

ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN VAN OPERATIONELE
TOEPASSING VAN REMOTE SENSING TECHNIEKEN IN DE
LANDBOUW EN HET NATUURBEHEER

Projectteam Remote Sensing Studieproject
Oost-Gelderland

RAPPORT 17

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING (ICW)
POSTBUS 35, 6700 AA WAGENINGEN 1985

249656

Tussen de jaren 1957 en 1964 zijn 23 Rapporten (eerste serie) verschenen. In 1982 is de reeks in een andere vorm hervat als RAPPORTEN (nieuwe serie).

De RAPPORTEN (nieuwe serie) zijn te bestellen door storting van het verschuldigde bedrag op giro 817672 t.n.v. ICW, Wageningen, onder vermelding van de gewenste publikatie en het aantal exemplaren. Toezending geschiedt na ontvangst van het bedrag.

Prijs Rapport 1 f 15; Rapport 2 f 10; Rapport 3 f 5; Rapport 4 f 5; Rapport 5 f 5; Rapport 6 f 5; Rapport 7 f 7,50; Rapport 8 f 7,50; Rapport 9 f 5; Rapport 10 f 7,50; Rapport 11 f 7,50; Rapport 12 f 12,50; Rapport 13 f 10; Rapport 14 f 7,50; Rapport 15 f 15; Rapport 16 f 10; Rapport 17 f 12,50

Te verkrijgen RAPPORTEN (nieuwe serie)

1. Sprik, J.B. en G.H. Horst. 1982. Onderzoek naar capaciteitsnormen voor diepploegen, bulldozers en hydraulische graafmachines.
2. Nieuwenhuis, G.J.A. en C.L. Palland. 1982. Verdamming van een aardappelgewas en de meting daarvan via remote sensing.
3. Hoeks, J. en G.J. Agelink. 1982. Onderzoek naar mogelijkheden om de infiltratie van regenwater in een afvalstort te verminderen.
4. Alderwegen, H.A. van. 1982. Planning van openluchtrecreatievoorzieningen bij voorbereiding van landinrichtingsprojecten.
5. Rijtema, P.E. et al. 1982. Bemesting, waterhuishouding, perceelscheidingen en landbouw. Commentaar op een RIN-rapport.
6. Harmsen, J. en H. van Drumpt. 1982. Conservering van watermonsters.
7. Ernst, L.F. 1983. Wegzijing en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden.
8. Steenvoorden, J.H.A.M. en M.J. de Heus. 1984. Fosfaatbalansstudies en de bijdrage van diffuse bronnen.
9. Wijk, A.L.M. van. 1984. Landbouwkundige aspecten van ontwatering in veenweidegebieden. Commentaar op een literatuuranalyse.
10. Beuving, J. 1984. Vocht- en doorlatendheidskarakteristieken, dichtheid en samenstelling van bodemprofielen in zand-, zavel-, klei- en veengronden.
11. Weerd, B. van der en L.F. Ernst. 1984. Een prognose van het effect van een peilverhoging in het Philippinekanaal (Zeeland) op de grondwaterstand in de aangrenzende polders.
12. Werkgroep nitraatuitspoeling in waterwingebieden. 1985. Nitraatproblematiek bij grondwaterwinning in Nederland. Onderzoek naar alternatieve maatregelen.
13. Wilde, J.G.S. de. 1984. Dammen van riet, heide of boomschors als perceelverbinding in veenweidegebieden.
14. Kemmers, R.H. en P.C. Jansen. 1985. Stikstofmineralisatie in onbemeste half-natuurlijke graslanden.
15. Bakel, P.J.T. van. 1985. Effecten van peilbeheer in het gebied 'De Monden' (Drenthe).
16. Wilde, J.G.S. de. 1985. Rekenmodel en productienormen voor grondtransport met getrokken en zelfrijdende dumpers.
17. Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. 1985. Onderzoek naar de mogelijkheden van operationele toepassing van remote sensing technieken in de landbouw en het natuurbeheer.

De inhoud van dit rapport is eveneens verschenen als Eindrapport van het Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland, samengesteld door het Projectteam. Nota 1641, september 1985. ICW, Wageningen. 41 pp.

VOORWOORD

Het rapport dat voor U ligt bevat de resultaten van een onderzoek naar de mogelijkheden van operationele toepassing van remote-sensingtechnieken in de landbouw en het natuurbeheer. Daarbij werd als studiegebied Oost-Gelderland gekozen.

Aan dit onderzoek is gedurende een drietal jaren enthousiast en eendrachtig samengewerkt door een team van medewerkers van verschillende instellingen. Deze samenwerking heeft geresulteerd in een groot aantal rapporten, publikaties, nota's en scripties. Dit rapport bevat het eindverslag van het onderzoek met een samenvatting van de voornaamste resultaten, de conclusies en aanbevelingen. Daaruit komt naar voren dat toepassing van remote-sensingtechnieken in combinatie met conventionele technieken in veel gevallen een duidelijker en nauwkeuriger uitkomst geeft dan wanneer deze technieken niet aangewend zouden zijn.

De projectgroep is er in geslaagd de overvloed van remote sensing en andere informatie te condenseren tot een helder verslag, dat voor een breed publiek toegankelijk is. En dit dan ook nog binnen de haar toegemeten tijd! Daarom wens ik, namens de stuurgroep, de projectgroep van harte geluk met het behaalde eindresultaat.

De studie is financieel mogelijk gemaakt door gezamenlijke bijdragen van het Ministerie van Landbouw en Visserij en het Directoraat-Generaal voor Wetenschapsbeleid. Daarbij heeft de Begeleidings Commissie Remote Sensing (BCRS) steeds van haar warme belangstelling voor het project blijk gegeven.

Het studieproject Oost-Gelderland heeft het belang van toepassing van remote-sensingtechnieken in landbouw en natuurbeheer aangetoond. Het verdient daarom aanbeveling dat instellingen, die met deze aandachtsgebieden te maken hebben, structureel ruimte voor toepassing van remote-sensingtechnieken in hun werkprogramma's gaan reserveren.

Het studieproject heeft tevens duidelijk gemaakt dat integratie van remote-sensingtechnieken in bestaand onderzoek bij uitstek een interdisciplinaire aangelegenheid is. Dit houdt in dat in de toekomst remote-sensingonderzoek dikwijls zal plaatsvinden in zogenaamde pilotprojecten waar meerdere instellingen bij betrokken zijn. Een en ander houdt in dat er een goede coördinatie noodzakelijk zal zijn met betrekking tot de ontwikkeling van methodieken en het vastleggen van gegevens.

Nu het project beëindigd is, moesten een aantal van de tijdelijk aangetrokken medewerkers afvloeien. Dit is een treurige zaak, niet alleen voor deze mede-

werkers persoonlijk, maar ook voor de betrokken instellingen, omdat net als in andere tijdelijke remote-sensingprojecten zo weer een aanzienlijk deel van de verkregen kennis op het gebied van de remote sensing verloren is gegaan.

dr. R.A. Feddes
(voorzitter Stuurgroep)

I N H O U D

	blz.
IN KORT BESTEK	1
CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	1
Algemeen	1
Vegetatiekundig onderzoek in landbouwgebieden	1
Vegetatiekundig onderzoek in natuurgebieden	2
Hydrologisch onderzoek in landbouwgebieden	2
Technische aspecten	3
1. INLEIDING	3
2. OPZET VAN HET ONDERZOEK	6
2.1. Doelstelling van het onderzoek	6
2.2. Organisatie van het onderzoek	6
2.3. Onderzoeksgebieden	6
2.3.1. Oost-Gelderland	6
2.3.2. Drents-Groningse veenkoloniën	6
2.4. Werkwijze	7
2.4.1. Algemeen	7
2.4.2. Vegetatiekundig onderzoek in landbouwgebieden	7
2.4.3. Hydrologisch onderzoek in landbouwgebieden	8
2.4.4. Vegetatiekundig onderzoek in natuurgebieden	9
3. REMOTE-SENSINGVLUCHTEN	9
4. VERWERKING VAN REMOTE-SENSINGOPNAMEN	10
4.1. Gebruikte verwerkingssystemen	10
4.2. Toegepaste verwerkingsmethoden	10
4.2.1. Algemeen	10
4.2.2. Verwerking opnamen landbouwgebieden	10
4.2.3. Verwerking opnamen natuurgebieden	11
5. RESULTATEN VAN HET VEGETATIEKUNDIG ONDERZOEK	11
5.1. Landbouwgebieden	11
5.2. Natuurgebieden	13
6. RESULTATEN VAN HET AGROHYDROLOGISCH ONDERZOEK	14
6.1. Algemeen	14
6.2. Toetsing van het TERGRA-model en vereenvoudiging van de methodiek van verdampingskartering	14
6.3. Kartering met remote sensing van de verdamping in Oost-Gelderland	15
6.3.1. Hydrologische interpretatie van enkele verdampingskaarten	15
6.3.2. Invloed van grondwateronttrekking op de vochtvoorziening van landbouwgewassen	16
6.4. Kartering met remote sensing van de verdamping in de Drents-Groningse veenkoloniën	17
6.5. Remote-sensingbenadering en berekeningen met hydrologische modellen	18

	b1z.
6.6. Aspecten van de kosten en baten bij toepassing van remote sensing	19
LITERATUUR	20
Bijlage 1. Deelnemende instellingen	22
2. Overzicht van in het kader van het studieproject verschenen publikaties	23
3. Overzicht van de belangrijkste remote-sensingvluchten, die voor het studieproject zijn uitgevoerd	25
4. Financieel overzicht	26

IN KORT BESTEK

Dankzij middelen uit het Stimuleringsfonds van het Ministerie van Landbouw en Visserij en het Directoraat-Generaal voor Wetenschapsbeleid kon in 1981 worden gestart met het Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. In het kader van dit project zijn voor landbouw- en natuurgebieden de mogelijkheden voor operationele toepassing van remote sensing opname- en verwerkingstechnieken onderzocht. Getracht is voor een gebied van enige omvang informatie te verkrijgen omtrent het watergebruik van vegetatiedekken, de bodemvochtvoorraad, de produktie van gewassen, de samenstelling van natuurlijke vegetatie en het voorkomen van landbouwgewassen.

Daartoe zijn in 1982 en 1983 in Oost-Gelderland en de Drents-Groningse veenkoloniën met succes een aantal remote-sensingvluchten uitgevoerd. Vooral de vlucht na een relatief droge periode in de zomers van 1982 en 1983 leverden zeer bruikbare opnamen op. Een goede voorjaarsopname is helaas niet gelukt.

In het onderzoek is gebruik gemaakt van met een scanner opgenomen reflectie- en warmtebeelden en van false colour foto's. Zowel ter verkrijging van trainingsgebieden, die nodig zijn bij de digitale verwerking van de remote-sensingopnamen, als voor de beoordeling van de uit remote-sensingopnamen afgeleide informatie zijn in beide jaren veldwaarnemingen verricht.

Naast een vegetatiekundige beschrijving van landbouw- en natuurgebieden is voor enkele landbouwgebieden een verdampingskaart samengesteld. Voor het eerst werd een dergelijke kaart samengesteld door automatische verwerking van digitale reflectie- en warmtebeelden.

In dit rapport worden de belangrijkste resultaten, die in het kader van het studieproject zijn verkregen, gepresenteerd.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

ALGEMEEN

- Gebleken is dat remote-sensingtechnieken operationeel kunnen worden toegepast bij de vegetatiekartering in landbouwgebieden.
- In tegenstelling tot luchtfotografie is toepassing van multi-spectrale scanning bij de vegetatiekartering van natuurgebieden met de huidige opname- en verwerkingsfaciliteiten niet operationeel. Voor natuurgebieden bestaat er behoefte aan flexibeler verwerkingsprogramma's.
- Eventuele schade aan landbouwgewassen door verlaging van de grondwaterstand kan gedetailleerder en betrouwbaarder worden vastgesteld door in aanvulling op bestaande methodieken remote sensing toe te passen. Geadviseerd wordt ter stimulering van het operationeel gebruik samen met uitvoerende diensten projecten op te zetten, waarbij remote sensing dient te worden toegepast in combinatie met de traditionele werkwijze. Daarbij moet vooral aandacht

worden besteed aan de kosten-baten analyse.

- Als onafhankelijke meettechniek kan remote sensing een belangrijk middel zijn bij het vaststellen en vastleggen van effecten van ingrepen in de hydrologische situatie.

VEGETATIEKUNDIG ONDERZOEK IN LANDBOUWGBIEDEN

- De gewaskartering aan de hand van scanneropnamen levert voor landbouwgebieden goede resultaten op. Om echter bij de kartering een volledig gebiedsdekkend beeld te krijgen is een multitemporale analyse noodzakelijk, waarbij de opnametijdstippen moeten worden afgestemd op de gewaskalender. Met de beschikbare opnamen van Oost-Gelderland bleek een multitemporale analyse in dit onderzoek echter niet mogelijk, omdat de vliegtuigbewegingen niet zijn geregistreerd.
- Schatting van de grashoogte is met een redelijke nauwkeurigheid mogelijk aan de hand van scanneropnamen. Bij het onderzoek in Oost-Gelderland is een indeling gemaakt in vier klassen. Uit een toetsing

aan veldmetingen bleek dat 86% van de percelen in de juiste klasse werd ingedeeld.

- De mogelijkheden voor het karteren van de hoeveelheid biomassa voor grasland zijn daarentegen in dit project nog niet volledig onderzocht. Wordt de gewasgroei van grasland gevolgd in de tijd, dan worden per perceel sterke correlaties gevonden tussen gewashoogte en biomassa. Tussen percelen onderling kunnen echter door de invloed van de bodembedekking aanzienlijke verschillen optreden. Dit verschijnsel is ook uit de literatuur bekend. Een en ander betekent dat een goede gewashoogtekartering voor grasland aan de hand van digitale reflectiebeelden niet hoeft in te houden dat ook een betrouwbare schatting kan worden gemaakt van de hoeveelheid biomassa. Daar de mogelijkheden voor het karteren van de hoeveelheid biomassa voor grasland onder praktijkomstandigheden in dit project niet zijn onderzocht, wordt aanbevolen dit aan de hand van de in Oost-Gelderland verzamelde veldwaarnemingen alsnog te doen.
- Aangetoond is dat informatie over verschillen in aanvang van de groei van gras na het winterseizoen en daarmee over de soortensamenstelling kan worden afgeleid uit scanneropnamen. De soortensamenstelling wordt gebruikt als indicator voor de vochttoestand. Genoemde verschillen zijn slechts waarneembaar in het vroege voorjaar. Bovendien dient aan het betreffende voorjaar een redelijk koude winter vooraf te gaan, daar slechts dan verschillen optreden in opwarming van de grond. De kans op bruikbare scanneropnamen voor deze toepassing is onder de in Nederland heersende weersomstandigheden daarom bijzonder klein.

VEGETATIEKUNDIG ONDERZOEK IN NATUURGEBIEDEN

- Het classificatieresultaat aan de hand van reflectiebeelden verkregen via scanneropnamen is voor natuurgebieden sterk afhankelijk van het type gebied. Goede resultaten werden bereikt bij droge tot vochtige terreinen, terwijl bij terreinen met natte tot zeer natte vegetatietypen in combinatie met bos veel misclassificaties optraden.
- Interpretatie van luchtfoto's levert in laatstgenoemde terreinen betere resultaten op dan automatische classificatie met behulp van scanneropnamen. Bij de karakterisering van de vegetatie in natuurgebieden speelt namelijk de textuur van het beeld een belangrijke rol. De huidige aanwezige classificatieprogrammatuur, die gebruikt wordt voor de textuuranalyse van scanneropnamen, is voor dit doel

waarschijnlijk niet toereikend. Visuele interpretatie van bewerkte scannerbeelden is niet in het onderzoek betrokken.

- Mede vanwege de beperkte omvang van de meeste natuurgebieden in Nederland verdienen bij een vegetatiekartering luchtfoto's de voorkeur boven scanneropnamen. De kosten voor fotografische opnamen zijn bovendien aanzienlijk lager.
- Het verdient aanbeveling na te gaan in hoeverre digitale methoden bruikbaar zijn bij een eenduidige interpretatie van het beeldmateriaal en de opslag daarvan. Dit geldt in het bijzonder voor het vaststellen van eventuele veranderingen in de vegetatie van natuurgebieden.
- Een verbetering voor wat betreft het onderscheid tussen bomen en open lage vegetatie kan worden verkregen door naast de reflectiebeelden het warmtebeeld bij de classificatie te betrekken. De algemene toepasbaarheid van het warmtebeeld voor dit doel dient nader te worden onderzocht.

HYDROLOGISCH ONDERZOEK IN LANDBOUWGEBIEDEN

- Een verdampingskaart is samengesteld aan de hand van de beschikbare scanneropnamen, zowel reflectie- als warmtebeelden. Hiertoe is een nieuwe methodiek ontwikkeld. Voor het samenstellen van een verdampingskaart is een gewaskaart nodig. Deze laatste kan voldoende nauwkeurig uit de reflectiebeelden worden afgeleid.
- Standaardrelaties zijn ontwikkeld voor zowel grasland als diverse akkerbouwgewassen tussen de temperatuurtoename, die op het vliegtijdstip wordt afgeleid uit het warmtebeeld, en de dagverdamping van het gewas. Uit berekeningen met het TERGRA-model is gebleken dat voor de Nederlandse omstandigheden de afgeleide standaardrelaties voldoen voor die dagen waarop remote-sensingvluchten worden uitgevoerd voor het waarnemen van droogteschade.
- Door toetsing van het TERGRA-model aan veldmetingen is voor grasland en aardappelen aangetoond dat de relatie tussen opwarming van het gewas en afname in gewasverdamping goed wordt gesimuleerd. De met het TERGRA-model geschatte drukhoogte in de wortelzone kan echter afwijken van de veldmetingen. Dit betekent dat het TERGRA-model wel kan worden toegepast voor het vervaardigen van verdampingskaarten, maar dat de gelijktijdig verkregen informatie over de drukhoogte in de wortelzone onbetrouwbaar is. Het verdient aanbeveling de uit warmtebeelden geschatte relatieve verdamping direct te koppelen aan de gemiddelde drukhoogte in de wortelzone.

