Meerwaarde van remote sensing voor het waterbeheer

T.H.L. CLAASSEN, WATERSCHAP FRIESLAND

Al langere tijd is er belangstelling voor het gebruik van remote sensing bij het waterbeheer [RWS, 1985; Van Stokkom & Donze, 1988]. In 1985 vond hierover een provinciale studiedag plaats [Van Stokkom, 1985]. Vele volgden, waaronder een technische bijeenkomst van CHO-TNO in november 1989 [Hooghart, 1990], een door Rijkswaterstaat georganiseerd symposium in oktober 1991 [Kempen, 1991] en een BCRS-workshop in december 1993. Ondanks een algemene onderbouwing inzake bruikbaarheid [Kootwijk et al., 1996; Althuis & Buiteveld, 1996] en inzet van deze techniek [Buiteveld et al., 1987; Claassen, 1990; Dekker, 1991; Moen et al., 1997] is remote sensing nog niet ingeburgerd in het regionale waterbeheer. Althuis & Buiteveld [1996] vermelden in een inventariserend overzicht voor de satellieten Landsat en Spot en voor digitaal optische vliegtuigtechnieken geen enkele routinematig toegepaste meetmethode. Hoe komt dat? In dit artikel wordt ingegaan op de informatie die remote sensing kan opleveren en de perspectieven op implementatie.

Van oudsher doen water(kwaliteits)-beheerders onderzoek aan oppervlaktewater. Traditioneel gebeurt dat door bemonstering en analyse van oppervlaktewatermonsters. Dit onderzoek vindt op vaste locaties plaats, veelal met een vaste frequentie. Resultaten van onderzoek worden gebruikt voor het vaststellen van de huidige waterkwaliteit, het toetsen aan normen, het verkrijgen van inzicht in en opsporen van veranderingen in de waterkwaliteit, het nagaan van het effect van genomen maatregelen en het aangeven of (aanvullende) maatregelen nodig zijn. Deze doelstellingen van het meetprogramma kunnen geheel worden gedekt door in situ metingen. Aanvullende onderzoekstechnieken, zoals remote sensing, zijn in feite niet per se nodig om die basisvragen te beantwoorden. Uiteraard kan remote sensing wel een toegevoegde waarde hebben. Wat is de meerwaarde van remote sensing voor het waterbeheer?

Toepassingen in het waterbeheer

Bij toepassing van remote sensing zijn verschillende indelingen te maken [Althuis & Buiteveld, 1996], waarbij de cursief gedrukte items voor dit artikel relevant zijn.

- naar techniek: thermisch, *digitaal optisch*, radar, video, foto.

Voor WVO-opsporings- en handhavingsactiviteiten is thermische infrarood remote sensing een bruikbare techniek [Roeters & Buiteveld, 1994c; Roeters *et al.*, 1993b]. De lage resolutie (0.1 °C), de geringe eisen aan staf, infrastructuur en organisatie en de lage kosten maken dit middel gemakkelijk inzetbaar. Volgens een onderzoek in de Lopikerwaard [Bakker *et al.*, 1996; Synoptics, 1997] is airborne video een bruikbaar, snel en goedkoop middel om kroosbedekking in sloten en kanalen vast te leggen.

- naar hoogte sensor: *satelliet*, *vliegtuig*, boot.

Satelliet remote sensing is het meest toegepast, waarbij de in 1982 gelanceerde Landsat TM meer is benut dan de later [1986] gelanceerde Spot. Dit ondanks het feit dat het oplossend vermogen van de Spot groter is dan van de Landsat TM. Digitale optische teledetectie vanaf ooghoogte (vanuit een boot bijvoorbeeld) is nieuw, zoals op 29 augustus 1997 door H.J. Gons (NIOO-CL) en M. Rijkeboer (IVM-VU) is gedemonstreerd met de PR650 veldspectroradiometer.

