Resource-F3 / KFA-3000	440	panchromatisch	2-3
/KWR-1000	1 600	panchromatisch	2-4

Bij nadere beschouwing van de beschikbare MK4- en KFA-1000-satellietfoto's bleken deze aanmerkelijk minder detail en meer ruis te vertonen dan gescande luchtfoto's met dezelfde ruimtelijke en spectrale resoluties. Door geringe verschillen in brandpuntsafstand tussen de afzonderlijke lenzen in de MK4-camera en verschillen in golflengte treden geringe schaalverschillen op tussen de verschillende MK4-banden (Worldmap). Als gevolg hiervan is de pixelgrootte niet voor alle drie de MK4-banden even groot. Bovendien kan de handmatige plaatsing van de films in de scanner verschillende begincoördinaten en minieme verschillen in oriëntatie tot gevolg hebben, waardoor de drie spectrale banden niet exact samenvallen. Bovengenoemde oorzaken hebben tot gevolg dat de ruimtelijke resolutie van het multispectrale MK4-beeld in werkelijkheid lager is dan de opgegeven 8 m (fig. 2). De sterke ruis van het KFA-1000-beeld is vermoedelijk veroorzaakt doordat de originele foto voorafgaand aan de scanning te ver is uitgegroot, waardoor de korrels van de film zichtbaar zijn geworden. Vanwege de matige kwaliteit van de MK4- en de KFA-1000-beelden zijn deze beelden verder niet meer in het onderzoek meegenomen.

Eind 1997 wordt de eerste van enkele voor de komende 10 jaar geplande en commercieel gebouwde en geëxploiteerde Amerikaanse hoge-resolutiesatellieten gelanceerd (tabel 4; Fritz, 1996). Deze satellieten zullen panchromatische en zwartwitinfrarode opnamen maken met een ruimtelijke resolutie van 1 tot 4 m en multi-spectrale opnamen met een resolutie van 4 tot 15 m. Verder moeten de Franse SPOT-5- en de Indiase IRS-1C-satelliet worden genoemd. SPOT-5 gaat panchromatische opnamen maken met een ruimtelijke resolutie van 5 m, terwijl de IRS-C-satelliet reeds panchromatische opnamen maakt met een ruimtelijke resolutie van 5,7 m (tabel 4). Daarnaast zal SPOT-5 multi-spectrale opnamen maken met een ruimtelijke resolutie van 10 m. Opvallend is dat de meeste hoge-resolutiesatellieten zwartwitopnamen maken met een spectraal bereik tot in het nabij-infrarode deel van het spectrum (tabel 4). Een dergelijk breed spectraal bereik was tot nu toe niet gebruikelijk.

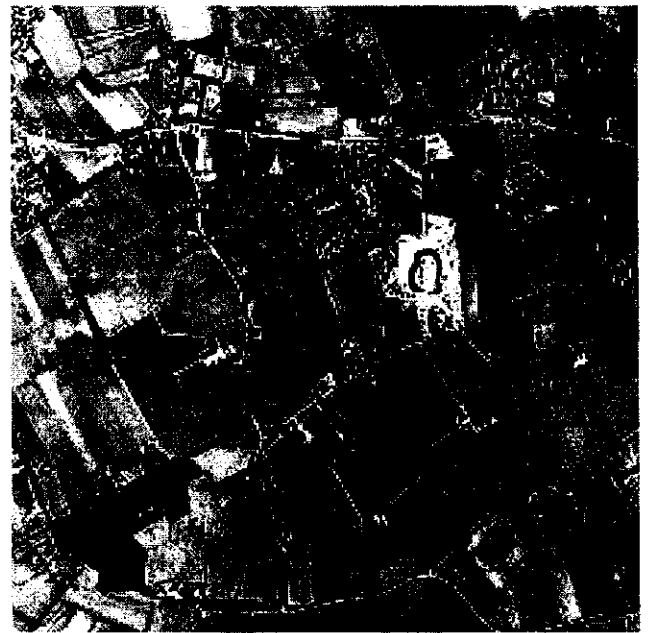
MK4 (8 m resolutie)

false color luchtfoto (8 m resolutie)



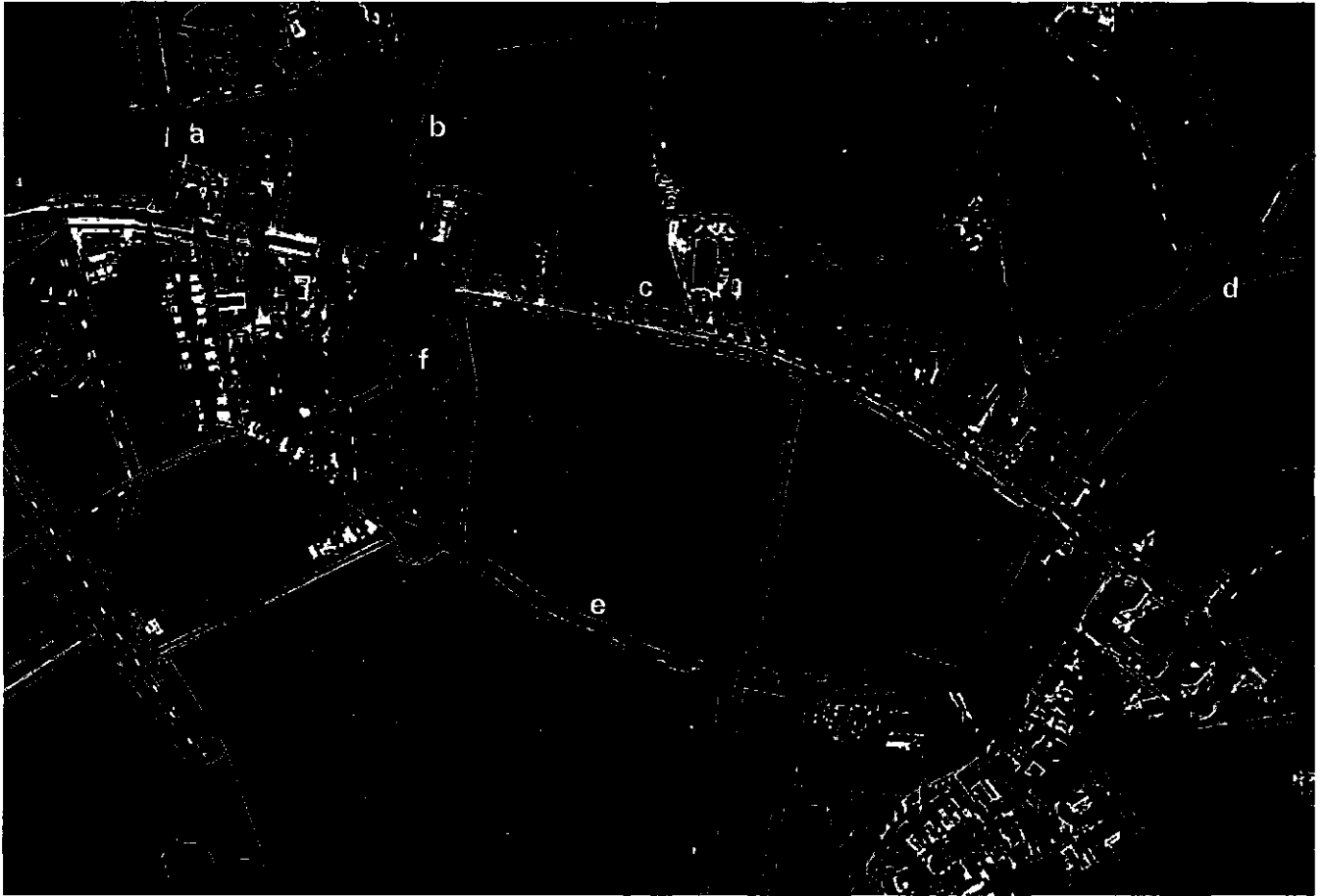
schaal 1 : 30 000

Fig 2. Vergelijking van een MK4-satellietbeeld met een falsecolor luchtfoto



schaal 1 : 30 000

Fig. 3 Vergelijking van een gesimuleerde hoge-resolutiesatellietbeeld met een SPOT-panchromatisch satellietbeeld



schaal 1 : 5000

100      0      100      Meters

deelbestand lijnen	deelbestand vlakken
lijn attributen	vlak en lijn attributen
- - - - heg / smalle houtrand - - - - bomenrij - - - - wal / kade - - - - overige lijnen	——— heg / smalle houtrand ——— bomenrij ——— vlakgrenzen bos (vlak)

Fig. 4 Lijnvormige beplanting uit de Top10-vector afgebeeld op een luchtfoto



*Tabel 4 Kenmerken van enkele Amerikaanse hoge-resolutiesatellietopnamen en van opnamen van de Franse SPOT-5- en de Indiase IRS-1C-satelliet. Pan = Panchromatisch, ZWI = ZwartWitInfrarood en MS = Multispectraal*

Satelliet-systeem	Opnamegrootte (km <sup>2</sup> )		Spectrale banden (µm)		Ruimtelijke resolutie loodrecht onder de satelliet (m)	
	Pan en ZWI	MS	Pan en ZWI	MS	Pan en ZWI	MS
Early Bird	36	900	0,45-0,8	0,50-0,59 0,61-0,68 0,79-0,89	3	15
QuickBird	1296	1296		0,45-0,52 0,53-0,59 0,63-0,69 0,77-0,90	1, 2	4
Orb View	64	64	0,45-0,90	0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	1, 2	8
Space Imaging	3600	3600	0,45-0,90	0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	1	4
SPOT 5	3600	3600	0,51-0,73	0,50-0,59 0,61-0,68 0,79-0,89	5	10
IRS-1C <sup>1</sup>	4900		Pan		5,7	<sup>1</sup>

<sup>1</sup> De IRS-1C maakt ook multispectrale opnamen. Deze hebben echter geen hoge ruimtelijke resolutie.