- Met remote sensing wordt de ruimtelijke variatie in gewasverdamping op een bepaalde dag in het jaar vastgelegd. Vooral bij schaderegelingen is dit van groot belang.
- Informatie over het invloedsgebied van een onttrekking van freatisch grondwater is af te leiden uit remote-sensingopnamen door een analyse van de gewasverdamping per gewas, per bodemtype en per grondwatertrap in relatie tot de afstand van de onttrekking uit te voeren.
- Effecten van grondwateronttrekking kunnen gedetailleerder en betrouwbaarder dan tot nu toe worden vastgesteld door in aanvulling op de traditionele werkwijze, die is gebaseerd op veldwaarnemingen plus berekeningen met computermodellen, remote-sensingtechnieken toe te passen. Met remote-sensingmethoden wordt op bepaalde tijdstippen in het groeiseizoen de verdampingssituatie vastgelegd voor een heel gebied. Bij de traditionele werkwijze daarentegen wordt met behulp van hydrologische modellen voor een beperkt aantal locaties de verdamping van gewassen gedurende het hele groeiseizoen gesimuleerd.
- Aan de hand van remote-sensingopnamen kan gericht veldonderzoek worden uitgevoerd, waardoor mogelijk op de kosten van het veldonderzoek kan worden bespaard.
- Gebleken is dat remote sensing een belangrijk hulpmiddel is bij het controleren van berekeningen met hydrologische modellen. Voor die locaties, waarvoor op opnamedagen berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van hydrologische modellen, bleek in het algemeen de gewasverdamping volgens de remote-sensingbenadering overeen te komen met de met hydrologische modellen gesimuleerde waarde.
- De uit remote-sensingopnamen afgeleide verdampingskaart toont nauwelijks overeenkomst met de ruimtelijke spreiding in de gemiddelde gewasverdamping berekend met het quasi-driedimensionale GELGAM-model. Aanbevolen wordt voor het vaststellen van de ruimtelijke spreiding in de gewasverdamping remote sensing toe te passen in combinatie met berekeningen met een ééndimensionaal hydrologisch model, zoals SWATRE.

TECHNISCHE ASPECTEN

- De keuze van het opnametijdstip voor vluchten ten behoeve van hydrologische toepassingen met betrekking tot verdrogingsverschijnselen is afhankelijk van de mate waarin verdroging van landbouwgewassen optreedt en van de meest gewenste weersomstandighe-

den tijdens de opname. Bovendien staat deze keuze meestal onder druk van zich aandienende regenval. Een en ander heeft vaak tot gevolg dat niet altijd onder ideale weersomstandigheden kan worden gevlogen.

- Gebleken is dat onder omstandigheden waarbij navigatie in verband met zichtproblemen moeilijk is toch bruikbare thermische infraroodopnamen te realiseren zijn.
- Multitemporele analyse is met de opnamen van Oost-Gelderland niet mogelijk in verband met de invloed van vliegtuigbewegingen op de geometrie van de opnamen. In de toekomst verdient het aanbeveling de standen en bewegingen van het vliegtuig tijdens de opnamen te registreren, zoals in het kader van het CAESAR-project is gerealiseerd.

1. INLEIDING

In de jaren zeventig is in eerste instantie door de Nederlandse Interdepartementale Werkgemeenschap voor het Applicatieonderzoek van Remote-Sensingtechnieken (NIWARS) en later door een aantal onderzoeksinstituten ervaring opgedaan met remote-sensingtechnieken. Vanaf 1977 wordt het remote-sensingonderzoek gecoördineerd door de Begeleidings Commissie Remote Sensing (BCRS). Dankzij het beschikbaar komen van middelen uit het Stimuleringsfonds van het Ministerie van Landbouw en Visserij en het Directoraat-Generaal voor Wetenschapsbeleid is vanaf 1981 gedurende een periode van ruim drie jaar ervaring opgedaan met remote sensing onder praktijkomstandigheden. Getracht is op deze wijze inzicht te verkrijgen in de operationele toepassingsmogelijkheden van remote sensing in het vegetatiekundig en hydrologisch onderzoek, zowel in landbouw- als natuurgebieden.

Als onderzoeksgebied is gekozen voor Oost-Gelderland. Door de COMMISSIE BESTUDERING WATERHUISSHOUING GELDERLAND (1980) is daar in de jaren zeventig uitgebreid waterhuishoudkundig onderzoek uitgevoerd. De keuze van het onderzoeksgebied is vooral bepaald door de aanwezigheid van verschillen in vochthuishouding, zowel als gevolg van de bodemkundige en hydrologische situatie als door onttrekking van freatisch grondwater, alsmede het voorkomen van natuurgebieden met duidelijke verschillen in waterhuishouding en samenstelling van de vegetatie.

Om de benodigde werkzaamheden in het veld te beperken en de aandacht zo veel mogelijk op de interpretatie en de verwerking van remote-sensinggegevens te

kunnen richten, is bovendien gezocht naar een gebied waar de laatste jaren veel gegevens zijn verzameld over bodem, hydrologie en vegetatie.

In de loop van het onderzoek is aan het onderzoeksgebied Oost-Gelderland, waar voornamelijk grasland en mais wordt aangetroffen, nog een akkerbouwgebied toegevoegd. Daarbij is gekozen voor de Drents-Groningse veenkoloniën.

Dit rapport geeft een samenvatting van de rapporten, die in het kader van het studieproject zijn verschenen. In Hoofdstuk 2 wordt de opzet van het onderzoek besproken, waarbij met name wordt ingegaan op de werkwijze en de uitvoering van het onderzoek. In Hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de remote-sensingvluchten die tijdens het studieproject zijn uitgevoerd. In Hoofdstuk 4 wordt de verwerking van de opnamen van zo-

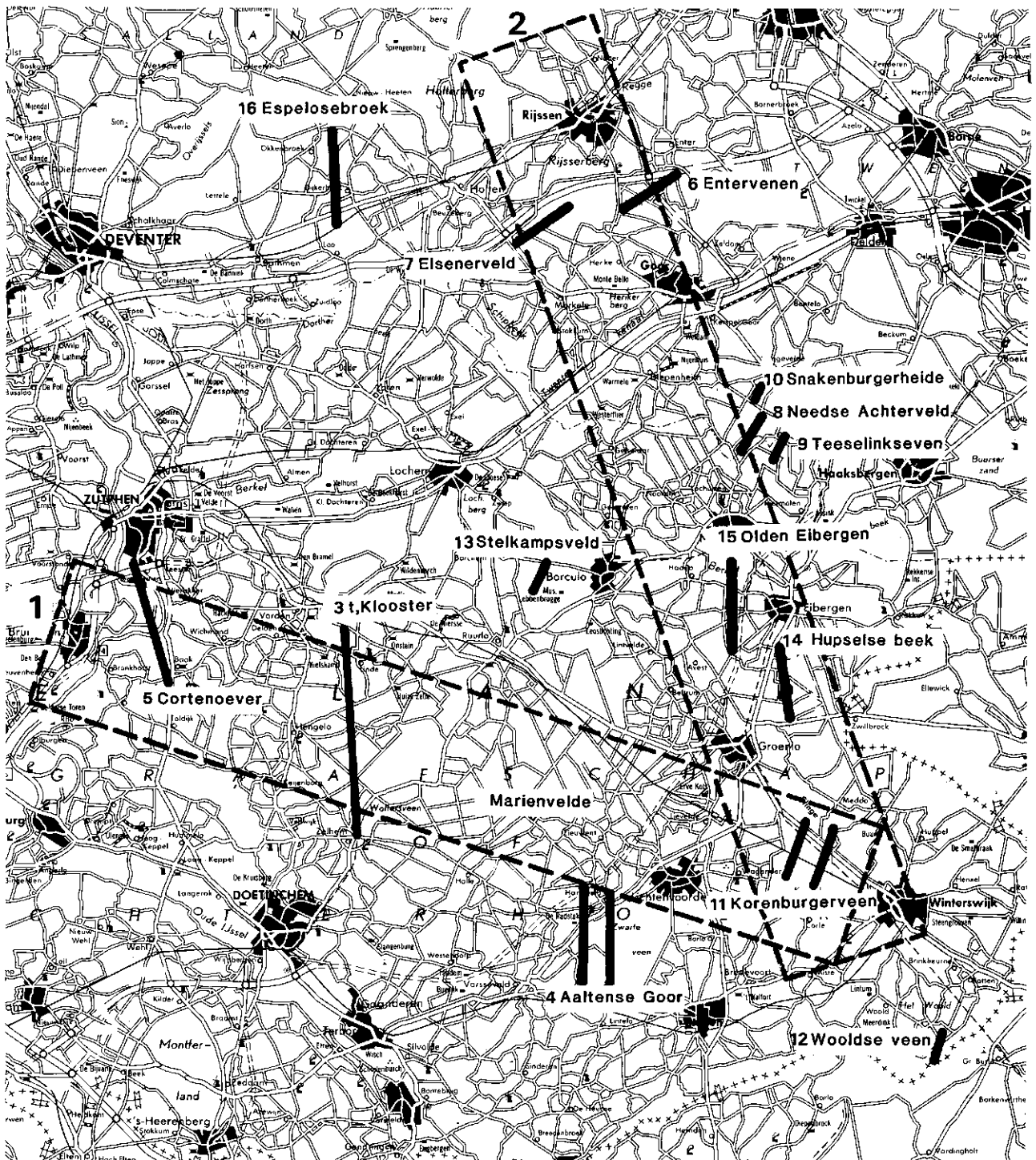


Fig. 1. Ligging van de vluchtstroken in Oost-Gelderland. De twee grote vluchtstroken 1 en 2 zijn omkaderd. Van de andere stroken zijn alleen de vlieglijnen aangegeven

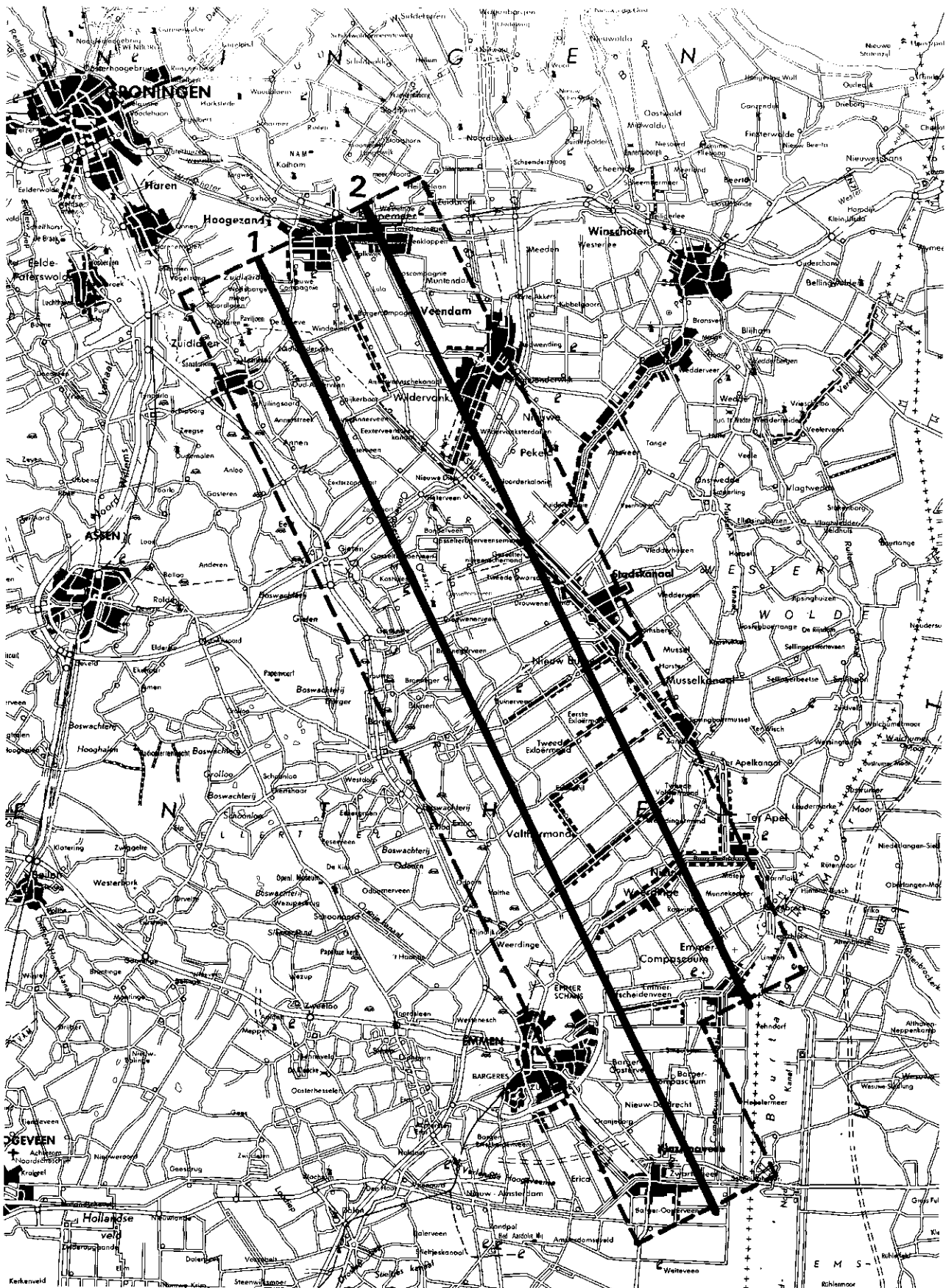


Fig. 2. Ligging van het onderzoeksgebied en de vlieglijnen in de Drents-Grongse veenkolonien

wel landbouw- als natuurgebieden besproken. De resultaten worden gepresenteerd in de hoofdstukken 5 en 6. Bovendien worden in Hoofdstuk 6 enkele aspecten belicht van de kosten en baten bij toepassing van remote sensing voor onderzoek naar de gevolgen van grondwateronttrekking.

Voor meer uitgebreide informatie wordt op diverse plaatsen verwezen naar het desbetreffende basisrapport. In Bijlage 2 wordt een volledig overzicht gegeven van de rapporten, die in het kader van het studieproject zijn verschenen.

2. OPZET VAN HET ONDERZOEK

2.1. DOELSTELLING VAN HET ONDERZOEK

Het doel van het onderzoek is voor een gebied van enige omvang na te gaan wat de mogelijkheden zijn van remote-sensingopnametechnieken bij de vegetatiekartering van landbouw- en natuurgebieden. Bovendien wordt getracht informatie te verkrijgen over de bodemvochtvoorraad, het watergebruik van vegetatiedekken en de gewashoogte en hoeveelheid biomassa voor grasland.

Het project is er vooral op gericht de mogelijkheden voor operationele toepassing van remote-sensingopname- en verwerkingstechnieken te onderzoeken en te evalueren.

2.2. ORGANISATIE VAN HET ONDERZOEK

Aan het project is deelgenomen door zeven instellingen, te weten: CABO, ICW, LH, MD-RWS, NLR, RIN en STIBOKA (zie ook Bijlage 1).

Voor de duur van het project zijn bij het ICW een hydroloog en een technisch medewerker en bij het CABO een bioloog aangesteld. De projectleider is geleverd door het ICW. Deze groep vormde de kern van het projectteam.

Het CABO was verantwoordelijk voor het vegetatiekundig onderzoek aan grasland en de classificatie en biomassaschatting van landbouwgewassen, terwijl het ICW zorg droeg voor aspecten betreffende de landbouwwaterhuishouding. Het RIN ten slotte verzorgde het vegetatiekundig en hydrologisch onderzoek in natuurgebieden. Door de andere instellingen is een ondersteunende bijdrage geleverd.

Naast het projectteam is een stuurgroep ingesteld. De samenstelling van het projectteam en de stuurgroep is vermeld in Bijlage 1.

2.3. ONDERZOEKSGEBIEDEN

2.3.1. Oost-Gelderland

Het belangrijkste deel van het onderzoek is uitgevoerd in Oost-Gelderland. Het onderzoeksgebied bestaat uit twee grote stroken en een aantal kleinere stroken. Eén grote strook ligt min of meer evenwijdig aan het IJsseldal en een tweede loodrecht op het IJsseldal (Fig. 1).

Van de oppervlakte cultuurgrond in Oost-Gelderland is 70-90% in gebruik als grasland. Daarnaast wordt voornamelijk mais verbouwd.

In Oost-Gelderland liggen diverse natuurgebieden met een vegetatie variërend van hoogveen tot vochtige en droge heide. In dit onderzoek zijn de natuurreservaten Korenburgerveen, Needse Achterveld, De Scholte (gelegen ten noorden van het Needse Achterveld), Stelkampsveld en Borkelt/Elsenerveld (gelegen in Overijssel) betrokken.

Wat betreft de bodemkundige situatie wordt opgemerkt dat het onderzoeksgebied voor het merendeel uit zandgronden bestaat, die bodemkundig nader worden onderverdeeld in humuspodzolen, eerdgronden en vaaggronden. Daarnaast komen nog leemgronden en rivierkleigronden voor. De kans op verdroging op deze gronden is afhankelijk van de diepte van het grondwater in een droge periode, van de dikte en samenstelling van de wortelzone en van de textuur (in hoofdzaak het leemgehalte) van de zandondergrond.

In Oost-Gelderland wordt hoofdzakelijk freatisch grondwater onttrokken.

2.3.2. Drents-Groningse veenkoloniën

Het als 'Drents-Groningse veenkoloniën' omschreven onderzoeksgebied (Fig. 2) bestaat voor het grootste deel uit het veenkoloniale akkerbouwgebied. De belangrijkste teelt is die van aardappelen (50%), granen (25%) en suikerbieten (20%).

De belangrijkste factor voor het optreden van droogteschade in dit gebied is de afstand van de bewortelde zone tot het grondwater. Relatief hoog gelegen gronden bevatten onder de bouwvoor weinig of geen veen en zijn daardoor aangewezen op de (beperkte) vochtvoorraad in de bewortelde zone. In de lager gelegen gronden is meer veen aanwezig waaruit water kan worden onttrokken, terwijl bovendien het capillair transport uit het grondwater voor de nodige aanvulling zorgt.

