

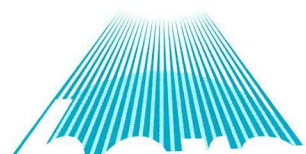
DI 192054

**NRSP-2**  
**01-38**



**Mogelijkheden voor  
inschakeling van hoge-  
resolutie satellietbeelden bij  
monitoring van verstedelijking**

**H. Kramer**  
**L. van den Berg**



**BCRS 01-38 MD**

**COMMISSIE REMOTE SENSING**



01 JUL 2003

**Mogelijkheden voor inschakeling van  
hoge-resolutie satellietbeelden bij  
monitoring van verstedelijking**

**H. Kramer  
L. van den Berg**

**NRSP-2 rapport 01-38  
NRSP-2-project 3.1/DE-08**

**ISBN 90 54 11 383 9**

**november 2001**

**Dit rapport beschrijft een project dat werd uitgevoerd in het kader van het Nationaal Remote Sensing Programma (NRSP-2) onder verantwoordelijkheid van de Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS)**

## Referaat

Voor het monitoren van verstedelijking zijn satellietbeelden met een hoge resolutie een veelbelovend hulpmiddel. Samen met drie instanties (de Rijksplanologische Dienst, de Directie Groene Ruimte en Recreatie van het ministerie van LNV en de gemeente Hilversum), die vanuit verschillend perspectief behoefte hebben aan monitoring, zijn de eerste Ikonos opnames als dergelijk hulpmiddel beproefd. Hiertoe zijn opnames van een drietal proefgebieden bestudeerd. Het rapport bespreekt op illustratieve wijze de mogelijkheden en beperkingen aan de hand van een opname van de gemeente Hilversum. Ten opzichte van de gangbare satelliet opnames vormt de resolutie van 1 meter (panchromatisch) en 4 meter (multispectraal) een enorme verbetering, maar voor gemeentelijke toepassingen is die toch niet voldoende. Om nieuwe bebouwing op te sporen wordt daar toch de voorkeur gegeven aan luchtfotografie.

Voor alle partijen wordt de meeste winst uit Ikonos beelden behaald bij semi-automatische berekening van het percentage groene bedekking per gebiedseenheid. Als jaarlijks in hetzelfde seizoen opnames beschikbaar komen, hetzij voor heel Nederland, hetzij voor deelgebieden waar veranderingen verwacht kunnen worden, dan kunnen veranderingen in dit percentage met redelijke betrouwbaarheid (geschat op circa 5%) worden aangeduid.

Vooralsnog is het grootste probleem bij Ikonos de zeer gebrekkige beschikbaarheid van bruikbare beelden. Het is nu nog onduidelijk of hier in de toekomst verbetering in optreedt.

*Trefwoorden:* verstedelijking, remote sensing, groene ruimte, monitoring, NDVI, Ikonos.



## Inhoud

1	Inleiding .....	11
1.1	Gangbare methoden om verstedelijking te monitoren en hun beperkingen	11
1.2	Nieuwe kansen door beschikbaar komen van hoge-resolutie satellietbeelden	12
1.3	toekomstige hoge resolutie satellieten	16
2	Doel van het project.....	17
3	Uitvoering .....	18
3.1	Keuze testlocaties	18
3.2	Verwerving en primaire bewerking van de beelden	18
3.3	Bespreking toepassingsmogelijkheden met gebruikers	22
4	Concrete resultaten/voorbeelden.....	24
4.1	Herkennen van nieuwe bebouwing	24
4.2	Vaststellen van percentage groen	25
4.3	Presentatievormen	29
4.4	Reactie gebruikers	33
5	Evaluatie en conclusie.....	35
5.1	Kosten, snelheid van beschikbaarstelling, kwaliteit beeldmateriaal en toekomstperspectief	35
5.2	Toepassingen in de praktijk	37
	Referenties .....	39
	Appendix 1 Metadata m.b.t. georeferentie van Ikonos beelden .....	40
	Appendix 2 Procedure voor het maken van het bestand met de klassen onbegroeid en begroeid .....	41

## Woord vooraf

Het beschikbaar komen van nieuwe technieken en informatiebronnen roept de vraag op naar toepassingen. Satellietbeelden zijn een relatief nieuwe informatiebron, maar hebben als beperking dat ze voor veel doeleinden te weinig details laten zien van het aardoppervlak.

Verstedelijking wordt in Nederland als probleem ervaren, omdat we bang zijn onvoldoende open ruimte over te houden of te ver moeten reizen om die te bereiken. We willen die verstedelijking daarom in toom houden en in de gaten houden of die zich wel volgens de gemaakte afspraken voltrekt. Maar hoe houden we de vinger aan de pols als kaarten en statistieken over het gebruik van de ruimte achter lopen en niet goed meten wat we precies willen weten?

Dagelijks worden er meerdere satellietbeelden van Nederland gemaakt, waarvan de meeste meer van de bewolking dan van patronen van verstedelijking laten zien.

Er zit nu echter een generatie satellieten aan te komen, die ons wel in staat stelt om vele malen per jaar een gedetailleerd beeld te krijgen van de bebouwing in het land en dus ook van de veranderingen daarin. De Ikonos satelliet is hiervan de eerste die voor iedereen die het wil betalen beelden levert met een nauwkeurigheid van 1 x 1 meter.

Het Programmabureau van de Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS) en het ministerie van LNV zijn zo genereus geweest om ons financieel in staat te stellen een paar van deze nieuwe beelden te verwerven en te analyseren. Onze centrale vraag hierbij was: kun je met dit soort beelden snel en betrouwbaar achterhalen hoe Nederland verstedelijkt en hoe doe je dat dan? Hiervan afgeleide vragen zijn: hoeveel gaat het kosten en wat is het toekomstperspectief?

## Samenvatting

Met de lancering van de Ikonos satelliet op 24 september 1999 zijn voor het eerst satellietbeelden met een detail van 1 meter voor civiele toepassingen beschikbaar gekomen. Dit maakt het mogelijk om satellietbeelden te gebruiken voor het monitoren van stedelijk gebied, een toepassing waarvoor de al langer beschikbare generatie satellietbeelden niet voldoende detail liet zien. Binnen het project "Mogelijkheden voor inschakeling van hoge-resolutie satellietbeelden bij monitoring van verstedelijking" is samen met drie potentiële gebruikers van deze informatie gekeken naar de praktische inzetbaarheid van Ikonos data.

De eerste ervaringen met satellietbeelden van Ikonos zijn zowel positief als negatief. Positief zijn de kwaliteit en het detail van de beelden. Negatief zijn de informatievoorziening over de beschikbare opnamen, de levertijd van de beelden (meer dan twee maanden) en het niet volledig kunnen opnemen van de aangevraagde locaties. Vooral dit laatste maakt het gebruik van Ikonos beelden voor monitoring van gebieden op dit moment minder zinvol.

Binnen het project zijn twee toepassingen uitgewerkt

- het herkennen van nieuwe bebouwing d.m.v. visuele interpretatie
- het (semi-automatisch) vaststellen van het percentage groen per basiseenheid

Visuele interpretatie van satellietbeelden is arbeidsintensief en hierdoor minder geschikt voor uitvoering binnen grote gebieden. Ook bleek het detail van 1 meter nog niet hoog genoeg om kleine gebouwen goed te kunnen waarnemen. Hiervoor blijven toch luchtfoto's een betere bron.

Met behulp van een vegetatie index is semi-automatisch een onderscheid gemaakt tussen onbegroeide en begroeide gebieden. Dit maakt het mogelijk om voor een door de gebruiker te kiezen referentie gebied het percentage groen uit te rekenen. Op basis van deze referentie gebieden kan via deze methode de ontwikkeling van het groen gevolgd worden. Voor deze toepassing is het detail van de Ikonos beelden wel hoog genoeg. Het enige probleem hierbij is de toekomstige beschikbaarheid van satellietbeelden. Dit wordt wellicht opgelost als de geplande lanceringen van nieuwe satellieten met succes uitgevoerd worden.



# 1 Inleiding

## 1.1 Gangbare methoden om verstedelijking te monitoren en hun beperkingen

De mate waarin Nederland verstedelijkt en waar dit op welke wijze gebeurt houdt de gemoederen van velen zo af en toe aardig bezig. Het ruimtelijk beleid probeert hier sturing aan te geven, maar vaak is er twijfel of dit wel lukt. Dan raadpleegt men kaarten en statistieken om de situaties in heden en verleden met elkaar te vergelijken. Daarbij doet zich meteen het probleem voor wat er precies vergeleken moet worden (van den Berg et al, 1996). Het meest voor de hand liggend is het areaal bebouwd gebied met bijbehorende straten en tuinen. Hierbij valt nog een onderscheid te maken tussen verdichting in of uitbreiding van de bebouwde gebieden, en verstening (plus verglazing) in het buitengebied.

De CBS Bodemstatistiek houdt dit zo goed mogelijk al tientallen jaren bij en brengt daarbij nog allerlei nuanceringen aan met betrekking tot waar de bebouwing toe dient en of de niet bebouwde gebieden wellicht ook nog stedelijke functies vervullen, zoals begraafplaatsen, parken, sportvelden en volkstuinten. Uitbreiding van bebouwd gebied komt in deze statistiek goed tot uitdrukking. Maar verdichting binnen reeds verstedelijkt gebied en verstening van het buitengebied worden slechts zeer ten dele gemeten. Deze statistiek wordt regelmatig bijgewerkt en is beschikbaar zowel in kaartvorm als in de vorm van tabellen per gemeente of groepen gemeenten (provincies, e.d.). De meest recente uitgave heeft betrekking op het jaar 1996. Het sterkste punt van de CBS Bodemstatistiek is de lange tijdreeks waarover ze beschikbaar is. Vanaf 1976 is ondanks diverse aanpassingen in de wijze van dataverzameling de vergelijkbaarheid van de cijfers zeer goed te noemen, dat wil zeggen op het aggregatieniveau van gemeenten en daarboven. Vanaf 1989 wordt ook een contourenbestand van de Bodemstatistiek bijgehouden. Een nadeel van dit bestand is, dat het meestal een jaar of 5 achter loopt.

Een ander bestand dat ons in staat stelt een indruk te krijgen van waar verstedelijking tussen twee recente jaartallen vooral aan de orde is betreft dat van de adressendichtheid per postcodegebied, ofwel het “Locatie Bestand Vastgoed” (LBV). Dit wordt jaarlijks bijgehouden en is dus redelijk up-to-date. Een belangrijke beperking van deze indicator voor verstedelijking is, dat het om postale afgiftepunten (brievenbussen) gaat en dat je dus niet weet hoeveel bebouwde massa er achter zo’n brievenbus zit. Als besloten wordt om de bewoners van een gebouw elk een eigen brievenbus te geven kan de adressendichtheid in een bepaald postcodegebied flink toenemen zonder dat er feitelijk iets aan de verstedelijking verandert. En als een bedrijf besluit tot bouw van een grote nieuwe loods achter het bestaande pand neemt de verstedelijking toe maar de adressendichtheid niet.