Vergeleken met de meeste bestaande satellietssystemen worden de tijdsintervallen tussen mogelijke opnames van eenzelfde gebied aanmerkelijk ingekort. Dit wordt bereikt door de opnamehoek van de sensor instelbaar te maken. Hierdoor kan niet alleen in een strook recht onder de satelliet maar ook (ver) links of rechts daarvan worden gemeten. De korte intervallen vergroten de kans op het verkrijgen van goede beelden onder minder gunstige klimatologische omstandigheden. Een nadeel van het gebruik van HRS-beelden is dat het gebied dat door één satellietbeeld wordt bedekt over het algemeen (aanzienlijk) kleiner is dan bij de bestaande satellietssystemen (tabel 4). Doordat beelden zowel verticaal als onder een hoek kunnen worden opgenomen, kunnen, indien gewenst, stereo-beelden worden verkregen waaruit hoogte-informatie kan worden afgeleid. De kwaliteit van de interpretatie van de beelden verbetert daardoor aanzienlijk. In dit onderzoek zijn echter geen stereo-opnamen gebruikt.

De Amerikaanse hoge-resolutiesatellieten en de SPOT-5-satelliet zijn nog niet gelanceerd, terwijl panchromatische IRS-1C-beelden van de studiegebieden niet beschikbaar waren tijdens de uitvoering van het project. Beelden van deze satellieten zijn daarom gesimuleerd door gebruik te maken van digitale luchtfoto's. Van de studiegebieden waren panchromatische, full color en false color luchtfoto's beschikbaar (tabel 5). Alleen zwartwitinfraroodluchtfoto's waren niet beschikbaar. De digitale luchtfoto's zijn verkregen door analoge foto's te scannen. Scannen is de techniek waarbij een analog beeld, i.c. foto, wordt omgezet in een digitaal beeld dat bestaat uit een regelmatig raster waarbij elke rastercel een bepaalde grijswaarde krijgt. De rastercellen worden pixels genoemd. De resolutie van een gescand (digitaal)

beeld wordt uitgedrukt in het aantal pixels per inch ('dots per inch' = dpi) of in de grootte van de pixels (in  $\mu\text{m}$ ). De gebruikte scanners hebben een beperkt aantal resoluties. In dit onderzoek zijn de foto's gescand met een resolutie van 400 dpi (63  $\mu\text{m}$ ). De resoluties zijn zo gekozen dat de pixelgroottes van de gescande luchtfoto's zo goed mogelijk overeenkomen met een ruimtelijke resolutie van 1 m (tabel 5). Er kan zowel in zwartwit als in kleur worden gescand. Bij zwartwit scannen wordt per pixel één grijswaarde vastgelegd. Bij het scannen van kleurenfoto's worden voor de drie basiskleuren (rood, groen en blauw) de grijswaarden vastgelegd. Er kunnen 256 verschillende grijswaarden worden onderscheiden.

*Tabel 5 Beschikbare digitale luchtfoto's voor de studiegebieden 'Groenraven' en 'Paasloo'*

Studiegebied	Fototype	Opnamedatum	Schaal analoge foto	Ruimtelijke resolutie (m)
Groenraven	panchromatisch	07-03-1995	1 : 18 000	1,1
	true color	-05-1992	?	ca. 1
Paasloo	panchromatisch	13-04-1996	1 : 18 000	1,1
	true color	08-10-1995	1 : 10 000	0,6
	false color	04-05-1995	1 : 22 500	1,5

De true color luchtfoto van studiegebied Groenraven is direct in digitale vorm verkregen. Het bleek niet meer mogelijk de exacte opnamedatum, fotoschaal en ruimtelijke resolutie te achterhalen. Vergelijking met de panchromatische foto toont aan dat de foto hoogstens enkele jaren oud kan zijn en de ruimtelijke resolutie ongeveer 1 m bedraagt. Te oordelen naar de gewas- en vegetatieontwikkeling en schaduw lengtes is de foto waarschijnlijk in mei opgenomen.

### 2.3 Geometrische correctie van luchtfoto's

Voor het verkrijgen van thematische informatie hoeft een foto in principe niet geometrisch gecorrigeerd te worden. Dit is wel nodig indien geometrische informatie aan de foto wordt ontleend. Het coördinatenstelsel van de foto moet dan gerelateerd worden aan het coördinatenstelsel dat op de kaart of in het GIS gebruikt wordt. In Nederland is dit meestal het coördinatenstelsel van de Rijksdriehoeksmeting. De informatie over de geometrische eigenschappen en correcties van luchtfoto's is voor een groot deel ontleend aan Bleek en Lentjes (1992).

Door bewegingen van het vliegtuig is het projectievlak van de camera nooit volkomen horizontaal, dus niet evenwijdig aan het aardoppervlak. Deze kanteling leidt ertoe dat objecten aan het aardoppervlak vertekend worden afgebeeld op de foto. Door ontschanking van de foto (langs optische weg of met behulp van de computer) kan deze vertekening gecorrigeerd worden. De camera is tegenwoordig meestal zodanig in het vliegtuig gemonteerd dat deze de schommelingen van het vliegtuig grotendeels op kan vangen. Bij voldoende stabilisatie is ontschanking van foto's van vlak en horizontaal terrein niet meer nodig.

In volkomen vlak terrein is na ontschanking de schaal van de foto overal gelijk. Hoogteverschillen in het terrein (heuvels maar ook dijken, bebouwing en opgaande begroeiing) leiden echter tot lokale schaalverschillen op de foto. Deze schaalver-

schillen zijn het gevolg van de projectiewijze van het terrein op de film (centrale projectie). Hierdoor worden hogere delen van het terrein verplaatst ten opzichte van lagere delen. Dit effect wordt reliëfverplaatsing genoemd. De reliëfverplaatsing is het kleinst in het midden van de foto en het grootst aan de randen. Hoge objecten lijken om te vallen in de richting van de rand van de foto, waardoor de zijkant op de foto te zien is. Correctie van reliëfverplaatsing kan met de computer gebeuren met als resultaat een digitale orthofoto. Een orthofoto is een fotografische afbeelding met de geometrische eigenschappen van een kaart. Bij een orthofoto en kaart is sprake van een orthogonale projectie: de punten van het terrein zijn loodrecht geprojecteerd op een plat vlak.

Omdat bij de de in dit onderzoek gebruikte digitale luchtfoto's de vertekening door kanteling van de camera gering zijn, is hiervoor geen correctie (ontschanking) uitgevoerd. De foto's bleken voldoende nauwkeurig geometrisch te kunnen worden gecorrigeerd met behulp van een lineaire transformatie. De luchtfoto's zijn hierbij gecorrigeerd naar het digitaal topografisch bestand, schaal 1 : 10 000 (Top10-vector). Hoewel de hoogteverschillen in het terrein relatief gering zijn, is er met name aan de randen van de foto's duidelijk sprake van reliëfverplaatsing, met name bij bebouwing en opgaande begroeiing. Zo bedraagt bijvoorbeeld op de zwartwitfoto's die worden gebruikt bij de vervaardiging van de topografische kaart (fotoschaal 1 : 17 000, vlieghoogte 3800 m) de reliëfverplaatsing van objecten van 10 m hoog, gelegen aan de rand van de foto, ca. 0,3 mm. Dit komt overeen met ca. 5 m in het terrein. In het onderhavige project en de gekozen studiegebieden zijn deze onnauwkeurigheden niet van belang. In heuvelachtige gebieden in Nederland zal reliëfverplaatsing echter in de meeste gevallen niet kunnen worden verwaarloosd. In de praktijk bleken lokaal (geringe) geometrische afwijkingen voor te komen tussen de digitale luchtfoto's en de Top10-vector (par. 2.5).

Vanwege de stabiliteit van de satellieten en de grote hoogtes waarop de opnamen worden vervaardigd, vertonen de satellietbeelden van een gebied dat zich loodrecht onder de satelliet bevindt onder Nederlandse omstandigheden nagenoeg een orthogonale projectie. Hierdoor kan bij de geometrische correctie waarschijnlijk worden volstaan met een eenvoudige lineaire transformatie. Indien onder een (grote) hoek wordt opgenomen, moet rekening worden gehouden met reliëfverplaatsing.

## **2.4 Simulatie en bewerking van hoge-resolutiesatellietbeelden**

De beschikbare digitale luchtfoto's (tabel 5) zijn gebruikt voor de simulatie van (nog) niet beschikbare HRS-beelden (par. 2.2). De analoge luchtfoto's van de studiegebieden zijn zodanig gescand dat de pixelgroottes van de digitale luchtfoto's redelijk overeenkomen met een ruimtelijke resolutie van 1 m. Vervolgens zijn de digitale luchtfoto's geometrisch gecorrigeerd (par. 2.3) en geresampled naar pixels van exact  $1 \times 1 \text{ m}^2$ . Voor de resampling is gebruik gemaakt van het cubic convolution algoritme. Met dit algoritme worden de acht omliggende pixels betrokken bij de berekening van de stralingswaarden van de pixels in het geometrisch gecorrigeerde beeld. De overige ruimtelijke resoluties zijn verkregen door samenvoeging van individuele pixels van  $1 \times 1 \text{ m}^2$  tot grotere pixels. De stralingwaarde van iedere

nieuwe pixel is hierbij gelijk gesteld aan de gemiddelde stralingswaarde van de pixels waaruit deze is samengesteld. Voor de panchromatische en de true color en false color foto's zijn beelden vervaardigd met ruimtelijke resoluties van 1, 2, 3, 4 en 5 m, respectievelijk 1, 4, 8 en 10 m. Deze ruimtelijke resoluties komen zoveel mogelijk overeen met de ruimtelijke resoluties van de HRS-beelden. Multi-spectrale true color en false color satellietbeelden met een ruimtelijke resolutie van 1 m komen niet beschikbaar. Ze zijn toch in de analyse meegenomen om ze te kunnen vergelijken met panchromatische opnamen. Bovendien zijn sinds kort landsdekkende digitale true color luchtfoto's beschikbaar. Met de beschikbare foto's was het niet mogelijk om zwartwitinfraroodopnamen te simuleren.

