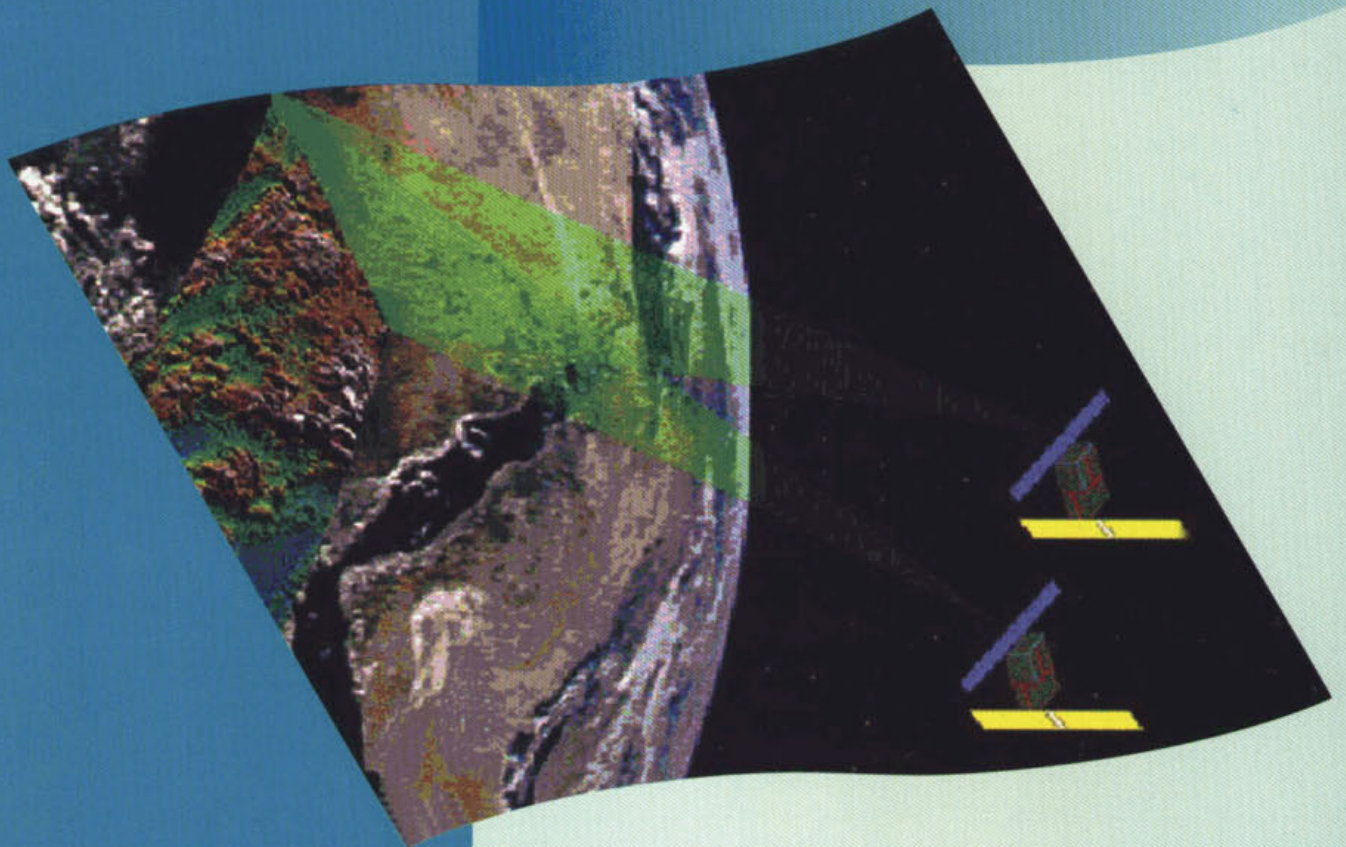


2002-18\_remote-sensing-waterbeheer

**stowa**

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

## Remote sensing in het waterbeheer



2002

18



## Remote sensing in het waterbeheer

Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
Telefoon: 030 - 232 11 99  
Fax: 030 - 232 17 66  
E-mail: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)  
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-overzicht  
van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:

*Hageman Fulfilment*

Postbus 1110

3300 CC Zwijndrecht

Telefoon: 078 - 629 33 32

fax: 078 - 610 42 87

E-mail: [hff@wxs.nl](mailto:hff@wxs.nl)

o.v.v. ISBN- of bestelnummer  
en een duidelijk afleveradres.

ISBN 90-5773-173-8

2002

18

**Colofon:**

Utrecht, 2002

Uitgave:

STOWA, Utrecht

Auteurs:

H. Noorbergen, Th. Claassen, J. Schouwenaars, K. van Raamsdonk,  
P. Spierenburg, R. Verhage

Eindredactie:

M.R. Hartman

Foto omslag:

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (Hein Noorbergen)

Druk:

Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2002-18

ISBN nummer 90-5773-173-8



## Ten geleide

Biedt Remote Sensing de waterbeheerders goede mogelijkheden om kosteneffectief, actuele, vlakdekkende beeldinformatie te krijgen over 'de toestand van het watersysteem'? Deze vraag komt regelmatig naar boven in waterbeherend Nederland.

Inmiddels hebben diverse waterbeheerders ervaring opgedaan met de toepassing van Remote Sensing voor verschillende doeleinden. Hieruit blijkt dat de vertaalslag van de informatievraag van waterbeheerders naar een geschikt product niet altijd zonder problemen is. Te vaak wordt de technologie van Remote Sensing als uitgangspunt genomen in plaats van het waterbeheer. Naar aanleiding hiervan heeft STOWA tezamen met het Waterschap Regge en Dinkel, het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium en HKV LIJN IN WATER het initiatief genomen om waterbeheerders en aanbieders van Remote Sensing producten bijeen te brengen op de studiedag "Remote Sensing en Waterbeheer, van Vraag naar Aanbod".

Het doel van de studiedag was om helder te krijgen welke rol Remote Sensing kan spelen bij het waterbeheer. Hiervoor is het enerzijds van belang om duidelijk te maken voor welke vragen de waterbeheerder Remote Sensing toepassingen ziet en anderzijds wat Remote Sensing aan informatie kan genereren. Uiteindelijk hopen wij dat op deze manier het aanbod van Remote Sensing toepassingen beter aan zal gaan sluiten bij de informatievraag vanuit de waterbeheer sector.

De studiedag vond plaats op 6 maart 2002. Uit de studiedag blijkt dat de waterbeheerders grote belangstelling hebben voor het gebruik van Remote Sensing, maar dat er een beperkte kennis is over de mogelijkheden ervan. Het is voor de waterbeheerders niet altijd duidelijk hoe Remote Sensing data ingepast kunnen worden in bestaande monitorings- en onderzoeksprogramma's en hoe Remote Sensing gegevens als aanvullende informatie gebruikt kunnen worden.

De kennis van Remote Sensing kan vergroot worden door een platform te creëren (of bij een bestaande structuur aan te sluiten) waar waterbeheerders informatie uitwisselen. Door publicaties in de vakbladen van de waterbeheerders kan meer bekendheid worden gegeven aan de toepassingsmogelijkheden van Remote Sensing.

Aan waterbeheerders wordt aanbevolen om gezamenlijk specifieke toepassingen te onderzoeken. Op deze wijze zal het minder moeilijk zijn om onderzoek te financieren en kunnen Remote Sensing data gezamenlijk worden aangeschaft.

In dit rapport treft u een verslag aan van de studiedag en aanbevelingen om gebruik van Remote Sensing in het waterbeheer te stimuleren. Wij hopen dat dit rapport bijdraagt aan nieuwe initiatieven voor het gebruik van Remote Sensing in het waterbeheer.

Utrecht, april 2002

Ir. J.M.J Leenen

Directeur van de STOWA



## De STOWA in het kort

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. In 2002 waren dat alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van behoefte-inventarisaties bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties.

De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonedig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n vijf miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl).

# Inhoud

## Ten geleide De STOWA in het kort

<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding.....	1
1.2	Aanpak.....	1
1.3	Inhoud rapport.....	1
<b>2</b>	<b>Lezingen.....</b>	<b>2</b>
2.1	Overzicht informatieaanbod Remote Sensing door Hein Noorbergen.....	2
2.2	Remote sensing ten behoeve van waterkwaliteitsonderzoek door Theo Claassen.....	9
2.3	Satellietbeelden en verdamping door Jos Schouwenaars.....	33
2.4	Legger en infrastructuur.....	41
2.4.1	Toepasbaarheid IKONOS satellietbeelden bij gegevensinwinning van het waterschap Regge en Dinkel door Ko van Raamsdonk.....	41
2.4.2	Toepassing satellietbeelden bij WVO-toezicht op agrarische emissies - een proefproject- door P. Spierenburg.....	46
2.4.3	Toepasbaarheid van satellietbeelden voor een waterschap door Rene Verhage.....	52
<b>3</b>	<b>Verslag van de workshops.....</b>	<b>59</b>
3.1	Inleiding.....	59
3.2	Waterkwaliteit.....	59
3.2.1	Aanwezigen.....	59
3.2.2	Vraagstellingen.....	60
3.2.3	Vervolg.....	60
3.3	Waterkwantiteit 1.....	61
3.3.1	Aanwezigen.....	61
3.3.2	Vraagstellingen.....	61
3.3.3	Vervolg.....	62
3.4	Waterkwantiteit 2.....	63
3.4.1	Aanwezigen.....	63
3.4.2	Vraagstelling.....	63
3.4.3	Vervolg.....	64
3.5	Landgebruik.....	65
3.5.1	Aanwezigen:.....	65
3.5.2	Vraagstelling.....	65
3.5.3	Vervolg.....	66
3.6	Legger en infrastructuur.....	67
3.6.1	Aanwezigen:.....	67
3.6.2	Vraagstelling.....	67
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>69</b>
	Bijlage A: Informatiebronnen.....	73
	Bijlage B: Bedrijfsprofielen.....	75



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Door de waterbeheerders in Nederland zijn diverse studies uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van Remote Sensing (RS). Tijdens de uitvoering van de projecten bleek dat veel RS projecten uitgaan van een hoog RS-kennisniveau. Om de RS gegevens ook van nut te laten zijn in de waterschapswereld is het van belang om niet alleen de mogelijkheden van RS data in kaart te brengen maar ook om te onderzoeken met welke vragen, die mogelijk met RS kunnen worden opgelost, de waterbeheerders leven.

De STOWA heeft een studiedag georganiseerd, waarin het achterhalen van de vraag van de waterbeheerders centraal staat. Eén ander heeft uiteindelijk geresulteerd in een studiedag, "Remote sensing in het waterbeheer, van vraag naar aanbod". Deze studiedag is gehouden op 6 maart 2002 te Utrecht.

In deze rapportage worden de resultaten van de studiedag gepresenteerd en conclusies getrokken omtrent de toepassingsmogelijkheden van RS in het waterbeheer.

## 1.2 Aanpak

De studiedag was opgesplitst in twee delen. In de ochtendsessie presenteerden mensen uit de waterschapswereld hun ervaringen met RS. Deze ervaringen strekten zich uit over een viertal thema's, vallend binnen het werkveld van het waterschap: waterkwaliteit, waterkwantiteit, legger & infrastructuur en landgebruik.

De middagsessie bestond uit een aantal workshops, verdeeld over de vier thema's. In deze workshops konden de deelnemers een aantal probleemstellingen aangeven, waarvoor zij RS toepassingen zien. Daarnaast was het doel van de workshops om erachter te komen hoe de deelnemers in de toekomst met RS om willen gaan.

Rondom de studiedag was een bedrijvenmarkt georganiseerd. Een tiental Nederlandse bedrijven met specialisatie op het gebied van RS presenteerde zich daar.

## 1.3 Inhoud rapport

Dit rapport geeft een beschrijving van de studiedag, en presenteert de resultaten van de dag. In hoofdstuk twee zijn de lezingen, die zijn gehouden op de studiedag, integraal opgenomen. In hoofdstuk 3 staan verslagen van de workshops. Hoofdstuk 4 geeft de conclusies en aanbevelingen, die volgen uit de studiedag.

In Bijlage B zijn bedrijfsprofielen opgenomen van de bedrijven die op de bedrijvenmarkt aanwezig waren.

## 2 Lezingen

### 2.1 Overzicht informatieaanbod Remote Sensing door Hein Noorbergen

**Hein Noorbergen**

**Remote Sensing specialist**

**Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium**

Voorsterweg 31

8316 PR Marknesse

#### **Inleiding**

Deze presentatie beoogt een beeld te geven van het huidige aanbod van Remote Sensing, de gegevens, de technieken en de verkregen producten. Zoveel mogelijk, wordt getracht de brug te slaan naar het gebruik van remote sensing in het waterbeheer.

Het begrip Remote Sensing wordt nader toegelicht en typische aspecten zoals geometrische-, temporele- en spectrale resolutie worden nader verklaard. Enkele specifieke kenmerken van rasterinformatie, van belang voor het werken met deze informatie, komen aan bod en ook een aantal operationele toepassingen om te laten zien bij welke informatievragen RS gegevens goed gebruikt kunnen worden.

De presentatie wordt gegeven vanuit de invalshoek van het National Point Of Contact (NPOC), de NLR faciliteit voor de satellietdata-distributie. Het NPOC staat aan het begin van de zogenaamde data distributie keten:

Ruwe data ► NLR-NPOC ► halfproducten ► VAI ► geoproducten ► markt/eindgebruik

De onbewerkte satellietdata kunnen door het NPOC ofwel direct worden geleverd, of er kan een voorbewerking aan plaats vinden. Te denken valt bijvoorbeeld aan het geometrisch corrigeren van satellietbeelden in een gewenste kaartprojectie (directe uitwisselbaarheid in een GIS) of aan het SAR-processen (SAR is *Synthetic Aperture Radar*) van radar beelden tot visueel interpreteerbare beelden.

De aldus beschikbaar gemaakte halfproducten worden opgepakt door de "Value Adding Industry", VAI, d.w.z. bedrijven die zich hebben gespecialiseerd in het vervaardigen van afgeleide thematische producten van satellietinformatie, de zogenaamde geoproducten. Een landgebruikskaart, vegetatiekaart of een sedimentconcentratie kaart kunnen voorbeelden zijn van thematische producten die afgeleid worden van satellietbeelden. Deze geoproducten moeten uiteindelijk hun weg vinden naar het eindgebruik/de markt waarvan het waterbeheer er één is.

In de Noordoostpolder, waar NLR-NPOC huist, zijn twee bedrijven actief die gespecialiseerd zijn in satellietdata distributie:

- NPOC: distributeur voor Eurimage (Landsat), Euromap (IRS), Space Imaging (IKONOS), Imagesat Int. (EROS), USGS (Landsat) en RAPIDS (NLR mobiele grondstation).
- Geoserve: distributeur voor Spotimage (SPOT), Eurimage (ERS, Quickbird), Radarsat Int. (Radarsat).



Geoserve en NPOC zitten beiden in het SARCOM consortium met als doel de ontvangst en distributie van de diverse Envisat (*Environmental Satellite*) producten. SARCOM is een consortium van 8 bedrijven op het gebied van Remote Sensing.

Door de bovenstaande bundeling van data distributie activiteiten kan met recht gesteld worden dat het centrale satellietdata distributie centrum in Nederland gevonden kan worden in de Noordoostpolder.

### Definities Remote Sensing

Van Remote Sensing zijn diverse definities bekend, een aantal sleutelwoorden komen in alle definities wel voor:

- *Afstand* (er wordt waargenomen vanaf een zekere afstand, van 32.000 km hoog tot enkele meters hoog)
- *Platforms* (satellieten, vliegtuigen, meetopstellingen)
- *Elektromagnetische straling (actief/passief)* (er worden bepaalde golflengte gebieden binnen het elektromagnetisch spectrum gemeten)
- *Sensoren* (de metingen gebeuren met behulp van instrumenten)
- *Image processing* (de ontvangen data ondergaan altijd een of andere vorm van bewerking die tot doel heeft de gegevens gebruiksklaar te maken)

Het hoofdonderscheid dat valt te maken in *platforms* is dat van satellieten en van vliegtuigen. De typerende kenmerken van beiden zijn:

Satellieten:

- Sensoren: actief (radar) en passief (optisch)
- Resolutie: 5 km tot 70 cm
- Footprint: 500x500 km tot 8x8 km
- Vlieghoogte: van 450 km (polair) tot 32.000 km (geostationair)
- Overkomsttijd: vast

Vliegtuigen:

- Sensoren: actief (radar) en passief (optisch)
- Resolutie: 2 m tot 20 cm
- Footprint: 6x6 km tot 500x500 m
- Vlieghoogte: maximaal 6 km
- Overkomsttijd: flexibel

*Sensoren*, optisch en radar.

Optische instrumenten ontvangen gereflecteerde zonnestraling van objecten van of op de aardoppervlakte. Dit is een zogenaamd passieve meetmethode en deze vindt plaats in de kortere golflengtes van het *elektromagnetisch spectrum* (zichtbaar licht, nabij infrarood, midden infrarood, thermisch infrarood).

Radar instrumenten zenden zelf een puls uit met een bepaalde golflengte, centimeter golven, en meten vervolgens welke hoeveelheid van deze puls weer wordt teruggekaatst door objecten op de aarde. Dit is een actieve meetmethode en bovendien is het mogelijk om 's nachts waarnemingen te doen of om door bewolking heen te dringen, iets wat met optische instrumenten niet mogelijk is.

### Het *elektromagnetisch spectrum*.

Dit spectrum, waar van belang voor waarnemingen vanuit vliegtuigen en satellieten, loopt van het microgolvengebied (UV) tot aan de centimetergolven. Van korte naar langere golflengtes, volgen hier een aantal typische golflengteintervallen waarbinnen vele waarnemingen door satellieten worden gedaan:

0.45-0.52 $\mu\text{m}$	blauw
0.52-0.60 $\mu\text{m}$	groen
0.63-0.69 $\mu\text{m}$	rood
0.76-0.90 $\mu\text{m}$	nabij infrarood (NIR; near infrared)
1.55-1.75 $\mu\text{m}$	midden infrarood (SWIR; short wave infrared)
2.08-2.35 $\mu\text{m}$	midden infrarood (SWIR; short wave infrared)
10.4-12.5 $\mu\text{m}$	thermisch infrarood (TIR; thermal infrared)
1-100 cm	X-, C-, L-band radar

De breedte van het golflengte interval waarbinnen wordt gemeten wordt de spectrale resolutie genoemd, hoe smaller het golflengtegebied dat wordt gemeten, hoe hoger de spectrale resolutie. Een groot aantal aardobservatie satellieten meten bijvoorbeeld het zichtbare licht in drie spectrale banden, namelijk blauw, groen en rood. Hier is sprake van een normale spectrale resolutie, overigens zeer geschikt voor een groot aantal toepassingen. Er zijn ook instrumenten (hyperspectrale sensoren) die het zichtbare licht meten in tientallen veel kleinere bandjes, dus nog meer verfijning binnen het blauw, groen en rood. Hier is sprake van een hoge spectrale resolutie.

### Satellieten

De meeste aardobservatie satellieten zijn zogenaamde polaire satellieten, satellieten die noord-zuid banen rondom de aarde beschrijven die over de Noordpool en Zuidpool lopen. De hoogte varieert tussen 450 km en 1000 km. De omlooptijd van de meeste polaire satellieten is 100 minuten, dat betekent ongeveer 14,5 omlopen per etmaal. Polaire satellieten zijn zon-synchroon, d.w.z. ze passeren de evenaar (en ook de andere breedtes) op telkens dezelfde locale tijd. Er wordt een bepaalde hoek met de evenaar gemaakt, de inclinatie genaamd, deze is meestal zo'n 98 graden. De inclinatie, in samenhang met de omlooptijd van de satelliet en in samenhang met de rotatiesnelheid van de aarde zelf, bepalen dat elke volgende overkomst van de satelliet ongeveer 3000 km westelijker ligt dan de vorige. Zo ontstaat er een bepaald overkomstpatroon waarbij na een bepaald aantal dagen (gemiddeld 20 dagen) de satelliet weer exact boven het eerste 'vertrek punt' is aangekomen. De satelliet heeft dan op een stelselmatige manier de gehele aarde één keer gezien en hetzelfde proces kan dan weer opnieuw beginnen. De frequentie waarmee een satelliet hetzelfde gebied opnieuw kan waarnemen wordt de temporele resolutie genoemd. Overigens is het bij steeds meer satellieten mogelijk om haaks op de baan waar te nemen, de instrumenten kunnen met behulp van verdraaibare spiegels naar links of naar rechts kijken. Daardoor kan de temporele resolutie toenemen want op deze wijze kan hetzelfde gebied vaker dan eens in de twintig dagen worden opgenomen.

### Resolutie

De geometrische resolutie wordt uitgedrukt in twee Engelse begrippen, de GRD en de GSD. De GRD, de Ground Resolving Distance ofwel de ruimtelijke resolutie wordt gedefinieerd als de middellijn van een cirkel om het centrum van het bemonsteringspunt op de grond, waarbinnen de gevoeligheid voor straling niet verder daalt dan de helft van die in het centrum. De GSD, de Ground Sampling Distance is de bemonsteringsafstand, de afstand op de grond tussen twee opeenvolgende pixels.

GRD en GSD zijn in het algemeen niet hetzelfde maar kunnen anderzijds ook weer niet te ver uit elkaar liggen. Een vaak aangetroffen stelregel is:  $GRD=2 \cdot GSD$ . Is  $GSD < GRD$  dan heeft



men te maken met 'oversampling'. Is  $GSD > GRD$  dan heeft men te maken met 'undersampling'. De vierkante pixel die in digitale beelden ligt opgeslagen is een uniforme weergave (vertaling) van de hierboven beschreven cirkel van de GRD.

De laatste vijftien jaar hadden de meeste aardobservatiesatellieten een geometrische resolutie tussen 10 en 30 meter. Zo hebben de Amerikaanse Landsat satellieten een resolutie van dertig meter, er worden tegelijkertijd grote gebieden in één keer opgenomen, namelijk 180 bij 180 km. De jongste generatie hoge resolutie satellieten, IKONOS en Quickbird hebben sinds 1999 voor een grote sprong voorwaarts in de geometrische resolutie gezorgd. IKONOS neemt waar met 4 meter resolutie in vier spectrale golflengtegebieden en met 1 meter resolutie in een breder spectraal bereik dat panchromatisch (zwart/wit) wordt genoemd. Quickbird heeft een resolutie van 2.5 meter multispectraal en 0.7 meter panchromatisch. De opgenomen gebiedsgrootte is een stuk kleiner in vergelijking met Landsat; ongeveer 10 bij 10 km.

### **Belangrijk**

Met welke resolutie men ook te maken heeft, een hoge resolutie van 70 cm of een veel lagere resolutie van 30 meter, er zal altijd rekening moeten worden gehouden met de specifieke kenmerken van het raster met de vierkante pixels waarin de informatie is vervat. Zo kan de waarnemingsrichting van de sensor van belang zijn bij de 'digitale vertaling' naar pixels in het uiteindelijke beeld; een lijnvormig object zoals een kanaal kan hierdoor rechte, scherpe begrenzingen hebben maar evengoed vagere, trapsgewijze begrenzingen wanneer het kanaal onder een hoek ten opzichte van de waarnemingsrichting is opgenomen.

### **Beschikbare satellieten**

Het aantal beschikbare aardobservatiesatellieten is in de afgelopen drie decennia gestaag gegroeid, maar vooral in de laatste vijf jaar is een extra toename waar te nemen. De eerste aardobservatiesatellieten waren de Amerikaanse Landsat satellieten, Landsat1 werd gelanceerd in 1972. Tot aan 1990 was het aanbod van aardobservatiesatellieten nog steeds beperkt tot de Landsat serie en tot de Franse SPOT satellieten. In de jaren negentig zijn diverse andere landen aardobservatiesatellieten in hun ruimtevaart programma's gaan opnemen; Rusland, India, Japan, Canada en Europa (ESA). De laatste vijf jaar zijn naast de tot dan toe gebruikelijke overheidsprogramma's ook de commerciële initiatieven in opkomst. De jongste generatie hoge resolutie satellieten zijn allen commerciële programma's.

Het huidige aanbod van aardobservatiesatellieten en het aanbod in de nabije toekomst is in detail weergegeven in Tabel 2-1.

Een aspect wat minder direct uit de tabel kan worden afgeleid is het bestaan van zich continuerende programma's waarmee het toekomstige aanbod van satellieten wordt gewaarborgd. Zo voorziet het Franse SPOT programma in nieuwe SPOT satellieten voor de toekomst, Radarsat plant een Radarsat2, De EROS hoge resolutie satellieten vormen een continu programma, ESA heeft met Envisat gezorgd voor een continuering van de ERS satellieten en de commerciële bedrijven maken ook allen melding van volgende hoge resolutie satellieten.

Een ander aspect wat het vermelden waard is, is dat er steeds meer toegespitste programma's komen die voorzien in satellietconstellaties, een serie satellieten (vijf à zeven) die tegelijk in omloop worden gebracht en daardoor gezamenlijk in staat zijn om hetzelfde gebied dagelijks op te nemen. Deze satellietconstellaties hebben meestal een specifiek doel, bijvoorbeeld het zeer snel in kaart brengen van calamiteiten/natuurrampen (DMC - Disaster Monitoring Constellation) of een bepaald gebied voortdurend monitoren op milieu (COSMO/Skymed - Constellation of Small satellites for Mediterranean basin Observation) of het vaststellen van gewasontwikkeling/gewasschade (Rapideye).



Tabel 2-1 Huidige en geplande aardobservatie satellieten

d.d. 05-03-2002



Sat Systeem	Jaar	land	resolutie (m) en spectrale kanalen			SAR	zwade	baanhoogte	pointing	stereo
			pan	ms	tir					
<b>Civil:</b>										
Landsat-4,5	1982-84			30 (7)	120		180	705		
Landsat-7	99		15	30 (7)	60		180	705		
SPOT-1,2,4	1986-98		10	20 (3/4)			2*80	822	ja	ac
Landsat 4,5	1982-1984	USA		30 (7)	120		180	705	revisit 16 days	
Landsat 7	1999	USA	15	30 (7)	60 (2)		180	705	revisit 16 days	
SPOT 1,2,4	1986-1998	France	10	20 (3/4)			2*60	832	ja	ac
SPOT 5	2002-2004	France	2.5 / 5	10 (4)			2*80			al/ac
IRS 1C/D	1995-1997	India	5.8	23.5 (4)			70/140	817	ja (pan)	ac
IRS P5	2003	India	2.5					27		al
IRS P6	2002	India	5.8	5.8(3)/23.5(4)			70/23.9/140		ja (pan)	
Ikonos 2	1999	USA	1	4 (4)				13	681	ja al/ac
Quickbird 2	2001	USA	0.61	2.4 (4)				16.5	450	ja al/ac
Orbview 3	2002	USA	1	4 (4)				8	470	ja ac
EROS A1	2000	Israel/USA	1.8					12.5	480	ja ac
EROS B1-5	2003-2005	Israel/USA	0.82	4				16	600	ja ac
EOS Aster	1999	USA	15	15(3)/30(5)	90 (4)			60	705	ja al (pan),ac(ms)
EO 1	2000	USA	10	30(10),30(220)				37.5/7.5	705	
RapidEye (4x)	2003	UK		6.5 (6)				80	600	
ALOS	2003	Japan	2.5	10 (4)		10/20/100 (L-band)	35/70   70/250		700	ja (ms) al(pan),ac(ms)
Cosmo/Skymed (2+4x)	2003-2007	Italy	0.7	2 (4)		1-2 (X-band)				
Pleiades	2005/2006	France	0.7	2				21-120		ja al60/ac60
ERS 2	1995	Europe				25 (C-band)		100	780	
Envisat MERIS	2002	Europe		300 (15)					800	revisit 3 days
Envisat ASAR	2002	Europe				30 (C-band)		60-100	800	revisit 3 days
Radersat 1	1995	Canada				8-100 (Cband)		50-500	798	
Radersat 2	2003	Canada				3-28-100 (C-band)		20/100/500	798	revisit 3 days
TerraSAR (2x)	2005	Europe				1-30m (XL-band)		10-200km	660	
KOMPSAT 2	2004	Korea/Israel	1	4(?)						
DMC Surrey (5x)	2002-2003	UK		32 (3)				600	688	
PROBA (CHRIS)	2002	Europe	18	19(progr.)				18.6	800	? ?
<b>Militair:</b>										
Helios 1A/B	1988/2001		1							
Helios 2			0.5		2.5					
Ofeq 3	1995	Israel								
Ofeq 5	2002-02	Israel								
TES	2001		1						570	al/ac
Topsat	2003		2.5	5 (?)				15		
SARLupe	2005-2008					1-				

Toelichting:

- PAN = panchromatisch (zwart / wit)
- MS = Multispectraal (meerdere golflengte / banden)
- TIR = Thermisch Infra Rood
- Swade = De breedte van de strook op aarde die een satelliet waarneemt
- Pointing = Het opnameinstrument (sensor) kijkt dan niet alleen recht naar beneden maar kan ook gericht worden (opzij of vooruit – achteruit)
- Stereo = Opnamen met overlap waardoor stereoutwerking mogelijk is

Meer informatie over KOMPSAT 2 staat op de website  
[http://www.kari.re.kr/new\\_html/English\\_version/E\\_index4.htm](http://www.kari.re.kr/new_html/English_version/E_index4.htm)

### Trends in RS

Algemeen waarneembare trends in Remote Sensing zijn:

- Van ad hoc/wetenschappelijk naar operationeel / commercieel
- Van 'technology push' naar 'user pull'
- Van lage resolutie naar hoge resolutie
- Van monopolistisch naar concurrentie
- Van beelden per stuk (terugkijkend) naar abonnement (near real time)
- Beelden worden steeds sneller beschikbaar



### **Rapids systeem van het NLR**

De ontvangst van satellietbeelden gebeurt door middel van een groot aantal grondstations die ruimtelijk verspreid over de hele aardbol staan opgesteld. Overkomende polaire satellieten kunnen binnen het ontvangstgebied van een grondstation hun opgenomen data naar de ontvangschotel sturen. Boven gebieden waar geen grondstation aanwezig is, worden de data tijdelijk aan boord van de satelliet opgeslagen (taperecorders) totdat deze weer binnen het ontvangstgebied van een grondstation overkomt. Een kleine, mobiele ontvangschotel is het RAPIDS systeem van het NLR. Met het RAPIDS grondstation is het mogelijk om lokaal satellietdata zeer snel beschikbaar te maken. Reeds vijf minuten na overkomst en ontvangst van een satelliet kunnen de beelden voorbewerkt- en gevisualiseerd worden. RAPIDS is al op diverse plaatsen op aarde ingezet om de snelle ontvangstmogelijkheden te demonstreren. Ook in Nederland, de thuisbasis van RAPIDS, is het systeem al van nut geweest bij het snel beschikbaar maken van satellietbeelden tijdens de wateroverlast in 1998. Overstroomde gebieden konden toen zeer snel in kaart worden gebracht.

### **Prijsindicatie**

In een poging om mogelijk interessante producten van Remote Sensing voor het waterbeheer te belichten is een onderverdeling van satellietdata, vliegtuigdata en geoproducten gemaakt met daarbij een globale indicatie van de prijzen.

#### **Satellietdata, de hoge resolutie satellieten:**

- IKONOS, 4m kleur en 1m panchromatisch € 30/km<sup>2</sup>
- Quickbird, 2.5m kleur en 0.7m panchromatisch € 35/km<sup>2</sup>
- EROS 1A, 2m panchromatisch € 70/km<sup>2</sup>
- DEM generatie (prijzen IKONOS) € 290/km<sup>2</sup>

#### **Vliegtuigdata:**

- Per luchtfoto (analoge film) € 7/km<sup>2</sup>
- Lufo mozaïeken via fotogrammetrie € 21/km<sup>2</sup> - € 140/km<sup>2</sup>
- Laseraltimetrie DEM € 45/km<sup>2</sup>
- Thermisch infrarood € ../km<sup>2</sup>
- Hyperspectrale scanners € ../km<sup>2</sup>

#### **Geoproducten (van de VAI):**

- Regenradar
- Landgebruik- en gewassenkaarten
- Vochthuishouding op- en in de grond
- Verdampingskaarten, bodemvochtigheid

Bij de genoemde prijzen dient opgemerkt te worden dat er van elke satelliet vele specifieke producten zijn met bijbehorende prijzen. Zo is er bijvoorbeeld vaak onderscheid in prijs tussen archiefdata en nieuw op te nemen data, een relatief lagere prijs bij aanschaf van zowel panchromatisch als kleur, speciale prijzen voor pan-sharpened producten, enzovoort.

