

**ALTERRA**  
Wageningen Universiteit & Research centre  
Omgevingswetenschappen  
Centrum Water & Klimaat  
*Team Integraal Waterbeheer*

ICW nota 1720  
juni 1986



nota

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen

BEELDVERWERKINGSMETHODIEKEN TEN BATE VAN VERDAMPINGSKARTERING  
EN ONDERZOEK NAAR HET EFFECT VAN DE PEELRANDBREUK OP HET  
FREATISCH GRONDWATER MET VERDAMPINGSBEELDEN

J.P.T. Caris en L.L.F. Janssen

Deze nota dient tevens als scriptie voor de Vakgroep Landmeet-  
kunde van de Landbouwhogeschool

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-  
middelen, dus geen officiële publikaties.  
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een  
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende  
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen  
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek  
nog niet is afgesloten.  
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut  
in aanmerking

De afbeelding is zeer licht en onleesbaar. Het lijkt op een klein, centraal geplaatst logo of een afbeelding die niet goed is gereproduceerd. Het is niet mogelijk om de inhoud te identificeren.

**ALTERRA**  
Wageningen Universiteit & Research centre  
Omgevingswetenschappen  
Centrum Water & Klimaat  
*Team Integraal Waterbeheer*

VOORWOORD

Gedurende een periode van 4 maanden hebben wij ons op het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) bezig gehouden met het maken en interpreteren van verdampingsbeelden. Dit verslag geeft slechts een beperkt deel van onze opgedane kennis weer. De belangrijkste en algemeen bruikbare informatie staat in dit verslag. We willen Gerard Nieuwenhuis bedanken voor zijn goede begeleiding tijdens onze periode op het ICW.

Het onderzoek telt als 3-maandsvak teledetectie van de Vakgroep Landmeetkunde van de Landbouwhogeschool. De begeleiding vond plaats door H.J. Buiten die we hiervoor willen bedanken.

Verder willen we nog noemen: Jaap Stolp, die ons op bodemkundig gebied heeft geholpen, Gerard Stafleu, die een software programma aanpaste waardoor de verdampingskartering op het Kleuren Grafisch Systeem van de Landbouwhogeschool werd gerealiseerd en John Bouwmans voor het geven van suggesties en informatie.

Lucas en Jo

De afvoer van de afvalwaterzuivering  
naar de afvalwaterzuivering  
naar de afvalwaterzuivering  
naar de afvalwaterzuivering  
naar de afvalwaterzuivering

## I N H O U D

	blz.
VOORWOORD	
1. INLEIDING	1
2. GEBIEDSBESCHRIJVING	4
2.1. Breuktektoniek	4
2.2. Topografie	6
2.3. Bodemgesteldheid en bodemgebruik	6
2.4. Hydrologie	7
3. THEORETISCHE ACHTERGRONDEN	9
3.1. Elektromagnetische straling	9
3.2. Opnametechnieken	11
3.2.1. Fotografische technieken	11
3.2.2. Scannertechniek	11
3.3. Atmosferische invloeden	14
3.4. Reflectie en warmtestraling van landbouwgewassen	15
3.4.1. Reflectie van landbouwgewassen	15
3.4.2. Warmtestraling van landbouwgewassen	18
3.5. Relatie tussen gewastemperatuur en verdamping	19
4. LUCHTOPNAMEN VELDWAARNEMINGEN EN OVERIGE GEGEVENS	23
4.1. Veldomstandigheden en luchtopnamen	23
4.2. Veldwaarnemingen	24
4.3. Overige gegevens	24