Ter beoordeling van de kwaliteit van de gesimuleerde satellietbeelden is een gesimuleerde 10 m panchromatische opname vergeleken met een SPOT-panchromatische opname met een ruimtelijke resolutie van 10 m. Het gesimuleerde panchromatische beeld met een ruimtelijke resolutie van 10 m vertoont aanmerkelijk meer details dan de panchromatische SPOT-opname (fig. 3). Dit zou betekenen dat de gesimuleerde satellietbeelden een overschatting geven van de herkenbaarheid en waarneembaarheid van kleine landschapselementen. De verschillen tussen beide opnamen worden vermoedelijk veroorzaakt door de wijze waarop de (gereflecteerde) straling wordt beïnvloed door de atmosfeer. Bij de vastlegging van de straling in een pixel wordt ook altijd enige straling vastgelegd die niet direct van het overeenkomstige grondoppervlak afkomstig is, maar van het aangrenzende grondoppervlak via atmosferische verstrooiing. Ook direct door de atmosfeer gereflecteerde en verstrooide straling kan de sensor bereiken. Het omringende grondoppervlak en de invloed van de direct door de atmosfeer gereflecteerde straling, die aan de vastgelegde straling bijdragen, zijn groter naarmate het oppervlak van de pixel toeneemt. De 100-m<sup>2</sup>-pixels van de gesimuleerde satellietbeelden komen tot stand door samenvoeging van 100 pixels van 1 m<sup>2</sup>. Een groot deel van het omliggende gebied van de originele pixels dat bijdraagt aan de vastgelegde straling bevindt zich binnen het oppervlak van de gesimuleerde 100-m<sup>2</sup>-pixel. De invloed van de omgeving op de stralingswaarde van de gesimuleerde 100-m<sup>2</sup>-pixel is derhalve gering. Een 100-m<sup>2</sup>-pixel van een panchromatisch SPOT-beeld, daarentegen, wordt in éénmaal opgenomen en ondervindt daardoor relatief veel invloed van de omgeving. Dezelfde redenering geldt voor de direct door de atmosfeer gereflecteerde straling die de sensor bereikt. De sensor 'ziet' op ieder moment de straling binnen de 'openingshoek' van de scanner. Bij een pixelgrootte van 100 m<sup>2</sup> is de openingshoek uiteraard groter dan bij een pixelgrootte van 1 m<sup>2</sup>.

Bij bovenstaande analyse is geen rekening gehouden met de verschillen in opname-techniek en -hoogte (invloed atmosfeer) tussen (digitale) foto's en digitale satellietbeelden, maar de analyse geeft een in essentie redelijke verklaring voor de waargenomen verschillen tussen beide beelden. Naar verwachting zullen de verschillen tussen beide beelden bij kleinere pixelgroottes geringer zijn. Voor de toetsing van deze uitspraak is het echter nodig over werkelijke HRS-beelden te beschikken.

De zwartwit (i.e. panchromatische en zwartwitinfrarode) HRS-beelden hebben over het algemeen een hogere ruimtelijke resolutie dan de multispectrale HRS-beelden (tabel 4). Combinatie van beide beelden zou een beeld op kunnen leveren met een hogere informatie-inhoud dan elk van de afzonderlijke beelden. Bovendien heeft het gebruik van één (gecombineerd) beeld de voorkeur boven het gebruik van twee afzonderlijke beelden. In het ideale geval worden bij combinatie van de hoge-resolutiezwartwitbeelden met de lage-resolutiemultispectrale beelden de originele spectrale karakteristieken van de multispectrale beelden zoveel mogelijk gehandhaafd en wordt alleen de aanvullende ruimtelijke informatie, aanwezig in het zwartwitbeeld, geïmporteerd in de multispectrale banden (Shettigara, 1992 en Chavez et al., 1991). Een minimale verstoring van de spectrale karakteristieken is van belang om te waarborgen dat objecten die in de originele beelden spectraal te onderscheiden zijn, dat nog zijn in de gecombineerde beelden.

Omdat we in dit onderzoek niet beschikken over zwartwitinfrarode digitale luchtfoto's worden in het vervolg van de bespreking van de gecombineerde toepassing van hoge-resolutiezwartwitbeelden en lage-resolutiemultispectrale beelden voor de simulatie van de zwartwitbeelden alleen nog panchromatische (zwartwit)luchtfoto's beschouwd. In het algemeen bestaat het combinatieproces ten behoeve van de vergroting van de ruimtelijke resolutie van multispectrale beelden met behulp van een panchromatische dataset met een hogere ruimtelijke resolutie uit drie stappen:

- 1 omzetting van de multispectrale banden in getransformeerde banden met behulp van een transformatietechniek;
- 2 vervanging van één van de banden in de getransformeerde multispectrale ruimte door de hoge-resolutie panchromatische band;
- 3 inverse transformatie van de banden in de getransformeerde ruimte naar de originele multispectrale ruimte.

Twee veel gebruikte transformatietechnieken (stap 1) zijn de zogenaamde Intensity, Hue, Saturation (IHS) en de Principal Component (PC) transformatietechniek. Beide technieken zijn in de remote sensing beeldverwerkingssoftware 'Imagine' (ERDAS Inc., 1994) beschikbaar en zijn in dit project gebruikt. De IHS- en de PC-transformatietechniek transformeren de originele multispectrale banden naar respectievelijk de IHS-banden en verschillende PC-banden. Vervolgens worden de 'Intensity' band en de eerste 'Principal Component' band vervangen door de panchromatische band, waarna de getransformeerde banden weer terug worden getransformeerd naar de originele spectrale ruimte. In dit onderzoek is voor het studiegebied Paasloo de digitale panchromatische foto met een ruimtelijke resolutie van 2 m gecombineerd met de digitale false color foto met een ruimtelijke resolutie van 4 m.

De interpreteerbaarheid van HRS-beelden zou mogelijk kunnen worden vergroot door de toepassing van grensdetectiefilters. Deze filters vergroten het contrast waar veranderingen in spectrale waarden optreden. Veranderingen in spectrale waarden zullen vaak samenvallen met grenzen tussen grondgebruiksklassen. Er zijn verschillende grensdetectiefilters ontwikkeld. Een goed grensdetectiefilter is de zogenaamde Sobel operator (Richards, 1986). Dit filter is toegepast op een panchromatisch beeld met een ruimtelijke resolutie van 2 m van studiegebied Groenraven.

## 2.5 Het digitale topografische bestand schaal 1 : 10 000

De Topografische Dienst in Emmen (TDN) vervaardigt de digitale topografische kaart schaal 1 : 10 000 (Top10-vector). De Top10-vector wordt met behulp van Intergraph software (Microstation) gemaakt en is een verzameling van meerdere files, te weten:

- deelbestand HZN: bevat alle vrijstaande bebouwing (vlakken),
- deelbestand SYM: bevat kartografische coderingen (puntsymbolen),
- deelbestand PAT: bevat kartografische coderingen (lijnsymbolen),
- deelbestand BAS: bevat topografische elementen (vlakken en centroïdes).

Om de Top10-vector binnen een Arc/Info-omgeving te kunnen gebruiken moet het bestand eerst omgezet worden van Intergraph-format naar Arc/Info-format. Arc/Info is een GIS-softwarepakket voor opslag, beheer, analyse en presentatie van ruimtelijke gegevens. De veel gebruikte afkorting GIS staat voor Geografisch InformatieSysteem. De standaardconversiemogelijkheden binnen Arc/Info (IGDSARC) zijn niet geschikt om de Top10-vector als GIS-bestand te importeren. De topografie wordt wel ingelezen maar de koppeling met de attribootgegevens gaat hierbij verloren. Om de Top10-vector als GIS-bestand beschikbaar te krijgen is voor het ministerie van LNV door de Dienst Landelijk Gebied (DLG) een conversieroutine ontwikkeld waarmee de attribootgegevens op de juiste wijze verbonden worden met de topografische gegevens. Het resultaat van deze conversie is vier Arc/Info-bestanden, te weten:

- *Deelbestand vlak*. Dit deelbestand bevat alle topografische vlakelementen met zowel vlak- als lijnattribootgegevens (bijv. vlak = weiland, vlakgrens = weg). Aan de vlakgrens kunnen meerdere lijn attribootgegevens gekoppeld zijn (TDN noemt deze bijcodes). Dit betreft topografische lijnelementen die evenwijdig aan een vlakgrens lopen. De geometrie van deze lijn wordt niet apart opgeslagen. Er wordt alleen aangegeven of de lijn links of rechts naast de vlakgrens ligt (bijv. vlakgrens = weg, lijn links = sloot, lijn rechts = bomenrij).
- *Deelbestand lijn*. Dit deelbestand bevat alle topografische lijnelementen die geen relatie hebben met een vlakgrens.
- *Deelbestand huis*. Dit deelbestand bevat alle vrijstaande bebouwing.
- *Deelbestand symb*. Dit deelbestand bevat alle topografische puntelementen (bijv. los staande bomen).

Momenteel vinden onderhandelingen plaats met de TDN om de conversie naar Arc/Info direct door de TDN te laten uitvoeren in een format dat beter aansluit bij veel GIS-toepassingen.

Voor het studiegebied Paasloo is het Top10-vectorkaartblad 16D noord, opname 1992, en het analoge kaartblad 16D noord (1 : 10 000), uitgave 1994, gebruikt. Voor het studiegebied Groenraven is het Top10-vectorkaartblad 32C zuid, opname 1995, gebruikt. Tussen de opname van de luchtfoto's en publicatie van de Top10-vector van hetzelfde gebied ligt een periode van 6 à 16 maanden. Het is de bedoeling dat vanaf 1 januari 1998 alle bladen eenmaal in de vier jaar worden geactualiseerd.