## Tot slot

Met de hierboven genoemde Remote Sensing producten valt te denken aan een aantal interessante mogelijkheden om Remote Sensing te kunnen inzetten voor het waterbeheer. Een belangrijk gegeven voor toekomstig gebruik van satellietbeelden is de data assimilatie. Ten aanzien van satellietopnamen betekent data assimilatie dat men ervoor zorgt dat alle aanvullende informatie die van belang is voor een satellietopname in die opname verwerkt of meegenomen wordt. Dit wordt bij voorkeur gedaan via modellen, bijvoorbeeld via een stralingsinteractiemodel waarbij factoren zoals bodemgesteldheid, vegetatie en atmosfeer worden meegenomen. De meest gewenste situatie zou zijn dat zo'n model bij de waterbeheerder zelf werkt waardoor men zelf afgeleide producten van satellietopnamen kan maken.

Behalve het hierboven beschreven, meer algemene, scenario voor toekomstig gebruik, volgen hieronder een aantal concrete mogelijkheden die inzetbaar kunnen zijn voor het waterbeheer: Het combineren van hoge resolutie satellietbeelden (IKONOS, Quickbird, EROS) met hoge resolutie DEMs (AHN) tot een dynamische 3D modellering.

Het combineren van actuele regenval gegevens (regenradar), actuele satellietopnamen (RAPIDS) en nauwkeurige hoogtegegevens (AHN) om overstromingskaarten te produceren of om overstromings scenario's (modellen) te voorspellen. Voorts ligt het voor de hand om al dit soort gegevens samen te brengen in een geografisch informatie systeem.

Hyperspectrale sensoren bieden de mogelijkheid voor het gericht meten van waterkwaliteit in veel meer en smallere golflengte gebieden waardoor sommige verschijnselen beter gedetecteerd kunnen worden. Zo kan bijvoorbeeld in het golflengte gebied tussen 680 en 706 nm de steile reflectie curve van sediment (TSM) worden gemeten m.b.v. hyperspectrale sensoren, een golflengtegebied die Landsat en SPOT niet waarnemen.

Interferometrie is het principe van het meten van de faseverschillen van twee SAR (radar) beelden wat een maat geeft voor de hoogteverschillen. De gemeten hoogteverschillen kunnen gevisualiseerd worden in een interferogram. Er zijn studies gaande om met behulp van interferometrie dijkdeformaties en maaiveld daling te meten.

Multitemporale analyses houdt in: het combineren, over elkaar heen leggen van beelden die verschillen in opnametijdstip om daarmee veranderingen in de tijd inzichtelijk te maken of om een analyse te kunnen doen van dynamische processen (bijvoorbeeld veranderende geulpatronen in rivieren/waddegebied).

Voor meer informatie:

[www.remotesensing.nl](http://www.remotesensing.nl) of [www.npoc.nl](http://www.npoc.nl)



## 2.2 Remote sensing ten behoeve van waterkwaliteitsonderzoek door Theo Claassen

**T.H.L. Claassen**

**Beleidsmedewerker integraal waterbeheer.**

**Wetterskip Fryslân, Leeuwarden**

### **Samenvatting**

In ons land wordt sinds ongeveer 20 jaren remote sensing, zei het op bescheiden schaal, gebruikt ten behoeve van waterkwaliteitsonderzoek. Daarbij gaat het veelal om het verkrijgen van gebiedsdekkende informatie over watertemperatuur, doorzicht, zwevende stof, fytoplanktonbiomassa (chlorofyl en drijflagen), en kroosbedekking. Er wordt een beknopt overzicht gegeven van merendeels Nederlandse toepassingen.

Daarbij wordt nader ingegaan op de vijf in Friesland uitgevoerde remote sensing onderzoeken. Er zijn eerst (1988 en 1992) twee projecten uitgevoerd met satelliet-beelden. Daarmee zijn gebiedsdekkende kleurenbeelden van de Friese boezemmeren verkregen. Vervolgens werden in 1995 en 1997 vliegtuigopnamen gemaakt van kleinere complexe watersystemen, zoals enkele petgatengebieden. Steeds stond de eutrofiëringsproblematiek daarbij centraal. Daarnaast is in een project getracht te komen tot integratie van satelliet remote sensing beelden, modellering en *in situ* metingen.

Resultaten van zowel de spaceborne als de airborne beelden worden getoond en toegelicht. Opvallend zijn de kleurverschillen zowel binnen als tussen meren en petgaten op een bepaald moment. Relatieve patronen en verschillen zijn daarbij belangrijker dan de absolute parameterwaarden van de thematische kaarten. Drijflagen van kroos en kweldervegetatie (bij laag water) kunnen worden gekarteerd met airborne scanners. Temperatuurbeelden kunnen benut worden voor het opsporen van lozingen en daarbij voor WVO-handhavingsactiviteiten.

De belangrijkste waarde van remote sensing is de gebiedsdekkende informatie, waarop (kleur)patronen, gerelateerd aan enkele waterkwaliteitsparameters, zichtbaar zijn. Dat kan helpen bij het analyseren van eutrofiëringsprocessen en bij locatieoptimalisatie van meetpunten. Modellen kunnen worden bijgesteld op basis van remote sensing beelden. Enkele nadelen zijn de beperkte set parameters, waarvan een beeld verkregen kan worden, het ontbreken van een koppeling met beoordelingssystemen voor waterkwaliteit, en de afhankelijkheid van (externe) specialisten.

Op basis van ervaring met deze proefprojecten en genoemde voorbeelden moeten zowel de vragers als de aanbieders van remote sensing producten preciezer aangeven wat ze respectievelijk willen hebben en kunnen leveren. Daarbij moet vanuit beide partijen nog het nodige gedaan worden, zoals remote sensing informatie inbedden in watersysteem-beschrijvingen en -beoordelingen en de techniek onafhankelijker maken van momentane *in situ* data. Bovenal moet er in ons land een infrastructuur komen, die het gemakkelijker maakt projecten van de grond te krijgen. Een gebruikershandleiding, met richtlijnen wanneer welke techniek te gebruiken, zou daarbij ondersteunend kunnen zijn.

### Trefwoorden:

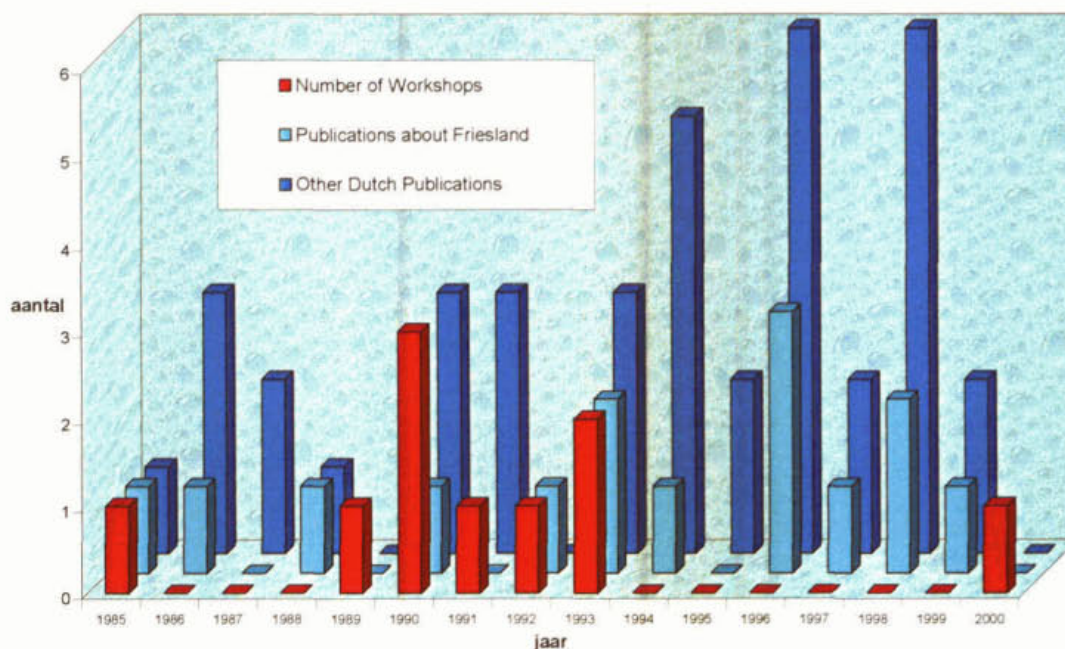
spaceborne en airborne remote sensing, thematische kaarten, waterkwaliteit, eutrofiëring, proefprojecten, voor- en nadelen, verdere implementatie.



## Inleiding

Remote sensing ten behoeve van waterkwaliteitsonderzoek, het van grote afstand waarnemen, vastleggen en interpreteren van verschijnselen in (de bovenste zone) van het oppervlaktewater gebeurt al zo'n kleine 20 jaren in ons land. Die verschijnselen betreffen veelal kleurpatronen veroorzaakt door humus, zwevende stof, algen of andere met licht interfererende stoffen, en worden wat betreft vlakverdeling beïnvloed door stroming, wind en biologische activiteit, zoals patchiness. Indirect is dan ook informatie vast te leggen over doorzicht en extinctie. Verder is het mogelijk de aanwezigheid van hogere planten, waaronder kroossoorten, nymphaeiden en zeegrassen, te herkennen. Naast deze optische remote sensing biedt thermische remote sensing de mogelijkheid om watertemperatuur (en daarmee bijvoorbeeld ook lozingen in oppervlaktewater) en ijsbedekking vast te leggen. Voor een overzicht en indeling van toepassingsmogelijkheden wordt verwezen naar Van Stokkom & Donze (1988) en Althuis & Buiteveld (1996).

Ondanks de ruime en zich steeds uitbreidende mogelijkheden van toepassingen van remote sensing (Claassen, 2001), wordt deze techniek in ons land nog weinig voor waterkwaliteitsonderzoek gebruikt. Daarvoor zijn meerdere oorzaken aan te wijzen. In deze bijdrage wordt met voorbeelden aangegeven welke toepassingsmogelijkheden remote sensing biedt voor het regionale waterkwaliteitsonderzoek, wat de belangrijkste oorzaken zijn van het beperkte gebruik, en wat er zou moeten gebeuren om tot een verdere implementatie te komen. Daarbij kan teruggekeken worden op een periode van 20 jaren praktijkervaring in Nederland, waaronder vijf projecten in Friesland. Die Friese projecten worden aangevuld met ervaringen van elders.



*Figuur 2-1* Overzicht van het aantal Nederlandse workshops en symposia over remote sensing en waterkwaliteit (zie tevens kader 1), het aantal publicaties over Friese projecten en over overige Nederlandse projecten. Alle hier gebruikte referenties zijn opgenomen in de literatuurlijst.



**Kader 1. De in Figuur 2-1 weergegeven workshops en symposia, gehouden in Nederland, voorafgaand aan deze STOWA studiedag.**

Studiedag remote sensing voor provinciale milieudiensten te Arnhem, 17 oktober 1985.

Technische bijeenkomst 47 CHO-TNO op 7 november 1989, Wageningen.

Symposium NRSP. Bereikte resultaten en visie op de toekomst te Den Haag, 27 maart 1990.

International symposium remote sensing and water resources te Enschede, The Netherlands, 20-24 August 1990.

Spot Conference te Den Haag, 27 en 28 november 1990.

Symposium 'Remote Sensing water- en landtoepassingen voor Rijkswaterstaat', 7 oktober 1991 te Utrecht.

Themamiddag 'Optische remote sensing van waterkwaliteit', 6 oktober 1992 te Delft.

International symposium on operationalization of remote sensing 19-23 April 1993 ITC Enschede, The Netherlands.

Workshop Remote Sensing en waterkwaliteitsbeheer door regionale en lokale overheden te Zoetermeer, 1 december 1993.

Slotsymposium BCRS: einde NRSP, 30 november 2000 van BCRS te Den Haag/Scheveningen.

Studiedag Remote Sensing en Waterbeheer - van Vraag naar Aanbod. STOWA 6 maart 2002, Utrecht.

Voorafgaand aan de jaren 1989 tot en met 1993 was er veel belangstelling voor (het ontwikkelen van nieuwe) remote sensing toepassingen. Het aantal studiedagen in die periode (zie Figuur 2-1) duidt daarop. Daarna zakte die belangstelling in, althans voor waterkwaliteitstoepassingen. Met het opheffen van de Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS) eind 2000 verviel tevens de mogelijkheid subsidie te krijgen voor regionale projecten. Voor vier van de vijf Friese projecten is destijds BCRS-subsidie verkregen (zie Tabel 2-6), hetgeen sterk drempelverlagend heeft gewerkt.

De BCRS had als taak om remote sensing activiteiten te coördineren en te stimuleren en vormde nationaal en internationaal daarvoor het centrale aanspreekpunt. "Getijdewateren, kustbeheer en binnenwateren" vormde een van de vier hoofdtoepassingsgebieden. In het (laatste) Nationaal Remote Sensing Programma 1996-2000 had het "bereiken van een permanente verankering van aangetoonde toepassingen van remote sensing binnen de gebruikerssectoren van de overheid en de commerciële dienstverlenende bedrijven" prioriteit. Regionale waterbeheerders behoren daarbij tot de doelgroep van eindgebruikers. Die doelstelling van een blijvende verankering is niet gehaald. Voor een eventueel vervolg van centraal gecoördineerde activiteiten wordt verwezen naar het rapport van de Commissie Eindevaluatie (2001).

Een nog bestaand platform is REWANET (REmote sensing of WAter quality in The NETHERlands). Deze werkgroep was in het verleden sterk gelieerd aan de BCRS, vooral via beoordeling van projectvoorstellen, doch dient zich nu te heroriënteren op haar taak en plaats binnen remote sensing Nederland. Daarbij kampt ook die werkgroep met het gegeven van een dalende interesse voor remote sensing informatie over waterkwaliteit bij potentiële eindgebruikers.

Hoewel uit Figuur 2-1 blijkt dat er veel gepubliceerd is over remote sensing projecten, moet daarbij worden opgemerkt dat het merendeels gaat om slecht toegankelijke rapporten of om weinig algemeen-bekende Engelstalige wetenschappelijke artikelen. In de literatuurlijst zijn alle voor Figuur 2-1 gebruikte referenties opgenomen. Ter illustratie is het aantal publicaties in H<sub>2</sub>O geteld. Dat leverde (voor de periode 1987-2001, daarvoor was niets over remote sensing in H<sub>2</sub>O gepubliceerd) slechts vier inhoudelijke bijdragen op (Van Stokkom & Donze, 1988; Claassen et al., 1994; Althuis, & Buiteveld, 1996; Claassen, 1998), tegenover een veelvoud aan andere in H<sub>2</sub>O besproken onderwerpen, zoals bijvoorbeeld over de Rijn (water, zout): 108; bestrijdings-



middelen: 106; waterbodemsanering en baggeren: 91; fosfaat (belasting, uitwisseling, verwijdering): 88; eutrofiëring: 25 en actief biologisch beheer: 16 artikelen in H<sub>2</sub>O. Onbekend maakt onbemind. Mede door de projectmatige opzet van uitbestede remote sensing projecten is de verankering bij de opdrachtgevers (i.c. regionale waterbeheerders) minimaal. Er vindt nauwelijks integratie van verkregen resultaten met andere waterkwaliteitsdata plaats. Een voorbeeld vormt het Friese RESTWAQ-2 project (zie Tabel 2-6 en Vos et al., 1998). De spin-off betrof voor de opdrachtnemer twee vervolgprojecten in het buitenland (Indonesië) en vier wetenschappelijke artikelen, in Friesland zelf was die spin-off nihil.

Een van de oorzaken van het beperkt gebruik van remote sensing in het regionale waterbeheer is de onbekendheid van de materie bij medewerkers van regionale water(kwaliteits)beheerders. Opleiding en onderwijs, zowel op HBO- als op universitair niveau, zijn daar debet aan, waarbij milieukundigen en aquatisch ecologen in hun studie nauwelijks wat mee krijgen over remote sensing. Hoogleraren zoals C. den Hartog (1976, Nijmegen), W. van Vierssen (1990, Delft), J. Dogterom (1992, Amsterdam), J. de Jong (1993, Delft) en M. Scheffer (1999, Wageningen) negeerden remote sensing in hun inaugurele rede. Daarentegen was de inaugurele rede van M. Donze (1980), "Limnologie en Waterkwaliteit", Technische Hogeschool (Delft) helder over remote sensing, zoals blijkt uit de volgende passage: ... *De lichtverdeling en het onderwater lichtklimaat geeft informatie over de hoeveelheid fytoplankton, de pigmentsamenstelling van algen, over gesuspendeerde deeltjes, het humusgehalte en andere opgeloste kleurstoffen. Licht is niet zo moeilijk te meten onder water. Ook vanuit de lucht is het gereflecteerde licht te meten. Remote sensing is de eenvoudigste manier waarop we snel gegevens kunnen verzamelen over een groot gebied. Het is de enige manier waarop we de patronen die algen in het water vormen kunnen bestuderen.* ...

Een laatste hier te vermelden bevestiging van het beperkte gebruik van remote sensing bij het waterkwaliteitsbeheer vormen de besproken onderwerpen tijdens de bijeenkomsten van het Platform Ecologisch Herstel Meren. Dit in het najaar van 1992 opgerichte landelijke platform (aanvankelijk onder de naam van Werkgroep Actief Biologisch Beheer) komt twee keer per jaar bijeen en behandelt vooral eutrofiëringsproblemen in ondiepe meren en plassen. Tot nu toe is slechts één keer (op 3 juni 1999) remote sensing onderwerp van (twee) inleidingen geweest: *Voorspellen van drijfslagen van blauwalgen in het IJsselmeer* (M. Vos, WL) en *De potentie van optische teledetectie methoden voor het monitoren van o.a. blauwalgen* (A. Dekker, IvM). Op een vraag aan de Platformleden over wensen tot gebruik van remote sensing werd tot nu toe niet gereageerd (zie kader 2).

Voordat ingegaan wordt op de toepassingen is het goed een beeld te hebben van het standaard in Nederland uitgevoerde waterkwaliteitsonderzoek bij regionale beheerders. Daardoor wordt de plaats, met mogelijkheden en beperkingen, die remote sensing daarbij kan innemen, verduidelijkt.

### **Waterkwaliteitsonderzoek**

De drie belangrijkste taken van de waterschappen zijn: de zorg voor zeedefensie en waterkering, waterkwantiteitsbeheer en peilbeheer, en waterkwaliteitsbeheer. Onderdelen van dit waterkwaliteitsbeheer zijn onder meer afvalwaterzuivering, terugdringen van emissies, vergunningverlening en handhaving, herstel van watersystemen, en waterkwaliteitsmonitoring en -beoordeling. Wetterskip Fryslân is een van de 27 waterschappen van ons land met onder meer deze waterkwaliteitstaak. Haar beheergebied komt vrijwel overeen met dat van de provincie Friesland. Ongeveer 10 % van het beheergebied bestaat uit (zoet) oppervlaktewater. De Friese delen van IJsselmeer en Waddenzee worden beheerd door regionale directies van



Rijkswaterstaat. Al vanaf 1960 wordt vanuit deze beheertaak waterkwaliteitsonderzoek in Friesland uitgevoerd. Recent zijn de beheersdoelen vastgelegd in het Integraal Waterbeheerplan (IWBP), waarin eutrofiëringsbestrijding een van de onderscheiden thema's vormt. Die eutrofiëring vormt naar aard en omvang (nog steeds) het belangrijkste waterkwaliteitsprobleem.

Van oudsher verrichten de waterschappen (voor de regionale of binnenwateren) en Rijkswaterstaat (voor de rijkswateren) op uitgebreide schaal waterkwaliteitsonderzoek. Dat onderzoek dient meerdere doelen (zie Tabel 2-2), echter beoordeling van de oppervlaktewaterkwaliteit middels toetsing aan normen is daarbij het belangrijkste. Dit onderdeel kreeg na 1970, bij het van kracht worden van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren, een formele status. Deze waterkwaliteitsbeoordeling heeft zich gaande weg ontwikkeld, waarbij een sterke (terug)koppeling aanwezig is tussen bemonstering, analyse, normwaarde en toetsing. Een veel voorkomende procedure is een maandelijks *in situ* bemonstering op vaste punten, laboratoriumanalyse volgens (NEN)voorschriften, bepalen van de toetswaarden (bijvoorbeeld het zomerhalfjaargemiddelde) voor de gemeten parameters en die vergelijken met de normwaarden. De normwaarden zijn veelal empirisch herleid, bij vaste bemonsterings- en analysemethoden. Een voorbeeld hiervan zijn de onderling samenhangende normwaarden voor totaal fosfaat, totaal stikstof, chlorofyl en doorzicht (zie Tabel 2-3).

**Tabel 2-2** Overzicht van de verschillende doelen van toegepast waterkwaliteitsonderzoek, verdeeld in routinematig en projectmatig onderzoek.

Tweedeling in onderzoeksstrategie	Specifieke doelen van onderzoek
Routinematig monitoring	
1	Kwaliteitsbeoordeling via normtoetsing
2	Algemene watersysteembeschrijving en -beoordeling
3	Trend detectie
4	Schatten van stoftransporten en opstellen van balansen
Projectmatig onderzoek	
5	Handhaving, onderzoek bij piekconcentraties, calamiteiten
6	Volgen van herstelprojecten
7	Basaal, experimenteel en verkennend onderzoek

De in Tabel 2-2 genoemde doelen van waterkwaliteitsonderzoek vertonen, voor het regionale waterkwaliteitsbeheer, een afnemend belang. Hoger genummerde doelen worden minder vaak en minder uitgebreid in tijd en ruimte nagestreefd, er is minder budget voor beschikbaar en hebben minder prioriteit.

Ter toelichting voor deze zeven genoemde doelen wordt een Fries voorbeeld gegeven. In de jaarlijkse waterkwaliteitsrapporten (Wetterskip Fryslân, 2001) wordt de waterkwaliteit gepresenteerd, zijnde getoetst aan normen (zie bijvoorbeeld Figuur 2-2). Recent is begonnen om daarbij de systematiek van de regionale watersysteemrapportage (Projectgroep Regionale Watersysteemrapportage, 2000) te gebruiken. Eerder al vond een trendanalyse van de Friese boezem plaats (Blind & Aalderink, 1994; Blind et al., 1995) en zijn water- en stoffenbalansen opgesteld (Raad et al., 1993). Projectmatige onderzoeken betreffen bijvoorbeeld PCB-accumulatie inventarisaties, algengroei-potentie-toetsen als bioassays en onderzoek naar oestrogeen-actieve stoffen.



Zoals hieruit valt op te maken is bij alle zeven doelen *in situ* bemonstering mogelijk of zelfs noodzakelijk. Dat geldt ook voor de STOWA-beoordelingssystemen en voor de beoordelingsmethoden volgens de in 2000 van kracht geworden EU Kaderrichtlijn Water. Remote sensing vindt tot nu toe alleen een plek bij het projectmatig onderzoek en dan vaak als onderdeel van een uitgebreider pakket aan onderzoek.

**Tabel 2-3 Algemene waterkwaliteitsnormen (geselecteerd in relatie tot remote sensing) voor oppervlaktewater. MTR, maximaal toelaatbaar risicowaarde, als doelstelling voor de korte termijn. VR, verwaarloosbaar risicowaarde, voor de lange termijn. (z) zomerhalfjaar gemiddelde.**

Parameter	Eenheid	MTR	VR
totaal fosfaat	mgP/l	0,15 (z)	0,05 (z)
totaal stikstof	mgN/l	2,2 (z)	1 (z)
chlorofyl-a	µg/l	100 (z)	-
doorzicht	m	0,4	-
keur, troebeling en schuimvorming	-	Niet zichtbaar verontreinigd	-
Ecologische beoordeling	-	Gedifferentieerd naar watertype of watersysteem	-

In een aantal provincies zijn gebiedsspecifieke ecologische beoordelingsmethoden ontwikkeld. Uniformiteit op landelijk niveau wordt nu gevormd met de door de STOWA ontwikkelde ecologische beoordelingssystemen (Klapwijk et al., 1994) voor stromende wateren, sloten, kanalen, ondiepe meren en plassen, diepe meren, stadswateren en brakke wateren. Het beoordelingssysteem voor meren en plassen, als voorbeeld, kent de volgende karakteristieken:

- soortensamenstelling voor waterplanten: 's zomers een Tansley-opname met abundanties per soort;
- soortensamenstelling voor fytoplankton: acht monsters per jaar, een locatie per meer (indien nodig 3-5 deelmonsters) op 30-50 cm beneden het wateroppervlak, en analyse door telling van 200 individuen tot op soortsniveau;
- chlorofyl-a concentratie: zomerhalfjaargemiddelde van maandelijkse waarnemingen.

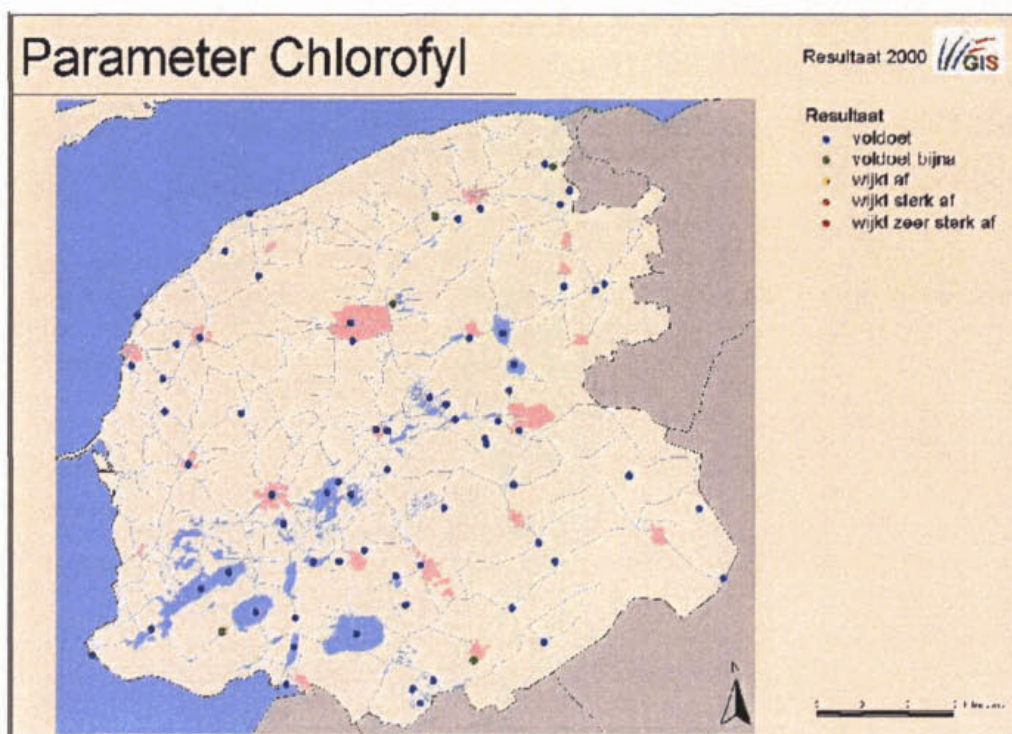
Duidelijk is dat persé *in situ* bemonsteringen nodig zijn om tot een toetsing aan de normwaarde, een beoordeling te kunnen komen.

Naast deze op separate (NW4-)normen gebaseerde beoordelingssystemen en naast de ecologische STOWA-beoordelingssystemen zijn er nog vele indices, waarmee de waterkwaliteit kan worden beoordeeld. Deze indices zijn deels biologisch van aard (zie bijvoorbeeld Andersen et al., 1984; Ten Brink & Hospers, 1989; Vanhooren, 1989), deels fysisch-chemisch (zie bijvoorbeeld Brown et al., 1972; Bots et al., 1978; Malin, 1984). Voor zover bekend zijn al deze systemen gebaseerd op *in situ* verzamelde basisgegevens, en zijn remote sensing data daarbij niet in beeld en niet bruikbaar.

Ook de nieuwe EU Kaderrichtlijn Water kent een beoordelingssysteem voor de chemische en de ecologische waterkwaliteit, geheel gebaseerd op *in situ* verzamelde data. Het ecologische beoordelingssysteem bevat biologische, hydromorfologische en fysisch-chemische elementen (Latour, 2001). Daarbij wordt een link gelegd tussen de Nederlandse MTR's (NW4-normen) en de goede chemische toestand (Kaderrichtlijn). Net als voorheen met de IMP-index (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1975) vindt de beoordeling ook met de huidige systemen, zoals van STOWA en Kaderrichtlijn, plaats middels vijf kwaliteitsniveaus (zeer goed=blauw, goed=groen, matig=geel, slecht=oranje, zeer slecht=rood).



Een vergelijkbaar classificatiesysteem van bijvoorbeeld thematische remote sensing kaarten is (nog) niet voorhanden, maar zou de toegankelijkheid van de geboden informatie wel verhogen.



Figuur 2-2 Resultaat van normtoetsing in 2000 voor chlorofyl aan de MTR-waarde van  $100 \mu\text{g/l}$  voor de boezempunten van het basismetnet in Friesland (klassenindeling conform RWSR-systeem: Projectgroep RWSR, 2000).

In vrijwel alle meren bevindt zich slechts één meetpunt, dat representatief wordt verondersteld voor het betreffende meer. Conform de Handleiding Bestrijding Eutrofiëring en "gezien de ook op kleine schaal altijd optredende ruimtelijke variaties" (Rijsdijk, 1996) zouden dat er meer moeten zijn; als voorbeeld twee voor de Morra en Grote Wielen, drie voor de Leijen en het Bergumermeer en vier voor het Slotermeer en Tjeukemeer (gebaseerd op de richtlijn van twee, drie en vier meetpunten bij een grootte van resp. 50-250, 250-1000 en groter dan 1000 ha wateroppervlakte). Verderop zal blijken (zie Figuur 2-4) dat die ruimtelijke heterogeniteit inderdaad aanwezig is en één meetpunt per meer eigenlijk onvoldoende is.

### Toepassingen

De hoofddoelstelling van de uitgevoerde remote sensing projecten was het in beeld brengen en digitaal vastleggen van gebiedsdekkende kleurpatronen in het water, waarbij de kleurpatronen worden gekoppeld aan waterkwaliteitsaspecten, zoals chlorofylgehalte, zwevende stofgehalte en doorzicht. Dat maakt het mogelijk gebiedsdekkende, geclassificeerde thematische waterkwaliteitskaarten te maken voor genoemde parameters. Achterliggend doel is meer zicht te krijgen in de representativiteit van meetpunten en in eutrofiëring(sprocessen). Dit laatste komt in beeld via ruimtelijke patronen, zoals patchiness van algen, windinvloed en waterstromen. Bij herhaalde opnamen kunnen patronen en veranderingen in de tijd worden gedetecteerd.

Als secundaire doelen kunnen worden genoemd: de invloed van inlaat- en spuiregimes te achterhalen, verschillende watersystemen (zoals diepe plassen ten opzichte van ondiepe meren) te herkennen, en remote sensing informatie te koppelen aan *in situ* en modelberekeningen.



Dit laatste is gebeurt in het project RESTWAQ (REmote sensing as a Tool for improved knowlegde on Water Quality and ecology, zie Vos, 1995; Vos et al., 1998). Hiervoor is vooral zwevende stof een geschikte parameter.