	blz.
5. WERKWIJZE	26
5.1. Beeldverwerking algemeen	26
5.2. Beeldverwerking op het Kleuren Grafisch Systeem van de Landbouwhogeschool	28
5.2.1. Inlezen van de tape	28
5.2.2. Hoekafhankelijke beeldcorrectie	29
5.2.3. Classificatie	33
5.2.4. Vegetatie-index	36
5.2.5. Relatie tussen scannertemperatuur en gewastempera- tuur	37
5.2.6. Relatie tussen gewastemperatuur en verdamping	38
5.3. Beeldverwerking op het RESEDA-systeem van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium	44
5.3.1. Inlezen van de tape	44
5.3.2. Hoekafhankelijke beeldcorrectie	45
5.3.3. Geometrische correctie	47
5.3.4. Classificatie	48
5.3.5. Verdampingskartering	51
5.4. Werkwijze bij de interpretatie van het verdampingsbeeld van onderzoeksgebied Deurne-Meijel	51
6. RESULTATEN	53
6.1. Verdampingsbeeld van het onderzoeksgebied Vlierden	53
6.2. Verdampingsbeeld van het onderzoeksgebied Deurne-Meijel	55
6.3. Interpretatie van het verdampingsbeeld Deurne-Meijel	56
7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	61
LITERATUUR	63
BIJLAGEN	66

**ALTERRA**  
Wageningen Universiteit & Research centre  
Omgevingswetenschappen  
Centrum Water & Klimaat  
*Team Integraal Waterbeheer*

## 1. INLEIDING

Het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) heeft in september 1985 het Remote Sensing Studietoelichting Oost-Gelderland afgesloten (PROJECTTEAM, 1985). In het kader van dit project zijn voor landbouw- en natuurgebieden, de mogelijkheden voor operationele toepassing van remote sensing opname- en verwerkingstechnieken onderzocht.

Dit resulteerde onder andere in een methodiek voor het samenstellen van een verdampingsbeeld aan de hand van, met een scanner opgenomen, warmte- en reflectiebeelden. Met zo'n verdampingsbeeld wordt voor een heel gebied de verdampingssituatie op een bepaalde dag in het groeiseizoen vastgelegd.

Geconcludeerd werd dat deze techniek een belangrijk hulpmiddel is bij het controleren van berekeningen met hydrologische modellen. Bovendien kan een verdampingsbeeld in aanvulling op andere gegevens (bodemkaarten, grondwatertrappenkaarten) belangrijke informatie geven over het invloedsgebied van een onttrekking van freatisch grondwater, hetgeen vooral van belang is bij schaderegelingen.

Het ICW houdt zich vanaf 1983 bezig met een hydrologische studie in het Zuidelijk Peelgebied (Oost-Brabant). In het kader van dit Zuidelijk Peelproject zijn er veel gegevens over dit gebied beschikbaar (VAN REES VELLINGA en BROERTJES, 1984).

Ten gevolge van breuksystemen, waarvan de Peelrandbreuk (zie paragraaf 2.1) de bekendste is, en de onregelmatige topografie is de geohydrologische situatie van dit gebied complex. Getracht is aan de hand van remote sensing opnamen hierin inzicht te verkrijgen.

Tijdens het Oost-Gelderlandproject werd de beeldverwerking uitgevoerd op het RESEDA systeem van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) te Amsterdam. In Wageningen bestaat de mogelijkheid voor beeldverwerking op het Kleuren Grafisch Systeem (KGS) van de Landbouwhogeschool (LH). Hiermee zijn nog niet eerder verdampingsbeelden gemaakt.

De doelstellingen van het onderzoek, waarvan in deze scriptie verslag wordt gedaan, zijn:

1. Het ontwikkelen van een operationele methode om een verdampingsbeeld te maken op het KGS. Het karteren van verdamping op een relatief krachtig systeem als het RESEDA is mogelijk gebleken. Onderzocht is in hoeverre dit ook mogelijk is met het pakket dat door de LH is ontwikkeld. Eventueel diende het pakket te worden uitgebreid.
2. Het verkrijgen van inzicht in de invloed van de Peelrandbreuk op het freatisch grondwater aan de hand van het verdampingsbeeld.