**Tabel 6 Relevante landschapselementen en overeenkomende Top10-vectorklassen en -coderingen (TDN-kode)**

Landschapselement	TDN-kode	Top10-vectorklasse
(on)verharde wegen smaller dan 6 m en tussen 6 en 10 m breed	230*	hoofdverbindingsweg, breder dan 7 m
	240*	hoofdverbindingsweg, breedte tussen 4 en 7 m
	250*	hoofdverbindingsweg, smaller dan 4 m
	290*	weg voor autoverkeer, breder dan 7 m
	310*	verharde weg, breder dan 7 m
	320*	verharde weg, breedte tussen 4 en 7 m
	330*	verharde weg, breedte smaller dan 4 m
	338*	onverharde weg met standaard breedte (aslijn v/d weg)
	339*	onverharde weg met standaard breedte (contouren v/d weg)
	341*	gedeeltelijk verharde weg
	342*	onverharde weg, belangrijke landweg
	343*	onverharde weg
	360*	fietspad breder dan 2 m, verhard
	363*	fietspad behorend bij weg
364*	pad / voetpad	
verspreide bebouwing	100*	gebouw
	107*	kas/warenhuis
dijken	710*	dijk hoger dan 2,5 m
	711*	dijk tussen 1-2,5 m hoog
	712*	dijk in aanleg
	713*	dijk in ontwerp
(aarden) wallen, stijranden	714*	boezemkade
	715*	wal / kade
	722*	hoogteverschil
	725*	aardrand / steile kant
	726*	talud / rechte arcering, hoogteverschil > 2,5 omhoog
	727*	talud / rechte arcering, hoogteverschil > 2,5 omlaag
	728*	schuine arcering, hoogteverschil > 2,5 omhoog
729*	schuine arcering, hoogteverschil > 2,5 omlaag	
greppels	600*	greppel / droge sloot
sloten tussen 1 en 3 m en tussen 3 en 6 m	601*	sloot smaller dan 3 m
	602*	sloot met breedte tussen 3 en 6 m
sloten breder dan 6 m poel (kleiner dan 0,5 ha)	611*	water (klein) / oeverlijn
moeras en riet (kleiner dan 0,5 ha)	630*	dras, moeras
	631*	riet
heggen	511*	heg / smalle houtrand
griend	507*	griend
bomen (solitair of in groepjes)	500*	losse boom
	519*	bomen in de middenberm van een weg
bomenrij bomensingels (smaller dan 5m, tussen t en 10 m en breder dan 10 m) bosje (tussen 0,1 en 0,5 ha en 0,5 en 2 ha)	502*	loofbos
	505*	naaldbos
	506*	gemengd loof / naaldbos
	512*	bomenrij
	513*	bomenrij langs beide zijden van een weg of waterloop
519*	bomen in de middenberm van een weg	
boomgaard (tussen 0,1 en 0,5 ha en 0,5 en 2 ha)	522*	boomgaard

\* : getal van 0 tot 9 waarmee codesoort aangegeven wordt, dit is niet van belang voor de klasse.

De landschapselementen die binnen dit project van belang zijn, kunnen in een of meerdere deelbestanden voorkomen (bijv. een weg kan als vlak of lijn in het deelbestand vlak voorkomen of als lijn in het deelbestand lijn). Tabel 6 bevat een overzicht van de voor dit onderzoek relevante landschapselementen en de overeenkomende klassen uit de Top10-vector (Topografische Dienst, 1995a). In deze tabel wordt voor deze Top10-vector klassen de bijbehorende TDN-codering gegeven.

De geometrische nauwkeurigheid van de Top10-vector bedraagt ca. 5 m (0,5 mm tekennauwkeurigheid). De geometrische nauwkeurigheid van de Top10-vector is hierdoor niet voldoende voor een goede geometrische correctie van satellietbeelden met een ruimtelijke resolutie van 1-5 m. Wordt de Top10-vector wel gebruikt als bron voor de geometrische correctie van de HRS-beelden dan kunnen afwijkingen tot 5 m voorkomen. Het detailniveau van de hoge ruimtelijke resolutie (bijv. 1 m) blijft wel behouden.

## **2.6 Methode van onderzoek**

In deze studie is nagegaan welke van de in tabel 1 beschreven kleine landschapselementen herkenbaar en/of waarneembaar zijn op de gesimuleerde HRS-beelden en in hoeverre deze landschapselementen afgeleid kunnen worden uit de Top10-vector. Tevens is de informatie uit de digitale luchtfoto's vergeleken met die uit de Top10-vector. Hiertoe is een aantal referentiegegevens geselecteerd die systematisch zijn vergeleken met de gesimuleerde HRS-beelden en de Top10-vector. De referentiegegevens zelf zijn verzameld in het veld en afgeleid uit de originele analoge luchtfoto's. De breedtes van de lijnvormige landschapselementen zijn geschat in het veld en met behulp van de originele en digitale luchtfoto's. De oppervlaktes van de vlakvormige landschapselementen zijn geschat in het veld en vanaf de 1 : 10 000 topografische kaart. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat de nauwkeurigheid van de schatting van de breedte van lijnvormige elementen vanaf een digitale luchtfoto toeneemt naarmate de ruimtelijke resolutie groter en derhalve de pixelgrootte kleiner is en naarmate het lijnvormige element breder is. Wanneer de schatting van de breedte is uitgevoerd met behulp van digitale luchtfoto's, dan zijn hier beelden bij gebruikt met een ruimtelijke resolutie van 1 m. De nauwkeurigheid van de schatting ligt in de orde van 1 pixel. Voor het maken van een nauwkeurige schatting van de breedte is het noodzakelijk in te zoomen op pixelniveau, hetgeen tijdrovend is. Bij lijnvormige beplanting heeft de breedte betrekking op de van boven waargenomen kronen.

De gesimuleerde HRS-beelden, i.c. digitale luchtfoto's, zijn visueel geïnterpreteerd, hoewel op één beeld ook een grensdetectiefilter is toegepast (par. 2.4). Naast kleur of grijswaarde zijn grootte, textuur, vorm, structuur en ligging belangrijke karakteristieken voor het onderscheiden van landschapselementen. Bij de interpretatie van de digitale luchtfoto's vanaf het beeldscherm is aanvankelijk één pixel weergegeven met één beeldpunt op het scherm. Op deze wijze wordt een bepaalde oppervlakte op de foto weergegeven in evenredigheid met de 'schaal' van de foto. Dat betekent dat een oppervlak in het veld van 1 hectare bij een pixelgrootte van 1 m een vijfmaal groter oppervlak op het beeldscherm beslaat dan bij een pixelgrootte



van 5 m. Bij kleine pixels (tot ca. 2 m) is de interpretatie direct op het scherm uitgevoerd. Bij grotere pixels is, afhankelijk van de pixelgrootte en het te karteren landschapselement, het beeld bij de eigenlijke interpretatie 2 à 4 maal uitvergroot. Het uitvergrooten van een beeld bij de interpretatie verbetert de kwaliteit van de kartering, maar doet de interpretatietijd van een beeld aanzienlijk toenemen.

Om na te gaan welke informatie over de genoemde kleine landschapselementen is opgeslagen in de Top10-vector en ter vergelijking van de uit de digitale luchtfoto's afgeleide informatie met die uit de Top10-vector zijn diverse elementen uit de Top10-vector geprojecteerd op de digitale luchtfoto's.

### **3 Herkenbaarheid en waarneembaarheid van kleine landschapselementen**

#### **3.1 Gesimuleerde hoge-resolutiesatellietbeelden**

Voor een aantal met digitale luchtfoto's gesimuleerde HRS-beelden is beoordeeld welke kleine landschapselementen herkenbaar en/of waarneembaar zijn (tabel 7 en 8). De resultaten zijn geheel gebaseerd op visuele interpretatie van de betreffende digitale luchtfoto's. Wanneer een landschapselement niet herkenbaar is kan deze wel waarneembaar zijn. In het laatste geval kunnen twee of meer waarneembare landschapselementen, bijvoorbeeld lijnvormige beplantingen en sloten, niet van elkaar worden onderscheiden. De waarneembaarheid is alleen beschouwd indien een landschapselement matig tot niet herkenbaar is.

De analyse is uitgevoerd met panchromatische (tabel 7), true color en false color luchtfoto's. De resultaten van de analyse van de true color en false color luchtfoto's zijn in één tabel opgenomen (tabel 8). Er is geen nader onderscheid gemaakt tussen verschillende opnameperioden. Indien de fotosoort en/of de opnameperiode een duidelijke rol speelt bij de herkenbaarheid en waarneembaarheid, dan is dat vermeld in het commentaar na de tabellen. Hieronder worden de resultaten nader becommentarieerd.

#### ***Algemeen***

Kleine landschapselementen zijn alleen waarneembaar op digitale luchtfoto's indien deze elementen zich spectraal onderscheiden van het aangrenzende grondgebruik. Dit is voor alle te onderscheiden elementen meestal het geval met uitzondering van de klasse reliëf. Kleine landschapselementen in de klasse reliëf (d.w.z. dijken, (aarden) wallen en steilranden lager dan 1 m en hoger dan 1 m) zijn niet op luchtfoto's waar te nemen en zijn daarom niet opgenomen in de tabellen 7 en 8. Grienden worden niet in de studiegebieden aangetroffen.

Bij (gesloten) lijnvormige beplanting is onderbegroeiing niet waar te nemen op verticaal genomen foto's. Daarnaast zijn heggen vaak niet als zodanig te onderscheiden. Daarom is besloten de oorspronkelijke klassen bomenrijen, bomensingels (met onderbegroeiing) en heggen (tabel 1) samen te voegen en verder aan te duiden met lijnvormige beplantingen.

Verschillende te karteren lijnvormige elementen zijn onderverdeeld in verschillende breedteklassen (tabel 1). De breedtes van de lijnvormige landschapselementen zijn geschat in het veld en met behulp van de originele en/of digitale luchtfoto's (par. 2.6). Voor de schatting van de breedtes vanaf digitale luchtfoto's is gebruik gemaakt van beelden met een ruimtelijke resolutie van 1 m. De nauwkeurigheid van de schatting ligt in de orde van 1 pixel. Bij lijnvormige beplanting heeft de breedte betrekking op de van boven waargenomen kronen. De oppervlaktes van de vlakvormige landschapselementen zijn geschat in het veld en vanaf de 1 : 10 000 topografische kaart.