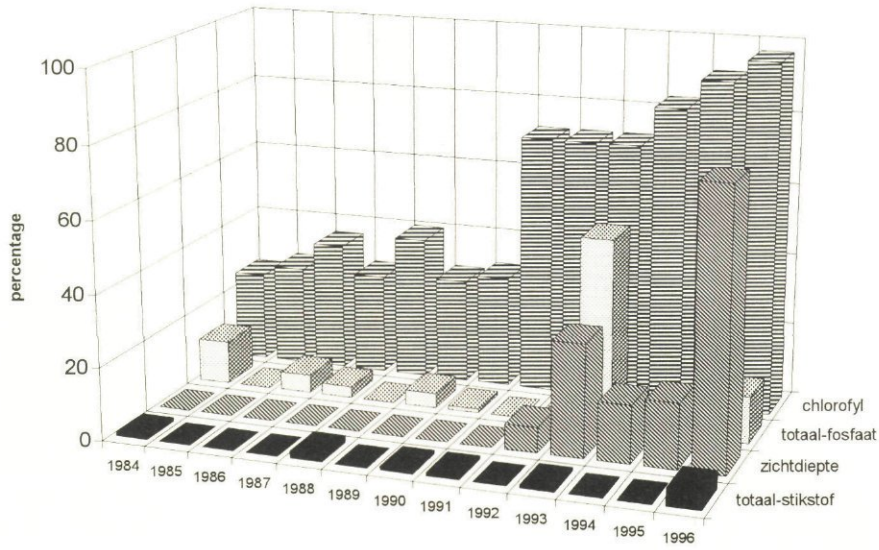
- naar gebied: zee en getijdewateren, *binnenwateren*, IJsselmeergebied, *overige binnenwateren*

Hoe groter het water, hoe nuttiger en bruikbaarder spaceborne remote sensing is. Grote gebieden zijn vanaf de grond lastiger en tegen hogere kosten te beschrijven en zijn veelal intern heterogener. Voor ijsberichtgeving voor grote wateren is dit een toepasbare techniek [Roeters & Buiteveld, 1994a]. De zee en getijdewateren zijn dan ook ideaal voor toepassing van remote sensing [RWS/DGW & KNMI, 1989]. Daarin is het 'parameterpakket' overigens beperkt tot temperatuur en zwevende stof. De binnenwateren zijn in tweeën te delen, namelijk het IJsselmeergebied [RWS/MD, 1985; Buiteveld *et al.*, 1987; Bakker, 1991] en de overige binnenwateren [Dekker, 1991; Van Kootwijk *et al.*, 1996; Dekker, 1996; Moen *et al.*, 1997]. Voor kleinere en complexe wateren is airborne remote sensing meer geschikt.

- naar thema/doelgroep: operationele meteorologie, scheepvaart waterhuishouding, kustbeheer, recreatie, *waterkwaliteit*

Remote sensing kan voor diverse doelen worden benut, zoals de weerberichten met NOAA satellieten [Roeters & Buiteveld, 1994a], voor ijsbedekking, voor kartering van uiterwaarden en boezemlanden op momenten van verhoogde waterstanden en voor vastlegging van kwel. Het aspect waterkwaliteit is in feite beperkt tot water- en stofstromen en tot eutrofiëring. Het doorzicht kan ook worden vastgelegd, en weerspiegelt zowel de component algen/chlorofyl als zwevende stof. Het beschrijven van waterplanten (anders dan met

Afb. 1 Het percentage meetpunten (n = ca. 75) in het Friese boezemwater, dat voldoet aan de ENW-normen.



video-opnamen, [Bakker *et al.*, 1996]) is nog in ontwikkeling.

Toepassingen in Fryslân

Van oudsher vindt waterkwaliteitsonderzoek plaats met in situ genomen watermonsters. Zo ook, vanaf 1960, in Fryslân. In de Friese meren vraagt de eutrofiëring de meeste aandacht. Normtoetsing leert dat vrijwel geen enkel meetpunt voldoet aan de ENW-normen voor totaal fosfaat (0,15 mg/l), totaal stikstof (2,2 mg/l), zichtdiepte (0,4 m) en chlorofyl (100 µg/l). Sinds 1990 treedt er deels een verbetering op van de waterkwaliteit, vooral voor het fytoplankton. Afbeelding 1 laat enkele resultaten zien.

