

REMOTE SENSING VOOR CLASSIFICATIE EN KWANTIFICATIE
VAN DE VEGETATIE OP GANZENPLEISTERPLAATSEN IN HET
WADDENGEBIED

Remote sensing of vegetation in spring staging areas of brent geese

R.J. Bijlsma

RIN-rapport 89/5

Rijksinstituut voor Natuurbeheer

Arnhem

1989

270689
RIJKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
VESTIGING TEXEL
Postbus 59, 1790 AB Den Burg
Texel, Holland

BIBLIOTHEEK
RIJKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
POSTBUS 9201
6800 HB ARNHEM-NEDERLAND

R.I.N.-RAPPORT **IT**

RUKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
VESTING TEXEL
Postbus 53, 1730 AB Den Burg
Texel, Holland

BIJLAGE
RUKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
POSTBUS 53
1730 AB DEN BURG
TEXEL, HOLLAND



R.I.N.-RAPPORT

INHOUD

VOORWOORD

SAMENVATTING

SUMMARY

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond, doel en benadering

1.2 Vraagstelling

1.3 Onderzoeklocaties

1.4 Basisgegevens

1.4.1 Fotomateriaal

1.4.2 Handreflectiemetingen

1.4.3 Vegetatiegegevens

2 INFORMATIE UIT KLEUREN-INFRAROOD FILM: ALGEMEEN

2.1 Opbouw en eigenschappen van een film

2.2 Gereflecteerde straling

2.3 Analoog geregistreeerde straling: film

2.4 Digitaal geregistreeerde straling: beeldfile

3 INFORMATIE UIT HANDREFLECTIEMETINGEN: ALGEMEEN

4 BEELDVERWERKING

4.1 Voorbewerkingen

4.2 Classificaties

4.3 Vegetatie-indices en biomassa-produktieschatters

4.4 Integratie van grondgegevens

5 RESULTATEN 'OUDE BEWEIDE KWELDER'

5.1 Algemeen

5.2 Voorbewerkingen

5.3 Classificatie

5.4 Vegetatie-indices

5.4.1 Variatie binnen jaren

5.4.2 Variatie tussen jaren

5.5 Handreflectiemetingen

6 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

6.1 Algemeen

6.2 Film, schaal, banden

6.3 Calibratie

6.4 Training set

6.5 Classificatie

6.6 Vegetatie-index

LITERATUUR

VOORWOORD

In 1984, 1985 en 1986 zijn ten behoeve van het rotganzenonderzoekproject van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer en de Rijksuniversiteit Groningen (STW-project GBI 22.0368) luchtfoto's gemaakt van belangrijke pleisterplaatsen op de waddeneilanden. Een deel van dit materiaal is gedigitaliseerd en onderling geregistreerd om digitale beeldverwerking mogelijk te maken. Vluchten, digitalisatie en registratie zijn bekostigd door de Beleidscommissie Remote Sensing als project 'Remote sensing begraasde vegetaties' (TO 2.2).

In 1986 werd op voordracht van dr. G.C. Boere door het Staatsbosbeheer ir. R.J. Bijlsma voor zes maanden aangesteld bij het RIN, afd. Ornithologie, voor de verwerking van de remote sensing gegevens van 1984 en 1985. Deze werkzaamheden werden verricht onder supervisie van drs. G. van Wirdum (afd. Botanie) en drs. B.S. Ebbing (afd. Ornithologie) op het PI-XYS-beeldverwerkingssysteem.

Het onderzoek, waarvan in dit rapport verslag wordt gedaan, heeft aangetoond hoe remote sensing technieken gebruikt kunnen worden voor de bepaling van het voedselaanbod voor ganzen.

Auteur en begeleiders danken drs. J. Prop (RUG, afd. Dieroecologie), dr. D.C.P. Thalen (+), ir. H. Houweling en drs. E.J. van Kootwijk (RIN, afd. Botanie) voor commentaar en opmerkingen bij een eerder concept van dit rapport.

De directie

SAMENVATTING

De Oude Beweide Kwelder (OBK) op Schiermonnikoog is een belangrijke pleisterplaats voor rotganzen tijdens hun winterblijf. Als onderdeel van een onderzoek naar de betekenis van pleisterplaatsen in het Nederlandse waddengebied zijn tijdreeksen gedigitaliseerde kleuren-infraroodfoto's van de OBK uit 1984 en 1985 verwerkt op het PIXYS-beeldverwerkingssysteem van het RIN.

Zowel van 1984 als van 1985 waren drie opnamen beschikbaar nl. van 17.4, 12.5 en 12.6.84 resp. 19.4, 17.5 en 31.5.85. In 1985 zijn handreflectiemetingen met de TFDL-biomassameter verricht. Vegetatiegegevens zijn afkomstig van een vegetatiekaart vervaardigd in 1980 en van veldwaarnemingen in 1985 en 1986.

De centrale vraag in dit deelproject is aan te geven hoe remote sensing technieken gebruikt kunnen worden voor de bepaling van het voedselaanbod van de voor ganzen relevante vegetatietypen en hoe dit aanbod verandert binnen de jaren en verschilt tussen de jaren '84 en '85. Een kwantitatieve benadering vereist geregistreerd en spectraal gecalibreerd beeldmateriaal. Aangezien t.b.v. calibratie tijdens de vluchten geen speciale voorzieningen waren getroffen, is een procedure ontwikkeld die relatieve calibratie mogelijk maakt in de afwezigheid van referentiepanelen in het beeldvlak. De procedure vereist dat in de beelden pixelregio's aanwezig zijn met onbegroeide bodems en veronderstelt dat de ratio's IR/R, IR/G en R/G (IR=infrarood, R=rood, G=groen) van deze pseudo-referenties gelijk aan één zijn. De zgn. ratiocorrectie transformeert per tijdstip de IR-, R- en G-referenties zodanig dat aan deze veronderstelling wordt voldaan. Een tweede stap, de zgn. niveaucorrectie, transformeert de ratio-gecorrigeerde referenties zodanig dat IR-niveaus over alle tijdstippen gelijk worden gemaakt. De gecombineerde transformatiecoëfficiënten worden vervolgens gebruikt om de beelden te transformeren.

Om de relevante vegetatietypen in het beeld te selecteren is een classificatie gemaakt van de OBK uit het IR-, R- en G-beeld van 31.5.85. Van belang zijn met name de clusters *Festuca* (open/dicht) op de hoge(re) kwelder en *Puccinellia* (open/dicht) op de lage kwelder; verder zijn nog kreek+wad, kreekoever, droge bodem en ruigte onderscheiden.

De classificatie is bevredigend en voldoende voor de schaal van

onderzoek. De classificatie van 31.5.85 is als overlay gebruikt voor de overige tijdstippen.

Veranderingen in het voedselaanbod per vegetatietype in de tijd zijn uitgedrukt door gebruik te maken van een vegetatie-index (VI). Deze benut het contrast tussen sterke absorptie van rood licht (geringe reflectie) en sterke reflectie van nabij infrarode straling van een vegetatie. Als alternatief voor de ratio IR/R is $\arctan(IR/R)$ gebruikt met een bereik op 0-90 graden. Deze index is eenvoudig te implementeren en functioneel gelijkwaardig met de uit de literatuur bekende indices ND7 ('normalized difference') en TVI7 ('transformed vegetation index').

De clusters 'kreek+wad', 'kreekoever' en 'droge bodem' vertonen geen duidelijke vegetatieontwikkeling in beide jaren wat een aanwijzing is dat de gevolgde calibratieprocedure redelijk voldoet. In 1984 waren de Festuca-vegetaties half april al beter ontwikkeld dan de Puccinellia-vegetaties (VI=55 resp. 49); beide typen vertonen tot half juni een gestage toename in VI tot niveaus van 67 resp. 64. In 1985 geven half april alleen de Puccinellia-vegetaties een VI-niveau te zien dat duidelijk hoger ligt dan de bodemlijn VI=45; de Festuca-vegetaties zijn dan nog 'bodemachtig'. De VI-waarden voor half mei 1985 wijzen op een zeer snelle ontwikkeling van de Festuca-vegetaties in de periode half april tot half mei tot VI=70-75; ook de Puccinellia-vegetaties ontwikkelen zich dan snel maar blijven iets achter bij Festuca. De tweede helft van mei 1985 vertonen bijna alle clusters een duidelijke afname in VI-niveau, wat in strijd is met de handreflectiemetingen in die periode; de oorzaak van deze discrepantie is onbekend.

Voor zowel 1984 als 1985 is de ordening naar uiteindelijk VI-niveau vrijwel gelijk. Afgezien van 'kreek+wad', 'kreekoever' en 'droge bodem' is deze ordening 'Puccinellia-open' < 'Ruigte' < 'Puccinellia-dicht' <= 'Festuca-open' < 'Festuca-dicht'.

De precieze interpretatie van VI-waarden in termen van biomassa, produktie of LAI moet achterwege blijven door gebrek aan grondgegevens en de onzekere uitwerking van de gevolgde calibratieprocedure. Wel staat vast dat wanneer specifieke grondgegevens zouden zijn verzameld voor calibratie en interpretatie van de foto's en het beeldmateriaal, de digitale verwerking van delen van de foto's significant meer had kunnen bijdragen aan het inzicht in de ontwikkeling en de beschikbaarheid van voedsel voor ganzen voor de diverse vegetatietypen. Voor een dergelijke werkwijze worden duidelijke aanbevelingen gedaan.

SUMMARY

In 1984, the University of Groningen and RIN undertook a joint project on the significance of spring feeding areas for the reproductive success of brent geese, *Branta bernicla bernicla*. The conditions during the staging period are known to be important for subsequent breeding performance (Ebbinge et al. 1982; Teunissen et al. 1985).

The main staging habitats lie in the Dutch Wadden Sea and comprise salt marshes as well as pastures. For monitoring of vegetation development during spring staging, three overflights were planned in 1984 and 1985 to record the most important habitats on 9-inch colour infrared photographs (scale 1:4000). Some of the images were digitized and geometrically registered. Flights, digitization and registration were funded by the Beleidscommissie Remote Sensing (Netherlands Remote Sensing Board).

In 1986, a pilot study was carried out to evaluate digital image processing techniques for the classification of salt-marsh vegetation and the assessment of vegetation development (biomass, production) in an area on the Frisian island of Schiermonnikoog. The study was funded by Staatsbosbeheer (National Forest Service) and performed on the PIXYS image-processing station of the Institute.

Vegetation-development assessment from a time series of digitized FC photographs assumes calibrated imagery. Due to the effects of numerous factors (age of film, atmospheric conditions, size of digitization aperture etc.) raw pixel values are not directly comparable between channels of one date and between images of different dates. The presence of reference targets in the scene is a prerequisite for a calibration procedure. Because no special provisions had been made for calibration during the overflights, an alternative procedure for relative calibration was developed.

This procedure is based on the assumption of the existence of pixel regions with bare soil and utilizes the similarity of the reflectance values of bare soil in green, red, and infrared. Moreover, the effect of soil moisture on the reflectance in the green, red, and infrared is similar (Clevers 1985). The reflectance ratios of bare soil are therefore close to unity and insensitive to differences in soil moisture.

Two regions, one related to bare dune sand and the other to a muddy creek were selected stereoscopically. Mean pixel values of these

"reflectance targets" were calculated for each channel and corrected such that each channel accounted for one-third of the pixel value obtained by summation over the three channels for each date. This calibration step was called ratio correction. A second step, level correction, was performed by setting the mean pixel values of the ratio-corrected infrared images equal to the over-all mean for each reference. The combined coefficients obtained by the two linear transformations were calculated for each channel and applied to all of the pixels.

In the study area (Oude Beweide Kwelder on the island of Schiermonnikoog) two main vegetation types were distinguished by the ornithologists: a *Festuca rubra*-dominated upper merse and a *Puccinellia maritima*-dominated lower merse. A *Juncus maritimus* belt marks the transition between these two types.

The images obtained on 31.5.1985 were used to select training pixels more or less homogeneously distributed over the feature space, and a cluster analysis was performed on the training set. In the final classification eight clusters were recognized: the vegetation types *Festuca*-closed, *Festuca*-open, *Puccinellia*-closed, *Puccinellia*-open, a residual group of tall herbaceous vegetation, and, in addition, creeks, creek banks and dry bare soil (Fig. 12). This classification was used as an overlay for all of the images made in 1984 (17.4, 12.5, 12.6) and 1985 (19.4, 17.5, 31.5) to study vegetation development in each separate cluster.

The spectral properties of vegetation, wet and dry soil, and clear and turbid water are illustrated as idealized reflectance patterns in Fig. 2. The low reflectance (high absorption) of the visible part of the spectrum (400-700 nm) and the high reflectance of near-infrared light (>700 nm) by vegetation are evident. This contrast justifies the derivation of what we call vegetation indices (VIs), which are functions of infrared (IR) and red (R) reflectance. Most of the formulas are based on ratios or linear combinations, e.g. the ratio $R=IR/R$ and the normalized difference $ND=(IR-R)/(IR+R)$.

In this study use was made of the index $AR=\arctan(R)$, which can easily be implemented in FORTRAN by using the intrinsic function ATAN2D and which ranges from 0 ($IR=0; R>0$) to 90 ($IR>0; R=0$). The indices mentioned are functionally equivalent (Perry & Lautenschlager 1984).

For each date, digital VI images were calculated and overlaid with the classified image. Mean and standard deviation of the VI values per

cluster were determined for comparison of the development of the vegetation types in 1984 and 1985.

Due to the calibration procedure, all VI values of the non-vegetation types are supposed to be close to 45. Fig. 14 illustrates this behaviour for creeks and mudflats in 1984 and 1985 which increases confidence in the procedure. The course of the VI of the main vegetation types *Festuca* and *Puccinellia*, shows marked differences (fig. 14). In mid-April of 1984 the *Festuca* types were better developed than the *Puccinellia* types (VI=55 vs. 49). Both types show a steady increase of the VI up to mid-June (VI=67 vs. 64). In mid-April of 1985, only the *Puccinellia* types on the lower merse show VI values significantly higher than the "soil line" (VI=45). In the period between 19.4 and 17.5 the *Festuca*-dominated higher merse outgrew the lower merse (VI=70-75 for *Festuca*). Fig. 15 shows the VI images of 19.4 and 17.5.1985 for an area corresponding to the right side of Fig. 12. The decrease of the VI in the 17.5-31.5.1985 period for all the clusters has not yet been explained satisfactorily.

The available imagery was not optimal for quantitative assessment of the development of the vegetation types under study, but the usefulness of remote sensing and the approach followed for this type of study is evident. The scale ranging from 1:4000 to 1:5000 proved to be appropriate for the required ground resolution of about 0.5 meter. The red and green information on the FC transparencies showed a very high degree of correlation, and digitizing could have been limited to two bands (infrared and red information).

For reliable detailed calibration the use of reference panels with known reflectance properties is obligatory. Measurements made with a hand spectrometer would have been provided valuable additional information on vegetation and soil reflectance characteristics. If such reference values are not available, calibration might be attempted with the bare-soil approach discussed here.

The $\arctan(IR/R)$ vegetation index proved to be valuable for graphical interpretation and simple implementation.

For optimal use of remote sensing of vegetation in grazing studies, information on the relation between spectral properties and aerial biomass and preferably also food quality must be available.

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond, doel en benadering

Het gebruik van remote sensing methoden is bij uitstek nuttig voor het verkrijgen van inzicht in patronen van bovengronds waarneembare eigenschappen van vegetatie en bodem. Tijdreeksen kunnen dienen voor het vastleggen en analyseren van veranderingen in deze eigenschappen. Grondgegevens in de vorm van steekproeven maken calibratie en interpretatie mogelijk. Toepassing van deze methoden in het natuurbeheer lijkt veelbelovend waar gewerkt wordt in moeilijk toegankelijke of kwetsbare terreinen en waar monitoring een rol speelt.

Het onderhavige onderzoek maakt deel uit van een project van het RIN en de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) vakgroep Dieroecologie, waarin onderzoek wordt verricht naar de betekenis van pleisterplaatsen in het Nederlandse waddengebied voor de voortplantingscyclus van de rotgans. De rotgans is herbivoor. De voedselkeuze, i.c. de selectie van plantesoorten, heeft invloed op de kans nakomelingen te krijgen (Teunissen et al. 1985).

Kennis van het ruimtelijk patroon van vegetatietypen op de pleisterplaatsen en inzicht in de snelheid waarmee binnen deze typen plantaardig materiaal als voedsel voor de ganzen beschikbaar komt, zijn voor het onderzoek van belang. De component remote sensing is aan het onderzoek toegevoegd om na te gaan of het mogelijk is de ruimtelijke verdeling van het voedselaanbod in de tijd vast te leggen. Deze vraagstelling stelt eisen aan de informatie-inhoud van het materiaal, te vertalen in spectrale en ruimtelijke resolutie. Voor het schatten van biomassa en produktie is nabij-infrarode informatie onontbeerlijk; de ruimtelijke resolutie (schaal, pixelgrootte) moet voldoende zijn om b.v. de oeverwallen langs kreken te kunnen onderscheiden.

De numerieke vergelijking en kwantitatieve analyse van spectrale informatie binnen en tussen opnamen vereisen bovendien geometrisch gecorrigeerd beeldmateriaal en gekwantificeerde beeldinformatie. Aan deze eisen werd voldaan door grootschalige 23 cm kleuren-infrarood diapositieven te digitaliseren en vervolgens te registreren. Dit gebeurde met materiaal van de onderzoeklocaties op Texel en Schiermonnikoog (zie 1.3) opgenomen in 1984 en 1985. Afgezien van dit beeldmateriaal (zie 1.4.1) zijn er van enkele deelgebieden grondgegevens in de vorm van handreflectiemetingen (zie 1.4.2) en vegetatiegegevens (zie 1.4.3).

Hoofdstuk 2 beschrijft hoe reflectiewaarden via kleuren infrarood film uiteindelijk op magneetband beschikbaar komen voor verwerking en welke factoren dit registratieproces beïnvloeden. De problemen die zich voordoen bij de interpretatie van handreflectiemetingen zijn kort samengevat in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 documenteert de gebruikte beeldverwerkingsmethoden en voorbewerkingen. Resultaten van het in detail uitgewerkte onderzoekgebied Oude beweide kwelder (Schiermonnikoog) zijn bijeengebracht in hoofdstuk 5.

Het laatste hoofdstuk bevat een discussie met vooral aandacht voor methodologische problemen en de biologische relevantie van de resultaten.

1.2 Vraagstelling

Voor het onderzoek zijn de volgende (deel-)vraagstellingen geformuleerd:

1. Kunnen de voor rotganzen relevante vegetatie-eenheden spectraal worden gekarakteriseerd?
2. Wat is het verspreidingspatroon van de relevante typen?
3. In welke volgorde komt het door deze vegetatietypen geproduceerd voedsel voor de ganzen beschikbaar?
4. Verschilt het voedselaanbod per vegetatie-eenheid binnen en tussen de jaren 1984 en 1985?

1.3 Onderzoeklocaties

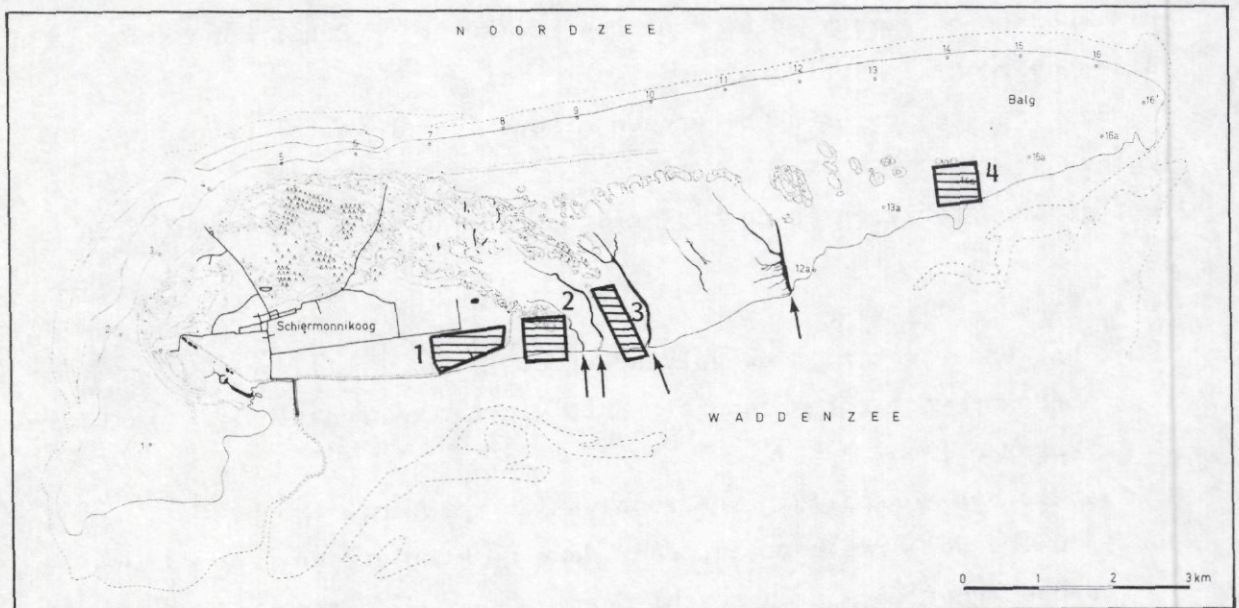
Texel

Percelen cultuurgrasland in polder De Eendracht bij Zeeburg ten zuidoosten van De Cocksdorp; bekend vogelgebied aan de Waddendijk, beheerd door het Staatsbosbeheer.