De verdampingsbeelden zijn mede van belang voor het Zuidelijk Peelproject. De resultaten kunnen dienen als aanvulling op en controle van isohypsenkaarten en met hydrologische modellen uitgevoerde berekeningen. Van het gehele Zuidelijk Peelgebied zijn opnamen beschikbaar. Het gebied komt voor op de kaartbladen 51 Oost, 52 West en 58 West van de Topografische kaart, schaal 1:50 000. Voor doelstelling 1 is een klein gebied rondom Vlierden gekozen (onderzoeksgebied 1 in fig. 1.1). Van verschillende zijden (ICW, Stichting voor Bodemkartering, Landinrichtingsdienst) was er belangstelling voor een verdampingsbeeld van dit gebied.

Voor doelstelling 2 is de strook tussen Deurne en Meijel gekozen (onderzoeksgebied 2 in fig. 1.1) De Peelrandbreuk loopt midden door dit gebied. Bovendien blijkt uit beschikbare isohypsenkaarten (VAN HOLST en TE RIELE, 1985; WIT, 1986) dat in dit gebied lokaal een groot verval in het freatisch water optreedt dat samenhangt met de ligging van de Peelrandbreuk (zie fig. 2.4).

Hoofdstuk 2 geeft een beknopte gebiedsbeschrijving. In hoofdstuk 3 komen de theoretische achtergronden aan de orde. De gebruikte gegevens worden belicht in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 wordt de werkwijze bij de beeldverwerking en de interpretatie behandeld. De resultaten worden beschreven in hoofdstuk 6. Tenslotte volgen in hoofdstuk 7 de samenvatting en de conclusies.