Gericht op de eutrofiëringsproblematiek van de Friese boezemmeren is tweemaal een spaceborne remote sensing project uitgevoerd: in 1988 [DHV, 1988] en in 1992 [Roeters & Buiteveld, 1993a; Buiteveld *et al.*, 1993; Claassen *et al.*, 1994]. In beide gevallen is gebruik gemaakt van twee Landsat TM beelden. Naast reële (onbewerkte true- en false colour) beelden zijn themakaarten gemaakt van temperatuur, zichtdiepte, chlorofyl en zwevende stof.

Gebaseerd op vliegtuig remote sensing ervaringen in het Utrechts-Hollands Vechtplassengebied [Dekker, 1991; 1996; Van Kootwijk *et al.*, 1996] is in het Friese ook voor deze techniek gekozen, temeer daar interesse bestond voor kleinere, morfometrisch complexe wateren. In 1995 is, samen met het Zuiveringsschap West-Overijssel, het Hoogheemraadschap van Rijnland, RIZA en de Gemeentewaterleidingen van Amsterdam, een airborne remote sensing project uitgevoerd [Moen *et al.*, 1997]. Negen gebieden waren voor deze opname geselecteerd. Uiteindelijk zijn van zes gebieden opnamen uitgewerkt. Door technische problemen zijn drie gebieden niet uitgewerkt. De opnamen zijn gemaakt met een Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI), waarbij evenals voor 1995 15 spectrale banden zijn geselecteerd. De vlieghoogte op 18 augustus 1995 was 3 km. Daarbij is de pixelgrootte 4,5 bij 4,5 meter.

Voor 1997 is een tweede vliegtuigopname gemaakt van vier dezelfde gebieden waarover voor 1995 is gerapporteerd. Een smalle waterloop, het Polderhoofdkanaal, bleek in 1995 met vliegtuig remote sensing niet goed karteerbaar, zodat in 1997 van een herhalingsopname is afgezien. Ook het Nannewiid is in 1997 niet meer opgenomen. Dezelfde CASI en dezelfde vlieghoogte als in 1995 zijn gebruikt bij de opnamen op 11 augustus 1997, waarbij evenals voor 1995 de volgende parameters zijn uitgewerkt: het blauwalgenpigment cyanofycocyanine, chlorofyl, zwevende stof, zichtdiepte en verticale extinctiecoëfficiënt.

Tabel 1 *Overzicht van de gebruikte Landsat TM banden in de algoritmen voor de gemaakte spaceborne themakaarten. De satelliet-opname van 5-7-1987 is uitgewerkt met grondwaarnemingen van 24/25-6-'87 en van 21-7-'87. Golflengtebereik (nm) banden 1: 450-520; 2: 520-600; 3: 630-690; 4: 760-900 en 5: 1550-1750.*

parameter	*16-6-'86*	*3-8-'86*	*24/25-6-'87*	*21-7-'87*	*23-5-'89*
chlorofyl	1,2,4	3,4,5	1,2,3	2,4	2,3
zwevende stof	–	1,2	2,4	2,3	1,3
zichtdiepte	1,2,3	1,2,3	2,4	1,4	–

Resultaten en discussie

Satelliet remote sensing boezemmeren

Naast de reële (true- en false colour) beelden zijn van de vier data themakaarten gemaakt voor de parameters temperatuur, chlorofyl, zichtdiepte en zwevende stof [DHV, 1988; Roeters & Buiteveld, 1993a]. Alle kaarten zijn in kleur: de true colour beelden min of meer natuurgetrouw, de themakaarten met kleuren per gekozen klasse van parameterwaarden. Voor de temperatuurkaart is de thermische band 6 gebruikt. De overige themakaarten zijn gebaseerd op iteratieve correlatieberekeningen tussen de satelliet pixelwaarden en grondwaarnemingen. Opmerkelijk is dat die algoritmen voor een zelfde parameter vaak wisselende TM-banden omvatten (zie tabel 1). Een mate van betrouwbaarheid van de gepresenteerde kleuren (parameterwaarden) was niet te geven.