Schiermonnikoog (zie fig. 1)

1. Percelen cultuurgrasland in de Banckspolder ten westen van het veldbiologisch station De Herdershut (RUG) aan de waddendijk.
2. De zgn. Oude Beweide Kwelder (OBK) tussen de Banckspolder en de eerste slenk: een sinds 1958 t.b.v. beweiding door vee afgerasterd gebied met stukken lage en hoge kwelder, oeverwallen en lage duintjes.
3. De zgn. Nieuwe Beweide Kwelder (NBK) tussen de eerste en tweede slenk: een in 1972 in beweiding genomen kweldergebied.

4. De onbeweide kwelder ten zuidwesten van het Willemsduin tussen de zevende en achtste slenk ten oosten van paal 13A: een gebied met een voornamelijk lage kweldervegetatie, naar het noorden toe overgaand in lage duintjes met grazige vegetaties die periodiek worden gemaaid.



- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1 Banckspolder | 3 Nieuwe Beweide Kwelder |
| 2 Oude Beweide Kwelder | 4 Willemsduin |

Fig. 1. Pleisterplaatsen op Schiermonnikoog. 1: Banckspolder; 2. Oude Beweide Kwelder; 3: Nieuwe Beweide Kwelder; 4: Willemsduin. Hoofdslenken zijn met pijltjes aangegeven.

Spring staging areas on the island of Schiermonnikoog. 1: Banckspolder; 2: Oude Beweide Kwelder; 3: Nieuwe Beweide Kwelder; 4: Willemsduin. Main creeks are indicated by arrows.

De kweldervegetaties (2-4) maken deel uit van een staatsnatuurreserveert, beheerd door de Dienst der Domeinen. Aangezien momenteel alleen van de OBK grondgegevens (handreflectiemetingen, vegetatiegegevens) beschikbaar zijn, is alleen dit gebied in detail uitgewerkt (hoofdstuk 5). Een overzicht van de vluchtdata en data waarop handreflectiemetingen zijn uitgevoerd, is voor de OBK in 1985 opgenomen in tabel 1.

Tabel 1. Data in 1985 waarop handreflectiemetingen zijn verricht voor de Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog en vluchtdata.
Dates in 1985 for which spectrometer measurements are available of the Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog, and flight dates

	handreflectiemeting	vlucht
7/4	x	x
19/4		x
20/4	x	
30/4	x	
3/5	x	
6/5	x	
15/5	x	
17/5	x	x
25/5	x	
31/5		x

1.4 Basisgegevens

1.4.1 Fotomateriaal

Van alle in 1.3 genoemde locaties zijn de meeste 9-inch diaposities uit 1984 en 1985 gedigitaliseerd op het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) te Amsterdam. Tabel 2 geeft een overzicht van de betrokken foto's met nummers, schalen e.d. voor de OBK.

Tabel 2. Fotogegevens voor de opnamen in 1984 en 1985 van de Oude Beweide Kwelder.

Day of recording, number, scale of master photo, time of the day and digitization stops (red/green/blue) for the FC-photos of the Oude Beweide Kwelder in 1984 and 1985

datum	nummer	schaal master	tijdstip	digitalisatie stops R/G/B
17.4.84	2404		15.32	onbekend
12.5.84	5242		14.59	onbekend
12.6.84	4560		17.01	onbekend
19.4.85	2466		13.32	11/8/5.6
17.5.85	4591	1:4000	15.54	8/8/5.6
31.5.85	6875		14.28	11/11/5.6

Per locatie is op één foto (master) het te digitaliseren gebied aangegeven door in de foto aangebrachte gaatjes. Deze paspunten zijn vervolgens met een stereoscoop overgebracht op alle overige foto's van die locatie. Op deze wijze is op elke foto een te digitaliseren gebied van ca. 10x10 cm aangegeven, dat bij de gebruikte schaal 1:4000 correspondeert met een grondoppervlak van ca. 400x400 m. Deze deelgebieden zijn gedigitaliseerd tot beelden van 1024x1024 pixels (beeldelementen) met een grondresolutie van ca. 40x40 cm per pixel.

Elke dia is gedigitaliseerd door een standaard Kodak rood, groen en blauw gelatinefilter, wat resulteert in datafiles met resp. infrarode, rode en groene informatie (zie hoofdstuk 2). Doordat niet alle dia's per locatie dezelfde schaal hebben en de beelden ten opzichte van elkaar kunnen zijn verschoven of gedraaid, is het niet zonder meer mogelijk overeenkomstige pixels van beelden gemaakt op verschillende tijdstippen met een zelfde coördinatenpaar te karakteriseren. Hiertoe moeten alle beelden per lokatie worden geregistreerd t.o.v. desbetreffende master, door tenminste vier punten, b.v. de vier stereoscopisch overgebrachte hoekpunten van de deelgebieden, zowel op de master als op het te registreren beeld aan te wijzen, waarna beeldtransformaties worden uitgevoerd. De geregistreerde beelden komen op deze wijze voorbereid uiteindelijk op magneetband beschikbaar voor verdere verwerking. De banden zijn gedokumenteerd en worden onderhouden door het RIN; een backup bevindt zich op het NLR.

1.4.2 Handreflectiemetingen

Medewerkers en studenten van de RUG hebben op de OBK in 1984 en 1985 handreflectiemetingen verricht van begin april tot eind mei (zie tabel 1 voor de data uit 1985). Doorgaans is per locatie op vaste punten of langs gemarkeerde raaien gemeten; helaas zijn de opnamepunten niet met zekerheid in het fotomateriaal terug te vinden. Er is gebruik gemaakt van de 'biomassameter' van het RIN, ontwikkeld door de TFDL te Wageningen. Met deze meter kan o.m. gereflecteerde infrarode, rode en groene straling worden geregistreerd t.o.v. het van boven invallende licht. Het sensorgedeelte van de meter bestaat uit twee fotocellen en een trommel waarop onder hoeken van 120° filters zijn aangebracht met piektransmissies in infrarood, rood en groen. Tijdens een meting draait de trommel tussen de fotocellen en de meetopeningen in het meterkastje, waarbij door elk filter achtereenvolgens naar boven (= invallende straling: 'referentie') en naar beneden (= gereflecteerde straling: 'object') wordt gemeten. Gezien de snelheid waarmee de trommel ronddraait kunnen de zes metingen als momentaan worden beschouwd. Voor de meetopening van het invallende licht is een grijsfilter aangebracht dat de straling afkomstig van de hemisfeer boven de opening ca. tien keer verzwakt. Voor de naar beneden gekeerde meetopening kunnen diafragma's worden aangebracht. Het verwerkingsgedeelte van de meter bestaat uit een SHARP PC-1211 die is geprogrammeerd om de metingen om te rekenen naar relatieve reflecties die direct na elke meting worden geprint. Enkele gegevens van de gebruikte meter zijn bijeengebracht in tabel 3; de filterkarakteristieken zijn opgenomen als Figuur 2a.

Tabel 3. Karakteristieken van de TFDL-biomassameter (RIN-Arnhem)
Characteristics of the spectrometer

trommelnummer:	13980	
meternummer	:	13988.4
kopnummer	:	13980
diafragma	:	22 mm (geeft grondoppervlak van 75x75 cm vanaf 1 m)
banden	:	centrale golflengte piektransmissie
groen	550 nm	50%
rood	660 nm	70%
infrarood	840 nm	45%

Door de aanwezigheid van het grijsfilter zijn geen absolute reflectiepercentages te berekenen; calibratie is niet uitgevoerd. De object- en referentiereflecties zijn ondergebracht in datafiles, geordend naar locatie, datum en opnamepunt.

1.4.3 Vegetatiegegevens

Van de locatie OBK is een gedocumenteerde vegetatiekaart 1:2000 beschikbaar, gemaakt in 1980 (Kasteleijn 1985). Belangrijke delen vooral van de lage kwelder zijn hierop helaas als mozaïeken van diverse legenda-eenheden gekarteerd; bovendien is de ligging van de kreken niet aangegeven. Dit betekende een belangrijke beperking voor de gebruiksmogelijkheden als referentie. In dit rapport wordt een aantal verkorte plantennamen gebruikt:

Aster tripolium (zulte): aster, zeeaster

Artemisia maritima (zeealsem): Artemisia, zeealsem

Festuca rubra (rood zwenkgras): Festuca, zwenkgras

Puccinellia maritima (gewoon kweldergras): Puccinellia, kweldergras

2 INFORMATIE UIT KLEUREN-INTRAROOD FILM: ALGEMEEN

2.1 Opbouw en eigenschappen van een film

De kleuren-IR-film bevat drie emulsielagen: een cyaan-, magenta- en geelvormende laag. Bij opnamen met deze film wordt op de camera een geel-filter aangebracht waarmee wordt voorkomen dat blauw licht de film bereikt. De cyaan-, magenta- en geelvormende lagen zijn gevoelig voor resp. nabij-infrarood (700-900 nm), rood (600-700 nm) en groen (500-600 nm) licht. Het 'false colour' karakter van de film blijkt uit de kleur-toekenning: infrarode, rode en groene straling worden afgebeeld op resp. rood, groen en blauw (Fig. 2c).

De spectrale gevoeligheid S is omgekeerd evenredig met de belichting H (luxseconde; $\text{Joule} \cdot \text{m}^{-2}$) die nodig is om een eenheid densiteit te bereiken: $S=1/H$.

Hoe minder licht nodig is om het positief 'licht' te doen lijken, hoe gevoeliger de film (c.q. emulsie). In Figuur 2c is $\log S$ uitgezet tegen de golflengte voor de drie emulsies. Uit deze figuur blijkt dat de cyaan-, magenta- en geelvormende lagen maximaal gevoelig zijn voor resp. infrarood, rood en groen licht, maar ook dat met name de cyaanvormende emulsie rood en zelfs groen licht zal registreren! In deze figuur valt verder op dat de cyaanvormende laag minder gevoelig is ('lager ligt') voor infrarood dan de magenta- en geelvormende lagen voor resp. rood en groen: de cyaanvormende laag is langzamer dan de andere lagen. Dit is van belang in relatie tot het registreren van vegetatierreflecties.

Figuur 3 geeft de $D \log H$ -krommen voor de afzonderlijke emulsies. De densiteit D is een maat voor de densitometrisch te bepalen 'zwarting' (in negatief!) en hangt samen met de transmissie T en opaciteit O als weergegeven in tabel 4.

Tabel 4. Relaties tussen densiteit D , transmissie T en opaciteit O .
Relations between density D , transmission T and opacity O .

	symbool	bereik
Transmissie	T	ca. 0.01-1
Opaciteit	$O=1/T$	ca. 1-100
Densiteit	$D=\log O$	ca. 0-2

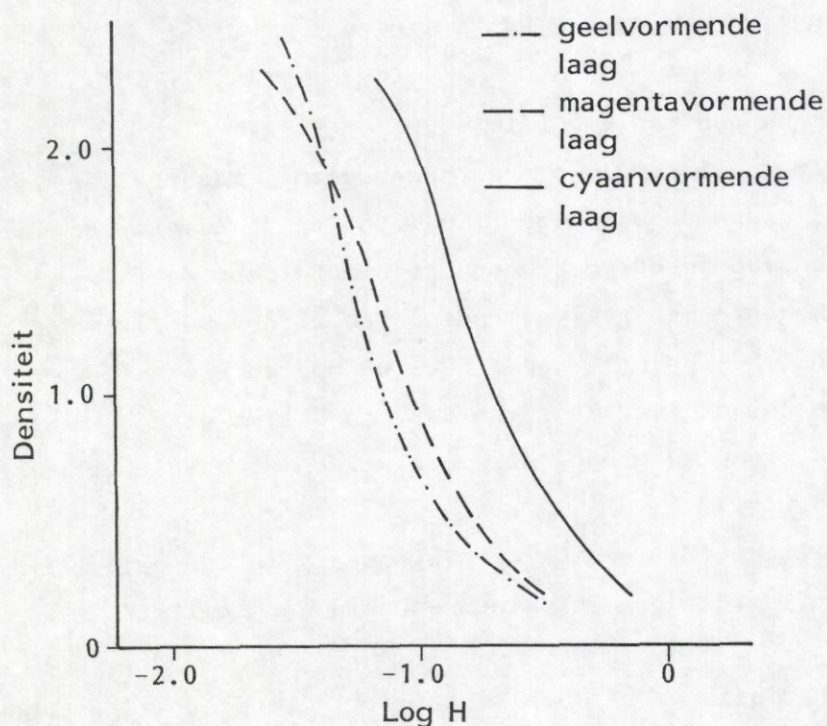


Fig. 3. DlogH-krommen voor de emulsies van een FC-film. Uit: Johansen 1982

Characteristic curves (density vs. logH) of the yellow (), magenta (), and cyan () forming layer of a FC-film. Redrawn from Johansen 1982.

pagina 19:

Fig. 2. Spectrale eigenschappen van filters, grondobjecten en film.

A: Filterkarakteristieken TFDL-"biomassameter".

B: Gegeneraliseerde reflectiekarakteristieken van vegetatie, bodem (droog en nat), en water (helder en troebel). Naar: Townshend 1981.

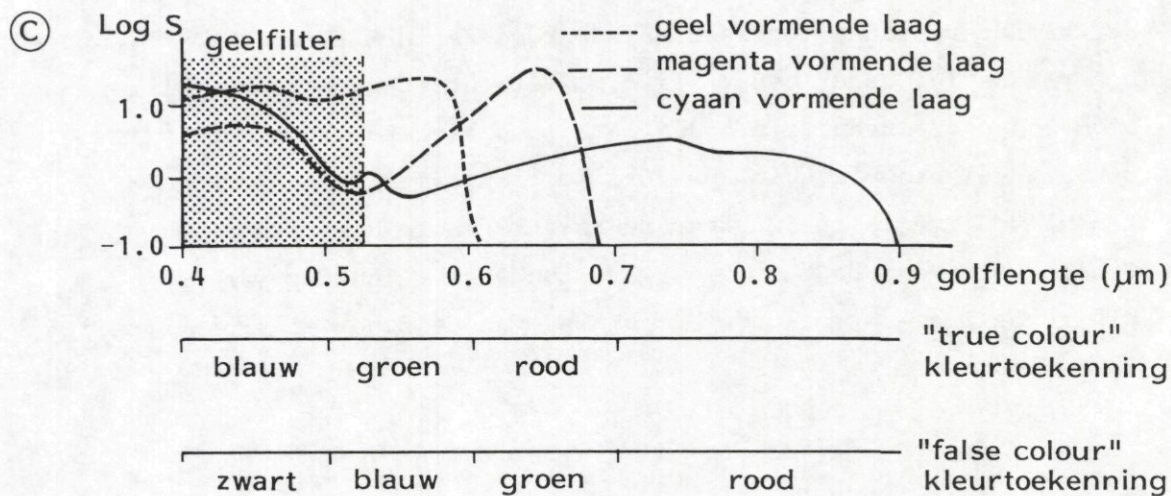
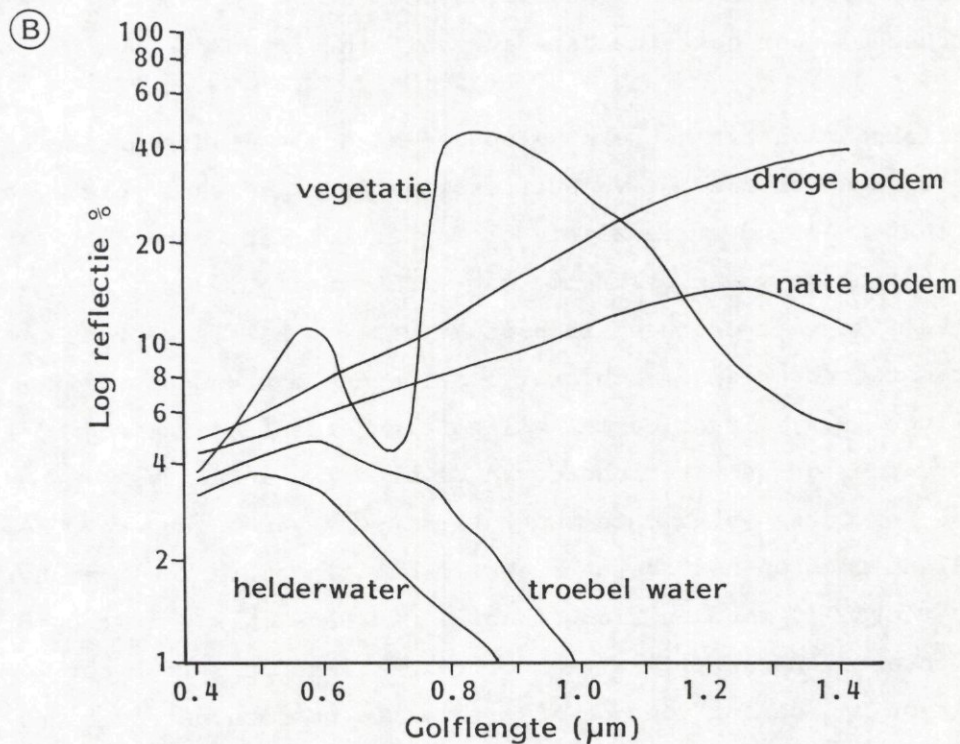
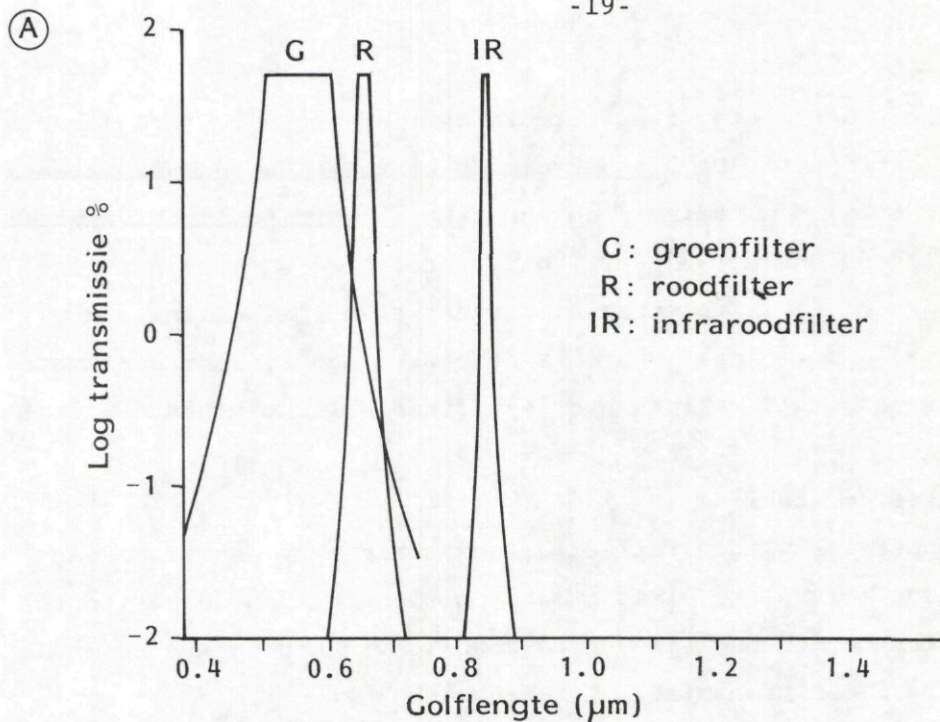
C: Gevoeligheidskrommen van FC-emulsies en kleurtoekenning TC- en FC-film. Uit: Johansen 1982.

Spectral characteristics of filters, ground objects and film.

A: Filter characteristics of TFDL-spectrometer (log transmission % vs. wavelength). G: green filter; R: red filter; IR: infrared filter.

B: Generalized reflectance curves for vegetation, dry and wet soil and clear and turbid water (log reflectance vs. wavelength). Adapted from Townshend 1981.

C: Sensivity of the yellow (), magenta () and cyan () forming layer of a FC-film (log sensivity vs. wavelength). Redrawn from Johansen 1982. The colour assignment is indicated for TC-film: 0.4-0.5 blue, 0.5-0.6 green, 0.6-0.7 red, and for FC-film 0.4-0.5 black, 0.5-0.6 blue, 0.6-0.7 green, 0.7-0.9 red.



Hoe transparanter een meetpunt op het diapositief (hoge T), hoe lager de dichtheid van het 'punt'. De DlogH-kromme beschrijft dus de hoeveelheid 'licht' (belichting) die nodig is om een zekere zwarting in het negatief te bewerkstelligen. Ook uit Figuur 3 blijkt dat de cyaanvormende laag langzamer is dan de geel- en magentavormende lagen. De helling van de krommen ('gamma') is een maat voor het contrast: hoe steiler een kromme, hoe groter het dichtheitsverloop over een zeker belichtingsinterval.

2.2 Gereflecteerde straling

Aan het aardoppervlak vinden reflectie, absorptie en transmissie van elektromagnetische straling plaats; mate en richting van de reflectie zijn per golflengte afhankelijk van de ruwheid van het oppervlak en de mate van absorptie en transmissie. In Figuur 2b zijn 'ideale' reflectiekrommen opgenomen van vegetatie, bodem (droog en nat) en water (helder en troebel) voor het zichtbare en nabij infrarode deel van het spectrum.

De vegetatiekromme heeft betrekking op een zich als blad gedragende vegetatie, b.v. een weiland. De vegetatiereductie is causaal gerelateerd met de LAI (leaf area index: eenzijdig bladoppervlak per eenheid bodemoppervlak); de vorm van de kromme kan variëren t.g.v. dag- en seizoenafhankelijke veranderingen in produktiviteit. LAI is doorgaans gecorreleerd met de hoeveelheid chlorofyl per eenheid grondoppervlak (Curran & Milton 1983). Naast de met LAI gerelateerde factoren zijn ook de mesofylstructuur en de waterinhoud van de bladeren en de fysiologische status van de vegetatie (b.v. mate van waterstress) van belang voor de reflectie. Bladpigmenten absorberen sterk in het zichtbare deel van het EM-spectrum, vooral in rood en blauw. Nabij infrarood (NIR) licht wordt sterk gereflecteerd en nauwelijks geabsorbeerd. Hierdoor is ook het aantal bladlagen van belang voor de NIR-reflectie tot een verzadigingswaarde is bereikt.