2.4. WERKWIJZE

2.4.1. Algemeen

Remote-sensingvluchten gedurende het groeiseizoen verschaffen informatie over de aanwezige vegetatie en de hydrologische situatie. In dit onderzoek zijn deze aspecten integraal bestudeerd. Hierbij is gebruik gemaakt van reflectie- en warmtebeelden, die zijn opgenomen met een Multi Spectrale Scanner (MSS) in combinatie met een thermal InfraRed Line Scanner (IRLS). Daarnaast is False Colour (FC) luchtfotografie toegepast.

De reflectiebeelden zijn toegepast bij de vegetatiekundige beschrijving van het onderzoeksgebied (gewassoort, hoeveelheid biomassa en gewashoogteverdeling). In principe verloopt een dergelijk onderzoek zoals is aangegeven in Fig. 3. De uit warmtebeelden afgeleide gewastemperatuur is gebruikt om vast te

stellen waar en in welke mate verdroging is opgetreden.

Voor de keuze van trainingsgebieden (gebieden met bekende vegetatie) zijn veldwaarnemingen vereist. Ook voor de ondersteunende berekeningen met hydrologische modellen zijn deze onontbeerlijk.

De verschillende facetten in de opzet van het vegetatiekundig en hydrologisch onderzoek in landbouw- en natuurgebieden komen hierna ter sprake.

2.4.2. Vegetatiekundig onderzoek in landbouwgebieden

Voor landbouwgebieden is het onderzoek gericht op het karteren van gewassen. Voor grasland is getracht een onderscheid te maken naar grashoogte en biomassa. Bovendien is gepoogd een vochtkartering uit te voeren via het bepalen van de soortensamenstelling van grasland.

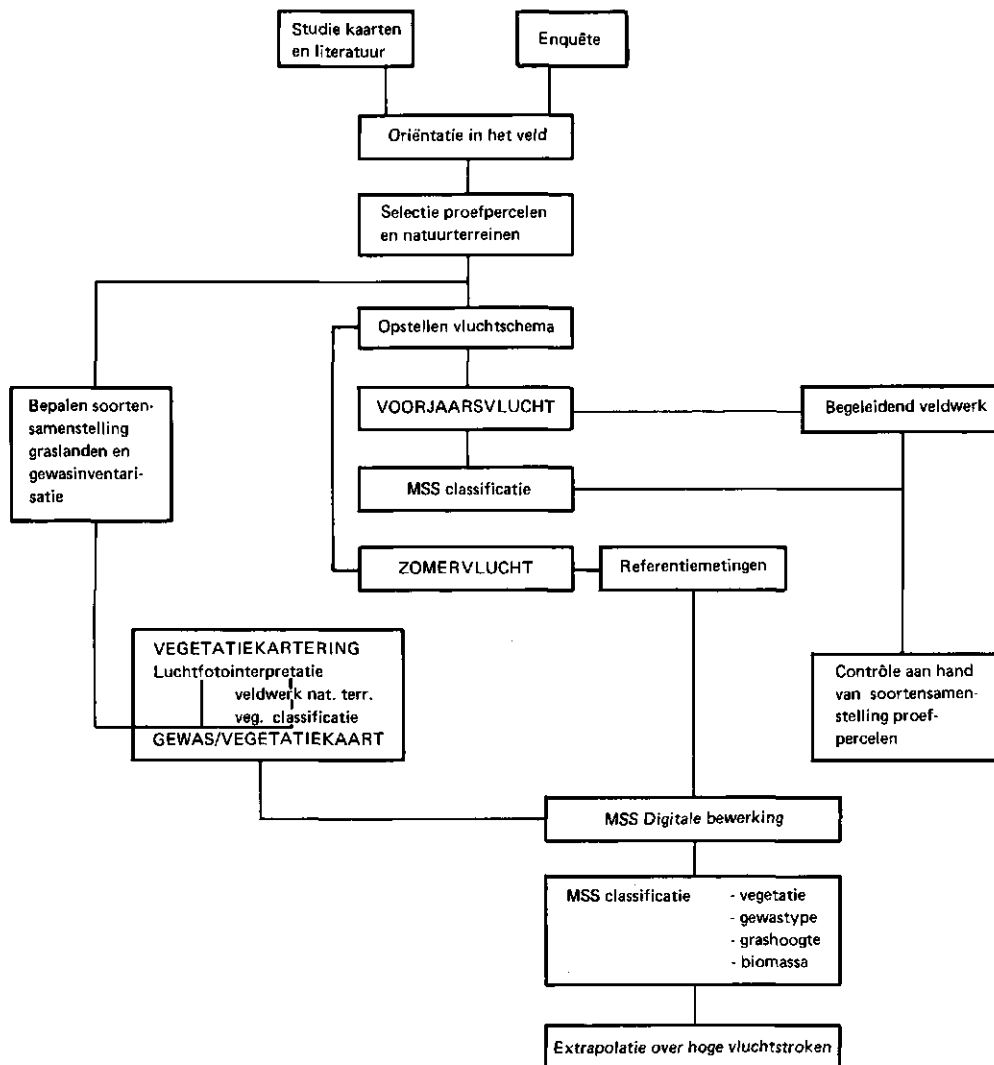


Fig. 3. Stroomschema van het vegetatiekundig onderzoek

Voor het waarnemen van verschillen in soortensamenstelling diende een voorjaarsvlucht te worden uitgevoerd, voordat enige bewerking van grasland had plaatsgevonden.

Op drogere warmere plaatsen komt de aanvang van de groei van gras na de winterperiode sneller op gang dan op nattere koudere plaatsen. Aangenomen wordt dat verschillen in aanvang van de groei samenhangen met de soortensamenstelling van grasland. Getracht is met remote sensing verschillen in aanvang van de groei vast te leggen.

Voor een deel van de bij Cortenoever gelegen vluchtstrook 5 (zie Fig. 1) is door het CABO een vochtkartering uitgevoerd aan de hand van het voorkomen van combianties van indicatorsoorten. Voor een beschrijving van de toegepaste methode wordt verwezen naar GEERTS en DE GOOIJER (1984). De verkregen resultaten zijn vergeleken met de resultaten die zijn afgeleid uit de voorjaarsvlucht.

Voor het onderzoek naar gewashoogte en biomassa van gras zijn tijdens de groeiseizoenen van 1982 en 1983 enkele representatieve gebieden in de oost-west strook (Fig. 1) in detail onderzocht. Het betreft Cortenoever, 't Klooster, Mariënveld en Winterswijk. Hiervoor is een beeldbewerkingstechniek ontwikkeld, die daarna op de gehele vluchtstrook is toegepast. Tijdens de remote-sensingopnamen is in het veld de hoogte, bedekkingsgraad en reflectie van het gewas bepaald. Aansluitend op de vluchtdagen zijn biomassa-metingen uitgevoerd. De reflectie is met een veldreflectiemeter gemeten in de drie spectrale banden groen, rood en nabij infrarood (LEBOUILLE en DE NIES, 1984). Bovendien zijn bijzonderheden genoteerd betreffende de aanwezigheid van vee, gebruik van drijfmest, vochtigheid van de toplaag van de bodem, etc. Ook is van elk perceel een kleurenfoto genomen.

Naast de waarnemingen in aansluiting op de remote-sensingvluchten is in 1983 nog een uitgebreid meetprogramma opgezet voor het onderzoek naar de relatie tussen reflectie-eigenschappen, gewashoogte en biomassa.

Het voorkomen van verschillende gewassen in de detailgebieden is bepaald door automatische classificatie na de invoer van gegevens uit trainingsgebieden. Hiervoor stonden veldwaarnemingen en false colour foto's ter beschikking.

2.4.3. Hydrologisch onderzoek in landbouwgebieden

Aan de hand van de temperatuur van gewassen afgeleid uit warmtebeelden is getracht aan te geven waar en in welke mate verdroging van landbouwgewassen

is opgetreden. Voor het vaststellen van relaties tussen de gewastemperatuur afgeleid uit een warmtebeeld en de dagverdamping is het TERGRA-model (SOER, 1977, 1980) toegepast. Deze relaties zijn behalve van de weersomstandigheden op de vluchtdagen afhankelijk van gewasoort en -hoogte. De benodigde informatie over de vegetatie is afgeleid uit de gelijktijdig met het warmtebeeld opgenomen reflectiebeelden (zie Par. 2.4.2). Vervolgens is een verdampingskaart samengesteld door per gewasklasse de met het TERGRA-model bepaalde relaties toe te passen op het warmtebeeld.

Voor het vaststellen van het belang van remote sensing in de agrohydrologie is remote sensing toegepast in combinatie met de traditionele manier van werken. Dit laatste betreft het doen van veldwaarnemingen en toepassing van hydrologische simulatiemodellen. Hiertoe is in de omgeving van de pompstations 't Klooster bij Hengelo (Gld.) en Olden Eibergen een uitgebreid veldmeetprogramma opgezet. In de groeiseizoenen van 1982 en 1983 zijn tenminste om de twee weken grondwaterstanden, open waterpeilen en bodemvocht-potentialen gemeten (THUNNISSEN, 1984a; THUNNISSEN en VAN POELJE, 1984). Het quasi-driedimensionale GELGAM-model (DE LAAT and AWATER, 1978) is voor het groeiseizoen van 1982 toegepast op het gebied in de omgeving van het pompstation 't Klooster. Per decade is onder andere de regionale gewasverdamping gesimuleerd. Voor toepassing van dit model is het gebied onderverdeeld in kleinere gebieden bestaande uit rechthoekige elementen van 500 bij 500 m. Met het ééndimensionale SWATRE-model (FEDDES et al., 1978; BELMANS et al., 1983) zijn voor zowel het groeiseizoen van 1982 als 1983 berekeningen uitgevoerd voor grasland en maispercelen voorkomend op een aantal karakteristieke bodemtypen in Oost-Gelderland met grondwatertrappen variërend van III tot VII* (dat wil zeggen zomergrondwaterstanden variërend van 80 cm tot dieper dan 160 cm onder maaiveldhoogte). Onder andere is de verdamping op dagbasis gesimuleerd. De resultaten verkregen met beide modellen zijn getoetst aan gemeten grondwaterstanden en bodemvochtpotentialen.

De resultaten verkregen met het SWATRE-model zijn gebruikt voor de interpretatie van de uit de remote-sensingopnamen afgeleide verdrogingspatronen. Door toepassing van het model is bepaald in hoeverre in de betreffende jaren op bepaalde plaatsen droogteschade optrad en welk deel van de schade werd veroorzaakt door een eventuele verlaging van de grondwaterstand.

Op de vluchtdagen dienen uiteraard voor die locaties waarvoor modelberekeningen zijn uitgevoerd de met het model voorspelde verdampingswaarden overeen te stemmen met de verdampingskaart, welke is afgeleid

uit de remote-sensingopnamen. Voor de vluchtdagen zijn de resultaten van beide methoden dan ook met elkaar vergeleken.

2.4.4. Vegetatiekundig onderzoek in natuurgebieden

De in Par. 2.3.1 genoemde natuurgebieden zijn in dit onderzoek betrokken. De vegetatie is gekarteerd volgens de klassieke methode met behulp van luchtfoto's. Aan de hand van de foto-interpretatiekaart zijn trainingsgebieden geselecteerd, die nodig zijn voor de automatische classificatie met behulp van MSS-opnamen. De vegetatiekaart, die is samengesteld aan de hand van de foto-interpretatiekaart en veldwaarnemingen, diende ter beoordeling van het uiteindelijke resultaat van de automatische classificatie (LEBOUILLE en DE NIES, 1984).

In de natuurgebieden is bovendien ecohydrologisch onderzoek uitgevoerd. Hiertoe zijn meetnetten opgezet en zijn gedurende een periode van tenminste 1 jaar gegevens betreffende de waterstand en waterkwaliteit verzameld. Daarnaast is in het Needse Achterveld een bodemkartering uitgevoerd. Na integratie van de resultaten van het vegetatiekundig en ecohydrologisch onderzoek kan worden aangegeven welke rol remote sensing kan spelen bij het onderzoek ten behoeve van het beheer van reservaten met inbegrip van de relatie met de omgeving.

3. REMOTE-SENSINGVLUCHTEN

De ligging van de vluchtstroken in Oost-Geïerland en de Drents-Groningse veenkoloniën staat aangegeven in respectievelijk Fig. 1 en Fig. 2. Alleen van de geplande vluchtstrook 4 zijn uiteindelijk geen opnamen gemaakt.

Aanvankelijk lag het in de bedoeling in 1982 een drietal meetvluchten te laten uitvoeren. Deze vluchten waren als volgt gepland:

- maart/april: getracht werd in deze periode in grasland aanwezige verschillen in aanvang van de groei vast te leggen om op deze wijze informatie te verkrijgen over de soortensamenstelling van grasland en daarmee over de vochtvoorziening;
- juni: deze vlucht was van belang voor de kartering van landbouwgewassen en natuurlijke vegetatie. Bovendien is dit een periode waarin eventueel optredende verschillen in biomassa kunnen worden waargenomen;

- juli/augustus: in deze periode diende voor het hydrologisch onderzoek een vlucht te worden uitgevoerd na een droge periode. Een dergelijke vlucht was tevens van belang voor de vaststelling van de maximale hoeveelheid biomassa van akkerbouwgewassen en natuurlijke vegetatie.

Voor 1983 was één aanvullende vlucht gepland afhankelijk van de resultaten in 1982. Bovendien waren zowel voor 1982 als 1983 nog enkele aanvullende vluchten gepland voor het opnemen van warmtebeelden indien verdroging in de landbouw zou optreden.

In 1982 zijn op 5 en in 1983 op 4 dagen meetvluchten uitgevoerd. De weersomstandigheden op de vluchtdagen wisselden sterk. Daardoor werden niet op alle vluchtdagen bruikbare opnamen verkregen. Uiteindelijk bleek een goede voorjaarsvlucht te ontbreken. Op 1 april 1982 werd onder heilige omstandigheden alleen vluchtstrook 5 (zie Fig. 1), die is gelegen bij Cortenoever, opgenomen.

Een volledig overzicht van de luchtopnamen voor dit project wordt gegeven door NIEUWENHUIS (1983). De belangrijkste uitgevoerde vluchten staan vermeld in Bijlage 3.

De meetvluchten werden uitgevoerd door de firma Eurosense BV met een Daedalus digitale scanner (type DS 1240/1260). Daarnaast werd eenmaal door de vakgroep Landmeetkunde van de Landbouwhogeschool een multiband fotovlucht uitgevoerd. Op 14 februari 1983 werden opnamen gemaakt van de natuurgebieden Stelkampsveld en het Needse Achterveld.

Daar met name in 1982 onder sterk wisselende weersomstandigheden werd gevlogen, werd in het kader van dit project ervaring opgedaan wat betreft de mogelijkheden van moderne luchtopnametechnieken vanuit opnametechnisch oogpunt. Gebleken is dat de eisen, die moeten worden gesteld aan elektronische opnamen, niet vergelijkbaar zijn met de eisen die doorgaans worden gesteld aan luchtfoto's. Elektronische opnamen onder vinden minder last van heilige omstandigheden. Onder deze omstandigheden ontstaan wel problemen bij de navigatie. Gebleken is dat onder omstandigheden waarbij navigatie problematisch is toch bruikbare thermisch infrarood opnamen te realiseren zijn.

Verder is gebleken dat vooral de bewolking en niet zozeer het grondzicht de meest beperkende factor is. Helaas is de bewolking een moeilijk te voorspellen grootheid. Vanuit operationeel oogpunt is het bij Nederlandse omstandigheden dan ook van groot belang dat op afroep gevlogen kan worden. Voor meer uitgebreide informatie over ervaringen met scanneropnamen en organisatorische aspecten wordt verwezen naar NIEUWENHUIS (1983).

4. VERWERKING VAN REMOTE-SENSINGOPNAMEN

4.1. GEBRUIKTE VERWERKINGSSYSTEMEN

De verwerking betreft zowel foto's als digitale scanneropnamen. De false colour foto's zijn visueel geïnterpreteerd. Voor de interpretatie van diverse zwart-wit beelden van één gebied, die zijn opgenomen in verschillende spectrale gebieden of op verschillende tijdstippen, is gebruik gemaakt van de Color Additive Viewer (CARIN), die operationeel is op het RIN. Met dit systeem kunnen drie zwart-wit dia's ieder in een andere kleur over elkaar heen worden geprojecteerd op een scherm. Door additieve kleurmenging ontstaat een kleurenbeeld.

De digitale scanneropnamen zijn verwerkt op het grafisch systeem van het Rekencentrum van de Landbouwhogeschool, het RESEDA-systeem van het NLR en het later beschikbaar gekomen PIXYS-systeem van het RIN. Het grafisch systeem van het Rekencentrum van de Landbouwhogeschool bestaat evenals het PIXYS-systeem van het RIN uit een minicomputer met daaraan gekoppeld een kleurengrafisch systeem. Voor de invoer van gegevens is een magneetbandeenheid beschikbaar, terwijl voor de uitvoer een printer en een fotohardcopy-apparaat ter beschikking staan. De kern van het RESEDA-systeem bestaat eveneens uit een minicomputer in combinatie met een kleurengrafisch systeem. Voor gegevens in- en uitvoer staan ter beschikking een magneetbandeenheid, een kaartdigitalisatietafel, een vidicon camera ten behoeve van onder andere luchtfoto-digitalisatie, een fotohardcopy-apparaat en ten slotte een hoge precisie kleurenfilmschrijver.

4.2. TOEGEPASTE VERWERKINGSMETHODEN

4.2.1. Algemeen

Voorafgaand aan de toepassing van classificatie-programmatuur zijn de digitale opnamen gecorrigeerd voor de invloed van de observatiehoek. De gemiddelde intensiteitswaarde is per kolom evenwijdig aan de vlieglijn bepaald. Een correctie is toegepast afhankelijk van het verloop van deze gemiddelde waarden. Het resultaat is dat het gemiddelde helderheidsniveau over het hele beeld gelijk is (LEBOUILLE en DE NIES, 1984).