Opvallend resultaat van alle beelden is een verschil in kleur/reflectie, zowel binnen de meren als tussen de meren. Deze reflectieverschillen vertonen een kleinschalig gradiëntpatroon. Dit duidt op een vorm van patchiness en heterogeniteit (in algenbiomassa en zwevend-stofgehalte), die beïnvloed wordt door het heersende hydrologische regiem en de momentane wind, gegeven de morfometrie en trofiegraad van de meren. Een aantal waargenomen patronen is verklaarbaar door deze factoren [Claassen *et al.*, 1994]. De patronen van chlorofyl, zichtdiepte en zwevende stof vertonen veelal enige gelijkenis. Belangrijke nog onbeantwoorde vragen zijn de mate van (on)afhankelijkheid van de verschillende themakaarten van één datum en de verklaring voor andere algoritmen (voor dezelfde parameters) van verschillende data.

Gesteld kan worden dat bij het gebruik van satelliet remote sensing minder waarde gehecht moet worden aan de absolute en meer aan de relatieve waarde van themakaarten. De noodzaak van gelijktijdige grondbemonstering zou moeten worden ondervangen. Veelal is immers pas achteraf bekend of er bruikbare beelden zijn opgenomen. Meer eenduidigheid in algoritmeformules is gewenst. Misschien dat voor onderling verschillende watersystemen aparte algoritmen moeten worden opgesteld. Remote sensing informatie kan benut worden bij waterbalans- en stofstudies, voor bestudering van windinvloeden en -effecten en voor herkenning van algenbiomassa's. Multitemporele beelden vergroten het inzicht in functioneren van watersystemen.

Vliegtuig remote sensing kleinere wateren

Tijdens de vlucht op 18-8-1995 zijn loodrecht kleurenfoto's gemaakt. Daarop zijn kleurverschillen van het water waarneembaar, en in een enkel geval ook de onderwatervegetatie. In de Boornbergumer Petten bestaat deze grotendeels uit kranswieren. De met de CASI digitaal vastgelegde reflecties van 15 geselecteerde spectrale banden zijn uitgewerkt in themakaarten voor de vijf genoemde parameters. In alle gevallen is met zeven kleurenklassen gewerkt. Voor Fryslân en noordwest Overijssel zijn per parameter dezelfde algoritmen gebruikt. Daarbij is een correlatie gelegd met één (zwevend stof), twee (chlorofyl, zichtdiepte en extinctiecoëfficiënt) of drie (cyanofycocyanine) spectrale banden (zie tabel 2). De benutte spectrale banden voor de verschillende parameters zijn veelal dezelfde.