Het karakteristieke contrast tussen rood- en NIR-reflectie ('red edge') van vegetaties wordt benut bij o.m. vitaliteitsonderzoek en LAI- en biomassaschattingen (zie 4.3). In 2.1 is aangegeven dat de infraroodgevoelige emulsie in een FC-film 'langzamer' is dan de rood- en groengevoelige lagen. Ondanks de relatief hoge NIR-reflectie van vegetaties wordt daardoor in veel gevallen overbelichting van de NIR-gevoelige laag of onderbelichting van de rood- en groengevoelige lagen voorkomen.

De vorm van de bodemkromme komt tot stand door toedoen van een groot aantal, deels onderling afhankelijke eigenschappen, zoals bodemkleur, -structuur en -textuur en gehalte organische stof en water.

De waterkromme is vooral gekenmerkt door een sterke absorptie in met name NIR en door transmissie. Waterdiepte, golfslag en aard en hoeveelheid waterplanten en gesuspendeerd materiaal zijn belangrijke factoren voor de reflectieve eigenschappen.

2.3 Analooq geregistreeerde straling: film

Kwaliteit en kwantiteit van de gereflecteerde straling worden gemodificeerd door absorptie en verstrooiing in de atmosfeer tussen object en camera. Samenstelling en hoeveelheid van de straling die de film bereikt, worden bepaald door absorptie in het geelfilter (Kodak Wratten 12) en de lenzen en verder door tal van camera-eigenschappen en -instellingen (diafragma, sluitertijd, vignettering e.d.).

In welke mate de stralingsenergie vervolgens leidt tot de vorming van kleurstof in de cyaan-, magenta- en geelvormende lagen, wordt beïnvloed door de ouderdom van de film (N.B. De gevoeligheid van de cyaanvormende laag neemt af!), de wijze waarop de film wordt bewaard en het ontwikkel-procédé. 'Over de constantheid van de kleurweergave van FC-film hoeft men zich dan ook weinig illusies te maken' (Eikenaar & Loedeman 1983).

2.4 Digitaal geregistreeerde straling: beeldfile

Het is niet zonder meer mogelijk de densiteitskrommen voor de afzonderlijke lagen in de FC-dia te bepalen. Doorvallend licht levert integrale densiteiten i.t.t. de analytische densiteiten die voor de afzonderlijke lagen gelden. Gezien de overlappende gevoeligheidskrommen van de kleuren-IR-film (Fig. 2c) is het derhalve niet mogelijk de infrarode, rode en groene informatie strikt gescheiden terug te winnen.

Desondanks wordt er bij het digitaliseren uitgegaan van discrete kleurinformatie. Wanneer een FC-dia wordt gedigitaliseerd door achtereenvolgens een rood-, groen- en blauwfilter, wordt de kleurvector voor elk beeldelement als het ware geprojecteerd op resp. infrarode, rode en groene deelruimten.

In de onderhavige situatie levert digitalisatie per FC-dia drie beeldfiles met resp. infrarode, rode en groene informatie. Elke file bestaat uit 1024 beeldlijnen en 1024 beeldelementen (=pixels) per lijn. De pixelwaarden vormen een opaciteitsschaal van 0 (=zwart) tot 255 (=wit). Van

belang bij de interpretatie van deze waarden is dat voor de verschillende digitalisatiefilters verschillende diafragmastops (kunnen) zijn gebruikt om onder- of overbelichting van het beeld te voorkomen.

3 INFORMATIE UIT HANDREFLECTIEMETINGEN: ALGEMEEN

Op een aantal locaties zijn handreflectiemetingen uitgevoerd om de vegetatieontwikkeling tussen de vluchten te kunnen volgen en om regressies van vegetatie-indices te kunnen opstellen d.w.z. functies van rood- en infraroodreflecties, op LAI of biomassa. De problemen met de calibratie van FC-beelden zijn ingeleid in hoofdstuk 2 en worden uitgewerkt in 4.1. De relatie tussen LAI, biomassa, produktie en vegetatie-indices is onderwerp van veel onderzoek (zie 4.3). De volgende factoren blijken van invloed te zijn op het reflectiegedrag van vegetaties (vergelijk ook 2.2):

- Bodem

Kleur, structuur (ruwheid), textuur, vocht- en organische stofgehalte zijn deels gecorreleerde eigenschappen die niet-additief bijdragen aan het reflectiespectrum van bodem-vegetatie (Huete et al. 1985). Bij toename van het vochtgehalte neemt de reflectie af. Deze afname is van dezelfde orde van grootte voor golflengten tussen 500 en 900 nm; reflectieratio's zijn dus onafhankelijk van het vochtgehalte van de bodem (Janse & Bunnik 1974, Clevers 1986). De bodemcomponent in het totale spectrum kan door verwelking van de vegetatie (hangende bladeren!) in korte tijd veranderen.

- Seizoen

Naarmate de vegetatie in de loop van het seizoen verkleurt, zal het reflectiepercentage van het zichtbare licht toenemen (rood: ca. 5 tot ca. 35) en van het nabij infrarode licht vrijwel gelijkblijven (van ca. 35 tot ca. 40), dit bij gelijkblijvende LAI (Colwell 1974). Vooral in (half-)natuurlijke vegetaties is de fractie dood plantemateriaal van belang voor de interpretatie van vegetatie-indices (zie 4.3).

- Hoeken van inschijn en observatie

De zonnestand of zenithale hoek van inschijn (Z_s) bepaalt oppervlak en diepte van de schaduw in een niet-Lambertiaans reflecterende vegetatie afhankelijk van de structuur ('ruwheid') van de vegetatie en de mate van transmissie. Afhankelijk van de zenithale hoek van observatie (Z_v) wordt meer of minder bodem waargenomen. De azimuthale kijkhoek (A_v) bepaalt bij gegeven zonnestand het schaduwaandeel in de totale reflectiekarak-

teristiek (vergelijk Fig. 4).

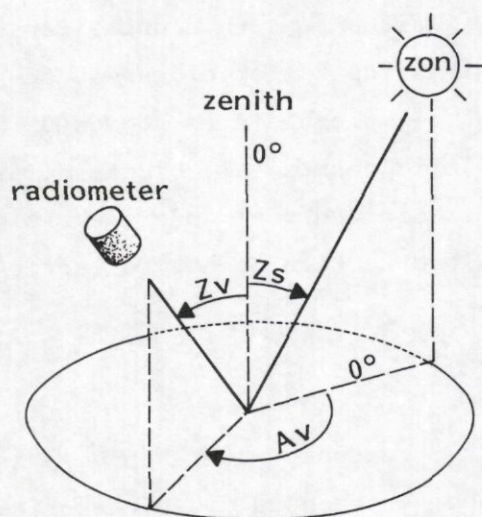


Fig. 4. Overzicht hoeken van inschijn en observatie. A_v : azimuthale hoek van observatie; Z_s : zenithale hoek van inschijn; Z_v : zenithale hoek van observatie. Uit: Shibayama & Wiegand 1985. Geometry of measurements. A_v : view azimuth angle; Z_s : solar zenith angle; Z_v : view zenith angle. Redrawn from Shibayama & Wiegand 1985.

- Vegetatieruwheid

De ruwheid van een vegetatie bepaalt het meer of minder diffuse of spiegelende reflectieve gedrag. Het effect van zonnestand op schaduwvorming in de vegetatie zal toenemen met de ruwheid van het vegetatieoppervlak.

- Veranderingen op korte termijn

Het oppervlak zichtbare bodem kan snel veranderen door tijdelijke verwelking of het verwaaien van bladeren. De hoeveelheid schaduw in een vegetatie verandert sterk bij wisselende bewolking. Dauwvorming en regen beïnvloeden de bodemkleur en de vochtigheid van het bladoppervlak, hetgeen resulteert in een verminderde NIR-reflectie. Elk van deze gebeurtenissen leidt tot veranderingen in rood- en/of infrarood-reflecties.

- Fenologie

Dat seizoen effecten in hoge mate het reflectiespectrum beïnvloeden is evident. Ook het in bloei geraken van soorten kan tijdelijk van belang

zijn. Dit geldt niet alleen voor soorten met opvallende bloemen zoals zeeasters (Esselink & Van Gils 1985), maar ook voor grasachtigen (Thalen et al. 1980).

De gebruikte biomassameter (zie 1.4.2) is betrekkelijk ongevoelig voor verschillen in meethoogte, diafragma, kijkhoek en versterking (Van Wirdum 1983).

De handreflectiemetingen op de OBK zijn in 1984 en 1985 uitgevoerd in de maanden april, mei en juni in lage, zich ontwikkelende vegetaties van zwenkgras en kweldergras, doorgaans tussen 13.00 en 18.00 h en altijd vanuit nadirpositie.

De belangrijkste factoren in het spectrum van bodem-vegetatie-schaduw zijn hier de aanwezigheid van dood gras en de textuur en het vochtgehalte van de bodem. Dood gras speelt een rol in de zwenkgrasvegetaties die vooral voorkomen op de hoge kwelder en op kreekruggen die zandiger (lichter, beter ontwaterd) zijn dan de lage delen van de kwelder waar kweldergras optimaal voorkomt. De bodem- en vegetatie-effecten zijn dus verstrengeld.

4 BEELDVERWERKING

De programmatuur van het RIN-PIXYS beeldverwerkingsstelsel is geïmplementeerd op een PDP-11/23+ (RSX11M operating system) met als randapparatuur o.m. een AED 767 kleurenterminal, een Tektronix 4695 inkjetplotter en een Polaroid videoprinter.

De beeldverwerkingsprogrammatuur is afkomstig van de Landbouwuniversiteit Wageningen en maakt voor statistische berekeningen gebruik van het PATIMA-pakket (Van Wirdum 1986).

De systeemconfiguratie en de mogelijkheden van het beeldverwerkingspakket zijn in detail beschreven door Van Kootwijk (1985).

4.1 Voorbewerkingen

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat pixelwaarden afkomstig van verschillende dia's niet zonder meer met elkaar vergeleken kunnen worden onder meer als gevolg van verschillen in atmosferische invloed, digitalisatiediafragma, belichtingstijd en filmontwikkelaars.

De pixelwaarden hebben per beeld doorgaans een bereik van ca. 10-120 en zijn te beschouwen als opaciteitswaarden die lineair zijn gerelateerd met de belichting H (zie 2.1). Aanpassing van de waarden is mogelijk wanneer een of meer reflectiepanelen in het beeldvlak aanwezig waren tijdens de opnamen (Lillesand & Kiefer 1979, Curran 1980, Curran et al. 1981). De reflectie-eigenschappen van de panelen moeten zo zijn dat de corresponderende densiteiten op het rechte deel van de $D \log H$ -kromme liggen (vergelijk Fig. 3).

De Lillesand-Kiefer-methode berekent een regressie van pixelwaarden of densitometrisch bepaalde opaciteitswaarden op bekende reflectiewaarden van referentiepanelen. De regressiecoëfficiënten kunnen worden gebruikt om de overige pixelwaarden te transformeren. Het toepassen van standaard lineaire regressieanalyse gaat voorbij aan tal van fysische en statistische problemen (zie o.m. Curran & Hay 1986) en is hierom af te raden. Curran (1980) en Curran et al. (1981) pleiten voor het uitvoeren van een gammastandaardisatie voordat de opaciteitswaarden worden getransformeerd. Wanneer per band de opaciteitswaarden worden gedeeld door de gamma van de desbetreffende emulsie, hebben alle opaciteitswaarden een directe en lineaire relatie met de belichting. Gammastandaardisatie heeft echter geen betekenis als de opaciteitswaarden van de referentieobjecten ook gestandaardiseerd worden en/of als twee

gecalibreerde referentieobjecten worden gebruikt.

In het onderhavige onderzoek zijn geen referentiepanelen mee gefotografeerd. De transformatiecoëfficiënten per band zouden berekend kunnen worden uit de pixelwaarden van objecten die worden verondersteld spectraal stabiel te zijn. Aangezien voor het onderzoek relatieve calibratie van de beelden nodig en voldoende is, kunnen de reflectiewaarden van dergelijke objecten willekeurig worden gekozen. Zo'n aangepaste Lillesand-Kiefer methode blijkt echter geen betrouwbare relatieve calibratie op te leveren uitgaande van een 'lichte' referentie (b.v. kaal duinzand) en een 'donkere' referentie (b.v. onbegroeid wad). De hier gebruikte en in hoofdstuk 5 uitgewerkte procedure bestaat uit twee stappen:

- 'ratiocorrectie', een correctie van verschillen tussen de banden infrarood (IR), rood (R) en groen (G) binnen de tijdstippen;
- 'niveaucorrectie', een correctie tussen de tijdstippen.

Van essentieel belang voor deze procedure is het opsporen van beeldelementen die betrekking hebben op onbegroeide bodem. Er zijn tenminste twee van deze referenties nodig, een 'lichte' en een 'donkere'.

In hoofdstuk 3 is aangegeven dat reflectieratio's, b.v. IR/R van onbegroeide bodems, onafhankelijk zijn van het vochtgehalte van de bodem. In het algemeen kunnen bandratio's worden gebruikt voor het elimineren van effecten die in gelijke mate optreden in alle banden, bijvoorbeeld door toedoen van lichtintensiteit ('gain'), atmosferische transmissie e.d. (Curran 1980, Schowengerdt 1983). Naast deze eigenschap van bandratio's wordt in de eerste calibratiestap gebruik gemaakt van het feit dat de ratio's IR/R, IR/G en R/G voor onbegroeide bodems vrijwel aan elkaar gelijk zijn en een waarde van ca. 1 hebben. Huete et al. (1984) vonden in een regressie van IR op R voor een dataset samengesteld uit een groot aantal bodemtypen de richtingscoëfficiënt 1.166 ($n=704$; $r^2=0.98$). Clevers (1986) onderzocht de ruwe benadering IR/R=1 (methode 2 in Clevers' par. 5.6) en vond geen duidelijk slechtere fit in vergelijking met meer geavanceerde modellen.

De tweede calibratiestap transformeert de ratio-gecorrigeerde beelden zodanig dat de infrarood waarden per bodemreferentie over alle tijdstippen op één niveau worden gezet.

De procedure voor n referenties ($r=1, \dots, n$) op m tijdstippen ($t=1, \dots, m$) en voor drie kanalen $k=IR, R, G$ wordt in hoofdstuk 5 volgens onderstaand schema uitgewerkt.

Gegeven is REF_{rtk} , de gemiddelde pixelwaarde van referentie r op tijdstip t voor kanaal k. Nu is $REF_{rt} = \sum_k REF_{rtk}/3$, i.e. de 'ideale' bijdrage van elk kanaal aan de totale intensiteit per referentie en per tijdstip. Aangezien na ratio correctie de pixelwaarden voor de referenties (onbegroeide bodems) in de kanalen IR, R en G per tijdstip gelijk moeten zijn geldt

$$REF_{rt} = A_{tk} * REF_{rtk} + B_{tk}$$

Er worden dus 3m coëfficiënten A en B berekend.

De niveaucorrectie gebruikt per referentie de IR-waarde van een als standaard aangewezen beeld. Hier (n=2) is het IR-gemiddelde over alle tijdstippen per referentie gebruikt:

$$REF_{IR_r} = \sum_t REF_{rtk}/m, k=IR$$

Per tijdstip geldt nu

$$REF_{IR_r} = C_t * REF_{rtk} + D_t, k=IR$$

Er worden dus m coëfficiënten C en D berekend.

Beide correcties zijn te combineren zodat een willekeurige pixelwaarde P_{tk} wordt getransformeerd tot

$$P'_{tk} = E_{tk} * P_{tk} + F_{tk}, \text{ met } E_{tk} = C_t * A_{tk} \text{ en } F_{tk} = C_t * B_{tk} + D_t$$

Voor meer dan twee referenties per beeld (n>2) moeten kleinste-kwadratenschattingen voor de coëfficiënten A, B, C en D worden berekend.

Opmerking

Het effect van lineaire transformaties $P'=aP+b$ op ligging $E(P)$ en spreiding $var(P)$ van de P-verdeling is $E(P') = a * E(P) + b$ en $var(P') = a^2 * var(P)$.

4.2 Classificaties

Aangezien ganzen een zekere voorkeur hebben voor bepaalde vegetatietypen, is een vegetatieklassificatie van de pleisterplaatsen gewenst. Uitspraken

over het voedselaanbod 'op de pleisterplaatsen' kunnen aanzienlijk worden genuanceerd door onderscheid te maken tussen de voor ganzen meer of minder aantrekkelijke vegetatietypen. Het ganzenonderzoek op de OBK richt zich met name op twee dominantietypen nl. het zwenkgras-type op de hoge kwelder en het kweldergras-type op de lage kwelder. Een classificatie van de OBK-beelden dient deze typen te bevatten. Een verdere opsplitsing is ongewenst. De gevolgde 'supervised' classificatieprocedure staat o.m. beschreven in Van Kootwijk (1985). Er zijn vijf fasen te onderscheiden:

1. Het samenstellen van een training set uit pixels die representatief zijn voor de variatie aan vegetatietypen. Zijn nauwkeurige grondgegevens beschikbaar (vegetatiekaart), dan kan een set worden samengesteld met zo min mogelijk grenspixels. De training set kan worden geprojecteerd op de deelruimten infrarood/rood, infrarood/groen en rood/groen: tweedimensionale FSP's (feature space plots).
2. De berekening van een dissimilariteitsmatrix voor de pixels op grond van de waarden in infrarood, rood en groen. Als dissimilariteitscriterium is de euclidische afstand gebruikt.
3. De clustering van de training set uitgaande van de matrix met euclidische afstanden. Als criterium is Wards methode gebruikt die de variantie van de afstand tussen elk pixel en het corresponderend cluster-centroïd minimaliseert voor elk cluster. Na vergelijking van dendrogram, FSP's en clusterstatistieken wordt een keuze gemaakt voor het aantal te onderscheiden clusters.
4. De toekenning van een clusternummer aan elk pixel (identificatiefase): bij n te onderscheiden clusters zullen de pixelwaarden in het geklassificeerde beeld variëren van 1 tot n. De kleinste uit de verzameling van afstanden van een pixel tot de clustercentroïden bepaalt tot welk cluster het pixel wordt gerekend ('distance'-criterium).
5. Het opstellen van een 'video lookup table' waarmee aan elk clusternummer een unieke kleur kan worden toegekend. De classificatie kan nu worden gevisualiseerd (monitor, hard copy) en beoordeeld.

Een onbevredigende classificatie kan worden gewijzigd door de training set aan te passen, het aantal te onderscheiden clusters te veranderen e.d. Voor het onderhavige onderzoek waren geen grondgegevens beschikbaar die zouden kunnen dienen als test set voor het bepalen van de classificatienauwkeurigheid.

4.3 Vegetatie-indices en biomassa-produktieschatters

In 2.2 is de geïdealiseerde reflectiekromme van een vegetatie besproken (zie ook Fig. 2b). Een belangrijke eigenschap is de 'red edge', het contrast tussen rood- en infraroodreflectie. Het is duidelijk dat naarmate de vegetatiecomponent in het totale spectrum van vegetatie, bodem en schaduw toeneemt, de roodreflectie zal afnemen en de infraroodreflectie zal toenemen. De vegetatiecomponent kan worden geïnterpreteerd als biomassa, produktie of LAI.

De relatie tussen LAI en functies van rood- en infraroodreflectie is onderwerp van veel studie (zie Curran 1981 voor een overzicht). Deze functies worden vegetatie-indices (VI's) genoemd. Veelgebruikte VI's zijn:

$$\begin{aligned} R75 &= CH7/CH5 && : \text{"ratio"} \\ ND7 &= (CH7-CH5)/(CH7+CH5) && : \text{"normalized difference"} \\ TVI7 &= (ND7+0.5)^{1/2} && : \text{"transformed VI"} \end{aligned}$$

De aanduidingen CH5 en CH7 staan voor de Landsat MSS-kanalen 5 (rood) en 7 (nabij infrarood).

ND7 kan theoretisch waarden aannemen tussen -1 (CH7=0 en CH5>0) en +1 (CH5=0 en CH7>0), maar aangezien de IR-reflectie doorgaans hoger is dan de R-reflectie, zeker in begroeide terreinen, zal ND7 meestal groter zijn dan nul. TVI7 voorkomt negatieve waarden door 0.5 op te tellen bij ND7 en bevat een worteltransformatie om de variantie te stabiliseren. Volgens Perry & Lautenschlager (1984) is de factor 0.5 niet altijd voldoende om negatieve ND7-waarden te voorkomen; zij tonen bovendien aan dat R75, ND7 en TVI7 functioneel gelijkwaardig zijn, d.w.z. wanneer van een index de waarde bekend is, kunnen de waarden van de overige indices worden berekend.