Er zijn verschillende indelingen mogelijk van toepassingen van remote sensing voor het waterkwaliteitsbeheer (Althuis & Buiteveld, 1996; Claassen, 1998), zoals:

- Naar remote sensing techniek: thermisch, optisch, radar en lidar (fluoriscentie).
- Naar type, hoogte en gebruikt platform voor de sensor: satelliet (spaceborne) en vliegtuig (airborne). Naast deze twee groepen van platforms, waarin de remote sensing detectie-apparatuur is ingebouwd, is er recent enige ervaring opgedaan met een veldspectroradiometer die vanaf de waterkant of vanaf boten kan worden bediend (Rijkeboer, 2001; Veenstra, 1998; Zomer, 1998). Ook onder water is vergelijkbare videoapparatuur toegepast voor opnamen van waterplanten (Boon et al., 1997). Deze techniek is niet momentaan gebiedsdekkend voor grote wateroppervlakten en informatie wordt niet op afstand verzameld (in feite is sprake van sophisticated *in situ* waarnemingen) en valt daarmee niet onder remote sensing. "Close sensing" zou daarvoor een beter passende aanduiding zijn.
- Naar gebied: zee, getijdewateren en binnenwateren (verdeeld naar grote meren en kleine wateren, relevant voor het onderscheidend vermogen van de remote sensing apparatuur).
- Naar parameter: watertemperatuur, zwevend stof gehalte, algenbiomassa gemeten als chlorofylgehalte, drijflagen van algen of kroos, etc.

Hier wordt, met een aantal voorbeelden, gekozen voor deze laatste indelingswijze. Dat sluit het meest aan bij de behoefte van de waterbeheerder als eindgebruiker van remote sensing informatie. Afhankelijk van de interesse voor bepaalde parameters en (de grootte van) het gebied zal een passende techniek aangewend kunnen worden. De volgende parameters worden met enkele voorbeelden kort toegelicht. Daarbij geldt voor de eerste negen parameters een op de toepassing gerichte bewezen praktijk, terwijl de PCB-kartering nog in een pril stadium verkeert. Voor alle parameters is optische remote sensing inzetbaar, de eerste twee parameters kunnen bovendien (beter) met thermische beelden in kaart gebracht worden.

ijsbedekking  
watertemperatuur  
kroosbedekking  
zeewieren-kartering  
drijflagen van algen  
chlorofyl en cyanofycocyanine  
doorzicht  
verticale extinctie  
zwevende stof  
PCB's

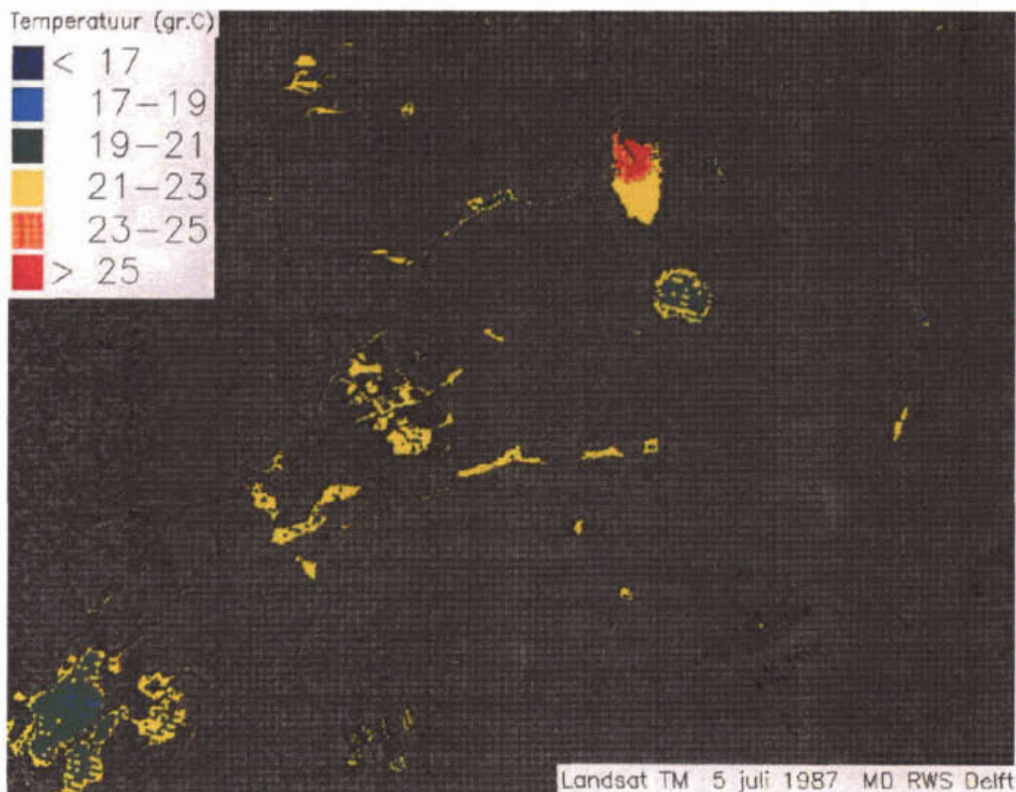
#### Ijsbedekking

Rijkswaterstaat, in het bijzonder het Berichtencentrum voor de Binnenwateren bij het RIZA, maakt gebruik van NOAA satellietbeelden om ijskaarten te maken. Die informatie is van belang voor de scheepvaart, aanwezige betonning en oever- en kustbescherming. Dagelijks kan worden beschikt over vier thermische (en twee optische) opnamen van Nederland, zodat mede door de snelle beschikbaarheid van opnamen zeer actuele informatie verkregen kan worden. Overigens kunnen de NOAA satellietopnamen ook gebruikt worden voor kwalitatieve beelden van zwevende stof en drijflagen van algen (Roeters & Buiteveld, 1994).



### Temperatuur

De temperatuur van de bovenste waterlaag kan zowel via satellieten als via vliegtuigen verkregen worden. Band 6 van de Landsat TM is de warmteband, geschikt voor het maken van temperatuurkaarten, maar ook voor bijvoorbeeld vegetatieclassificatie (Roeters & Buiteveld, 1993). Voor milieuhandhaving en het opsporen van lozingen, zowel van vaste punten (lozingspijpen) als van mobiele bronnen (denk aan schepen), is de thermisch infrarood remote sensing (TIR) bijzonder geschikt (Roeters & Buiteveld, 1994; Roeters et al., 1993). Roeters et al. (1993) gebruikten de Daedalus DS-1260 multispectrale scanner met twee thermisch infrarood banden (8-14  $\mu\text{m}$ ). Daarmee kan dag en nacht gevlogen worden en kunnen zeer kleine temperatuurverschillen op een klein oppervlak (en daarmee ook kleine lozingen) worden waargenomen.



*Figuur 2-3 Watertemperatuur, voor de Friese meren vastgelegd met de Landsat TM. Dit beeld van 5 juli 1987 toont de opwarming van het noordelijk deel van het Bergumermeer door koelwaterlozing van de daar aanwezige energiecentrale (naar Roeters & Buiteveld, 1993).*

### Kroosbedekking

Massale kroosbedekkingen (van *Lemna*- of *Azolla*-soorten) zijn uitingen van eutrofiëring en ongewenst voor het aquatisch ecosysteem. Onder zo'n vegetatiedek kunnen weinig andere planten gedijen en het zuurstofgehalte kan sterk dalen. Middels airborne remote sensing met digitale videoapparatuur kan snel en van een groot gebied een beeld verkregen worden van de mate van aanwezigheid van kroos. Dit is toegepast voor sloten in het zuidwestelijk gebied van Rijnland in 1982/83 (Van der Does & Klink, 1991) en in het gebied van de Lopiker- en Krimpenerwaard (Bakker et al., 1996). Van der Does & Klink (1991) gebruikten false colour airborne opnamen met nadruk op infrarood beelden. Bakker et al. (1996) gebruikten een aangepaste videocamera, waarmee naast de groene (505-570 nm) en rode (575-630 nm) ook het nabij-infrarode spectrum (NIR 770-845 nm) digitaal werd vastgelegd. Door laag te vliegen kon een grondresolutie van 25 cm bereikt worden. Synoptics (1997) werkte in hetzelfde gebied,



doch maakte gebruik van true colour opnamen (blauw, groen, rood). Beide methoden bleken goede overeenkomstige resultaten te leveren. Er konden geen uitspraken gedaan worden over (de aanwezigheid van) andere aan het wateroppervlak groeiende waterplanten.

#### Zeewieren-kartering

Voortschrijdende ontwikkelingen maken het mogelijk (semi-)aquatische vegetatie nauwkeuriger in beeld te brengen. Anstee et al. (2000) maakten airborne remote sensing opnamen langs de kust bij Adelaide (Australië), waar diverse soorten zeegrassen en zeewieren voorkomen. Met de gebruikte spectroradiometer (CASI, compact airborne spectrographic imager) kan een groot aantal smalle spectrale banden digitaal worden vastgelegd. Daarnaast beschikten zij over eerder in het veld vastgelegde soortspecifieke reflectiespectra. Bewerking van de opname maakt het mogelijk soortskarteringen te maken, met zelfs een globaal onderscheid in bedekkingspercentage per soort voor de zeegrassen *Heterozostera* en *Posidonia*, het groenwier *Ulva* (Zeesla) en voor roodwieren.

#### Drijfslagen van algen

Zowel met de NOAA als met de Landsat satellieten zijn drijfslagen van algen te herkennen. Veelal gaat het daarbij om de ongewenste blauwalg *Microcystis aeruginosa*. Bij sterke eutrofiëring kan deze blauwalg drijfslagen vormen, die overlast kunnen veroorzaken voor de waterrecreatie en vanuit waterkwaliteit ongewenst zijn. Bij rotting komt stank vrij, bij ontbinding gifstoffen. Vanwege een hoge reflectie van deze algendrijfslagen in het nabije infrarood zijn false colour beelden geschikt voor het in beeld brengen ervan. Verkregen informatie geeft inzicht in ontstaan, transport en stabiliteit van drijfslagontwikkelingen per seizoen en door de jaren heen. RWS-RIZA kan met behulp van een NOAA-vegetatie-index het gebied met drijfslagen en daarbinnen de bedekking van dat oppervlak vast leggen in vijf klassen (Stokman, 1991). Belanghebbenden, zoals drinkwaterbedrijven, jachthavenbeheerders en zwemwaterbeheerders, kunnen tijdig geïnformeerd worden en via een doorspoelregime kan overlast mogelijk beperkt blijven.

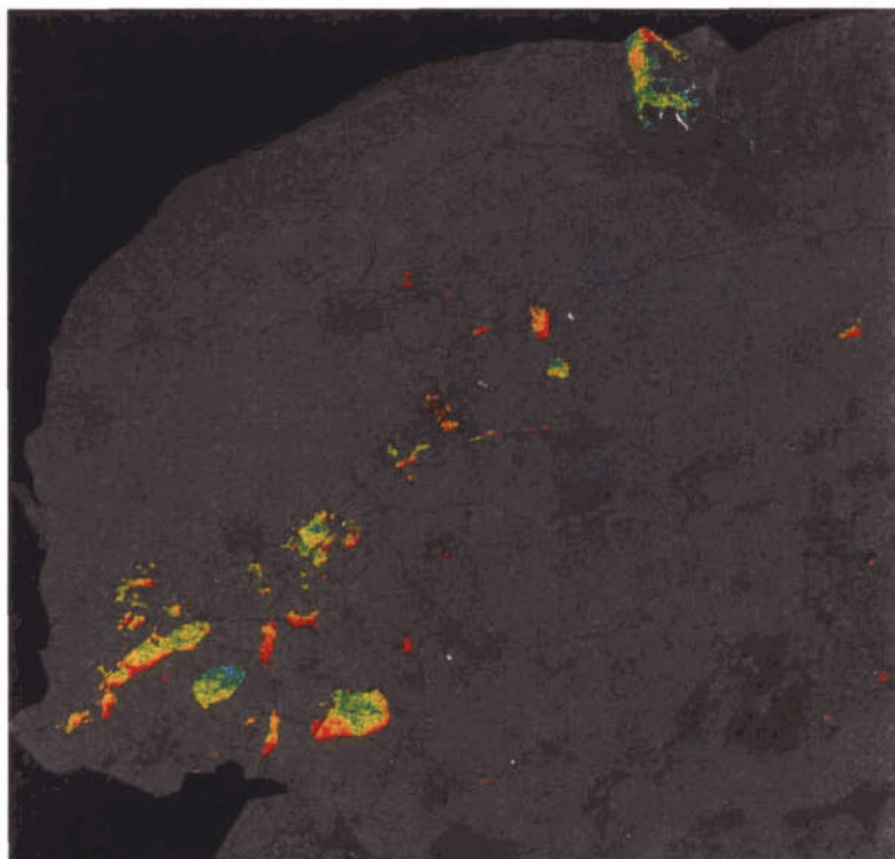
#### Chlorofyl en cyanofycocyanine

Groene (chlorofyl) en blauwgroene (cyanofycocyanine) algenpigmenten kunnen goed met remote sensing worden vastgelegd. Zo zijn voor de Friese meren thematische chlorofylkaarten gemaakt met spaceborne Landsat TM-opnamen van 16-6-'86 en 3-8-'86 (DHV, 1988) en van 5-7-'87 en 23-5-'89 (Roeters & Buiteveld, 1993). Daarna zijn thematische kaarten voor chlorofyl en cyanofycocyanine van kleinere Friese meren en petgatengebieden gemaakt met airborne CASI-opnamen van 8-8-'95 (Moen et al., 1997) en van 11-8-'97 (Dekker et al., 1999; zie voor de Leijen ook Claassen, 2001). Met deze scanner kunnen 15 nauwe spectrale banden worden opgenomen. Door banden te kiezen waarbij onderhavige waterkwaliteitsparameters specifiek en kwantitatief worden vastgelegd, kunnen betrouwbare thematische kaarten worden geproduceerd. Voor chlorofyl zijn de banden gecentreerd op 676 en 706 nm gebruikt, voor cyanofycocyanine zijn de banden gecentreerd op 600, 624 en 648 nm. *In vivo* absorptie maxima voor beide pigmenten liggen bij resp. 676 en 624 nm.

Deze techniek (voor cyanofycocyanine nog alleen mogelijk met airborne remote sensing) levert naar tevredenheid resultaten in de meeste (optisch diepe) meren. Problemen doen zich nog voor in zgn. ondiepe wateren, waar bodemzicht of aanwezige waterplanten het signaal kunnen beïnvloeden. Verder is verschil in uitkomsten (waarden van thematische kaarten ten opzichte van laboratoriumanalyses) altijd een punt van discussie. Daaraan liggen vooral verschillen in bemonstering en in analyse ten grondslag. Het gedetecteerde gereflecteerde licht vertegenwoordigt een ander deel van de waterkolom dan de concentratie van een stof op 0.5 m diepte,



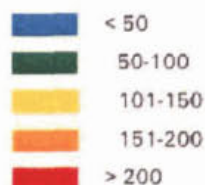
waarop een fles wordt gevuld. Er vindt geen destructie van cellen plaats, waardoor chlorofyl-pigmenten vrijkomen. Opgemerkt zij dat in het laboratorium de maximale extinctie van chlorofyl wordt gemeten bij 665 nm, terwijl met de CASI-scanner wordt ingezoomd op 676 nm. Er treedt bij remote sensing opnamen geen verandering op door vervoer, transport en opslag van watermonsters. Aangetoond is dat cyanofycocyanine-gehalten beter middels remote sensing dan via laboratoriumanalyses kunnen worden bepaald. Beter is het te constateren dat er verschillen zijn in absolute waarden tussen remote sensing- en laboratoriumdata, doch beide in hun waarde te laten en beide optimaal te benutten.



Landsat TM. Chlorofyl - a beeld.  
Opn. datum 23 mei 1989.

Chlorofyl - a ( ug/l )

Class\_Names



*Figuur 2-4 De thematische chlorofylkaart voor het Friese merengebied verkregen via de Landsat TM opname van 23 mei 1989 (naar Roeters & Buiteveld, 1993).*



Chlorofyl

Cyanofycocyanine

*Figuur 2-5 Een uitsnede van het petgatengebied de Alde Feanen met een beeld van de thematische kaarten van chlorofyl en cyanofycocyanine verkregen via de CASI-opname van 11 augustus 1997 (naar Dekker et al., 1999). Concentraties nemen toe van blauw, groen, geel, oranje naar rood.*

#### Doorzicht en verticale extinctie

Deze twee parameters zijn overwegend gerelateerd aan de aanwezige algen en/of het aanwezige zwevende stof. Via een empirische herleiding van pixel-informatie en grondwaarnemingen kunnen bestpassende algoritmen gevonden worden ten behoeve van thematische kaarten voor beide parameters. Bij veel fytoplankton zullen deze parameters eerder gecorreleerd zijn met chlorofyl, bij veel zwevende stof en humus eerder met deze parameters. Voor de Leijen zijn de themakaarten voor beide parameters van 18 augustus 1995 en 11 augustus 1997 meer gelijkend op die van chlorofyl, dan op die van zwevende stof (Moen et al., 1997; Dekker et al., 1999). Dat geldt ook voor andere wateren, zoals het Nanneviid (Moen et al., 1997) en de Alde Feanen (Moen et al., 1997; Dekker et al., 1999).

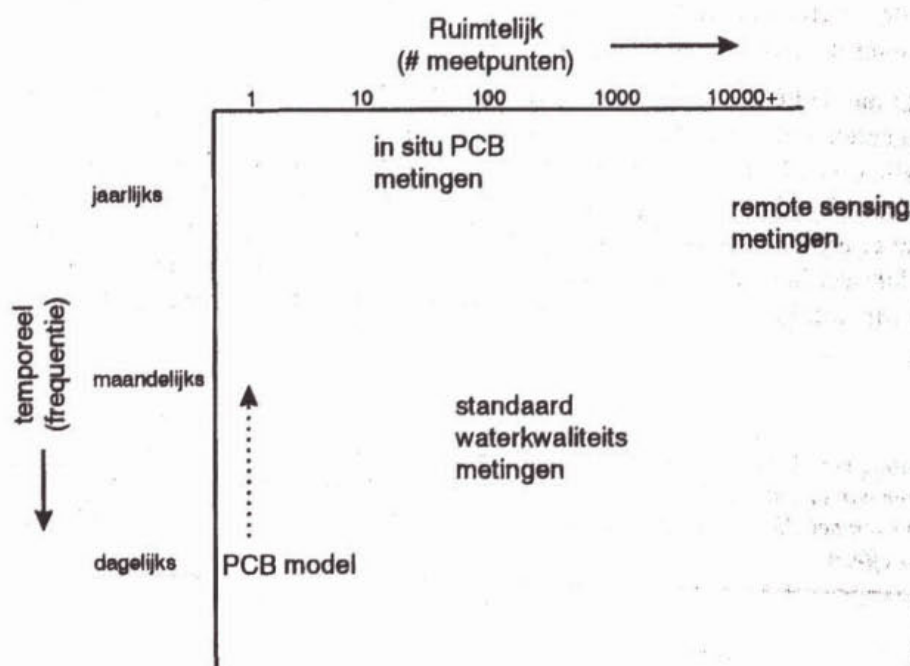
#### Zwevende stof

Bij de Landsat TM informatie is gezocht naar meest passende algoritmen voor zwevende stof thema kaarten. Daarbij zijn wisselend de banden TM2 en TM4, TM2 en TM3, en TM1 en TM3 gebruikt (Roeters & Buiteveld, 1993). Door Vos et al., 1998 (RESTWAQ-2) zijn algoritmen ontwikkeld, die het mogelijk hebben gemaakt Landsat beelden en SPOT beelden uit 1995 te vergelijken. Bij de airborne CASI informatie is de op 706 nm gecentreerde band gebruikt. Deze band ligt op het golflengte-interval waar de som van absorptie van het aquatisch humus, het tripton, de algenpigmenten en het water gemiddeld het laagst is (Moen et al., 1997). Zwevende stof beelden maken vooral stromings- en mengpatronen in het water zichtbaar en zijn daarmee het meest informatief in open en grote watersystemen.



## PCB's

Polychloorbifenylen (PCB's) kunnen, als giftstof aanwezig in het oppervlaktewater, ernstig schade toebrengen aan het aquatisch ecosysteem. Met name de voortplanting en het afweersysteem van hogere organismen, via bioaccumulatie gecontamineerd met PCB's, worden er door aangetast. In organismen hechten PCB's zich sterk aan vet, in het watersysteem aan slibdeeltjes, zwevende stof (organisch particulier materiaal, POC) en humusverbindingen (opgelost organisch materiaal, DOC)). De vrij in het water aanwezige PCB-concentratie is dan ook veelal zeer laag en nauwelijks meetbaar. Op basis van een dynamisch evenwichtsmodel met reactievergelijkingen van PCB-fracties tussen DOC, POC en opgeloste deeltjes enerzijds en van gehalten aan zwevende stof, chlorofyl en aquatisch humus anderzijds hebben Hoogenboom & Leonards (1996) getracht thematische PCB-kaarten te maken voor de Alde Feanen. Probleem daarbij is de koppeling van zeer gedetailleerde ruimtelijke informatie van één moment (remote sensing opname) met hoogtemporele model-informatie van één locatie (zie Figuur 2-6). Het rapport van Dekker et al. (1999) bevat een thematische PCB153 kaart, waarbij de fracties PCB in water, algen, zwevend stof en opgeloste organische stof zijn samengenomen. Deze kaarten geven vooral een indicatie van de gevoeligheid van een watersysteem voor PCB-belasting.



Figuur 2-6 Koppeling van een chemisch evenwichtsmodel voor PCB's voor één locatie met remote sensing informatie van één moment (naar Hoogenboom & Leonards, 1996).

Lijklema (1998) bespreekt een vergelijkbare figuur waarin fysische, chemische en biologische processen ieder een specifieke plaats innemen op een tijd-as (van minuten tot decennia) en een ruimte-as (van zeer lokaal tot gehele watersystemen omvattend). *In situ* bemonstering en analyse kan in de tijd frequent worden uitgevoerd, doch is ruimtelijk altijd beperkt. Juist voor dat hiaat biedt remote sensing een oplossing.

**Kader 2 De internetsite van het Platform Ecologisch Herstel Meren biedt de mogelijkheid tot het stellen van vragen en starten van een discussie in de rubriek "de waterkant". Daar is op 10 augustus 2001 de navolgende tekst geplaatst:**

"Remote sensing Mogelijkheden

Al lange tijd lijkt het gebruik van remote sensing technieken perspectiefvol bij het beschrijven en beoordelen van de waterkwaliteit, vooral de eutrofiëringstoestand. Remote sensing beelden geven een dekkend ruimtelijk (kleuren)beeld van het opgenomen water, zodat interne (binnen een water) en onderlinge (tussen wateren) heterogeniteit in kleurpatronen en daarmee in waterkwaliteit kunnen worden geïnterpreteerd. In de tijd opgenomen beelden geven een beeld van de periodiciteit of successie weer. Naast eutrofiëringsaspecten zou remote sensing gebruikt kunnen worden t.b.v. bv. hoge/wisselende waterstanden in bepaalde systemen, bij ijsbedekking en bij milieuhandhaving. De te gebruiken techniek of methode is veelal instrument gebonden, van satelliet (space-borne), via vliegtuigen (airborne) naar veldspectroradiometer en videoapparatuur (groundsource). De te kiezen methode wordt bepaald door de vraagstelling van het onderzoek ((drijfslagen van) algen, doorzicht, zwevende stof, speciale pigmenten, waterplantenbegroeiingen, etc.) en het object van studie (grote meren, kleinere meren, vaarten, petgaten, sloten, etc.). Toch wordt remote sensing nauwelijks toegepast in het regionale waterbeheer.

Vragen

- Hebt u remote sensing wel eens toegepast bij water(kwaliteits)onderzoek, zo ja, dan graag nadere informatie over project, doel, gebruikte techniek, onderzocht water, rapportering, bevindingen, ed.
- Wat is naar uw mening de oorzaak van het zeer beperkte gebruik van remote sensing voor het waterbeheer in ons land, denk aan inzetbaarheid methode, interpretatiemogelijkheden, kosten, ed.
- Wanneer remote sensing goedkoop en gemakkelijk inzetbaar zou zijn, zou u deze methode dan willen toepassen, zo ja, welke methode (techniek) voor wat voor water en met welk doel (vraagstelling).

Graag ontvang ik reacties op dit onderwerp en deze vragen".

Tot nu toe is daar niet op gereageerd.

### Verdere implementatie

Het gebruik van remote sensing levert tot nu veelal ogenschijnlijk niet veel meer dan mooie plaatjes, zonder dat dat leidt tot verdere implementatie en verwevenheid met andere manieren van waterkwaliteitsonderzoek. De eerst genoemde vijf methoden van onderzoek in Tabel 2-4 worden a-priori zo opgezet, dat dat in principe leidt tot duidelijke vooropgezette resultaten. Voor remote sensing is dat tot nu toe veelal minder duidelijk (uitgesproken en uitgewerkt). Dat heeft geleid tot weinig toepassingen van remote sensing bij het regionale waterkwaliteitsbeheer. In Tabel 2-4 is dat dilemma aangegeven.

**Tabel 2-4 Koppeling tussen de opzet van waterkwaliteitsonderzoek en beoogde te bereiken resultaten.**

Methoden voor waterkwaliteitsonderzoek	Resultaat en betekenis
<i>In situ</i> analyses	Beschrijft en beoordeelt
Maken van balansen	Berekent vrachten
Modellering	Voorspelt waterkwaliteitsverloop
Bioassays	Spoort sturende of limiterende factoren op
Experimenten	Achterhaalt, bepaalt en sluit uit
Remote sensing	Toont ... alleen gebiedsdekkende plaatjes

Dat dilemma (van praktische toepassing van remote sensing in het regionale waterbeheer) is exacter aangegeven in de tweede kolom van Tabel 2-5. Naast de vele mogelijkheden en pluspunten kent het gebruik van remote sensing voor waterkwaliteitsonderzoek ook nadelen en



beperkingen. In Tabel 2-5 zijn deze plus- en minpunten samengevat. De nadelen zijn daarbij op basis van expert judgement gerangschikt naar belangrijkheid voor de situatie ongeveer 15 jaren geleden en nu. In deze tabel betekent 1 de hoogste prioriteit en 6 de laagste.

**Tabel 2-5 Plus- en minpunten van remote sensing voor waterkwaliteitsonderzoek.**

Voordelen	Nadelen	Oude prioritering	Nieuwe prioritering
Gebiedsdekkende beelden	Aantal parameters is beperkt	1	6
Patronen in kleur worden zichtbaar	Geen beoordeling mogelijk volgens geldende normen, soms afwijkende resultaten t.o.v. <i>in situ</i> waarnemingen	3	1
Ondersteunt optimalisatie meetnet en modellering	Extra kosten	2	5
Historische (satelliet-) data beschikbaar	Onzekerheid ten aanzien van (planning) opnamen en beperkt aantal beelden per tijd	4	3
Vergroting van systeemkennis	Geen operationele infrastructuur, geen handleiding, afhankelijk van (externe) specialisten en projectgebonden	5	2
Beelden voor meerdere doelen geschikt	Onbekendheid met remote sensing	6	4

Er worden hier enkele suggesties gedaan, aansluitend bij Tabel 2-5, om remote sensing resultaten steviger te verankeren in het waterkwaliteitsonderzoek en bij het waterkwaliteitsbeheer.

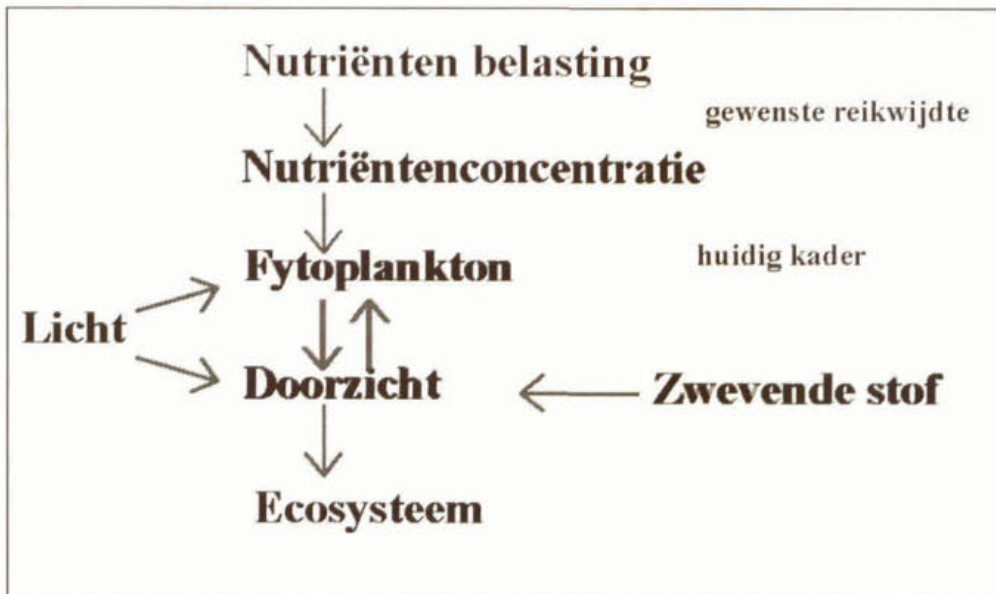
#### Toepassing voor waterkwaliteitsbeoordeling

Remote sensing kan onder meer het inzicht vergroten in eutrofiëringsverschijnselen. Die eutrofiëringsverschijnselen zijn gekoppeld aan achtereenvolgende processen, zoals weergegeven in Figuur 2-7. De huidige normen voor chlorofyl, doorzicht, fosfaat en stikstof (zie Tabel 2-3) zijn empirisch herleid op basis van grote aantallen *in situ* waarnemingen (zie onder andere Hopper, 1978 en Lijklema et al., 1988). Remote sensing heeft tot nu toe vooral ingezoomd op (de relatie) fytoplankton - doorzicht. Bovendien kunnen thematische kaarten voor chlorofyl en doorzicht, in absolute waarden bezien, afwijkingen geven van laboratorium-analyses. Daarvoor zijn verklaringen te geven, doch de acceptatiegraad van remote sensing thematische kaarten blijft mede hierdoor gering.

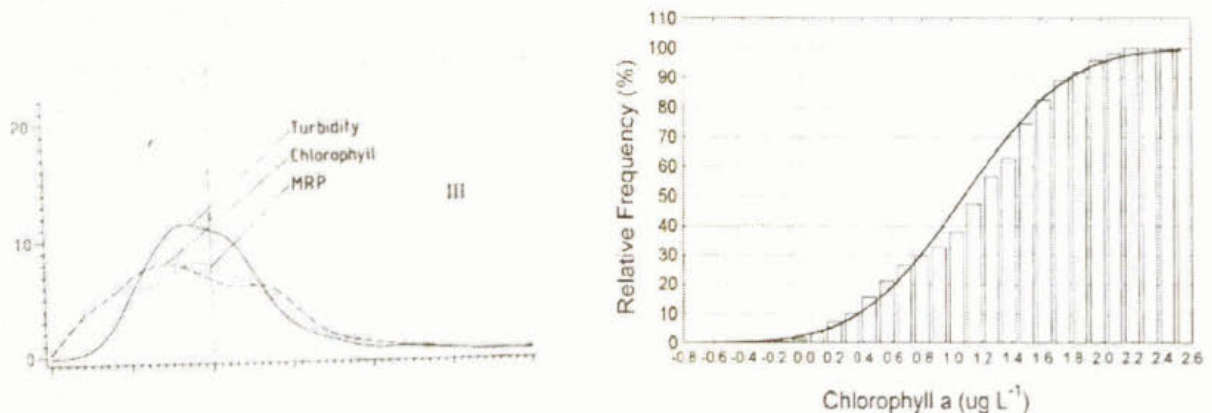
De scope van remote sensing zou uitgebreid moeten worden naar zowel de relatie nutriëntenconcentratie - fytoplankton, als naar de relatie doorzicht - ecosysteem. Zo kunnen er empirische normen voor chlorofyl en doorzicht worden herleid op basis van remote sensing informatie, aangevuld met *in situ* data voor fosfaat en stikstof. Dat maakt het dan mogelijk thematische kaarten te maken, direct gekoppeld aan toetswaarden. Een ander spoor vormt het presenteren van pixelwaarden voor een water, zodat een totaalbeeld ontstaat van de kwaliteit van een water. Analoge voorbeelden gebaseerd op grote aantallen *in situ* waarnemingen zijn gepresenteerd in Figuur 2-8. Het op deze manier bewerken en presenteren van remote sensing informatie maakt het mogelijk wateren onderling en dezelfde wateren in de tijd met elkaar te vergelijken.