Naast deze verschillende middelen om de “morfologische verstedelijking” te meten is er ook nog zo iets als “functionele verstedelijking”. Deze doet zich bijvoorbeeld voor als een agrarisch bedrijf stopt en zich een burgergezin of klein bedrijfje in de boerderij vestigt. Soms wordt er bij die gelegenheid wel eens een schuur afgebroken

en neemt de mate van verstening (morfologische verstedelijking) dus af, maar door de ruimtelijke ordenaars wordt dat wel degelijk als verstedelijking ervaren. Hoewel de bodemstatistiek ook een groot aantal functies van gebieden onderscheidt wordt aan individuele gebouwen in het buitengebied meestal dezelfde functie toegekend als aan hun doorgaans agrarische omgeving. Alleen grote gebouwencomplexen komen met hun eigen functie op de kaart en dus ook in de statistiek. Hetzelfde geldt voor woningen of bezoekerscentra in bos- of natuurgebieden.

Naast deze bestanden die erop gericht zijn statistische vergelijkingen op te leveren zijn er natuurlijk ook topografische kaarten en de grootschalige basiskaart waarop de aard van het ruimtegebruik zo goed mogelijk wordt bijgehouden. Nu deze kaarten in digitale vorm worden opgeleverd is het in principe mogelijk om elke mutatie ook als een vorm van monitoring te beschouwen. Een bestand van mutaties is dus een prachtig middel om vast te stellen waar welke oppervlakten welke verandering van 'land' naar 'stad' hebben ondergaan. Dit gebeurt nog niet systematisch en loopt noodgedwongen ook steeds een of meer jaren achter de feiten aan.

Met andere woorden: een goed werkend systeem om de feitelijke verstedelijking op zeer korte afstand te monitoren is nog niet beschikbaar. Luchtfoto's en satellietbeelden bieden daartoe een mogelijkheid, maar hebben ook hun beperkingen. De eerste omdat een digitale koppeling aan bestaande kaarten en geautomatiseerde verwerking van het beeldmateriaal heel tijdrovend is en de tweede omdat de resolutie aan de lage kant is voor betrouwbare herkenning van verstedelijking, zelfs van het 'aanbreien' van stedelijk areaal. Het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN), waarin satellietbeelden en digitaal kaartmateriaal worden samengebracht, is wat dat betreft het maximaal haalbare. Ook dit bestand wordt regelmatig vernieuwd en leent zich goed voor berekeningen van verandering, maar voor de betrouwbaarheid van arealen stedelijk grondgebruik willen de samenstellers hun hand niet in het vuur steken.

## 1.2 Nieuwe kansen door beschikbaar komen van hoge-resolutie satellietbeelden

Op 24 september 1999 is de Ikonos van het Amerikaanse bedrijf SpaceImaging ([www.spaceimaging.com](http://www.spaceimaging.com)) met succes gelanceerd. Ikonos is de eerste satelliet voor civiele toepassingen die beelden met een detail van 1 meter opneemt. Aangezien de satelliet continue om de aarde draait is het in principe mogelijk om op ieder gewenst moment een gedetailleerde opname van een gewenste locatie op te laten nemen. De Ikonos satelliet neemt twee verschillende soorten beelden op, panchromatisch en multi-spectraal. Zie tabel 1.1 voor de specificaties.

tabel 1.1. beeldspecificaties Ikonos

<b>Panchromatisch</b> : (1 meter detail) 0.45 - 0.90 ( $\mu\text{m}$ )	<b>Multispectraal:</b> (4 meter detail) band 1: Blauw 0.45 - 0.52 ( $\mu\text{m}$ ) band 2: Groen 0.52 - 0.60 ( $\mu\text{m}$ ) band 3: Rood 0.63 - 0.69 ( $\mu\text{m}$ ) band 4: Nabij IR 0.76 - 0.90 ( $\mu\text{m}$ )
---	---



Het panchromatische beeld is vergelijkbaar met een zwart/wit foto en heeft een detail van 1 meter. Dit beeld is geschikt voor het herkennen van objecten en topografische grenzen. Het multi-spectrale beeld kan als kleurenfoto of als infra-rood kleurenfoto gebruikt worden en heeft een detail van 4 meter. De infra-rood informatie maakt het mogelijk om begroeide en onbegroeide gebieden van elkaar te onderscheiden of om de vitaliteit van vegetatie te bepalen. Ook is het in beperkte mate mogelijk om verschillende soorten vegetatie van elkaar te onderscheiden. Voor nadere technische informatie verwijzen we naar:

[www.neo.nl/ikonos.html#techniek](http://www.neo.nl/ikonos.html#techniek)

[www.spaceimaging.com](http://www.spaceimaging.com)

### *Herkenbaarheid van objecten*

Voor het monitoren van verstedelijking is het belangrijk dat bebouwing goed waargenomen kan worden op het beeldmateriaal. De panchromatische 1 meter opname biedt het meeste detail en objecten met een minimale afmeting van 2 bij 2 meter zijn goed waar te nemen. Figuur 1.1 is een voorbeeld van een panchromatische opname van Hilversum, opgenomen op 28 april 2000. Hierop zijn bebouwing, wegen, bomen en auto's goed te herkennen, dankzij de combinatie van grijswaarde en patroon.



Fig 1.1 herkenbaarheid van objecten op een panchromatisch Ikonos beeld

Dat het waarnemen van objecten sterk afhankelijk is van het contrast met de omgeving van het object is te zien in figuur 1.2. Dit is ook een stukje Hilversum maar nu een bosrijke omgeving. Op het panchromatische beeld zijn de huizen niet meer zo eenduidig te herkennen.





fig 1.2 herkenbaarheid van objecten op een panchromatisch beeld in een bosrijke omgeving

Figuur 1.3 is de multi-spectrale opname van hetzelfde gebied als figuur 1.1 (ook 28 april 2000). Door het geringere detail is het patroon van de afzonderlijke objecten niet meer goed herkenbaar. Huizenblokken, wegen en vegetatie zijn wel goed te herkennen dankzij het verschil in kleur. Objecten zonder vegetatie worden weergegeven in blauwtinten, vegetatie wordt weergegeven in roodtinten.





fig 1.3 herkenbaarheid van objecten op een multi-spectraal Ikonos beeld

In de bosrijke omgeving is het verschil tussen vegetatie (roodtinten) en geen vegetatie (blauwtinten) op het multi-spectrale beeld wel goed zichtbaar. Figuur 1.4 laat zien dat de blauwtinten overeenkomen met de huizen zoals deze voorkomen in de digitale topografische kaart 1 : 10.000, verkenningsjaar 1995 (Top10Vector).

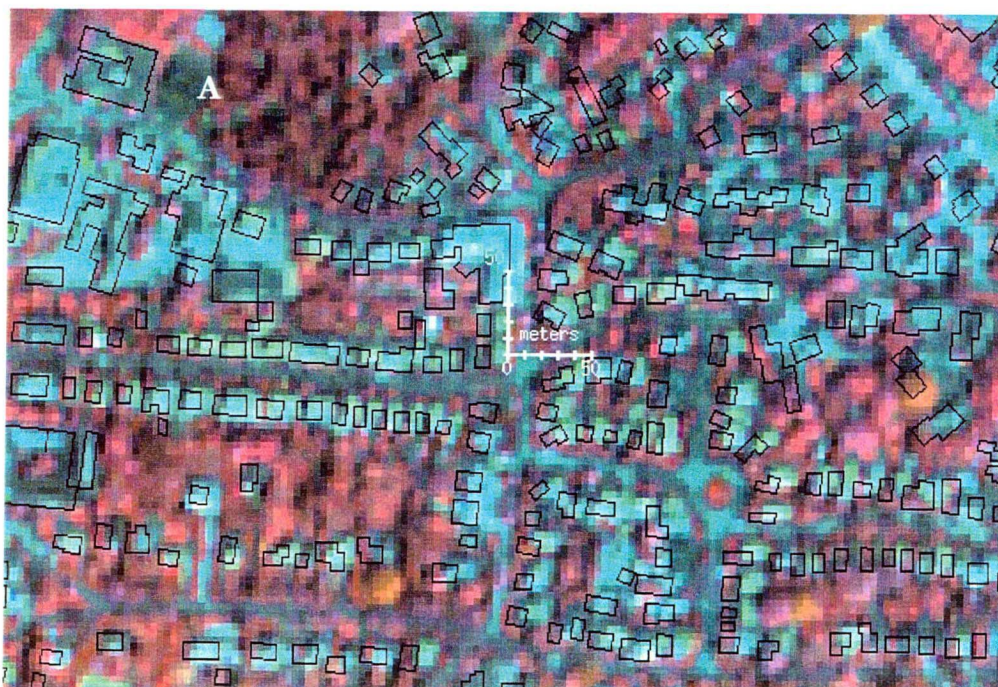


fig 1.4 herkenbaarheid van objecten op een multi-spectraal beeld in een bosrijke omgeving

Niet alle bebouwing kan aan de hand van de blauwe tint herkend worden. De contouren zijn veel vager dan in fig 1.2 en koppeling aan het gebouwen-bestand van Top10Vector roept twijfels op over de omvang van bepaalde gebouwen. Zo is in fig 1.4. op locatie A niet duidelijk waarneembaar dat hier een gebouw staat terwijl in fig 1.2 dit gebouw wel te herkennen is. Het betreft hier wel een nieuw gebouw, deze is nog niet opgenomen in de Top10Vector van 1995.