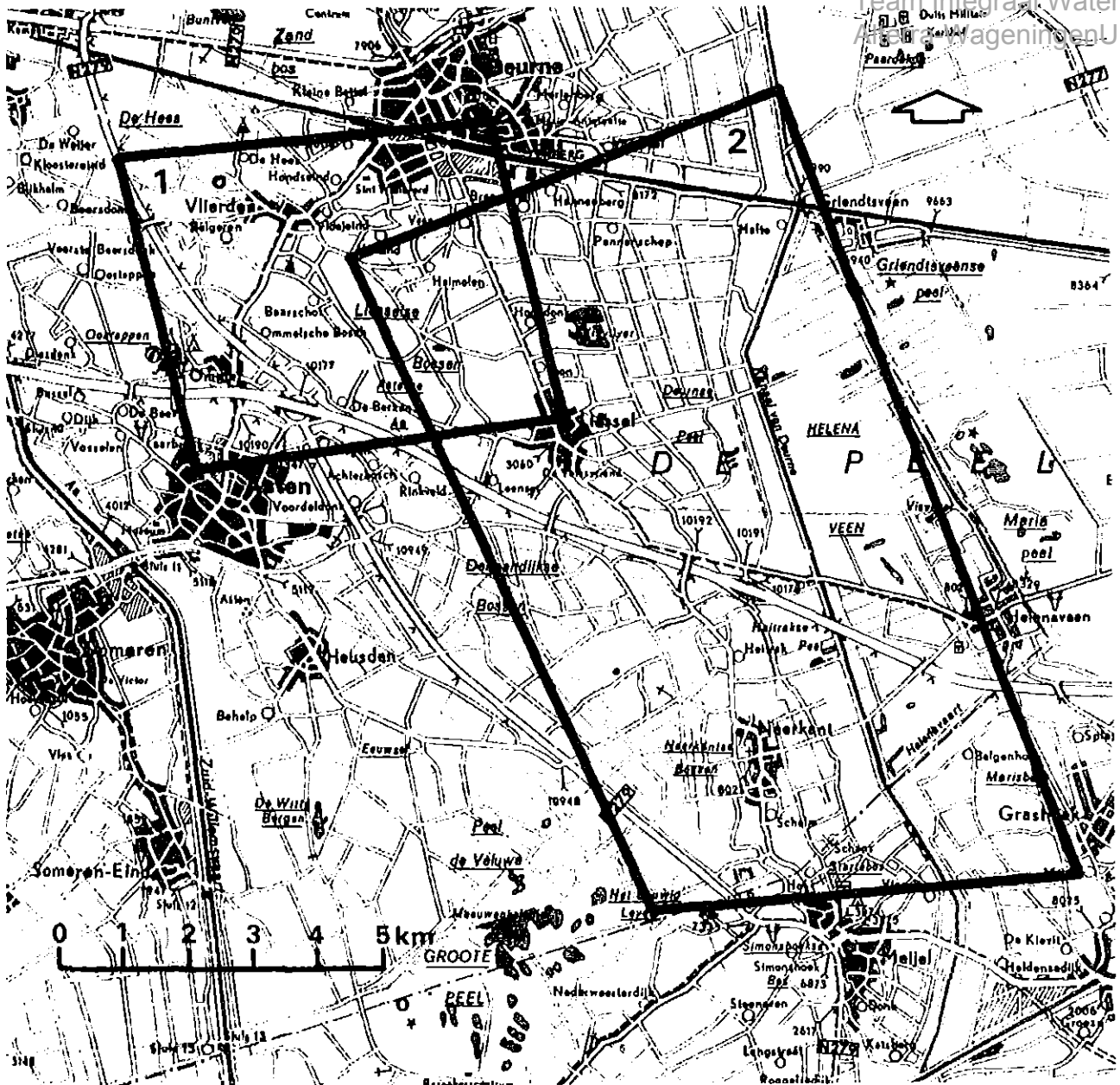


Fig. 1.1. Topografische ligging van de onderzoeksgebieden waarvoor een verdampingskartering is uitgevoerd

1. Onderzoeksgebied Vliederveen
2. Onderzoeksgebied Deurne-Meijel

## 2. GEBIEDSBESCHRIJVING

In dit hoofdstuk wordt een beknopte beschrijving gegeven van de factoren die een rol spelen bij de interpretatie van de beschikbare remote sensing opnamen. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de breuktektoniek, de topografie, de bodemgesteldheid, het bodemgebruik en de hydrologie.

### 2.1. Breuktektoniek

In het onderzoeksgebied Deurne-Meijel is de Peelrandbreuk gelegen. Deze breuk vormt de begrenzing tussen de westelijk gelegen Centrale Slenk en de oostelijk gelegen Peelhorst. De Peelhorst bestaat uit een aantal tot verschillende hoogten opgeheven schollen (maximaal  $\pm 35$  m+NAP). De Centrale Slenk is een dalingsgebied waarin de afzettingen zijn weggezakt en ook een grotere dikte hebben dan op de Peelhorst (zie fig. 2.1 en 2.2).

De bewegingen langs de breuken zijn tot recente tijden doorgegaan (A. HORNER, 1962; VAN DEN BROEK en MAARLEVELD, 1963).

Op verschillende plaatsen is de breuk in het landschap zichtbaar als een steilrand. Naart hoogteverschillen kan de aanwezigheid ook blijken uit het dagzomen van de Formatie van Veghel (grindhoudend grof zand). In de Slenk komt deze formatie nergens aan het oppervlak voor. De nabijheid van de breuk is soms ook merkbaar door het voorkomen van zogenaamde wijstgronden. Op deze plaatsen treedt water uit de overwegende grofzandige schol aan het oppervlak, waardoor daar gronden voorkomen die het hele jaar nat zijn (zie fig. 2.1). We hebben geen gegevens over het voorkomen van deze verschijnselen in ons studiegebied gevonden.