De reikwijdte van remote sensing is ook aan de benedenkant van Figuur 2-7 uit te breiden. Voorbeelden zijn koppelingen met modellen, zoals PCLake, SOBEC of Duflow. Het stationair model PCLake (Janse et al., 1995; Janse, 1997) kent als inputparameters onder meer de hydrologie, morfologie, nutriëntenbelasting en sedimenteigenschappen. Als output worden onder andere dichtheden van algen(groepen), het voorkomen van waterplanten(groepen) en het

doorzicht gegenereerd. Daarbij is het doorzicht via empirische relaties gekoppeld aan detritus, algen, witvis en waterplanten. Remote sensing informatie kan daarbij modeluitkomsten verifiëren en leiden tot modeloptimalisatie. Via de waterkwaliteitsmodule, gebaseerd op het programma Delwaq, van het eendimensionale model SOBEK (Van Gils & Icke, 2000) kan eveneens remote sensing een nuttige aanvulling zijn. Voor diverse grotere boezemwater-systemen in ons land, waaronder de Friese boezem, is SOBEK operationeel.



Figuur 2-7 De invloed van nutriëntenbelasting op een ecosysteem, met daarbij de huidige en gewenste reikwijdte van remote sensing (deels gebaseerd op De Deckere et al., 1996).



Figuur 2-8 Karakterisering van (grote groepen van) wateren in de vorm van frequentieverdelingen van vele waarnemingen of data (links naar Heyman et al., 1984 (percentage relatief t.o.v. gemiddelde) en rechts naar Dodds et al., 1998 (cumulatief)).

### Operationele infrastructuur en gebruikershandleiding

Tot nu toe is remote sensing, via uitbesteding, projectmatig ingezet door regionale waterbeheerders. De projectvoorbereiding vraagt daarbij veel tijd en energie. Dat geldt in het bijzonder voor airborne opnamen. Aanvankelijk is daarbij onduidelijk welke techniek en welke sensor ingezet moet worden. Een gebruikershandleiding, naar analogie van de Handleiding



Actief Biologisch Beheer (1992), de Handleiding Bestrijding Eutrofiëring (1996) en het onlangs opgestelde Handboek visstandbemonstering en -beoordeling (2002), zou een welkome handreiking zijn aan de waterbeheerders. Daarin kan onder meer opgenomen worden waar welke methode het meest geschikt is, wat de resultaten kunnen zijn, hoe interpretatie moet plaats vinden en welke instanties voor welke indicatieve prijs opdrachten kunnen uitvoeren. Een belangrijke recente ontwikkeling in dit verband is de inzet van de EPS-A scanner van de Meetkundige Dienst in het kustwachtvliegtuig. Dit instrument zal de drempel voor het gebruik van vliegtuig remote sensing kunnen verlagen. Verwerking van beelden naar thematische kaarten kan binnen enkele dagen worden uitgevoerd, waarbij de opnamen beter zijn te plannen en relatief goedkoop verkrijgbaar zijn.

#### Combinatie van meerdere remote sensing technieken en remote sensing images

Het klimaat in ons land speelt parten bij inzet van met name optische remote sensing. Door bewolking valt het mogelijk aantal te nemen opnamen in de tijd tegen. Dat gegeven beperkt de mogelijkheid van inzet van 'multitemporele' beelden. Vergelijking van in de tijd ver uiteenliggende beelden vraagt daarenboven om voorzichtigheid. Zo is de conclusie van Dekker et al. (2001), dat de waterkwaliteit in de Alde Feanen (tussen 18 augustus 1995 en 11 augustus 1997) op basis van slechts twee chlorofylkaarten zichtbaar is verslechterd, onjuist. Trendanalyse over een periode van 13 jaren heeft juist een waterkwaliteitsverbetering aangetoond (Claassen & Meijer-Bielenin, 2002). Inzet van meerdere sensoren (vanaf meerdere platforms), alsmede gebruik van images voor meerdere doelen (denk aan waterbeheerders, terreinbeheerders, de agrarische - en recreatiesector) kan de toepassing van remote sensing vergroten en -voor de deelnemende instanties- goedkoper maken. Ook kunnen waterbeheerders gezamenlijk projecten initiëren.

#### Kennisoverdracht

Een belangrijke handicap bij remote sensing toepassing is gelegen in (tekort aan) kennis over de techniek en de mogelijkheden. Ecologisch - en waterkwaliteitsmedewerker(ster)s bij waterschappen zijn veelal niet geschoold in remote sensing technieken. Bij zowel HBO- als universitaire opleidingen in deze richting wordt nauwelijks aandacht besteed aan remote sensing (zie ook de Inleiding). Die kennis is vooral aanwezig bij de meer technische opleidingsinstituten, bij enkele overheidsdiensten (zoals de Meetkundige Dienst van RWS en het NLR) en bij specifieke adviesbureaus. Dat zijn tevens de potentiële opdrachtnemers, hetgeen een risico inhoudt voor een te eenzijdige afhankelijkheid. Daarnaast zijn meer populair-wetenschappelijke publicaties gewenst over uitgevoerde projecten en (on)mogelijkheden van remote sensing toepassingen in het waterbeheer. Ten slotte is het wenselijk te komen meer continue relaties tussen vragende en biedende partijen, in plaats van de tot nu toe ad hoc en strikt projectgebonden contacten. Rewanet en/of STOWA kunnen daarin mogelijk een rol vervullen. Zo is door de STOWA reeds eerder geïnvesteerd in de kennis van de optische eigenschappen van Nederlandse watertypen (Rijkeboer & Dekker, 1999; Rijkeboer 2001). Deze projecten waren bedoeld om de close sensing door middel van de PR-650 veldspectroradiometer verder te ontwikkelen. De vergaarde kennis maakt het echter ook mogelijk om remote sensing aan tal van Nederlandse watertypen sneller en goedkoper uit te werken.

#### Van empirische naar analytische algoritmen

Tabel 2-6 geeft een beeld van de gemaakte kosten van de Friese remote sensing projecten. Aanvullende bemonsterings- en laboratorium kosten en personele inzet zijn daarbij niet meegerekend. Wel is steeds aanvullend veld- en laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Meer kennis van reflectiepatronen van stoffen, algen en waterplanten (zie bijvoorbeeld Anstee et al., 2000), en meer kennis van optische eigenschappen van watersystemen (zie bijvoorbeeld



Rijkeboer & Dekker, 1999; Rijkeboer 2001) maken het minder noodzakelijk om bij remote sensing opnamen gelijktijdig grondwaarnemingen te verrichten. Deze ontwikkeling moet worden doorgezet, in samenhang met het hiervoor beschrevene betreffende normherleiding bij "Toepassing voor waterkwaliteitsbeoordeling".

**Tabel 2-6 Overzicht van kenmerken en kosten, gemoeid met de uitgevoerde Friese remote sensing projecten.**

Project	Remote sensing techniek	Specificaties	Parameters	Totale kosten	Aandeel voor Wetterskip Fryslân, nog los van aanvullende onderzoeks- en personele kosten
DHV, 1988; BCRS-rapport 88-17	Spaceborne Landsat TM Pixel grootte 30*30 m	Beelden van 16-6-'86 en 3-8-'86 Friese meren	T, doorzicht, zwevende stof, chlorofyl	€ 19,500 (BCRS 70 %)	€ 5,800
Roeters & Buiteveld, 1993; RIZA 93.008	Spaceborne Landsat TM Pixel grootte 30*30 m	Beelden van 5-7-'87 en 23-5-'89 Friese meren	T, doorzicht, zwevende stof, chlorofyl	€ 36,500 (RIZA 37,5 %)	€ 23,000
Moen et al., 1997; BCRS-rapport 96-27	Airborne CASI 3 km, pixel grootte 4,75*4,75 m	Beelden van 8-8-'95 Leijen, Alde Feanen, Polderhoofdkanaal, Boornbergumer Petten, De Deelen, Nanneviid	Zwevende stof, chlorofyl, cyanofycocyanine, doorzicht, verticale extinctie coëfficiënt	€ 140,000 <sup>1</sup> (BCRS 25 %)	€ 24,000
Dekker et al., 1999; BCRS-rapport 99-22	Airborne CASI 3 km, pixel grootte 4,75*4,75 m	Beelden van 11-8-'97 Leijen, Alde Feanen, Polderhoofdkanaal, Boornbergumer Petten, De Deelen, en enkele andere petgatengebieden	Zwevende stof, chlorofyl, cyanofycocyanine, doorzicht, verticale extinctie coëfficiënt	€ 53,000 (BCRS 25 %)	€ 35,000
Vos et al., 1998; BCRS-rapport 98-08b	Landsat TM en SPOT (S)	Beelden van 24-5; 11-7; 2-8 (S); 12-8-'95 zuid-Friese meren	Zwevende stof	€50,000 (BCRS 30 %)	€ 22,000

<sup>1</sup> Opgezet als een groter project "Dutch lakes '95".

#### Gecombineerd remote sensing gebruik voor meerdere doelen

Tot nu werden remote sensing opnamen veelal voor één doel gebruikt. Zo werd bij de Friese projecten (zie Tabel 2-6) al in de eerste bewerkingsstap het land weggemaskeerd. Gezien de toenemende behoefte bij meerdere instanties aan ruimtelijke (gebiedsdekkende) informatie, in combinatie met beschikbare GIS-technieken en basiskaarten, maakt multifunctioneel gebruik van images goed mogelijk. Bij "Combinatie van meerdere remote sensing technieken en remote sensing images" is daar al wat van gezegd. Ook kan uitbreiding in de toepassingsfeer plaats vinden, bijvoorbeeld bij het vaststellen van gewenste grond- en oppervlaktewaterregimes (GGOR), bij (deel)stroomgebiedsplannen, bij waterrisico- en waterkansenkaarten en bij studies naar meervoudig ruimtegebruik.



Samenvattend kan gesteld worden dat de perspectieven voor toepassing van remote sensing groot en gunstig zijn. Dat gaat echter niet vanzelf, zo is wel gebleken de afgelopen jaren. Het vereist inzet en verdieping in de materie, zowel bij de eindgebruikers (waterbeheerders) als bij de aanbieders (onderzoeksinstituten en adviesbureaus) van de techniek. Vraag en aanbod moeten goed gedefinieerd en op elkaar afgestemd worden. Deze STOWA studiedag had dat als doel. Hopelijk is (de start voor) dat doel waargemaakt.

### Literatuur

De op Friese projecten betrekking hebbende verwijzingen (zie Figuur 2-1) zijn voorzien van [Fr.].

- Andersen, M.M., F.F. Rigét & H. Sparholt, 1984. A modification of the Trent index for use in Denmark. *Water Res.* 18 (2): 145-151.
- Althuis, I.J.A., 1998. Suspended particulate matter detection in the North Sea by hyper spectral airborne remote sensing. *Aquatic Ecology* 32 (1): 93-98.
- Althuis, I.J.A. & H. Buiteveld, 1996. Remote sensing toegepast voor waterbeheer. *H<sub>2</sub>O* 29 (19): 586-588.
- Bakker, H.C., 1991. Concentratiebeelden uit Landsat TM. MD-LKRS-R9116. Delft. 8p.
- Bakker, J.G.M., L.S.M. Schouten & E.J. Huising, 1996. Monitoren van kroosbedekking in binnenwateren met behulp van video luchtopnamen. BCRS rapport 95-18. Delft. 28p met bijlagen.
- Bakker, M. de & P. Tempel, 1992. Eutrophication observed by remote sensing, an educational approach to water quality monitoring. Onderwijsmodule voor het Hoger Agrarisch Onderwijs deel 2. Van Hall Instituut Leeuwarden. BCRS-rapport 92-11b. [Fr.]
- Balen, M.E.M. van, 1996. Verslag van het remote sensing onderzoek van enkele Friese wateren op 18 augustus 1995. Technisch Document Waterschap Friesland. Leeuwarden. 23p met bijlagen. [Fr.]
- Beck, R., 1986. Satelliet Themakaarten, een nieuw hulpmiddel in planning en beheer. *Land+Water* 26 (4): 59-61.
- Blind, M.W. & R.H. Aalderink, 1994. Analyse en optimalisatie van het routinematige meetnet van het Waterschap Friesland. Wageningen/Leeuwarden. Deel 1 tekst, deel 2 figuren, kaarten en bijlagen.
- Blind, M.W., R.H. Aalderink & R. Maasdam, 1995. Design of a trend detection network for Water Authority Friesland. Proceedings of the International Workshop Monitoring Tailor-made, Lelystad, p. 312-317.
- Boon, P.J., O.L. Lassiere & W.M. Duncan, 1997. The use of Remotely Operated Vehicle (ROV) for surveying submerged aquatic plant communities in standing waters. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 2353-2357.
- Bos, B. & J. de Vries, 1996. De praktische toepasbaarheid van remote sensing voor het beheer van binnenwateren. Studentenrapport Waterschap Friesland/Van Hall Instituut Groningen. 85p. met bijlagen. [Fr.]
- Bots, W.C.P.M., P.C. Jansen & G.J. Noordewier, 1978. Fysisch-chemische samenstelling van oppervlakte- en grondwater in het Noorden des Lands. ICW, Wageningen.

- Brans, K. & H. Pater, 1986. Toepassingsmogelijkheden van remote sensing bij de opsporing van oppervlaktewatervervuiling. Studentenrapport Hogere Landbouw School Leeuwarden. [Fr.]
- Brink, B.J.E. ten & S.H. Hosper, 1989. Naar toetsbare ecologische doelstellingen voor het waterbeheer: de AMOEBE-benadering. *H<sub>2</sub>O* 22 (20): 612-617.
- Brown, R.M., N.I. McClelland, R.A. Deiniger & M.F. O'Conner, 1972. A water quality index - crashing the psychological barrier. in: S.H. Jenkins (ed.) *Advances in water pollution research*. Pergamon Press.
- Buiteveld, H., C. Meulstee, E.H.S. van Duin & G.N.M. Stokman, 1990. Water quality applications of Landsat imagery in the lake IJssel area. in: *International symposium remote sensing and water resources*, Enschede, The Netherlands, p. 617-626.
- Buiteveld, H., C. Meulstee & R. Jordans, 1987. Het gebruik van LANDSAT opnamen voor waterkwaliteitsonderzoek in het IJsselmeergebied. BCRS 87-18. Delft. 57p.
- Buiteveld, H., P.B. Roeters, T.H.L. Claassen & K. Appelman, 1993. Water Quality Monitoring and Management with Remote Sensing, from Regional Scale to National scale. Enschede, Proc. symp. Operationalization of remote sensing: p. 99-108. [Fr.]
- Claassen, T.H.L., 1990. Eutrophication observed by remote sensing; a distant point of view. Den Haag, CHO-TNO, Water management and remote sensing, Tech. Meeting 47, p. 39-60. [Fr.]
- Claassen, T.H.L., 1998. Meerwaarde van remote sensing voor het waterbeheer. *H<sub>2</sub>O* 31 (4): 18-22. [Fr.]
- Claassen, T.H.L., 2001. Uitgebreide toepassingen remote sensing in het waterbeheer. *H<sub>2</sub>O* 34 (23): 8-9.
- Claassen, T.H.L., H. Buiteveld, P.B. Roeters & K. Appelman, 1994. Eutrofiëringsonderzoek met behulp van Remote Sensing, toegepast in Friesland. *H<sub>2</sub>O* 27 (25): 740-745. [Fr.]
- Claassen, T.H.L. & I. Meijer-Bielenin, 2002. *Waterkwaliteit in de Alde Feanen in de periode 1987-2000*. Wetterskip Fryslan.
- Commissie Eindevaluatie (CERP), 2001. *Eindevaluatie Nationaal Remote Sensing Programma*. Programmabureau BCRS.
- De Deckere, E.M.G.T., R.E. Rijdsdijk, P.C.M. Boers & D.T. van der Molen, 1996. Effecten van de reductie van de fosfaatbelasting in ondiepe plassen en meren. RIZA Nota nr. 96.049 E.
- Dekker, A.G., 1991. The remote sensing Loosdrecht Lakes project. BCRS rapport 90-29. Delft. 105p.
- Dekker, A.G., 1993. Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing. Thesis, VU Amsterdam.
- Dekker, A.G., 1996. CAESAR-inland water mode phase 2; final report. BCRS 95-11. Delft. 32p.
- Dekker, A.G. & H.J. Hoogenboom, 1996. Predictive modelling of aviris performance over inland waters. Presented at 6th Annual JPL Airborne Earth Science Workshop. 10p.
- Dekker, A.G., L. van Liere, E. Seyhan & T.J. Malthus, 1990. Remote sensing en waterkwaliteit: een helder beeld van troebel water. *Gea* 23 (3): 86-90.



- Dekker, A.G., J.P. Moen, E.J. van Kootwijk, G.A. van Rossum, H.J. Hoogenboom, A.C. Belfroid & T.H.L. Claassen, 1999. De kwaliteit van enkele Friese binnenwateren gemeten met vliegtuig - remote sensing (augustus 1997). Delft, BCRS-rapport 99-22, 88p. met 6 bijlagen. [Fr.]
- Dekker, A.G. & S.W.P. Peters, 1993. The use of the Thematic Mapper for the analysis of eutrophic lakes: a case study in the Netherlands. *Int. J. Remote Sensing* 14 (5): 799-821.
- Dekker, A.G., S. Peters, R. Vos & M. Rijkeboer, 2001. Remote sensing for inland water quality detection and monitoring: State-of-the-art application in Friesland waters. In: A. van Dijk & M.G. Bos (eds.) *Gis and remote sensing techniques in land- and water management*, 17-38. [Fr.]
- Dekker, A.G., R.J. Vos & S.W.M. Peters, 2001. Comparison of remote sensing data, model results and in situ data for total suspended matter (TSM) in the southern Frisian lakes. *The Science of the Total Environment* 268: 197-214. [Fr.]
- Dekker, A.G., Z. Zamurovic-Nenad, H.J. Hoogenboom & S.W.M. Peters, 1996. Remote sensing, ecological water quality modelling and *in situ* measurements: a case study in shallow lakes. *Hydrological Sciences* 41 (4): 531- 547.
- DHV, 1988. De toepassingsmogelijkheden van remote sensing satellietopnamen voor het waterkwaliteitsbeheer van de Friese meren. BCRS-rapport 88-17. Delft. 50p. [Fr.]
- Dodds, W.K., J.R. Jones & E.B. Welch, 1998. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperature stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Res.* 32 (5): 1455-1462.
- Does, J. van der & F.J. Klink, 1991. Excessive growth of Lemnaceae and *Azolla* in ditches observed by false colour teledetection. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24: 2683-2688.
- Donze, M., 1980. *Limnologie en waterkwaliteit*. Inaugurele rede, TH Delft.
- Ebben, M.H.M., 1992. Troebelheid, doorzicht en extinctie. *H<sub>2</sub>O* 25 (23): 634-637.
- Genderen J. van & B. de Roover, 1982. Evaluatie van de toepassingsmogelijkheden van remote sensing technieken bij de uitvoering van controle-activiteiten in het milieubeheer. Eurosense, Den Haag. 174p met bijlagen.
- Gils, J.A.G. van & J. Icke, 2000. SOBEK-WQ, user manual. WL Delft Hydraulics.
- Gons, H.J., J. Ebert & J. Kromkamp, 1998. Optical teledetection of the vertical attenuation coefficient for downward quantum irradiance of photosynthetically available radiation in turbid inland waters. *Aquatic Ecology* 31(3): 299-311.
- Hakvoort, J.H.M., 1994. Absorption of light by surface water. Thesis, TUDelft.
- Heyman, U., S.-O. Ryding & C. Forsberg, 1984. Frequency distributions of water quality variables; relations between mean and maximum values. *Water Res.* 18 (7): 787-794.
- Hoogenboom, H.J. & P.E.G. Leonards, 1996. Schatten van mobiliteit en beschikbaarheid van PCB's met behulp van remote sensing; een verkennend onderzoek. IVM, Amsterdam. W-97/01. 29p.
- Hosper, S.H., 1978. De ontwikkeling van richtlijnen voor fosfaatconcentratie en fosfaatbelasting voor Nederlandse wateren. *H<sub>2</sub>O* 11 (15): 329-334.
- Janse, J.H., 1997. A model of nutrient dynamics in shallow lakes in relation to multiple stable states. *Hydrobiologia* 342/343: 1-8.

- Janse, J.H., E. van Donk & R.D. Gulati, 1995. Modelling nutrient cycles in relation to food web structure in a biomanipulated shallow lake. *Neth. J. of Aquatic Ecology* 29 (1): 67-79.
- Jonkman, J.C.M., 1982. Op de tast ... remote sensing ten behoeve van natuur en milieu. *Intermediair* 18 (11): 43-49.
- Klapwijk, S.P., J.J.P. Gardeniers, E.T.H.M. Peeters & C. Roos, 1994. Ecological assessment of water systems. P 105-117 in: *Proceedings of the International Workshop Monitoring Tailor-made*, Beekbergen.
- K&M & IVM, 1996. De kwaliteit van Friese wateren gemeten met vliegtuig remote sensing in 1995. Amsterdam. 53p met losse kaarten. [Fr.]
- Kootwijk, E.J. van, A.G. Dekker, H.J. Hoogenboom, J.P. Moen, G.A. van Rossum & B.J. Schoenmakers, 1996. Remote sensing voor het beheer van binnenwateren. BCRS rapport 95-29. Delft. 75p.
- Krijgsman, J., 1994. Optical remote sensing of water quality parameters. Thesis, TUDelft.
- Langeraar, W.D., 1987. Remote sensing in Nederland. *Heidemijtijdschrift* 1987-2: 56-58.
- Latour, P., 2001. De doelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn Water nader verkend. *Het Waterschap* 86 (10): 496-499.
- Loor, G.P. de, 1971. Mogelijkheden van Remote Sensing. *NGT* 71: 73-85.
- Lijklema, L., R.M.M. Roijackers, J.H. Janse & M.-L. Meijer, 1988. Eutrofiëring in Nederland. *H<sub>2</sub>O* 21 (17): 462-467.
- Lijklema, L., 1998. Dimensions and scales. *Wat. Sci. Tech.* 37 (3): 1-7.
- Malin, V., 1984. A general lake water quality index. *Aqua Fennica* 14 (2): 139-145.
- Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 1975. *Water Action Programma 1975-1979*.
- Moen, J.P., J.D. van Setten, E.J. van Kootwijk, A.G. Dekker, H.J. Hoogenboom, G.A. van Berkum, T.H.L. Claassen & B. van der Veer, 1997. De kwaliteit van Nederlandse binnenwateren gemeten met vliegtuig remote sensing (1995). BCRS rapport 96-27, Delft. 61p met bijlagen. [Fr.]
- Projectgroep Regionale Watersysteemrapportage, 2000. *RWSR-Handleiding 2000, deel 1: Procesbeschrijving; deel 2: Beschrijving indicatoren*.
- Projectgroep "Remote sensing IJsselmeergebied", 1985. *Remote sensing en waterkwaliteit in het IJsselmeergebied*. MDLK-R-8537. MD Delft. 10p met bijlagen.
- Raad, J.S., R.A.L. Peerboom & J.F. Feenstra, 1993. *Stofbalansen voor de Friese boezem*. IvM, Amsterdam.
- Roeters, P.B. & H. Buiteveld, 1993. *Gebruik van satellietopnamen voor eutrofiëringsonderzoek van de Friese boezemmeren*. RIZA nota 93.008. Lelystad. 90p. met separaat kaarten. [Fr.]
- Roeters, P.B. & H. Buiteveld, 1994. *Implementatie van remote sensing voor handhaving Wvo*. RWS-RIZA nota 94.017. Lelystad. 28p.
- Roeters, P.B. & H. Buiteveld, 1994. *Implementatie van NOAA-produkten voor ijsberichtgeving en drijfslagkartering*. RWS-RIZA nota 94.030. Lelystad. 15p.
- Roeters, P.B. & H. Buiteveld, 1994. *Landsat TM voor beheer van de binnenwateren: beperkte mogelijkheden*. RWS-RIZA nota 94.055. Lelystad. 15p.



- Roeters, P.B., H. Buiteveld, K. Appelman & H.C. Bakker, 1993. Enforcement of environmental legislation using infrared remote sensing, from research towards implementation. presented at International Symposium ITC Enschede. p 109-119.
- Rijkeboer, M., 2001. Optische teledetectie; algoritmen voor het bepalen van de concentratie chlorofyl-a en zwevende stof. STOWA 2001.05. Utrecht. 35p.
- Rijkeboer, M. & A.G. Dekker, 1999. Kleurenanalyse van Nederlandse wateren ten behoeve van waterkwaliteitsonderzoek; optische classificatie van Nederlandse wateren. STOWA 99.12. Utrecht. 68p.
- Rijkeboer, M., A.G. Dekker & H.J. Gons, 1998. Subsurface irradiance reflectance spectra of inland waters differing in morphology and hydrology. *Aquatic Ecology* 31(3): 313-323.
- Rijsdijk, R.E., 1996. Basisgegevens en balansen voor Nederlandse plassen en meren. RIZA Nota nr. 96.049 B.
- Saravia, L.A., A. Giorgi & F.R. Momo, 1999. A photographic method for estimating chlorophyll in periphyton on artificial substrata. *Aquatic Ecology* 33 (4): 325-330.
- Seyhan, E. & A.G. Dekker, 1986. Application of remote sensing techniques for water quality monitoring. *Hydrobiol. Bull.* 20 (1/2): 41-50.
- Schouten, L., 1997. Schatting van kroosdekken op basis van video luchtopnamen. Synoptics, Wageningen. 21p.
- Stokkom, H.T.C. van & M. Donze, 1988. Optische remote sensing en oppervlaktewater nu. *H<sub>2</sub>O* 21 (2): 33-42.
- Stokkom, H.T.C., G.N.M. Stokman & J.W. Hovenier, 1990. Reflections on the quantitative use of optical remote sensing in water applications. in: International symposium remote sensing and water resources, Enschede, The Netherlands, p. 731-742.
- Stokman, G.N.M. & H.T.C. van Stokkom, 1986. Multi spectral scanning techniques for water quality studies in the North Sea. *IAHS Publ. no 157*: 143-151.
- Sijtsma, J. & M. Dames, 1985. Literatuurstudie naar de toepassingsmogelijkheden van remote sensing bij het opsporen van bepaalde vormen van oppervlaktewatervervuilingen. Studentenrapport Hogere Landbouw School Leeuwarden. [Fr.]
- Vanhooren, G., 1989. Gebruik van een globale biologische index ter bepaling van de biotoop- en de waterkwaliteit van de oppervlaktewateren. *Water* 8 (45): 45-50.
- Veenstra, B., 1998. Onderwaterlichtklimaatmodellering opgehelderd; onderzoek naar de toepasbaarheid van een hand-held spectroradiometer als meetinstrument van de waterkwaliteit. Waterschap Groot-Salland, Zwolle.
- Vos, R.J., 1995. Restwaq: applications of remote sensing to water quality modelling. Delft Hydraulics. Delft.
- Vos, R.J., A.G. Dekker, S.W.M. Peters, G.A. van Rossum & L.J. Hooijkaas, 1998. RESTWAQ 2, Part 2; Comparison of remote sensing data, model results and in-situ data for the southern Frisian Lakes. BCRS rapport 98-08b, Delft. [Fr.]
- Vos, R.J. & M. Schuttelaar. 1995. RESTWAQ; data assessment, data-model integration and application to the Southern North sea. BCRS rapport 95-19. Delft.

- Wernand, M.R., S.J. Shimwell, S. Boxall & H.M. van Aken, 1998. Evaluation of specific semi-empirical coastal colour algorithms using historic data sets. *Aquatic Ecology* 32 (1): 73-91.
- Wetterskip Fryslân, 2001. Kwaliteit oppervlaktewater Fryslân 2000.
- Zomer, W., 1998. Het licht in waterkwaliteit; onderzoek naar de ruimtelijke en temporele variaties van enkele waterkwaliteitsparameters in de meren van Noordwest Overijssel. Bijlagenrapport separaat. Waterschap Groot-Salland, Zwolle.



## 2.3 Satellietbeelden en verdamping door Jos Schouwenaars

*het gebruik bij waterbalans studies, peilbesluiten en beheersbeslissingen bij verdroging en wateraanvoer*

**J.M. Schouwenaars**

**Wetterskip Boarn en Klif**

**i.s.m. W.G.M. Bastiaanssen, Waterwatch**

### **Waarom nu een studie bij de waterschappen?**

In 2000 is, met financiering van STOWA, gestart met een verkennende studie naar de mogelijkheden van het gebruik van remote sensing bij waterschappen.

Aanleiding waren enerzijds de recente ontwikkelingen aan de aanbodzijde: beschikbaarheid van goedkope gegevens en van hierop toegesneden GIS-technieken voor bewerking en gebruik. Anderzijds groeit de behoefte aan vlakdekkende gebiedsinformatie snel bij de steeds meer integraal opererende waterschappen.

De studie richt zich op met remote sensing verkregen informatie over verdamping, bodemvocht en biomassagroei. Daarmee kunnen een aantal belangrijke hydrologische processen worden gekwantificeerd.

Er is onderscheid gemaakt tussen het gebruik van deze informatie bij strategische studies en bij het operationele beheer. De studie wordt in opdracht van de STOWA uitgevoerd door Waterwatch in Wageningen en een viertal waterschappen, elk hun eigen pilot-studie, nemen hieraan deel.

In deze bijdrage wordt ingegaan op de vraagstelling bij de pilots, de belangrijkste resultaten tot nu toe en de voorlopige conclusies. Nog niet alle pilots zijn op het moment van het schrijven van deze bijdrage afgerond. Daarom is extra aandacht gegeven aan de reeds afgeronde studie van de polder Wollegaast (pilot 1). De eindrapportage van alle studies in een samenvattend STOWA-rapport is voorzien voor het najaar van 2002.

### **Neerslag en verdamping**

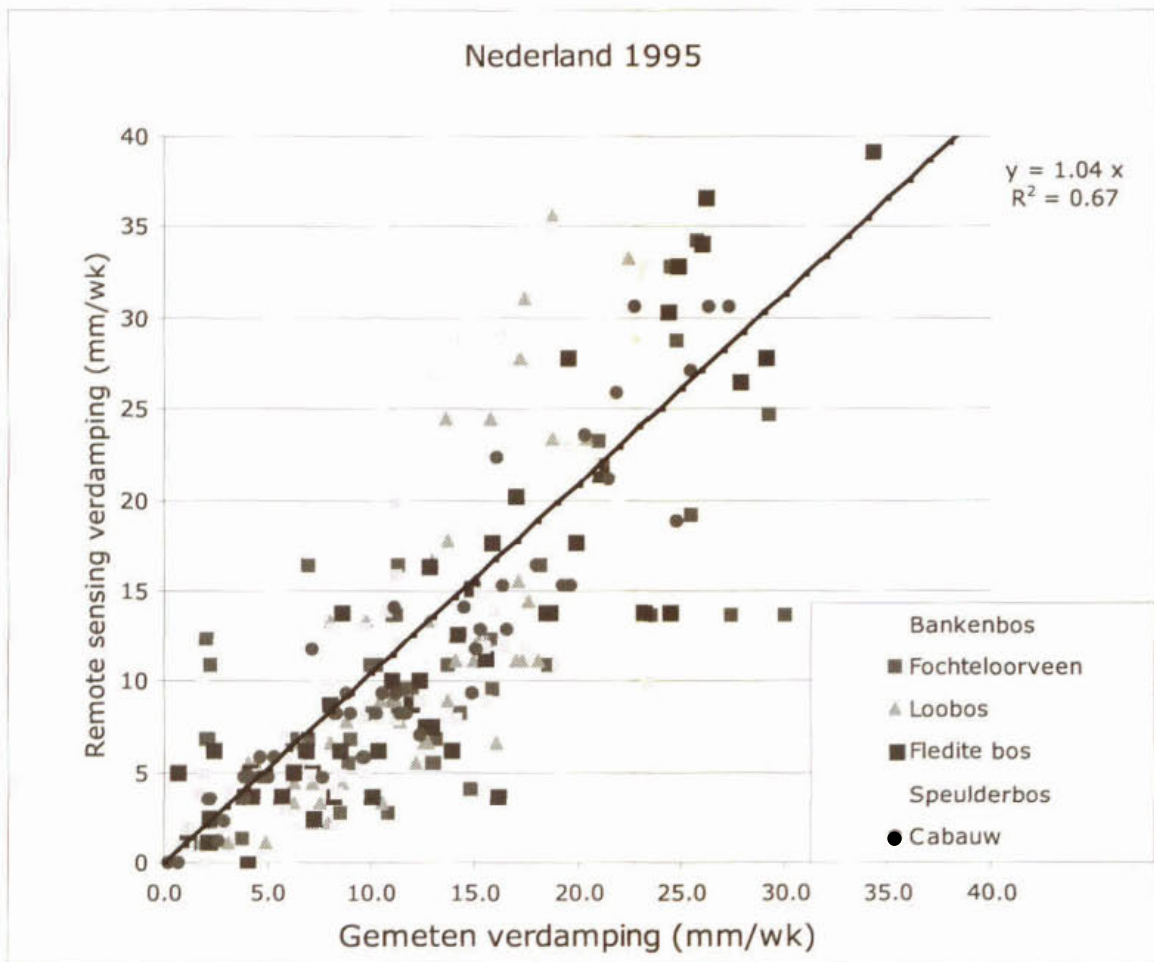
#### **Neerslag met radarbeelden**

De mogelijkheden voor het bepalen van de neerslag in een gebied met radarwaarnemingen zijn nog volop in ontwikkeling. De beelden geven een redelijk betrouwbaar beeld van de ruimtelijke verschillen in de hoeveelheid neerslag. Voor de bepaling van de absolute hoeveelheid is een ijking met uit regenmeters verkregen puntinformatie onmisbaar. Pas daarna kunnen redelijke schattingen van hoeveelheden met radarbeelden worden gemaakt.