### 1.3 toekomstige hoge resolutie satellieten

Naast de Ikonos satelliet is sinds 18 januari 2001 ook de EROS 1A satelliet beschikbaar voor het opnemen van satellietbeelden met een hoog detail. In de komende jaren worden nog meerdere satellieten gelanceerd die beelden met een hoog detail kunnen opnemen. In tabel 1.2 wordt een overzicht gegeven van de geplande satellieten.

satelliet	Lancering	kenmerken	website
Eros A	A2 – 3de kwartaal 2001	1.8 m detail panchromatisch	www.imagesatintl.com
Eros B	B1- 2de kwartaal 2002 meerdere B satellieten vanaf 2002	4 m detail multi-spectraal	www.imagesatintl.com
Orbview 4	september 2001	1 m detail panchromatisch en 4 m detail multispectraal	www.orbimage.com
Orbview 3	3de kwartaal 2001	1 m detail panchromatisch en 4 m detail multispectraal	www.orbimage.com
Quickbird 2	18 oktober 2001	0.61 m panchromatisch en 2.5 m mult-spectraal	www.digitalglobe.com

Tabel 1.2 toekomstige hoge resolutie satellieten



## 2 Doel van het project

Het project heeft tot doel te laten zien wat er, bijvoorbeeld op een aantal VINEX-bouwlocaties en in naburige dorpen die onder het 'restrictief beleid' vallen aan bebouwing is bijgekomen sinds de meest recente opname van de (digitale) topografische kaart. De volgende beleidsvragen zijn hierbij aan de orde. Dit zijn vragen die te maken hebben met de effectiviteit van het beleid en met de mate waarin (en de plekken waar) het vigerend beleid nog ruimte biedt voor verdere verstedelijking.

- Zijn de contouren van recent bebouwde gebieden in overeenstemming met die volgens streek- en bestemmingsplannen?
- Indien hierbij nog sprake is van restcapaciteit, om hoeveel hectares gaat dat dan per plangebied?
- In hoeverre zijn individuele gebouwen aanzienlijk uitgebreid ten opzichte van de situatie in hetzij het bestemmingsplan, hetzij een vorig satellietbeeld, hetzij de laatste Top10Vector kaart, die meestal de situatie van 3 à 5 jaar eerder weergeeft? Dit geldt met name, maar niet alleen voor gebieden buiten de 'bebouwde kom'.
- Welke gebieden lenen zich voor een nadere studie naar stedelijke verdichting of een rood-groene kwaliteitsimpuls?
- Waar in het buitengebied treffen we bebouwing aan die er helemaal niet had mogen wezen of die in bestaande databestanden niet voorkomt?
- Op wat voor manier kunnen deze satellietbeelden het werk van ambtenaren die belast zijn met toezicht op de naleving van ruimtelijke plannen vereenvoudigen en versnellen? Dit geldt zowel op het nationale, het provinciale als op het gemeentelijke niveau.

Een centrale vraag zal hierbij zijn of het Ikonos beeld alleen aanwijzingen geeft van waar een inspectie ter plaatse gewenst is, of op zichzelf al een basis vormt om de ter plekke verantwoordelijke personen aan te schrijven.

In overleg met mensen die in de praktijk met deze materie te maken hebben worden één of meerdere testlocaties uitgezocht waarvoor de benodigde actuele informatie verzameld wordt. Gebruik makend van de hoge resolutie satellietbeelden zullen een aantal producten worden gedefinieerd waarmee bovenstaande geformuleerde beleidsvragen kunnen worden beantwoord.

## 3 Uitvoering

### 3.1 Keuze testlocaties

Bij het project zijn naast Alterra drie organisaties betrokken voor wie het gebruik van HRS beelden van belang kan zijn: de Rijksplanologische Dienst (RPD), de Directie Groene Ruimte en Recreatie (GRR) van het Ministerie van LNV en een gemeente. In alle drie de organisaties is samengewerkt met mensen die reeds met monitoring en ontwikkeling van stedelijke of groengebieden bezig zijn en veel met GIS toepassingen te maken hebben. Op grond van goede ervaringen met een eerder monitoring project viel de keuze op de gemeente Hilversum, temeer omdat al snel duidelijk werd dat hiervoor een Ikonos beeld beschikbaar was. Met deze vertegenwoordiging van het nationale en het lokale beleid was het niet nodig om ook een vertegenwoordiger van het tussenliggende, provinciale beleid in het team op te nemen.

In overleg met de RPD en GRR kwam het grondgebied van de gemeente Hilversum als een geschikte testlocatie naar voren: een gemeente met veel groen, dat zowel bijdraagt aan de omgevingskwaliteit als onder voordurende druk staat van bebouwingsplannen. Daarnaast was ook een grote belangstelling voor doorsneden van de agglomeraties Amsterdam en Arnhem, alsmede het gebied van Delfland-Westland met de Rotterdamse havens. In beide laatste gebieden treden snelle veranderingen op, zowel grootschalig in het kader van de VINEX-bouwlocaties en stedelijke herstructurering als kleinschalig met meer diffuse verstedelijking en kassenbouw. De belangstelling voor Arnhem kwam met name voort uit het “Groen-in-en-om-de-Stad” project (GIOS) van het Ministerie van LNV. Hierin worden 30 grote en middelgrote steden ondersteund bij het opstellen van ontwikkelingsplannen ten aanzien van het groen in de bebouwde kom en binnen een straal van 10 km daarbuiten. Een belangrijk onderdeel daarvan is een instrument om aard en omvang van dit ‘groen’ over de jaren heen te monitoren. Arnhem was in eerste instantie gekozen om dit instrument te ontwikkelen.

### 3.2 Verwerving en primaire bewerking van de beelden

#### *Programmering, informatievoorziening en levering*

Ikonos beelden worden alleen gemaakt als hiertoe opdracht gegeven wordt bij de leverancier. In Nederland hebben twee bedrijven het dealerschap van Ikonos verworven, NEO in Amersfoort en NPOC in Marknesse. De dealer plaatst de opdracht bij Space Imaging Europe in Griekenland, dit bedrijf beschikt over het Ikonos ontvangststation waar beelden van Nederland ontvangen worden. De coördinaten van de gewenste locaties zijn via NEO in maart 2000 in de programmering opgenomen. De informatievoorziening over gemaakte Ikonos



beelden ontbrak volledig. Voor satellieten als SPOT en LANDSAT zijn via het internet zoekmachines beschikbaar waarin de dealer of de klant de beschikbare beelden kan bekijken. Voor Ikonos moet deze mogelijkheid nog opgezet worden. Begin juni kwam via NEO een eerste overzicht van gemaakte beelden beschikbaar, echter zonder informatie over de hoeveelheid bewolking die in een beeld aanwezig is. Eind juli volgde een tweede overzicht, nu wel voorzien van het percentage bewolking. Hieruit bleek dat voor alle gewenste locaties behalve Arnhem wolkenvrije beelden opgenomen waren. Het beeld van de stad Arnhem bevatte 11 procent bewolking. Dit hoeft geen probleem te zijn, het kan verspreide bewolking zijn boven locaties die minder belangrijk zijn. Voor dit project was het belangrijk dat de binnenstad en minimaal één stadsrand van Arnhem onbewolkt zouden zijn. Om dit te kunnen bepalen zijn voor de bestaande satellietssystemen zogenaamde quicklooks beschikbaar. Dit is een klein plaatje van het beeld waarop de bewolkte en onbewolkte locaties goed te herkennen zijn. Voor Ikonos zijn deze quicklooks nog niet beschikbaar en Space Imaging Europe wilde of kon ondanks herhaalde verzoeken geen quicklook van dit beeld leveren. Na een aantal weken heeft NEO toch voor een quicklook kunnen zorgen. Hieruit bleek dat alle bewolking zich exact boven de stad bevond en viel de locatie Arnhem af. De beelden voor de overgebleven locaties zijn in september besteld en in oktober en november geleverd.

Op het moment van bestelling was al duidelijk dat de gewenste locaties niet volledig bedekt waren met Ikonos beelden. Ondanks de opgegeven programmering en een groot aantal onbewolkte dagen in 2000 bleek Space Imaging Europe niet in staat om een volledige bedekking van de gewenste locaties te verzorgen. Een mogelijke reden is een conflict tussen programmeringsaanvragen voor Nederland en Duitsland. De Ikonos satelliet is namelijk in staat om bij een overkomst over Nederland beelden boven Duitsland op te nemen.

In fig. 3.1 zijn de drie gekozen locaties en de beschikbare beelden voor die locaties weergegeven. Per locatie gelden de volgende kanttekeningen :

- ➔ De gemeente Hilversum staat er niet compleet op: aan de westrand ontbreekt een strook met o.a. de wijk Kerkelanden en het vliegveld.
- ➔ Bij de agglomeratie Amsterdam ontbreken de westelijke tuinsteden en staat aan de oostkant de nieuwe wijk IJburg er net niet helemaal op.
- ➔ Van het havengebied Rotterdam wordt alleen een smalle strook weergegeven, namelijk van Rozenburg en het Botlekgebied. Voor het gebied ten oosten hiervan, waar sommige haventerreinen verlaten en andere bebouwd worden, was geen beeldmateriaal beschikbaar



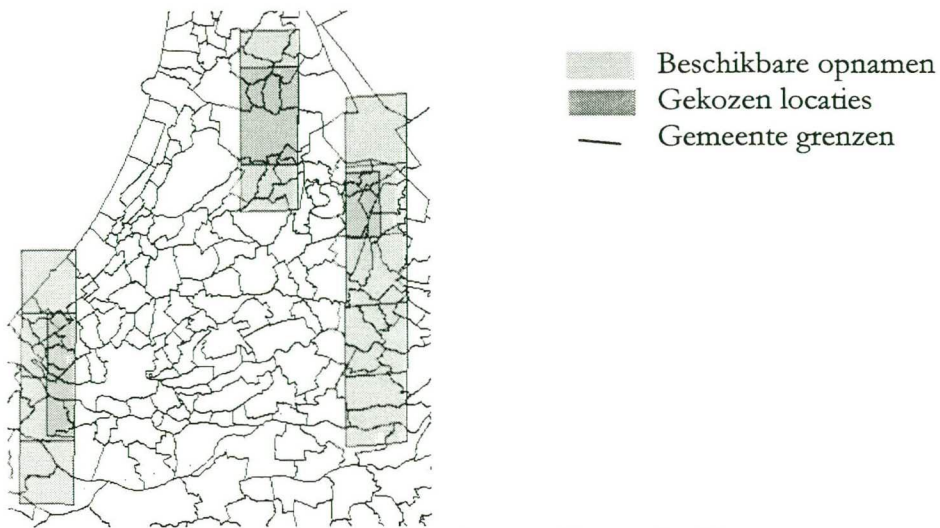


fig 3.1 Beschikbare en gekozen locaties met Ikonos beelden

De conclusie uit het voorgaande is wel, dat onze hoge verwachtingen van de nieuwe satelliet aanzienlijk zijn getemperd door het zeer beperkt en vertraagd beschikbaar komen van bruikbare beelden.