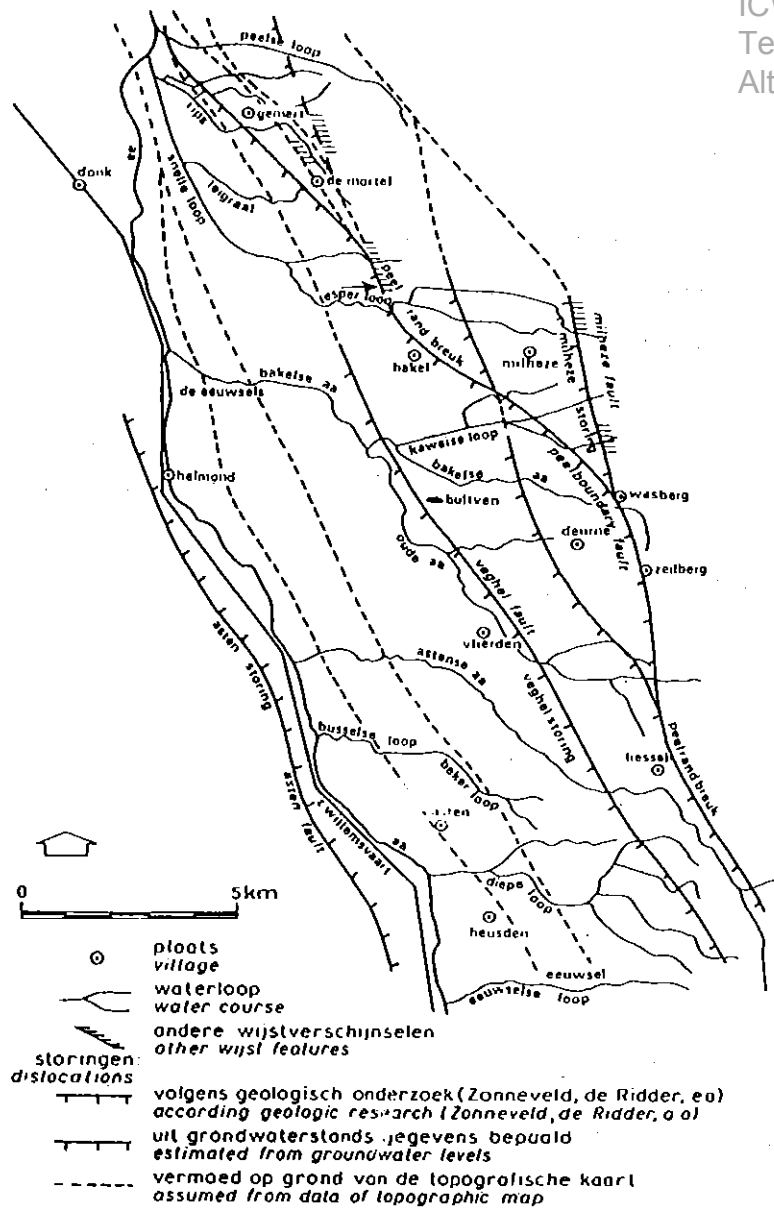


Fig. 2.1. Breuken langs de flank van de Peelhorst tussen Gemert en Liessel (naar BON 1972)

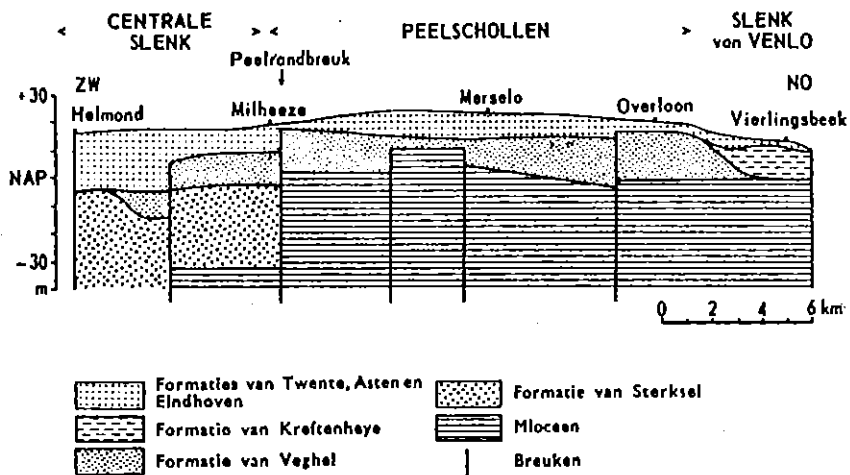


Fig. 2.2. Geologische doorsnede ZW-NO door het Peelgebied (naar Stiboka, (1968))