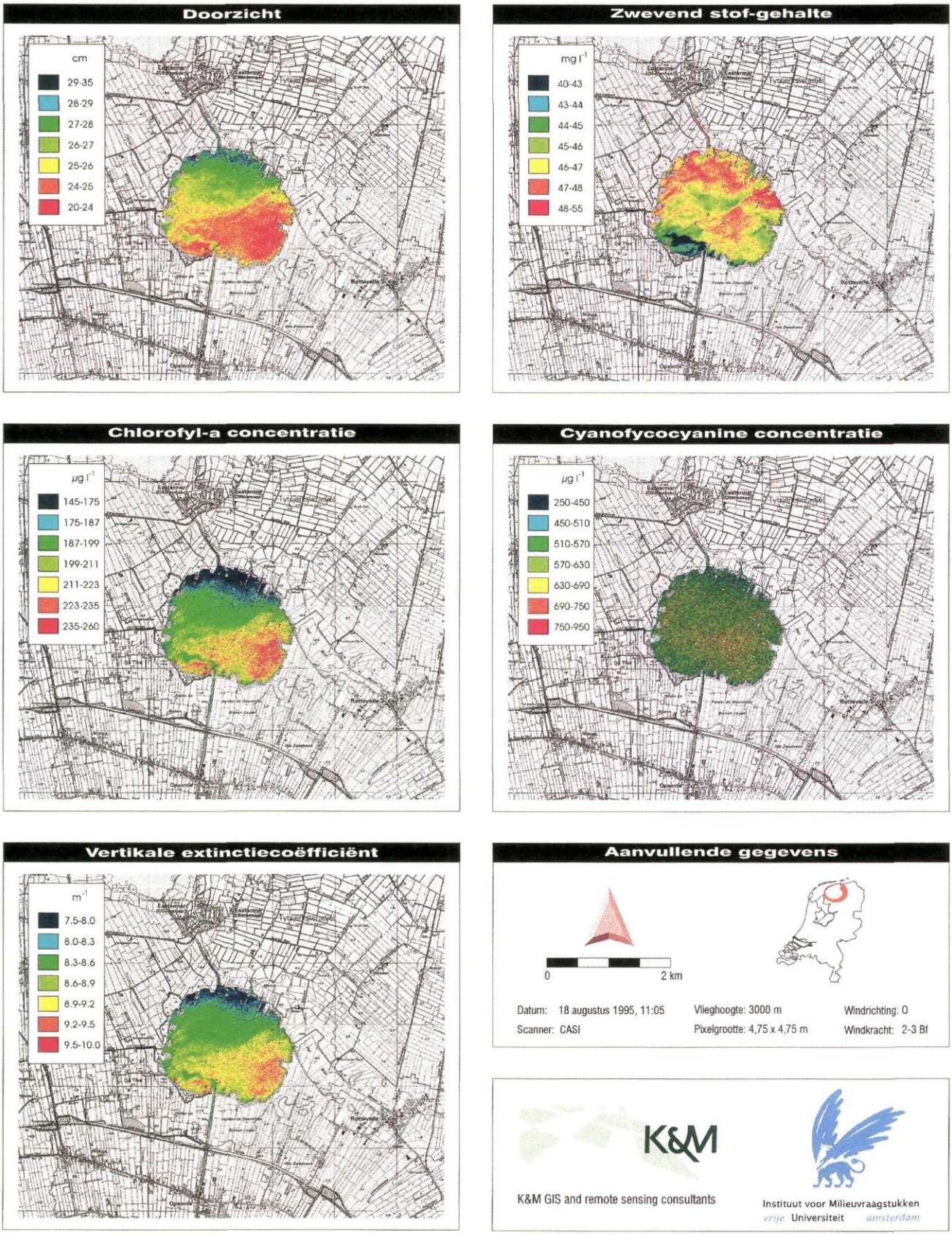
Voor het boezemmeer (de Leijen, zie afb. 2) en de polderplas (Nannewiid) worden ver-

Tabel 2 *Overzicht van de gebruikte spectrale banden van de CASI in de algoritmen voor de Friese airborne themakaarten. Bandmidden en (bandbreedte) zijn in nm vermeld.*

parameter	*18-8-'95*
cyanofycocyanine	600 (9), 624 (9), 648 (9)
chlorofyl	676 (9), 706 (8)
zwevende stof	706 (8)
zichtdiepte	676 (9), 706 (8)
extinctie-coëfficiënt	676 (9), 706 (8)

Afb. 2 *Themakaarten van de Leijen voor de opname van 18-8-1995 [naar Moen et al., 1997].*

Waterkwaliteit van de Leijen gemeten door middel van Remote Sensing



© K&M GIS remote sensing consultants Amsterdam

© Topografische achtergrond: Topografische Dienst Emmen

gelijkbare patronen waargenomen als bij de satellietbeelden. Er is een interne heterogeniteit binnen het water. Voor de laagveenmoerasgebieden van de Oude Venen en De Deelen zijn er grote verschillen tussen de deelsystemen (petgatencomplexen). Binnen die deelsystemen treedt veelal homogeniteit op in reflectie en themakaartklasse. De spreiding in klassen (waarden) per gebied is opvallend groot, in factor afnemend voor resp. cyanofycocyanine, chlorofyl, zwevende stof, zichtdiepte en verticale extinctiecoëfficiënt.