Op de reflectiebeelden zijn geen correcties voor de invloed van de atmosfeer toegepast. De gemeten stralingstemperaturen zijn met behulp van veldmetingen en modelberekeningen wel teruggerekend naar stralingstemperaturen, die nabij het aardoppervlak zouden zijn

waargenomen (THUNNISSEN en VAN POELJE, 1984).

Er bestaan essentiële verschillen tussen de toegepaste verwerking van digitale opnamen van landbouwgebieden en die van natuurgebieden. Daarom wordt de verwerking van opnamen van beide typen gebieden in de volgende twee paragrafen apart behandeld.

4.2.2. Verwerking opnamen landbouwgebieden

Vorbereidend werk is uitgevoerd op het grafisch systeem van de Landbouwhogeschool. Het grootste deel van de verwerking is uitgevoerd op het RESEDA-systeem.

Voor de karakterisering van grasland, zowel wat betreft de soortensamenstelling als grashoogte, is de Vegetatie Index (VI) toegepast (TUCKER, 1977). Deze luidt:

$$VI = (IR - R)/(IR + R) \quad (1)$$

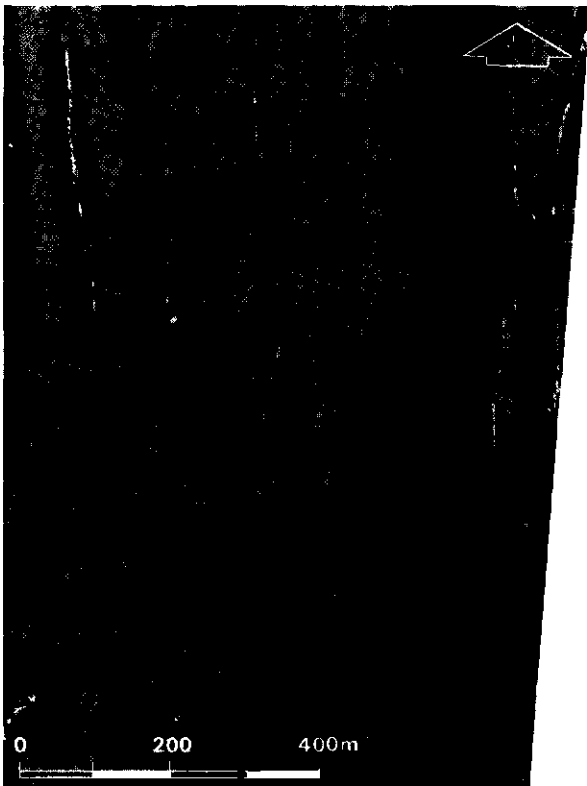
De symbolen IR en R staan voor de stralingswaarden in de golflengtebanden 9 (nabij infrarood) respectievelijk 7 (rood) van de gebruikte Daedalus scanner.

Bij de gewaskartering aan de hand van scanneropnamen zijn de gelijktijdig opgenomen false colour foto's gebruikt ter aanvulling en ondersteuning van de veldopnamen. Hieruit zijn de benodigde trainingsgebieden afgeleid.

In verband met het belang voor het hydrologisch onderzoek is gestart met de classificatie aan de hand van de opname van 30 juli 1982. Hierbij is het maximum likelihood classificatiecriterium toegepast (SCHOWENGERDT, 1983). Er is gebruik gemaakt van de banden 5 (groen), 7 en 9. De keuze van de kanalen is gebaseerd op het onderzoek dat door de NIWARS is uitgevoerd (NIWARS, 1977; BUNNIK, 1978). Vervolgens is het als grasland geclassificeerde gebied aan de hand van de Vegetatie-Index ingedeeld in hoog, middelhoog en laag gras.

Om een optimaal classificatieresultaat te verkrijgen, zijn de mogelijkheden van een multitemporale analyse onderzocht. In mei en juni is de bodembedekking van een maaisgewas nog gering. In die periode is mais eenvoudig te onderscheiden van grasland. Daarom is getracht de opname van 21 juni 1983 bij de classificatie te betrekken.

Uit TERGRA-modelberekeningen zijn alleen voor de klassen mais, hoog en middelhoog grasland lineaire relaties afgeleid tussen de stralingstemperatuur en de relatieve dagverdamping. De overige klassen zijn bij het samenstellen van de verdampingskaart buiten beschouwing gebleven. Door de gewasclassificatie te combineren met de genoemde lineaire relaties kan het warmtebeeld worden omgezet in een verdampingskaart.

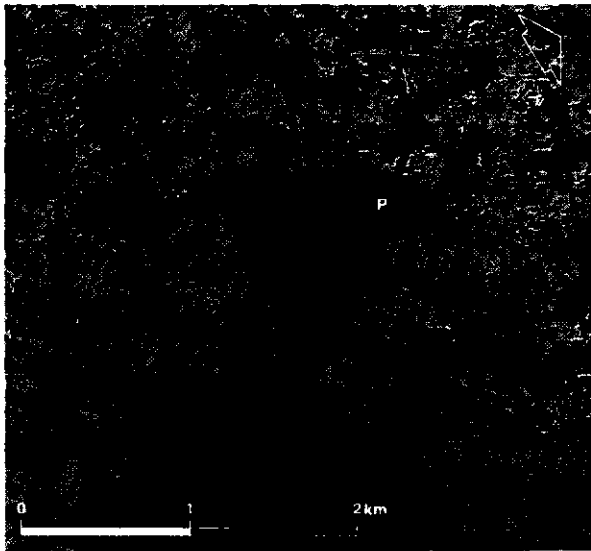


Plaat I. Vegetatie Index voor het onderzoeksgebied Cortenoever (zie fig. 1) berekend aan de hand van de reflectiebeelden rood (band 7) en nabij infrarood (band 9), die zijn opgenomen op 1 april 1982. De Vegetatie Index neemt toe van blauw, groen, geel, rood, magenta naar wit.



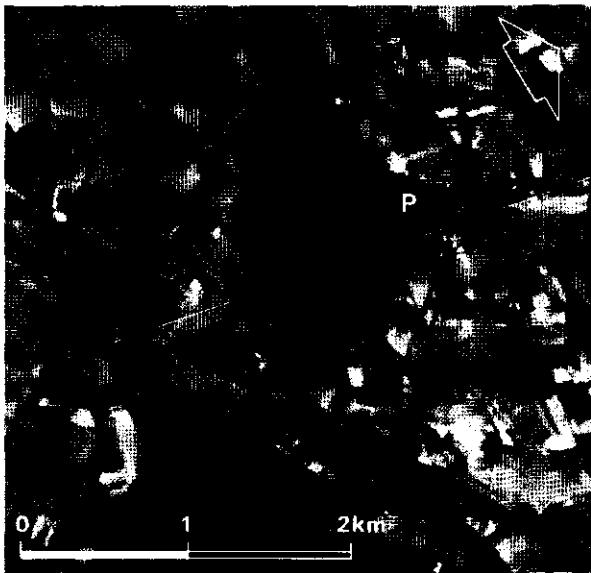
- B = droog
- C = iets droog
- CD = overgang van iets droog naar neutraal
- D = neutraal
- DE = overgang van neutraal naar vochtig
- E = vochtig
- F = iets nat
- G = nat
- H = zeer nat

Plaat II. Indeling van het gebied Cortenoever (zie fig. 1) in vochtclassen volgens de CABO-methode. Grijs en donkerblauw zijn niet gekarteerd.

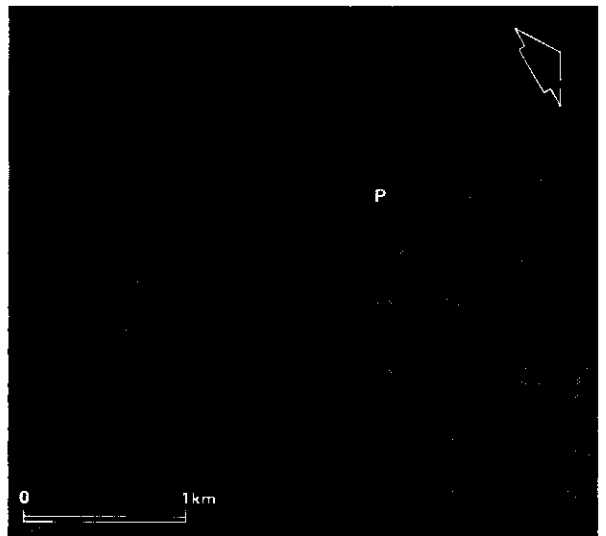


donker groen = loofbos
 bruin = naaldbos
 paars = mais
 magenta = verdrogend mais
 rood = zeer hoog dicht gras
 geel = hoog gras
 licht groen = middelhoog gras
 cyaan = laag gras
 donker blauw = afgerijpt graan
 zwart = kale grond, water

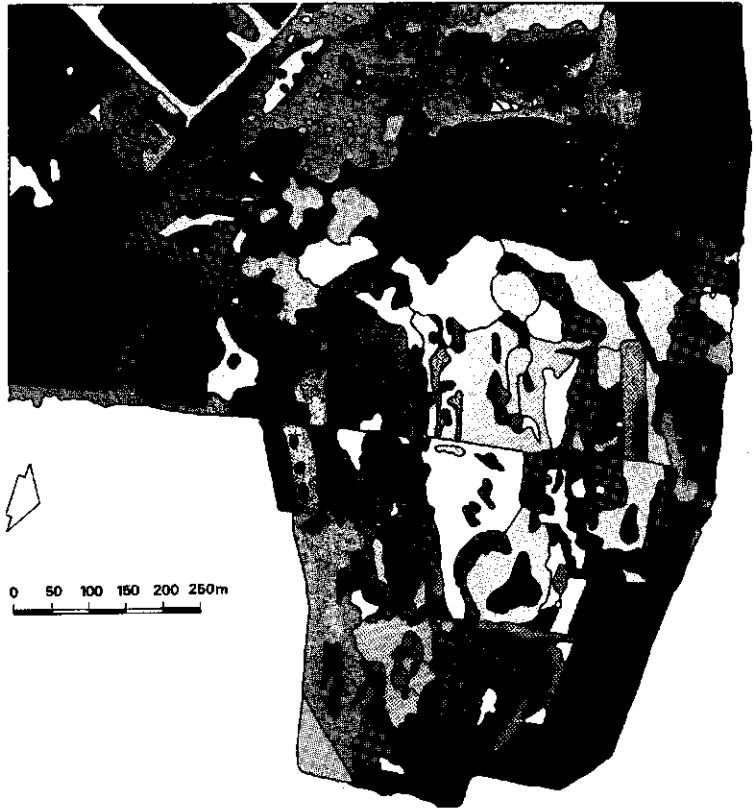
Plaat III. Resultaat van een gewasclassificatie aan de hand van de reflectiebeelden groen (band 5), rood (band 7) en nabij infrarood (band 9), die zijn opgenomen op 30 juli 1982 van het onderzoeksgebied 't Klooster (zie fig. 1).
 P = pompstation.



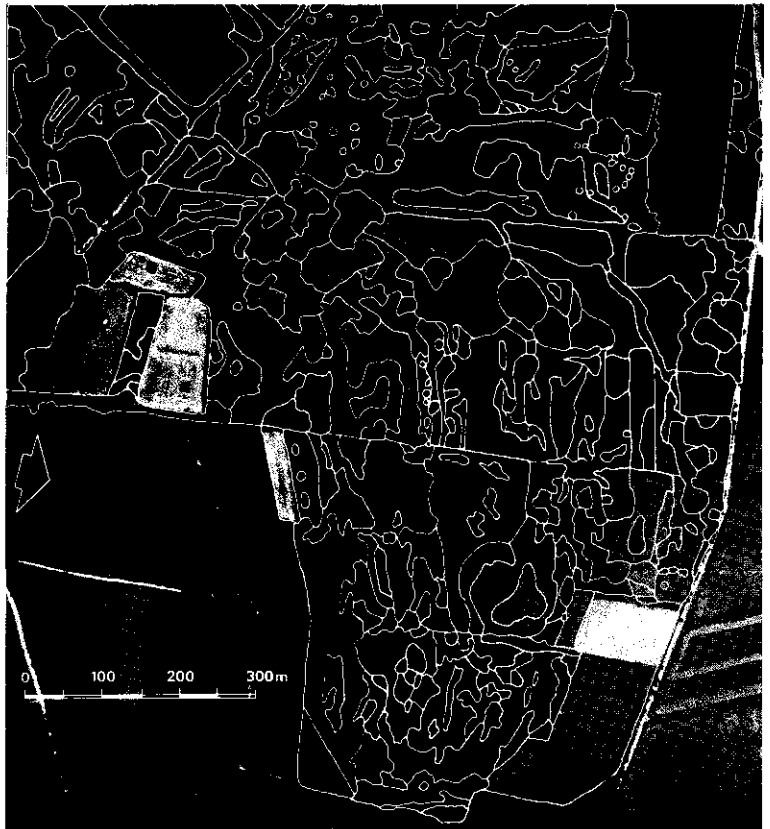
Plaat IV. Geometrisch gecorrigeerde en over elkaar geprojecteerde opnamen van 30 juli 1982 (cyaan) en 21 juni 1983 (rood). Hieruit blijkt dat beide beelden niet exact op elkaar passen.
 P = pompstation.



Plaat V. Resultaat van een computerclassificatie (zie plaat III) voor het onderzoeksgebied 't Klooster (zie fig. 1). De klasse mais (paars) is interactief gecorrigeerd. Blauw, groen en rood betreft grasland in hoogte toenemend van laag, middelhoog naar hoog. Zwart is niet geclassificeerd.
 P = pompstation



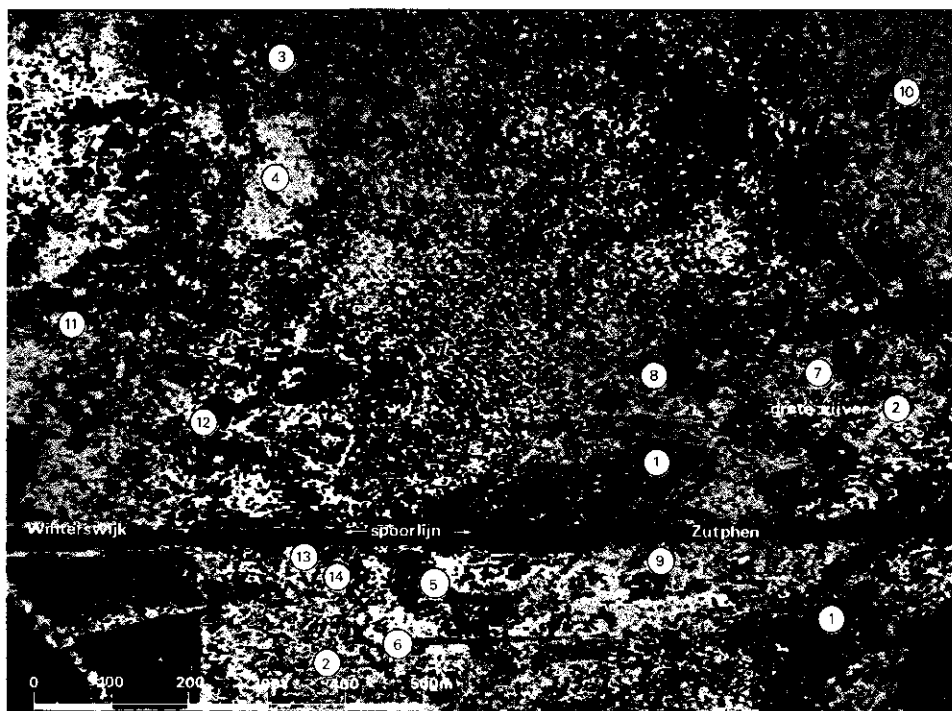
Plaat VIII. Vegetatiekaart van het oostelijk, nattere deel van het natuurgebied Elsenerveld (vluchtstrook 7 in fig. 1) Voor legenda zie plaat X.



Plaat IX. False colour foto-interpretatiekaart die is afgeleid uit de opname van 9 juli 1982 van het getoonde gebied in plaat VIII.

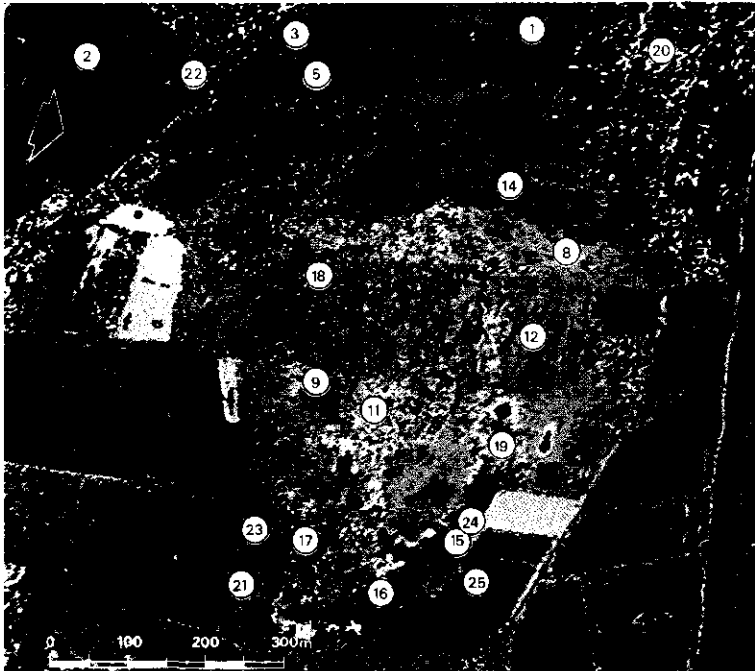


Plaat VI. False colour foto van een deel van het natuurgebied Korenburgerveen, die is opgenomen op 21 juni 1983.



Plaat VII. Classificatie van een deel van het Korenburgerveen aan de hand van de reflectiebeelden groen (band 5), rood (band 7) en nabij infrarood (band 9), die zijn opgenomen op 21 juni 1983. Bij de classificatie is het Box-car filter toegepast.

1 = Berkenbroekbos; 2&3 = Wilgenbos; 4 = Elzenbroekbos; 5&8 = Gagel & Vegetatie van Gagel, Veenpluis en Dophei; 6&9 = Molinia en Vegetatie van Molinia met Veenpluis en Dophei; 7 = Riet; 10 = Hoogveen slenkvegetatie; 11&12 = Schraalgraslanden I en II; 14 = Vegetatie met Waterlelie.