*Tabel 7 Herkenbaarheid (H) en Waarneembaarheid (W) van kleine landschapselementen op digitale panchromatische luchtfoto's met ruimtelijke resoluties van 1-5 m: ++ (zeer goed), + (goed), ± (redelijk/matig), - (slecht) en -- (niet). Indien een landschapselement (zeer) goed herkenbaar is, dan is de (zeer goede) waarneembaarheid niet vermeld (blanco in tabel). Voor een goed begrip van de interpretatieresultaten moet ook de toelichting na de tabellen worden geraadpleegd*

Landschapselement	1 m		2 m		3 m		4 m		5 m	
	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W
Wegen < 6 m	++		++		++		++		++	
6-10 m	++		++		++		++		++	
Verspreide bebouwing	++		++		++		++		++	
Water:										
greppels	++		++		+	++	+	++	±	++
sloten 1-3 m	++		++		±	++	-	++	--	++
3-6 m	++		++		++		+	++	±	++
> 6 m	++		++		++		++		++	
poelen < 0,5 ha	++		++		++		++		++	
riet en hooilanden in moeras < 0,5 ha	-	++	-	++	-	++	-	++	-	++
Lijnvormige beplanting:										
< 5 m	++		++		++		+	++	±	++
5-10 m	++		++		++		++		+	++
> 10 m	++		++		++		++		++	
Overige beplanting:										
bomen: solitair	++		++		+	++	+	++	-	++
in groepjes	++		++		+	++	+	++	-	++
bosjes 0,1-0,5 ha	++		++		++		++		++	
0,5-2 ha	++		++		++		++		++	
boomgaarden < 0,5 ha	±	+	-	±	--	--	--	--	--	--
0,5-2 ha	±	+	-	±	--	--	--	--	--	--

**Tabel 8 Herkenbaarheid (H) en Waarneembaarheid (W) van kleine landschapselementen op digitale full color and false color luchtfoto's met ruimtelijke resoluties van 1, 4, 8 en 10 m.: ++ (zeer goed), + (goed), ± (redelijk/matig), - (slecht) en -- (niet). Indien een landschapselement (zeer) goed herkenbaar is, dan is de (zeer goede) waarneembaarheid niet vermeld (blanco in tabel). Voor een goed begrip van de interpretatieresultaten moet ook de toelichting na de tabellen worden geraadpleegd**

Landschapselement	1 m		4 m		8 m		10 m	
	H	W	H	W	H	W	H	W
Wegen < 6 m	++		++		±	+	--	-
6-10 m	++		++		++		++	
Verspreide bebouwing	++		++		++		+	++
Water:								
greppels	-	±	--	-	--	--	--	--
sloten 1-3 m	+	++	-	±	--	-	--	--
3-6 m	++		±	++	--	+	--	±
> 6 m	++		++		±	++	-	+
poelen < 0,5 ha	++		++		±	++	-	++
riet en hooilanden in moeras < 0,5 ha	-	++	-	++	-	++	-	++
Lijnvormige beplanting:								
< 5 m	++		+	++	-	++	--	++
5-10 m	++		++		-	++	--	++
> 10 m	++		++		++		++	
Overige beplanting:								
bomen: solitair	++		-	+	--	--	--	--
in groepjes	++		-	+	--	--	--	--
bosjes 0,1-0,5 ha	++		++		±	++	-	++
0,5-2 ha	++		++		++		++	
boomgaarden < 0,5 ha	++	++	±	+	--	--	--	--
0,5-2 ha	++	++	±	+	--	--	--	--

### **Wegen**

De herkenbaarheid van een weg is sterk afhankelijk van de reflectie van de weg t.o.v. de reflectie van het aangrenzende grondgebruik. (Half) verharde wegen zijn over het algemeen goed herkenbaar vanwege de relatief hoge reflectie, terwijl onverharde wegen gemakkelijk kunnen worden verward met sloten of met het aangrenzende grondgebruik. Wanneer een (half) verharde weg temidden loopt van kale grond percelen is de herkenbaarheid geringer, vanwege de relatief hoge reflectie van kale grond. Daarnaast speelt de aanwezigheid van bebouwing vaak een belangrijke rol bij de herkenbaarheid van wegen. Wegen langs water zijn vaak moeilijk te onderscheiden, met name op panchromatische beelden. De waarde-oordelen in de tabellen 7 en 8 zijn van toepassing op (half) verharde wegen.

### **Verspreide bebouwing**

Boerderijen en bijbehorende gebouwen zijn over algemeen goed herkenbaar en waarneembaar. Pas bij een ruimtelijke resolutie van 10 m wordt de herkenbaarheid van individuele gebouwen minder. De ligging langs wegen, de vorm van de bebouwing en de aanwezigheid van erfbeplanting spelen een rol bij de herkenbaarheid en waarneembaarheid van bebouwing. Voor de herkenbaarheid en waarneembaarheid

van vakantiehuisjes in een bungalowpark is een ruimtelijke resolutie vereist van respectievelijk ca. 3 en 5 m. De waardeoordelen in de tabellen 7 en 8 zijn van toepassing op boerderijen.

### ***Water***

*Greppels* komen in studiegebied Groenraven duidelijk naar voren op de panchromatische foto's met een hoge ruimtelijke resolutie uit het vroege voorjaar. Op de later in het groeiseizoen opgenomen full color foto's zijn de greppels nauwelijks waarneembaar. Mogelijk heeft dit te maken met nattere omstandigheden in het voorjaar.

*Sloten* zijn niet of slecht waarneembaar indien ze grenzen aan gesloten lijnvormige beplanting of een weg. Sloten smaller dan 1 m zijn niet te onderscheiden van greppels. Wanneer de pixel van het digitale beeld groter wordt dan de breedte van de sloten neemt de herkenbaarheid en waarneembaarheid sterk af (zie ook onder lijnvormige beplanting).

*Moeras en riet* (kleiner dan 0,5 ha) is in tabel 1 als klein landschapselement opgenomen. In de praktijk zijn in moerasgebieden echter drie hoofdgrondgebruiksklassen te onderscheiden: riet en hooilanden, bos en water. 'Riet en hooilanden' zijn als aparte klasse in de tabellen 7 en 8 opgenomen in plaats van 'moeras en riet'. De klassen bos en water zijn al als aparte klassen onderscheiden. Riet en hooilanden zijn als aparte klassen over het algemeen slecht van elkaar te onderscheiden.

*Poelen* (kleiner dan 0,5 ha) onderscheiden zich in landbouwgebied spectraal over het algemeen uitstekend van het aangrenzende grondgebruik. De herkenbaarheid en waarneembaarheid van poelen zijn daarom meestal vooral afhankelijk van de grootte van de poel ten opzichte van de pixelgrootte van de digitale luchtfoto. Voor herkenbaarheid moet de poel minimaal ca. 5 bij 5 pixels groot zijn. Voor waarneembaarheid zijn aanzienlijk minder pixels vereist. Het minimaal aantal vereiste pixels voor herkenbaarheid van open water sluit goed aan bij de aantallen van 5 bij 5 en 31 genoemd door Grunblatt (1987) en Townshend en Justice (1981), die de classificatie van spectraal homogene landbouwpercelen bestudeerden. In de praktijk hangt de minimale grootte van spectraal homogene vlakken, die nodig is voor automatische en visuele classificatie, sterk af van het contrast met het omringende grondgebruik. De in tabellen 7 en 8 gegeven waarde-oordelen zijn van toepassing op een poel van ca. 25 m x 30 m.

### ***Lijnvormige beplanting***

Lijnvormige beplantingen zijn over het algemeen goed herkenbaar aan de hand van structuur, vorm en schaduw. Met name in het (vroege) voorjaar en najaar vertonen de lijnvormige beplantingen lange schaduwen. Dezen vergroten de herkenbaarheid sterk. Wanneer schaduwen in het verlengde van een lijnvormige beplanting liggen dan is de herkenbaarheid echter aanzienlijk minder. Later in het groeiseizoen draagt het in blad zijn van de bomen bij aan de herkenbaarheid. Over het algemeen neemt echter als gevolg van verminderde schaduw later in het seizoen de herkenbaarheid van lijnvormige beplanting af. De dichtheid/openheid van de lijnvormige beplanting (afstand tussen de afzonderlijke bomen) is duidelijk waarneembaar. Wanneer de pixels van het digitale beeld echter groter zijn dan ca. de breedte van de lijnvormige beplanting dan neemt de herkenbaarheid sterk af en treedt verwarring op met sloten. Recent aangeplante lijnvormige beplantingen zijn niet waarneembaar.

Wegbeplanting en erfbeplanting zijn aan de hand van de context (bebouwing langs weg, zijwegen, vorm bebouwing e.d.) over het algemeen goed vast te stellen. Het aantal waarneembare rijen bij bomenrijen is sterk afhankelijk van de bladontwikkeling, de afstand tussen de rijen, de grootte van de bomen en de afstand tussen de bomen in een rij.

### ***Overige beplanting***

*Grienden* (tussen 0,1 en 0,5 ha en 0,5 en 2 ha) zijn niet aanwezig in beide studiegebieden.

*Bomen* (solitair of in groepjes). De herkenbaarheid van solitaire en groepjes bomen is sterk afhankelijk van vorm, structuur, grootte, afstand tussen de bomen en schaduw. Bij lage ruimtelijke resolutie (d.w.z. grote pixels) ten opzichte van de boomgrootte gaat de informatie over structuur en textuur verloren en is verwarring mogelijk met water. Voor herkenbaarheid moeten (solitaire) bomen minimaal ca. 5 bij 5 pixels groot zijn. Voor waarneembaarheid zijn aanzienlijk minder pixels vereist (zie ook onder poelen). De in tabellen 7 en 8 gegeven waardeoordelen zijn van toepassing op solitaire en groepjes bomen in beide studiegebieden. Een groepje bomen betreft veelal los van elkaar staande bomen.

*Bosjes* (tussen 0,1 en 0,5 ha en 0,5 en 2 ha) kunnen over het algemeen met hoge nauwkeurigheid worden geclassificeerd met behulp van digitale luchtfoto's. Naast de spectrale waarden spelen ook de structuur en textuur een rol bij de classificatie. Bij lage ruimtelijke resolutie (d.w.z. grote pixels) ten opzichte van de boomgrootte gaat de informatie over structuur en textuur verloren en is verwarring mogelijk met water. Voor herkenbaarheid moet het bosje minimaal ca. 5 bij 5 pixels groot zijn (zie ook onder poelen). Voor waarneembaarheid zijn aanzienlijk minder pixels vereist. De in tabellen 7 en 8 gegeven waarde-oordelen voor de klasse 0,1-0,5 ha zijn van toepassing op een bosje van ca. 0,1 ha.