Tabel 3 *Op 18-8-'95 gemeten in situ waarden voor vijf parameters in de Leijen (vergelijk met afb. 2). 'Midden' is het enige routinematige vaste meetpunt.*

parameter	*noord-west*	*noord-oost*	*midden*	*zuid-west*	*zuid-oost*
cyanofycocyanine (µg/l)	588	527	454	1190	632
chlorofyl (µg/l)	131	108	136	157	140
zwevende stof (mg/l)	40	40	46	35	42
zichtdiepte (cm)	20	20	20	20	25
turbiditeit (FNE/ntu)	42	43	43	35	42

Afbeelding 2 laat een instroom van relatief helder water zien aan de zuidkant van het meer vanuit het Opeinderkanaal, welke afbuigt in westelijke richting. De oostelijke wind bepaalt verder het reflectiepatroon. In de grotere wateren zijn de gevonden patronen verklaarbaar door waterbewegingen en windinvloeden. In de kleinere systemen worden verbanden gevonden of verwacht met herstelmaatregelen, zoals hydrologische isolatie, baggeren en ontpoldering. In het heldere systeem (Boornbergumer Petten) met vrijwel geen fytoplankton en veel submerse vegetatie gaat de presentatie op de themakaarten mis. Dat geldt ook voor zeer ondiepe (ontpolderde) systemen binnen het laagveenmoerasgebied van de Oude Venen.

Vooral bij kleinere wateren is een goede geometrische projectie noodzakelijk. Kleine fouten daarin zijn zeer storend. Voor zeer ondiepe en voor heldere (niet door fytoplankton gekleurde) wateren gaat het gebruik van (uniforme) algoritmen nog mis. Dat leidt tot de noodzaak van het afleiden van afzonderlijke algoritmen voor verschillende watersystemen. Ook bij vliegtuig remote sensing is nog aanvullend grondonderzoek nodig. De themakaarten lijken – door de gebruikte spectrale banden in de algoritmen – merendeels niet onafhankelijk van elkaar. De absolute waarden op de themakaarten is niet direct vergelijkbaar met laboratoriumanalyseresultaten. Zo liggen vier van de vijf in situ gemeten chlorofylwaarden van de Leijen beneden het bereik van de laagste klasse van de themakaart (vergelijk tabel 3 met afb. 2). Een verschillende wijze van 'bemonstering' kan hieraan ten grondslag liggen. De CASI kijkt van boven af op en deels in het water; de in situ monsters worden op ca. 50 cm onder het wateroppervlak genomen.

Conclusies en aanbevelingen

- In het verleden zijn te hoog gespannen verwachtingen gewekt over de mogelijkheden van remote sensing. Dit geldt zowel voor de te leveren technische producten als voor de kosten. Het aantal met remote sensing te karteren parameters is tot ca. vijf beperkt, wat inhoudt dat de standaard in situ bemonstering blijft bestaan. Tot nu toe zijn – voor de validatie – zelfs gelijktijdige bemonstering met de remote sensing opnamen nodig, wat leidt tot extra meetinspanningen in plaats van tot besparingen.
- Er is nog geen sprake van implementatie van remote sensing bij de waterbeheerder [Roeters & Buiteveld, 1994b]. De door de BCRS [1995] gestelde doelstelling om uiterlijk in het jaar 2000 te komen tot 'blijvende verankering van operationeel gebruik van remote sensing binnen de gebruikerssectoren' lijkt dan ook niet te worden gehaald waar het gaat om de regionale waterbeheerders als gebruikerssector.
- De meerwaarde van remote sensing uit zich in: de gebiedsdekkende beelden van waterkwaliteitsparameters; het inzicht in de invloed van wind, hydrologie e.d. op de helderheid van het water; de mogelijkheid tot sprekende presentatie; de inbreng bij modellenstudies en meetnetoptimalisatie; en op termijn beperking van in situ bemonsteringen bij projectmatige studies. Klimatologische en hydrologische omstandigheden en genomen (herstel)maatregelen kunnen worden bestudeerd. Presentatie, bijvoorbeeld in GIS, is mogelijk op verschillende schaal en met verschillende klasse(kleur)grenzen, zonder inhoudelijk te tornen aan de getalswaarden. Bijstelling van modellen op basis van remote sensing beelden verbetert die modellen. De Noordzee met de uitstroom

van Thames en Rijn is daar een mooi voorbeeld van [RWS/DGW & KNMI, 1989].