#### **Actuele verdamping met satellietbeelden**

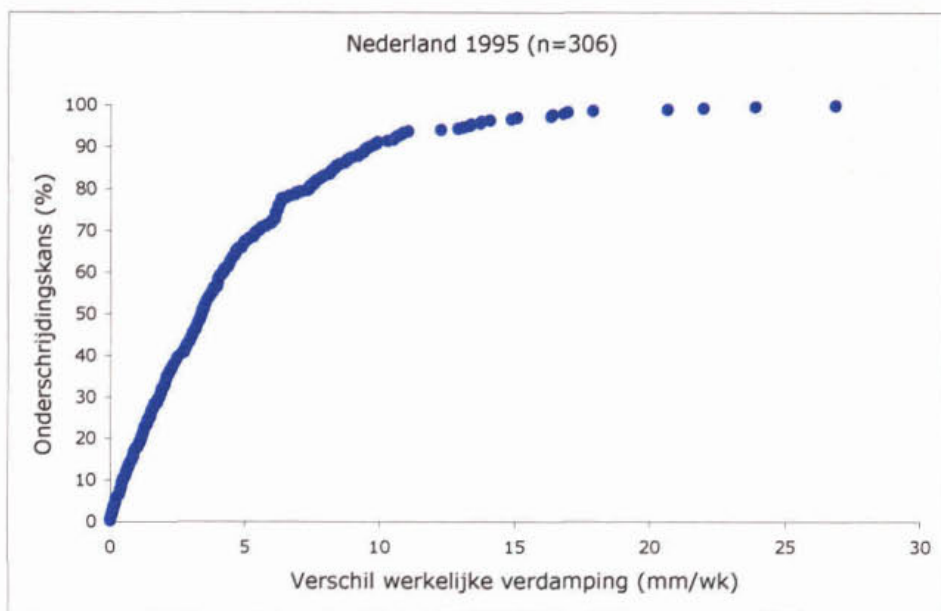
Vanwege de grote kosten die gemaakt moeten worden voor het ter plaatse meten van de actuele verdamping, wordt door waterschappen vrijwel uitsluitend gebruik gemaakt van uit KNMI-meetgegevens afgeleide informatie over de referentiegewasverdamping van gras en begroeiingstypen. Dit is de z.g. Makkink verdamping met daarbij behorende gewasfactoren om verschillen tussen gras en specifieke gewassen mogelijk te maken. Schattingen van de actuele verdamping zijn slechts mogelijk door toepassing van modellen van het bodem-plant-atmosfeer systeem. Door Bastiaanssen (1995) is het SEBAL-model (Surface Energy Balance Algorithm for Land)

ontwikkeld. Hiermee is het mogelijk om voor verschillende vormen van landgebruik met warmtebeelden van het aardoppervlak, in combinatie met standaard meteorologische metingen van de temperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid en zonnestraling, een schatting te maken van de voelbare- en latente warmte flux. Hieruit kan de actuele verdamping voor het betreffende landgebruik worden afgeleid. In Figuur 2-9 is weergegeven wat de relatie is tussen de met SEBAL berekende verdamping en de werkelijk gemeten verdamping voor een aantal locaties in Nederland waar in speciale projecten experimenteel gemeten wordt. Een nadere analyse van de foutenmarge is gegevens in Figuur 2-10. Uit deze figuur is af te leiden dat in 60% van de gevallen het verschil tussen berekende en gemeten verdamping minder dan 5 mm per week bedraagt (onderschrijdingsfrequentie). In 90% van de gevallen is deze minder dan 10mm per week.



*Figuur 2-9 Het verband tussen de met het SEBAL algoritme berekende actuele verdamping en de werkelijk gemeten verdamping per week in 1995 voor een zestal locaties in Nederland*

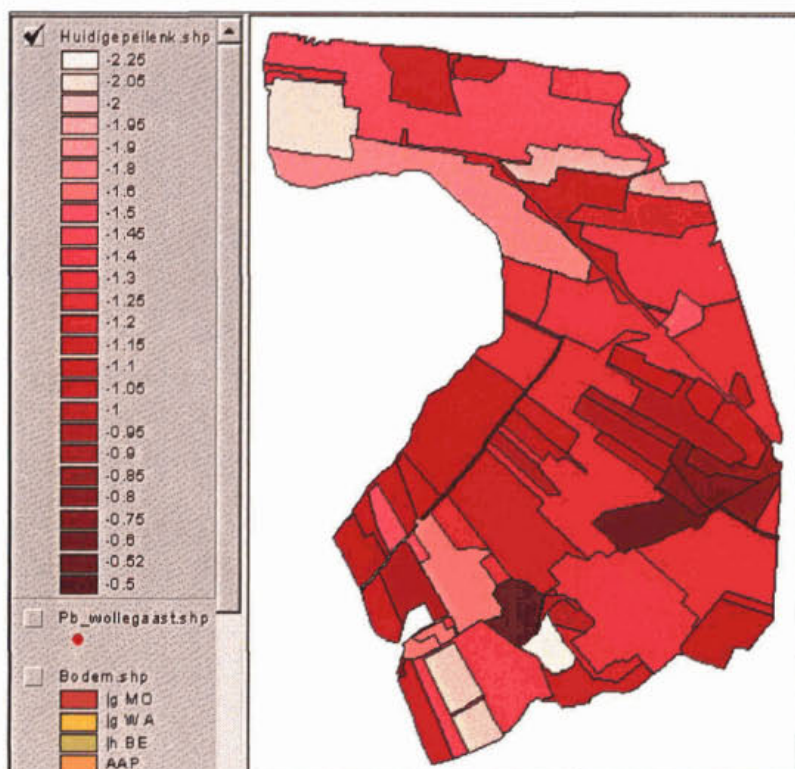




Figuur 2-10 Onderschrijdingsfrequentie van verschillen tussen met SEBAL berekende verdamping en gemeten verdamping per week voor een zestal locaties in Nederland in 1995

### Pilot 1: Peilbesluit Wollegaast

Voor de polder Wollegaast, ca. 2000 ha groot, wil het waterschap Boarn en Klif meer inzicht in de relatie tussen drooglegging en eventuele droogteschade krijgen. Voor dit gebied, met grotendeels klei-op-veengronden en graslandgebruik, is een peilbesluit in voorbereiding. Bij een groot deel van de landbouwbedrijven is de wens om de hogere zomerpeilen af te schaffen en overal de peilen gedurende het gehele jaar op het lagere winterpeil te brengen. De huidige zomerpeilen zijn weergegeven in Figuur 2-11.

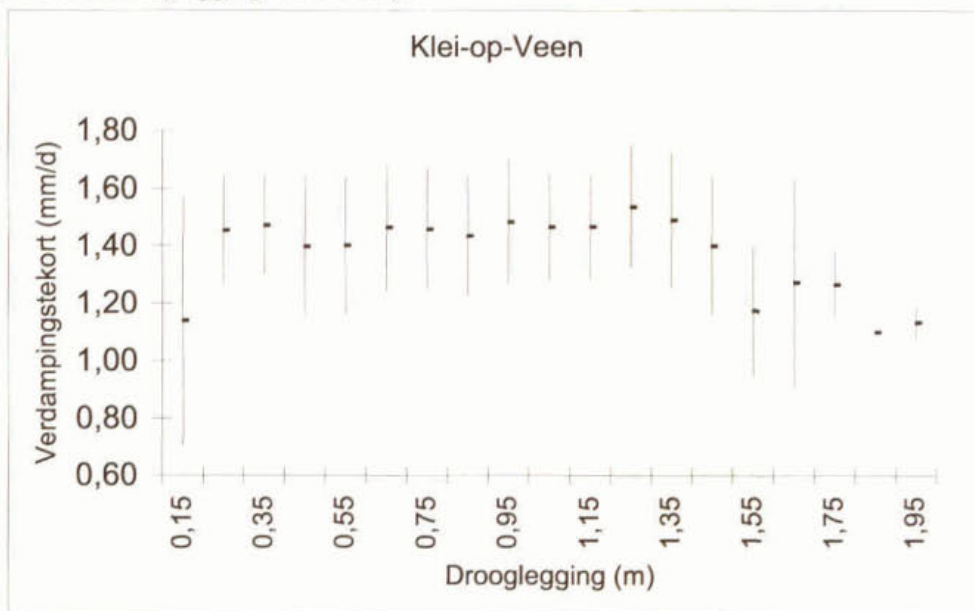


Figuur 2-11 Peilgebieden in de polder Wollegaast

De vraag die beantwoord dient te worden is of dat tot het optreden van droogteschade kan leiden. Veelal wordt droogteschade gerelateerd aan de optredende laagste grondwaterstanden. Er zijn van het gebied nauwelijks grondwatermetingen beschikbaar en gezocht werd naar een alternatieve methode om mogelijke droogteschade te meten en die te relateren aan de drooglegging ter plaatse.

Remote sensing als techniek zou die mogelijkheden wellicht kunnen bieden.

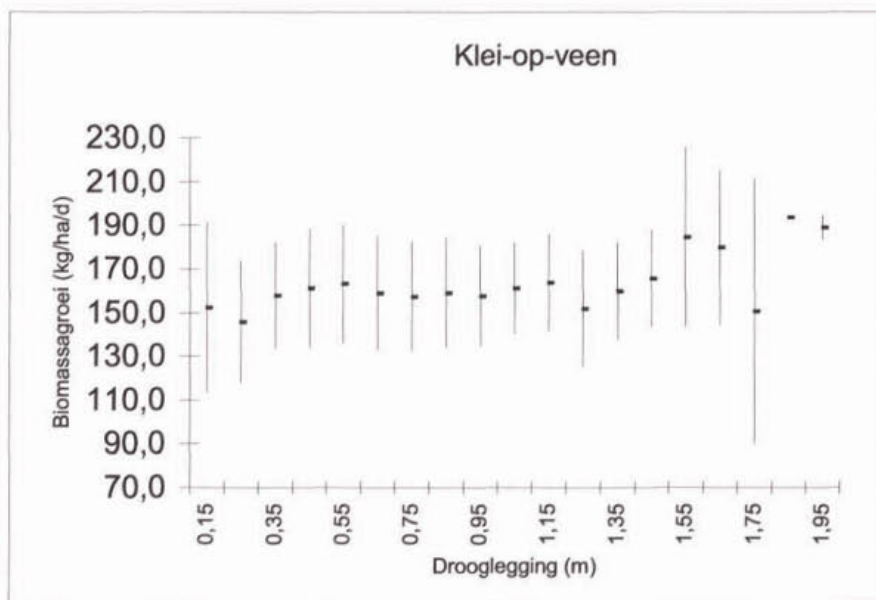
Met behulp van Landsat beelden (met een resolutie van 30 m) van 30 juli 1999 en 18 oktober 1999 zijn gegevens over de actuele verdamping en biomassagroei per pixel van 30 x 30 m<sup>2</sup> afgeleid. Voor beide meetdata geldt dat deze zijn voorafgegaan door een periode van 9 dagen zonder neerslag. Na het uitfilteren van de maïspcelen is per bodemtype een analyse gemaakt van het verband tussen (i) het verdampingstekort (verschil potentiële en actuele verdamping) en de drooglegging ter plaatse. Hetzelfde is gedaan voor (ii) de biomassagroei en de drooglegging. In Figuur 2-12 en Figuur 2-13 wordt dit gepresenteerd voor de klei-op-veengronden. Op basis van deze gegevens zijn geen statistisch significante uitspraken mogelijk. Uit het onderzoek valt wel op dat de laagste waarden voor het verdampingstekort optreden bij het huidige zomerpeil (met een drooglegging van 60 cm).



Figuur 2-12 Relatie drooglegging en verdampingstekort (verschil potentiële en actuele verdamping) voor klei-op-veen gronden in de polder Wollegaast (gemiddelden en standaardafwijking)

Met behulp van NOAA beelden (met een resolutie van 1 km) uit 1995 is voor eenheden van 100 ha dezelfde analyse uitgevoerd. Het idee hierachter is om effecten van bedrijfsvoering te elimineren en een langere tijdserie te maken (er zijn 15 beelden gebruikt). Ook hiermee werd geen statistisch significant verband gevonden.





Figuur 2-13 Relatie drooglegging en biomassagroei voor klei-op-veen gronden in de polder Wollegaast (gemiddelden en standaardafwijking)

Wel kunnen een aantal conclusies getrokken worden die het inzicht in zowel het peilbeheer als in de toepassingsmogelijkheden van remote sensing hebben vergroot.

Wat het *peilbeheer* betreft is er blijkbaar een grote ruimtelijke variatie in de bodemeigenschappen in het gebied, zelfs binnen de groep van klei-op-veengronden. Op twee lokaties, met eenzelfde drooglegging kan er waarschijnlijk toch een geheel ander grondwatergedrag zijn. Aanvullende informatie over bodem en grondwatergedrag is onmisbaar voor inzicht in de effecten van de drooglegging.

Remote sensing kan deze informatiebehoefte niet wegnemen, het blijft nodig te beschikken over een actuele grondwatertrappenkaart. Wel geeft remote sensing een betere beschrijving van de ruimtelijke variatie in groeicondities dan uit bodemkaarten en grondwatermeetpunten is af te leiden. Waarschijnlijk hebben bij graslandgebruik de maaidata een grote invloed op de resultaten.

Wat de *toepassing remote sensing opnamen* betreft zijn er natuurlijk de beperkingen van het bewolkte weer. Landsat beelden met de gewenste hoge resolutie zijn maximaal tweemaal per maand beschikbaar.

In zijn algemeenheid draagt remote sensing sterk bij aan patroonbeschrijving (bijvoorbeeld invloed bodemvariatie) en minder aan de hier ook gewenste procesbeschrijvingen (bijvoorbeeld grondwatergedrag en waterbeschikbaarheid).

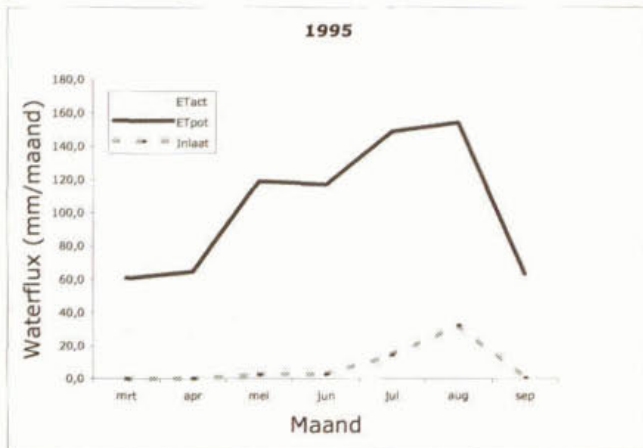
Uiteindelijk heeft het waterschap de verkregen informatie over de mogelijke droogteschade bij lagere zomerpeilen niet kunnen gebruiken voor de afwegingen bij het te nemen peilbesluit.

#### **Pilot 2: Waterbalans West-Brabant**

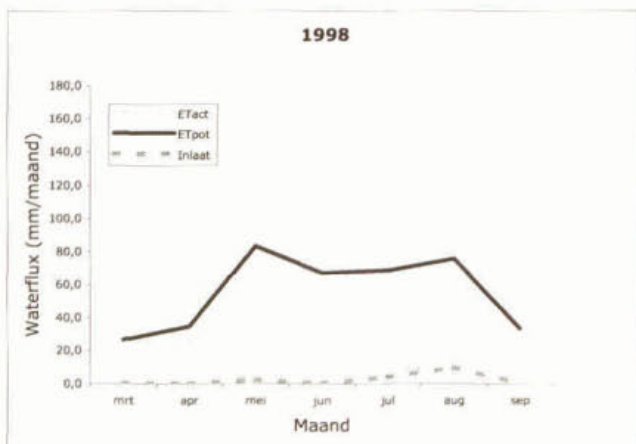
Het Hoogheemraadschap West Brabant stelt voor het stroomgebied van de Mark – Vliet boezem maandelijks een waterbalans op. Neerslaggegevens worden verzameld en wateraan- en afvoer wordt op basis van enkele meetpunten geschat. Omdat de restterm bestaat uit meerdere componenten van de waterbalans (verdamping, grondwater aan- of afvoer, berging) zijn uitspraken over de grootte van die afzonderlijke balanstermen niet goed te doen. Daarmee is het ook niet mogelijk verdampingstekorten te kwantificeren.

Voor een inzicht in het hydrologisch functioneren van dit watersysteem is dat echter wel gewenst (strategisch waterbeheer). Daarom kan de met behulp van remote sensing afgeleide informatie over de actuele verdamping een toegevoegde waarde hebben. Ook de uit remote sensing afgeleide bodemvochtgegevens kunnen de bergingsverschillen wellicht beschrijven en aldus bijdragen tot een beter inzicht in de waterbalans.

Voor het relatief warme en droge jaar 1995 en het relatief koele en natte jaar 1998 is geprobeerd na bewerking van NOAA-warmtebeelden waterbalansen op te stellen voor de zomermaanden. Ook is geanalyseerd hoe de inlaatbehoefte in een aantal kleipolders in deze twee jaren gerelateerd was aan het verdampingstekort (door vergelijking potentiële en actuele verdamping; zie Figuur 2-14 en Figuur 2-15). Hier wordt de relatie tussen verdampingstekort en waterinlaat goed zichtbaar gemaakt.



Figuur 2-14 De relatie tussen de met SEBAL berekende actuele verdamping en de waterinlaat in kleipolders in West-Brabant in 1995



Figuur 2-15 De relatie tussen de met SEBAL berekende actuele verdamping en de waterinlaat in kleipolders in West-Brabant in 1998.

De voorlopige conclusies van deze pilot zijn dat de uit remote sensing afgeleide informatie over bodemvocht niet voldoet aan de daaraan gestelde eisen in tijd en ruimte. Er zijn teveel bewolkte dagen zonder informatie, waardoor het opstellen van maandelijkse bergingsverandering in de bodem niet mogelijk is. Dit kan naast de remote sensing beperkingen van bodemvocht tevens aan het ontbreken van voldoende grondwaterstands-metingen worden toegeschreven.

Daarmee werd het doel om met betere waterbalansstudies bij te dragen aan meer kennis over de watersystemen niet bereikt.



Gedurende de studie werd wel duidelijk dat het middels remote sensing beschikbaar krijgen van actuele informatie over de werkelijke verdamping bijdraagt aan een beter waterinlaatbeheer en daarmee het dagelijkse operationele waterbeheer kan versterken.

### **Pilot 3: Vernattingsprojecten Rijn en IJssel**

Na de uitvoering van anti-verdrogingsmaatregelen is het vaak van belang om te beoordelen of een gebied werkelijk natter wordt en of er sprake is van vernattings schade in aangrenzende landbouwpercelen. Dit was voor waterschap Rijn en IJssel aanleiding te onderzoeken of remote sensing kan bijdragen aan het beschikbaar krijgen van de daartoe benodigde gegevens.

Het opzetten van een grondwatermeetnet is de gebruikelijke aanpak maar heeft, naast hoge operationele kosten en de beperking van puntinformatie, ook het nadeel dat vergelijking van situaties voor de plaatsing van het meetnet niet mogelijk zijn.

Met behulp van NOAA opnamen in de jaren 1995, 1998, 1999 en 2000 en gedetailleerde Landsat opnamen van 6 en 14 mei 2000 zijn schattingen gemaakt van het bodemvochtgehalte van percelen in en direct grenzend aan vernatte terreinen.

Uiteraard heeft het optredende neerslagpatroon hier een dominante invloed op.

Om dit effect te neutraliseren is een afgeleide grootheid bepaald, namelijk de verhouding van het bodemvochtgehalte per pixel met het gemiddelde bodemvochtgehalte in het omliggende gebied. Zo kan door vergelijking tussen locaties vlakbij vernatte gebieden en verderop gelegen locaties een analyse worden gemaakt van

- (i) of er sprake is van relatief nattere omstandigheden;
- (ii) of hierbij sprake is van een trend in de tijd. Dit laatste gebeurt door het vergelijken van deze gegevens over een reeks van jaren, gedeeltelijk vóór en gedeeltelijk na de uitvoering van vernattingsmaatregelen. Belangrijk hierbij is dat sterk rekening gehouden dient te worden met het aanwezige landgebruik.

De belangrijkste voorlopige conclusie van deze verkennende studie is dat de met remote sensing verkregen ruimtelijke informatie over bodemvocht een belangrijke toegevoegde waarde kan hebben op de gebruikelijke en onmisbare puntwaarnemingen aan grondwaterstanden, maar dat dit per type landgebruik dient te worden bestudeerd. Nader onderzoek naar toepassingsmogelijkheden bij de monitoring van vernattingsprojecten is gewenst.

### **Pilot 4: Peilbeheer Hunze en Aa's**

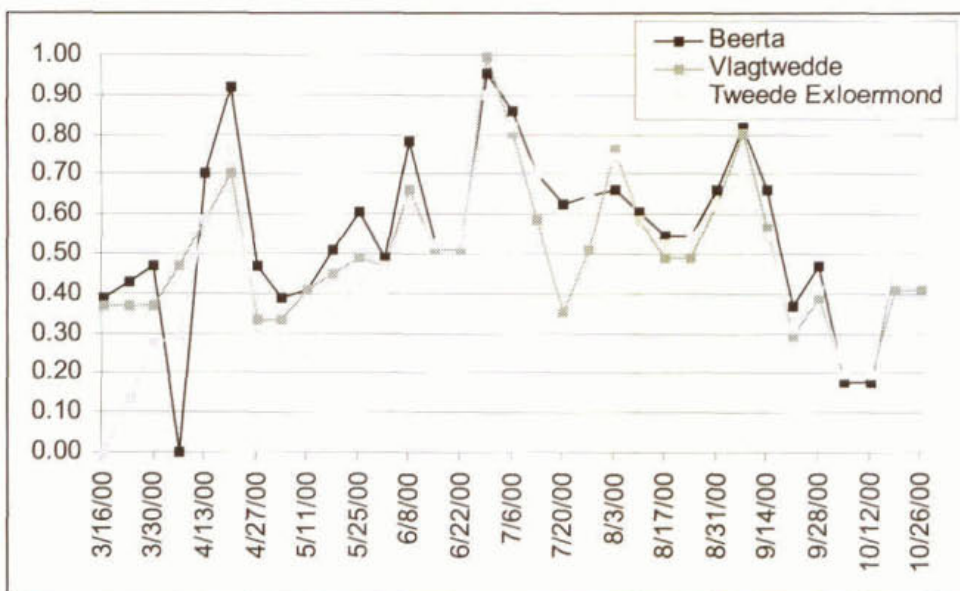
Voor het bepalen van de wateraanvoerbehoefte in de Groningse Veenkoloniën maakt het waterschap Hunze en Aa's gebruik van het SWW beslissingsondersteunend model van de onverzadigde zone. De modelresultaten worden getoetst met de gegevens van een daartoe ingericht meetnet van grondwaterstanden en waterpeilen.

Het hydrologische model beschrijft het verloop van de verdamping en de ontwikkeling van het bodemvochtgehalte op verschillende diepten in de bodem.

Het waterschap heeft interesse in vlakdekkende informatie en in on-line beschikbare gegevens over de actuele verdamping en het bodemvocht.

Interessant is of met SEBAL verkregen gegevens uit remote sensing opnamen een aanvulling kunnen geven of dat deze wellicht als vervanging kunnen dienen voor de informatie uit de SWW modelberekeningen.

Met gebruikmaking van NOAA beelden uit 1995, 1998 en 1999 is het verloop van de actuele verdamping en het bodemvochtgehalte van de top laag vergeleken met de SWW-modelresultaten. Figuur 2-16 geeft een voorbeeld van het verloop van het bodemvocht gehalte ten opzichte van verzadiging. Nadere analyses hiervan dienen nog gemaakt te worden. Een belangrijke opmerking is dat het SEBAL model alleen bruikbaar is bij een gesloten bladerdek.



Figuur 2-16 Bodemvochtverloop van drie geselecteerde kilometerhokken gedurende het groeiseizoen van 2000 bij Waterschap Hunze en Aa's. Het bodemvocht is uitgedrukt als een fractie van het bodemvochtgehalte bij volledige verzadiging.

Uit de satellietopnamen met NOAA werd het verloop van de biomassa-groei tijdens het groeiseizoen bepaald. Met name de in het najaar vastgestelde afname hiervan geeft de waterbeheerder een goede indicatie van het moment waarop de hogere (zomer-)stuwpeilen weer naar beneden kunnen worden bijgesteld. Dit is een aanvulling gebleken op de informatie die uit het SWW-model beschikbaar kwam.

Als voorlopige conclusies van deze pilot kunnen worden genoemd dat er een goede overeenkomst is tussen de met remote sensing en met het hydrologische model afgeleide informatie over de werkelijke verdamping. Er is een relatie waarneembaar tussen het stuwbeheer en het uit remote sensing beelden afgeleide verloop van het bodemvochtgehalte. Dit biedt perspectief voor het opstellen van beslisregels gebaseerd op remote sensing informatie. Nadere studies naar de interpretatie tussen processen en variabelen uit remote sensing beelden en beslissingen in het operationele peilbeheer zijn noodzakelijk.

#### Algemene conclusies en discussie

Vooruitlopend op de nog op te stellen eindrapportage van de hier besproken pilot-studies kunnen de volgende voorlopige algemene conclusies worden getrokken:

- Remote sensing technieken zijn in het waterbeheer vooral bruikbaar bij patroonstudies, oftewel daar waar behoefte is aan inzicht in ruimtelijke verschillen.
- De met remote sensing technieken verzamelde gegevens over een reeks van jaren biedt nieuwe mogelijkheden voor monitoring en evaluatie van het gevoerde waterbeheer.
- Door meerjarige evaluatie van beheermaatregelen met remote sensing gegevens kunnen de waterbeheerders werken aan de ontwikkeling van betere beslisregels in het waterbeheer.



## 2.4 Legger en infrastructuur

### 2.4.1 Toepasbaarheid IKONOS satellietbeelden bij gegevensinwinning van het waterschap Regge en Dinkel door Ko van Raamsdonk

**Ko van Raamsdonk**

**Hoofd afdeling geo-informatie en grondzaken**

**Waterschap Regge en Dinkel**

#### **Inleiding**

Het waterschap Regge en Dinkel draagt zorg voor de waterhuishouding in het beheergebied, dat geheel Twente omvat. Hierbij vindt de aan- en afvoer van het oppervlaktewater plaats in een stelsel van (hoofd-)waterlopen ter lengte van ongeveer 2.500 km. Voor het uitvoeren van deze taak heeft Regge en Dinkel onder andere een basisregistratie voor waterkwantiteit ingericht. Deze registratie is onderdeel van het ruimtelijk informatiesysteem Aquarius-Hydro van het waterschap en beschrijft de actuele situatie van het stelsel in relatie tot de topografische en kadastrale ondergronden. Het gaat hierbij om waterstaatkundige objecten als afvoervakken, knooppunten, kunstwerken (zoals duikers, stuwen en bruggen), onderhoudspaden, stroomgebieden en dergelijke.

In de periode van de jaren 1995 – 1999 zijn bij het waterschap Regge en Dinkel op projectmatige wijze gegevens van deze waterstaatkundige infrastructuur in het systeem ingevoerd. Het ging hier om gegevens, die reeds in analoge vorm bij het waterschap aanwezig waren, in de vorm van technische tekeningen en ander kaartmateriaal. Uitgangspunt hierbij is geweest, dat het opnieuw terrestrisch inmeten van de waterlopen en kunstwerken uit financieel oogpunt onhaalbaar was. Bij de invoer werden de bestaande gegevens beoordeeld op actualiteit en betrouwbaarheid. Al werkende zou de kwaliteit van de gegevens verder worden opgekrikt, hetgeen ook verder is gebeurd of nog steeds gaande is.

In april 1999 is het project gegevensinvoer bij het waterschap afgerond en is de basisregistratie waterkwantiteit in de beheerfase gekomen.

#### **BCRS-project hoge resolutie satellietbeelden**

Bij de gegevensinvoer ontstond de behoefte om hoge resolutie beelden te kunnen gebruiken voor het op kwaliteit controleren van de gegevens in de basisregistratie. In 1996 zijn hiertoe al de eerste gesprekken gevoerd met het adviesbureau HKV LIJN IN WATER (HKV) te Lelystad en het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) te Marknesse. Afgesproken is toen, dat HKV, NLR en waterschap Regge en Dinkel onderzoek zouden doen naar gebruiksmogelijkheden van hoge resolutie satellietbeelden bij de gegevensinwinning in diverse processen van het waterschap. Opdrachtgever was de Beleidscommissie voor Remote Sensing (BCRS), die de resultaten van dit onderzoek heeft gepubliceerd in een rapport [1].

NLR heeft aan het onderzoek bijgedragen door levering van de IKONOS-beelden en het uitvoeren van de geometrische correcties hieraan, terwijl HKV de projectleiding heeft gedaan. De bijdrage van het waterschap bestond uit de interpretatie van de beelden en het onderzoeken van andere toepassingsmogelijkheden bij het waterschap.

Helaas is de IKONOS satelliet, met een nauwkeurigheid van 1 meter, pas in oktober 1999 gelanceerd en kwamen de beelden in april van het volgende jaar ter beschikking. Het door deze beelden bedekte gebied heeft een oppervlakte van 121 km<sup>2</sup> en omvat aan de noordkant de plaatsen Hengelo (gedeeltelijk) en Delden en aan de zuidkant de plaats Haaksbergen.



Het BCRS-rapport [1] geeft een beschrijving van de voorbewerking van de remote sensing data, zoals de geometrische correctie van de panchromatische en de multispectrale stroken en het vervaardigen van het pan-sharpened beeld door het mengen van de hoge resolutie van de zwart-wit component en de lagere resolutie van de kleurcomponent.

### **Uitvoering onderzoek**

Bij de uitvoering van het onderzoek zijn de volgende aspecten van gegevensinwinning onderzocht:

- actualiseren van waterstaatkundige kunstwerken ten behoeve van de basisregistratie waterkwantiteit;
- voorinventarisatie waterlopen ten behoeve van de schouw;
- vaststellen nulsituatie in stedelijk gebied ten behoeve van handhaving van de keur;
- inventarisatie akkerbouwgebieden in het kader van de AMvB open teelten.

Verder is in overleg met materie deskundigen gekeken naar de bruikbaarheid van de beelden bij het verkrijgen van gegevens betreffende diverse hydrologische en ecologische processen.

De resultaten van deze aspecten komen in het BCRS-rapport [1] uitgebreid aan de orde, maar worden in dit artikel kort samengevat.