Plaat X. Classificatieresultaat voor het getoonde gebied in plaat VIII. Toegepast zijn de reflectiebeelden groen (band 5), rood (band 7) en nabij infrarood (band 9) en het warmtebeeld, die zijn opgenomen op 9 juli 1982.

DROGE STRUIKHEIDE.

- 1. Droge struikheide.
- 2. Relatief oud met mossen en korstmossen.
- 3. Afgebrand.
- 4. Vergrast met borstelgras en schaapegras.
- 5. Sterk vergrast met borstelgras en schaapegras.
- 6. Sterk vergrast met bochtige smele.

VOCHTIGE TOT NATTE DOPHEIDE.

- 7. Vochtige dopheide.
- 8. Vergrast met pijpestrootje.
- 9. Sterk vergrast met pijpestrootje, veel kale grond.
- 10. Sterk vergrast met pijpestrootje, drassige bodem.
- 11. Dopheide vegetatie met veenputten.

NATTE HEIDE VAN HET PIJPESTROOTJE - TYPE.

- 12. Pijpestrootje.
- 13. Pijpestrootje op horsten.
- 14. Pijpestrootje op horsten, zeer veel kale grond.
- 15. Pijpestrootje in combinatie met pitrus.

ZEER NATTE HEIDE.

- 16. Veenpluis, pitrus, wieren, pijpestrootje, open water etc.

VEENPUTTEN.

- 17. Veenputten met dominante pitrus bedekking.
- 18. Veenputten met combinatie pitrus en snavelzegge.
- 19. Aaneengesloten open veenputten met water.

BOSSEN.

- 20. Dennenbos.
- 21. Eiken - berkenbos.
- 22. Eiken - berkenbos (voornamelijk eikenbestanden).

OVERIGE EENHEDEN.

- 23. Open water, bomkraters.
- 24. Kapvlakte en afgestorven dennen.
- 25. Grasland en bouwland.



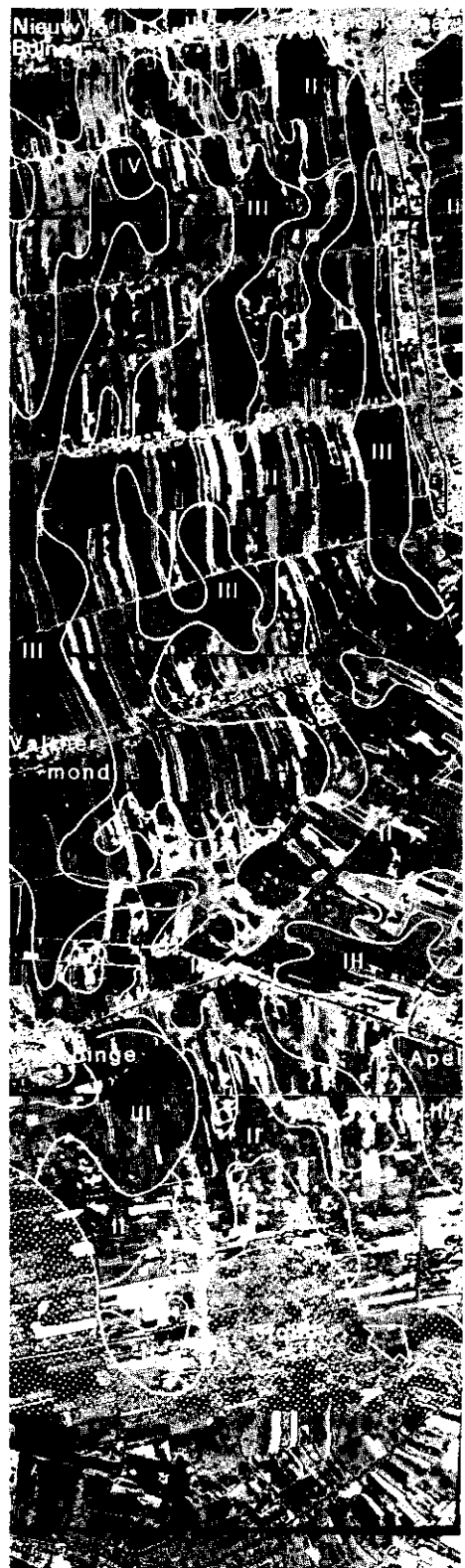
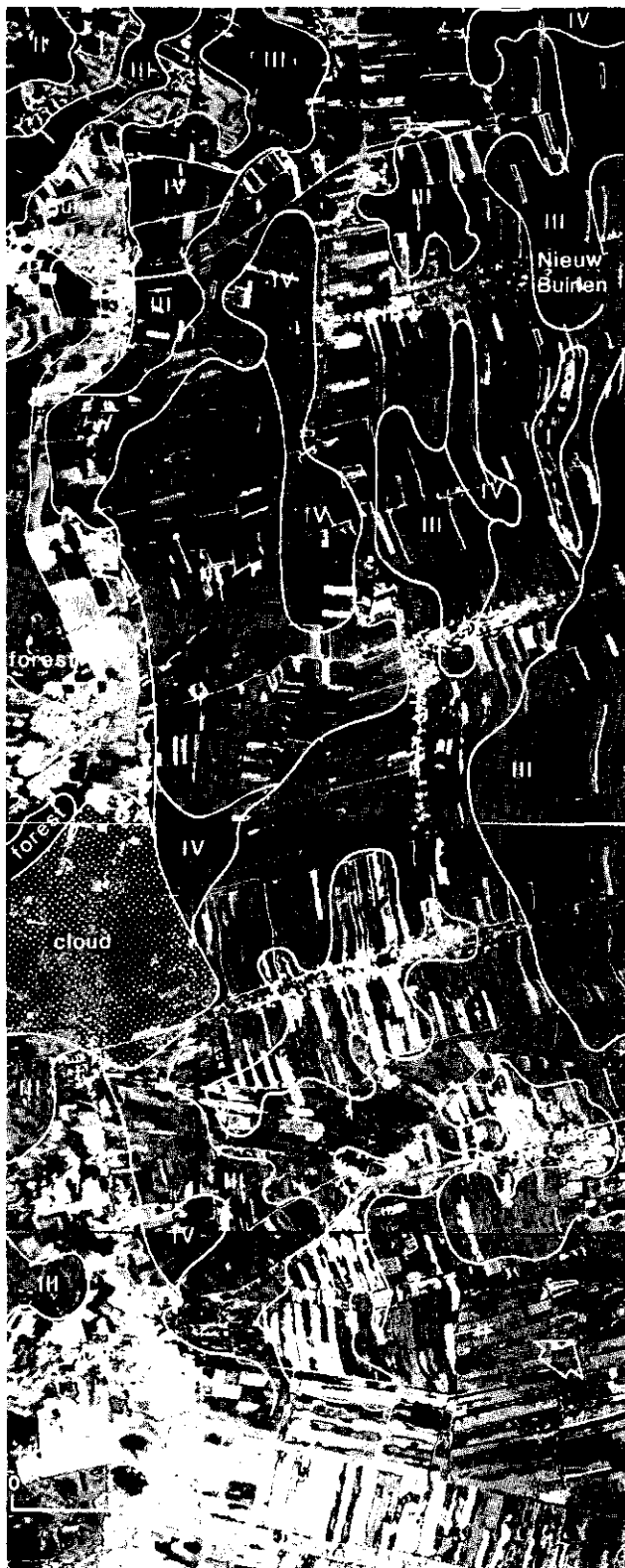
Plaat XI. Resultaat van de handclassificatie voor het natuurgebied Needse Achterveld (vluchtstrook 8 in fig. 1). Toegepast zijn de reflectiebeelden groen (band 5), rood (band 7) en nabij infrarood (band 9) en het warmtebeeld, die zijn opgenomen op 9 juli 1982.
 Donkerblauw = pijpestrootje, lichtblauw = pijpestrootje in combinatie met dopheide en geel = dopheide of struikheide.



Plaat XII. Resultaat van een geautomatiseerde gewasclassificatiemethode voor het getoonde gebied in plaat XI. Groen = pijpestrootje en paars = pijpestrootje in combinatie met dopheide.



Plaat XIII. Verdampingskaarten van het gebied in de omgeving van het pompstation 't Klooster voor 30 juli 1982 (links) en 17 juli 1983 (rechts) die zijn afgeleid uit de op de desbetreffende dagen opgenomen reflectie- en warmtebeelden. De relatieve dagverdamping neemt van blauw (> 90%), groen (70-90%), geel (50-70%), rood (30-50%) naar magenta (< 30%) af. Zwart betekent niet geassocieerd. De 10 cm verlaginglijn door de onttrekking van grondwater door het pompstation (P) is aangegeven.



Plaat XIV. Warmtebeelden van een deel van de vluchtstroken 1 (links) en 2 (rechts) gelegen in de Drents-Groningse Veenkoloniën (zie fig. 2), die zijn opgenomen op 4 augustus 1982. De temperatuur van de oppervlakte neemt toe van zwart (31 °C), blauw, groen, geel naar rood (45 °C). De verdamping neemt van klasse I naar IV toe. Voor de indeling van de verdampingsklasse zie tekst.

4.2.3. Verwerking opnamen natuurgebieden

De basisaanpak voor de verwerking van de verschillende terreinen is voor elk gebied hetzelfde. De verwerking van de opnamen van het Korenburgerveen is uitgevoerd op het RESEDA-systeem, van het Needse Achterveld op het beeldverwerkingsstation van het RIN, terwijl de opnamen van De Scholte en het Elsenveld zijn verwerkt op het grafisch systeem van de Landbouwhogeschool.

Aan de hand van false colour foto's is op traditionele wijze voor de natuurgebieden een foto-interpretatiekaart samengesteld. Deze kaart aangevuld met veldwerkgegevens diende als basis voor de invoer van trainingspixels (beeldelementen met bekende vegetatie). Van deze trainingspixels is de mate van overeenkomst bepaald volgens het 'Mean Character Difference' criterium (EVERITT, 1974). Vervolgens zijn de pixels gegroepeerd tot clusters volgens de Ward's methode (EVERITT, 1974). Aan de hand van de clusters is het gehele beeld eveneens met de Ward's methode geïnclassificeerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de voor de observatiehoek gecorrigeerde kanalen 5, 7 en 9 (NIWARS, 1977; BUNNIK, 1978).

Bij het Needse Achterveld is een classificatie toegepast volgens het principe van 'Minimum Distance to Mean', dat wil zeggen dat een pixel aan die cluster wordt toegevoegd, waarbij de afstand tot het zwaartepunt van de cluster minimaal is. Tevens is voor dit gebied een 'handclassificatie' uitgevoerd. De spectrale reflectienormen voor de klasse-indeling zijn expliciet opgegeven en geoptimaliseerd op grond van de aangewezen beeldelementen. Door technische beperkingen kon dit slechts met gebruik van één band tegelijk.

Bij de classificatie van terreinen met bosopstanden is getracht het resultaat te verbeteren door toepassing van een zogenaamd Boxcar filter. Dit filter is in het onderhavige geval zodanig gespecificeerd dat een beeld is te produceren waarin de spreiding van de reflectiewaarden binnen een denkbeeldig raam van x bij x pixels wordt afgebeeld. Het idee hierachter is om bij de classificatie naast de reflectiewaarden van de banden 5, 7 en 9 een 'synthetische' band te betrekken die een waarde aangeeft voor de textuur van de vegetatie op het beeld. De textuur is een maat voor de structuur van de vegetatie, zoals hoogte en dichtheid. Textuurverschillen zijn namelijk vaak specifiek voor een vegetatietype dan bijvoorbeeld verschillen in kleur.

Een hoge gesloten vegetatie zoals een bos zal minder warmte uitstralen dan een lage open vegetatie. Daarom is ook de gewastemperatuur bij enkele classi-

ficaties betrokken.

Een natuurlijk vegetatiedek is slechts zelden uniform over een betrekkelijk groot oppervlak. Daarom is speciale aandacht besteed aan de invoer van trainingspixels (DE NIES en LEBQUILLE, 1985).

5. RESULTATEN VAN HET VEGETATIEKUNDIG ONDERZOEK

5.1. LANDBOUWGEBIEDEN

Uit de opname van 1 april 1982 is informatie afgeleid over de soortensamenstelling van het grasland. Plaat I toont het resultaat. Plaat II toont hetzelfde gebied met de vochtclassen volgens de CABO-methode (zie Par. 2.4.2). Lage waarden voor de Vegetatie Index (blauw en groen in Plaat I) komen in het algemeen overeen met laaggelegen delen, die in Plaat II in de klassen 'zeer nat' tot 'iets nat' vallen. Open water, de weg en kale grond komen ook in deze categorie terecht vanwege het feit dat er geen begroeiing aanwezig is.

De groene en gele tinten in Plaat I betreffen 'neutraal' grasland met overgangen naar zowel drogere als nattere typen. De hoogste waarden voor de Vegetatie Index (rood, magenta en wit in Plaat I) vallen over het algemeen samen met de droge graslandtypen met overgangen naar 'neutraal' grasland. Met digitale opnamen met een maximaal dynamisch bereik (het verschil tussen de minimale en maximale stralingsintensiteit van de opgenomen objecten) kan een verbetering van het classificatieresultaat worden verkregen. Mede door de heilige weersomstandigheden was het dynamisch bereik van de scanneropnamen beperkt. Bovendien moeten de mogelijkheden van het warmtebeeld nader worden onderzocht.

Gebleken is dat de classificatie aan de hand van de voorjaarsopname in grote lijnen overeenkomt met de resultaten van de CABO-vochtkartering. Voor de operationalisering van deze toepassing is echter het grootste probleem dat verschillen in soortensamenstelling van grasland slechts gedurende een korte tijd in het vroege voorjaar op scanneropnamen tot uiting komen. Deze valt in de periode waarbij het gras in hergroei is na de winterperiode (DE NIES en LEBQUILLE, 1985).

Met behulp van de opname van 30 juli 1982 is voor het gebied in de omgeving van het pompstation 't Klooster een gewasclassificatie uitgevoerd. Plaat III toont het resultaat. Naast de klassen grasland en mais zijn onderscheiden: twee typen bos, graan,

kale grond en water.

De voor het genoemde gebied ontwikkelde routine is daarna op de gehele oost-west strook (zie Fig. 1) toegepast. Het classificatieresultaat is voor gras en mais vervolgens voor een groot aantal percelen gecontroleerd. In bijna alle gevallen gaven de als mais geclassificeerde pixels terecht mais aan. De sterk verdrogende mais en middelhoog gras werden echter met elkaar verward (DE NIES en LEBOUILLE, 1985).

Met multitemporale analyse is geprobeerd een verbetering van het classificatieresultaat te verkrijgen. Voorwaarde voor een multitemporale analyse is dat de beelden opgenomen op twee verschillende dagen nauwkeurig op elkaar passen. De opnamen van 30 juli 1982 en 21 juni 1983 zijn op het RESEDA-systeem geometrisch gecorrigeerd. Hierbij zijn 25 paspunten toegepast. Plaat IV toont het resultaat. De geometrische afwijkingen in de beelden als gevolg van vliegtuigbewegingen bleken echter van dien aard, dat een lijnsgewijze correctie zou moeten worden toegepast. De vliegtuigbewegingen zijn tijdens de opname niet geregistreerd zodat deze correctie niet mogelijk was. Hoewel de beelden van beide data niet voldoende nauwkeurig op elkaar passen voor een verdere digitale verwerking is gebleken dat indien dit wel het geval zou zijn een zeer goed classificatieresultaat kon worden verkregen. Mais werd vrijwel eenduidig herkend (bruin in Plaat IV).

Uiteindelijk is besloten het classificatieresultaat met de hand te verbeteren door alle maispercelen achter het beeldscherm aan te wijzen in verband met het belang van een betrouwbare gewaskaart voor de ver-

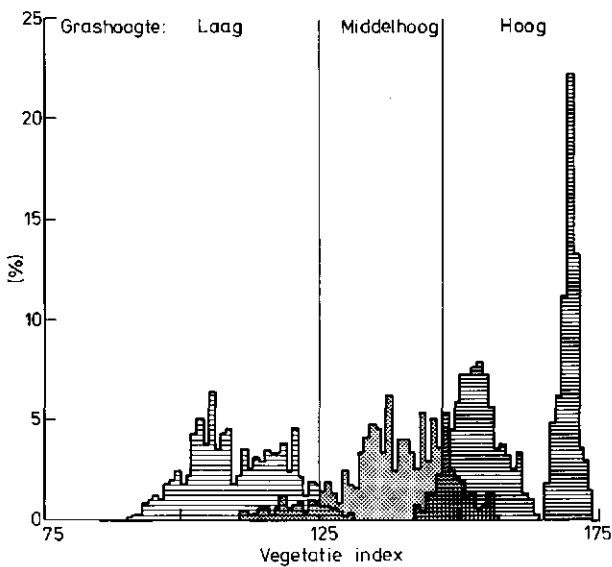


Fig. 4. Histogrammen van de Vegetatie Index berekend aan de hand van de MSS-opnamen van 30 juli 1982 voor laag, middelhoog en hoog grasland

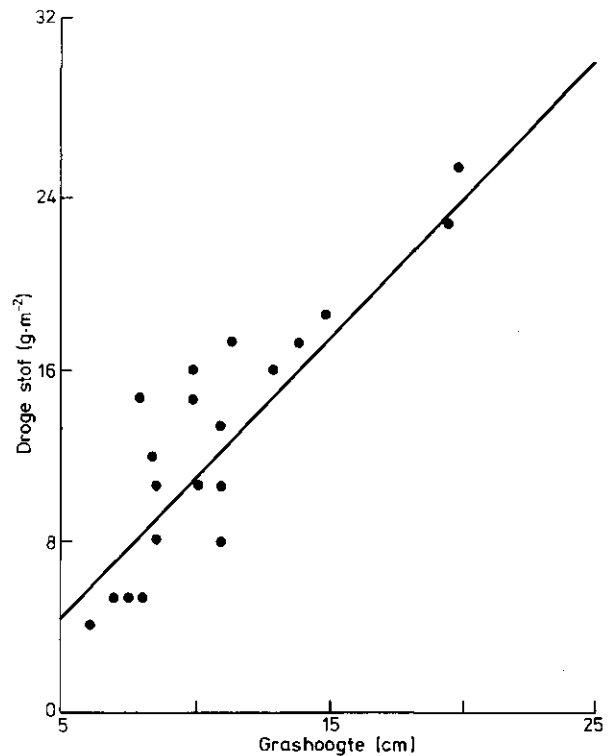


Fig. 5. Voorbeeld van een relatie tussen grashoogte en hoeveelheid droge stof voor een praktijkperceel ($r > 0,95$)

dampingskartering.