### ***Geometrische correctie van Ikonos beelden***

Voor elke locatie zijn zowel de panchromatische als multi-spectrale beelden gekocht. Zie tabel 1.1 voor de specificaties. De geleverde beelden zijn voorzien van georeferentie in de Universal Transverse Mercator (UTM) projectie (zie appendix 1.) Dit maakt het mogelijk om de beelden naar het Rijks-Driehoekstelsel (RD-stelsel) te herprojecteren. De herprojectie leverde echter een afwijking in de x-richting van ongeveer 25 meter en in de y-richting van 150 meter op. Figuur 3.1 laat het geherprojecteerde multi-spectrale beeld gecombineerd met de Top10Vector zien.

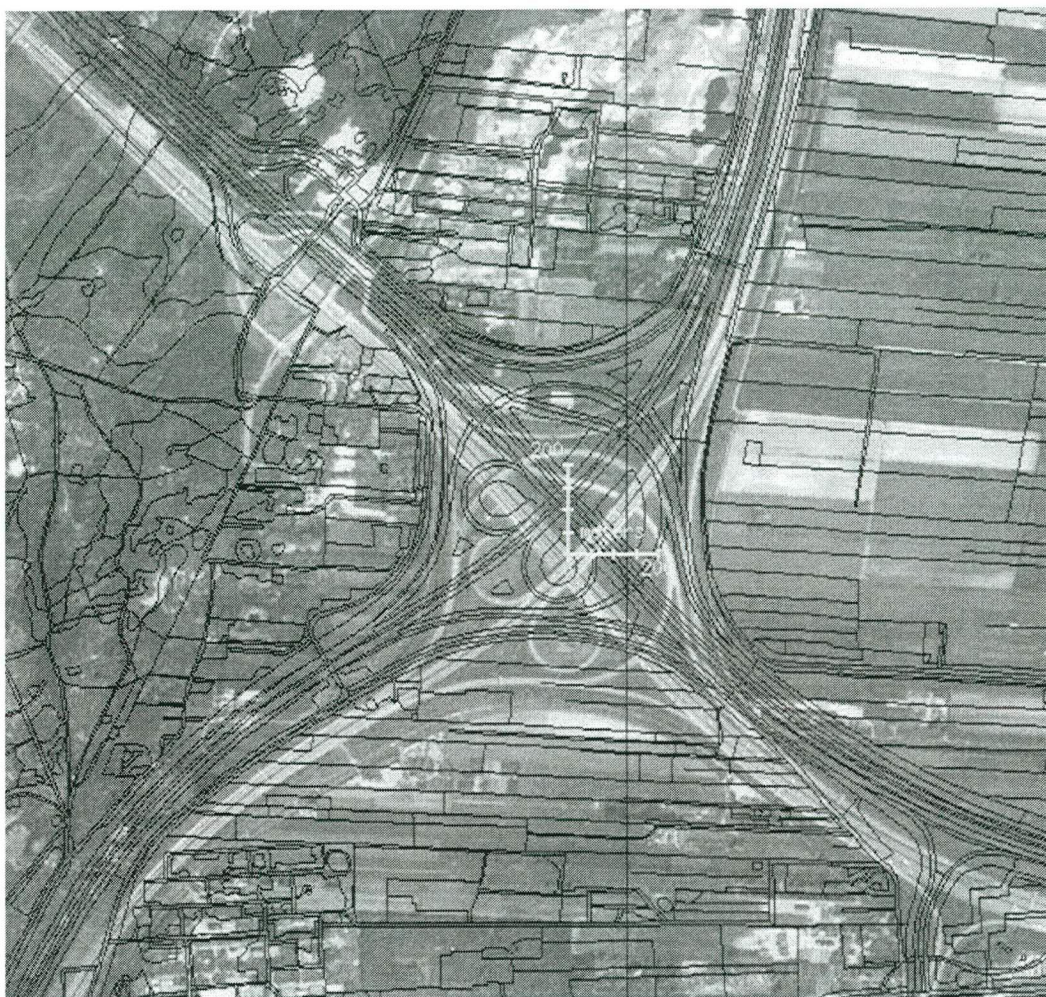


fig 3.1 afwijking in de geometrie na herprojectie van UTM naar RD-stelsel

De reden voor deze afwijking is binnen dit project niet verder onderzocht. Om de beelden goed passend te krijgen in het RD-stelsel zijn paspunten op de beelden en de Top10Vector aangewezen. Figuur 3.2 laat het resultaat gecombineerd met Top10Vector zien.





fig 3.2 geometrie na projectie met behulp van. paspunten

De geometrische nauwkeurigheid van Top10Vector bedraagt ca 5 m (0,5 mm tekennauwkeurigheid bij een schaal van 1 : 10.000) (Thunnissen en Kramer, 1997). Dit is niet voldoende voor een goede geometrische correctie van Ikonos beelden met een detail van 1 en 4 meter en afwijkingen tot 5 meter kunnen hierdoor voorkomen. Voor een juiste geometrische correctie moet gebruik gemaakt worden van referentie materiaal met een hogere nauwkeurigheid. Dit kunnen veldmetingen zijn of de Grootschalige BasisKaart Nederland (GBKN), beschikbaar op een schaal van 1 : 500, 1 : 1000 of 1 : 2000 (zie [www.gbkn.nl](http://www.gbkn.nl))

### 3.3 Bespreking toepassingsmogelijkheden met gebruikers

Aan de hand van de beschikbare beelden is met de gebruikers een aantal mogelijke toepassingen besproken. Een belangrijke vraag die bij alle drie de gebruikers leeft is



het monitoren van de ontwikkeling van het groen. Ook is de ontwikkeling van bebouwing een punt van interesse: hoe breidt het stedelijk ruimtegebruik zich uit en wat gebeurt er in het overgebleven buitengebied? Het meest aantrekkelijke van deze beelden is voor hen de actualiteit. Hierbij is het belangrijk dat het om een efficiënte en herhaalbare methode van monitoring gaat. Bij onze presentatie van het eerste beeldmateriaal kwamen bij hen de volgende overwegingen naar voren:

- Zowel op lokaal als op nationaal niveau moet het beeld absoluut gebiedsdekkend zijn: respectievelijk de gehele gemeente of het hele land.
- Vanwege de hoge kosten zou je het liefst willen dat meerdere diensten van dezelfde beelden gebruik kunnen maken. De Topografische Dienst zou dan een goede partner kunnen zijn, ware het niet dat zij bij voorkeur beelden hebben zonder bladeren aan de bomen. Vooral LNV wil echter bij de monitoring van verstedelijking ook het groen betrekken waardoor een beeld later in het jaar de voorkeur verdient.
- In hoeverre is (semi)automatische verwerking haalbaar en levert het betrouwbare resultaten op, bij voorbeeld bij de keuze van gebieden waarop moet worden ingezoomd? En hoever kun je dan in laatstgenoemde gebieden met een interactieve verwerking van het beeld komen zonder terreinbezoek? De verwachtingen zijn wat het laatste betreft niet erg hoog; men verwacht toch al snel behoefte aan beoordelingen ter plaatse te hebben.
- Belangrijk voor monitoring is dat het behalve gebiedsdekkend ook met regelmaat en herhaalbaar gebeurt. Daarbij zal de directe vergelijkbaarheid tussen beelden in verschillende jaren altijd een probleem zijn. Zelfs als datum en helderheid van de beschikbare beelden identiek zouden zijn, dan nog kunnen verschillen in de mate waarin het groen is uitgelopen roet in het eten gooien. Dit is echter niet een specifiek probleem voor Ikonos opnamen.

## 4 Concrete resultaten/voorbeelden

Binnen het project zijn twee toepassingen verder uitgewerkt

- het herkennen van nieuwe bebouwing d.m.v. visuele interpretatie
- het (semi-automatisch) vaststellen van het percentage groen per basiseenheid

### 4.1 Herkennen van nieuwe bebouwing

Het herkennen van nieuwe bebouwing kan alleen door een visuele interpretatie van de satellietbeelden. Automatische procedures d.m.v. objectherkenning zijn wel in ontwikkeling maar nog niet zover dat deze operationeel (d.w.z. met voldoende betrouwbaarheid) toegepast kunnen worden. Visuele interpretatie van satellietbeelden is arbeidsintensief en hiermee duur. Zijn de kosten geen probleem dan is het wel uit te voeren, computerfaciliteiten en opslagcapaciteit zijn geen beperkende factoren. In hoofdstuk 1.2 is al ingegaan op de herkenbaarheid van objecten op Ikonos beelden. Vooral in bosrijke omgevingen zijn nieuwe gebouwen slecht te herkennen. Een methode om de herkenbaarheid te verbeteren is het integreren van het panchromatische beeld met het multispectrale beeld. Deze bewerking levert een beeld op met zowel de spectrale informatie uit het multi-spectrale beeld als het detail uit het panchromatische beeld. Het resultaat is een multi-spectraal beeld met 1 meter detail. Deze beelden kunnen bij space-imaging gekocht worden, het zogenaamde 'pan-sharpened multispectral' beeld. Voor dit project hebben we het pan-sharpened beeld zelf gemaakt. Hierbij is gebruik gemaakt van de 'resolution merge' optie binnen Erdas/Imagine 8.4. Als methode is de principal component method gebruikt (ERDAS Field Guide). Deze methode is goed toepasbaar omdat het spectrale bereik van het panchromatische beeld gelijk is aan die van het multi-spectrale beeld ( zie tabel 1.1).

In figuur 4.1 kunnen het panchromatische beeld (1 m detail), het multi-spectrale beeld (infrarood weergave) en het pan-sharpened beeld (infrarood weergave) met elkaar vergeleken worden. Voor de visuele interpretatie biedt het pan-sharpened beeld duidelijk voordelen, objecten zijn hierop zowel aan hun kleur als aan hun patroon te herkennen.