In hoofdstuk 5 wordt gebruik gemaakt van de index $AR75 = \arctan(R75)$ met een theoretisch bereik tussen 0 en 90 graden, waaraan d.m.v. 'lineair stretch' het gehele grijswaardenbereik kan worden toegekend. De arctan-transformatie van bandratio's is wél gebruikt voor contrastverbetering (Schowengerdt 1983) maar nog niet eerder als VI. De grafische interpretatie van deze index is evident: AR75 is de hoek in het IR-R-vlak tussen een vector (R IR)' en de R-as en is 0 voor IR=0 en 90 voor R=0. Het gedrag van AR75 is vrijwel gelijk aan dat van TVI7 (zie Fig. 5). De implementatie van AR75 is echter aanzienlijk eenvoudiger door gebruik te maken van de

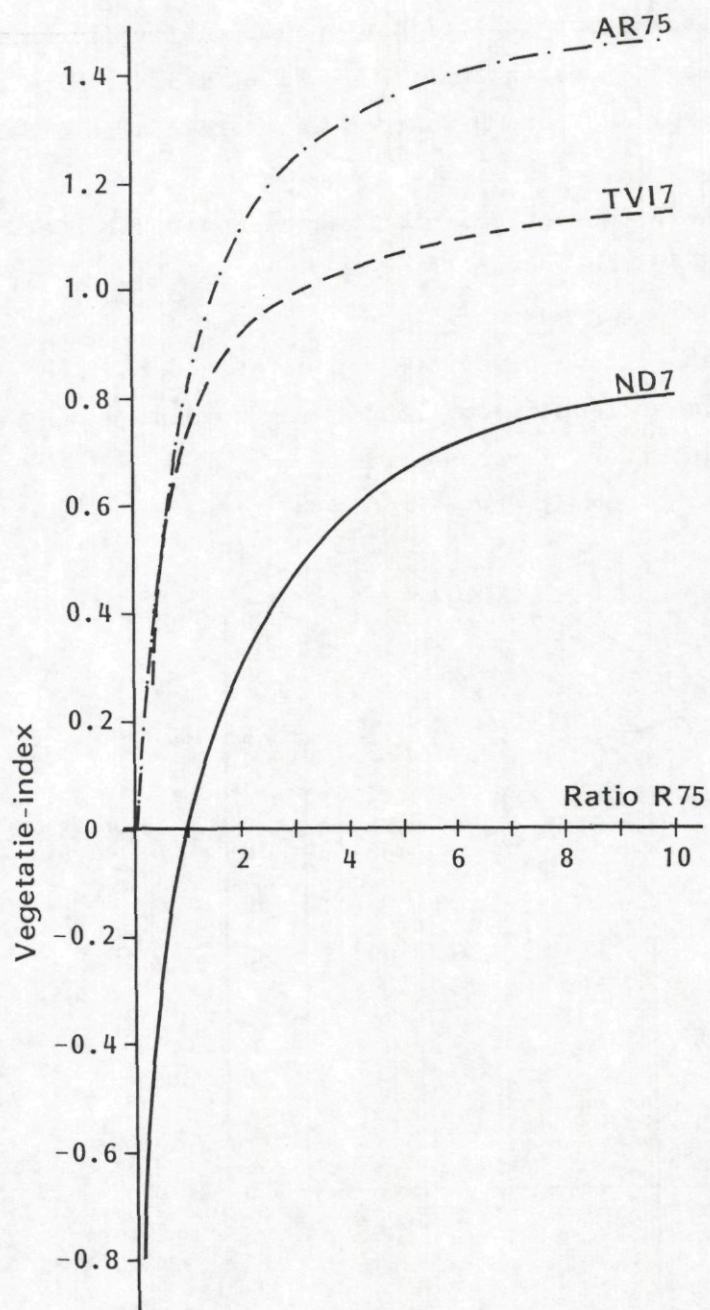


Fig. 5. Relatie tussen ratio IR/R (R75) en de vegetatie-indices ND7, TVI7 en AR75.

Performance of the vegetation indices ND7, TVI7 and AR75 for different values of R75 (IR/R).

intrinsieke FORTRAN-functie ATAN2D: $AR75=ATAN2D(IR,R)$, wat expliciete berekeningen aan de ruwe data overbodig maakt. De arctan-transformatie stabiliseert eveneens de variantie van R75.

Verschillen tussen AR75-waarden van de tijdstippen i en j ($j>i$) kunnen nu worden berekend door 'image differencing': $D = 128 + AR75_j - AR75_i$ met een bereik op (128-90, 128+90). Uit de D-waarden kan worden afgeleid dat als

D ca. 128 dan is AR75 tussentijds niet waarneembaar veranderd

D > 128 dan is AR75 toegenomen

D < 128 dan is AR75 afgenomen

Als de D-verdeling (berekend uit de D-waarden van de afzonderlijke pixels) voor een cluster symmetrisch is om 128 dan mag worden aangenomen dat de IR-R-ratio tussentijds niet is veranderd.

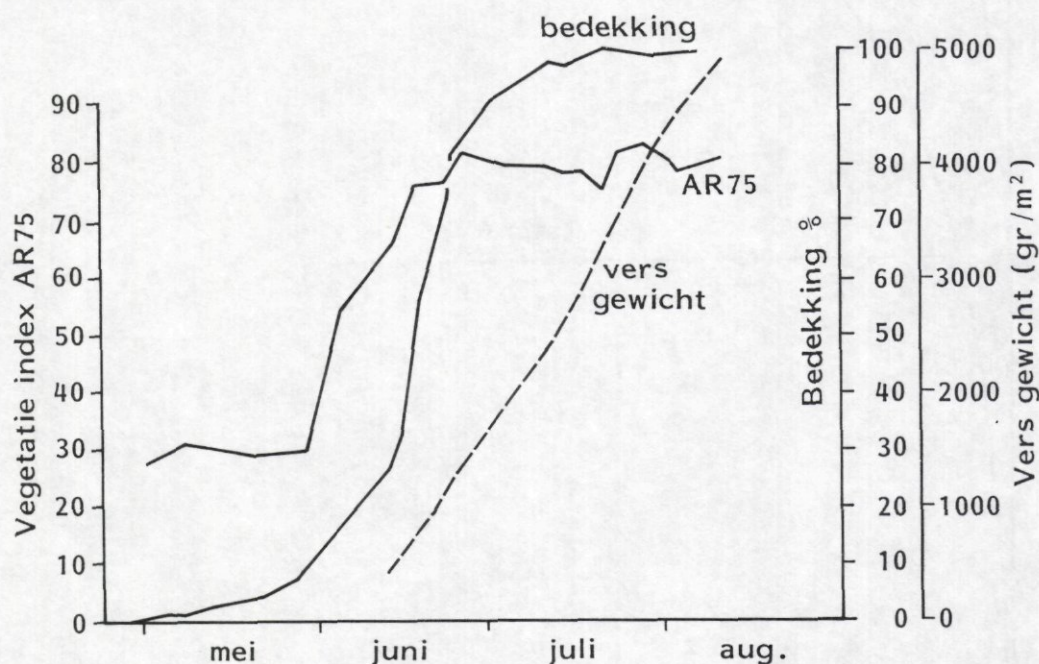


Fig. 6. Verloop van bedekking, vers gewicht en vegetatie index AR75 voor *Lolium multiflorum* in 1980 (O-Flevoland). Naar: Uenk 1982
Course of cover percentage, fresh weight (g/m^2), and vegetation index AR75 for *Lolium multiflorum* in 1980 (O-Flevoland). Adapted from Uenk 1982.

Er worden hoge correlaties gevonden tussen LAI en VI's wanneer het effect gering is van de factoren die het reflectiespectrum onafhankelijk van de LAI beïnvloeden (bodemkleur, fenologie, zonnestand e.d.). De LAI

kan op verschillende manieren worden geschat (Curran 1983). De correlatie tussen VI's en bovengrondse biomassa wordt bepaald door de relatie tussen VI's en LAI (beter: GLAI, green LAI) en de relatie tussen LAI en biomassa. Voor vegetaties met een hoge biomassa en/of met houtige soorten is de relatie tussen VI's en biomassa positief voor een beperkt traject van geringe biomassa (Curran 1981). Begrazing en periodiek maaien houden weliswaar het biomassaniveau laag maar kunnen leiden tot een hoog produktieniveau. Kwantiteit (biomassa) en kwaliteit (produktiesnelheid, voedselwaarde) moeten dus worden onderscheiden per soort, vegetatietype of andere eenheid waarop grazers selecteren, wat mogelijk is door het gedrag van de VI's per geclassificeerde eenheid in de tijd te volgen en dit gedrag te vergelijken met gedetailleerde grondwaarnemingen in controlegebieden.

Het gedrag van de vegetatie-index AR75 in de loop van het groeiseizoen wordt geïllustreerd door Figuur 6 voor het cultuurgewas Italiaans raaigras. Opvallend is dat zowel in het begin van (ijle vegetatie, bedekking < 10%) als na (vrijwel gesloten vegetatie, bedekking > 80%) de exponentiële groeifase, de VI een toename in groei niet registreert.

4.4 Integratie van grondreferenties

In 4.1 is besproken hoe grondreferenties worden gebruikt voor calibratie en in 4.2 hoe grondgegevens uit training- en controlegebieden worden ingezet bij een "supervised" classificatieprocedure.

In het onderzoekgebied OBK liggen twee raaien waarlangs in april en mei 1985 handreflectiemetingen zijn verricht. De relatie tussen deze metingen en de gemiddelde pixelwaarden van equidistante steekproeven langs een raai die in de gedigitaliseerde beelden is gereconstrueerd, wordt uitgewerkt in 5.5.

5 RESULTATEN 'OUDE BEWEIDE KWELDER'

5.1 Algemeen

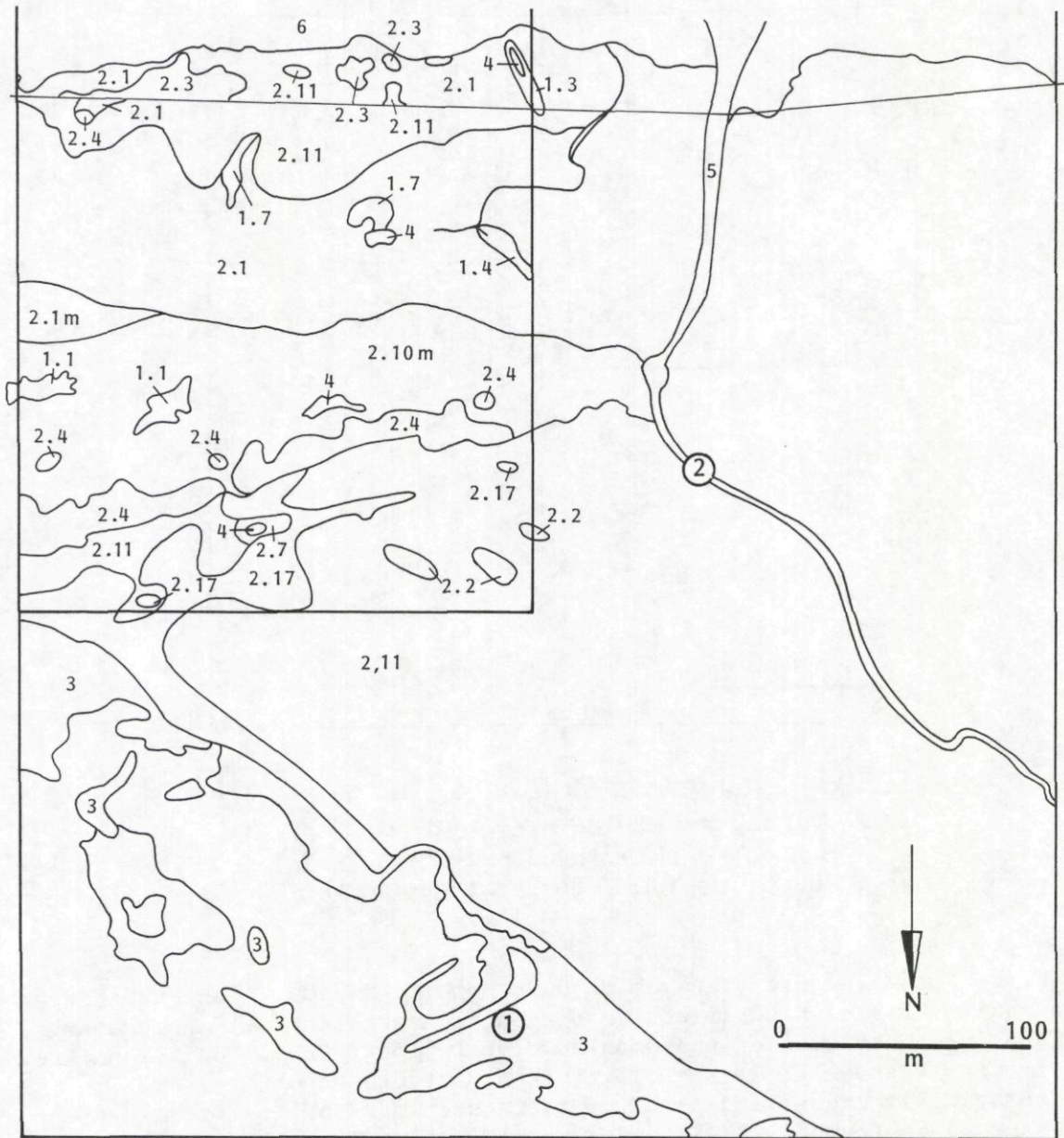
De OBK is een sinds 1958 voor vee afgerasterd deel van de Oosterkwelder op Schiermonnikoog tussen de asfaltdijk en de eerste slenk (Fig. 1). Vanaf 1971 wordt in dit gebied onderzoek gedaan door de RUG. In 1971 heeft het Laboratorium voor Plantenoecologie te Haren een vegetatiekaart gemaakt van de OBK en in 1980 is een herkartering uitgevoerd (Kasteleijn 1985).

Het gedeelte van de 1980-kaart dat betrekking heeft op het gedigitaliseerde gebied, is weergegeven in Figuur 7. Voor het dikomlijnde kwadrant waarvan een classificatie is gemaakt op grond van het digitale materiaal, zijn de in 1980 onderscheiden vegetatie-eenheden overgenomen; voor het overige deel is in Figuur 7 de vegetatiekaart sterk vereenvoudigd weergegeven. Een opvallende gradiënt in het gebied is de overgang van de hoge kwelder met *Festuca rubra* en ingezaaide *Lolium perenne* via een zone met scherp begrensde *Juncus maritimus*-facies naar de lage kwelder met kreekjes en een mozaïek van *Festuca/Artemisia*-vegetaties, *Puccinellia*-vegetaties en opengetrapte kwelderbodem. Door begrazing met vee is de situatie op de lage kwelder in 1986 t.o.v. 1980 sterk gewijzigd ten gunste van *Puccinellia*; de *Festuca/Artemisia*-vegetaties zijn gedecimeerd. In Figuur 8 is hetzelfde gebied aangegeven als in Figuur 7 maar nu overgenomen van de FC-diapositieven. Het kreekjespatroon op de lage kwelder en de *Juncus maritimus*-zone zijn ingetekend evenals de raai waarlangs handreflektiemetingen zijn verricht (zie 5.5).

pagina 35:

Fig. 7. Vegetatiekaart Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog. Naar: Kasteleijn 1985. Van het omliggende kwadrant is een classificatie gemaakt op basis van digitaal beeldmateriaal. De voor calibratie gebruikte referenties "duinzand" en "kreek" zijn aangegeven.

Vegetation map of the Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog. Adapted from Kasteleijn 1985. Digitized aerial photography of the upper left quadrante is used in a supervised classification procedure. 1.1-2.17 are vegetation types dominated by the species indicated; 3: dunes; 4: bare soil; 5: creeks; 6: mud flats. The references "dune sand" ("duinzand") and "creek" ("kreek") are used for calibration.



- 1.1 - *Spartina anglica*
- 1.3 - *Salicornia* + *Puccinellia*
- 1.7 - *Puccinellia*, *Suaeda*, *Aster*
- 2.1 - *Artemisia*, *Festuca*
- 2.1m - 2.1 + *Festuca*, *Juncus gerardii*
- 2.2 - *Artemisia* + *Festuca* (dood)
- 2.3 - *Elytrigia*
- 2.4 - *Juncus maritimus* (incl. 2.5 en 2.6)
- 2.10m - 1.3, 1.7 + *Festuca*, *Juncus gerardii*
- 2.11 - *Festuca rubra*
- 2.17 - *Festuca*, *Elytrigia*, *Poa pratensis*

- 3 - duintjes (incl. 4)
- 4 - kale bodem
- 5 - slenk
- 6 - wad
- ① referentie "duinzand"
- ② referentie "kreek"

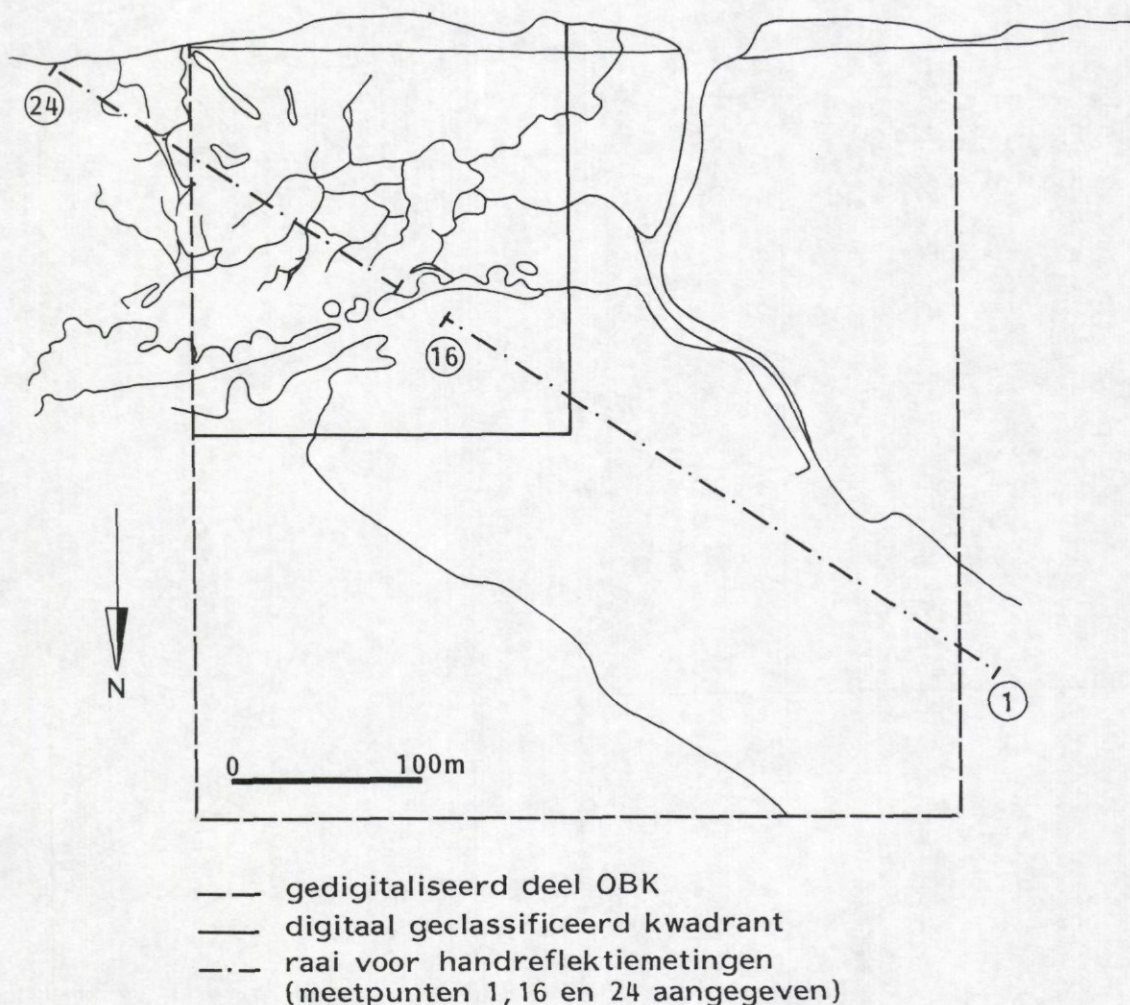


Fig. 8. Foto-interpretatie van de Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog. De raai waarlangs handreflectiemetingen zijn verricht, is aangegeven. Photo interpretation of the Oude Beweide Kwelder (OBK), Schiermonnikoog (cf. fig. 1 and fig. 7). : digitized part of the OBK; : automatically classified part; : transect for spectrometer measurements (numbers 1, 16 and 24 refer to sample points)

pagina 37:

Fig. 9. Overzicht van relatieve calibratie van alle beelden (groen, rood en infrarood beeld per tijdstip). De oorspronkelijke pixelwaardeniveaus en de niveaus na ratio- en niveaucorrectie zijn aangegeven voor de referenties duinzand en kreek (cf. fig. 7)

Summary of the relative calibration procedure of the images (green, red and infrared image per date): raw pixel values (), and the values after ratio () and level correction () for the references "duinzand" and "kreek" (cf. fig. 7).

5.2 Voorbewerkingen

De calibratieprocedure in twee stappen is uitgevoerd zoals beschreven in 4.1. Als spectraal constant veronderstelde objecten zijn bij gebrek aan reflectiepanelen, kaal duinzand en een kreekbodem gekozen (zie Fig. 7, 'ref 1' en 'ref 2'). De coëfficiënten voor de ratio-correctie, niveau-correctie en gecombineerde correctie staan in Tabel 5.