*Boomgaarden* (tussen 0,1 en 0,5 ha en 0,5 en 2 ha) komen alleen voor in studiegebied 'Groenraven'. Er zijn hoofdzakelijk laagstamboomgaarden aanwezig. Een enkele hoogstamboomgaard is goed herkenbaar. Er kan echter enige verwarring optreden met bos. De herkenbaarheid en waarneembaarheid van laagstamboomgaarden is zeer gering (panchromatische foto van 7 maart 1995) tot matig (full color foto waarschijnlijk uit mei, jaartal onbekend). De belangrijkste oorzaak van de slechte herkenbaarheid en waarneembaarheid op het panchromatische beeld is waarschijnlijk de vroege opnameperiode. De bomen zijn laag en staan nog niet in blad. Hierdoor is er nauwelijks sprake van schaduw en is voornamelijk kale grond en grasland waarneembaar. De herkenbaarheid en waarneembaarheid nemen toe naarmate het groeiseizoen vordert.

### ***Conclusies***

De spectrale resolutie heeft over het algemeen weinig invloed op de herkenbaarheid en waarneembaarheid van de diverse kleine landschapselementen, in tegenstelling tot de ruimtelijke resolutie en de opnameperiode, die respectievelijk een zeer grote en aanzienlijke invloed hebben. Het optreden van schaduw vergroot de herkenbaarheid en waarneembaarheid van opgaande elementen aanzienlijk. Bij begroeiing heeft ook het in blad zijn een positieve invloed op de herkenbaarheid en waarneembaarheid. Dat deze effecten niet altijd in de tabellen 7 en 8 tot uiting komen, heeft te maken met het feit dat vaak foto's van dezelfde spectrale resolutie zijn gebruikt die in

verschillende perioden zijn opgenomen. Bovendien wordt bij veel beplanting de geringe schaduw in het midden van het groeiseizoen enigszins gecompenseerd door het volledig in blad zijn van de bomen.

Het naast elkaar voorkomen van lijnvormige elementen vermindert de herkenbaarheid en waarneembaarheid vaak aanzienlijk. Contextuele informatie kan soms behulpzaam zijn voor een juiste classificatie.

In z'n algemeenheid kan worden gesteld dat veel kleine landschapselementen met hoge nauwkeurigheid uit (gesimuleerde) HRS-beelden kunnen worden afgeleid. Het is echter niet goed mogelijk om voor de kartering van kleine landschapselementen een algemene voorkeur uit te spreken voor een bepaalde ruimtelijke resolutie en opnameperiode. In de praktijk zal de keuze sterk afhangen van de gewenste informatie en het gewenste detail. De informatie in de tabellen 7 en 8 kan daarbij een leidraad zijn.

### **3.2 Combinatie van beelden en toepassing van grensdetectiefilters**

Met behulp van de IHS- en PC-transformatietechnieken (par. 2.4) is voor het studiegebied Paasloo een false color luchtfoto met een ruimtelijke resolutie van 4 m gecombineerd met een panchromatische foto met een ruimtelijke resolutie van 2 m. Na combinatie met behulp van de IHS-transformatietechniek wijken de kleuren sterk af van die op de originele false color luchtfoto. Dit heeft echter geen gevolgen voor de herkenbaarheid en waarneembaarheid van kleine landschapselementen. De kleurveranderingen doen eventuele spectrale overlap met aangrenzende grondgebruiksklassen over het algemeen niet toenemen. Na combinatie met het panchromatische beeld (ruimtelijke resolutie van 2 m) is het waarneembare detail in het gecombineerde beeld (4 m) groter dan in het originele false color beeld (4 m). Het gecombineerde beeld heeft echter géén meerwaarde vergeleken met het originele panchromatische beeld. Deze conclusie onderschrijft het in par. 3.1 gevonden resultaat dat de spectrale resolutie weinig invloed heeft op de herkenbaarheid en waarneembaarheid van kleine landschapselementen.

Toepassing van de PC-transformatietechniek resulteert in een gecombineerd beeld waarvan de kleuren slechts in geringe mate afwijken van het originele false color beeld. Dit betekent dat het panchromatische beeld spectraal nagenoeg gelijk is aan de eerste PC-band. Overigens gelden voor de bruikbaarheid van het gecombineerde beeld dezelfde conclusies als zijn getrokken bij de analyse van de bruikbaarheid van het gecombineerde beeld dat ontstaan is na toepassing van de IHS-transformatietechniek. Het ligt daarom voor de hand om bij de kartering van kleine landschapselementen alleen originele beelden te gebruiken. Toepassing van tijdrovende transformatietechnieken voor het combineren van beelden met verschillende ruimtelijke en spectrale resoluties kan daardoor achterwege blijven. Bij de keuze van de te gebruiken beelden is de gewenste ruimtelijke resolutie van doorslaggevend belang (par. 3.1).

Op een panchromatische luchtfoto (ruimtelijke resolutie: 2 m) uit maart 1995 van het studiegebied Groenraven is een SOBEL-operator als grensdetectiealgoritme toegepast, met als doel automatische detectie van grenzen van landschappelijke elementen (par. 2.4). Toepassing van het grensdetectiealgoritme levert inderdaad een zeer groot deel van de grenzen van de relevante landschapselementen op. De grenzen zijn echter vaak niet geheel gesloten, d.w.z. dat lokaal één of meer grenspixels niet als zodanig zijn gedetecteerd. De verkregen polygonen vertonen daardoor gaten, hetgeen niet acceptabel is bij bewerking in een GIS. Ook worden er op veel plaatsen (bijvoorbeeld: spectrale variaties binnen een perceel, gewasovergangen) grenzen waargenomen die niet relevant zijn voor deze studie. Om het resultaat van het grensdetectiealgoritme bruikbaar te maken voor het onderhavige onderzoek moeten veel interactieve correcties worden uitgevoerd. Ook moet aan alle waargenomen landschappelijke elementen een code worden toegewezen. Door de extra interactief uit te voeren nabewerkingen en doordat de meeste grenzen van kleine landschappelijke elementen visueel duidelijk te onderscheiden zijn, heeft toepassing van een grensdetectiealgoritme geen meerwaarde boven een volledige interactieve classificatie.



## **4 Vergelijking van informatie uit gesimuleerde hoge-resolutiesatellietbeelden met die uit de Top10-vector**

### **4.1 Werkwijze**

In tabel 6 (par. 2.5) is een overzicht gegeven van de landschapselementen die binnen dit project relevant zijn en de overeenkomende klassen uit de Top10-vector. Uit deze tabel valt af te leiden dat er slechts een paar landschapselementen niet direct uit de Top10-vector geselecteerd kunnen worden. Dit zijn: sloten breder dan 6 m, poel kleiner dan 0,5 ha (valt binnen de Top10-vector klasse 'water') en bomensingels (vallen binnen de Top10-vector klassen 'bomenrij' of 'bos').

Om inzicht te krijgen in de manier waarop de landschapselementen in de Top10-vector voorkomen en wat de toegevoegde waarde van HRS-beelden kan zijn, zijn elementen uit de Top10-vector afgebeeld op luchtfoto's van de studiegebieden Paasloo (fig. 4, hoofdstuk 2) en Groenraven. Om zo goed mogelijk de werkelijke situatie te kunnen beoordelen, zijn hiervoor luchtfoto's met een ruimtelijke resolutie van 1 m gebruikt. De luchtfoto's van beide studiegebieden zijn opgenomen in 1995, terwijl de foto's, die voor het maken van de Top10-vector gebruikt zijn, zijn opgenomen in respectievelijk 1992 en 1995. Hierdoor kunnen voor het studiegebied Paasloo ook eventuele veranderingen in de tijd waargenomen worden. Door klassen uit de Top10-vector te selecteren en deze over de luchtfoto af te beelden kan een goed beeld verkregen worden van de volledigheid van de Top10-vector, de mogelijke aanvullende informatie uit de digitale luchtfoto's en de bewerkingen die uitgevoerd moeten worden om de landschapselementen uit de Top10-vector te selecteren.

### **4.2 Resultaten**

#### ***Wegen***

Wegen komen in drie breedteklassen voor in de Top10-vector: smaller dan 4 m, tussen 4 en 7 m en breder dan 7 m. Dit sluit matig aan bij de definitie van de landschapselementen binnen dit project: smaller dan 6 m en tussen 6 en 10 m. De volledigheid is goed. Het verdient aanbeveling de definities van de wegen beter op elkaar te doen aansluiten.

#### ***Verspreide bebouwing***

Bebouwing is opgeslagen in het deelbestand *huis*. Dit deelbestand bevat alle bebouwing met een permanent karakter. In het gebied Paasloo komen meerdere campings voor. Deze zijn in de Top10-vector niet terug te vinden. Op de analoge kaart staat één camping wel aangegeven door middel van de annotatie "camping". Op de luchtfoto zijn deze campings goed te zien, ook het patroon van de 'bebouwing' (caravans) is goed te herkennen. Op de luchtfoto is tevens een camping in aanleg te zien. Aangezien de informatie uit de Top10-vector gebaseerd is op luchtfoto's uit 1992, ontbreekt deze informatie hierin.

### **Water**

Waterlopen breder dan 6 m zijn in de Top10-vector opgenomen als water. Deze klasse wordt ook voor plassen en meren gebruikt. Het is hierdoor niet mogelijk om bijvoorbeeld kanalen direct te selecteren. De volledigheid is goed.

### **Lijnvormige beplanting**

Bij het afbeelden van de Top10-vector klasse 'bomenrij' op de luchtfoto valt het op dat deze klasse maar een beperkte selectie is van alle lijnvormige beplantingen die op de luchtfoto te zien zijn. Wordt ook de Top10-vector klasse 'bos' afgebeeld dan blijkt dat hieronder de meeste lijnvormige beplantingen vallen. Wat op de luchtfoto duidelijk herkenbaar is als één rij bomen is in de Top10-vector vaak als een vlakelement bos opgenomen. Deze lijnvormige beplantingen hebben vaak wel een breedte van meer dan 4 m waardoor het onderscheid tussen een lijnvormig element en een vlak element een verschil in definitie kan zijn. In de richtlijnen van de Topografische Dienst (1995b) komen de volgende definities voor:

- *Bomenrij*: aantal bomen die in een rij staan, waarbij de onderlinge afstand tussen de bomen zodanig is dat de bomenrij tot manshoogte geen zichtbelemmering vormt (weergegeven als lijnelement).
- *Houtwal*: een combinatie van een dijk/wal met een heg/smalle houtrand (weergegeven als een topgrafisch vlakelement, opgevuld met een dijk/wal symbool).
- *Heg/smalle houtrand*: rij bomen, al of niet in combinatie met struiken, waarbij de onderlinge afstand of onderbegroeiing zodanig is dat tot minstens manshoogte het zicht belemmerd wordt (weergegeven als lijnelement).
- *Dijk/wal*: een dijk met een hoogte tussen 0,5 en 1,0 m (weergegeven als lijnelement).