### **Actualiseren basisregistratie waterkwantiteit**

Voor een oppervlakte van 11 km<sup>2</sup> uit het studiegebied is beoordeeld of stuwen, duikers, bruggen en beplantingen herkenbaar zijn in de satellietbeelden. De satelliet registreert de door het aardoppervlak gereflecteerde elektromagnetische straling in verschillende spectrale banden.

Deze straling wordt bepaald door het materiaal, waaruit het te registreren object bestaat.

Elk materiaal heeft verschillende spectrale karakteristieken met unieke reflectie waarden in een specifiek deel van het spectrum. Deze karakteristieken worden wel een *spectrale handtekening* genoemd.

De unieke spectrale handtekening van een landschapselement wordt uitgedrukt in kleur of grijswaarde in het beeld. Naast kleur of grijswaarde zijn grootte, textuur, vorm, structuur en ligging belangrijke karakteristieken voor het onderscheiden van landschapselementen.

Bij het volgen van de waterlopen in het beeld worden onderbrekingen (bruggen of dammen) onderscheiden (zie Figuur 2-17). Hierbij dient aangenomen te worden, dat in de dammen zich duikers bevinden. Bij vergelijking van de op deze wijze gevonden duikers met de in de basisregistratie waterkwantiteit geregistreerde duikers werd een percentage gescoord van 60 à 70 % (zie Tabel 2-7). Bovendien moet het inwinnen van de bij het object duiker behorende attributen (zoals diameter van de buis) alsnog in het veld plaatsvinden. Ook zijn kleinere kunstwerken, zoals stuwen en beplantingsstroken langs de waterloop, in het beeld niet zichtbaar gebleken.

Naast missers in de visuele interpretatie van objecten zijn tevens afwijkingen geconstateerd in de ligging van waterlopen met kunstwerken. In de basisregistratie is het lijnsegment van de waterloop namelijk gerelateerd aan de topografische ondergrond (TOP10vector). Figuur 2-18 toont een situatie, waarbij een naderhand gerealiseerde verbetering in de waterloop (bochtafsnijding) per abuis niet is doorgevoerd in de basisregistratie. Figuur 2-19 laat een systematische verschuiving van het lijnsegment van de waterloop zien, veroorzaakt door inhomogeniteit in de topografische ondergrond.



## Resultaten onderzoek

De resultaten van het onderzoek naar de bruikbaarheid van IKONOS satellietbeelden bij de gegevensinwinning van het waterschap zijn kort als volgt samengevat:

### *a. actualisering basisregistratie waterkwantiteit*

In relatie tot de kosten van het satellietbeeld is het scoringspercentage van 60 à 70 % te laag om deze methode van actualisering efficiënt te kunnen toe passen. Wel zijn de bij het gebruik van het beeld geconstateerde afwijkingen betreffende de ligging van waterlopen zeer waardevol gebleken.

### *b. voorinventarisatie ten behoeve van de schouw*

Door de datum van opname (april 2000) is het niet goed mogelijk te beoordelen, of het beeld bruikbaar is om in het kader van de schouw van het waterlopenstelsel een voorinventarisatie uit te voeren. Er is in ieder geval weinig begroeiing te zien in de waterlopen.

### *c. vaststelling nulsituatie in stedelijk gebied ten behoeve van handhaving van de keur*

Het vaststellen van de nulsituatie in stedelijk gebied ten behoeve van handhaving van de keur vraagt om een behoorlijk grote nauwkeurigheid van het beeld. De resolutie van het IKONOS-beeld (1 m) is in ieder geval onvoldoende om illegale bouwwerken te registreren. In bebouwd gebied liggen bovendien smallere waterlopen, waarvan de randen moeilijker te interpreteren zijn in het beeld.

### *d. inventarisatie akkerbouwgebieden in het kader van de AMvB open teelten*

De visuele herkenning in het satellietbeeld van teeltvrije zones is niet eenvoudig. Informatie kan worden verkregen door manipulatie van het kleurenspectrum. Het gaat hierbij om de interpretatie van de overgang van gras naar een bepaald landbouwgewas. Er is nog controle in het veld nodig.

### *e. diverse hydrologische en ecologische processen*

Het inwinnen van hydrologische en ecologische gegevens vereist een grote ervaring van de operator op het gebied van beeldinterpretatie. De vraag is of de medewerkers van het waterschap deze ervaring kunnen opdoen. Het is wellicht aan te bevelen dergelijk specialistisch werk uit te besteden. Wel dient dan de informatievraag van de waterschappen duidelijk geformuleerd te zijn, zodat het bedrijfsleven in staat wordt gesteld een adequate dienstverlening te leveren.

## Conclusies

Op grond van de onderzochte toepassingen kom ik tot de conclusie, dat het gebruik van hoge resolutie satellietbeelden (zoals IKONOS) bij het waterschap momenteel nog te weinig rendement oplevert om deze beelden te kunnen aanschaffen. De prijs is hoog, waarbij eventueel aanwezige bewolking de gebruiksmogelijkheden kan beperken.

Nader onderzoek is nodig voor het gebruik van satellietbeelden ten behoeve van hydrologische en ecologische processen. Het gebrek aan ervaring van de operator op het gebied van de beeldinterpretatie staat hier het verkrijgen van een goed resultaat in de weg. Hier ligt een kans

voor het bedrijfsleven voor het leveren van toegenomen producten en diensten. Van belang hierbij is natuurlijk, dat de waterbeheerders hun vraag om informatie goed hebben omschreven. De studiedag voor remote sensing en waterbeheer: van vraag naar aanbod op 6 maart 2002 heeft hiervoor de eerste aanzet gegeven.



Figuur 2-17 Visuele interpretatie van kleine landschapselementen.

**Tabel 2-7 Aantal getelde (geïnterpreteerde) en aanwezige (in de basisregistratie opgenomen) duikers, bruggen en stuwen per vak van 1 km<sup>2</sup>.**

vaknummer	duikers		bruggen		stuwen	
	aanwezig	geteld	aanwezig	geteld	aanwezig	geteld
1	13	3	3	2	10	0
2	3	1	0	0	0	0
3	9	5	2	0	5	0
4	12	10	0	0	1	0
5	19	13	0	0	3	1
6	11	5	0	0	0	0
7	5	1	2	2	1	1
8	12	8	0	0	5	0
9	8	6	0	1	0	0
10	20	17	0	0	0	0
11	13	11	0	0	3	0
12	8	4	0	0	0	0
<b>totaal</b>	<b>133</b>	<b>84</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>28</b>	<b>2</b>





*Figuur 2-18 Niet doorgevoerde wijziging in de basisregistratie.*



*Figuur 2-19 Systematische verschuiving van het lijnsegment van een waterloop.*

#### **Literatuur:**

[1] Actualiseren van vastgoedinformatie met hoge resolutie satellietbeelden. Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS). NRSP-2, 01-12, mei 2002.

## **2.4.2 Toepassing satellietbeelden bij WVO-toezicht op agrarische emissies - een proefproject- door P. Spierenburg**

**Peter Spierenburg**

**Beleidsmedewerker diffuse bronnen**

**Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden**

### **Inleiding**

Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden (zuiveringsschap HEW) draagt zorg voor de waterkwaliteit van het oppervlaktewater in zuidelijk Zuid-Holland. Het beheersgebied van zuiveringsschap HEW heeft een oppervlakte van ongeveer 139.000 hectare waarvan een groot deel, ongeveer 91.000 hectare, uit land- en tuinbouwgronden bestaat.

### **Controle Lozingenbesluit open teelt en veehouderij**

Een van de instrumenten die het zuiveringsschap ter beschikking heeft om de kwaliteit van het oppervlaktewater te bewaken en te verbeteren is de WVO met de in 2000 van kracht geworden AMvB Lozingenbesluit open teelt en veehouderij. In dit lozingenbesluit worden algemene regels voor 'goede landbouwpraktijk' langs oppervlaktewater gesteld met als doel het voorkomen van emissies van gewasbeschermingsmiddelen en meststoffen naar het oppervlaktewater.

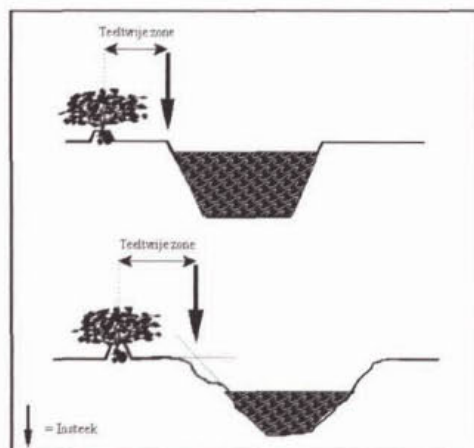
Een van de taken van het zuiveringsschap is de uitvoer van deze regelgeving te controleren, en daar waar nodig handhavend op te treden. Tot op heden wordt de controle uitgevoerd door milieucontroleurs die daadwerkelijk langs de agrarische bedrijven gaan en daar de uitvoer van de regelgeving controleren.

Deze manier van controleren werkt goed, maar is tijdsintensief. Om deze reden is het zuiveringsschap op zoek naar mogelijkheden die deze controle kunnen ondersteunen. In dit kader heeft zuiveringsschap HEW samen met twee ingenieurbureaus een proefproject uitgevoerd waarin onderzocht is of met behulp van satellietbeelden de veldcontroles ondersteund kunnen worden. Een tweede reden voor dit proefproject is het beschikbaar komen van hoog-resolutiebeelden na de lancering van de IKONOS-satelliet in 1999. Gezien de hoge resolutie van 1 meter, zouden deze satellietbeelden misschien toegepast kunnen worden als ondersteunend instrument bij het WVO-toezicht.

Het proefproject heeft zich gericht op het onderzoek of de agrarische gewassen en de, in het lozingenbesluit vastgelegde, teeltvrije zones op een satellietbeeld te herkennen zijn.

De teeltvrije zone is een strook landbouwgrond langs het oppervlaktewater waar geen gewassen geteeld mogen worden. Tevens mogen hier geen gewasbeschermingsmiddelen of meststoffen toegepast worden. De breedte van de strook is afhankelijk van het op het perceel geteelde gewas en de toegepaste spuit- en bemestingstechnieken en loopt van de insteek van het talud tot de eerste gewasrij (Figuur 2-20).





Figuur 2-20 De teeltvrije zone

De herkenning van de gewassen en de teeltvrije zone moet een nauwkeurigheid van 90% hebben om de toepassing bruikbaar en efficiënt te maken voor het zuiveringsschap. De doelstelling was dan ook om de agrarische gewassen en de teeltvrije zones met een nauwkeurigheid van 90% te herkennen.

#### **Keuze van twee gewassen**

Het proefproject is vanwege praktische overwegingen beperkt tot twee akkerbouwgewassen; aardappel en ui. Deze gewassen zijn gekozen vanwege het relatief grote areaal en gewasbeschermingsmiddelengebruik van deze gewassen in het beheersgebied van zuiveringsschap HEW.

#### **Uitwerking van het project**

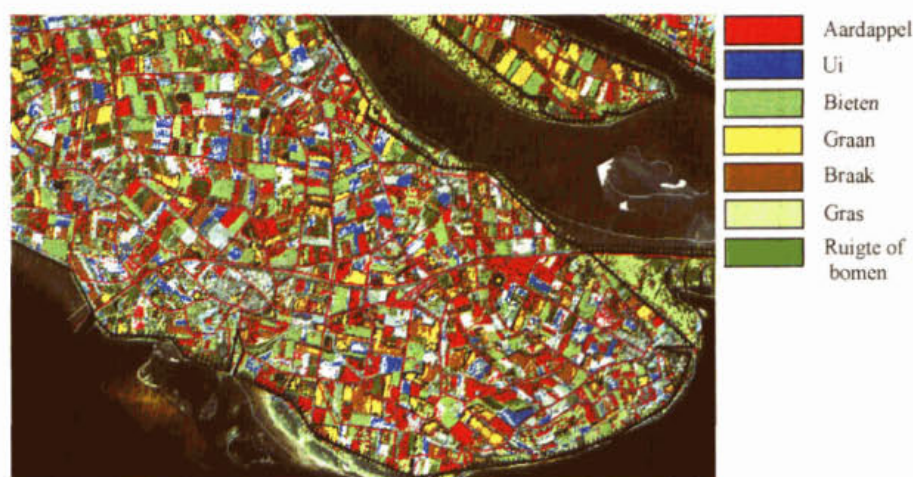
Zuiveringsschap HEW en twee bureaus hebben het project uitgevoerd. De laatste hebben de benodigde satellietbeelden aangeschaft en verwerkt. Vervolgens is aan de hand van deze satellietbeelden eerst gewerkt aan het herkennen en vaststellen van aardappel- en uienpercelen in het beheersgebied en vervolgens aan het analyseren van de breedte van de teeltvrije zones bij deze percelen op Goeree-Overflakkee. De validatie en rapportage zijn uitgevoerd door het zuiveringsschap HEW.

#### **Gewasclassificatie**

Na de aanschaf van de satellietbeelden is als eerste de signatuur van de aardappel en uienpercelen bepaald. Hierbij is gebruik gemaakt van Landsat- en IRS satellietbeelden in kleur van februari, mei, juni en augustus, met een resolutie van ca. 25 meter (zie Tabel 2-8). De signatuur van de aardappel- en uienteelten is aan de hand van bekende aardappel- en uienpercelen, de zogenaamde trainingsvelden, bepaald. Vervolgens zijn deze signaturen gebruikt om de plaatsing van de overige aardappel- en uienteelten in het beheersgebied te voorspellen. Op deze manier wordt per 'pixel' van 25 bij 25 meter voorspeld of er aardappel of uien geteeld worden. In Figuur 2-21 is te zien dat per perceel meerdere gewassen voorspeld kunnen worden. Aangezien later de breedte van de teeltvrije zones langs de percelen bepaald moet worden is een vertaling naar perceelsniveau nodig. Na deze vertaling, zijn de resultaten gevalideerd door het zuiveringsschap met veldgegevens die in 3 polders in week 36 van 2000 verzameld zijn.

Tabel 2-8 Opnames satellietbeelden

Gewasclassificatie		Analyse teeltvrije zones
Landsat 7, 14 februari, 12 mei	Landsat 7, 24 augustus	IKONOS, 20 mei 31 mei, 8 juni en 23 september
Landsat 5, 12 mei		
IRS1D, 18 juni	IRS1D, 18 juni	



Figuur 2-21 Voorbeeld uitkomsten gewasclassificatie

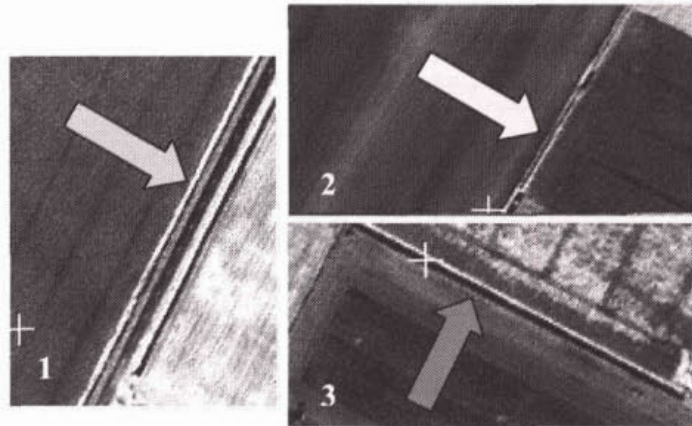
Uit de validatie komt naar voren dat slechts 48% van aardappelpercelen goed voorspeld was. Veel van de percelen waar in werkelijkheid aardappel geteeld werden, zijn in de voorspelling gemist. Ook werden op enkele voorspelde aardappelpercelen in werkelijkheid andere gewassen geteeld. De voorspellingen van de uienpercelen had een maximale nauwkeurigheid van slechts 42%. De relatief kleine percelen van deze teelt, de rechte groeivorm van het gewas en het grote aandeel zichtbare kale grond (brede rijpaden en veel grond zichtbaar tussen de gewassen door) kunnen aan de lage nauwkeurigheid hebben bijgedragen. Ook zijn fouten ontstaan bij de vertaling van de gewasvoorspelling per pixel naar perceelsniveau, doordat niet alle perceelsgrenzen bekend waren en twee of meerdere percelen met verschillende teelten als één gezien werden.

De in dit proefproject behaalde nauwkeurigheden zijn voor het zuiveringsschap niet voldoende om bruikbaar te zijn bij de ondersteuning van de veldcontroles. Een hogere nauwkeurigheid is gewenst.

#### Analyse teeltvrije zones

Nadat de percelen met aardappel- en uienteelt voorspeld waren, kon de volgende stap genomen worden: het herkennen en analyseren van de teeltvrije zone. Voor aardappel en uienpercelen geldt bij het gebruik van bepaalde emissiebeperkende maatregelen een teeltvrije zone van 1 meter. Zonder de emissiebeperkende maatregelen moet de teeltvrije zone minimaal 1,5 meter breed zijn.





1. De teeltvrije zone is zeker groter dan 1 meter
2. De teeltvrije zone is waarschijnlijk kleiner dan 1 meter
3. De teeltvrije zone is zeker kleiner dan 1 meter

*Figuur 2-22 Interpretatie teeltvrije zones*

Voor de analyse van de breedte van de teeltvrije zones is gebruik gemaakt van vier IKONOS zwart-wit beelden met een resolutie van 1 meter (zie Tabel 2-8). De analyse van de teeltvrije zones is uitgevoerd door één van de twee bureaus. Dit bureau heeft de teeltvrije zones op de satellietbeelden handmatig geclassificeerd door de beelden visueel te interpreteren.

Drie voorbeelden zijn opgenomen in Figuur 2-22. Bij de interpretatie is een indeling gemaakt in 3 klassen:

1. De teeltvrije zone is zeker groter dan 1 meter
2. De teeltvrije zone is waarschijnlijk kleiner dan 1 meter
3. De teeltvrije zone is zeker kleiner dan 1 meter

De eerste klasse bevat de teeltvrije zones die voldoen aan het lozingenbesluit (mits gespoten wordt met bepaalde emissiebeperkende maatregelen).

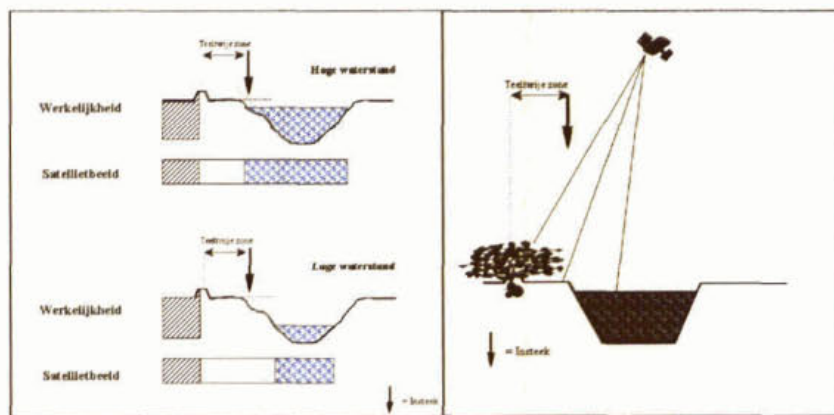
De resultaten van deze analyse konden niet gevalideerd worden omdat op het moment dat de resultaten binnen kwamen bij zuiveringsschap HEW de meeste aardappels en uien al geoogst waren en de teeltvrije zones niet meer herkenbaar waren. De late levering werd veroorzaakt door problemen bij de leverancier van de satellietbeelden.

Als alternatief voor de validatie met veldgegevens is op theoretische gronden bepaald welke nauwkeurigheid te verwachten is bij de uitgevoerde analyse van de teeltvrije zones. Hieruit zijn enkele punten naar voren gekomen die problemen bij de bepaling van de breedte van de teeltvrije zone op kunnen leveren. Deze problemen hebben allen te maken met de plaatsbepaling van de twee grenspunten van de breedte van de teeltvrije zone; de insteek van het talud en het midden van de eerste gewasrij. Beide punten zijn vanuit de lucht moeilijk herkenbaar. Vanuit de lucht is (bij een zeer hoge resolutie) de insteek van het talud alleen herkenbaar indien het talud en het perceel een scherpe hoek vormen. Bij rondere, onregelmatige of natuurlijk begroeide taluds is de insteek vanuit de lucht niet of nauwelijks te herkennen (Figuur 2-23).



Figuur 2-23 Begroeiing teeltvrije zone

De breedte van de teeltvrije zone wordt dan bepaald aan hand van de ruimte tussen de scheidingslijn land/water en de buitenste rand van het gewas. Bij lage waterstanden of sterk overhangende gewassen kan een behoorlijk vertekend beeld van de breedte van de teeltvrije zone ontstaan, de teeltvrije zone kan of te groot (lage waterstand) of te klein (sterk overhangend blad) ingeschat worden. Deze situaties zijn in geïllustreerd. Het is theoretisch mogelijk om voor bovenstaande problemen te corrigeren, echter hierbij zijn veel aanvullende gegevens nodig zoals waterstanden, hellinghoek talud, geteeld ras van een gewas etc. Zolang beelden met een hogere resolutie van 1 m beschikbaar zijn is het daarom de vraag of het gebruik van satellietbeelden als ondersteuning bij de controle van de teeltvrije zone zinvol is.



Figuur 2-24 Invloed waterstand en overhangend gewas

### Conclusie

De resultaten van dit proefproject voldoen niet aan de eisen die het zuiveringsschap aan deze methode gesteld heeft. De nauwkeurigheid van de gewasherkenning was bij dit project niet voldoende. Daarbij moet aangetekend worden dat elders gewasherkenning met een hogere nauwkeurigheid wel mogelijk is gebleken. Voor de LGN3 (Landelijk Grondgebruikbestand Nederland) is gebruik gemaakt van Landsat en SPOT satellietbeelden en is bij de agrarische gewasherkenning een nauwkeurigheid van hoger dan 70% behaald [Thunnissen & de Wit, 2000].

De analyse van de teeltvrije zone kon niet gevalideerd worden omdat de analyseresultaten beschikbaar kwamen nadat de gewassen al gerooid waren. Op theoretische gronden wordt echter verwacht dat er belangrijke belemmeringen zijn voor een nauwkeurige herkenning van de breedte van de teeltvrije zones. Om de analyse van de teeltvrije zone goed te kunnen bepalen moet voor deze belemmeringen een oplossing gevonden worden, voordat het gebruik van satellietbeelden als ondersteunend instrument bij de controle van de teeltvrije zones efficiënt is.



## **Literatuur**

Ministerie van V&W, 2000. Lozingenbesluit Open Teelt en Veehouderij. *Staatsblad van het koninkrijk der Nederlanden* jaargang 2000 nr. 43.

Thunnissen, H.A.M. & A.J.W. de Witt, 2000. The National Land Cover Database of the Netherlands. *ISPRS* vol 33.

### **2.4.3 Toepasbaarheid van satellietbeelden voor een waterschap door René Verhage**

**René Verhage**  
**Hoofd afdeling Geografische Informatie**  
**Waterschap Vallei en Eem**

#### **Inleiding**

Het in Amersfoort gevestigde bedrijf NEO levert, analyseert en bewerkt satellietbeelden zoals die door de satelliet IKONOS worden opgenomen. Deze satellietbeelden hebben een resolutie van 1 meter. Het bezoek aan NEO had ten doel om te onderzoeken of er interessante toepassingsmogelijkheden van de beelden voor het waterschap Vallei & Eem te vinden zijn. Hiertoe is een opname van het gebied rondom Eemdijk gemaakt en zijn door het waterschap basisbestanden aangeleverd (Top10vector, GBKN, DKK en Watergangen en Kunstwerken Kaart (WGK)). In totaal zijn er ongeveer 3 mensdagen aan besteed in december 2000.

#### **Technische informatie**

De satelliet maakt opnamen in zwart wit (panchromatisch) met een resolutie van 1 meter en in kleur (multispectraal) met een resolutie van 4 meter. De waarde van een pixel wordt opgenomen in 11 bit en weggeschreven in een bestand van 16 bits. Door deze grote diepte in grijswaarden kunnen er meer gedetailleerdere analyses worden gedaan. Met name de informatie in het nabije infrarood bevat veel informatie met betrekking tot de vegetatie. De satelliet vliegt op circa 681 km hoogte met een snelheid van 7 kilometer per seconde. Door de grote hoogte is de vervorming op de hoekpunten uiterst gering. Dit is een groot voordeel t.o.v. luchtfoto's. De opnames hebben een breedte van 11 kilometer en zijn soms tot honderd kilometer lang. De overkomstijd van de satelliet is altijd om 10:30 uur. Opnamen kunnen alleen plaatsvinden wanneer er geen wolken zijn, er is dus altijd schaduwwerking. Voor het uitvoeren van uitgebreide beeld analyses is software nodig (ICOGNITION). Bij het converteren naar een TIF bestand dat ArcView kan openen, moet worden teruggeschaald naar 8 bit en daarmee gaat er veel informatie verloren.

De beelden zijn door NEO op een standaard wijze van georeferentie voorzien.

#### **Proefprojecten**

##### **Handhaving**

De proefbestanden bevatten een gedeelte van Eemdijk. Er is gekeken of het mogelijk was om, in combinatie met de Grootschalige BasisKaart Nederland, de GBKN (en in latere fase met de zoneringen vanuit de legger) of er illegale (aan)bouwsels op te sporen zijn. Hieronder volgt een toelichting.





Figuur 2-25 Eemdijk met DKK

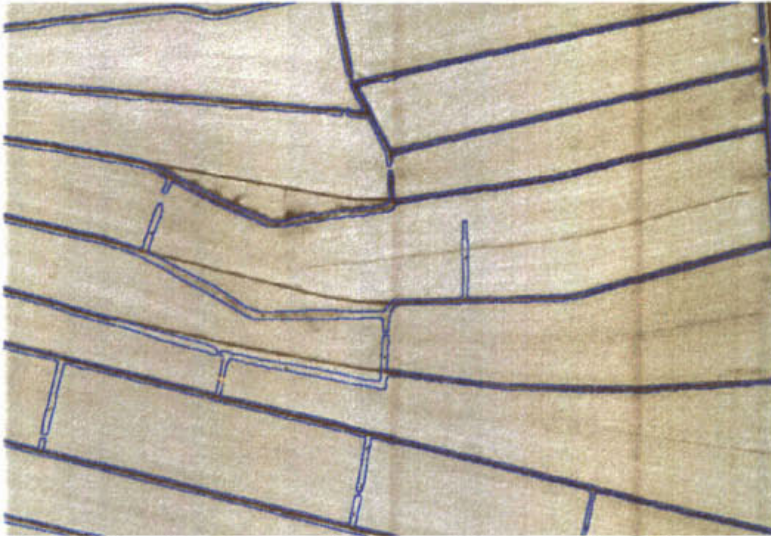
In de zwarte cirkel in Figuur 2-25 is te zien dat de bebouwing over de perceelsgrens heen gaat, dat deze in de keurzone ligt en in werkelijkheid groter is dan hetgeen door het Kadaster geregistreerd is. Er is dus mogelijk sprake van een illegale (aan)bouw en aanvullend onderzoek is gewenst.

#### **Conclusie:**

De pixelgrootte van 1 meter is eigenlijk te grof voor deze toepassing. De schaduwwerking maakt interpretatie van het beeld moeilijk. Wél is het mogelijk om locaties aan te wijzen die een nader veldonderzoek rechtvaardigen. Het is eventueel mogelijk om door middel van de pixeleigenschappen schaduwwerking uit te filteren.

#### **Controle watergangenkaart**

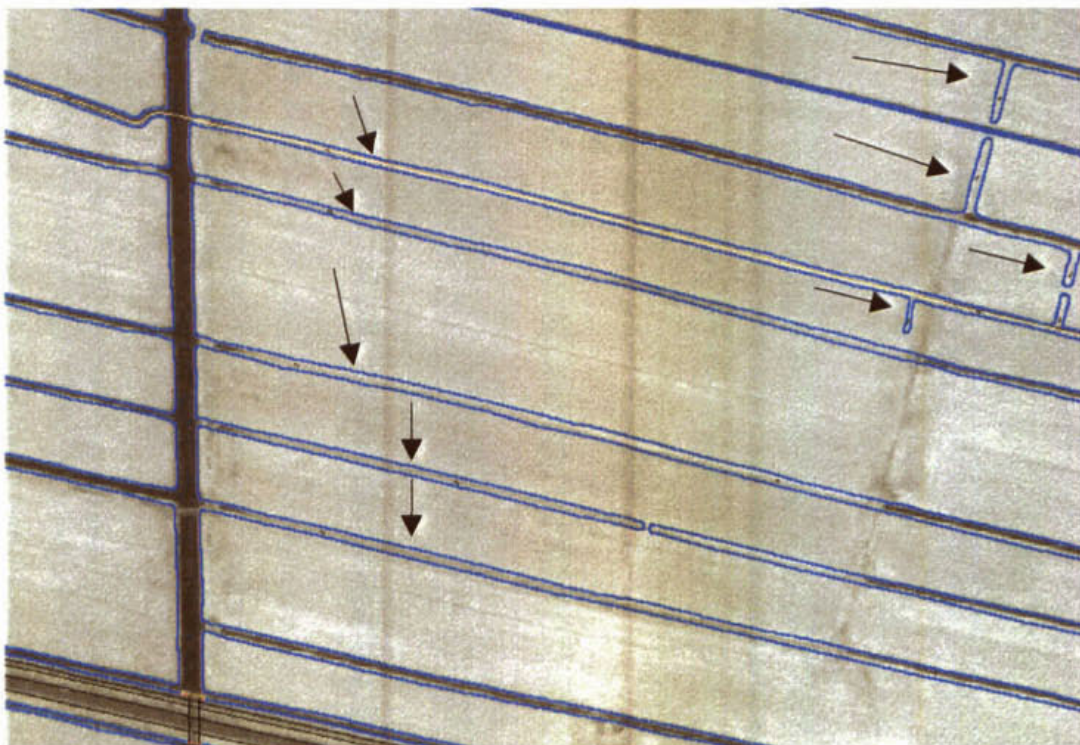
Voor het gebied rondom Eemdijk hebben we de WGK (Watergangen en Kunstwerken) die de basis voor de schouwkaarten vormt gecombineerd met de GBKN en de Top10Vector. Al heel snel bleek dat de drie bronnen voor een groot aantal locaties niet overeen komen. De watergangen zijn op de foto prima te herkennen en de foto liet zien dat in bepaalde gedeeltes de Top10, noch de GBKN noch de WGK actueel zijn. Hierdoor konden gebieden worden opgespoord waar verbeteringswerken zijn uitgevoerd (Figuur 2-26) waar tussensloten zijn gedempt (Figuur 2-27 en Figuur 2-28), of waar door de TDN (producent van de Top10) een verkeerde classificatie is gehanteerd, die overgenomen is in de Top10 (Figuur 2-29).



*Figuur 2-26* Locatie waar verbeteringswerk is uitgevoerd met GBKN

Voor de hellende zandgebieden is deze toepassing wat lastiger omdat daar (overhangende) begroeiing verstorend werkt. Het is dus aannemelijk dat deze methode voor gebieden met veel begroeiing niet betrouwbaar is.

De pijlen in Figuur 2-27 geven weer waar demping heeft plaats gevonden. De dikkere lijnen zijn afkomstig uit het GBKN.