Het effect van de transformaties op de ligging van de referenties wordt geïllustreerd door Figuur 9. Het grote niveauverschil tussen de beelden van 1984 en 1985 is het gevolg van een systematisch kleiner diafragma bij het digitaliseren van de beelden uit 1985.

```
Histogram of imasefile obk685.red
first line      : 55
number of lines : 458
first pixel     : 55
number of pixels : 458
```

```
Histogram of imasefile [100,30]new685.red
first line      : 55
number of lines : 458
first pixel     : 55
number of pixels : 458
```

```
-----
```

0:	0.00 %	0
10:*	1.05 %	2202
20:***	6.81 %	14279
30:*****	32.18 %	67510
40:*****	39.62 %	83105
50:*****	19.07 %	39997
60:*	1.26 %	2643
70:	0.00 %	7
80:	0.00 %	3
90:	0.00 %	6
100:	0.00 %	2
110:	0.00 %	5
120:	0.00 %	4
130:	0.00 %	1
140:	0.00 %	0
150:	0.00 %	0
160:	0.00 %	0
170:	0.00 %	0
180:	0.00 %	0
190:	0.00 %	0
200:	0.00 %	0
210:	0.00 %	0
220:	0.00 %	0
230:	0.00 %	0
240:	0.00 %	0
250:	0.00 %	0

```
-----
```

0:	0.00 %	0
10:	0.00 %	0
20:	0.01 %	23
30:*	1.37 %	2866
40:***	5.16 %	10834
50:*****	18.86 %	39558
60:*****	33.99 %	71299
70:*****	25.34 %	53150
80:*****	14.00 %	29363
90:*	1.25 %	2622
100:	0.01 %	23
110:	0.00 %	7
120:	0.00 %	2
130:	0.00 %	4
140:	0.00 %	2
150:	0.00 %	2
160:	0.00 %	4
170:	0.00 %	4
180:	0.00 %	1
190:	0.00 %	0
200:	0.00 %	0
210:	0.00 %	0
220:	0.00 %	0
230:	0.00 %	0
240:	0.00 %	0
250:	0.00 %	0

```
-----
```

Maximum frequency : 39.62% (one * = 1.98%)
Total number of pixels : 209764
Mean : 41.84 +/-8.82
Skewness : -0.09
Kurtosis : 19985.41

```
-----
```

Maximum frequency : 33.99% (one * = 1.70%)
Total number of pixels : 209764
Mean : 66.77 +/-11.38
Skewness : -0.10
Kurtosis : 55487.93

Fig. 10. Pixelwaardeverdeling voor en na calibratie van het infraroodbeeld van 31.5.1985
Pixel value distribution before and after calibration for the infrared image of 31.5.1985

Tabel 5. Coëfficiënten voor ratiocorrectie (A en B) per band, niveau-correctie (C en D) en gecombineerde correctie (E en F) per band. Coefficients for the ratio correction (A and B) for each band, for level correction (C and D) and for the combined transformation (E and F) for the bands green ("groen"), red ("rood"), and infrared ("infrarood").

Ratiocorrectie

datum	Groen		Rood		Infrarood	
	A	B	A	B	A	B
17.4.84	0.954	-0.153	1.032	-1.228	1.017	1.374
12.5.84	0.964	5.651	1.028	-5.661	1.010	-0.358
12.6.84	0.946	10.290	1.038	-1.597	1.021	-9.529
19.4.85	1.193	-30.181	1.107	-16.487	0.794	31.923
17.5.85	1.066	2.354	0.903	4.587	1.047	-7.632
31.5.85	0.880	0.906	1.225	-2.832	0.954	1.223

Niveaucorrectie

datum	C	D
17.4.84	0.802	6.429
12.5.84	0.805	-0.005
12.6.84	0.817	-2.095
19.4.85	1.252	-0.634
17.5.85	1.336	-17.639
31.5.85	1.351	11.161

Gecombineerde correctie

datum	Groen		Rood		Infrarood	
	E	F	E	F	E	F
17.4.84	0.765	6.307	0.828	5.444	0.816	7.531
12.5.84	0.776	4.544	0.828	-4.561	0.813	-0.293
12.6.84	0.773	6.314	0.849	-3.400	0.834	-9.882
19.4.85	1.493	-38.413	1.386	-21.272	0.994	39.325
17.5.85	1.425	-14.494	1.207	-11.510	1.399	-27.838
31.5.85	1.189	12.385	1.655	7.334	1.289	12.813

N.B.: $E(t=17.4.84, k=Groen)=0.765=C(t,k)*A(t,k)=0.802*0.954$ en
 $F(t=17.4.84, k=Groen)=6.307=C(t,k)*B(t,k)+D(t)=0.802*-0.153+6.429$.

Het effect van een transformatie op de pixelwaardeverdeling is geïllustreerd in Figuur 10 aan de 'infrarode file' van 31 mei 1985. Merk op dat de standaarddeviatie van de getransformeerde verdeling gelijk is aan $E(t=31.5.85, k=infrarood)=1.289$ maal de standaarddeviatie van de oorspronkelijke verdeling (zie opmerking 4.1).

5.3 Classificatie

Het voorbereekte infrarode beeld van 31 mei 1985 is gebruikt om training pixels aan te wijzen. De set is een aantal keren aangepast om de rode informatie zo volledig mogelijk te benutten. Op de dissimilariteitsmatrix van de pixelwaarden in infrarood, rood en groen is een clusteranalyse uitgevoerd (zie 4.2). Er is na enkele proefclassificaties gekozen voor een indeling in acht clusters, waarmee de variatie in vegetatie/-bodemtypen op de lage kwelder bevredigend wordt benaderd. In Figuur 11 is de training set in een IR-R diagram aangegeven; ook de clustercentroïden zijn afgebeeld.

De banden rood en groen zijn sterk gecorreleerd. De correlatiematrix is opgenomen in tabel 6.

Tabel 6. Correlatiematrix voor de banden IR (infrarood), R (rood) en G (groen) berekend voor de training set.
Correlation matrix for the channels IR (infrared), R (red) and G (green) as calculated from the training set.

	IR	R	G
IR	1.000		
R	-0.245	1.000	
G	-0.044	0.905	1.000

De 8-cluster indeling van de training set is gebruikt om het dikomlijnde kwadrant (ca. 512x512 pixels) van de vegetatiekaart in Figuur 7 te classificeren m.b.v. het 'distance'-criterium (zie 4.2). Elementaire pixels zijn met een logisch filter verwijderd (Townsend 1986). Van het

geclassificeerde en gefilterde beeld is een inkjetplot opgenomen als Figuur 12; de clusternummers bij de kleurenbalk corresponderen met die in Figuur 11.

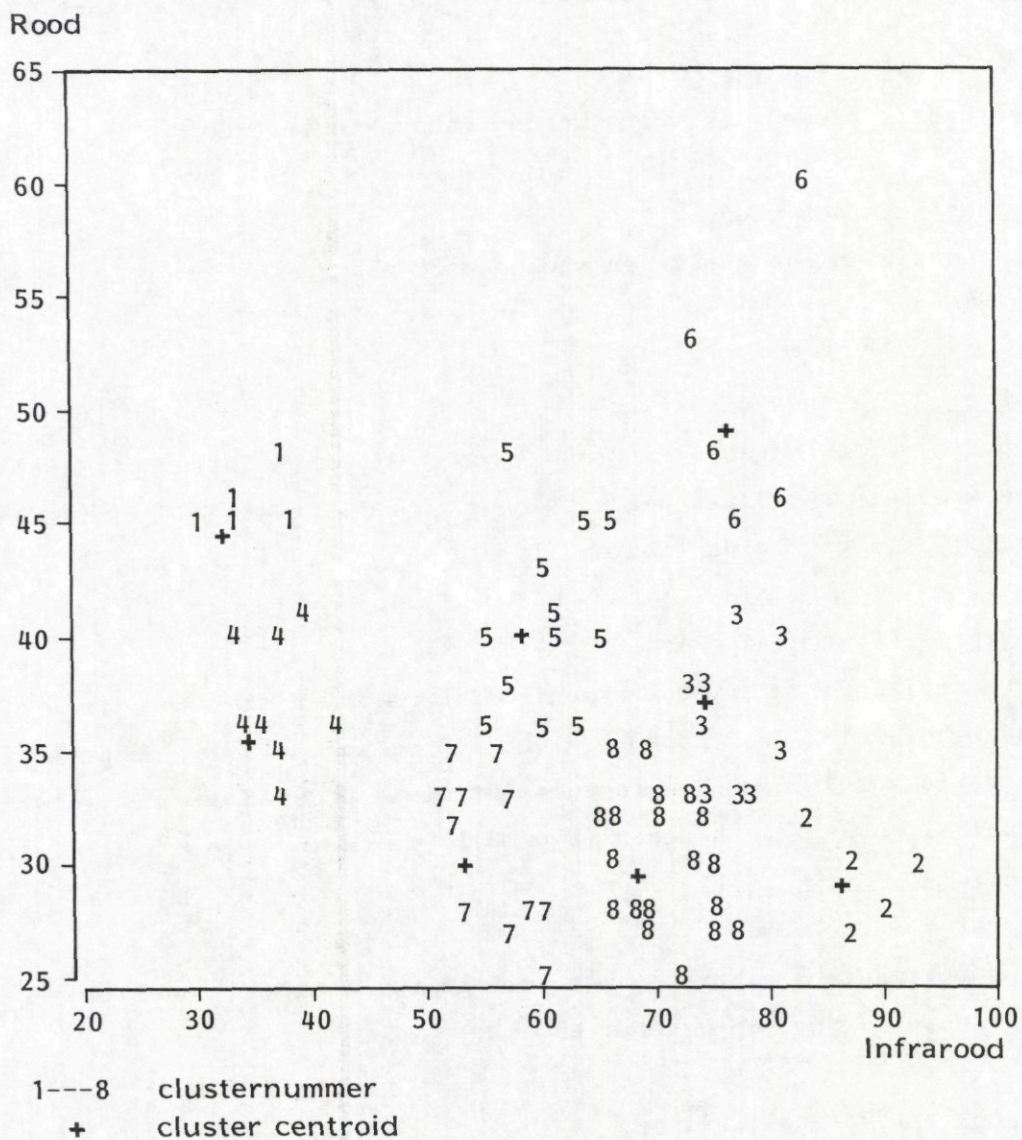


Fig. 11. Training set (rood vs. infrarood) voor classificatie van de Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog
Feature space plot (red vs. infrared) of the training set used for classification of the Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog. Numbers refer to cluster assignment. Cluster centroids are indicated by a cross.

pagina 43:

Fig. 12. Geclassificeerd beeld van de Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog op grond van de gedigitaliseerde FC-dia van 31.5.1985. De clusternummers verwijzen naar de volgende klassen: 1. Kreeken en wad, 2. Festuca-dicht, 3. Festuca-open, 4. Kreekoevers; 5. Puccinellia-open, 6. Droge bodem, 7. Ruigtevegetatie, 8. Puccinellia-dicht.
Plot of classification result of the Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog, based on the digitized aerial FC-photo of 31.5.1985. Numbers refer to the following classes: 1. Creeks and mudflats, 2. Festuca-closed, 3. Festuca-open, 4. Creek banks, 5. Puccinellia-open, 6. Dry bare soil, 7. Tall herbaceous vegetation, 8. Puccinellia-closed.

De clusters kunnen als volgt worden gekarakteriseerd.

Cluster 1 (kreek+wad)

Permanent vochtige kreek- en wadbodems; onbegroeid. Typen 5 en 6 op vegetatiekaart.

Cluster 2 (Festuca-dicht)

Produktieve aaneengesloten grasmat van Festuca en Lolium perenne op de hoge kwelder; intensief begraaasd door ganzen. Opvallend zijn de banen, mogelijk als gevolg van maaien. Type 2.11 op vegetatiekaart.

Cluster 3 (Festuca-open)

Voornamelijk Festuca met waarschijnlijk relatief meer strooisel of met minder bedekking dan "Festuca-dicht" op de hoge kwelder (type 2.11 op vegetatiekaart) en dichte Festuca-Artemisia-plekken ook met relatief veel strooisel op de lage kwelder (type 2.1) en dan overgang naar cluster 8.

Cluster 4 (kreekoever)

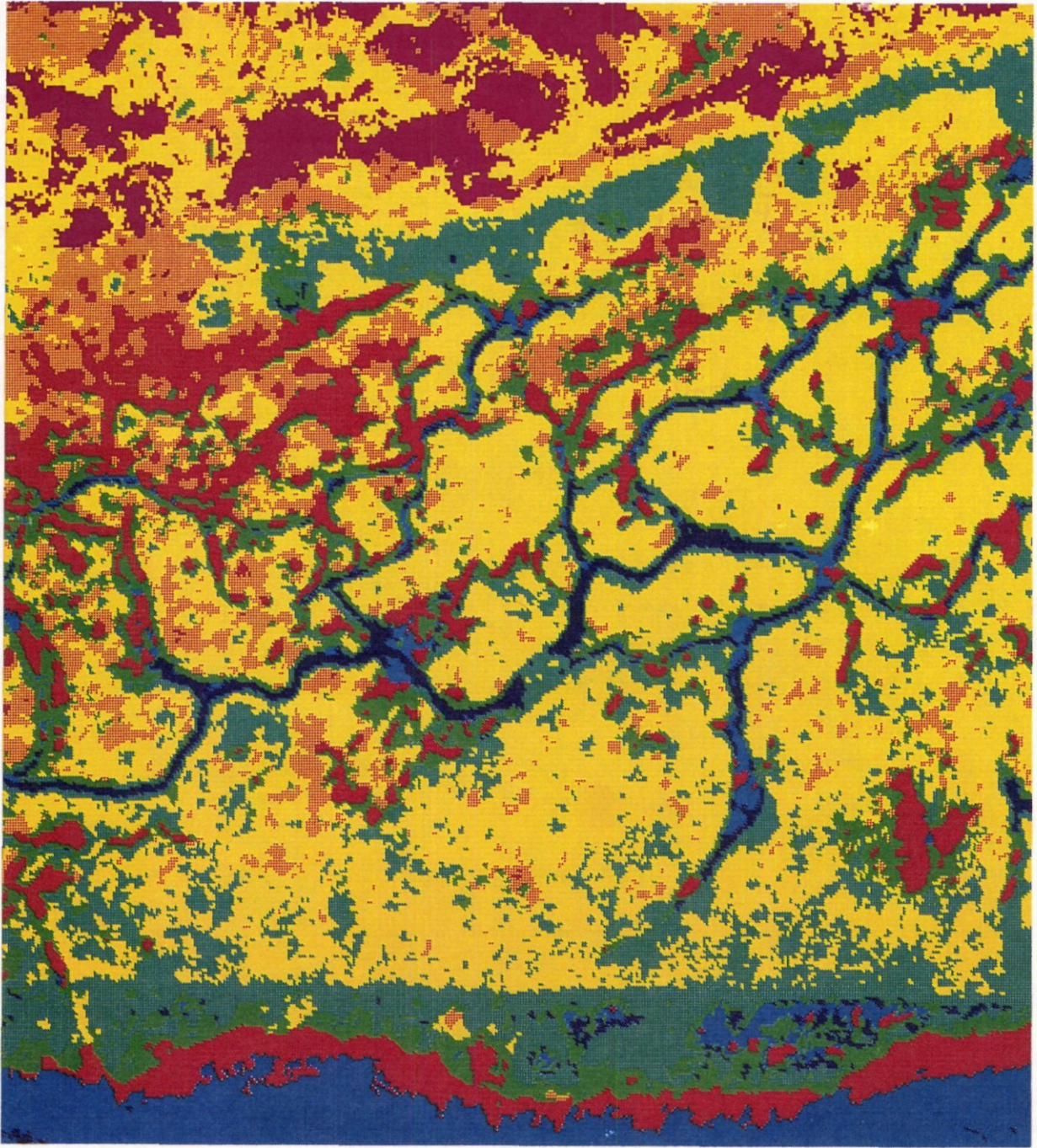
Permanent natte kreekranden met geringe reflectie in zowel IR als R; onbegroeid. Type 5 op vegetatiekaart.

Cluster 5 (Puccinellia-open)

Zeer ijle vegetaties; overgang tussen cluster 6 (droge bodem) en 4 (Festuca-open). In deze overgangen komen voor ganzen interessante soorten voor, b.v. Plantago maritima en Triglochin maritima.

Cluster 6 (droge bodem)

Vrijwel onbegroeide, meest droge kwelderbodem; afslagrand naar wad.



1 2 3 4 5 6 7 8



1:2.000

Type 4 op vegetatiekaart.

Cluster 7 (ruigte)

1. *Juncus maritimus*-zone in overgang van hoge naar lage kwelder. Typen 2.4, 2.5 en 2.6 op vegetatiekaart.
2. Door vee onbegraasde deel van kwelder tussen raster en wad; vnl. *Festuca*, *Elytrigia* spp. e.d. met veel strooisel. Typen 2.1, 2.3 en 2.22 op vegetatiekaart.
3. Lage kwelder in oostelijk deel van beeld. Veel afgestorven *Festuca* en *Artemisia*. Waarschijnlijk iets lager deel van kwelder met vochtiger bodem dan in westelijk deel. Typen 2.1 en 2.2 op vegetatiekaart.

Cluster 8 (Puccinellia-dicht)

Voornameijk dichte Puccinellia-vegetaties op de lage kwelder. Hoewel op de 1980-kaart de vegetaties boven het raster langs de Waddenzee tot type 2.11 (=Festuca rubra) worden gerekend, bestonden ze voorjaar 1986 geheel uit Puccinellia. Een Puccinellia-dominantietype ontbreekt op de kaart.

Tabel 7. Gemiddelde en standaardafwijking van pixelwaardenverdeling per cluster (1,...,8) en per band (IR, R, G) voor de training set en het geclassificeerde beeld (31 mei 1986). Het percentage heeft betrekking op het totale aantal beeldpixels (209764).

Mean and standard deviation of the pixel value distribution for each cluster (1,...,8) and for each channel (IR, R, G) as calculated from the training set and the classified image of 31.5.1985. The total number of pixels is 209764.

Cluster		1	2	3	4	5	6	7	8
training set	IR	32.0±3.0	86.0±3.7	74.3±3.0	34.8±2.5	58.3±3.7	76.3±3.9	53.1±3.3	68.4±3.7
	R	44.8±1.2	28.4±1.9	35.3±2.9	36.2±2.8	39.7±3.9	48.6±5.8	30.2±3.3	29.5±2.7
	G	47.3±2.4	31.6±3.4	41.4±3.4	38.8±4.4	42.3±3.5	58.0±8.5	32.2±4.4	33.9±2.6
	n	6	5	10	10	12	6	14	25
classificatie	IR	43.7±4.0	84.4±4.3	76.1±5.6	40.5±4.3	59.7±5.7	67.1±9.8	55.7±4.2	67.8±4.4
	R	48.4±5.5	29.4±2.6	35.9±2.8	36.0±3.5	40.3±3.9	60.7±14.2	30.4±3.4	30.4±2.9
	G	54.3±8.0	33.7±3.5	41.6±3.3	38.8±4.1	44.5±4.6	71.1±16.9	32.2±3.3	33.5±3.3
	%	2	14	15	2	10	7	15	35

In tabel 7 zijn enkele statistische eigenschappen opgenomen voor zowel de training set als het geclassificeerde beeld.

Opvallend is dat cluster 6 (droge bodem) in alle banden de grootste spreiding vertoont en vermoedelijk overgangen naar de clusters 3 en 5 bevat; 'droge bodem' moet dus niet te strikt worden geïnterpreteerd. Zowel cluster 1 (kreek+wad) als 4 (kreekoever) hebben een duidelijk hogere gemiddelde IR-waarde dan de training set aangeeft, maar blijven scherp gescheiden van de overige clusters. Afgezien van de clusters 1, 4 en 6 komen de statistische karakteristieken van training set en classificatie bevredigend overeen.

De classificatienauwkeurigheid is niet bekend. Slechts één pixel uit de training set wordt 'onjuist' geclassificeerd doordat het clustercriterium afwijkt van het identificatiecriterium ('Ward' resp. 'distance').

Voor de ganzen zijn de clusters 3, 6 en 8 van belang: de meer of minder dichte Puccinellia-vegetaties op de lage kwelder met overgangen naar kale bodem of Festuca; in deze typen komen sterk geprefereerde soorten als Plantago en Triglochin voor. Ook de dichte Festuca-vegetaties op de hoge kwelder zijn belangrijk.

Voor vegetatiekundige doeleinden zal doorgaans geen onderscheid gemaakt worden tussen typen alleen op grond van beperkte verschillen in bedekking. Voor deze studie is het aantal clusters echter zo gekozen dat meer of minder vegetatie in de classificatie tot uiting komt. De classificatie, gebaseerd op de opname van 31 mei 1985, is als overlay gebruikt voor alle overige beelden van 1984 en 1985 om het gedrag van de clusters ('vegetatietypen') te kunnen volgen.

5.4 Vegetatie-indices

In 4.3 is de index $AR75 = \arctan(IR/R)$ geïntroduceerd.

Voor elke in 5.3 besproken cluster zijn de AR75-verdelingen voor de diverse data in 1984 en 1985 berekend. In Figuur 13 zijn voor 1984 en 1985 de gemiddelde AR75-waarden \pm standaardafwijking als blokjes weergegeven. Om de gemiddelde AR75-waarden per cluster tussen de jaren 1984 en 1985 te kunnen vergelijken is Figuur 14 opgenomen.