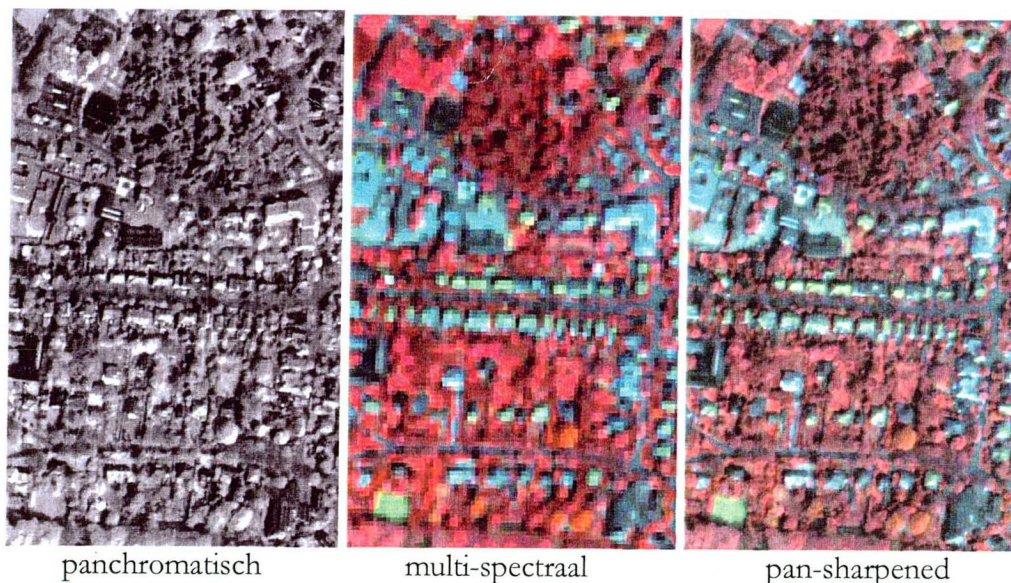


fig. 4.1 Drie beelden van Hilversum

Een visuele interpretatie van Ikonos beelden is alleen interessant voor de gemeente Hilversum. Het snel kunnen detecteren van nieuwe bebouwing is een actuele beleidsvraag. Na bestudering van de satellietbeelden kwam men echter tot de conclusie dat het detailniveau van Ikonos beelden niet voldoende is om aan de vraag te kunnen beantwoorden. Ook nieuwe objecten van geringe afmeting (schuurtjes e.d.) moeten waargenomen kunnen worden. Hiervoor blijven luchtfoto's toch een betere bron van informatie omdat hierop details van 25 cm nog goed zichtbaar zijn. Voor de RPD is het waarnemen van nieuwe gebouwen interessant omdat hiermee inzicht in de ontwikkeling van de grote bouwlocaties of andere aandachtsgebieden kan worden verkregen. Resultaten zijn echter alleen bruikbaar als deze landsdekkend beschikbaar zijn, hiervoor is de methode vooralsnog te arbeidsintensief en daarmee te kostbaar.

## 4.2 Vaststellen van percentage groen

Alle drie de organisaties hebben belangstelling voor het monitoren van groen. Een automatische procedure om groen in een satellietbeeld te lokaliseren is het berekenen van een vegetatie index (NDVI). Dit is een formule die uit de reflecties in de rode en in de infra-rode band een indexgetal berekent dat gerelateerd is aan vegetatie (Lillesand and Kiefer, 1994). Meer informatie over de NDVI is te vinden op de website [www.csc.noaa.gov/crs/definitions/NDVI.html](http://www.csc.noaa.gov/crs/definitions/NDVI.html). Voor dit project hebben we de NDVI uitkomst omgerekend naar een schaal van 0 tot 255 waarbij 0 staat voor 'geen groen' en 255 voor 'groen'. Het is helaas niet mogelijk om een vast punt (getal) aan te wijzen voor het omslagpunt tussen geen-begroeiing en begroeiing. Het omslagpunt moet visueel uit het satellietbeeld en referentie gegevens bepaald worden. Dankzij het hoge detail van de Ikonos



opnamen is dit goed mogelijk. Het is wel subjectief en we hebben het omslagpunt een aantal keren beplaat om te zien wat de invloed hiervan op de totale oppervlakte groen is. Het maximale verschil voor de oppervlakte groen tussen meerdere 'goede' omslagpunten kwam voor dit beeld uit op 3%. Het meerdendeel van de verschilgebieden bestaat uit akkers met kort gras en natuurgebieden met korte vegetatie waardoor ook kale ondergrond zichtbaar is. Hierdoor krijgt een gebied dat eigenlijk 'groen' is toch een relatief lage waarde voor de NDVI. Is dit punt bepaald dan kan het NDVI beeld omgerekend worden naar twee waarden, onbegroeid en begroeid (onbeg bestand). Fig. 4.2. laat dit proces zien, zie appendix 2 voor de uitgevoerde berekeningen.

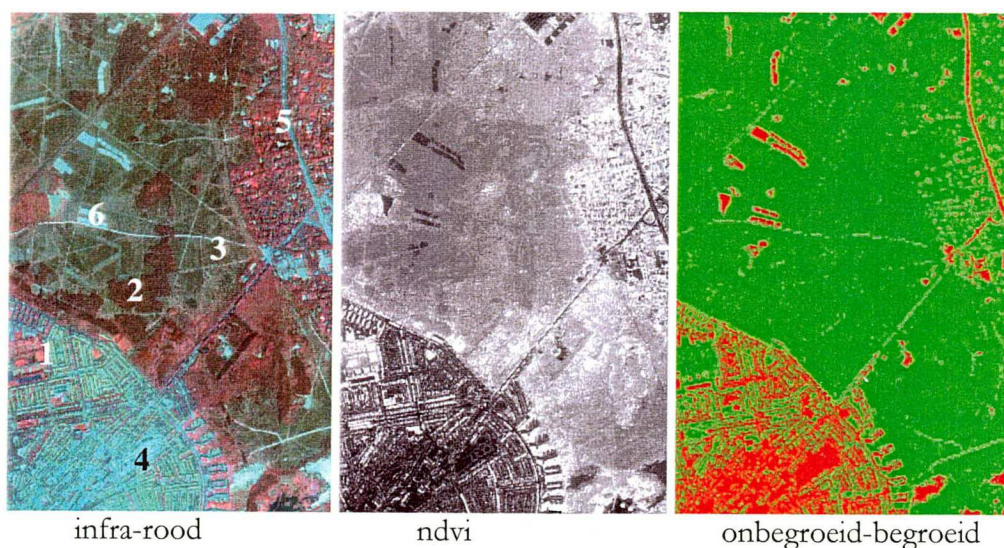
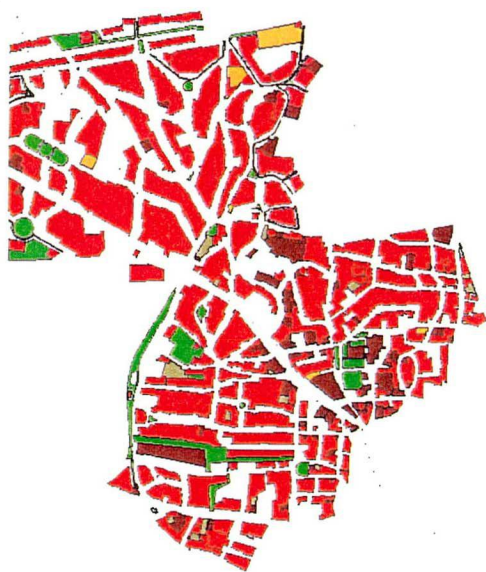


fig 4.2 semi-automatisch bepaling van onbegroeide en begroeide locaties uit een Ikonos beeld

De NDVI is een momentopname die gekoppeld is aan de ontwikkeling van het groen op het moment van opname van het satellietbeeld. Het satellietbeeld van Hilversum is opgenomen op 28 april 2000. Op deze datum is het groen nog volop in ontwikkeling maar genoeg ontwikkeld om groene objecten van niet-groene objecten te onderscheiden. Visuele controle van het beeld laat zien dat o.a. gras (1), bos (2), heide (3), bebouwing (4), wegen (5) en geplagde heide (6) goed te herkennen zijn. Om de ontwikkeling van het groen te kunnen monitoren moet een basiseenheid gekozen worden waarvoor het percentage groen berekend wordt. Er zijn een viertal bestanden gebruikt die door de drie organisaties ook gebruikt worden voor andere toepassingen. Het zijn :

- bestemmingsplan gemeente Hilversum (fig. 4.3)
- het CBS bodemgebruiksbestand (fig. 4.4)
- 4-cijferige postcode gebieden (fig. 4.5) (basis voor indeling van woonmilieus)
- wijken en buurten bestand van het CBS (fig 4.6)

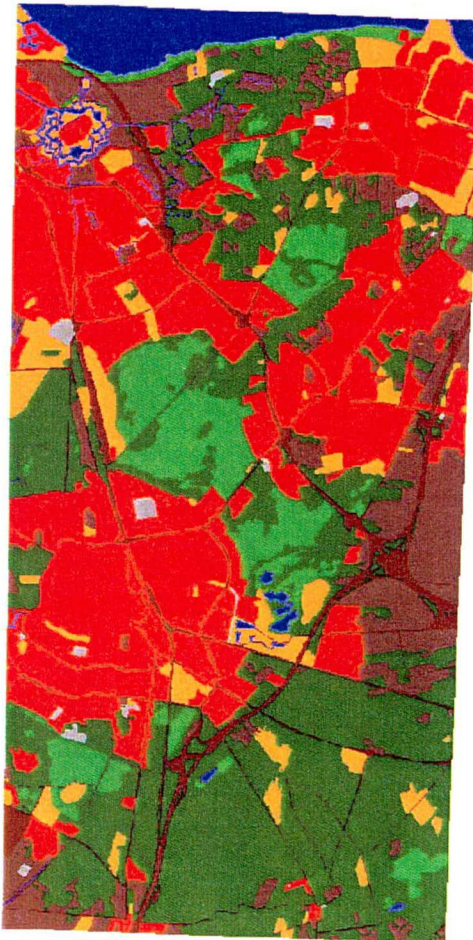
Voor elk van deze vier bestanden is vervolgens per eenheid (vlak) het percentage groen berekend en opgeslagen als attribuut van het betreffende vlak.



bestemming

- wonen
- kantoren
- bedrijven
- horeca / recreatie
- groenvoorziening

fig 4.3 bestemmingsplan gemeente Hilversum (deel)