Geprojecteerd op de foto blijkt dat de meeste lijnvormige beplantingen in studiegebied Paasloo in de Top10-vector zijn opgenomen als combinatie van 'bos' (vlakelement) en 'dijk'/'wal' (lijnelement). Slechts een klein deel van de lijnvormige beplantingen is opgenomen onder de klasse 'bomenrij'. In z'n algemeenheid zijn lijnvormige beplantingen in studiegebied Paasloo in de Top10-vector opgenomen als klassen 'heg/smalle houtrand', 'bomenrij' en als combinatie van de klassen 'bos' (vlak element) en 'dijk'/'wal' (lijn element). Aan de hand van de luchtfoto kunnen de Top10-vector klassen 'heg/smalle houtrand' en 'bomenrij' worden beschreven als niet aaneengesloten rijen bomen (fig. 4, hoofdstuk 2). De combinatieklasse 'bos' en 'dijk'/'wal' bestaat zowel uit aaneengesloten rijen bomen als uit niet aaneengesloten rijen bomen.

In figuur 4 is een aantal (opmerkelijke) locaties aangeduid met een cijfer ter indicatie hoe met name lijnvormige beplantingen in de Top10-vector zijn opgenomen:

- a: Op de foto is hier een bomenrij te zien. De Top10-vector geeft voor dit vlak een code voor weg en de rechter vlakgrens heeft een code voor bomenrij.
- b: Het verschil tussen heg/smalle houtrand en bomenrij is op de foto niet te zien.
- c: De bomenrijen langs de weg zijn in de Top10-vector niet opgenomen (op de analoge kaart, uitgave 1994 staan deze wel evenals op de luchtfoto van april 1996).
- d: De combinatie van bos (vlak element) en dijk/wal (lijn element) betreft hier een 'houtwal' in een bos.

- e: Deze bomenrij is alleen als vlakelement bos opgenomen (komt overeen met de analoge kaart, uitgave 1994).
- f: Dit vlak is in de Top10-vector opgenomen als weiland/grasland, terwijl het op de foto bos lijkt. Op de foto van april 1996 is tussen de bomen bebouwing te zien (camping?). Op de analoge kaart, uitgave 1994, staan in dit vlak losse bomen aangegeven. Deze komen niet voor in de Top10-vector.

Een groot deel van de lijnvormige beplantingen in studiegebied Paasloo kan alleen uit de Top10-vector geselecteerd worden door te zoeken naar de combinatie van de klassen 'bos' en 'dijk/wal'. Uit de vergelijking van de Top10-vector met de luchtfoto valt verder op dat de Top10-vector geen informatie bevat over de structuur van lijnvormige beplantingen en over de ruimtelijke rangschikking van de bomen. Ook bevatten als lijnen opgenomen lijnvormige beplantingen geen informatie over de breedte van de beplanting. De lijnvormige beplantingen kunnen open of dicht, onderbroken of aaneengesloten, smal of breed zijn. Deze informatie is op de luchtfoto duidelijk te zien (fig. 4, locatie b en c).

In het studiegebied Groenraven zijn (smalle) lijnvormige beplantingen in de Top10-vector opgeslagen als losse puntobjecten (met als code 'bomenrij' of 'losse boom') of als lijnelement (met als code 'heg/smalle houtrand' of 'bomenrij'). Het is niet duidelijk wanneer welke keuze de voorkeur heeft. De locaties van de puntobjecten komen niet overeen met de ruimtelijke rangschikking van de bomen. Eén puntobject kan staan voor een losse boom of voor tientallen meters bomenrij. Vanaf een luchtfoto is dat direct te zien. Enkele (delen van) lijnvormige beplantingen zijn in het geheel niet opgenomen in de Top10-vector. Daarnaast zijn er soms (delen van) lijnvormige beplantingen opgenomen die in werkelijkheid niet aanwezig zijn.

Worden de Top10-vector klassen 'losse boom', 'heg/smalle houtrand', 'bomenrij' en de combinatie van 'bos' met 'dijk/wal' als één landschapsklasse bekeken dan is de informatie in de Top10-vector vrij volledig. Slechts enkele lijnvormige beplantingen zijn niet opgenomen. Ook komt het voor dat een aaneengesloten rij bomen als bos opgenomen is. Hier ontbreekt dan de code voor dijk/wal, waardoor de bomenrij niet als zodanig uit de Top10-vector geselecteerd kan worden.

### ***Overige beplanting***

*Grienden* komen als klasse in de Top10-vector voor. De klasse komt echter niet in de studiegebieden voor.

*Bomen.* Voor het proefgebied Paasloo komen in geen van de Top10-vector-deelbestanden losse bomen voor terwijl deze in werkelijkheid wel voorkomen. Ook op de analoge kaart staan losse bomen aangegeven. De meest waarschijnlijke oorzaak hiervan is een fout in het bestand. In het Top10-vectorbestand van het studiegebied Groenraven komen losse bomen in grote getale voor. Uit de vergelijking met de luchtfoto blijkt deze klasse bijna volledig opgenomen te zijn in de Top10-vectorklassen 'losse boom', 'heg/smalle houtrand' en 'bomenrij'. Het is echter onduidelijk wanneer een boom in een van deze drie klassen wordt opgenomen (zie ook onder lijnvormige beplanting).

*Bosjes*, inclusief oppervlakte, zijn opgenomen in de Top10-vector en kunnen aan de hand van hun code en de oppervlakte geselecteerd worden. Uit de vergelijking met de luchtfoto blijkt dat bijna alle bosjes in de Top10-vector opgenomen zijn. In het studiegebied Paasloo komt het twee keer voor dat een gebied, dat op de foto duidelijk een bosje is, in de Top10-vector de code grasland heeft. Dit betreft beide keren open stukken bos waarbij voor één locatie op de analoge kaart losse bomen staan. Deze ontbreken echter in de Top10-vector. Een andere locatie betreft een erf met bomen met een oppervlakte van 0,2 ha. Wat op de luchtfoto op een bosje lijkt, blijkt in de Top10-vector als een aantal losse bomen en een heg/smalle houtrand/smalle houtrand te zijn opgenomen.

*Boomgaarden*. In het studiegebied Groenraven komt een groot aantal boomgaarden voor. Al deze boomgaarden zijn in de Top10-vector opgenomen. Tevens bevat de Top10-vector een aantal boomgaarden die op de luchtfoto verdwenen zijn. Uit vergelijking van de luchtfoto uit 1995 met de meest recente analoge topografische kaart blijkt dat de ligging van boomgaarden in studiegebied Groenraven redelijk aan verandering onderhevig is.

### **Conclusie**

Er kan worden geconcludeerd dat de Top10-vector veel informatie bevat over kleine landschapselementen. Sommige landschapselementen zijn direct uit de Top10-vector te selecteren, zoals wegen, bebouwing en sloten. Andere elementen kunnen alleen met behulp van procedures uit de Top10-vector geselecteerd worden. Zo hebben kanalen breder dan 6 m de code voor water en kunnen deze alleen aan de hand van hun vorm onderscheiden worden van plassen. Wellicht kan een procedure die kijkt naar de verhouding tussen omtrek en oppervlakte een lijnvormig element water (kanaal) onderscheiden van een niet-lijnvormig element water (plas). Lijnvormige beplantingen zijn op diverse wijzen (namelijk als losse boom, heg/smalle houtrand, bomenrij, bos of bos in combinatie met dijk/wal) opgeslagen in de Top10-vector. Het selecteren van deze elementen uit de Top10-vector is dan ook een omvangrijk proces. In studiegebied Paasloo is een groot deel van de lijnvormige beplantingen in de Top10-vector niet als lijnelement opgeslagen maar als een combinatie van een vlakelement (bos) en een lijnelement (wal/kade).

Het gebruik van een luchtfoto (of HRS-beeld) naast de Top10-vector kan belangrijke extra informatie over landschapselementen verschaffen. Dat betreft in de eerste plaats de actualiteit van de foto's. De informatie uit een Top10-vectorkaartblad kan enige jaren oud zijn, terwijl luchtfoto's, of in de nabije toekomst HRS-beelden, meestal van recentere datum beschikbaar zijn. Daarnaast kan uit een luchtfoto (of HRS-beeld) ook aanvullende informatie over landschapselementen verkregen worden. Zo zijn bijvoorbeeld campings niet in de Top10-vector opgenomen en is uit een luchtfoto meer informatie over de breedte en structuur van lijnvormige beplantingen en over de ruimtelijke rangschikking van de bomen af te leiden. Door (elementen uit) de Top10-vector te projecteren op de HRS-beelden, kan de gewenste informatie snel en gericht uit de beelden worden afgeleid.

De resultaten van dit onderzoek in de studiegebieden Groenraven en Paasloo bevestigen de conclusies van Rumpff (1991) omtrent de geringe betrouwbaarheid

van de kartering van lijnvormige beplanting op de topografische kaart slechts in geringe mate. Grote verschillen tussen de lijnvormige beplantingen in de Top10-vector enerzijds en op luchtfoto's en in het veld anderzijds zijn niet aangetroffen. Wel verschaffen de Top10-vector en luchtfoto's (of HRS-beelden) andere thematische informatie. Gezien de gevonden verschillen tussen de wijzen waarop lijnvormige beplantingen in beide studiegebieden zijn opgeslagen, verdient het aanbeveling ook in enkele andere gebieden na te gaan hoe lijnvormige beplantingen in de Top10-vector zijn opgenomen.