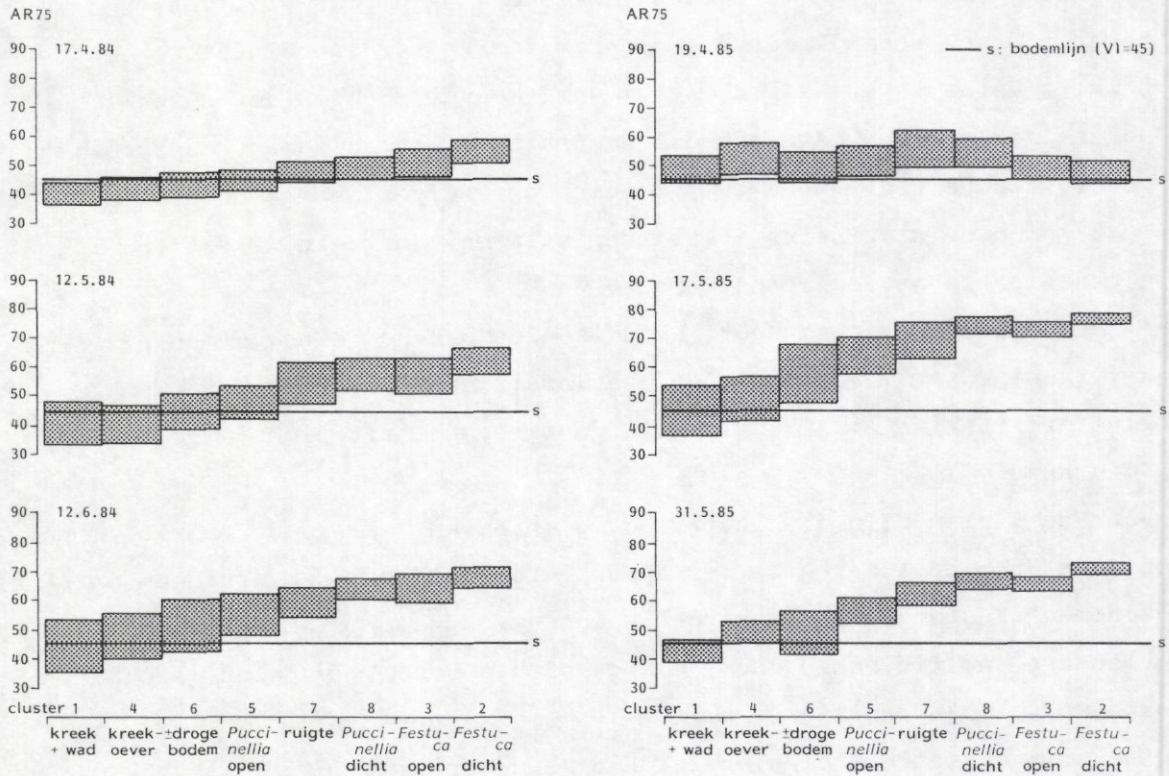


Fig. 13. Gesorteerde vegetatie-index AR75 waarden (gemiddelde \pm standaardafwijking) voor de clusters 1-8 voor de vliegdata in 1984 en 1985. De bodemlijn (AR75=45) kan worden gebruikt voor het beoordelen van de vegetatieontwikkeling.

Sorted vegetation index AR75 values (mean \pm standard deviation) for the clusters 1-8 for each date in 1984 and 1985. The "soil line" (AR75=45) can be used in order to judge the vegetation development.

5.4.1 Variatie binnen jaren

In 4.1 is de calibratieprocedure besproken waarmee de gedigitaliseerde foto's spectraal zijn 'geijkt'. Deze procedure gaat uit van de veronderstelling dat de IR-, R- en G-reflecties van onbegroeide bodems gelijk zijn. Wanneer de calibratieprocedure goed is verlopen, zullen de gemiddelde AR75-waarden van de clusters die betrekking hebben op onbegroeide bodems dus ca. 45 zijn, d.w.z. om de zgn. bodemlijn liggen. Uit Figuur 14 blijkt dat dit het geval is voor de clusters 'kreek+wad' en 'kreekoever'. Cluster 'droge bodem' vertoont vooral voor 1985 afwijkingen van de bodemlijn wat acceptabel is gezien de grote variatie in IR-, R- en G-reflectie binnen dit cluster (zie 5.3). Bemoedigend voor de gevolgte

methode is ook dat de gemiddelde AR75-waarden voor de clusters 'kreek+wad' en 'kreekoever' het kleinst zijn (Fig. 13) en dat de rangnummering van de overige clusters naar uiteindelijk VI-niveau ook aannemelijk is (Tabel 8).

Tabel 8. Rangnummering van de clusters voor 1984 en 1985 naar VI-niveau (laatste vlucht): laagste niveau is 1, hoogste niveau is 8.
Rank order of the clusters with respect to VI level in 1984 and 1985 (last overflight). Lowest level is 1, highest level is 8.

cluster	1	2	3	4	5	6	7	8
1984	1	8	7	2	4	3	5	6
1985	1	8	6	3	4	2	5	7

De clusters 'kreekoever' en 'droge bodem' resp. 'Festuca-open' en 'Puccinellia-dicht' zijn onderling van rang verwisseld wat op nauwe verwantschap wijst. Door begrazing door vee op de kwelders zijn de Festuca-Artemisia-facies in tal van aftakelingsstadia aanwezig en zelfs soms geheel vervangen door Puccinellia. Cluster 'Festuca-dicht' is de onbetwiste aanvoerder, met een AR75-niveau van 70-75 voor begin juni. Het 'ruigte'-cluster heeft blijkbaar een VI die 'bodemachtiger' is dan die van de clusters 'Puccinellia-dicht', 'Festuca-open' en 'Festuca-dicht', wat veroorzaakt wordt door schaduwwerking, dood plantemateriaal en een lage produktie. De open Puccinellia-vegetaties (cluster 5) lijken qua ontwikkeling en uiteindelijk VI-niveau op 'droge bodem'; dit type is erg belangrijk voor rotganzen (zie 5.3).

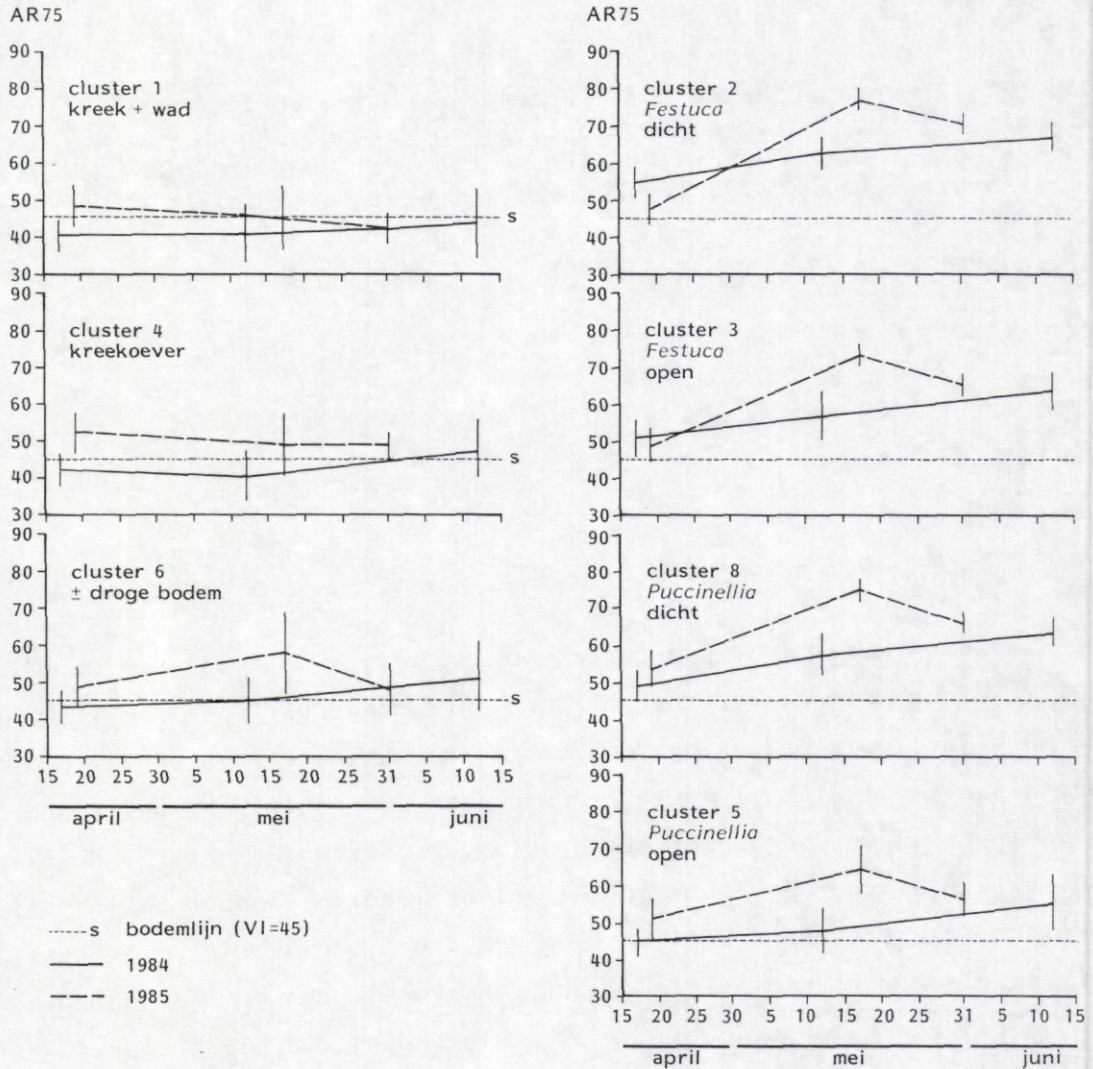


Fig. 14. Verloop van de vegetatie-index AR75 (gemiddelde \pm standaardafwijking) per cluster voor 1984 en 1985. De bodemlijn kan worden gebruikt voor het beoordelen van de vegetatieontwikkeling. Zo is nauwelijks sprake van ontwikkeling voor de clusters 1 en 4 (kreeken, wad en kreekoevers) in vergelijking met clusters 2 en 8 (*Festuca*, *Puccinellia*)

Course of the vegetation index AR75 (mean \pm standard deviation) in April, May and June 1984 and 1985 for each cluster (cf. fig. 12). The soil line (AR75=45) is indicated. Note the VI values of clusters 1 and 4 (creeks, mudflats, creek banks) near the soil line as compared with e.g. clusters 2 and 8 (*Festuca*, *Puccinellia*)

5.4.2 Variatie tussen jaren

De voor ganzen interessante contrasten liggen tussen de cluster 2 en 3 (Festuca) en 5 en 8 (Puccinellia). Uit Figuur 14 blijkt dat in 1985 de 'Festuca-dicht'-vegetaties pas ca. 10 mei het VI-niveau van 'Puccinellia-dicht' bereikte (VI=72); in 1984 lag vanaf april de VI-lijn van Festuca direct al hoger dan die van Puccinellia (VI=55 resp. 48). In 1985 waren de Puccinellia-vegetaties dus eerder beschikbaar dan de Festuca-vegetaties. De achterstand van Festuca op Puccinellia in 1985 is eind mei ingelopen; het uiteindelijke VI-niveau van Festuca ligt hoger.

In Figuur 15 zijn VI-beelden van een deel van de OBK opgenomen van 19.4 en 17.5.85 waaruit de ruimtelijke verdeling van VI-waarden blijkt. Ook deze figuur illustreert de bodemachtige VI van de vegetaties op de hoge kwelder (vnl. Festuca) en de beter ontwikkelde Puccinellia-vegetaties op de lage kwelder op 19.4.85. Op 17.5 heeft de hoge kwelder de achterstand ingelopen. Zeer opvallend in deze figuur is de scherpe grens tussen het door vee begraasde en onbegraasde (zuidelijke) deel van de kwelder; het onbegraasde deel is geclassificeerd als 'ruigte' (Fig. 12) en heeft een lagere produktie dan de begraasde Puccinellia- en Festuca-vegetaties. Binnen het Puccinellia-type is een duidelijke gradiënt te herkennen in ontwikkelingsnelheid tussen lage en hoge kwelder. Over het geheel genomen is 1985 een aanzienlijk beter jaar geweest dan 1984 (Fig. 13) wat het duidelijkst te zien is aan de Puccinellia-vegetaties.

Verschillen in fenologische ontwikkeling tussen 1984 en 1985 zullen het gevolg zijn van abiotische factoren. Onder 'optimale' agrarische condities zijn temperatuur en daglengte in dit opzicht van belang. In empirische simulatiemodellen voor gewasgroei wordt het temperatuureffect op de fenologie per stadium beschreven met het 'day-degrees'-concept (Milthorpe & Moorby 1979): een cumulatieve waarde opgebouwd uit gemiddelde dagtemperaturen.

Uit de KNMI-dagrapporten is voor het meetstation 'Leeuwarden' de temperatuursom berekend vanaf 1 maart voor 1984 en 1985. Voor de vliegdata zijn de waarden weergegeven in tabel 9.

Tabel 9. Temperatuursommen voor meetstation Leeuwarden vanaf 1 maart voor 1984 en 1985. Vliegdata zijn onderstreept.

Cumulative temperature values for station Leeuwarden from 1 March on for 1984 and 1985. Flight dates are underlined.

	1984	1985
17.4	<u>201.6</u>	268.8
19.4	218.9	<u>288.2</u>
12.5	<u>420.8</u>	468.0
17.5	472.8	<u>533.1</u>
31.5	635.0	<u>731.5</u>
12.6	<u>783.2</u>	890.4

Met deze cijfers is het niet mogelijk de afname in VI van bijna alle clusters in het interval 17/5-31/5/85 te verklaren. Als deze afname (of stagnatie in toename) reëel is, zou dit betekenen dat de vegetaties eind mei al gesloten zijn wat met name voor de Puccinellia-typen onwaarschijnlijk is. Het is niet uitgesloten dat een en ander het gevolg is van onnauwkeurigheden in de calibratieprocedure (zie ook 5.5).

Van groot belang bij de interpretatie van het gedrag van de vegetatie-index in de tijd is echter ook de enorme begrazingsdruk die de ganzen in die periode uitoefenen. Het lijkt erop dat ze de vegetatieve aanwas in het voorjaar volledig wegeten. Uit gedragsonderzoek is gebleken dat de ganzen de vegetaties zeer efficiënt begrazen en alert reageren op veranderingen in produktiesnelheid b.v. als gevolg van temperatuurveranderingen (Prop & Loonen 1986).

In 4.3 is opgemerkt dat de vegetatie-indices ongevoelig zijn voor veranderingen in bedekking in zeer ijle vegetaties. Het gedrag van AR75 voor cluster 'Puccinellia-open' suggereert dat in 1984 pas eind mei van enige ontwikkeling sprake was. In werkelijkheid blijkt dat de ganzen in het vroege voorjaar al in staat zijn op de ogenschijnlijk onbegroeide lage kwelders de beginnende Puccinellia-groei te begrazen.

Uit nauwkeurige dagwaarnemingen van medewerkers en studenten van de RUG is bekend hoe lang en op welke vegetatietypen de rotganzen foerageren op o.m. de OBK. De aanwezigheid van ganzen wordt uitgedrukt in gansuren per dag. Voor de typen Puccinellia (cluster 5+8) en Festuca (cluster 2+3)

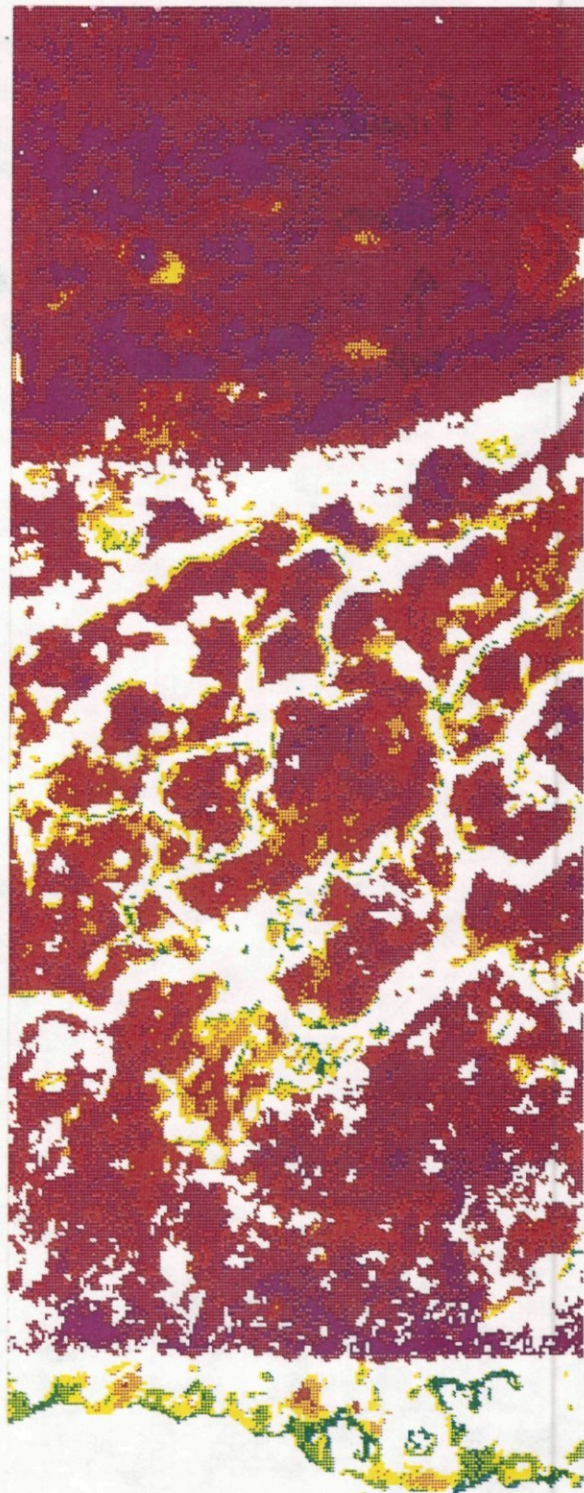
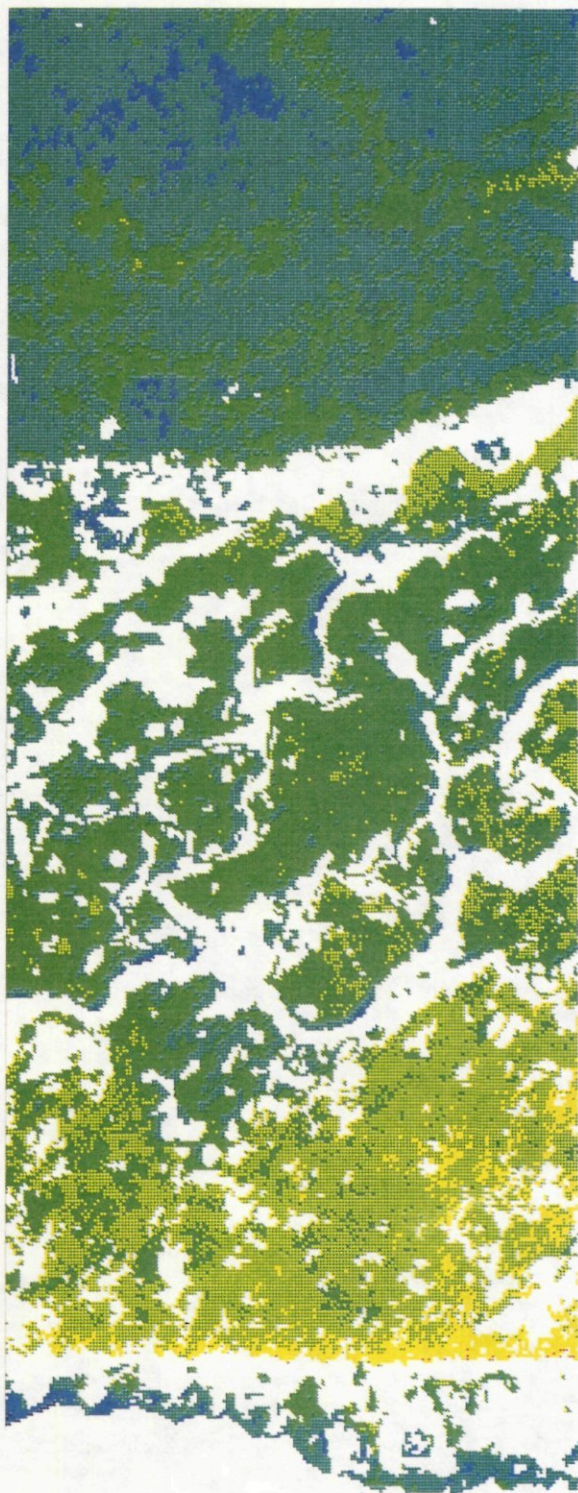
is voor de OBK het aantal gansuren in de tijd voor 1985 uitgezet in Figuur 16. Het verloop van de VI is eveneens aangegeven. Het grote verschil in temporele resolutie tussen dagwaarnemingen en waarnemingen uit de drie FC-opnamen maakt interpretatie van deze figuur hachelijk. Het ganzenbezoek aan 'Festuca' lijkt overeen te komen met de periode van snelle Festuca-groei; eind mei stagneert (schijnbaar?) de groei en wordt vnl. nog op Puccinellia gefoerageerd.

De verschillen tussen de clusters in 1985 lijken voor alle tijdstippen duidelijker dan in 1984 (zie Fig. 13) mogelijk als gevolg van de geringere classificatienauwkeurigheid in het beeldmateriaal van 1984 (N.B. De clusterindeling is gemaakt op grond van de opname van 31.5.85). Wanneer de clusterindeling van 1985 niet geheel van toepassing is op de beelden van 1984, bevat elk cluster dus meer pixels van buurclusters waardoor de clusterverschillen worden genivelleerd.

pagina 52:

Fig. 15. Vegetatie-index beeld voor de clusters Festuca en Puccinellia van het rechter deel van Figuur 12 voor 19.4.1985 (linker deel) en 17.5.1985 (rechter deel). Op 19.4 komen alleen op de lage kwelder (Puccinellia-vegetaties) VI-waarden voor die wijzen op vegetatie-ontwikkeling ($VI > 45$); op 17.5 hebben met name de Festuca-vegetaties op de hoge kwelder de achterstand ingelopen.

Vegetation index image of right part of Figure 12 (clusters Festuca and Puccinellia only) for 19.4.1985 (left part) and 17.5.1985 (right part). On 19.4 only the lower merse, dominated by Puccinellia, shows VI-values which indicate vegetation development ($VI > 45$). In the 19.4-17.5 period the Festuca dominated higher part outgrew the lower merse.