- Beleidsmatige inkadering van potentiële remote sensing informatie in het waterbeleid (bijvoorbeeld door normstelling en watersysteemverkenningen) is nodig voor routinematige implementatie van deze techniek bij het regionale waterbeheer. De huidige normstelling remt de toepassing van remote sensing technieken. Er moet een heroverweging en nieuwe definiëring komen van de informatiebehoefte voor het waterbeheer. Immers als die informatiebehoefte gestoeld blijft op normtoetsing en trenddetectie wijkt in situ monitoring niet voor remote sensing. Recente discussies over tailor-made monitoring beperken zich echter nog tot optimalisatie van de traditionele in situ monitoring [Timmerman & Hendriksma, 1997]. Kansen voor de definiëring van nieuwe informatiebehoefte liggen in de sturing binnen het waterbeheer op helderheid van wateren, in watersysteemverkenningen en in de samenhang met in situ metingen en modellen. Zo laat afbeelding 2 zien dat er geen preferente stroombaan door de Leijen is, maar dat eerder sprake is van volledige menging. Binnen het project RESTWAQ [Vos, 1995; Vos & Schuttelaar, 1995] is daarmee een begin gemaakt, waarbij satelliet remote sensing wordt ingebracht. Die eerste studie richtte zich op de Noordzee en beperkte zich tot de parameter zwevende stof. In het nog lopende project Remote sensing as tool for improved knowledge on water quality and ecology (RESTWAQ) fase 2 wordt ook binnenwater, i.c. de Friese boezemmeren, betrokken.
- Er moet een operationele infrastructuur in ons land komen voor praktijkgerichte, snel toegankelijke toepassing van remote sensing voor de regionale waterbeheerder [Bos & De Vries, 1996]. Dan pas kan efficiënt de meerwaarde van remote sensing worden benut. Nu kost voorbereiding en organisatie van een remote sensing project onevenredig veel tijd en inspanning, waarbij de drempel voor starters hoog is. De BCRS en Rewanet moeten zich beraden over zo'n operationele infrastructuur.

Literatuur

Althuis, I.J.A. & H. Buiteveld, 1996. Remote sensing toegepast voor waterbeheer. H_2O 29 (19): 586-588.

Bakker, H.C., 1991. Concentratiebeelden uit Landsat TM. RWS/MD, Delft. 8pp.

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. 28pp. met bijlagen.

Beleidscommissie Remote Sensing (BCRS), 1995. Nationaal Remote Sensing Programma 1996-2000 in samenhang met programma gebruikersondersteuning 1996-2005. Delft. 62pp.

Bos, B. & J. de Vries, 1996. De praktische toepasbaarheid van remote sensing voor het beheer van binnenwateren. Van Hall Instituut/Waterschap Friesland, Leeuwarden.

Buiteveld, H., C. Meulstee & R. Jordans, 1987. Het gebruik van Landsat opnames voor waterkwaliteitsonderzoek in het IJsselmeergebied. DBW/RIZA, MD/RWS, Lelystad. BCRS rapport no. 87-18. 57pp.

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, International Symposium Operationalization of Remote Sensing p99-108.

Claassen, T.H.L. 1990. Eutrophication observed by remote sensing; a distant point of view. in: Water management and remote sensing, CHO/BCRS, The Hague. p39-60.

Claassen, T.H.L., P.B. Roeters, H. Buiteveld & K. Appelman, 1994. Eutrofiëringonderzoek met behulp van Remote Sensing toegepast in Friesland. H_2O 27 (25): 740-745.