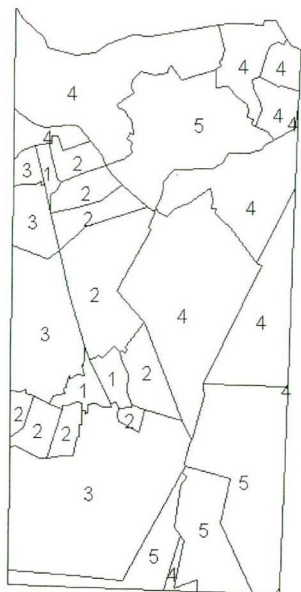


bodemgebruiksklassen

- Glastuinbouw
- Overig agrarisch gebruik
- Bos
- Woongebied
- Delfstoffenwinning
- Bedrijfsterreinen
- Dienstverlenende sector (ov. bed
- Overige openbare voorzieningen
- Sociaal-culturele voorzieningen
- Spoor-, tram- en metrowegen
- Verharde wegen
- Onverharde en halfverharde wegen
- Vliegvelden
- Parken en plantsoenen
- Sportterreinen
- Dagrecreatieve objecten en terre
- Volkstuinen
- Verblifsrecreatie
- Droog natuurlijk terrein
- Nat natuurlijk terrein
- Stortplaatsen
- Wrakkenopslagplaatsen
- Begraafplaatsen
- Bouwterrein voor bedrijfsterrein
- Bouwterrein voor overige bestemm
- Overige gronden
- IJsselmeer
- Spaarbekkens (waterreservoirs)
- Water met een recreatieve hoofd
- Overig water breder dan 6 meter

fig. 4.4 CBS bodemgebruiksbestand 1996

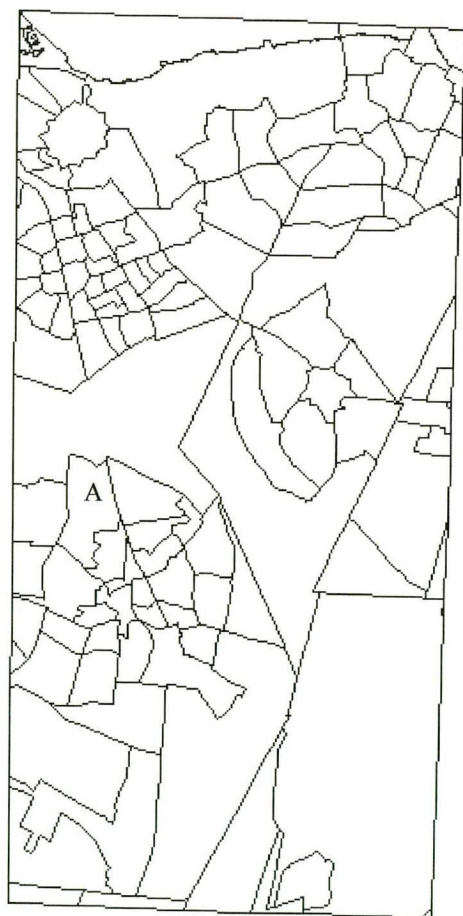




RPD woonmilieus

- 1 : Centrum Stedelijk
- 2 : Stedelijk Buiten Centrum
- 3 : Groen Stedelijk
- 4 : Centrum Dorps
- 5 : Landelijk Gebied

fig. 4.5 RPD woonmilieus, begrenzing volgens 4-cijferige postcode gebieden



wijken en buurten 1997

A =

Identify Results	
1: Hlv_wb97 - Trompenber	Hlv_wb97-ld 4708
	Wbc97 4020102
	Mean 157.888
	Majority 2
	Mat_trac 0.687
	P_onbeg 0.313
	P_beg 0.687
	Buurt Trompenberg
	Gemeente Hilversum
Clear	Clear All

fig 4.6 CBS wijken en buurten bestand

De figuur van het bestemmingsplan van de gemeente Hilversum is niet volledig. Dit bestand is opgeslagen in een CAD omgeving en bij de conversie naar een GIS-bestand werden niet alle vlakken goed overgenomen. Binnen dit project hebben we niet verder naar de conversieproblemen gekeken en alleen de goed geconverteerde vlakken gebruikt.

### **4.3 Presentatievormen**

Het onbeg bestand ('onbegroeid-begroeid') en de afgeleide bestanden met de begroeiingspercentages zijn beschikbaar binnen een GIS. Deze kunnen voor verdere berekeningen gebruikt worden maar er kunnen ook kaartjes of tabellen mee gemaakt worden. In fig. 4.7 zijn 3 basisbestanden van Hilversum en omgeving afgebeeld waarbij ieder vlak met een groentint ingekleurd is. De groentinten zijn gebaseerd op een klassenindeling van het percentage begroeiing.



a. CBS wijken en buurten bestand

b. CBS bodemgebruiksbestand

c. RPD woonmilieus

fig 4.7 Percentage begroeiing voor 3 referentiebestanden

Ook het bestemmingsplan van de gemeente Hilversum kan op deze wijze gepresenteerd worden.

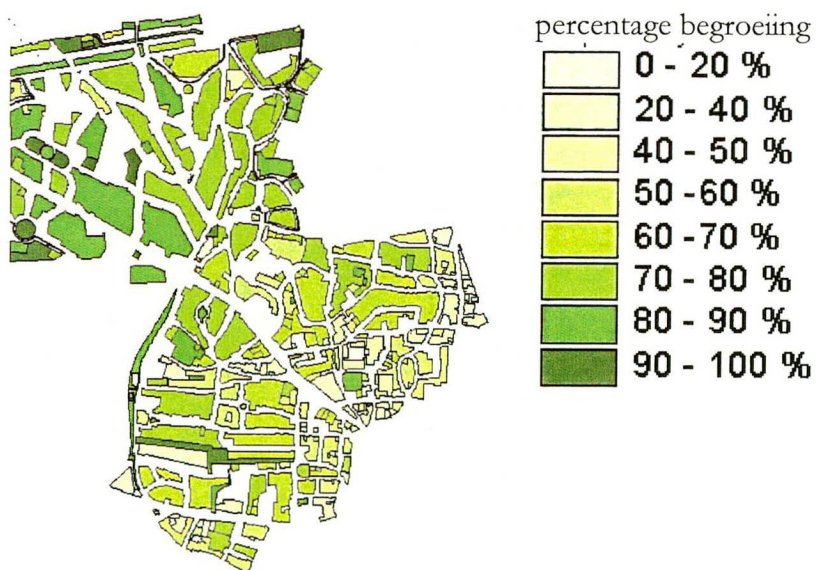


fig 4.9 bestemmingsplan gemeente Hilversum met percentage begroeiing



Deze wijze van informatie verzameling en presentatie is geschikt voor monitoringsdoeleinden. Bestanden als het wijken en buurten bestand of het bodemgebruiksbestand van het CBS en het bestemmingsplan van de gemeente Hilversum voldoen goed als basiseenheden voor het monitoren van de ontwikkeling van het groen. Met het bestemmingsplan kan bijvoorbeeld de groenontwikkeling van alle percelen met de bestemming wonen bijgehouden worden. Het bodemgebruiksbestand biedt dezelfde mogelijkheid voor bijv. de klasse woongebied terwijl met het wijken en buurten bestand de ontwikkeling van het groen voor een bepaalde wijk bekeken kan worden. De basiseenheden van het 4-cijferige postcode bestand lijken te groot om groen goed te kunnen monitoren. Een basisbestand dat vanwege tijdgebrek binnen dit project niet gebruikt is maar wel geschikt kan zijn voor monitoring is de Top10Vector.

Op basis van dezelfde bestanden kunnen ook tabellen gegenereerd worden. In tabel 4.1 t/m 4.4 worden deze gepresenteerd.

<b>cbs bodemgebruiksklassen</b>	<b>Percentage Onbegroeid</b>	<b>percentage begroeid</b>
Overig agrarisch gebruik	15%	85%
Bos	2%	98%
Woongebied	38%	62%
Bedrijfsterreinen	85%	15%
Dienstverlenende sector (ov. bed	69%	31%
Overige openbare voorzieningen	32%	68%
Sociaal-culturele voorzieningen	31%	69%
Spoor-, tram- en metrowegen	60%	40%
Verharde wegen	35%	65%
Onverharde en halfverharde wegen	4%	96%
Vliegvelden	5%	95%
Parken en plantsoenen	12%	88%
Sportterreinen	26%	74%
Dagrecreatieve objecten en terre	18%	82%
Volkstuinen	27%	73%
Verblijfsrecreatie	5%	95%
Droog natuurlijk terrein	5%	95%
Nat natuurlijk terrein	16%	84%
Wrakkenopslagplaatsen	40%	60%
Begraafplaatsen	17%	83%
Bouwterrein voor bedrijfsterrein	87%	13%
Bouwterrein voor overige bestemm	49%	51%
Overige gronden	34%	66%
Water met een recreatieve hoofd	89%	11%
Overig water breder dan 6 meter	93%	7%

tabel 4.1 Percentages per CBS bodemgebruiksklasse



<b>CBS wijken en buurten</b>	<b>percentage onbegroeid</b>	<b>percentage begroeid</b>
Noordelijk Natuurreservaat	9%	91%
Trompenberg	31%	69%
Plan Noord	44%	56%
Villaparken	12%	88%
Astronomische buurt	55%	45%
Erfgooiersbuurt	62%	38%
Noordelijk Natuurreservaat	20%	80%
Johannes Geradtswegbuurt	53%	47%
Raadhuiskwartier	41%	59%
Geuzenwegbuurt	86%	14%
Langgewenstbuurt	80%	20%
Corversbos	2%	98%
Boomberg	34%	66%
Kleine Driftbuurt	82%	18%
Maranathakerkbuurt	67%	33%
Kemplan	84%	16%
Winkelcentrum	84%	16%
Havenkwartier	67%	33%
Industriebuurt	66%	34%
Sint Vitusbuurt	73%	27%
Havenstraatbuurt	76%	24%
Schrijverskwartier	41%	59%
Noordelijk Bloemenkwartier	78%	22%
Schilderskwartier	45%	55%
Sportparkkwartier	44%	56%
Van Riebeeckkwartier	58%	42%
Oostelijk Natuurreservaat	7%	93%
Staatsliedenkwartier	54%	46%
Kerkelanden	63%	37%
Zuidelijk Bloemenkwartier	58%	42%
Loosdrechtse Bos en Hoorneboeg	4%	96%
Lintbebouwing Utrechtseweg en Noodweg	6%	94%
Egelshoek	5%	95%
tabel 4.2 Percentages begroeiing per wijken en buurten eenheid (deelselectie van wijken en buurten van de gemeente Hilversum)		

<b>Bestemmingsplan</b>	<b>percentage onbegroeid</b>	<b>percentage begroeid</b>
wonen	26%	74%
kantoren	46%	54%
bedrijven	70%	30%
horeca/recreatie	25%	75%
Groenvoorziening	7%	93%
tabel 4.3 Percentages begroeiing per bestemmingsplan klasse		

Woonmilieu's	percentage onbegroeid	percentage begroeid
Centrum Stedelijk (CS)	78%	22%
Stedelijk Buiten Centrum (SBC)	37%	63%
Groen Stedelijk (GS)	15%	85%
Centrum Dorps (CD)	23%	77%
Landelijk Gebied (LG)	7%	93%

tabel 4.4 Percentages begroeiing per woonmilieu klasse

De kaartjes met begroeiingspercentages geven een goede indruk van het groen voor een specifieke locatie. De tabellen geven een totaal overzicht van het percentage groen binnen een bepaald gebied. Voor de bovenstaande tabellen is als gebied het beschikbare satellietbeeld gekozen, dit heeft echter geen relatie met een vraag uit de praktijk. Bij een toepassing in de praktijk kan bijvoorbeeld voor een gemeente, een regio of een ander bestaande gebiedsindeling gekozen worden. Het is dan wel van belang dat voor het gehele gebied satellietbeelden beschikbaar zijn, alleen dan kan deze methode voor monitoring gebruikt worden.