30

45

80



1:2.000

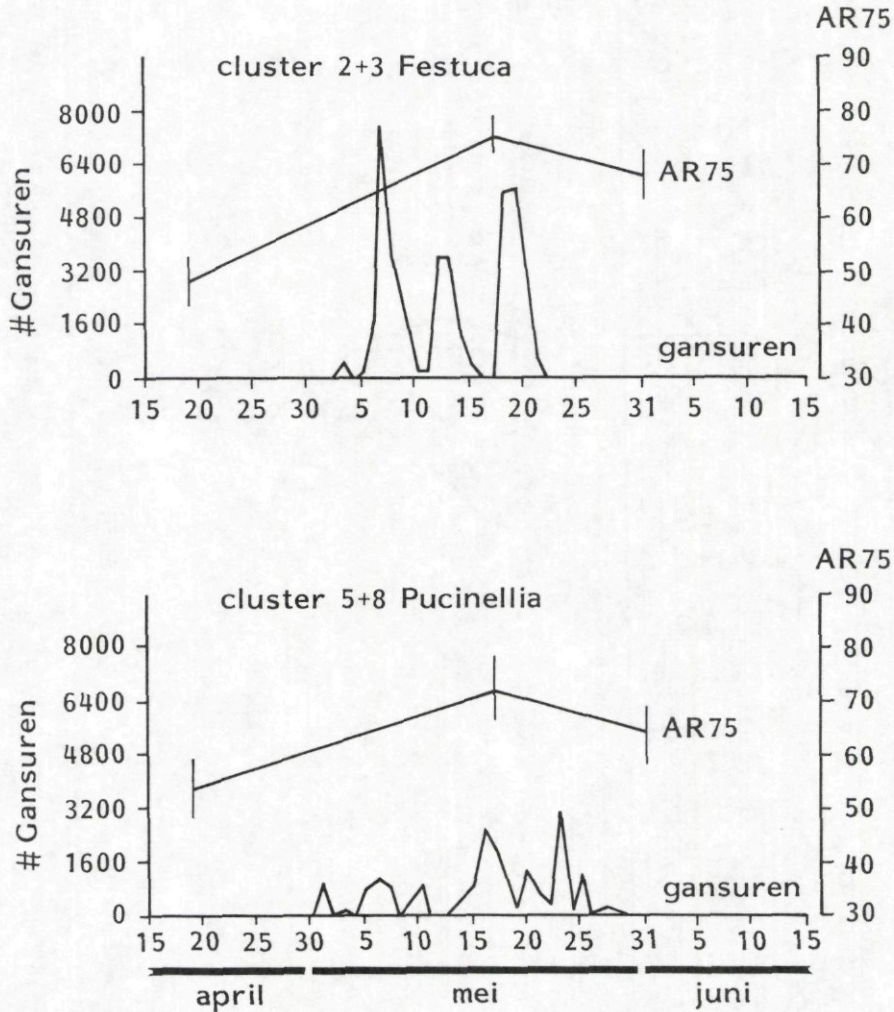


Fig. 16. Relatie tussen VI-ontwikkeling en ganzenbezoek aan Festuca- en Puccinellia-vegetaties op de Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog, 1985. Relation between VI-development (AR75) and the number of hours spent by brent geese ("geese hours") on Festuca and Puccinellia in spring 1985 (Oude Beweide Kwelder, Schiermonnikoog)

5.5 Handreflectiemetingen

In Figuur 8 is de raai aangegeven waarlangs handreflectiemetingen zijn verricht. Deze loopt van de hoge kwelder (meetpunt 1) naar de lage kwelder tot bij het wad (meetpunt 24) en heeft een onderbreking ter hoogte van de *Juncus maritimus*-zone (meetpunten 16/17). De locaties van

de meetpunten zijn niet exact op de foto's terug te vinden. De raai is zo goed mogelijk in het beeld gereconstrueerd; de bemonstering tussen de meetpunten 1 en 21 is zodanig dat tussen twee opeenvolgende meetpunten ca. drie equidistante steekproeven zijn genomen in de y-richting van het beeld met per steekproef drie pixels in de x-richting (N.B. equidistantie heeft betrekking op de beeldcoördinaten!).

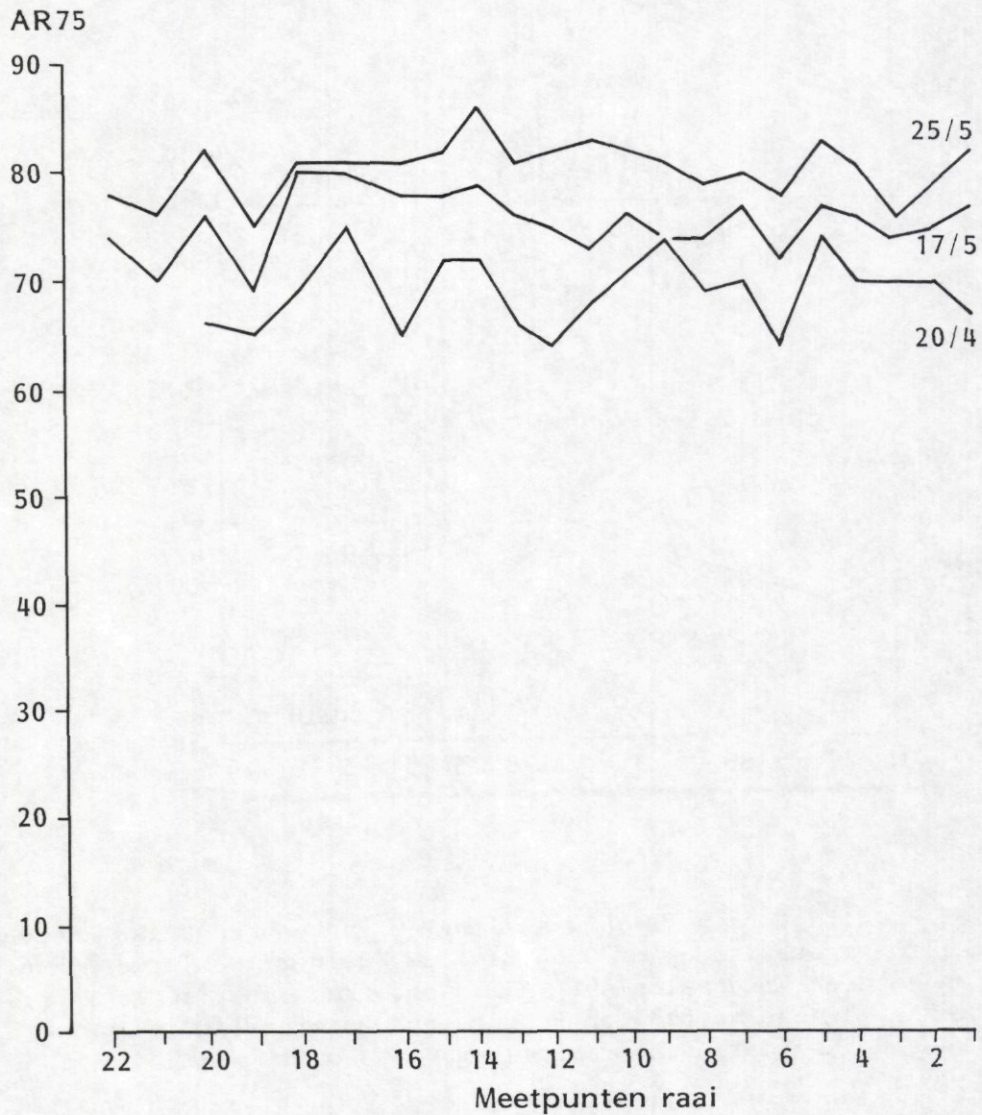


Fig. 17. Vegetatie-index waarden (AR75) berekend uit handreflectiemetingen langs de raai in de Oude Beweide Kwelder (cf. fig. 8) voor 20.4, 17.5 en 25.5.1985
Vegetation index (AR75) values along the transect in the Oude Beweide Kwelder, as calculated from spectrometer measurements (cf. fig. 8) for 19.4, 17.5 and 25.5.1985.

De pixelwaarden in infrarood en rood zijn voor 1985 teruggezocht in de getransformeerde datafiles. Voor de over drie pixels (loodrecht op de raai) gemiddelde IR- en R-waarden zijn per steekproef de corresponderende AR75-waarden berekend. Het lopend gemiddelde over drie waarden langs de raai is voor AR75 in Figuur 18 weergegeven voor 19.4, 17.5 en 31.5.85. De corresponderende AR75-waarden afkomstig uit de handreflektiemetingen zijn voor 20.4, 17.5 en 25.5 opgenomen als Figuur 17.

De interpretatie van deze figuren is lastig omdat de AR75-waarden uit

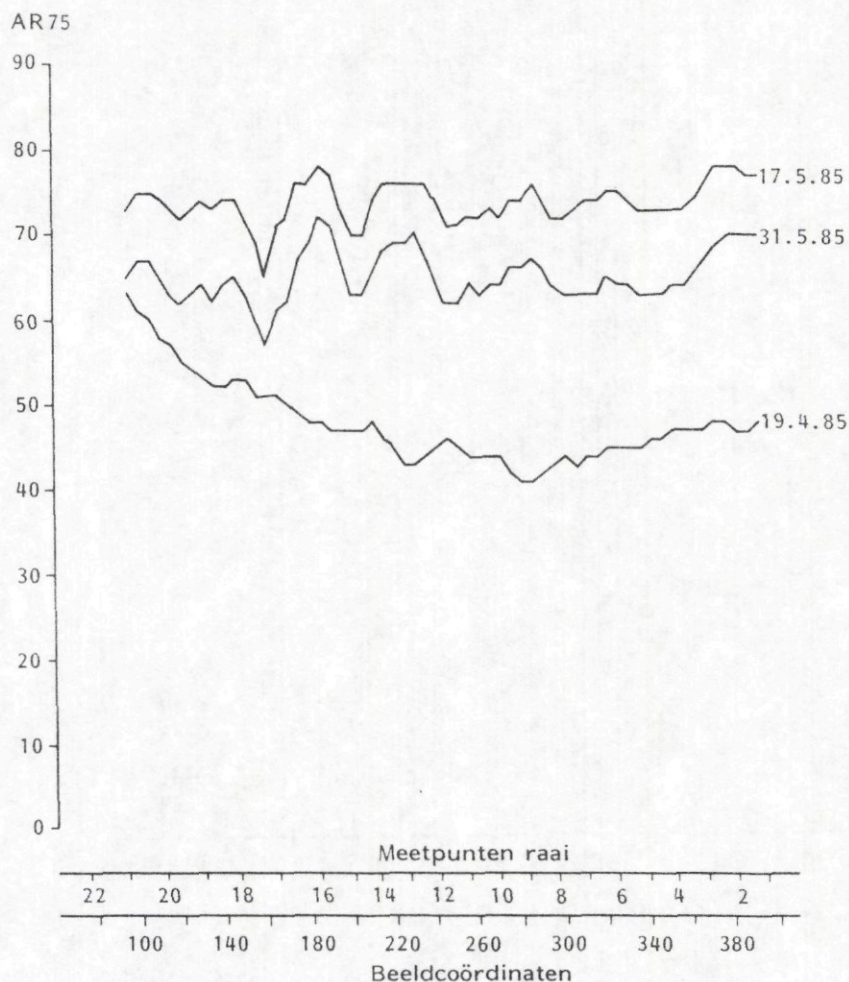


Fig. 18. Vegetatie-indexwaarden (AR75) berekend uit pixelwaarden langs de gereconstrueerde raai in de Oude Beweide Kwelder (cf. fig. 8) voor 19.4, 17.5 en 31.5.1985

Vegetation index values (AR75) along the reconstructed transect in the images of the Oude Beweide Kwelder (cf. fig. 8) as calculated from moving average pixel values for 19.4, 17.5 and 31.5.1985

de beelden en de handreflectiemetingen niet op dezelfde spectrale banden en proefvlakken betrekking hebben (wat ook geldt voor de ruwe IR- en R-waarden) en omdat de ligging van de raai in het beeld en de meetpunten langs de raai alleen bij benadering bekend zijn. Verschillend is het gedrag van de roodreflectie op de hoge kwelder (meetpunten 1-16) voor

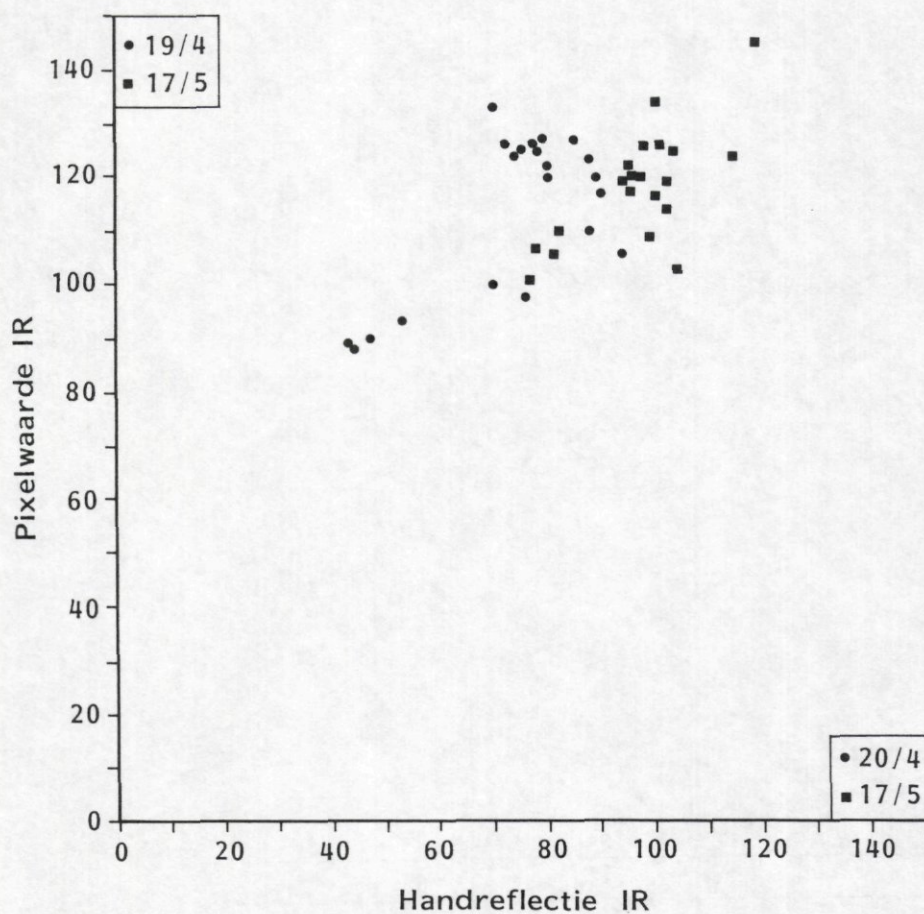


Fig. 19. Relatie tussen IR-waarden uit handreflectiemetingen en uit digitale beelden voor 19-20.4 en 17.5.1985 voor het cluster "Puccinellia-dicht" gelegen op de raai in de Oude Beweide Kwelder. Relation between IR-values obtained from spectrometer measurements (20.4 and 17.5.1985) and digitized aerial FC-photography (19.4 and 17.5.1985) for the cluster "Puccinellia-closed" along the transect in the Oude Beweide Kwelder.

19/20 april. De relatief hoge roodwaarden van de hoge kwelder in het digitale beeld van 19.4 zijn verantwoordelijk voor lage ('bodemachtige') VI-waarden. In de handreflectiemetingen van 20.4 komen ook hoge waarden voor, maar er is geen sprake van een trend.

Figuur 17 suggereert een duidelijke toename in produktie (LAI, biomassa) zowel in de periode 20.4-17.5 als 17.5-25.5. Dit is in tegenspraak met de gegevens uit de digitale beelden waaruit een duidelijke afname van VI-niveau in het interval 17.5-31.5 blijkt (N.B. de VI-niveaus in Figuur 17 zijn niet absoluut vergelijkbaar met die in Figuur 18). Deze discrepantie is een aanwijzing dat de calibratieprocedure niet voldoet. Voor de uit het digitale beeld berekende IR-waarden van de meetpunten (N.B. meetpunt is gemiddelde van drie pixelwaarden!) afkomstig van 'Puccinellia-dicht'-pixels zijn de corresponderende handreflectiewaarden uitgezet in Figuur 19.

Deze figuur zou een ijklijn moeten opleveren die voor calibratie en het schatten van produktie (LAI, biomassa) kan worden gebruikt. Gezien de eerder genoemde onzekerheden en het diffuse karakter van het scatter diagram is de relatie tussen handreflectiemetingen en pixelwaarden niet verder uitgewerkt.

6 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

6.1 Algemeen

De voor het ornithologisch onderzoek relevante vegetatie-eenheden kunnen bevredigend worden onderscheiden met spectrale kenmerken uit gedigitaliseerde FC-dia's. Deze eenheden stellen geen vegetatietypen in strikt vegetatiekundige zin voor (6.4), maar weerspiegelen het meer of minder voorkomen van enkele dominante soorten. De eenvoudige structuur (soortensamenstelling, zonering) van kweldervegetaties vergemakkelijkt de spectrale onderscheiding.

Veranderingen in het voedselaanbod in het voorjaar kunnen worden beschreven met een vegetatie-index. Aangezien de meeste eenheden een betrekkelijk open begroeiing hebben, is het gevaar van een 'verzadigde' VI gering. De vroege vegetatieontwikkeling (februari-april) is voor de ganzen van groot belang, maar kan onvoldoende worden vastgelegd met de hier gebruikte methode. De door Clevers (1986) voorgestelde procedure biedt wel perspectief en voorziet in een correctie van de VI voor de IR-straling van de bodem.

6.2 Film, schaal, banden

Door de onbetrouwbare kleurbalans en door het feit dat kleurinformatie alleen vervormd kan worden teruggewonnen (integrale densiteiten) is kleuren infrarood film niet bijzonder geschikt voor kwantitatief onderzoek. Zwart-wit infrarood film is een goed(koper) alternatief. De opnameschaal van 1:4000 - 1:5000 is goed bruikbaar voor een grondresolutie van ca. 50 cm, een minimummaat om lintvormige vegetaties (b.v. oeverwallen langs kreekjes) te kunnen onderscheiden. Gebruik van een kleinere schaal is niet aan te bevelen omdat elk pixel dan een oppervlak kleiner dan 0.1×0.1 mm op de dia voorstelt. Rode en groene informatie uit FC-dia's is sterk positief gecorreleerd. De digitalisatie van de dia's had beperkt kunnen worden tot het rode en groene filter (infrarode en rode informatie).

6.3 Calibratie

De in 5.2 beschreven 'calibratie' van het beeldmateriaal is aanvechtbaar vanwege de constant veronderstelde reflectieve eigenschappen van het duinzand en de kreekbodem en de constant en gelijk aan één veronderstelde reflectieratio's voor onbegroeide bodems.

Het is dringend gewenst voor kwantitatief onderzoek tenminste een licht en een donker reflectiepaneel mee te fotograferen waarvan de spectrale eigenschappen bekend zijn. Handreflectiemetingen moeten bij voorkeur worden uitgevoerd t.o.v. dezelfde panelen (of paneelmateriaal) die op de dia zichtbaar zijn en kunnen dan als 'secundaire referenties' worden gebruikt wanneer ze b.v. via vliegschijven op de dia zijn te localiseren. Vliegschijven kunnen ook worden gebruikt om de registratie van beelden te vergemakkelijken. Het verdient aanbeveling de bodemvariatie vast te leggen met handreflectiemetingen op plaatsen waar de vegetatie ontbreekt (natuurlijk of kunstmatig). Zijn per vegetatietype de spectrale eigenschappen van het bodemtype bekend dan is het effect van bodem en vegetatie op de reflectiewaarden te ontwarren, waarmee ook rekening kan worden gehouden in de vegetatie-index. Variatie in reflectie als gevolg van verschillen in zonnestand wordt belangrijk in geaccidenteerd terrein; op de kwelders zijn met name de steile kreekoevers in dit opzicht van belang.

6.4 Training set

Nauwkeurige gegevens over vegetatie- en bodemeigenschappen die van belang zijn voor de reflectie van het te onderzoeken gebied zijn onmisbaar bij het samenstellen van een training set. Traditionele vegetatiekaarten geven voor dit doel vaak te weinig (nauwkeurige) informatie. Koppeling dient te geschieden met grondgegevens die zijn verzameld met als primair doel vegetatie- en reflectiegegevens te integreren. Te denken valt aan dominante soorten, structuur (ruigheid) en textuur (variatie) per type.

Het LAI-concept vormt de schakel tussen reflectiewaarden in rood en infrarood enerzijds en biomassa en produktie anderzijds. Een analoog concept zou uitgewerkt moeten worden voor de integratie van vegetatiekundige informatie.

6.5 Classificatie

Het gebruik van een classificatie gebaseerd op één tijdstip als overlay voor beelden van andere tijdstippen, zoals is uitgewerkt in 5.3, is verdedigbaar als het tijdstip waarop de classificatie wordt gebaseerd optimaal is voor het onderscheiden van de klassen en als de classificatienauwkeurigheid acceptabel is. Het vegetatiestadium op 31.5.85 lijkt optimaal voor begrazingsonderzoek aangezien de ganzen eind mei en begin juni naar de broedgebieden vertrekken. Pas dan kan een

vegetatiekaart worden gemaakt. Pas nadat de ganzen weg zijn, blijkt waar en in welke aantallen Triglochin op de kwelders voorkomt, een soort die bovengronds volledig wordt weggegraasd.