Grasland is vervolgens ingedeeld naar grashoogte aan de hand van de Vegetatie Index. Van de oorspronkelijke trainingspercelen van laag, middelhoog en hoog grasland zijn voor de Vegetatie Index histogrammen gemaakt (Fig. 4). Hieruit zijn de grenswaarden voor de grashoogteklassen afgeleid. Deze indeling leverde in combinatie met de bestaande klasse mais Plaat V op.

Als test is deze procedure ook toegepast op de opnamen van 21 juni 1983. Wederom is dezelfde classificatieprocedure gevolgd. Een correctie van de klasse mais met de hand bleek in dit geval niet nodig. Het gras is ingedeeld in vier klassen: 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm en >20 cm. Van 44 percelen, die verspreid over de gehele oost-west strook (zie Fig. 1) waren gelegen en waarvan de grashoogte in het veld was bepaald, werden 6 percelen (14%) bij een verkeerde klasse ingedeeld.

De samenhang tussen de hoeveelheid biomassa en de grashoogte is met de beschikbare veldwaarnemingen onderzocht. Het meten van de grashoogte is namelijk aanzienlijk minder tijdrovend dan het meten van de hoeveelheid biomassa. Fig. 5 toont een voorbeeld van een relatie tussen grashoogte en biomassa voor een bepaald perceel, dat regelmatig in de loop van de tijd is bemonsterd. De correlatiecoëfficiënt is bij-

zonder hoog (0,95) en dat geldt eveneens voor andere percelen. De data van diverse percelen samengebracht geven een aanzienlijk lagere correlatie. Dit wordt veroorzaakt door de grote verschillen in bodembedekking tussen diverse percelen. Dit betekent dat een goede gewashoogtekartering voor grasland geen garantie is dat er ook een betrouwbare schatting kan worden gemaakt van de hoeveelheid biomassa. Verder onderzoek naar de mogelijkheden om uit remote-sensing-gegevens de hoeveelheid biomassa voor grasland onder praktijkomstandigheden te schatten is wegens tijdgebrek niet aan de orde gekomen.

5.2. NATUURGEBIEDEN

De betrouwbaarheid van de classificaties van de natuurgebieden bleek sterk afhankelijk van het type natuurgebied. Het Korenburgerveen leverde ondanks de toepassing van het Box-car filter een minder bruikbaar resultaat op. Er bleken veel misclassificaties op te treden, terwijl het beeld een storende stippeling bleef vertonen (LEBOUILLE en DE NIES, 1984). Patronen zichtbaar op de fase colour foto (Plaat VI) zijn nauwelijks herkenbaar op het geclassificeerde MSS-beeld (Plaat VII).

Van het natuurgebied De Scholte bleek het mogelijk een redelijk tot goed bruikbare vegetatiekaart samen te stellen met behulp van het MSS-materiaal. Door tevens het warmtebeeld te gebruiken werd een goed onderscheid tussen bomen en lage open vegetatietypen bereikt (DE NIES en LEBOUILLE, 1985).

De vegetatiekaart van het oostelijke, nattere deel van het Elsenerveld (Plaat VIII) is evenals de andere natuurgebieden samengesteld door interpretatie van false colour foto's (Plaat IX) en aanvullend veldwerk. Deze kaart diende als basis voor de MSS-computerclassificatie van het gebied. Plaat X toont het resultaat.

De verschillende heidtypen (variërend van droog tot zeer nat) zijn over het algemeen goed geclassificeerd. De mate van vergrassing per heidetype sluit op enkele uitzonderingen na goed aan bij de in het veld aangetroffen situatie. Deze informatie is voor het beheer van natuurterreinen van groot belang. Helaas werden zeer natte vegetaties (eenheid 16) voor een groot gedeelte als dennebos (eenheid 20) geclassificeerd. Op basis van het reflectiegedrag alleen was het niet mogelijk deze twee typen goed van elkaar te onderscheiden. Een ander probleem dat zich voordoet is dat vrijstaande bomen of groepjes bomen, waarvan de kruinen elkaar niet of nauwelijks raken (vooral legenda-eenheid 21), moeilijk terug te vinden zijn op het MSS-

classificatiebeeld. De classificatie van het westelijke, drogere deel van het Elsenerveld sloot goed aan bij de voor het gebied samengestelde vegetatiekaart.

Voor het Needse Achterveld werd gevonden dat de methode van de 'handclassificatie' bijzonder geschikt is voor het maken van verspreidingskaarten van bepaalde gegeneraliseerde vegetatietypen (zie Plaat XI), zoals vegetaties met dominantie van *Molinia* (pijpestrootje). In dit speciale geval gaf het gebruik van het warmtebeeld in combinatie met de reflectiebeelden groen (5), rood (7) en nabij infrarood (9) een verhoging van het onderscheidingsvermogen te zien van met name droge heidevegetaties. Plaat XII laat het resultaat zien bij toepassing van een geautomatiseerde classificatiemethode. Bij toepassing van de 'handclassificatie' is de verwerking goed te volgen en kan er te allen tijde worden ingegrepen dan wel worden bijgestuurd. Daarom wordt, indien het gaat om het onderscheiden van een klein aantal vegetatietypen, de voorkeur gegeven aan een dergelijke eenvoudige methode boven de toegepaste geautomatiseerde methoden.

De verwerking van de opnamen van het Stelkampsveld is beperkt gebleven tot foto-interpretatie.

De resultaten van de MSS-classificaties zijn met de tot nu toe ontwikkelde en beschikbare programma's sterk afhankelijk van het type natuurgebied. Goede resultaten werden verkregen bij de droge tot vochtige heideterreinen. Bezit een terrein natte tot zeer natte vegetatietypen in combinatie met bos dan bestaat er een grote kans dat hiertussen misclassificaties optreden. Bestaat een terrein voornamelijk uit bosachtige vegetatietypen, zoals die in grote delen van het Korenburgerveen worden aangetroffen, dan treden er eveneens te veel misclassificaties op.

Gebruik van het warmtebeeld in combinatie met reflectiebeelden is theoretisch discutabel. Hoewel in dit onderzoek op deze wijze positieve resultaten werden verkregen, is het de vraag in hoeverre dit gebruik algemeen geldig is.

In het huidige rapport is ingegaan op de vegetatiekundige beschrijving van natuurgebieden. Wat betreft de ecohydrologische beschrijving van de in dit onderzoek betrokken natuurgebieden wordt verwezen naar HYDRA en VAN DER MEULEN (1985), VAN KOOIJWIJK (1985), MANKOR (1985) en VAN POELJE en LEBOUILLE (1985). Door moeilijkheden die werden ondervonden bij de beeldverwerking heeft een integratie van de resultaten van het vegetatiekundig en ecohydrologisch onderzoek tot nu toe nog niet plaatsgevonden.

6. RESULTATEN VAN HET AGROHYDROLOGISCH
ONDERZOEK

6.1. ALGEMEEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het agrohydrologisch onderzoek gepresenteerd. In Par. 6.2 wordt aandacht besteed aan toetsing van het TERGRA-model en aan vereenvoudiging van de methodiek van verdampingskartering met behulp van warmtebeelden. Vervolgens worden in Par. 6.3 en Par. 6.4 resultaten getoond van verdampingskartering in respectievelijk Oost-Gelderland en de Drents-Groningse veenkoloniën. In Par. 6.5 worden de resultaten verkregen met remote sensing vergeleken met resultaten verkregen op traditionele wijze, dat wil zeggen door veldwaarnemingen en toepassing van simulatiemodellen. Op deze wijze is getracht inzicht te verkrijgen in het belang van remote sensing voor het agrohydrologisch onderzoek. Ten slotte worden in Par. 6.6 enkele aspecten belicht van de kosten en baten bij toepassing van remote sensing bij het vaststellen van de landbouwkundige gevolgen van grondwateronttrekking.

6.2. TOETSING VAN HET TERGRA-MODEL EN VEREENVOUDIGING VAN DE METHODIEK VAN VERDAMPINGSKARTERING

Toepassing van het TERGRA-model (SOER, 1977, 1980) levert een relatie op tussen de gewastemperatuur midden overdag en de werkelijke 24-uurs-gewasverdamping van het desbetreffende gewas. Bovendien wordt bij elk verdampingsniveau een daarmee corresponderende gemiddelde drukhoogte in de wortelzone berekend. Op beide onderdelen is het TERGRA-model getoetst.

Voor 30 juli 1982 zijn op het moment van de lucht-opname gesimuleerde en gemeten oppervlaktetemperaturen met elkaar vergeleken, zowel voor een potentieel verdampend grasgewas als voor een verdrogende situatie. De gesimuleerde toename in gewastemperatuur bij verdroging sloot goed aan bij de gemeten waarde (HEEMSTRA, 1984).

Heemstra toonde ook aan dat de met het model berekende gemiddelde drukhoogte in de wortelzone kan afwijken van de veldwaarnemingen. Fig. 6 geeft hiervan een voorbeeld. De gesimuleerde gewasverdamping komt bij een initiële drukhoogte in de wortelzone van -200 cm goed overeen met de gemeten gewasverdamping. Uit veldwaarnemingen is echter een gemiddelde waarde geschat van -400 cm. Bij die waarde treden echter aanzienlijke verschillen op tussen de gemeten en gesimuleerde gewasverdamping (zie Fig. 6). Dit betekent dat

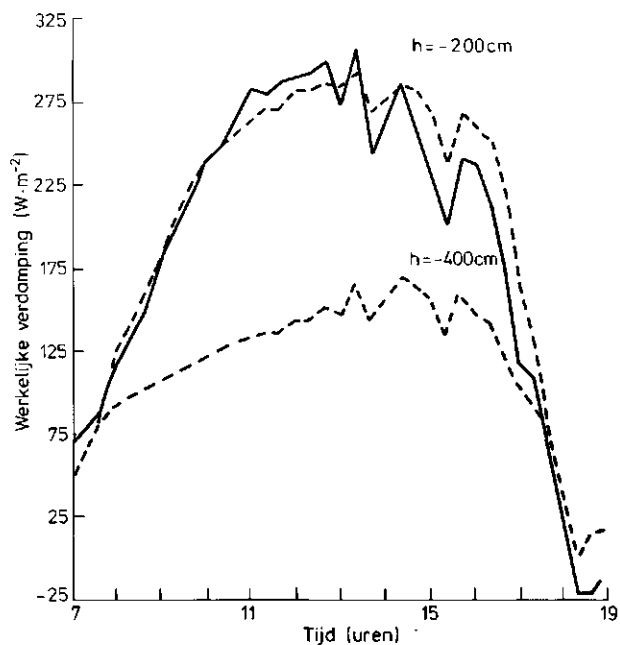


Fig. 6. Vergelijking tussen gemeten (—) en gesimuleerd (---) verloop van de werkelijke verdamping (E_t) op 17 juli 1983 voor initiële waarden van de gemiddelde drukhoogte in de wortelzone (h) van -200 en -400 cm

met het TERGRA-model aanzienlijke fouten kunnen worden gemaakt bij de bepaling van de gemiddelde drukhoogte in de wortelzone (HEEMSTRA, 1984).

Gevoeligheidsanalyses met het TERGRA-model gaven aan dat genoemde problemen geen consequenties hebben voor de relatie tussen de opwarming van het gewas midden overdag en de reductie in dagverdamping (THUNNISSEN en VAN POELJE, 1984). Fig. 7 toont deze relatie voor gras met twee verschillende gewashoogten en voor mais

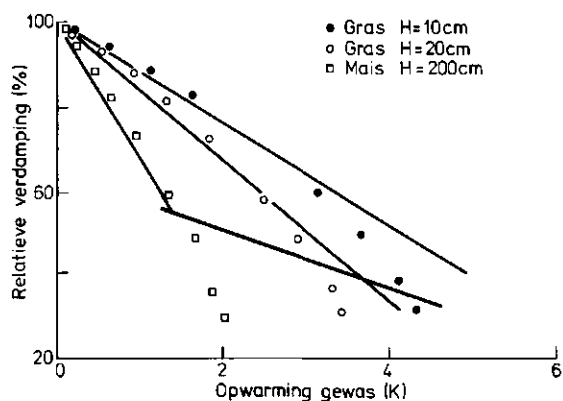


Fig. 7. Relatie tussen de relatieve dagverdamping ($E_t^4/E_t^p^4$) en de opwarming van het gewas ($T_c - T_c^p$) om 12.40 MET op 30 juli 1982 voor mais en grasland met verschillende gewashoogten (H) zoals berekend met het TERGRA-model. Tevens zijn de lineaire benaderingen gegeven van de berekende relaties. Voor nadere verklaring van de symbolen zie tekst op bladzijde 15

op 30 juli 1982. Tevens zijn in Fig. 7 de lineaire benaderingen van de met het TERGRA-model bepaalde relaties weergegeven. In verband met de invloed van kale grond bij sterke verdroging is de relatie voor mais benaderd door twee verschillende lineaire relaties (THUNNISSEN en VAN POELJE, 1984).

Voor berekeningen met het TERGRA-model zijn een groot aantal gewasparameters en meteorologische en bodemfysische grootheden nodig. Daardoor is deze methode tamelijk ingewikkeld. Gezocht is naar een eenvoudige methode, die de opwarming van een gewas midden overdag vertaalt in een reductie in totale dagverdamping (NIEUWENHUIS et al., 1985). Remote-sensing-vluchten, die worden uitgevoerd voor het waarnemen van droogteschade in de landbouw, worden in het algemeen in de zomerperiode uitgevoerd op zonnige dagen. Voor dergelijke dagen zijn standaardwaarden afgeleid voor de helling van de in Fig. 7 getoonde lineaire relaties. Deze relaties kunnen worden beschreven als (THUNNISSEN, 1984b):

$$E_t^{24}/E_{tp}^{24} = 1 - B^R(T_C - T_C^*) \quad (2)$$

Hierin zijn E_t^{24} en E_{tp}^{24} respectievelijk de werkelijke en potentiële 24-uurs-verdamping van een bepaald gewas ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$), B^R is een calibratieconstante (K^{-1}) en T_C en T_C^* zijn de temperaturen van het betreffende gewas (K) bij verdampingsniveaus E_t^{24} respectievelijk E_{tp}^{24} . De lineaire relatie (2) wordt standaardrelatie genoemd. Uit een gevoeligheidsanalyse met het TERGRA-model is gebleken dat B^R wordt bepaald door gewas-soort en -hoogte en de heersende windsnelheid op het opnametijdstip. Per gewas kan B^R worden beschreven met:

$$B^R = a + b \cdot u_2 \quad (\text{K}^{-1}) \quad (3)$$

waarin u_2 de windsnelheid ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) is op 2 m hoogte boven het maaiveld van een vlak en open terrein. De coëfficiënten a en b zijn afhankelijk van gewas-soort en -hoogte. Tabel 1 toont voor een aantal gewassen de uit TERGRA-modelberekeningen afgeleide waarden voor a en b.

Met het TERGRA-model is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van B^R voor veranderingen in een aantal gewasparameters en meteorologische en bodemfysische grootheden. Bovendien zijn voor een drietal willekeurige vluchtdagen in 1982 de resultaten verkregen met de standaardrelatie en standaardwaarde voor B^R vergeleken met TERGRA-modelberekeningen. Alleen bij sterke verdroging, dat wil zeggen bij relatieve verdampingswaarden lager dan 50%, kunnen de resultaten met de stan-

Tabel 1. Waarden voor a en b uit vergelijking (3) ($B^R = a + b \cdot u_2$) voor een aantal gewassen met gewashoogte H

Gewas	H (cm)	a (K^{-1})	b ($\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}$)
Gras	<15	0,050	0,010
Gras	>15	0,050	0,017
Aardappelen	60 ₁	0,050	0,023
Suikerbieten	60 ₂		
Granen	100	0,090	0,030
Mais	200	0,100	0,047

daardrelatie aanzienlijk afwijken van de resultaten met het TERGRA-model. In dit traject bevatten echter ook de berekeningen met het TERGRA-model onzekerheden in verband met het afsterven van het gewas bij extreme verdroging. Bovendien levert onder deze omstandigheden het afleiden van gewastemperaturen uit een warmtebeeld problemen op, daar bij extreme verdroging door structuurveranderingen van het gewas de bijdrage van de kale grond aan de gewastemperatuur toeneemt.

Geconcludeerd kan worden dat op gebruikelijke vluchtdagen, waarop in Nederland warmtebeelden worden opgenomen voor het vastleggen van droogteschade, standaardrelaties met succes kunnen worden toegepast. Daar standaardrelaties zich goed lenen voor automatisering van de verdampingskartering verdient deze methode de voorkeur boven toepassing van het TERGRA-model. Voor een nauwkeurige bepaling van de actuele verdamping uit een warmtebeeld zijn echter met name bij sterke verdroging enkele referentiemetingen in het veld van de gewastemperatuur en verdamping van zowel potentieel verdampende als verdrogende percelen onmisbaar.

In de volgende paragrafen worden enkele resultaten getoond van de verdampingskartering.

6.3. KARTERING MET REMOTE SENSING VAN DE VERDAMPING IN OOST-GELDERLAND

6.3.1. Hydrologische interpretatie van enkele verdampingskaarten

Met behulp van de in Par. 6.2 beschreven standaardrelaties is voor de gewasclassen hoog en middel-hoog grasland en mais het warmtebeeld automatisch omgezet in een verdampingskaart. Voor het gebied in de omgeving van het pompstation 't Klooster zijn in Plaat XIII verdampingskaarten voor 30 juli 1982 en 17 juli 1983 gegeven.