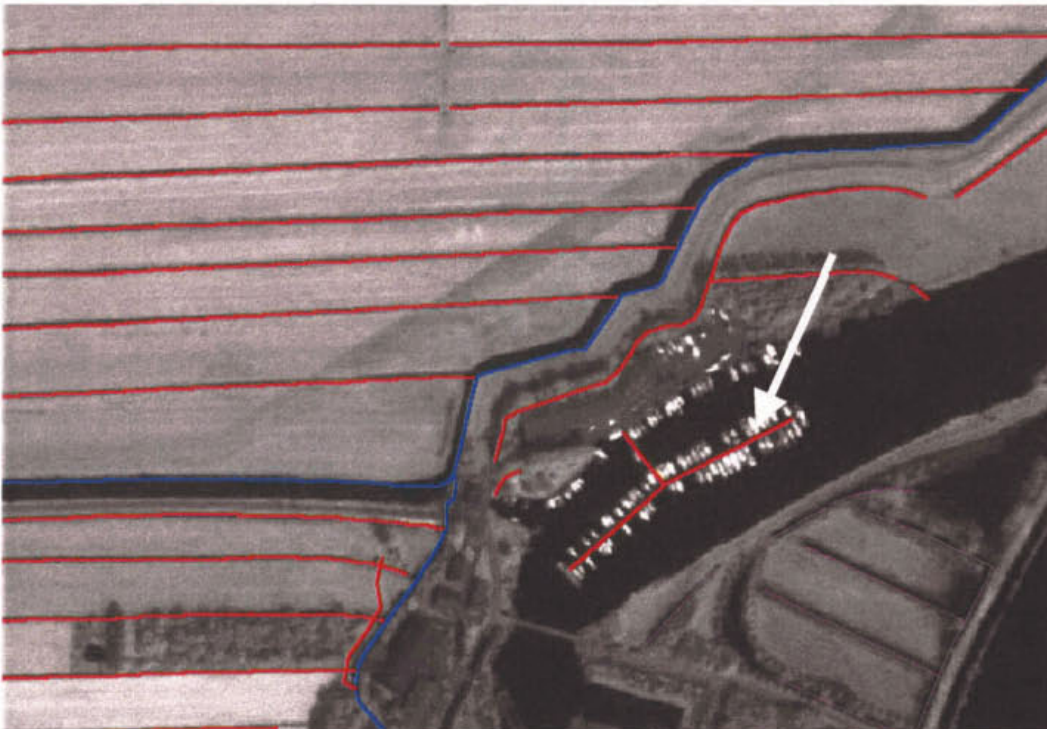


*Figuur 2-27* Situatie met GBKN





*Figuur 2-28*    *Situatie zonder GBKN*



*Figuur 2-29*    *Misclassificatie Top10 en WGK*

De aanlegsteiger (zie de witte pijl Figuur 2-29) is door de TDN geclassificeerd als een sloot kleiner dan 3 meter bovenbreedte. Dit is 'meegenomen' naar de WGK. Ook is te zien dat bomerijen, bijvoorbeeld linksonder, (met hun schaduwen) de interpretatie van het beeld ernstig bemoeilijken. Eveneens is te zien dat er niet al te lang geleden een leiding is ingegraven (van middenlinks naar rechtsboven)

### **Conclusie**

Voor de poldergebieden zijn de satellietbeelden zeer geschikt voor controle en correctie van de WGK, alsmede voor de afstemming met en naar de Top10Vector en GBKN. Voor de niet-poldergebieden is dit nog niet duidelijk. De bomerijen die veelal naast beken liggen verstoren het beeld. De geo-referentie voor het gehele beeld is goed tot zeer goed.

### **Inventarisatie slootdempingen**

Figuur 2-27 en Figuur 2-28 hebben aanleiding gegeven voor het uitvoeren van een project voor het inventariseren van slootdempingen in het poldergebied Eemland. Doordat de beelden multispectrale informatie bevatten is het mogelijk om aan de hand van de eigenschappen lijnelementen te identificeren. Het waterschap wilde graag weten waar sloten gedempt waren. Uit de satellietbeelden zijn de lijnelementen water geïdentificeerd en vergeleken met de aangeleverde watergangen kaart. Hieruit is weer een verschilkaart geconstrueerd. Recente dempingen zijn ook te herkennen en te karteren. De combinatie van de verschilkaart en de kaart van 'zekere dempingen' geeft een goede indicatie van het percentage dempingen en aandachtsgebieden.

### **Karteren van actuele situatie**

De actualiteit van de Top10vector is minimaal 2 en maximaal 7 jaar. Ook de GBKN heeft niet de actualiteit zoals we die graag zouden willen hebben. De satellietbeelden maken het mogelijk om zeer snel de actuele situatie te karteren. Dit is een interessante toepassing voor (evaluatie van) nieuw uitgevoerde projecten zeker in combinatie met de oorspronkelijke bestekstekeningen.





*Figuur 2-30 Veranderende situatie (revisiekartering).*

### **Overige toepassingen**

#### *Open teelt en veehouderij*

Momenteel loopt er een proef om te bekijken of het mogelijk is om de toepassing van teeltvrije zones te controleren. Er zijn enkele resultaten bekend maar gezien de pixelgrootte is dit lastig. Zie hiervoor ook paragraaf 2.4.2, het onderzoek door ZHEW.

#### *Identificatie en/of classificatie van vegetatie.*

De analyse van met name het Infrarood gebied maakt het goed mogelijk om vegetatie te identificeren en classificeren.

## **Conclusie**

De proef met de IKONOS beelden heeft in relatief korte tijd veel informatie opgeleverd. De resultaten hiervan zijn uitgebreid intern gecommuniceerd en we beschikken nu over informatie over de voor- en nadelen van het gebruik van IKONOS beelden. Dit heeft geleid tot één concrete toepassing, de inventarisatie van slootdempingen in Eemland.

De beschikbaarheid van IKONOS beelden zoals uitgeleverd door NEO is interessant. Met name voor het controleren van de WGK voor de poldergebieden hebben de beelden een meerwaarde ten opzichte van de Top10Vector en GBKN. Voordelen ten opzichte van luchtfoto's zijn de relatief geringe vervorming en de mogelijkheid voor de inzet in meerdere toepassingen.

Voor een aantal toepassingen worden de beelden ingezet als een soort veredelde luchtfoto. De meerwaarde van IKONOS zit hem dan toch in die toepassingen waarbij pixelinformatie geanalyseerd wordt zoals de analyse van slootdempingen. Het wordt extra interessant wanneer de beelden voor meerdere toepassingen ingezet kunnen worden. Op deze wijze kunnen de toch hoge kosten uitgesmeerd worden over meerdere projecten. De ontwikkelingen van IKONOS (over enkele jaren een pixelgrootte van 50 cm.) zijn veelbelovend en deze zullen dan ook nauwlettend in de gaten gehouden worden.

Het is echter wel een voorwaarde dat de beelden gebiedsdekkend beschikbaar én actueel (orde grootte van 1 jaar) zijn.

Wanneer het mogelijk is om met meerdere partijen (provincie, gemeente, RWS) de beelden aan te schaffen wordt de motivatie voor inzet van IKONOS beelden voor diverse toepassingen vergroot.



## 3 Verslag van de workshops

### 3.1 Inleiding

De workshops zijn onderverdeeld naar de vier thema's van de lezingen: waterkwaliteit, waterkwantiteit, legger & infrastructuur en landgebruik. Vanwege de grote belangstelling voor het thema waterkwantiteit is besloten om voor dit thema twee workshops te houden.

Aan het begin van de workshopsessie hebben de deelnemers zich allereerst kort aan elkaar voorgesteld. Daarna zijn op *post-its* wensen en vragen op het gebied van RS genoteerd, of een onderwerp waarvan de deelnemer van mening is dat RS daar een inhoudelijke bijdrage kan leveren. Deze zijn vervolgens gesorteerd en bediscussieerd. Tot slot is een kwartier gewijd aan de gewenste mogelijkheden voor een vervolg van deze dag.

Na de workshops is van elke sessie een korte plenaire presentatie gehouden.

Bij de verslagen van de workshops wordt allereerst een overzicht gepresenteerd van de aanwezigen. Daarna wordt een overzicht van de reacties gegeven en tot slot wordt een aantal mogelijkheden beschreven voor een vervolg op deze studiedag.

### 3.2 Waterkwaliteit

#### 3.2.1 Aanwezigen

De volgende personen hadden zich aangemeld voor de workshop.

D. Agustijn	Universiteit Twente
G.J. van den Berg	Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat
P. Boderie	Waterloopkundig Laboratorium
A. van Dijk	DHV
W.J. van de Geer	Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied
H. Hainje	ESRI
G.N.J. ter Heerdt	Gemeentewaterleidingen Amsterdam
G. Hesselmans	ARGOSS
R. van den Heuvel	Rijkswaterstaat, Directie Noord-Brabant
A.H. Kikkert	Rijkswaterstaat, Directie Noord-Holland
S. Langeweg	Zuiveringsschap Hollandse Eilanden Waarden
R. Pasterkamp	Instituut voor Milieuvraagstukken
S. Peters	Instituut voor Milieuvraagstukken
B.W. Raterman	KIWA
J.L. Terwey	Fugro Milieu Consult BV
F.J.L. Vliegthart	Grontmij
P. van der Wee	Hoogheemraadschap van Rijnland
H. van der Woerd	Instituut van Milieuvraagstukken
T.H.L. Claassen	Wetterskip Fryslân (voorzitter)
M. Talsma	STOWA (notulist)

Bij deze sessie was er een redelijke mix tussen waterbeheerders en aanbieders. De aanbieders van informatie waren iets oververtegenwoordigd.

### 3.2.2 Vraagstellingen

Als eerste zijn de aangedragen onderwerpen gegroepeerd. Deze bleken in twee groepen te kunnen worden ondergebracht:

- technisch / inhoudelijk
- organisatorisch / financiële vragen (zie paragraaf 3.2.3).

Waterbeheerders geven aan dat ze behoefte hebben aan een overzicht van de beschikbare technieken en de mogelijkheden daarvan voor het waterbeheer.

Een aantal concrete inhoudelijke vragen waarover werd gediscussieerd waren:

- Is het mogelijk om met behulp van RS waterplanten te karteren?  
*Dit is inderdaad mogelijk, mits het doorzicht voldoende is. Een risico is dat algen als waterplanten kunnen worden herkend.*
- Is het mogelijk om blauwalgen te herkennen?  
*Dit is mogelijk, vanwege het specifiek pigment van de blauwalgen.*
- Is het mogelijk om met RS de dikte van een sliblaag te meten?  
*Volgens de workshopdeelnemers is dit niet mogelijk met optische RS technieken. Wel is het mogelijk om met geo-radar door te dringen in de onderlaag. Zwevend stof kan met RS technieken wel gemeten worden.*

Daarnaast is gesproken over de rol van RS in normtoetsing. Naar voren kwam dat het lastig is om via RS normtoetsingsgegevens te verkrijgen. Een oplossing zou het koppelen van meetpuntgegevens (in situ) aan RS gegevens kunnen zijn.

Ook de rol van RS in modelleringen kwam ter sprake. Gewerkt zou moeten worden aan het combineren van gegevens: in situ, modellering en RS gegevens.

Er waren geen waterbeheerders aanwezig die naar aanleiding van de bijeenkomst met concrete plannen voor de inzet van RS technieken kwamen. Voor velen was de informatie van de dag nieuw en moet deze eerst bezinken.

### 3.2.3 Vervolg

De aanwezigen hebben behoefte aan een structureel overleg, of een platform waarin de laatste ontwikkelingen op het gebied van RS methodieken besproken worden en waar ander nieuws kan worden uitgewisseld. Zo'n platform zou dan bijvoorbeeld 1 maal per jaar samen kunnen komen. Binnen deze organisatie zou ook gezocht kunnen worden naar mogelijkheden om gezamenlijk 'informatie' (satellietbeelden) in te kopen.

Er werd door de aanwezigen gewezen op reeds bestaande overleg structuren zoals REWANET, NIVR (welke als opvolger van het BCRS werd aangeduid) of Waquarius. Eventueel zou kunnen worden onderzocht of aansluiting bij een van deze structuren mogelijk en zinvol is.



### 3.3 Waterkwantiteit 1

#### 3.3.1 Aanwezigen

De aanwezigen bij deze workshop waren:

Vincent Brunst	DWR
Alex Hendriks	Waterschap het Lange Rond
Arnold Lobbrecht	Hydrologic
Martien Beek	DHV Noord
Carlien Helmich	NEO
Jac Esenbrink	Reest en Wieden
Marjo van Loon	Synoptics
Jan de WIT	ESRI
M. ten Harkel	provincie Noord Brabant
Bootsma	Wetterskip Lauwerswâlden
Marco Hartman	HKV lijn in water (verslaglegger)
Jos Schouwenaars	Wetterskip Boarn en Klif (voorzitter).

Uit de voorstellingsronde bleek dat deze groep een goede verdeling had tussen waterschappers en het bedrijfsleven.

#### 3.3.2 Vraagstellingen

De gegenereerde vraagstellingen zijn naar "soort" gegroepeerd. Een aantal van de genoemde items zijn niet zozeer vraagstellingen als wel "verzoek om informatie".

Dit resulteert in de volgende verdeling.

Groep	Specifiek
Beleidsvorming en evaluatie	In kaart brengen hoogwaterproblematiek, incl. verzadigde bodems. Bepalen mogelijke gebieden waterberging. Onderzoeken hoogwaterperiodes in verleden. Evaluatie maatregelen verdrogingsbestrijding.
Systeem analyse	Begrenzing peilvakken. Inzicht verkrijgen in herkomst kwel / boezemwater.
Operationeel beheer	Frequente (snelle) toelevering van beelden / informatie. Klachtenafhandeling. Beregeningsbeleid. Beschikking hebben over actuele informatie voor voorspellen overstromingsschade. Meer gebruik van verdampingsgegevens uit RS.
Kwaliteit / bruikbaarheid aanbod	Wat zijn de upgradingsmogelijkheden van het AHN bestand? (momenteel veel fouten in maaiveldhoogten) Welke resolutie is wenselijk? Toepassingsmogelijkheden hyperspectrale RS. Hoe kan afgeleide informatie (gewastoestand, gewasgroei) helpen bij scenario studies?

Middelen	Moet er een nieuwe (subsidie) pot komen om de implementatie van RS bij waterschappen te stimuleren?
----------	---

Uit de discussie bleek het volgende:

- Op dit moment worden data niet regelmatig geactualiseerd. Hierdoor is RS niet echt operationeel inzetbaar, maar kan wél worden gebruikt bij beleidsvorming of evaluatie. Op dit moment (begin 2002) is men bij Reest en Wieden bezig met een proef om RS ook in te zetten bij het operationele beheer. Ook wordt opgemerkt dat de regenradar her en der wordt ingezet bij het operationele beheer.
- Het blijkt dat veel waterbeheerders niet in de gaten hebben dat het veel tijd (en dus geld) kost om ruwe RS data om te zetten in bruikbare informatie voor de waterbeheerder. Deze verwerking gaat dus niet automatisch. Het zou echter kunnen dat, wanneer de vraag naar bepaalde gegevens toeneemt, de dataleverancier de data wel automatisch kan verwerken.
- Een probleem, wat ook al tijdens de presentaties 's ochtends is benoemd, is dat RS data op dit moment niet altijd kunnen worden gebruikt. Bijna alle normen die gehanteerd worden zijn gebaseerd op bepaalde meetmethoden.

### 3.3.3 Vervolg

De deelnemers hadden ook wel ideeën over mogelijke verbeteringen voor samenwerking. Enkele van deze ideeën zijn:

- Het opstellen van een gebruikersgroep via Internet / e-mail. Op een dergelijk wijze kan men elkaar laagdrempelig op de hoogte houden van ontwikkelingen, en kan men vragen stellen.
- Geld verzamelen voor uitvoering. Men vraagt zich af hoe het kan dat er altijd veel geld beschikbaar is voor satellieten, maar dat voor onderzoek naar de toepassingen van de data nauwelijks budget is.
- Veel waterschappers hebben de behoefte aan een overzicht van allerlei beschikbare data.
- Een gebruikershandleiding kan dingen inzichtelijker maken.
- Waterschappen zouden onderling meer moeten samenwerken op dit gebied.



## 3.4 Waterkwantiteit 2

### 3.4.1 Aanwezigen

Timo Kroon	RIZA Lelystad
Pascal Weidema	Meander Advies en Onderzoek
Wim Bastiaanssen	Waterwatch
Han Stricker	WUR
Annelies Mosch	MeteoConsult
Hanneke Schuurmans	Grontmij
Rene Buijsrogge	TU Twente, CT
Vincent Struik	Waterschap Rivierenland
Hein Noorbergen	NLR
Aart van Wessel	Waterschap de Dommel
Johan Krijgsman	DHV Water
Koos Zut	Waterschap Het Lange Rond
A. Beukema	Waterschap Het Lange Rond
Maarten Spijker	Hydrologic
Jan Huizinga	HKV lijn in water (verslaglegger)
Rene Verhage	Waterschap Vallei en Eem (voorzitter).

Uit de voorstellingsronde bleek dat in de groep de waterschappers in de minderheid waren ten opzichte van het bedrijfsleven.

### 3.4.2 Vraagstelling

De gegenereerde vraagstellingen zijn naar "soort" gegroepeerd. Een aantal van de genoemde items zijn niet zozeer vraagstellingen als wel "verzoek om informatie".

Dit resulteert in de volgende verdeling.

Groep	Specifiek
Systeem analyse	Verbeteren waterbalans: <ul style="list-style-type: none"><li>- Inzicht kwel middels RS?</li><li>- Verdampingsparameter significant te verbeteren met RS (betrouwbaarheid data ?)</li></ul> Waterbalans op dagbasis is op zich niet nauwkeurig; input van RS is moment-opname. Heeft RS (als momentopname, zonder dagelijkse info-voorziening) daarmee toegevoegde waarde ten opzichte van huidige methoden? Heeft vlakinfo middels RS meerwaarde t.o.v. in-situ metingen?
Operationeel beheer	Actualiteit beelden te verhogen?
Kwaliteit / bruikbaarheid aanbod	Wat kan een waterschap met RS? Wat is de nauwkeurigheid van RS?

Uit de discussie bleek het volgende:

- Voor systeem-analyse is de waterbalans het belangrijkste instrument: verdamping en kwel zijn daarin vaak rest-parameters. Middels RS zouden deze parameters beter ingevuld kunnen worden.
- Het bestuur van een waterschap is te overtuigen van mogelijke meerwaarde RS indien aan twee voorwaarden wordt voldaan: kostenbesparing en nauwkeurighheidsverhoging.
- Mogelijkheden RS zijn nog relatief onbekend bij waterschappen. Voor de Nederlandse situatie kan dit worden verbeterd door niet alleen te publiceren in technische vak-tijdschriften, maar vooral in veel gelezen vakbladen voor waterschappers als H<sub>2</sub>O en het Waterschap.

### 3.4.3 Vervolg

De deelnemers hadden ook wel ideeën over mogelijke verbeteringen voor samenwerking. Enkele van deze ideeën zijn:

1. Waterschappen worden door fusies groter: de kritieke massa voor de inzet van een specifieke GIS-medewerker is voor veel waterschappen bereikt. Gezien de aard van de RS-informatie zou bekendheid met RS bij de GIS-specialist moeten worden vergroot.
2. Momenteel wordt versnipperd RS-kennis opgedaan bij waterschappen via de diverse pilot-projecten. Er zijn geen duidelijke aanspreekpunten bekend binnen de waterschappen. Een mogelijke oplossing is het aanwijzen van twee waterschappen die een voortrekkersrol zouden moeten krijgen voor toepassing van RS. Deze twee waterschappen kunnen een meer geïntegreerd en uitgediept beeld vormen van de mogelijkheden met RS. De twee waterschappen kunnen vervolgens een aanspreekpunt vormen voor de overige waterschappen.
3. Cursussen geven voor waterschappen.
4. Publiceren van Nederlandse onderzoeksresultaten ook in waterschapsbladen als H<sub>2</sub>O en het Waterschap.
5. Creëren van overzichtslijsten voor waterbeheerders:
  - waar is toepasbare data beschikbaar
  - wat is met deze data mogelijk
  - wie kun je opdrachtgeven voor het uitvoeren van welke werkzaamheden
  - wie kan je inhuren om een (deel van een) beheersgebied in te vliegen



## 3.5 Landgebruik

### 3.5.1 Aanwezigen:

Ir. Nieuwenhuis Alterra	
P.J. van der Wiele	DHV Water
H. van Leeuwen	Synoptics
A.H. van Dellen	Terra Imaging
hr. Noordman	Waterwatch
T. van Geelen	Waterschap de Dongestroom
mw. B.J.M. Jansen	Meetkundige Dienst RWS
A.M.J. de Ronde	Waterschap de Brielse Dijkkring
Bob Pengel	HKV lijn in water (verslaglegger)
Jan Heida	Wetterskip Fryslân (voorzitter).

Uit de voorstellingsronde bleek dat deze groep nogal gedomineerd werd door het bedrijfsleven, en er maar weinig gebruikers / waterbeheerders waren. De voorzitter herinnerde de deelnemers eraan dat het ging om de vraag van de waterbeheerders.

### 3.5.2 Vraagstelling

De gegenereerde vraagstellingen zijn naar "soort" gegroepeerd. Een aantal van de genoemde items zijn niet zozeer vraagstellingen als wel "verzoek om informatie". Opvallend was dat er vrij veel vragen waren die meer GIS dan RS georiënteerd waren.

Dit resulteert in de volgende verdeling.

Groep	Specifiek
Toetsen geo-informatie	Te gebruiken voor bepaling teeltvrije zone? Komen beelden met hogere resolutie beschikbaar en moeten waterschappen daarop wachten? Gebruik voor keur/schouw (relatie met huidig proces-verbaal formulier) Breedte van watergangen Kwantificeren percentage open water
Hoogtegegevens	AHN – controle op cq. correctie van gewashoogte Afbakening peilgebieden – waterhoogte
Organisatie - informatie	Hebben waterschappen behoefte aan support bij geo-informatiemanagement? Hoe komen waterbeheerders op de hoogte van het (actuele) aanbod van RS data en technieken? Is er een voorkeur voor satellietbeelden versus airborne RS?
Actueel landgebruik	Actueel grondgebruik Gewassen tijdens seizoen Er is behoefte aan een kaart / bundel met bodemgebruik integraal (CBS+gewassen+ TOP10 + percelen) Behoeft aan (grotere) detaillering gewassenkaart Is er behoefte aan historisch grondgebruik (1900?)

Water-hydrologie	Kwelplekken lokaliseren Dominante watervegetatie Kwaliteit in poldersystemen Neerslagverdeling over gebied – voorspellen van neerslag
Middelen	RS data zijn kostbaar – hoe samenwerken (waterschappen, gemeenten, provincies)

De discussie was te kort om alle vragen te behandelen. Er met name gesproken over de volgende onderwerpen:

- Het blijkt dat veel potentiële gebruikers van RS (en GIS) data afhaken als ze voor hun individuele project(je) de benodigde gegevens moeten aanschaffen terwijl meerdere gebruikers binnen dezelfde organisatie dezelfde gegevens zouden kunnen gebruiken. Hoe kan hiermee omgegaan worden?
- Het blijkt dat veel bestanden niet ‘op elkaar passen’; met name overheidsaanbieders van geo-informatie gebruiken afwijkende basisgegevens. Voor de (geo-) informatie-manager betekent dit dat steeds weer een bruikbare combinatie moet worden gegenereerd. Er lijkt behoefte aan een ‘basispakket’ voor waterbeheerders.
- Gebruikers vinden het erg lastig om te beslissen welke technieken en data voor hun specifieke doelstellingen bruikbaar zijn (of niet). Het blijkt erg lastig om verschillende eisen en wensen aan te laten sluiten op de aangeboden producten (thema van de studiedag!).
- Volgens de aanbieders is ‘alles beschikbaar’. Wel algemeen: nog steeds behoefte aan meer detail.

### 3.5.3 Vervolg

De deelnemers hadden ook wel ideeën over mogelijke verbeteringen.

Enkele van deze ideeën zijn:

- De UvW zou een eisenpakket / standaardpakket van RS (RS/GIS) kunnen vaststellen.
- Het oprichten van twee overleggroepen, één vanuit de gebruikers en één vanuit de gezamenlijke aanbieders werd gesuggereerd.
- Standaardisatie kan leiden tot schaalvoordelen – beschikbaarheid en prijs kunnen dan beter worden (*critical mass*).
- Alle (overheids-) aanbieders van geo-informatie moeten dezelfde (geografische) basis gebruiken.
- De uitwisseling van ideeën zou gestimuleerd moeten worden. Dit zou kunnen gebeuren door het instellen van een werkgroep bij de UvW (commentaar uit de zaal: er zijn al enkele van dergelijke initiatieven (REWANET, WRSLM, Waquarius) – is het nodig om weer iets dergelijks op te zetten?)
- Er bleek belangstelling voor een cursus voor waterschappers. Tijdens de presentatie bleek dat Rijkswaterstaat al ervaring had met dergelijke cursussen.

Conclusie: Waterbeheerders weten nog steeds niet goed wat de mogelijkheden zijn; hier moet nog steeds aandacht aan worden besteed.



## 3.6 Legger en infrastructuur

### 3.6.1 Aanwezigen:

R. van 't Zand	Oranjewoud
E. Nobbe	ESRI
R. Beck	NEO
E. van Os	Infram
L. Amoureux	Fugro-Inpark B.V.
H. van den Berg	Fugro-Inpark B.V.
J.F. Zijlstra	Wetterksip Lauwerswâlden
H.C. Landa	Meetkundige Dienst, Rijkswaterstaat
Peter Spierenburg	Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden (verslaglegger)
Ko van Raamsdonk	Waterschap Regge en Dinkel (voorzitter)

Tijdens de workshop Legger en infrastructuur is door vertegenwoordigers van 3 waterschappen, rijkswaterstaat en 4 bedrijven gesproken over vragen die bij waterbeheerders en bedrijven leven met betrekking tot de legger, de schouw en de handhaving van ruimtelijke regelgeving bij de landbouw en vollegrondstuinbouw.

### 3.6.2 Vraagstelling

De geïnventariseerde vragen konden over drie deelgebieden worden verdeeld: Legger, Schouw en Handhaving Lozingenbesluit Open Teelt en veehouderij.

#### Legger

Als eerste bestaat er vanuit de waterkwaliteitbeheerders een wens om de legger te kunnen valideren of verbeteren aan de hand van satellietbeelden. Kloppen de waterlopen, kades infrastructuur en kunstwerken van de legger met de werkelijkheid?

#### Schouw

Een tweede onderwerp richt zich op de mogelijkheid van remote sensing technieken als hulpmiddel bij of voorinventarisatie voor de schouw. Kunnen er in samenspraak tussen waterbeheerders en bedrijven producten gemaakt worden ten behoeve van het beheer van dijken, waterlopen en wegen?

#### Handhaving Lozingenbesluit Open teelt en veehouderij

De vraag blijft bestaan of het mogelijk is om de handhaving van het lozingenbesluit voor te bereiden of zelfs uit te voeren met remote sensing. Een hoge nauwkeurigheid en actualiteit zijn hiervoor echter noodzakelijk. Tevens moet rekening worden gehouden met het juridische kader van de regelgeving.

#### Algemeen

Meer algemeen is er de wens naar hulp bij het vinden van een (algemene?) meetstrategie als het gaat om het verzamelen van geografisch gerelateerde gegevens. Kunnen bedrijven een rol spelen bij het begeleiden en implementeren van geo-producten, waarbij de dialoog tussen bedrijven en waterbeheerders toch een belangrijke rol zou moeten spelen. De bedrijven gaven dan ook aan erg geïnteresseerd te zijn in de informatievraag van de waterbeheerders. Opvallend

was dat vanuit de waterbeheerders al snel gesproken werd over actualiteit, nauwkeurigheid en volledigheid van geleverde gegevens. Dit blijken vaak belangrijke randvoorwaarden te zijn. Als algemene conclusie kan gesteld worden dat er veel behoefte is aan een goede communicatiemogelijkheid om de vragen en mogelijkheden bij elkaar te brengen en af te stemmen met elkaar.



## 4 Conclusies en aanbevelingen

De conclusies van de dag kunnen worden onderverdeeld in drie categorieën: kennis, informatiebehoefte en financiën.

### Kennis

Voor veel van de aanwezige waterbeheerders was de studiedag een eerste kennismaking met RS. Het blijkt dat er al mogelijkheden zijn voor RS toepassingen in het waterbeheer, het is alleen jammer dat slechts een selecte groep mensen hiervan op de hoogte is.

Om deze kenniskloof te overbruggen is het aan te bevelen om:

- Een platform in het leven te roepen waar informatie uitwisseling plaatsvindt over de ontwikkelingen op het gebied van RS. Eventueel kan dit platform aansluiten bij soortgelijke initiatieven van Rijkswaterstaat.
- Een mogelijkheid te creëren (via e-mail of internet wellicht) om communicatie op het gebied van RS te verbeteren. Waterbeheerders weten nu niet bij wie ze een vraag kwijt kunnen. Er is in ieder geval voldoende draagvlak geconstateerd voor een overlegstructuur.
- Een actueel overzicht van de RS informatie beschikbaar te maken voor waterschappen.
- Publicaties van RS artikelen gericht op water (ook) te publiceren in bladen als *Het Waterschap* en *H<sub>2</sub>O*.

### Informatiebehoefte

Een tweede aspect dat een rol speelt in het gebruik van RS is dat nog niet duidelijk is wat de toepassingsmogelijkheden zijn van de informatie. Om het gebruik van RS data te bevorderen zal getracht moeten worden om RS informatie in te passen in het huidige onderzoek van de waterbeheerders of duidelijk moeten worden wat de aanvullende waarde is van RS data.

### Financiën

Door het opheffen van de BCRS is het niet meer mogelijk om via dit kanaal subsidie te krijgen voor onderzoek op het gebied van RS. Het is wellicht mogelijk om via andere instanties (bijvoorbeeld NIVR, EU, STOWA) financiering te krijgen voor onderzoek. Ook moeten waterschappen onderling meer samenwerking zoeken op dit gebied zodat ze gezamenlijk RS onderzoek kunnen uitvoeren op hun specifieke vakgebied

## Bijlagen



## **Bijlage A: Informatiebronnen**

[www.waquarius.nl](http://www.waquarius.nl)

[www.nivr.nl](http://www.nivr.nl)

[www.bcrs.nl](http://www.bcrs.nl)

[www.vu.nl/english/o\\_o/instituten/IVM/research/rs/fb\\_rs\\_link.htm](http://www.vu.nl/english/o_o/instituten/IVM/research/rs/fb_rs_link.htm)

**Bijlage B: Bedrijfsprofielen**



# WaterWatch: a company profile

*Towards informed water resources management from affordable and unbiased sources*

## **General**

WaterWatch is a - Wageningen based - scientific advisory firm, active in the niche of remote sensing and water resources management studies. Satellite analysis to support land and water management applications is the core activity of WaterWatch. The portfolio covers research projects in irrigation and drainage studies throughout the entire world. WaterWatch has developed, together with its academic partners, the Surface Energy Balance Algorithm of Land (SEBAL). SEBAL has become one of the leading algorithms for estimating actual evapotranspiration. Scientific solutions to tackle practical data problems is the mode in which WaterWatch operates. Research projects take a major share of the activities (50%). WaterWatch employees are also providing contributions to national and international training courses (5%). The remaining part of the activities can be categorized as desk deliveries of remote sensing and GIS data (45%).

## **Studies**

Information on water resources depletion in relation to food production and environmental sustainability indicates how well a certain system is managed. A new remote sensing module has been developed that computes crop growth in weekly increments, from which the total biomass production and grain yield (or fruit yield) over a growing season can be obtained. These yields can be expressed per unit of water depleted through consumptive use to get the water productivity. Adding irrigation water deliveries as a data layer, water resources engineers will be able to analyse the efficiency or performance of irrigation (sub-)

schemes. Time series of soil moisture reveal whether an area is degrading due to water excess or shortage. Satellites form the prime input in these type of "distant" diagnosis, as they are easily accessible and cover the regional scale.

Most studies in The Netherlands focus on monitoring of rainfall surplus (rainfall - actual evapotranspiration) for timely draining out excessive water. There is a habit to restore historic wetlands and ancient flora and fauna in The Netherlands. This is feasible only by water conservation techniques. For solving the apparent conflict between drainage vs. water conservation, accurate information on rainfall surplus and moisture storage is deemed necessary. The operational product HydroLook has been made by WaterWatch to meet this data demand. Weekly totals of precipitation based on rainradar technology and evapotranspiration based on NOAA satellites are delivered to water boards and the national agency on surface water management.

## **Projects**

Throughout 2001 and 2002, WaterWatch is playing a key role in studies in The Netherlands and overseas in the Middle East (Turkey), South Asia (Pakistan, India, Sri Lanka), Southeast Asia (Malaysia), East Asia (China), South America (Brazil) and USA (Idaho, New Mexico). Often, these studies are conducted in irrigated river basins having a water scarcity problem. The studies in The Netherlands are with Water Boards (Reest en Wieden, Boarn en Klif, Hunze en AA's, Rijn en IJssel, West-Brabant and Rivierenland) and Provincial Forest Groups to describe the vitality of forest systems.