6.6 Vegetatie-index

De index $AR75 = \arctan(IR/R)$ is zeer geschikt voor beeldverwerking vanwege het bereik op $[0,90]$, de grafische interpretatie in het IR-R-vlak en de eenvoudige implementatie. Wanneer VI's, eventueel gecorrigeerd voor een 'soil line' (zie 6.2), gebruikt kunnen worden als LAI-schatters, dan worden de interpretatieproblemen verschoven naar de relaties tussen LAI en biomassa, produktie en soortensamenstelling. Regressies van VI's op biomassa zonder meer hebben weinig biologische betekenis. De rol die LAI speelt in produktie-ecologische simulatiemodellen kan worden benut bij het opstellen van verantwoorde regressiemodellen. Voor begrazingsonderzoek zijn de relaties tussen spectrale eigenschappen en biomassa, voedselkwaliteit, verteerbaarheid e.d. van groot belang. Deze relaties moeten experimenteel worden vastgesteld. In 6.4.3 is al gewezen op het feit dat begrazing het biomassaniveau laag houdt maar tot hoge produktie kan leiden. Dit compliceert het gebruik van VI's in dergelijk onderzoek aanzienlijk.

LITERATUUR

- Clevers, J.G.P.W. 1986. Application of remote sensing to agricultural field trials. Agr. Univ. Wageningen papers 86-4.
- Colwell, J.E. 1974. Grass canopy bidirectional spectral reflectance. Proc. 9th. Int. Symp. Remote Sens. Environ., Univ. of Michigan, Ann Arbor; 1061-1085.
- Curran, P.J. 1980. Relative reflectance data from preprocessed multispectral photography. Int. J. Remote Sens. 1: 77-84.
- Curran, P.J. 1981. Multispectral remote sensing for estimating biomass and productivity. In: H. Smith (ed.), Plants and the daylight spectrum. Academic Press, London; 65-99.
- Curran, P.J. 1983. Estimating green LAI from multispectral aerial photography. Photogram. Eng. Remote Sens. 49: 1709-1720.
- Curran, P.J. & A.M. Hay 1986. The importance of measurement error for certain procedures in remote sensing at optical wavelengths. Photogram. Eng. Remote Sens. 52: 229-241.
- Curran, P.J. & E.J. Milton 1983. The relationship between the chlorophyll concentration, LAI and reflectance of a simple vegetation canopy. Int. J. Remote Sens. 4: 247-255.
- Curran, P.J., T.J. Munday & E.J. Milton 1981. A comparison between two photographic methods for the determination of relative bidirectional reflectance. Int. J. Remote Sens. 2, 185-188.
- Eikenaar, G.J. & J.H. Loedeman 1983. Remote sensing en straatbomen (III). Nederlands Geodetisch Tijdschrift Geodesia 83: 266-281.
- Esselink, P. & H.A.M.J. van Gils 1985. Ground-based reflectance measurements for standing crop estimation. ITC-Journal 1985-1: 47-52.
- Huete, A.R., R.D. Jackson & D.F. Post 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. Remote Sens. Environ. 17: 37-53.
- Huete, A.R., D.F. Post & R.D. Jackson 1984. Soil spectral effects on 4-space vegetation discrimination. Remote Sens. Environ. 16: 155-165.
- Janse, A.R.P. & N.J.J. Bunnik 1974. Reflectiespectra van enige Nederlandse bodemonsters bepaald met de NIWARS-veldspectrometer. NIWARS publikatie no. 18.
- Johansen, H.L. 1982. False colour and urban tree stress. Dienst der Gemeenteplantsoenen van 's-Gravenhage (intern rapport).
- Kasteleijn, H.W. 1985. Herkartering van de Oude Beweide Kwelder op

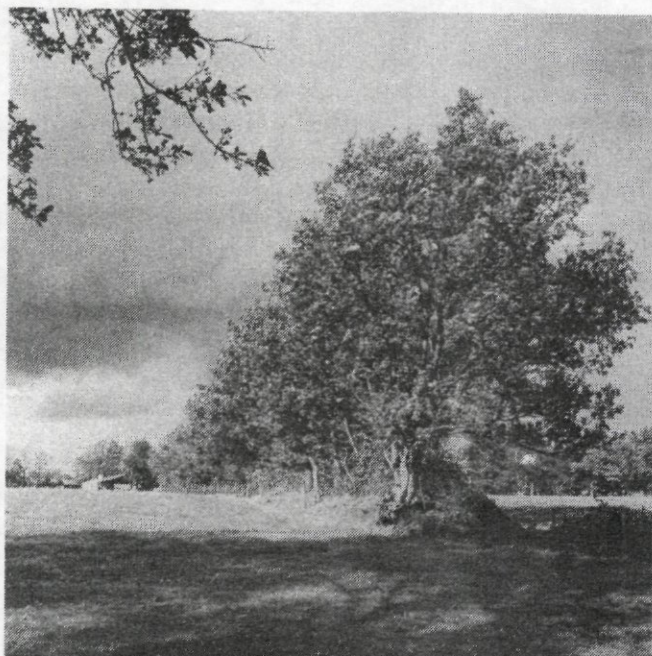
- Schiermonnikoog, zomer en najaar 1980. Doct. verslag RUG/RIN.
- Kootwijk, E.J. van 1985. Needse Achterveld, multispectrale scanning ten behoeve van vegetatiekartering. Intern rapport 87/18, RIN, Leersum.
- Lillesand, T.M. & R.W. Kiefer 1979. Remote sensing and image interpretation. Wiley, New York.
- Milthorpe, F.L. & J. Moorby 1979. An introduction to crop physiology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Perry, C.R. & L.F. Lautenschlager 1984. Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 14: 169-182.
- Prop, J. & M. Loonen 1986. Het voedselaanbod op de kwelder in het voorjaar, en het effect van veranderingen hierin op het gedrag van rotganzen. Werkbespreking 'Ontwikkelingen bij het rotganzenonderzoek (RUG/RIN)', 12 februari 1986.
- Schowengerdt, R.A. 1983. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Academic Press, New York.
- Shibayama, M. & C.L. Wiegand 1985. View azimuth and zenith, and solar angle effects on wheat canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.* 18: 91-103.
- Teunissen, W., B. Spaans & R. Drent 1985. Breeding success in Brent in relation to individual feeding opportunities during spring staging in the Wadden Sea. *Ardea* 73: 109-119.
- Thalen, D.C.P., J.A. Leemburg & R. Beck 1980. Estimating aerial biomass in semi-natural vegetation from spectral reflectance measurements. 1. Preliminary experiences. *Acta Bot. Neerl.* 29: 565-578.
- Townsend, F.E. 1986. The enhancement of computer classifications by logical smoothing. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 52: 213-221.
- Townshend, J.R.G. (ed.) 1981. Terrain analysis and remote sensing. George Allen & Unwin, London.
- Uenk, D. 1982. Bepaling van grondbedekking en biomassa met behulp van een reflectiemeter. CABO-verslag 41, Wageningen.
- Wirdum, G. van 1983. Opmerkingen met betrekking tot de handspectrometers. RIN Leersum, stencil.
- Wirdum, G. van 1986. De oprichting van het beeldverwerkingsstation PIXYS bij het Rijksinstituut voor Natuurbeheer; verslag van een innovatieproject. Intern rapport, RIN, Arnhem.

De volgende RIN-rapporten kunnen besteld worden door overschrijving van het verschuldigde bedrag op giro 516 06 48 van het RIN te Leersum onder vermelding van het rapportnummer. Uw giro-overschrijving geldt als bestelformulier; toezending geschiedt franco. Gebruik geen verzamelgiro omdat het adres van de besteller niet op onze giro-bijbeschrijving wordt vermeld zodat het bestelde niet kan worden toegezonden.

- 86/7 M.Nooren, Inventarisatie van de houtwallen in het nationale park de Hoge Veluwe. 49 p. f 8,-
- 86/8 M.Nooren, Over het verleden van de Hoge Veluwe. 89 p. f 13,50
- 86/9 K.Stoker, De verspreiding van de rode bosmieren op de Hoge Veluwe. 110 p. f 15,60
- 86/19 B.van Noorden, Dynamiek en dichtheid van bosvogels en geïsoleerde loofbosfragmenten. 58 p. f 8,50
- 86/21 G.P.Gonggrijp (red.), Gea-objecten van Limburg. 287 p. f 34,-
- 87/1 W.O.van der Knaap & H.F.van Dobben, Veranderingen in de epifytenflora van Rijnmond sinds 1972. 36 p. f 6,-
- 87/2 A.van Winden et al., Ruimtelijke relaties via vogels in het Strijper-Aangebied gedurende broedtijd en zomer. 97 p. f 14,50
- 87/3 F.J.J.Niewold, De korhoenders van onze heideterreinen: verleden, heden en toekomst. 32 p. f 5,-
- 87/4 H.Koop, Het RIN-bosecologisch informatiesysteem; achtergronden en methoden. 47 p. f 7,50
- 87/5 K.Kersting, Zuurstofhuishouding van twee poldersloten in de polder Demmerik. 63 p. f 11,-
- 87/6 G.F.Willemsen, Bijzondere plantesoorten in het nationale park de Hoge Veluwe; voorkomen en veranderingen. 92 p. f 13,50
- 87/7 M.J.Nooren, Het verleden van de houtwallen in het nationale park de Hoge Veluwe. 23 p. f 5,-
- 87/8 G.Groot Bruinderink, D.Kloeg & J.Wolkers, Het beheer van de wilde zwijnen in het Meinweggebied (Limburg). 96 p. f 14,50
- 87/9 K.S.Dijkema, Selection of salt-marsh sites for the European network of biogenetic reserves. 30 p. f 5,50
- 87/11 G.J.Baaijens, Effecten van ontwateringswerken in de ruilverkaveling Ruinerwold-Koekange. 64 p. f 9,-
- 87/13 J.Weinreich & J.Oude Voshaar, Populatieontwikkeling van overwinterende vleermuizen in de mergelgroeven van Zuid-Limburg (1943-1987). 62 p. f 8,-
- 87/14 N.Dankers, K.S.Dijkema, G.Londo & P.A.Slim, De ecologische effecten van bodemdaling op Ameland. 90 p. f 13,50
- 87/15 F.Fahner & J.Wiertz, Handleiding bij het WAFLO-model. 99 p. f 14,50
- 87/16 J.Wiertz, Modelvorming bij de projecten van WAFLO en SWNBL. 34 p. f 6,-
- 87/17 W.H.Diemont & J.T.de Smidt (eds.), Heathland management in The Netherlands. 110 p. f 15,50
- 87/18 Effecten van de kokkelvisserij in de Waddenzee. 23 p. f 3,75
- 87/19 H.van Dam, Monitoring of chemistry, macrophytes, and diatoms in acidifying moorland pools. 113 p. f 16,-
- 87/20 R.Torenbeek, P.F.M.Verdonschot & L.W.G.Higler, Biologische gevolgen van vergroting van waterinlaat in de provincie Drenthe. 178 p. f 23,-
- 87/21 J.E.Winkelman & L.M.J.van den Bergh, Voorkomen van eenden, ganzen en zwanen nabij Urk (NOP) in januari-april 1987. 52 p. f 7,50
- 87/22 B.van Dessel, Te verwachten ecologische effecten van pekellozing in het Eems-Dollardgebied. 71 p. f 10,-
- 87/23 W.D.Denneman & R.Torenbeek, Nitraatmissie en Nederlandse ecosystemen: een globale risico-analyse. 164 p. f 21,-
- 87/24 M.Buil, Begrazing van heidevegetaties door edelhert en moeflon; een

- literatuurstudie. 31 p. f 5,60
- 87/25 M.Post, Toelichting op de vegetatiekaart (1981) van het nationale park de Hoge Veluwe. 49 p. f 7,50
- 87/26 H.A.T.M.van Wezel, Heidefauna in het nationale park de Hoge Veluwe. 54 p. f 8,-
- 87/28 G.M.Dirkse, De natuur van het Nederlandse bos. 217 p. f 27,50
- 87/29 H.Siepel et al., Beheer van graslanden in relatie tot de ongewervelde fauna: ontwikkeling van een monitorsysteem. 127 p. f 17,95
- 88/30 P.F.M.Verdonschot & R.Torenbeek, Lettercodering van de Nederlandse aquatische macrofauna voor mathematische verwerking. 75 p. f 10,-
- 88/31 P.F.M.Verdonschot, G.Schmidt, P.H.J.van Leeuwen & J.A.Schot, Steekmuggen (Culicidae) in de Engbertsdijkvenen. 109 p. f 15,50
- 88/33 H.Eijsackers, C.F.van de Bund, P.Doelman & Wei-chun Ma, Fluctuerende aantallen en activiteiten van bodemorganismen. 85 p. f 13,-
- 88/34 Toke de Wit, De effecten van ozon op natuurlijke ecosystemen; een literatuuronderzoek. 27 p. f 5,20
- 88/35 A.J.de Bakker & H.F.van Dobben, Effecten van ammoniakemissie op epifytische korstmossen; een correlatief onderzoek in de Peel. 48 p. f 7,50
- 88/36 B.v.Dessel, Ecologische inventarisatie van het IJsselmeer. 82 p. f 12,75
- 88/37 A.Schotman, Tussen bos en houtwal; broedvogels in een Twents cultuurlandschap. 87 p. f 13,25
- 88/38 P.Opdam & H.van den Bijtel, Vogelgemeenschappen van het landgoed Noordhout. 66 p. f 10,-
- 88/39 P.Doelman, H.Loonen & A.Vos, Ecotoxicologisch onderzoek in met Endosulfan verontreinigde grond: toxiciteit en sanering. 34 p. f 6,-
- 88/40 G.P.Gonggrijp, Voorstel voor de afwerking van de groeve Belvedere als archeologisch-geologisch element. 13 p. f 3,-
- 88/41 J.L.Mulder (red.), De vos in het Noordhollands Duinreservaat. Deel 1: Organisatie en samenvatting. 32 p.
- 88/42 J.L.Mulder, idem. Deel 2: Het voedsel van de vos. 78 p.
- 88/43 J.L.Mulder, idem. Deel 3: De vossenpopulatie. 129 p.
- 88/44 J.L.Mulder, idem. Deel 4: De fazantenpopulatie. 59 p.
- 88/45 J.L.Mulder & A.H.Swaan, idem. Deel 5: De wulpenpopulatie. 76 p.
- De rapporten 41-45 worden niet los verkocht maar als serie van vijf voor f 25.
- 88/46 J.E.Winkelman, Methodologische aspecten vogelonderzoek SEP-proefwindcentrale Oosterbierum (Fr.). Deel 1. 145 p. f 20,-
- 88/47 T.A.Renssen, De herintroductie van de raaf (*Corax corax*) in Nederland: een overzicht. 30 p. f 5,50
- 88/48 J.J.Smit, Het Eemland en de polder Arkemheen rond het begin van de twintigste eeuw. 64 p. f 9,-
- 88/49 G.W.Gerritsen, M.den Boer & F.J.J.Niewold, Voedseleecologie van de vos in Nederland. 96 p. f 14,25
- 88/50 G.P.Gonggrijp, Permanente geologische ontsluitingen in de taluds van Rijksweg A 1 bij Oldenzaal. 18 p. f 3,50
- 88/51 P.Spaak, Een modelmatige benadering van de effecten van graslandbeheer op het populatieverloop van weidevogels. 42 p. f 7,50
- 88/52 H.Sierdsema, Broedvogels en landschapsstructuur in een houtwallandschap bij Steenwijk. 112 p. f 16,-
- 88/53 L.W.G.Higler & F.F.Repko, Analyse van de macrofauna van de Hierdense Beek. 97 p. f 14,25
- 88/54 H.W.de Nie & A.E.Jansen, De achteruitgang van de oevervegetatie van het Tjeukemeer tussen Oosterzee (Buren) en Echten. 18 p. f 4,50
- 88/55 R.Torenbeek, Hydrobiologie en waterhuishouding: een beleidsvoorbereidende studie. 148 p. f 20,50

- 88/56 P.A.J.Frigge & C.M.van Kessel, Adder en zandhagedis op de Hoge Veluwe: biotopen en beheer. 16 p. f 3,50
- 88/57 A.J.de Bakker, Monitoring van epifytische korstmossen in Nederland in 1987. 35 p. f 6,-
- 88/59 F.J.J.Niewold & H.Nijland, De Sallandse Heuvelrug als reservaat voor het Westeuropese heidekorhoen. 102 p. f 14,50
- 88/62 K.Romeyn, Estuariene nematoden en organische verontreiniging in de Dollard. 23 p. f 5,-
- 88/63 S.E.van Wieren & J.J.Borgesius, Evaluatie van bosbegrazingsobjecten in Nederland. 133 p. f 19,-
- 88/64 G.P.Gonggrijp (red.), Gea-objecten van Gelderland. 342 p. f 40,-
- 88/66 K.S.Dijkema et al., Effecten van rijzendammen op opslibbing en omvang van de vegetatiezones in de Friese en Groninger landaanwinningswerken. Rapport in samenwerking met RWS Directie Groningen en RIJP Lelystad. 130 p. f 18,50
- 88/67 G.Schmidt & J.C.M.van Haren, Achtergronden van een steekmuggenplaag; steekmuggen (Culicidae) in de Engbertsdijksvenen 2. 162 p. f 20,50
- 88/68 R.Noordhuis, Maatregelen ter voorkoming en beperking van schade door zilvermeeuwen. 48 p. f 7,50
- 89/1 E.J.van Kootwijk, Inventarisatie van de vergrassing van de Nederlandse heide. 49 p. f 7,50
- 89/3 F.Maaskamp, H.Siepel & W.K.R.E.van Wingerden, Een monitoring experiment met ongewervelde dieren in graslanden op zandgrond. 44 p. f 13,50
- 89/4 R.Noordhuis, De relatie tussen zilvermeeuwen op vuilstortplaatsen en de schade op mosselpercelen en in weidevogelgebieden in Zuidwest-Nederland. 108 p. f 15,50
- 89/5 R.J.Bijlsma, Remote sensing voor classificatie van de vegetatie en schatting van de biomassa op ganzenpleisterplaatsen in het waddengebied. 62 p. f 8,50
- 89/7 R.Ketner-Oostra, Lichenen en mossen in de duinen van Terschelling. 157 p. f 20,50
- 89/8 A.L.J.Wijnhoven, Effecten van aanleg, beheer en gebruik van golfbanen en mogelijkheden voor natuurtechnische milieubouw. 19 p. f 4,50
- 89/11 C.J.Smit & G.J.M.Visser, Verstoring van vogels door vliegverkeer, met name door ultra-lichte vliegtuigen. 12 p. f 3,50
- 89/13 K.Lankester, Effecten van habitatversnippering voor de das (Meles meles); een modelbenadering. 101 p. f 14,50
- 89/16 J.J.M.Berdowski et al., Effecten van rookgas op wilde planten. 108 p. f 15,50



Ecologie van kleine
landschapselementen

Rijksinstituut voor Natuurbeheer

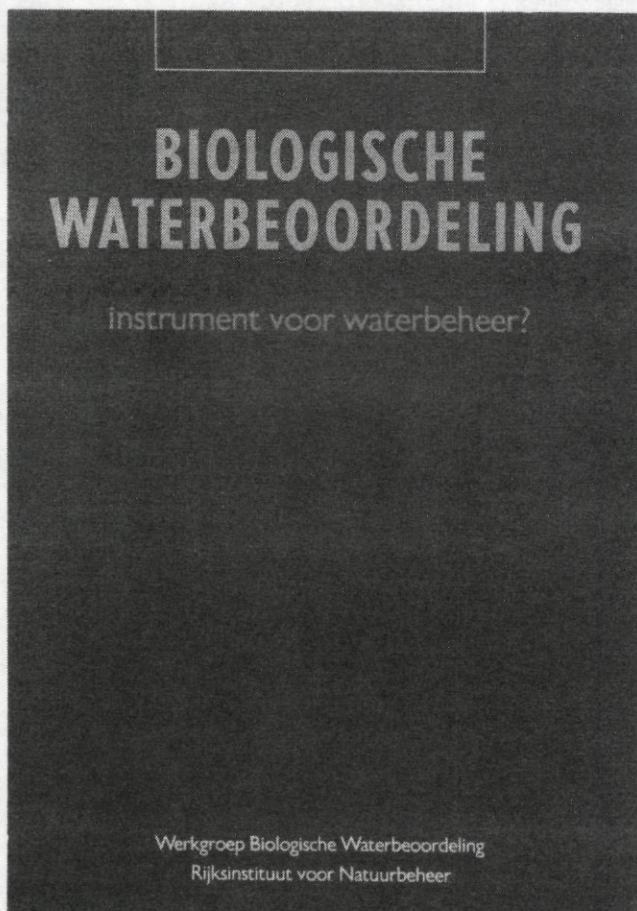
Ecologie van kleine landschapselementen

Kleine landschapselementen vormen voor veel soorten planten en dieren van het cultuurlandschap biotoop en ecologische infrastructuur. In 1986 wijdde het RIN een studiedag aan dit thema. In het verslag hiervan werd een overzicht gegeven van de stand van het onderzoek en er is ruime aandacht besteed aan praktijkproblemen van de landinrichting.

88 pagina's, geïllustreerd

prijs f 20,-

bestelcode: KLE



**BIOLOGISCHE
WATERBEOORDELING**

instrument voor waterbeheer?

Werkgroep Biologische Waterbeoordeling
Rijksinstituut voor Natuurbeheer

Biologische waterbeoordeling: instrument voor waterbeheer?

De Werkgroep Biologische Waterbeoordeling organiseerde in 1987 in samenwerking met het RIN een symposium waarvan de bijdragen gebundeld zijn in dit boek.

"De werkgroep heeft een rijk en plezierig geïllustreerd kader uitputtend op poten gezet. Laten we voortaan spreken van de blauwe gids en wie hem onverhoopt nog niet heeft: aanschaffen!"

Jaap Dorgelo in Hydrobiological Bulletin 22,2: 209.

184 pagina's

prijs f 35,-

bestelcode: BW

Beide boeken zijn te bestellen door overschrijving van het verschuldigde bedrag op giro 516 06 48 van het RIN te Leersum onder vermelding van de bestelcode. Uw giro-overschrijving geldt als bestelformulier; toezending geschiedt franco.