#### 4.4 Reactie gebruikers

Beide toepassingen (herkenning nieuwe bebouwing en vaststelling percentages groen) zijn voor de locatie Hilversum uitgewerkt. Vanwege tijdgebrek zijn dezelfde toepassingen niet voor de overige locaties herhaald, voor de gebruikers was dit ook niet van belang omdat met deze ene locatie de methode voldoende duidelijk was uitgewerkt.

Met betrekking tot de herkenning van nieuwe bebouwing is de toegevoegde waarde van Ikonos beelden heel beperkt. Voor handavingsproblemen op lokaal niveau is het beeld vaak niet scherp genoeg. Dan speelt het meeste werk zich in gebiedjes van minder dan een hectare af en zijn gewone luchtfoto's beter. Maar voor het werk aan een gemeentelijk of intergemeentelijk structuurplan is zo'n beeld wel weer heel interessant. Ook voor handhaving op nationaal niveau heeft men z'n twijfels over de meerwaarde van Ikonos. Momenteel worden Landsat-beelden gebruikt, samen met andere bronnen van informatie, om jaarlijks te bepalen waar de inspecties hun handavingsacties op richten. Voor die inspecties zelf zijn satellietbeelden niet nodig. Ook werd al snel duidelijk, dat het voor deze toepassing toch vooral om visuele interpretaties gaat, en dus niet om semi-automatische bewerkingen. Ook daarmee vervalt een belangrijk voordeel van het satellietbeeld. De combinatie van kennis van de gespecialiseerde software en grote hoeveelheid vereiste tijd om de analyses uit te voeren maakt deze toepassing met name voor gemeenten weinig aantrekkelijk. De kans dat hiervoor op basis van beelden met deze resolutie (semi-)automatische bewerkingsmethoden kunnen ontwikkeld wordt zeer laag ingeschat.

Anders is het met de geschatte percentages groen. Deze semi-automatische doorbreking van alle gangbare ruimtelijke indelingen van Nederland wordt door alle drie gebruikers zeer op prijs gesteld. Deze afgeleide kaartjes illustreren volgens hen heel goed dat verstedelijking nog niet betekent dat het gedaan is met het groen. Ze



zien veel in het op deze wijze monitoren van 'groen' in bebouwde gebieden, al is het alleen al om na te gaan in hoeverre het beleid met betrekking tot groen in en om de stad het verwachte effect heeft. Het eens in de paar jaar herhalen van een dergelijke exercitie voor het hele land zou zowel voor de RPD als voor LNV heel aantrekkelijk zijn. Zo ziet LNV wel wat in inpassing van deze methodiek in een monitoring van groenresultaten van de 30 grootste gemeenten (G30) in het kader van het Investeringsprogramma Stedelijke Vernieuwing (ISV). Nu is daarbij de CBS Bodemstatistiek van 1996 het vertrekpunt. Aanvullende informatie is nodig, maar blijkt moeilijk bij elkaar te krijgen.

Op gemeentelijk niveau zouden kaartjes met 'percentage groen per geselecteerde bestemming' een enorme steun in de rug zijn geweest voor vernieuwend werk aan bestemmingsplannen. De plannenmakers zouden dan een goed en objectief middel gehad hebben om bijvoorbeeld de bebouwingspercentage-methodiek te verdedigen of te verfijnen. Ook gemeenten willen graag een verscheidenheid aan woon- en werkmilieus binnen hun grondgebied handhaven, maar worden steeds geconfronteerd met wensen van grondgebruikers om hun gebouwen uit te breiden ten koste van het groen in hun tuinen. Als je daar geen limieten aan stelt leidt dit op den duur onherroepelijk tot een hoog-verstedelijkte eenheidsworst.

Natuurlijk roepen de beelden weer nieuwe vragen en wensen op. Zo zou de RPD graag naast de percentages 'groen' per gebied ook de percentages 'water' aangegeven zien, al is het alleen al om na te gaan in hoeverre de twee uitwisselbaar zijn. Ook leidt vergelijking tussen het bewerkte beeld en de afgeleide kaartjes tot de opmerking dat een gebiedsindeling (bv. de RPD woonmilieus) vaak te grof is en gebieden met bebouwing en de daarnaast aanwezige parken ten onrechte samenvoegt. Eigenlijk zouden zulke gebiedjes weer gesplitst moeten worden.

De vraag naar regelmatige herhaling, het echte monitoren dus, roept wel een probleem op van echte vergelijkbaarheid tussen twee opnames. We moeten natuurlijk wel zeker van onze zaak zijn als we zeggen dat het percentage groen in die en die gebieden of zelfs over de hele linie achteruit gegaan is. Het zou ook door het tijdstip van opname kunnen komen, of door een periode van droogte die er in een van de twee jaren aan vooraf gegaan is, of door sterk verschillende weersomstandigheden. Ijkingsgebiedjes, waarvan we zeker zijn dat de situatie exact gelijk gebleven is, horen dus wel deel uit te maken van zo'n monitoringssysteem.

## 5 Evaluatie en conclusie

### 5.1 Kosten, snelheid van beschikbaarstelling, kwaliteit beeldmateriaal en toekomstperspectief

De gebruikte Ikonos satellietbeelden hebben we in 2000 tegen een gereduceerd tarief van Fl. 55,- per km<sup>2</sup> bij NEO BV. kunnen aanschaffen. De kosten zijn op dit moment (2001) meer dan verdubbeld: \$53,- per km<sup>2</sup>. Dit heeft deels te maken met de problemen die zijn gerezen tussen Space Imaging Europe en Space Imaging Inc. waardoor het niet langer mogelijk is om beelden via Space Imaging Europe te bestellen. Bij het aanschaffen van grote hoeveelheden data is prijsreductie wel mogelijk. Voor deze prijs worden zowel het panchromatische (1 meter detail) als het multi-spectrale bestand (4 meter detail) geleverd. Deze zijn wel voorzien van georeferentie in het UTM stelsel maar zijn niet met voldoende nauwkeurigheid naar het Rijks Driehoekstelsel te transformeren. Ook zijn de beelden niet gecorrigeerd voor hoogteverschillen in het terrein (geen ortho-rectificatie), deze correctie moet door de gebruiker zelf uitgevoerd worden. Voor Nederland behalve Zuid-Limburg is dit niet zo'n groot probleem.

De snelheid waarmee de beelden beschikbaar komen is traag. De informatie over een geslaagde opname kwam in 2000 pas na meer dan één maand na opname beschikbaar, vervolgens duurde de levering na bestelling nog één tot twee maanden. Volgens informatie van Space Imaging Inc. is de gemiddelde levertijd op dit moment 90 dagen.

De kwaliteit van het beeldmateriaal is goed. Het panchromatisch beeld geeft een hoog detail van 1 meter waarop o.a. gebouwen, wegen en bomen goed te herkennen zijn. Ook het multi-spectrale beeld geeft goede informatie over de vegetatie. Het is goed mogelijk om onbegroeide en begroeide locaties van elkaar te onderscheiden. Helaas is het detail niet voor alle toepassingen voldoende. Vooral voor het waarnemen van kleine gebouwen is een luchtfoto beter geschikt dan een Ikonos beeld.

Bovengenoemde kosten laten zich vergelijken met die van reguliere luchtfotografie. Bij een schaal van 1:6000, die een grondresolutie van 15 cm oplevert, wordt voor foto's die reeds volledig aan het coördinatenstelsel zijn aangepast f 500 per km<sup>2</sup> gerekend. Voor een gemeente als Hilversum, met een omvang van ruim 46 km<sup>2</sup>, komt dit neer op hoogstens f 25 000 (informatie KLM-Aerocarto). Dan heb je echter nog geen digitale databestanden waarmee gerekend kan worden. Alleen foto's, die zich uitstekend lenen voor visuele interpretatie.

Sinds kort zijn via TerraImaging in Amsterdam digitale luchtfoto's verkrijgbaar. Een gedetailleerd overzicht van de kosten kan nu nog niet gegeven worden, ter indicatie wordt een bedrag van Fl. 400,- per km<sup>2</sup> genoemd. Het product wat hiervoor geleverd wordt omvat niet alleen een digitale opname die vergelijkbaar is met de multi-spectrale opname van Ikonos maar ook een hoogtestand dat tegelijkertijd door de scanner opgenomen is. Het detail van de multi-spectrale opname bedraagt 30 cm en de opname is ortho-gerectificeerd. De prijs kan verlaagd worden bij afname van



grote hoeveelheden data of bij afname van de data met een lager detailniveau (informatie TerraImaging: zie [www.terraimaging.nl](http://www.terraimaging.nl)).

Tabel 5.3 geeft een overzicht van een aantal verschillende soorten luchtfoto's en satellietbeelden en de bijbehorende prijzen.

Satelliet-/lucht-foto	Opname-grootte (km <sup>2</sup> )	Opname periode	Spectrale banden(µm)	Resolutie	Prijs* (/km <sup>2</sup> )
TDN (panchromatisch)	4*4	1994-1997	ca.0.4-0.7 (zichtbaar)	15 cm	f 12,5
Eurosense (true color)	4*4	zomer 1996	ca. 0.4-0.5 (blauw) ca. 0.5-0.6 (groen) ca. 0.6-0.7 (rood)	25 cm	f 62,5
Ikonos (panchromatisch)	11*11	begin mei 2000	0.45-0.90 (zichtbaar en nabij-infrarood)	1 m	\$35,-
Ikonos (multi-spectraal)	11*11	begin mei 2000	0.45-0.52(blauw) 0.52-0.60(groen) 0.63-0.69(rood) 0.76-0.90(nabij-infrarood)	4 m	\$35
IKONSOS (pan + ms)					\$53,-
Idem, inclusief orthorectificatie met hoogtemodel van de gebruiker					\$204,-
TerraImaging Digitale Infrarood opname en hoogtemodel inclusief orthorectificatie		vanaf 2000		30 cm	Fl 400,- (indicatie)

Tabel 5.3 Kosten luchtfoto's en hoge-resolutie satellietbeelden

In de nabije toekomst worden nog door verschillende bedrijven enkele satellieten gelanceerd die beelden met een hoog detail kunnen opnemen (zie tabel 1.2). Hiermee wordt de kans op een beschikbare opname groter en kan wellicht door de concurrentie tussen de bedrijven ook de prijs gaan dalen en de service verbeteren. Ook zullen in de toekomst satellietopnamen met een nog hoger detail beschikbaar komen (o.a. Quickbird 2).