Als gevolg van de drogere omstandigheden op 30 juli 1982 zijn de verdampingswaarden op deze datum over het algemeen lager dan die op 17 juli 1983. Het

warmtebeeld van 17 juli 1983 toont ook de gevolgen van de overvloedige neerslag in het voorjaar van 1983 op met name percelen begroeid met mais. De wateroverlast in het voorjaar had tot gevolg dat de mais op veel plaatsen niet of pas zeer laat tot ontwikkeling kwam, waardoor de bodem op 17 juli vaak nog niet volledig door het gewas werd bedekt. Omdat op de desbetreffende percelen de waargenomen oppervlaktetemperatuur mede wordt bepaald door de relatief warme kale grond, is de gewasverdamping enigszins onderschat.

Verdampingskaarten, die uit remote-sensingopnamen zijn afgeleid, kunnen ook dienen voor gedetailleerde informatie over de waterhuishoudkundige situatie. Zo konden op een aantal percelen de effecten van egalisatie worden bestudeerd en kon een gebied worden opgespoord met een sterk afwijkend grondwaterstandsverloop ten opzichte van een referentiegebied met dezelfde grondwatertrap (THUNNISSEN et al., 1985).

Geconcludeerd kan worden dat uit remote-sensingbeelden afgeleide verdampingskaarten zich goed lenen voor het vaststellen van effecten van een variatie in bodemfysische eigenschappen, maaiveldshoogte en grondwaterstand op de gewasverdamping.

Recent gemaakte percelen leveren problemen op bij de bepaling van de gewas temperatuur in verband met de grote bijdrage van de relatief warme kale grond aan de waargenomen warmtestraling. Voor deze percelen worden daarom geen verdampingswaarden gegeven (zwart in Plaat XIII). Dit kan worden opgevangen door op diverse tijdstippen opnamen te maken.

De mogelijkheden voor het vaststellen van waar berekening is toegepast in een droge periode is afhankelijk van de opnameschaal. Bij een opnamehoogte lager dan $\pm 2,5$ km (ruimtelijk oplossend vermogen $< 7,5$ m)



Fig. 8. Voorbeeld van cirkelvormige beregeningspatronen op het warmtebeeld opgenomen op 30 juli 1982. Zwart is koud en wit is warm. De opnamehoogte is 2000 m

is het beregende areaal vrijwel eenduidig op te sporen. Fig. 8 toont hoe berekening zich manifesteert op warmtebeelden. Bij opnamen van grotere hoogte vervagen de beregeningspatronen op het warmtebeeld en verdampingskaart. Dan zijn nog slechts recent voor de opname beregende percelen waarneembaar aan de hand van de relatief lage oppervlaktetemperatuur.

De traditionele werkwijze voor het vaststellen van de vochtleverantie van de bodem is gebaseerd op berekeningen met hydrologische modellen. Voor de beide grote vluchtstroken (zie Fig. 1) zijn met behulp van modelberekeningen droogtegevoeligheidskaarten vervaardigd (THUNNISSEN, 1981). Vanwege de omvang van het gebied konden de droogtegevoeligheidskaarten slechts worden vervaardigd met behulp van de beschikbare informatie over bodem en grondwatertrappen op kaartbladen van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50 000.

De droogtegevoeligheidskaarten van drie deelgebieden binnen de oost-west strook zijn vergeleken met de verdampingskaarten van 30 juli 1982 (THUNNISSEN et al., 1985). Op de verdampingskaarten is de actuele situatie op een bepaald moment in het groeiseizoen gedetailleerd vastgelegd. De spreiding in verdampingswaarden binnen verschillende droogtegevoeligheidsklassen is groot. Dit is voor een belangrijk deel het gevolg van de generalisatie, die bij het vervaardigen van de droogtegevoeligheidskaarten is toegepast. Variaties in bodemfysische eigenschappen vooral met betrekking tot de ondergrond zijn aanwezig binnen een kaarteenheden van de bodemkaart en kunnen tot aanmerkelijke verschillen in vochtleverantie aanleiding geven. Voor een grotere nauwkeurigheid van de droogtegevoeligheidskaart is meer informatie over de grondwaterstandsfluctuaties vereist dan uit de Bodemkaart van Nederland kan worden afgeleid.

Door bovengenoemde oorzaken komen patronen op de droogtegevoeligheidskaart slechts zeer globaal overeen met die op de verdampingskaart.

6.3.2. Invloed van grondwateronttrekking op de vochtvoorziening van landbouwgewassen

Bij de studie naar de invloed van grondwateronttrekking op de vochtvoorziening van landbouwgewassen is aandacht besteed aan de situatie rondom het pompstation 't Klooster bij Hengelo (Gld) (THUNNISSEN, 1984a) en bij het pompstation Olden Eibergen (HESEN, 1984). Aan de hand van enkele resultaten bij het pompstation 't Klooster worden de mogelijkheden van remote sensing voor dit doel nader toegelicht.

Plaat XIII toont de verdampingskaart voor 30

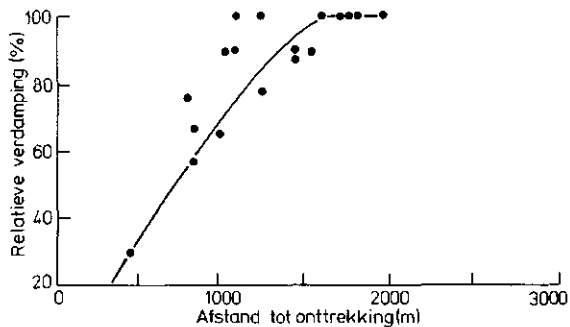


Fig. 9. Relatieve dagverdamping (E_t^{24}/E_{tp}^{24}) afgeleid uit het warmtebeeld van 30 juli 1982 voor gras op veldpodzolgrond met grondwatertrap V, in relatie met de afstand tot het zwaartepunt van de grondwateronttrekking. De grondwatertrap is van toepassing op de situatie zonder grondwateronttrekking

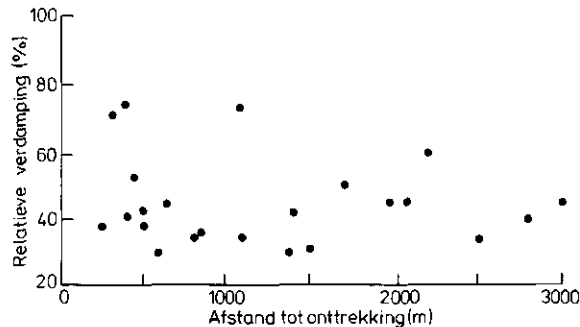


Fig. 10. Relatieve dagverdamping (E_t^{24}/E_{tp}^{24}) afgeleid uit het warmtebeeld van 30 juli 1982 voor mais op veldpodzolgrond met grondwatertrap VI, in relatie met de afstand tot het zwaartepunt van de grondwateronttrekking. De grondwatertrap is van toepassing op de situatie zonder grondwateronttrekking

juli 1982. Op de verdampingskaart is aangegeven waar volgens modelberekeningen 10 cm grondwaterstandsdaaling optreedt door de onttrekking van grondwater door het pompstation.

Bij de bestudering van de verdampingskaart blijkt het concentrisch verlagingspatroon van de grondwaterstand rond het pompstation op het eerste gezicht geen daarmee overeenkomend verdrogingspatroon op te leveren. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van verschillende gewassen, de invloed van de relatief warme kale grond, de toepassing van berekening en de variatie in bodemtypen en grondwatertrappen. Als gevolg van deze factoren hebben de patronen op het warmtebeeld een grillige vorm. Bij meer systematische studie van de verdamping op 30 juli 1982 per gewassoort, bodemtype en grondwatertrap wordt voor een aantal bodemtypen en grondwatertrappen een duidelijke afname van de verdamping van gras en mais waargenomen naarmate de afstand tot het onttrekkingspunt geringer en derhalve de verlaging van de grondwaterstand groter wordt. Hierbij heeft de grondwatertrap betrekking op de situatie zonder onttrekking. Een tweetal resultaten van deze analyse worden nu toegelicht.

Fig. 9 toont dat de verdamping van gras op een veldpodzolgrond met de oorspronkelijk aanwezige grondwatertrap V afneemt naar het pompstation toe. Bij een afstand tot de onttrekking van meer dan ongeveer 1500 m heeft de grondwaterwinning geen waarneembare invloed meer op de verdamping. Bovendien is dan door capillaire nalevering vanuit het grondwater de gewasverdamping vrijwel potentieel.

Fig. 10 geeft een heel ander resultaat te zien. Het betreft mais op een veldpodzolgrond met de oorspronkelijke grondwatertrap VI. Uit het warmtebeeld kan worden afgeleid dat de verdamping bijzonder laag is en dat er geen relatie bestaat met de afstand tot de onttrekking. Er is op het moment van de opname

sprake van een hangwaterprofiel, waarbij de diepte van de grondwaterstand geen of slechts een zeer geringe invloed heeft op de vochtleverantie.

Voor een betrouwbare interpretatie van verdrogingspatronen, die zijn afgeleid uit remote-sensingopnamen, is aanvullende informatie onontbeerlijk. Gebleken is dat indien systematisch wordt gekeken naar de verdamping per gewas, per bodemtype en per grondwatertrap informatie kan worden verkregen over de invloed van grondwateronttrekking op de vochtvoorziening van landbouwgewassen. Deze analyse levert echter alleen succes op voor grondwateronttrekkingen met invloedsgebieden groter dan 2 km in doorsnede (zoals het geval is voor de pompstations 't Klooster en Olden Eibergen), daar anders binnen het invloedsgebied van de onttrekking door de opsplitsing naar gewasstype, bodemtype en grondwatertrap een te gering aantal percelen wordt aangetroffen. Zoals ook in Par. 6.3.1 is vermeld werkt in dit geval kunstmatige berekening storend.

6.4. KARTERING MET REMOTE SENSING VAN DE VERDAMPING IN DE DRENTS-GRONINGSE VEENKOLONIËN

Voor de veenkoloniën is aandacht besteed aan de interpretatie van het warmtebeeld, dat op 4 augustus 1982 na een zeer droge periode is opgenomen. Met de gegevens van het warmtebeeld is voor aardappel- en bietenpercelen (75% van het cultuurland) met de hand een verdampingskaart samengesteld (Plaat XIV). Een automatische classificatie van de verdamping was niet mogelijk daar van het betreffende gebied geen MSS-opnamen beschikbaar zijn. Bij de kartering zijn vier klassen onderscheiden en wel:

- I zeer hoge reductie in verdamping: >60%
- II hoge reductie in verdamping: 25-60%
- III matige reductie in verdamping: 10-25%
- IV weinig tot geen reductie in verdamping: <10%

Buiten het veenkoloniale gebied op de Hondsrug ter plaatse van Exloo en Valthe, waar door een diepe grondwaterstand slechts hangwaterprofielen worden aangetroffen, traden sterke reducties in verdamping op. In het relatief laag gelegen, aan de Hondsrug grenzende Hunzedal is door kwel vrijwel geen reductie in verdamping waargenomen. Verder naar het oosten bij strook 1 en voor de gehele strook 2 werden overwegend matige en hoge reducties in verdamping aangetroffen. De verdamping wordt in dit gebied voornamelijk bepaald door de hoogteligging ten opzichte van het grondwater en de opbouw van het bodemprofiel.

Een verbetering van de vochtleverantie van een bodem kan worden verkregen door toepassing van bodemverbetering, zoals diepploegen. De effecten van dergelijke maatregelen zijn bestudeerd aan de hand van false colour foto's en warmtebeelden opgenomen op 8 augustus 1983 (KOK, 1984).

Gebleken is dat remote sensing een belangrijk hulpmiddel kan zijn bij het vaststellen van het optreden van schade door droogte in de landbouw. Vooral voor de gewassen aardappelen en bieten werden goede resultaten verkregen, daar deze gewassen in de maanden juli en augustus, waarin in het algemeen de grootste problemen optreden met de vochtvoorziening, een groen en gesloten gewas vormen.

6.5. REMOTE-SENSINGBENADERING EN BEREKENINGEN MET HYDROLOGISCHE MODELLEN

Met het ééndimensionale SWATRE-model (FEDDES et al., 1978; BELMANS et al., 1983) zijn berekeningen uitgevoerd voor de interpretatie van de verdampingskaart, die is afgeleid uit remote-sensingopnamen. De mate waarin de vochtleverantie afneemt bij verlaging van de grondwaterstand is met dit model voor verschillende bodemtypen onderzocht. De invloed van de grondwaterstands daling vanwege de onttrekking door het pompstation 't Klooster is ook onderzocht aan de hand van de remote-sensingopnamen van 30 juli 1982 (Fig. 9 en 10). In geval van een afname van de verdamping naar het pompstation toe werd geconcludeerd dat het betreffende bodemtype gevoelig is voor een verlaging van de grondwaterstand. Dit werd bevestigd door de resultaten, die werden verkregen met het SWATRE-model (THUNNISSEN, 1984a). Gebleken is dat dergelijke modelberekeningen een belangrijke ondersteuning betekenen bij de interpretatie van de uit de remote-sensingopna-

Tabel 2. De relatieve gewasverdamping (E_t^{24}/E_{tD}^{24}) afgeleid uit het warmtebeeld en die berekend met het SWATRE-model voor 30 juli 1982 van een aantal graslandpercelen op veldpodzolgronden (Hn 53 en (c)Hn 54), bekeerdgronden (tZg 45 en 55) en enkeerdgronden (E 53)

Bodemtype	Relatieve gewasverdamping	
	warmtebeeld	SWATRE
Hn 53	85	100
(c)Hn 53	<30	15
Hn 53	60	70
(c)Hn 53	80	75
Hn 53	<30	40
Hn 53	50	30
Hn 54	70	70
(c)Hn 54	100	90
Hn 54	85	90
(c)Hn 54	75	70
tZg 45	100	100
tZg 55	100	100
E 53	70	95
E 53	55	70

men afgeleide verdampingskaarten.

Uit de modelresultaten, die gelden voor het gehele groeiseizoen, kan tevens worden vastgesteld in hoeverre de situatie, zoals die is vastgelegd op een bepaalde vluchtdag, karakteristiek is voor het gehele groeiseizoen. Met remote sensing wordt vastgesteld waar en in welke mate op een bepaald moment in het groeiseizoen verdroging van landbouwgewassen optreedt. Door toepassing van hydrologische modellen wordt inzicht verkregen in de seizoenseffecten en in de oorzaken van de eventueel optredende verdroging.

Het spreekt voor zich dat op de vluchtdagen voor die locaties, waarvoor de verdamping gedurende het gehele groeiseizoen is gesimuleerd, de met het model voorspelde verdamping overeen moet komen met de verdamping afgeleid uit de remote-sensingopnamen. Voor 30 juli 1982 zijn de resultaten met elkaar vergeleken (Tabel 2). Voor de percelen gelegen op enkeerdgronden treedt volgens de remote-sensingbenadering een sterkere reductie in verdamping op dan berekeningen met het SWATRE-model uitwijzen. Mogelijk wordt door te gunstig gekozen bodemfysische eigenschappen van deze gronden de vochtleverantie door de bodem enigszins overschat.

Uit het onderzoek in Oost-Gelderland is gebleken dat remote sensing een belangrijk hulpmiddel kan zijn voor de controle van berekeningen met hydrologische modellen. Met name het controleren van de berekende verdamping is in de praktijk niet eenvoudig.

De met het quasi-driedimensionale GELGAM-model (DE LAAT and AWATER, 1978) berekende ruimtelijke spreiding in de gemiddelde gewasverdamping over de periode van 20 tot en met 29 juli 1982 is ook vergeleken met verdrogingspatronen die voorkomen op het warmtebeeld van 30 juli 1982 (THUNNISSEN, 1984a). De overeenkomsten

blijken gering te zijn. In belangrijke mate wordt dit bepaald door de wijze van schematisering van het studiegebied in het GELGAM-model.

6.6. ASPECTEN VAN DE KOSTEN EN BATEN BIJ TOEPASSING VAN REMOTE SENSING

In het kader van het studieproject is geen analyse van kosten en baten uitgevoerd. Wel kunnen op basis van de ervaringen, die zijn opgedaan in dit project, enkele aspecten worden belicht van potentiële kosten en baten, indien remote sensing wordt toegepast bij het vaststellen van gevolgen van grondwaterstandsverlagingen, zoals deze in wateronttrekkingsgebieden kunnen optreden.

De kosten bij toepassing van remote sensing betreffen die van opname en verwerking. De kosten voor scanneropnamen en false colour foto's bestaan in belangrijke mate uit vaste kosten en zijn dan ook vrijwel onafhankelijk van de grootte van het onderzoeksgebied. Worden de opnamen gemaakt door een commercieel bedrijf dan bedragen de opnamekosten voor gebieden, die wat betreft het oppervlak variëren van 1000 tot 10 000 ha, ongeveer f 50 000 per vlucht. Worden op één dag opnamen voor diverse projecten gemaakt, dan kunnen de kosten worden teruggebracht tot ongeveer f 30 000 per project. De kosten voor dataverwerking zullen aanvankelijk ongeveer f 25 000 bedragen. Naarmate de verwerking meer op routinematige basis geschiedt kunnen deze kosten worden teruggebracht tot zo'n f 15 000.

Uitgaande van een gemiddelde grootte van een te karakteriseren gebied van 2000 ha bedragen de kosten voor opname en dataverwerking globaal f 37,50 per ha. Deze kosten kunnen mogelijk worden verlaagd tot f 22,50 per ha bij opnamen in verschillende gebieden op dezelfde dag en bij meer routinematige verwerkingsprocedures.

In het bovenstaande is uitgegaan van één vlucht per seizoen per project. Voor een goede gebiedsdekkende karakterisering zullen vaak meer vluchten gedurende het groeiseizoen nodig zijn om reacties van verschillende gewassen op bevredigende wijze te kunnen weergeven. In dit geval nemen de kosten voor opname en dataverwerking uiteraard evenredig toe.