## **5 Nadere discussie en aanbevelingen**

De nieuwe generatie HRS-beelden met een ruimtelijke resolutie in de orde van 1 tot 10 m verschaft aanzienlijk meer gedetailleerde informatie over kleine landschapselementen dan de huidige generatie HRS-beelden, d.w.z. Landsat-TM en SPOT. De herkenbaarheid en waarneembaarheid van kleine landschapselementen neemt hierdoor toe.

De beschikbare Russische HRS-foto's bleken dermate veel ruis te vertonen dat ze verder niet meer in het onderzoek zijn meegenomen. Omdat momenteel nog nauwelijks beelden van andere nieuwe generatie HRS-beelden beschikbaar zijn, zijn deze beelden in deze studie gesimuleerd met behulp van digitale luchtfoto's. Vergelijking van een gesimuleerde panchromatische opname met een ruimtelijke resolutie van 10 m met een panchromatisch SPOT-beeld met dezelfde resolutie heeft echter aangetoond dat het gesimuleerde beeld aanzienlijk meer details vertoont. Dit zou betekenen dat de gesimuleerde satellietbeelden een overschatting geven van de herkenbaarheid en waarneembaarheid van kleine landschapselementen. Naar verwachting zullen de verschillen tussen beide beelden bij kleinere pixels echter geringer zijn. Niettemin is het gewenst de resultaten van deze studie zo spoedig mogelijk te verifiëren aan de hand van werkelijke HRS-beelden. Tevens dient dan te worden nagegaan of de resultaten ook van toepassing zijn op zwartwitinfrarood-opnamen. Met de beschikbare foto's was het niet mogelijk om deze opnamen te simuleren.

In de Top10-vector is veel informatie beschikbaar over kleine landschapselementen. Sommige landschapselementen zijn direct uit de Top10-vector te selecteren, terwijl andere elementen alleen met behulp van nader te definiëren procedures uit de Top10-vector geselecteerd kunnen worden. Met name lijnvormige beplantingen zijn op diverse wijzen (losse boom, heg/smalle houtrand, bomenrij of bos in combinatie met dijk/wal) opgeslagen in de Top10-vector. Voor landschappelijke toepassingen van de Top10-vector lijkt het gewenst de opslag van lijnvormige beplantingen nader te structureren.

De meeste lijnvormige beplantingen zijn in de Top10-vector opgenomen. Wel verschaffen de Top10-vector enerzijds en luchtfoto's (of HRS-beelden) anderzijds andere thematische informatie. Verder zijn in beide studiegebieden de lijnvormige beplantingen op verschillende wijze opgeslagen. Het verdient daarom aanbeveling ook voor enkele andere gebieden na te gaan hoe lijnvormige beplantingen in de Top10-vector zijn opgenomen.

Het gebruik van een luchtfoto (of HRS-beeld) naast de Top10-vector kan belangrijke extra informatie over landschapselementen verschaffen. Dat betreft in de eerste plaats de actualiteit van de beelden. Luchtfoto's of HRS-beelden kunnen in principe snel worden verkregen, zodat actuele informatie beschikbaar is. Daarnaast kan uit een luchtfoto (of HRS-beeld) ook aanvullende thematische informatie over landschapselementen verkregen worden. Zo zijn bijvoorbeeld campings niet in de

Top10-vector opgenomen en is uit een luchtfoto meer informatie over de breedte en structuur van lijnvormige beplantingen en over de ruimtelijke rangschikking van de bomen af te leiden.

Voor de toetsing van het rijksbeleid is het belangrijk dat de landschapsmonitoring landsdekkend plaatsvindt. De veranderingen van het landschap moeten op efficiënte wijze kunnen worden gemeten. Voorgesteld wordt om de veranderingen aan de hand van de Top10-vector, eventueel bijgewerkt met het LGN-bestand, te meten (Dijkstra en Roos-Klein Lankhorst, 1995). Voor HRS-beelden is hier geen rol weg gelegd. Deze beelden moeten immers eerst nog worden geïnterpreteerd voordat een bruikbaar digitaal bestand beschikbaar is. Bovendien is uit dit onderzoek gebleken dat de meeste informatie over kleine landschapselementen die de HRS-beelden bevatten ook in de Top10-vector aanwezig is. De aanwezige, maar geringe, verschillen tussen beide databronnen zijn niet relevant voor toepassingen op landelijke schaal.

Om de identiteit van Nederlandse landschappen te waarborgen kent het landschapsbeleid naast een algemeen beleid op nationale schaal ook een specifiek beleid voor bepaalde gebieden: landschapsverbeteringsgebieden, gebieden behoud en herstel bestaande landschapskwaliteit, gebieden met een karakteristieke openheid en het gebied van de Centrale Stedenring. Het Meetnet Landschap dient uit te gaan van de doelstellingen van het landschapsbeleid van primair de rijksoverheid, maar dient tevens bruikbare informatie te leveren voor andere overheden en organisaties (provincies, gemeenten en particuliere organisaties) die belast zijn met de uitvoering van het landschapsbeleid. De bovengenoemde gebieden en de interessegebieden van de andere overheden en organisaties hebben over het algemeen een hoge prioriteit in het kader van het landschapsbeleid. Hier kan steeksproefgewijs of ad hoc, een hogere actualiseringsfrequentie in vergelijking met de Top10-vector van belang zijn. Ook voor de beantwoording van ad hoc vragen vanuit het beleid kan het gewenst zijn over zeer actuele gegevens te beschikken. Voor toepassing van het Meetnet Landschap in relatief kleine maar waardevolle gebieden kunnen bovendien de geconstateerde onnauwkeurigheden in de Top10-vector voor problemen zorgen. HRS-beelden kunnen aan veel van de genoemde bezwaren tegemoet komen. Vergeleken met de meeste bestaande satellietssystemen worden bij de hoge-resolutiesatellietssystemen de tijdsintervallen tussen mogelijke opnames van eenzelfde gebied aanmerkelijk ingekort. Dit wordt bereikt door de opnamehoek van de sensor instelbaar te maken. De korte intervallen vergroten de kans op het verkrijgen van goede beelden onder minder gunstige klimatologische omstandigheden.

In genoemde gevallen zouden hoge-resolutiesatellietssystemen in aanvulling op de Top10-vector gebruikt kunnen worden. Door de Top10-vector te projecteren op de HRS-beelden kan afhankelijk van de vraagstelling vanuit het beleid de specifiek gewenste informatie snel en gericht uit de satellietbeelden worden afgeleid en worden gepresenteerd op een op het beleid afgestemde wijze. Om dergelijke operationele toepassingen mogelijk te maken is een demonstratieproject gewenst, gebaseerd op werkelijke HRS-beelden en waarbij meerdere (potentiële) gebruikers bij het project worden betrokken. Voor operationele toepassing is het verder noodzakelijk dat de monitoring met HRS-beelden ingebed wordt in het landelijke monitoringsysteem dat gebaseerd is op de Top10-vector. De resultaten van beide benaderingen moeten consistent zijn en elkaar aanvullen.

## Literatuur

Bakermans, M.M.G.J., 1986. Gebruiksbeperkingen van de moderne topografische kaart bij onderzoek in het cultuurlandschap. Wageningen, PUDOC, Reeks Landschapsstudies deel 7.

Bleek, B.J. van en P.G. Lentjes, 1992. Verkrijgen van digitale ruimtelijke informatie uit luchtfoto's. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 228.

Chavez, P.S. Jr., S.C. Sides en J.A. Anderson, 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57: 295-303.

Dijkstra, H. en J. Roos-Klein Lankhorst, 1995. Haalbaarheidsstudie Meetnet Landschap. Wageningen, DLO-Staring Centrum/IKC Natuurbeheer, Rapport 390/Onderzoeksreeks Nota Landschap nr. 4.

Dirkx, G.H.P., A.A. de Veer, H.A.M. Thunnissen en F.B. van der Laan, 1989. SPOT voor landschap. Methode ontwikkeling voor het gebruik van SPOT-beelden voor de bijstelling van het gegevensbestand 'schaal van het landschap'. Delft, Beleidscommissie Remote Sensing, BCRS rapport 89-18.

ERDAS Inc., 1994. ERDAS Field Guide. Atlanta.

Farjon, J.M.J. (ed.), 1987. The suitability of remote sensing for surveying and monitoring landscape patterns. Volume A: Pilot study-Landsat imagery, Volume B: PEPS project no. 73-SPOT imagery. Wageningen, De Dorschkamp, Report 498/BCRS Report 87-12.

Fritz, L.W., 1996. The era of commercial earth observation satellites. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62: 39-45.

Grunblatt, J., 1987. An MTF analysis of Landsat classification error at field boundaries. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53: 639-643.

Laan, F.B. van der, J. Stolp, A.A. de Veer en W. Verhoef, 1986. Het gebruik van Landsat-TM opnamen voor detectie van ruimtebegrenzende elementen ten behoeve van de landschapsbeeldkartering. Amsterdam, Nationaal Lucht en ruimtevaartlaboratorium/Stichting voor Bodemkartering, NLR TR 86096 L.

Ministerie van LNV, 1992. Nota Landschap. Regeringsbeslissing Visie Landschap. Den Haag.

Richards, J.A., 1986. Remote sensing digital image analysis. An introduction. Berlin, Springer-Verlag.



Rumpff, E., 1991. Vorm, waarneming en beleving van lijnvormige beplantingen. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 114.

Shettigara, V.K., 1992. A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 58: 561-567.

Thunnissen, H.A.M., R. Olthof, P. Getz en L. Vels, 1992. Grongebruiksdata bank van Nederland vervaardigd met behulp van Landsat Thematic Mapper opnamen. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 168.

Topografische Dienst, 1995a. Produktbeschrijving TOP10vector. Emmen.

Topografische Dienst, 1995b. Regels voor de verkenning van topografische objecten. Emmen.

Townshend, J.R.G. en C. Justice, 1981. Information extraction from remotely sensed data; a user view. *International Journal of Remote Sensing* 2: 313-329.

#### ***Niet gepubliceerde bronnen***

Kuipers, H., 1985. Een sequentieel luchtfoto-onderzoek naar de kultuurlandschappelijke veranderingen in het ruilverkavelingsgebied Zieuwent-Harreveld. Nijmegen, Katholieke Universiteit. Scriptie.

Worldmap. Demo tape. Information in support of Jebco Worldmap data files.