Het grote voordeel van de satellietbeelden is in theorie de beschikbaarheid. De satelliet is permanent in de ruimte en kan dus op ieder gewenst moment een opname maken, dit in tegenstelling tot het verkrijgen van luchtfoto's waarbij het vliegtuig speciaal ingezet moet worden. Ikonos kan in theorie om de 2 dagen van dezelfde

locatie een opname maken. In de praktijk valt het verkrijgen van een beeld erg tegen (zie hoofdstuk 3.2) en vervalt het voordeel van de permanente beschikbaarheid.

De conclusie voor de toepasbaarheid van Ikonos is dan ook tweeledig :

- de kwaliteit van de Ikonos opnamen is goed en in de praktijk zeker bruikbaar
- de beperkte beschikbaarheid (zowel in de tijd als naar locatie) maakt dat Ikonos beelden slechts incidenteel inzetbaar zijn. Pas als er een landsdekkend archief met beelden opgebouwd wordt en de beschikbaarheid van beelden op dezelfde locaties in de toekomst gegarandeerd kan worden kunnen Ikonos beelden ook voor monitoringsdoeleinden ingezet worden.

Een vergelijking van de kosten van Ikonos opnamen met luchtfoto's is alleen per concrete toepassing te maken. Voor zowel Ikonos als luchtfoto's geldt dat bij omvangrijke bestellingen hoge kortingen mogelijk zijn. Ook is de prijs sterk afhankelijk van het gewenste materiaal. Als het alleen om panchromatische opnamen gaat zijn de foto's van TDN goedkoper dan de Ikonos opnamen. Voor kleurenopnamen liggen de prijzen van Eurosense en Ikonos dicht bij elkaar. Voor panchromatische en multi-spectrale opnamen lijkt Ikonos goedkoper dan de opnamen van TerraImaging maar het gaat hier dan ook om verschillende producten. Indien voor beide producten van de ortho-gerectificeerde opnamen uitgegaan wordt zijn Ikonos opnamen duurder terwijl het detail van de TerraImaging opnamen hoger is.

Op dit moment zijn luchtfoto's echter een betrouwbaarder bron van informatie voor het gebruik bij monitoring. Ook voor doeleinden waartoe het detail van 1 meter (Ikonos panchromaat) niet hoog genoeg is blijft de luchtfoto vooralsnog het enige alternatief.

## **5.2 Toepassingen in de praktijk**

Voor het monitoren van verstedelijking zijn satellietbeelden met een hoge resolutie als die van Ikonos in principe goed bruikbaar, mits ze jaarlijks landsdekkend en tegen lagere prijzen dan nu beschikbaar zijn. De bruikbaarheid voor het monitoren van omvang en oppervlakte van gebouwen of van nieuwe bebouwing zal echter beperkt zijn zolang we daarbij aangewezen blijven op visuele interpretaties. Die zijn arbeidsintensief en hebben niet veel meer dan een signaleringsfunctie van 'ga daar eens kijken'. Het is daarom aantrekkelijk om met behulp van de nu beschikbare beelden nieuwe methoden te ontwikkelen en uit te proberen die deze signaleringsfunctie grotendeels of geheel automatisch verrichten. In dit opzicht valt wel iets te verwachten van de zogenaamde 'contextuele algorithmes' (Barnsley and Barr, 1996), nu de resolutie hoog genoeg is om ook bij samenvoeging van 3 x 3 pixels nog gebouwen te kunnen blijven herkennen.

Veel positiever zijn de resultaten als we het verstedelijkingsproces reduceren tot verschuivingen in begroeid-onbegroeid. Dit onderscheid is redelijk goed 'automatisch' te maken, waardoor met name de mate waarin verstedelijking leidt tot afname van 'groen' goed kan worden gevolgd. Het is hierbij wel van groot belang dat



ten tijde van de opnamen het groen steeds goed ontwikkeld is. Dit opent perspectieven voor het beleid om aan projectontwikkelaars eisen te stellen ten aanzien van het handhaven van een zeker percentage 'groen' per project. Groene daken en aanplant van bomen waarvan de kruinen deels boven de daken zullen reiken kan dan gemakkelijk worden gemonitord en beloond, of het uitblijven daarvan worden bestraft. Combinatie van deze (semi-)automatische beeldverwerking voor het groen met een voor het water maakt de methode nog sterker.

Deze eerste verkenning van de mogelijkheden van Ikonos voor het monitoren van verstedelijking kan dus al met al als hoopvol worden omschreven, met vooral een uitdaging om automatische of semi-automatische beeldverwerking met betrouwbare uitkomsten verder te ontwikkelen.

## Referenties

- Barnsley, M.J., and Barr, S.L., 1996. Inferring urban land use from satellite sensor images using kernel-based spatial reclassification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 949-958
- Berg, L.M. van den, R.J.A. van Lammeren en W.D.A. van den Bosse, 1996. Verstedelijking in het landelijk gebied; typering van een proces en ontwikkeling van een methode voor monitoring. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 451.
- ERDAS Field Guide, 1997. Fourth Edition, blz. 149, ERDAS, Inc, Atlanta, USA..
- Lillesand and Kiefer, 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*, Third Edition, blz. 506, John Wiley & Sons, Inc, New York, USA.
- Thunnissen, H.A.M. en H. Kramer, 1997. Mogelijkheden voor de kartering van kleine landschapselementen met behulp van hoge-resolutiesatellietbeelden en het digitale topografisch bestand schaal 1 : 10.000. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 542.



## Appendix 1

### Metadata m.b.t. georeferentie van Ikonos beelden

Producer: Space Imaging  
Project Name: 1224 Polygons C, D, E - The Netherlands VAR  
Filename: po\_9385\_blu\_0000000.tif  
Band: Blue  
Bits/Pixel: 11  
Number of Bands: 1  
Datum: WGS84  
Projection: Universal Transverse Mercator  
Zone: 31  
UL Map X (Easting): 623568.08 meters  
UL Map Y (Northing): 5826783.03 meters  
Pixel Size X: 4.00 meters  
Pixel Size Y: 4.00 meters  
Columns: 3263 pixels  
Rows: 9751 pixels

## Appendix 2

### Procedure voor het maken van het bestand met de klassen onbegroeid en begroeid.

stap 1 : berekening NDVI uit het satellietbeeld

gebruikte formule :  $\text{band 4} - \text{band 3} / \text{band 4} + \text{band 3}$

uitkomst geschaald tussen 0 en 255

stap 2: met behulp van visuele interpretatie van het satellietbeeld grenzen vaststellen tussen de klassen onbegroeid, gemengd en begroeid

klasse	ndvi waarde
onbegroeid	0 - 147
gemengd	148 - 172
begroeid	173 - 255

stap 3: berekening van hulpbestand voor opsplitsen van de klasse gemengd

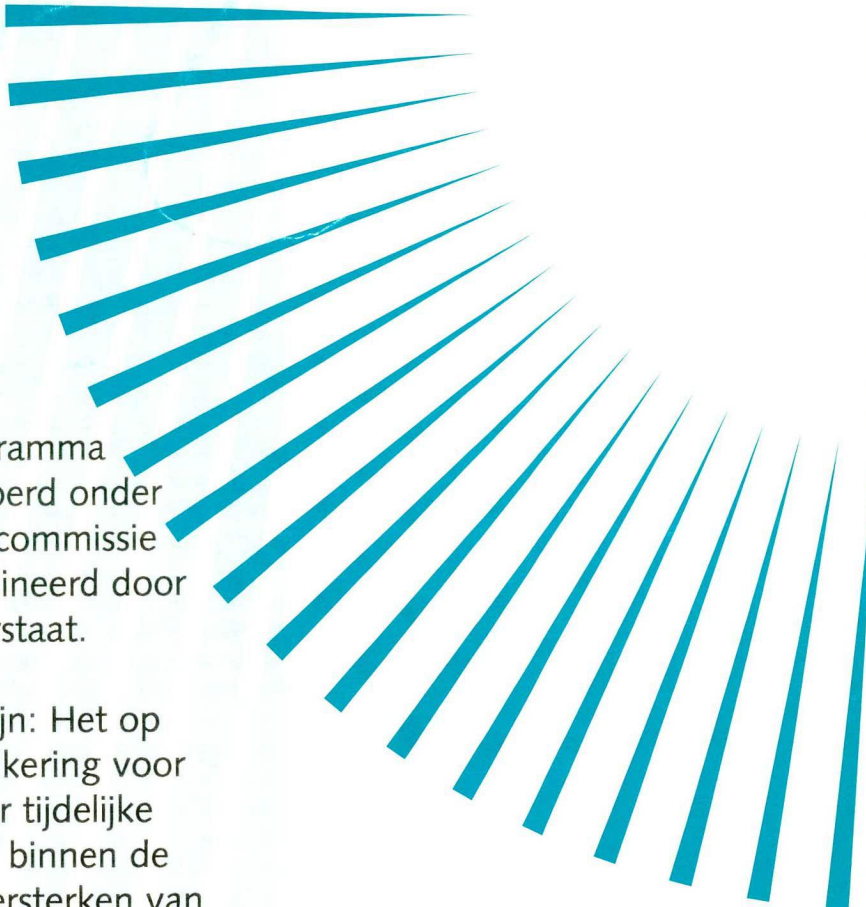
gebruikte formule :  $\text{band 2} - \text{band 1}$

stap 4: met behulp van visuele interpretatie van het satellietbeeld grenzen vaststellen tussen de klassen onbegroeid en begroeid voor het gebied dat in de klasse gemengd valt

klasse	band 2 - band 1 waarde
onbegroeid	> 22
begroeid	< 23

stap 5: onbegroeid/begroeid bestand genereren aan de hand van de voorgaande stappen





Het Nationaal Remote Sensing Programma 1990-2000, (NRSP-2) wordt uitgevoerd onder verantwoordelijkheid van de Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS), en gecoördineerd door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

De doelstellingen van het NRSP-2 zijn: Het op termijn bereiken van blijvende verankering voor het gebruik van remote sensing door tijdelijke stimulering in de gebruikerssectoren binnen de overheid en het bedrijfsleven, het versterken van remote sensing toepassingen en de uitbreiding van de nationale infrastructuur.

Publikatie van:

**Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS)**  
**Programmabureau**  
**Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst**

Postbus 5023  
2600 GA Delft  
Tel.: +31 (15) 269 11 11  
Fax: +31 (15) 261 89 62  
E-mail: [p.b.bcrs@mdi.rws.minvenw.nl](mailto:p.b.bcrs@mdi.rws.minvenw.nl)  
BCRS homepage: <http://www.minvenw.nl/rws/mdi/bcrs>