Door toepassing van remote-sensingtechnieken kunnen landbouwkundige effecten van grondwateronttrekking gedetailleerder en betrouwbaarder worden vastgesteld. Over deze twee aspecten valt nog het volgende op te merken:

- 1) Beschikbaarheid van remote-sensingbeelden is nuttig bij het begrenzen van bodemfysische eenheden

in het veld en van gebieden waarin daling van de grondwaterstand heeft geresulteerd in een reductie in verdamping. Het begrenzen van deze gebieden geschiedt nauwkeuriger wat voor een rechtvaardige vergoedingsregeling een vereiste is.

- 2) Toepassing van remote sensing resulteert in een bepaling van verdampingsreducties op een bepaald moment. In het kader van landbouwkundige schadeberekeningen naar aanleiding van grondwaterstandsdaalingen worden momenteel in afhankelijkheid van de heersende weersomstandigheden voor een geheel groeiseizoen simulatieberekeningen van de vochtleverantie toegepast. Gelijktijdig wordt de reductie in verdamping gesimuleerd. De met behulp van remote sensing bepaalde verdampingsreducties zijn van essentieel belang bij het valideren van de simulatieberekeningen. Gezien de grote financiële belangen, die hier in het geding zijn, is de validatie een belangrijk aspect. Immers, simulatieberekeningen zullen in de toekomst steeds kritischer worden geanalyseerd. Het op dit moment vrijwel ontbreken van goede validatiemogelijkheden wordt door onderzoekers als een duidelijk knelpunt ervaren.

Het verrichten van een gedetailleerde bodemkartering voor schadeonderzoek in grondwateronttrekkingsprojecten kost op dit moment ongeveer f 100 per ha. Hiervan is 2/3 deel bestemd voor veldwerk (1 à 2 boringen per ha) en de rest voor verwerking van de verkregen gegevens. Kosten voor het runnen van een simulatiemodel zijn niet begrepen in het genoemde bedrag. Eventuele besparingen ten aanzien van het veldbodemkundig werk zijn moeilijk te schatten. Enerzijds zullen mogelijk minder boringen nodig zijn voor het vaststellen van grenzen. Anderzijds vereist de validatie van de simulatieberekening voor een bepaald moment met behulp van remote sensing extra veldwerk, zoals ook in Oost-Gelderland is gebleken. Een en ander verhoogt echter de kwaliteit van het uiteindelijk produkt. Gebruik van remote-sensingbeelden bij het onderzoek naar de gevolgen van grondwaterstandsverlagingen zal een aantal operationele gevolgen hebben voor het karteringsonderzoek. Immers, de beelden zullen beschikbaar moeten zijn vóór het veldwerk kan beginnen. De consequenties hiervan zijn nog niet geheel te overzien. Dit laatste aspect, maar ook andere hierboven genoemde technische en operationele aspecten, zullen concreet worden uitgewerkt in een tweetal lopende proefprojecten. Op grond van de resultaten van deze projecten zal een meer kwantitatieve evaluatie mogelijk zijn van de bepalende factoren voor de kosten en baten bij het gebruik van remote sensing in het onderzoek naar de landbouwkundige gevolgen van grondwaterstandsverlagingen.

LITERATUUR

- BELMANS, C., J.G. WESSELING and R.A. FEDDES. 1983. Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE. *J. Hydrol.* 63,3/4: 271-286. *Techn. Bull.* ns 21. ICW, Wageningen.
- BUNNIK, N.J.J. 1978. The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*, 78-1. Veenman & Zonen, Wageningen. 175 pp.
- COMMISSIE BESTUDERING WATERHUISSHOUING GELDERLAND. 1980. Een systeembenadering voor de waterhuishouding van Gelderland. Provinciale Waterstaat van Gelderland, Arnhem. 88 pp.
- EVERITT, B. 1974. Cluster analysis. Heinemann, Educational Books Ltd, Londen. 192 pp.
- FEDDES, R.A., P.J. KOWALIK and H. ZARADNY. 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Simulation Monographs*, PUDOC, Wageningen. 189 pp.
- GEERTS, R. en H.H. DE GOOIJER. 1984. 'Lieveelde'. Een ecologisch vegetatiekartering. *Karteringsverslag* 214. CABO, Wageningen. 27 pp.
- HEEMSTRA, Y.H. 1984. Vergelijking van gemeten gewas-temperatuur en evapotranspiratie met berekende waarden volgens het TERGRA-model. *Scriptie*. Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie, Landbouwhogeschool, Wageningen. 30 pp.
- HESEN, H.W.M. 1984. Bestudering van effecten van het pompstation Olden Eibergen op de landbouw met remote sensing en hydrologische modelberekeningen. *Nota* 1544. ICW, Wageningen. 82 pp.
- HYDRA, R.D.W. en L. VAN DER MEULEN. 1985. Het Needse Achterveld, een ecohydrologisch en bodemkundig onderzoek. RIN, Leersum (in voorbereiding).
- KOK, A. 1984. Studie naar de effecten van grondverbetering in de Veenkoloniën met remote sensing. *Nota* 1532. ICW, Wageningen. 50 pp.
- KOOTWIJK, E.J. VAN. 1985. De hydrologie van het natuurreservaat Stelkampsveld en omgeving. RIN, Leersum (in voorbereiding).
- LAAT, P.J.M. DE and R.H.C.M. AWATER. 1978. Groundwater flow and evapotranspiration. A simulation model. Part 1. Theory. *Basisrapport ten behoeve van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland*. Provinciale Waterstaat van Gelderland, Arnhem. 64 pp.
- LEBOUILLE, M.F.M. en N. DE NIES. 1984. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Deelrapport 5. Vegetatiekundig onderzoek in Oost-Gelderland; klassifikatie van biomassa en vegetatie. ICW, Wageningen. 43 pp.
- MANKOR, J. 1985. Het Korenburgerveen, een ecohydrologisch onderzoek. RIN, Leersum (in voorbereiding).
- NIES, N. DE en M.F.M. LEBOUILLE. 1985. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Vegetatiekundig onderzoek in Oost-Gelderland: resultaten en conclusies. ICW, Wageningen (in voorbereiding).
- NIEUWENHUIS, G.J.A. 1983. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Deelrapport 2. Remote sensing vluchten in 1982 en 1983: organisatorische aspecten. *Nota* 1432. ICW, Wageningen. 26 pp.
- NIEUWENHUIS, G.J.A., E.H. SMIDT and H.A.M. THUNNISSEN. 1985. Estimation of regional evapotranspiration of arable crops from thermal infrared images. *Int. J. Remote Sensing* 6,8: 1319-1334. *Techn. Bull.* ns 37. ICW, Wageningen.
- NIWARS. 1977. Onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van multispectrale scanning. *NIWARS publ.* 44, Delft. 371 pp.
- POELJE, H.A.C. VAN en M.F.M. LEBOUILLE. 1985. Borkelt en Elsenerveld; vegetatiekartering en ecohydrologisch onderzoek met toepassing van remote sensing. ICW, Wageningen (in voorbereiding).
- SCHOWENGERDT, R.A. 1983. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Academic Press, Londen. 256 pp.
- SOER, G.J.R. 1977. The TERGRA-model - a mathematical model for the simulation of the daily behaviour of crop surface temperature and actual evapotranspiration. *Nota* 1014. ICW, Wageningen. 44 pp.
- SOER, G.J.R. 1980. Estimation of regional evapotranspiration and soil moisture conditions using remotely sensed crop surface temperatures. *Remote Sensing of Env.* 9: 27-45. *Techn. Bull.* 116. ICW, Wageningen.
- THUNNISSEN, H.A.M. 1981. Vochtleverend vermogen van enkele bodems in Oost-Gelderland met en zonder grondwateronttrekking. *Nota* 1348. ICW, Wageningen. 21 pp.
- THUNNISSEN, H.A.M. 1984a. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Deelrapport 4. Hydrologische beschrijving van een studiegebied rond het pompstation 't Klooster: toepassing van hydrologische modellen en remote sensing. *Nota* 1542. ICW, Wageningen. 85 pp.
- THUNNISSEN, H.A.M. 1984b. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Deelrapport 6. Eenvoudige methode voor de bepaling van de regionale dagverdamping van een gewas met remote sensing. *Nota* 1580. ICW, Wageningen. 39 pp.

- THUNNISSEN, H.A.M., H.W.M. HESEN en H.A.C. VAN POELJE. 1985. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Deelrapport 7. Interpretatie van uit remote sensing opnamen afgeleide verdampingskaarten. Nota 1627. ICW, Wageningen. 28 pp.
- THUNNISSEN, H.A.M. en H.A.C. VAN POELJE. 1984. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Deelrapport 3. Bepaling van de regionale gewasverdamping met behulp van remote sensing in een studiegebied ten oosten van Hengelo (Gld). Nota 1525. ICW, Wageningen. 105 pp.
- TUCKER, C.J. 1977. Use of near infrared/red radiance ratios for estimating vegetation biomass and physiological status. Proc. 11th Int. Symp. of Remote Sensing of Environ., vol. I: 493-494.

BIJLAGE 1. DEELNEMENDE INSTELLINGEN

Centrum voor Agro-Biologisch Onderzoek (CABO)
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
(ICW)

Landbouwhogeschool (LH)
Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat (MD-RWS)
Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR)
Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN)
Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA)

Samenstelling Projectteam

ir. G.J.A. Nieuwenhuis, projectleider (ICW)
drs. P. Binnenkade (NLR)
ing. H.H. de Gooijer (CABO)
ir. H. Houweling (RIN)
drs. M.F.M. Lebouille (CABO)
drs. N. de Nies (CABO)
ing. H.A.C. van Poelje (ICW)
drs. G. Stafleu (LH)
ir. H.T.C. van Stokkom (MD-RWS, BCRS)
ir. J. Stolp (STIBOKA)
ir. J.N.M. Stricker (LH)
ir. H.A.M. Thunnissen (ICW)

Samenstelling Stuurgroep

dr. R.A. Feddes, voorzitter (ICW)
ir. G.J.A. Nieuwenhuis, secretaris (ICW)
ir. Th.A. de Boer (CABO, BCRS)
dr. J. Bouma (STIBOKA)
ir. H.J. Buiten (LH)
dr. N.J.J. Bunnik (NLR)
drs. C. van Wirdum (RIN)

BIJLAGE 2. OVERZICHT VAN IN HET KADER VAN HET STUDIEPROJECT VERSCHIEVEN PUBLIKATIES

Deelrapporten

1. PROJECTTEAM REMOTE SENSING STUDIEPROJECT. 1981. Beschrijving van het onderzoek. Nota 1296. ICW, Wageningen. 20 pp.
2. NIEUWENHUIS, G.J.A. 1983. Remote-sensingvluchten in 1982 en 1983: organisatorische aspecten. Nota 1432. ICW, Wageningen. 26 pp.
3. THUNNISSEN, H.A.M. en H.A.C. VAN POELJE. 1984. Bepaling van de regionale gewasverdamping met behulp van remote sensing in een studiegebied ten oosten van Hengelo (Gld). Nota 1525. ICW, Wageningen. 105 pp.
4. THUNNISSEN, H.A.M. 1984. Hydrologische beschrijving van een studiegebied rond het pompstation 't Klooster: toepassing van hydrologische modellen en remote sensing. Nota 1542. ICW, Wageningen. 85 pp.
5. LÉBOUILLE, M.F.M. en N. DE NIES. 1984. Vegetatiekundig onderzoek in Oost-Gelderland; klassificatie van biomassa en vegetatie. 43 pp.
6. THUNNISSEN, H.A.M. 1984. Eenvoudige methode voor de bepaling van de regionale dagverdamping van een gewas met remote sensing. Nota 1580. ICW, Wageningen. 39 pp.
7. THUNNISSEN, H.A.M., H.W.M. HESEN en H.A.C. VAN POELJE. 1985. Interpretatie van uit remote-sensingopnamen afgeleide verdampingskaarten. Nota 1627. ICW, Wageningen. 28 pp.
8. NIES, N. DE en M.F.M. LÉBOUILLE. Vegetatiekundig onderzoek in Oost-Gelderland; resultaten en conclusies (in voorbereiding).

Deze rapporten kunnen worden aangevraagd bij ir. G.J.A. Nieuwenhuis, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Postbus 35, 6700 AA Wageningen; tel. 08370-19100.

Publikaties

- NIEUWENHUIS, G.J.A., E.H. SMIDT and H.A.M. THUNNISSEN. 1985. Estimation of regional evapotranspiration of arable crops from thermal infrared images. Int. J. Remote Sensing 6,8: 1319-1334. Techn. Bull. ns 37. ICW, Wageningen.
- POELJE, H.A.C. VAN, E.H. SMIDT en H.A.M. THUNNISSEN. 1983. Droogteschade in de Drentse Veenkoloniën vanuit de lucht bekeken. De Boerderij 68,22: 34-37.
- THUNNISSEN, H.A.M. and G.J.A. NIEUWENHUIS. Hydrological description of a study area; application of hydrological models and remote sensing (in voorbereiding).

THUNNISSEN, H.A.M. and G.J.A. NIEUWENHUIS. Linear relationships for the estimation of regional 24-hr evapotranspiration with remote sensing (in voorbereiding).

THUNNISSEN, H.A.M., H.A.C. VAN POELJE en G.J.A. NIEUWENHUIS. 1986. Toepassing van remote sensing en het SWATRE-model om effecten van grondwateronttrekking vast te stellen. Cultuurt. Tijdschr. (ingezonden).

ICW-nota's

- HESEN, H.W.M. 1984. Bestudering van effecten van het pompstation Olden Eibergen op de landbouw met remote sensing en hydrologische modelberekeningen. Nota 1544. 82 pp.
- KOK, A. 1984. Studie naar de effecten van grondverbetering in de Veenkoloniën met remote sensing. Nota 1532. 50 pp.
- POELJE, H.A.C. VAN en M.F.M. LÉBOUILLE. 1985. Borkelt en Elsenerveld; vegetatiekartering en ecohydrologisch onderzoek met toepassing van remote sensing (in voorbereiding).
- THUNNISSEN, H.A.M. 1981. Vochtleverend vermogen van enkele bodems in Oost-Gelderland met en zonder grondwateronttrekking. Nota 1348. 21 pp.

RIN-rapporten

- HIJDRA, R.D.W. en L. VAN DER MEULEN. Het Needse Achterveld, een ecohydrologisch en bodemkundig onderzoek.
- KOOTWIJK, E.J. VAN. De hydrologie van het natuurreserveaat Stelkampsveld en omgeving.
- KOOTWIJK, E.J. VAN. Het Stelkampsveld, een luchtfoto-interpretatie ten behoeve van het vegetatiekundig onderzoek.
- KOOTWIJK, E.J. VAN. Het Needse Achterveld, multi-spectrale scanning ten behoeve van het vegetatiekundig onderzoek.
- MANKOR, J. Het Korenburgerveen, een ecohydrologisch onderzoek.
- TEMMINK, A. Ecohydrologisch onderzoek in het Wooldse Veen.

Scripties (beperkte verspreiding)

- BEEKMAN, W. 1984. Ruimtelijke variabiliteit van de netto straling. Scriptie Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie, Landbouwhogeschool, Wageningen. 43 pp.

- HEEMSTRA, Y.H. 1984. Vergelijking van gemeten gewas-temperatuur en evapotranspiratie met berekende waarden volgens het TERGRA-model. Scriptie Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie, Landbouwhogeschool, Wageningen. 29 pp.
- SNELLER, J.A. 1984. Hydrologische studie van het gebied rondom het pompstation 't Klooster (Gld), met gebruik van het SWATRE-model en warmtebeelden op 17 juli 1983. Scriptie Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie, Landbouwhogeschool, Wageningen. 52 pp.

BIJLAGE 3. OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE REMOTE-SENSINGVLUCHTEN, DIE VOOR HET STUDIEPROJECT ZIJN UITGEVOERD

FC = False Colour

MSS = Multi Spectral Scanning

IRLS = Infra Red Line Scanning

Datum	Techniek	Toelichting
01-04-1982	FC foto's MSS IRLS	Onder heifige omstandigheden is het onderzoeksgebied Cortenoever opgenomen vanaf 1200 m hoogte (vluchtstrook 5 in Fig. 1). Dit is de enige voorjaarsopname voor het vegetatiekundig onderzoek aan grasland
09-07-1982	FC foto's MSS IRLS	Onder goede weersomstandigheden is in Oost-Gelderland een uitgebreid vluchtprogramma afgewerkt; onder andere zijn diverse natuurgebieden opgenomen
30-07-1982	FC foto's MSS IRLS	Na een zeer droge periode is wederom in Oost-Gelderland onder goede weersomstandigheden een uitgebreid vluchtprogramma afgewerkt. Deze vlucht was vooral van belang voor het agrohydrologisch onderzoek
04-08-1982	FC foto's IRLS	De Drents-Groningse veenkoloniën zijn na een zeer droge periode onder goede weersomstandigheden opgenomen
21-06-1983	FC foto's MSS IRLS	Onder goede weersomstandigheden is in Oost-Gelderland een uitgebreid vluchtprogramma afgewerkt. Deze vlucht was vooral van belang voor het vegetatiekundig onderzoek aan grasland
17-07-1983	FC foto's MSS IRLS	Onder goede weersomstandigheden is na een droge periode voor het agrohydrologisch onderzoek één vlucht uitgevoerd
08-08-1983	FC foto's IRLS	Bij een bewolking variërend van 2/8 tot 4/8 is na een droge periode één vlucht uitgevoerd in de Drents-Groningse veenkoloniën

Bijlage 4

BIJLAGE 4. FINANCIËEL OVERZICHT

Viuchten Eurosense		f 283 548,74	f 340 000,--
Dataverwerking IH	f 69 400,--		
Dataverwerking RESEDA	60 000,--		
Computerkosten DIV	2 000,--		
DEC 10	8 705,--		
VAX	14 500,--		
	----- +	f 154 605,--	f 75 000,--
Instrumenten	f 79 826,--		
Verbruiksgoederen	34 084,74		
Kleurenoffset	15 000,--		
Publikaties	8 000,--		
	----- +	f 136 910,74	f 175 000,--
Totaal		<u>f 575 064,48</u>	<u>f 590 000,--</u>
		=====	=====

Toelichting: De personele kosten zijn buiten beschouwing gelaten. Alleen de feitelijke financiële transacties zijn opgenomen.