## **How to contact us ?**

WaterWatch  
Generaal Foulkesweg 28  
6703 BS Wageningen  
Tel: + 31 (0)317 - 423 401  
Fax: + 31 (0)344 - 693 252  
e-mail: [info@waterwatch.nl](mailto:info@waterwatch.nl)

visit our website: [www.waterwatch.nl](http://www.waterwatch.nl)





**ALTERRA**

RESEARCH INSTITUUT VOOR DE GROENE RUIMTE

## Centrum voor Geo-informatie

Het Centrum voor Geo-informatie (CGI) is het centrum voor de geo-informatievoorziening voor de groene ruimte. Het CGI treedt faciliterend op binnen Wageningen UR. Bovendien wordt er wetenschappelijke kennis ontwikkeld en overgedragen, zowel nationaal als internationaal. De belangrijkste onderzoeksthema's zijn monitoren van de omgeving, invloed van kwaliteit van geo-informatie, scenariostudies door integratie van GIS, remote sensing en procesmodellen, en het visualiseren van geo-informatie. Daarnaast wordt onderwijs verzorgd voor Wageningen Universiteit. Voor Nederlandse studenten is er een tweejarig vak Interspecialisatie Geo-informatiekunde, voor buitenlandse studenten wordt er een MSc-cursus Geo Information Sciences van 17 maanden verzorgd. Het CGI is dienstverlenend wat betreft inwinning, beheer en verstrekking van geografische bestanden. Deze activiteiten zijn ondergebracht bij de Geodesk, die onder meer een meta-informatiesysteem beheert (<http://www.geodesk.nl/>).

De belangrijkste expertise van het CGI op het gebied van remote sensing betreft het classificeren van landgebruik op verschillende schaalniveaus. Voorbeelden hiervan zijn de Europese PELCOM en CORINE landgebruiks-databases, het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland - LGN4 (<http://www.lgn.nl/>) en het gebruik van IKONOS beelden voor het karteren van kleine landschapselementen. Belangrijk hierbij is een aanpak waarbij informatie uit bestaande gegevensbestanden wordt gecombineerd en aangevuld met uit remote sensing afgeleide informatie. Door het grote aantal gegevensbestanden dat het CGI in huis heeft, heeft het CGI hierin veel expertise.

Voor het waterbeheer is een operationele inzet van remote sensing nog een stap te ver. Interessante mogelijkheden doen zich wel voor bij een geïntegreerde aanpak van metingen en modellen waarbij remote sensing gebruikt kan worden bij het verzamelen van ruimtelijke modelinvoergegevens en bij het valideren van ruimtelijk patronen in model uitkomsten. Samen met de afdelingen van Alterra, kan het CGI u hierbij van dienst zijn.

Verder biedt het CGI nog mogelijkheden voor een professionele kartografische opmaak van geografische databestanden en satellietbeelden.

Centrum voor Geo-informatie  
Postbus 47  
6700 AA Wageningen  
Tel.: 0317-474747  
Fax: 0317-419000  
<http://www.geo-informatie.nl>



# DHV GEO-INFORMATICA

## Product-groep Satelliet Remote Sensing en Luchtfotografie



DHV Geo-Informatica heeft al 15 jaar ervaring met de digitale verwerking en toepassing van satellietbeelden en luchtfoto's. Gebruikmakend van de nieuwste technieken en moderne apparatuur en door een geïntegreerde aanpak van data, informatie en de vakinhoudelijke kennis, leveren wij diensten optimaal afgestemd op de wensen van de klant.

### Dienstenpakket

DHV Geo-Informatica biedt de volgende diensten aan:

**Satelliet Remote Sensing:** geometrische correctie; classificatie en interpretatie van RS beelden; productie en verwerking van kaarten.

**Radarbeelden:** geometrische correctie; verwerking, classificatie en interpretatie van radarbeelden.

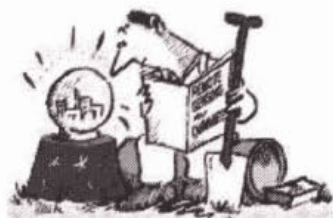
**Luchtfotografie:** digitaliseren luchtfoto's; geometrische correctie; beeldverbetering; productie van fotokaarten en mozaïeken.

**Training en advies:** verwerking en interpretatie van Remote Sensing beelden.



### Water en Remote Sensing

In het vakgebied Water is de combinatie Remote Sensing en GIS het ideale gereedschap voor identificatie, waterbeheer, handhaving en monitoring



Voorbeelden van Water en Remote Sensing gepresenteerd op de Stowadag van 6-3-2002

### Identificatie

Herinrichting oud cultuurlandschap en herstel watersystemen  
Kansenkaart cultuurhistorisch vindplaatsen



### Waterbeheer

Validatie van resultaten van modelstudies  
Water kwaliteit  
Wateroverlast stedelijk gebied, structuurplannen  
Hoogwater

### Handhaving

Woonboten  
Teeltvrije zones  
Onttrekkingsverbod

### Monitoring

Verdroging  
Herstel grondwaterafhankelijke ecosystemen (beek, kwel)  
Realisatie graad landinrichting (ecologische verbindingzones)  
Dijkbeheer  
Landgebruik

Voor meer informatie:  
DHV Geo-Informatica  
Postbus 1399  
3800 BJ Amersfoort  
Tel 033 4683985  
Fax 033 4683951  
Internet [www.dhv.nl](http://www.dhv.nl)  
E-mail [info-gis@dhv.nl](mailto:info-gis@dhv.nl)





## Remote Sensing en Imaging bij waterschappen

ESRI Nederland is bij u bekend van INTWIS, ArcInfo en ArcView. Daarnaast bieden we oplossingen (pakketten en diensten) voor het werken met beelden, gevat onder de term "Imaging". Namen als ERDAS IMAGINE, MrSID en Image Analysis komt u in dit verband tegen.

"Imaging" omvat alle GIS-werkzaamheden waarbij beelden worden gebruikt. Dus data-inwinning, remote sensing, luchtfotogebruik, inzet van hoge resolutie satellietbeelden, informatie-extractie, analyse, opslag en beheer van de beelden, 2D- en 3D-visualisatie, fotogrammetrie enzovoort.

De rijke informatie-inhoud van beelden is evident. Het is goed mogelijk om deze informatie uit de beelden te halen en op te slaan in een gegevensbestand. Dat opent perspectieven voor de inzet van deze informatie bij een veelheid aan (GIS-)taken zoals milieubeheer, het bepalen van het landgebruik, het monitoren van de waterkwantiteit (waterbalans), het controleren van teeltvrije zones, het in kaart brengen van het beheersgebied en het bijhouden van deze kaarten.

Op de bedrijvenmarkt van de STOWA-studiedag trof u een aantal van onze relaties aan zoals WaterWatch, DHV-ANR en Synoptics.

Zij lieten u zien hoe zij de ERDAS IMAGINE productlijn hebben ingezet voor het vervaardigen van informatie die nuttig is voor het werkveld van een waterbeheerder.



Met dank aan Slagboom & Peeters

Een luchtfoto waarin duidelijk een nieuwe wijk in ontwikkeling te zien is. Door de vliedschaal van 1:4.000 is veel detail herkenbaar, de pixelgrootte is circa 10 centimeter. Nauwkeurig meten is goed mogelijk. Omdat de vlucht is uitgevoerd met overlap (60% voorwaarts) is automatisch verwerken tot ortho's en het weergeven in stereo, met dieptewerking, mogelijk geworden. Niet alleen kostenbesparend, maar het levert ook nog eens betere informatie op.

Weergave in stereo met diepte, maakt dat objecten beter herkend worden en dat de hoogte en diepte daarvan aangemeten kan worden.

Interessant is het inzetten van nauwkeurig gecorrigeerde satellietbeelden en/of luchtfoto's (middels orthorectificatie) voor het bijhouden en verbeteren van bestaand kaartmateriaal (zoals bijv. de GBKN).

Immers, in een orthofoto is voor alle afwijkingen en fouten gecorrigeerd, ook die door hoogteverschillen worden veroorzaakt! Zodoende ontstaat een orthofotokaart die als correcte ondergrond kan worden gebruikt voor zeer veel toepassingen.

Wanneer bestaand kaartmateriaal over de ortho wordt gelegd kan dat materiaal worden bijgewerkt. Nieuwe gebouwen en objecten kunnen worden toegevoegd en niet meer bestaande worden weggehaald.

Meer informatie:

ESRI Nederland  
George Lavigne  
Senior accountmanager imaging  
Postbus 29020  
3001 GA Rotterdam  
g.lavigne@esrinl.com  
Tel: 010-2170700  
Fax: 010-2170799



**EUROSENSE B.V.**

Mathenessestraat 43  
NL – 4803 EX Breda  
Tel: +31 (0)76 565 88 50  
Fax: +31 (0)76 564 07 95  
e-mail : [info.nl@eurosense.com](mailto:info.nl@eurosense.com)  
[www.eurosense.com](http://www.eurosense.com)



Al twintig jaar speelt EUROSENSE een sleutelrol in de geo-informatievoorziening in Nederland: met fotogrammetrie, remote sensing en recentelijk - voor de tweede maal - ook met de Digitale KleurenLuchtfotokaart van Nederland (DKLN), een unieke landsdekkende momentopname van Nederland van grote waarde voor beheerders, beleidsmakers en infrastructuurbouwers in Nederland.

Als marktleider op het gebied van laseraltimetrie (LIDAR) speelt EUROSENSE ook in de derde dimensie een belangrijke rol. EUROSENSE is bezig deze leidende rol uit te bouwen door voortdurend te investeren in nieuwe technologie voor opname en verwerking van geo-informatie.

Ook zal EUROSENSE een waarde-toevoegend distributiepunt worden voor satellietgegevens.

Voor het waterbeheer kan EUROSENSE veel betekenen. EUROSENSE heeft een groot aandeel in de productie van het Actuele Hoogtemodel van Nederland (AHN). Een aantal waterschappen gebruikt beheersgebied-dekkende luchtfotografie uit de Digitale Kleuren Luchtfotografie van Nederland.

Verder is EUROSENSE soms betrokken bij speciale en vaak unieke remote sensing projecten op het gebied van waterbeheer.

Bijvoorbeeld het geslaagde testproject van Rijkswaterstaat op de Waal waar multibeam dieptemetingen zijn uitgevoerd met de EUROSENSE "BEASAC" hovercraft.

Of bijvoorbeeld het project, uitgevoerd bij de Schelde bij Rupelmonde waarbij een Daedalus multispectraal scanner vanuit een laagvliegend vliegtuig werd ingezet om de porositeit en lekkage van dijken te monitoren. Met de apparatuur werden temperatuur verschillen gekarteerd waaruit deze effecten duidelijk detecteerbaar bleken.

Remote Sensing zal in de toekomst steeds belangrijker worden, ook voor waterbeheer. EUROSENSE zal bij deze ontwikkeling voorop lopen.

# Meteo Consult BV , 0317 – 399 800, Annelies Mosch, info@weer.nl.

## Weersinformatie voor waterschappen

Meteo Consult is hét toonaangevende en ISO gecertificeerde weerbedrijf in Europa met vestigingen in 5 landen. Meteo Consult is o.a. bekend geworden door de weerberichten in de kranten, op radio en tv. Maar ook maken onze meteorologen 24 uur per dag weersverwachtingen voor o.a. de land- en tuinbouw, gladheidsmeldingen voor RWS en gemeenten, de scheepvaart en off-shore, de bouw en wegenbouwsector en de consumentensector. Gedurende een aantal jaren biedt Meteo Consult ook voor water- en hoogheemraadschappen een reeks van produkten en diensten, waaronder de volgende:

- Actuele neerslagradar en regionale weersinformatie via PC dmv het softwareprogramma Weerbeeld.
  - neerslagradar
  - satellietbeelden
  - weerkaarten (luchtdruk, temperatuur, neerslag van Europa)
  - regionale verwachting
  - waarnemingen

Met Weerbeeld kunt u actuele verwachtingen tot 9 dagen vooruit voor uw eigen beheersgebied via de PC ophalen. Tevens zijn voor waterschappen vooral de neerslagradar van Nederland en de neerslagkaarten van Europa zeer toepasbaar.

- Eéndags-cursussen weerkunde voor waterschappen, basiscursus weerkunde en gevorderen cursussen waarbij cases in eigen beheersgebieden worden besproken.
- Alarmering in geval van extreme neerslag in uw regio.
  - $\geq 20$  mm binnen een tijdsbestek van 6 uur
  - $\geq 40$  mm binnen een tijdsbestek van 24 uur
  - kans op genoemde verwachtingen: minimaal 30%
  - waarschuwingstermijn: ca. 24 uur vooraf of korter
  - wijze van waarschuwen: via telefoon
  - bewaking geldt 24 uur per dag, 7 dagen per week
- HydroLook-NL van WaterWatch
  - remote sensing mogelijkheden voor neerslagoverschot, verdamping, grondwaterpeil etc.
- Telefonische consulten
  - telefonisch consult met de meteoroloog.
- Automatische aanlevering actuele en historische data
  - aanlevering korte en lange termijn verwachtingen tot 9 dagen vooruit
  - historische waarnemingen, oa. neerslaggegevens welke u kunt gebruiken voor beslissings ondersteunende systemen, telemetrie, etc.
- Binnenkort: [www.neerslag.nl](http://www.neerslag.nl) , een website waarop o.a. de neerslagradar is te zien, regionale verwachtingen etc. Via een eigen password heeft u via internet toegang tot de weersverwachting voor uw eigen beheersgebied.



Fugro-Inpark B.V.  
Divisie FLI-MAP  
Dillenburgsingel 69  
2263 HW Leidschendam  
Tel. : 070-3170700  
Fax : 070-3170750  
[www.fugro-inpark.nl](http://www.fugro-inpark.nl)  
[www.fli-map.nl](http://www.fli-map.nl)



Fugro-Inpark B.V. is een ingenieursbureau gespecialiseerd op het gebied van geo-informatie, ondergrondse infrastructuur en civiele techniek. Fugro-Inpark verzamelt, bewerkt, beheert en interpreteert geo-informatie en past deze kennis toe op een breed terrein. Wij geven geo-informatieve adviezen, voeren project- en interim-management en ontwikkelen applicaties op maat, gebaseerd op de nieuwste GIS-technologie. Wij verzorgen de complete werkvoorbereiding, zoals het inmeten van basiskaarten, het uitzetten van profielen, het doen van revisiemetingen, engineering, bestekvoorbereiding en toezicht op de uitvoering.

Fugro-Inpark maakt deel uit van de wereldwijd opererende Fugro-groep: met 6 divisies, 80 werkmaatschappijen, 250 vestigingen in meer dan 55 landen en 7.000 medewerkers een van de grootste ingenieursbureaus op het gebied van geotechniek, geo-informatie en survey, zowel op land als offshore. Fugro-Inpark heeft ruim 500 medewerkers en is verdeeld in de divisies Energie, Water & Industrie; Overheid & Bouw; Railinfra & Geo-ICT en de divisie FLI-MAP, met locaties in Amsterdam, Arnhem, Breda, Leeuwarden, Leidschendam (hoofdkantoor) en Maastricht.

FLI-MAP is een laser altimetrie systeem dat in staat is snel en nauwkeurig de 3D geometrie van het terrein en de objecten vast te leggen met een nauwkeurigheid van 5-8 cm. Het systeem is door Fugro ontwikkeld en vervaardigd. Het wordt enkel door Fugro bedrijven gebruikt, met name Fugro-Inpark in Nederland en John Chance Land Surveys in de Verenigde Staten. Gedurende de laatste 6 jaar is het systeem met veel succes ingezet in Noord en Zuid Amerika, Europa, Afrika en het Verre Oosten. In meer dan 250 projecten is ruim 50.000 km ingemeten, voornamelijk voor het in kaart brengen van spoorwegen, hoogspanningsleidingen, wegen en waterkeringen.

Het systeem kan op meerdere typen helikopters worden gemonteerd, hetgeen een flexibele inzet mogelijk maakt.

Het FLI-MAP systeem integreert laserscanning (tot 22000 punten per seconde), traagheidsnavigatie (INS), GPS technologie, digitale video camera's en een digitale fotocamera. Tezamen met speciaal ontwikkelde software, heeft dit geresulteerd in een voortreffelijke tool voor 3D kartering. Naast de snelheid van de metingen per dag ( $\pm$  100-125 km), de korte doorlooptijd van inmeten en eindproduct, de hoge punt dichtheid van 10-25 metingen per m<sup>2</sup>, is het tevens een groot voordeel dat moeilijk toegankelijke of gevaarlijke gebieden niet meer door meetploegen betreden hoeven te worden.

Het FLI-MAP systeem is wereldwijd inzetbaar, waarbij de diensten in het oostelijk halfrond door de FLI-MAP divisie van Fugro-Inpark B.V. verzorgd worden. FLI-MAP biedt de volgende voordelen boven traditionele meetmethoden:

1. Hoge punt dichtheid waardoor een grote verscheidenheid aan objecten geïncventariseerd kan worden en een zeer gedetailleerd hoogtemodel geleverd kan worden;
2. Absolute X, Y, Z nauwkeurigheid van 5-10 cm;
3. Aanvullende informatie zoals terrein classificaties, digitale video's en "Still" digitale foto beelden kunnen voor velerlei toepassingen gebruikt worden;
4. Snelheid van metingen en data verwerking;
5. Voorwaarts en neerwaarts gerichte digitale video beelden van het complete tracé met de mogelijkheid tot "georeferenced, ortho-rectified" fotomozaïeken;
6. Moeilijk bereikbare plaatsen zullen geen probleem zijn voor inmeting met de helikopter;
7. Veiligheid bij metingen rondom spoorwegen en (snel)wegen wordt aanzienlijk verbeterd;
8. Beperkte weersafhankelijkheid omdat er onder bewolking gevlogen wordt.

Enkele projecten, die in Nederland en België zijn uitgevoerd, zijn;

- ❑ In opdracht van RWS zijn de uiterwaarden rondom de rivier de IJssel ingemeten.
- ❑ Ruim 600 km aan waterkeringen is ingemeten voor het Waterschap de Stichtse Rijnlanden. Het doel van dit project was om een zeer gedetailleerde DTM op te meten (meer dan 9 punten per m<sup>2</sup>), met een absolute X, Y, Z nauwkeurigheid van beter dan 7.5 cm voor analyses van de keringen.
- ❑ Circa 300 km primaire en secundaire waterkeringen en boezemkades zijn ten behoeve van het dijkbeheer ingemeten in opdracht van het Hoogheemraadschap van de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden.
- ❑ 5000 hectare vallei-gebied en rivieroever langs o.a. de Schelde, Rupel en Durme zijn in België ingemeten ten behoeve van een actueel bestand.

Naast deze projecten, die dicht bij huis zijn uitgevoerd, worden tal van soortgelijke opdrachten wereldwijd door FLI-MAP uitgevoerd voor het in kaart brengen van waterkeringen, wegen, spoorwegen en hoogspanningsleidingen.

Voor nadere informatie over het systeem en de toepassingsmogelijkheden binnen uw organisatie kunt u contact opnemen met Suri Bayirli van de FLI-MAP Divisie, telefoon 070-3170712, fax:070-3170750 of via e-mail [s.bayirli@fugro-inpark.nl](mailto:s.bayirli@fugro-inpark.nl)





### Profiel

NEO is een innovatief, onafhankelijk Nederlands bedrijf, dat is opgericht in 1996. NEO past satellietopnamen toe in het beheer van infrastructuur en milieu, maar ook in de landbouw en de bosbouw.

NEO ondersteunt nieuwe en ervaren gebruikers van remote sensing door het leveren van satellietopnamen, van software om de opnamen te bewerken en vooral van kennis: NEO's belangrijkste activiteit is het interpreteren en verwerken van satellietbeelden tot waardevolle informatie.

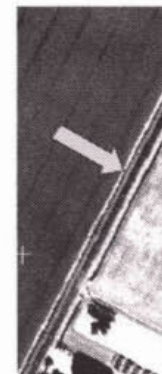
NEO levert informatie die gebruikt wordt in het actualiseren van databases en kaarten, GIS- en CAD-omgevingen, in studies, enz. Ook treedt NEO op als adviseur voor klanten die in hun organisatie gebruik maken of willen gaan maken van remote sensing. NEO assisteert bedrijven en instellingen bij de outsourcing van nevenactiviteiten, gerelateerd aan het gebruik van aardobservatie bij het

bijhouden van databases, het maken van kaarten, het monitoren van infrastructuur, natuurgebieden, bosconcessies en landbouwgewassen. NEO's senior consultants zijn gewend projecten te leiden in complexe institutionele, organisatorische and technische omgevingen. Internationaal heeft NEO opdrachten gedaan in de Europese Unie en Centraal Europa, in Afrika, Azië en Latijns-Amerika.

Onze innovaties worden veelal bereikt in samenwerkingsprojecten met onze klanten. Voorbeelden hiervan zijn de detectie van veranderingen op het gebied van:

- De demping en het onderhoud van sloten;
- De inrichting van wegen (vluchtheuvels, rotondes, nieuwe aanleg, e.d.);
- De signalering van nieuwe gebouwen en uitbreidingen daarvan;
- De ontwikkeling van natuurgebieden;
- De ontwikkeling van vrij water oppervlak, enz.

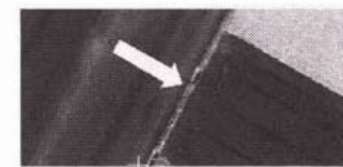
NEO verleent diensten op het gebied van handhaving en inspectie bijvoorbeeld ten aanzien van teeltvrije zones in akkerbouw en fruitteelt.



Teeltvrije zone breder dan 1 meter



Teeltvrije zone smaller dan 1 meter



Teeltvrije zone waarschijnlijk smaller dan 1 meter

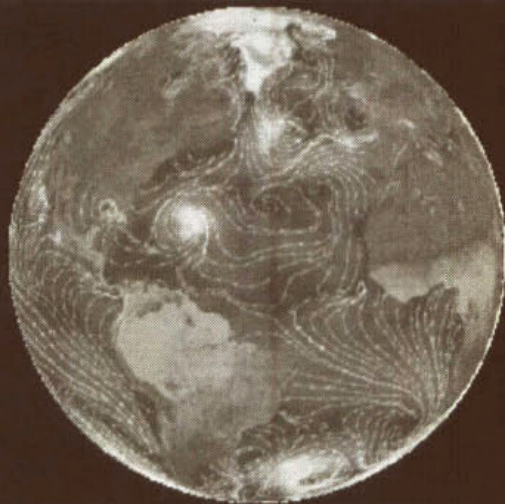
Andere voorbeelden van handhaving zijn te vinden in de slootshouw, de bouwinspectie, eventuele fraude met landbouwsubsidies, maar ook het leveren van de contra-expertises.

U kunt NEO bereiken op het volgende adres:  
NEO BV.  
Zonnehof 16  
Postbus 2176  
3800CD Amersfoort,  
Tel. 033-4637433  
Fax 033-4637340

Ons algemene emailadres is [info@neo.nl](mailto:info@neo.nl).  
Actuele bedrijfsinformatie vindt u op [www.neo.nl](http://www.neo.nl).



# Remote Sensing in het waterbeheer



De techniek Remote Sensing bestaat al tientallen jaren. De kwaliteit en kwantiteit van de ruimtelijke informatie neemt toe en wordt ook goedkoper. Hierdoor worden de mogelijkheden voor directe toepassing in ruimtelijke vraagstukken steeds groter.

## Meerwaarde van Remote Sensing in het waterbeheer

Met behulp van Remote Sensing kan op efficiënte wijze inzicht worden verkregen in de ruimtelijke verdeling van (hydrologische) gebiedskenmerken. Daarnaast worden er regelmatig opnamen in de tijd gemaakt, waardoor de beelden ook een goed inzicht geven in de verandering van de gebiedskenmerken in de tijd.

## Toepassingsmogelijkheden

De toepassingsmogelijkheden van Remote Sensing zijn erg breed. Binnen het waterbeheer kan deze techniek ons helpen bij strategisch waterbeheer, operationeel waterbeheer en bij hydrologische modellen. De beelden kunnen een 'quick-scan' geven van hoe het gebied hydrologisch in elkaar zit. Op deze manier kunnen bijvoorbeeld snel probleemgebieden worden opgespoord. In sommige gevallen kan een modelberekening achterwege worden gelaten of kan tijdswinst worden geboekt. Hydrologische modellen blijven echter noodzakelijk. Een model kan voorspellen hoe hydrologische processen in de tijd kunnen veranderen. Remote Sensing kan dat niet, maar kan vanwege de meer gedetailleerde ruimtelijke informatie wel een grote bijdrage leveren aan de analyse en sturing van de modelberekeningen.

## Wat kan Grontmij voor u betekenen?

Grontmij is in elke provincie aanwezig en heeft onder andere adviseurs op het gebied van waterbeheer met kennis van de lokale omstandigheden. Wij hebben ruime ervaring in het gebruik van diverse hydrologische modellen en zijn bekend met de nieuwste technieken binnen het waterbeheer. Wij kunnen u helpen om ook voor uw vraag een concrete oplossing te vinden. Onze aanpak en werkwijze lichten we graag toe in een persoonlijk gesprek, toegespitst op uw specifieke situatie.

### Strategisch waterbeheer

- ? *Waterlood*
- ? *Waterbalans studies*
- ? *Peilbesluiten*
- ? *Evaluatie anti-verdrogings maatregelen*

### Operationeel waterbeheer

- ? *Beregeningsadvies*
- ? *Waarschuwingssystemen*

### Hydrologische modellen

- ? *Ruimtelijke modellen*
- ? *Grondwater modellen*
- ? *Hydrodynamische modellen*
- ? *neerslag-afvoer modellen*

## Meer weten? Bel of mail ons:

Grontmij  
Advies & Techniek bv  
Adviesgroep Water  
De Molen 48  
Postbus 119  
3990 DC Houten  
Telefoon (030) 634 48 50  
Telefax (030) 637 94 15





## SYNOPTICS: Specialist in GIS en remote sensing in de groene ruimte

Synoptics is gespecialiseerd in het combineren van Remote Sensing en GIS-technieken voor de groene sector. Wij bieden informatie over landgebruik en water in verschillende vormen en op maat gemaakt voor de gebruiker. In de loop der jaren hebben we ervaring opgedaan met het toepassen van satellietbeelden in waterbeheer. In tal van projecten is er gekeken naar gebruik van satellietbeelden bij bepaling van kroosbedekking in sloten, in kaart brengen van overstromingen maar ook in kaart brengen van gewasteelten en toestand van het gewas. Daarnaast maken we producten gebaseerd op satellietbeelden.

Een voorbeeld van informatie op maat is de PiriReis gewassenkaart. Het is een kaart waarin percelen staan aangegeven met het gewas dat erop wordt verbouwd. Deze kaart wordt jaarlijks gemaakt. Actuele informatie over het landgebruik is beschikbaar maar ook landgebruik uit het verleden. De kaart is makkelijk in te passen in een GIS en kan gecombineerd worden met bestanden als: het algemeen hoogtemodel, de bodemkaart, grondwatertrappenkaart etc. Vanaf dit jaar zal de kaart mogelijk ook uitgebreid gaan worden met natuurklassen. Zo ontstaat een vlakdekkend bestand. De PiriReis-kaart wordt al gebruikt door verschillende waterschappen en waterleidingbedrijven. De toepassingen zijn divers: ondersteuning in controle op lozingenbesluit, analyse van peilbeheer en voor monitoring van landgebruik in grondwaterbeschermingsgebieden.

Inmiddels heeft Synoptics een ruime expertise opgebouwd in het gebruik van remote sensing in de groene ruimte. En kunnen we een oplossing bieden voor een wijd scala aan vraagstukken.

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met:

Synoptics BV., postbus 117, 6700 AC Wageningen. Telefoon 0317-421221, fax 0317-416146.

Email: [main@synoptics.nl](mailto:main@synoptics.nl), web: [www.synoptics.nl](http://www.synoptics.nl).

Contactpersoon: Marjo van Loon, Product Manager.

# TerraImaging en Remote Sensing

Binnen de processen waarvoor een waterbeheerder verantwoordelijk is wordt steeds vaker gebruikt gemaakt van geo-informatie. Geo-informatie kan op verschillende manieren worden ingewonnen. De bekendste methode is uiteraard de terrestrische inwinning. TerraImaging is echter gespecialiseerd in het inwinnen van geo-informatie vanuit een vliegtuig, zogenaamde "airborne" remote sensing. TerraImaging maakt hierbij gebruik van de twee hieronder beschreven methodes.

## Laserscanning

De in het vliegtuig gemonteerde scanner zendt laserpulsen uit die door het aardoppervlak gereflecteerd en vervolgens weer door een ontvanger in het vliegtuig opgevangen worden. Door het tijdsverschil te meten tussen zenden en ontvangen (en de beweging van het vliegtuig te corrigeren) kan de hoogte van het land ten opzichte van het vliegtuig worden gemeten. Omdat de positie van het vliegtuig in de lucht ook wordt geregistreerd kan de terreinhoogte (bijv. t.o.v. NAP) worden berekend.

De voordelen van laserscanning zijn talrijk. Er kunnen, onafhankelijk van de aard van het terrein, gebiedsdekkende hoogtemetingen worden verricht. De laserpulsen reflecteren zowel op de vegetatie als op de ondergelegen bodem en dus kan van beiden de hoogte worden berekend. De intensiteit van het gereflecteerde lasersignaal maakt het mogelijk oppervlakte structuren te herkennen. Zwart asfalt zal immers meer licht absorberen dan wit zand. Tenslotte kan, anders dan bij fotografische luchtopnames, met de laserscanner ook 's nachts worden gevlogen.

De nauwkeurigheid van de hoogtedata is afhankelijk van de vlieghoogte, de vliegsnelheid en de strookoverlap. De lasermetingen kunnen een punt dichtheid bereiken van 1 punt per m<sup>2</sup>, met een verticale nauwkeurigheid tussen de 10 en 15 cm.

## Digitale luchtfotografie

De tweede scanner die TerraImaging inzet is een zogenaamde High Resolution Stereo Camera (HRSC). De HRSC werkt, in tegenstelling tot een gewone luchtfotocamera, volgens het "pushbroom" principe en is daarmee niet een echte camera maar een scanner. Er worden geen frames, maar stroken opgenomen, welke aan elkaar ge-mozaïekt kunnen worden tot een doorlopend beeld. Negen sensoren tasten continu het aardoppervlak af. Iedere sensor kent zijn eigen specifieke golflengte.

Door bepaalde banden te combineren ontstaan verschillende producten.

De true ortho foto is een mozaïek waarop alle gebouwen recht van boven worden weergegeven. Dit in tegenstelling tot traditionele luchtfoto's waar de gebouwen naar de rand van de opname steeds verder lijken om te vallen. Dit product kan in zwart/wit, ware kleuren en nabij infrarood worden geproduceerd. Nabij infrarood biedt de specialist de mogelijkheid om bijv. verschillende vegetatie en zelfs gewas typen van elkaar te onderscheiden.

De vervaardiging van orthofoto's levert eveneens een digitaal oppervlakte model op. Dit oppervlakte model is een vierde product van de HRSC. Iets minder nauwkeurig dan het met de laserscanner opgenomen hoogtemodel biedt dit model voldoende informatie voor vele toepassingen, tegen een aantrekkelijke prijs.

Tenslotte kan er uit de diverse banden een zogenaamd anaglif beeld worden geproduceerd. Hiermee kan, gebruik makend van een speciale 3D-bril (met een rood en een blauw glas) diepte in de foto worden gezien.

Neem voor meer informatie gerust contact met ons op.



### TerraImaging-Amsterdam

Koningslaan 35  
1075 AB Amsterdam  
the Netherlands  
Tel.: +31 (0)20 – 573 03 30  
Mail: [info@terraimaging.nl](mailto:info@terraimaging.nl)  
Web: [www.terraimaging.nl](http://www.terraimaging.nl)

### TerraImaging-Berlin

Elsenstraße 106  
12435 Berlin  
Germany  
Tel.: +49 (0)30 – 53 21 77 20  
Mail: [info@terraimaging.de](mailto:info@terraimaging.de)  
Web: [www.terraimaging.de](http://www.terraimaging.de)