Dekker, A.G., 1991. The remote sensing Loosdrecht lakes project. IVM/VU, Amsterdam, BCRS report no. 90-29. 105pp.

Dekker, A.G., 1996. CEASAR-inland water mode phase 2, final report. BCRS report 95-11. 32pp.

DHV, 1988. De toepassingsmogelijkheden van remote sensing satellietopnamen voor het waterkwaliteitsbeheer van de Friese meren. BCRS rapport 88-17. 50pp.

Hooghart, J.C. (ed.), 1990. Water management and remote sensing. Proceeding and information No. 42 of CHO-TNO/BCRS, The Hague. 146pp.

Kempen, P. (ed.), 1991. Symposium remote sensing, water- en landtoepassingen voor Rijkswaterstaat. Symposiumteksten, Delft. 72pp.

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 76pp.

Moen, J.P., J.D. van Zetten, E.J. 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. 58pp. met bijlagen.

Roeters, P.B. & H. Buiteveld, 1993a. Gebruik van satellietopnamen voor eutrofiëringonderzoek van de Friese boezemmeren. RIZA, Lelystad nota 93.008. 90pp. met separaat bijlagen.

Roeters, P.B., H. Buiteveld, K. Appelman & H.C. Bakker, 1993b. Enforcement of environmental legislation using thermal infrared remote sensing, from research towards implementation. Enschede, International Symposium "Operationalization of Remote Sensing" p109-119.

Roeters, P.B. & H. Buiteveld, 1994a. Implementatie van NOAA-produkten voor ijsberichtgeving en drijflagenkartering. RIZA nota 94.030, Lelystad. 15pp.

Roeters, P.B. & H. Buiteveld, 1994b. Landsat TM voor beheer van de binnenwateren: beperkte mogelijkheden. RIZA, Lelystad, nota 94.055. 15pp.

Roeters, P.B. & H. Buiteveld, 1994c. Implementatie van remote sensing voor handhaving WVO. RIZA, Lelystad nota 94.017. 28pp.

Rijkswaterstaat/Meetkundige Dienst, 1985. Remote sensing en waterkwaliteit in het IJsselmeergebied. MDLK-R-8537. 14pp. met foto's.

Rijkswaterstaat/DGW & KNMI, 1989. Waterbericht vanuit de ruimte; monitoring van de Noordzee vanuit weersatellieten. Brochure.

Stokkom, H.T.C. van, 1985. Waterverontreiniging. Samenvatting inleiding Studiedag remote sensing voor provinciale milieudiensten (17-10-1985). Arnhem.

Stokkom, H.T.C. van & M. Donze, 1988. Optische remote sensing en oppervlaktewater nu. H_2O 22 (2): 33-42.

Synoptics, 1997. Schatting van kroosdekken op basis van video luchtopnamen. Wageningen. 21pp.

Timmerman, J.G. & J. Hendriksma, 1997. Informatie op maat: een raamwerk voor waterbeheer. H_2O 30 (17): 528-530.

Vos, R.J., 1995. Restwaq: applications of remote sensing to water quality modelling. WL, Delft.

Vos, R.J. & M. Schuttelaar, 1995. RESTWAQ Data assessment, data-model integration and application to the Southern North Sea. BCRS report 95-19.

Remote sensing as additional tool for water quality management

Remote sensing seems to be a useful technique for water quality research, additional to in situ monitoring of surface water quality. Focused on eutrophication and the 'clearness' of surface waters spectroradiometric remote sensing techniques are most adequate. For larger waters, the Frisian lakes, spaceborne Landsat TM images have been processed to thematic maps of chlorophyll, transparency and suspended matter. Recently, airborne CASI images have been made of smaller water systems in which restoration measures had been realised. Besides mentioned parameters also the vertical attenuation coefficient and cyanophycocyanin concentrations have been mapped. Colour plates show between, as well as within, differences in values for the five parameters. Before remote sensing will be implemented in regional water management, operational aspects will need improvement.