## 2.2. Topografie

In het Peelgebied zijn de verschillen in reliëf groot. Het centrale plateau (de Peelhorst) is globaal genomen vrij vlak. De lagere delen aan weerszijden ervan zijn vrij sterk versneden door talrijke beekdalen. Daartussen liggen kleine plateaus, soms ook vrij vlakke ruggen of tot stuifduinen opgewaaide heuvels. Waar de beekdalen wat verder uiteen liggen, is het reliëf zwak golvend. Hier treft men, langgerekte min of meer plateauvormige hoogten aan, die zich slechts weinig boven de omgeving verheffen. Op deze ruggen komen afgesloten veenvormige laagten voor.

## 2.3. Bodemgesteldheid en bodemgebruik

Een overzicht van de bodemgesteldheid wordt gegeven aan de hand van een representatief oost-west profiel (zie fig. 2.3).



Fig. 2.3. Bodemkundige O-W doorsnede door het gebied ten noorden van Liessel schaal 1:25 000 (naar DEKKERS, 1977)

In het oostelijk gedeelte vinden we eenheden als zVp (veengrond met zanddek en zandondergrond met humuspodzol) en Wp (moerige grond op zandondergrond met humuspodzol). Dit zijn bodems die gevormd zijn door het geschikt maken van ontveningsgebieden voor de landbouw. Als gevolg van het ondiep bewortelbare profiel en de relatief hoge waterstanden vindt men hier vooral grasland.

Naar het westen toe komen tot aan de breuk vooral humuspodzolen voor (Hn21). Dit zijn veldpodzolen met een dunnen A<sub>1</sub> en hydromorfe kenmerken. Het profiel is ontwikkeld in fijn, leemarm of zwak lemig zand.

Voornamelijk ten westen, maar ook wel direct ten oosten, van de Peelrandbreuk bezit de podzol een cultuurdek (cHn21). Dat is een humushoudende bovengrond van 30 tot 50 cm dikte. Dit profiel bezit een groter vochtbergend vermogen dan de Hn21.

Rond oude bewoningsplaatsen worden dikke eerdgronden gevonden. Vanwege de diepere grondwaterstanden zijn deze voornamelijk in gebruik als bouwland. Ze zijn ontwikkeld op fijn, zwaklemig zand. De eerdgronden hebben meestal een zwarte minerale eerdlaag (zEZ21). In de doorsnede van figuur 2.3 vertoont dit bodemtype gleyverschijnselen (EZgz1). De gemiddeld hoogste grondwaterstand is hier tussen de 20 en 40 cm beneden maaiveld.

De bodems in het westelijke deel van het studiegebied betreffen voornamelijk humuspodzolgronden (Hn21).

De voornaamste landbouwgewassen zijn grasland en mais. In veel mindere mate worden bieten en aardappelen verbouwd. Sporadisch vindt tuinbouw plaats. In het algemeen vindt in onderzoeksgebied Deurne-Meijel de weidebouw plaats op de horst en akkerbouw in de Slenk, maar als gevolg van ruilverkaveling, detailontwatering en berekening is dat steeds minder een regel.

#### 2.4. Hydrologie

We beperken ons hier tot het freatisch water omdat dat uiteindelijk van invloed is op de gewasverdamping. Figuur 2.4 toont de isohypsenkaart van het Zuidelijk Peelgebied voor augustus 1982, met intervallen van een halve meter. In deze figuur is ook de Peelrandbreuk ingetekend. De algehele afstromingsrichting is in noordwestelijke richting. Op verschillende plaatsen dichtbij de Peelrandbreuk is een sterk verval zichtbaar, met name bij Deurne en tussen Neerkant en Meijel.

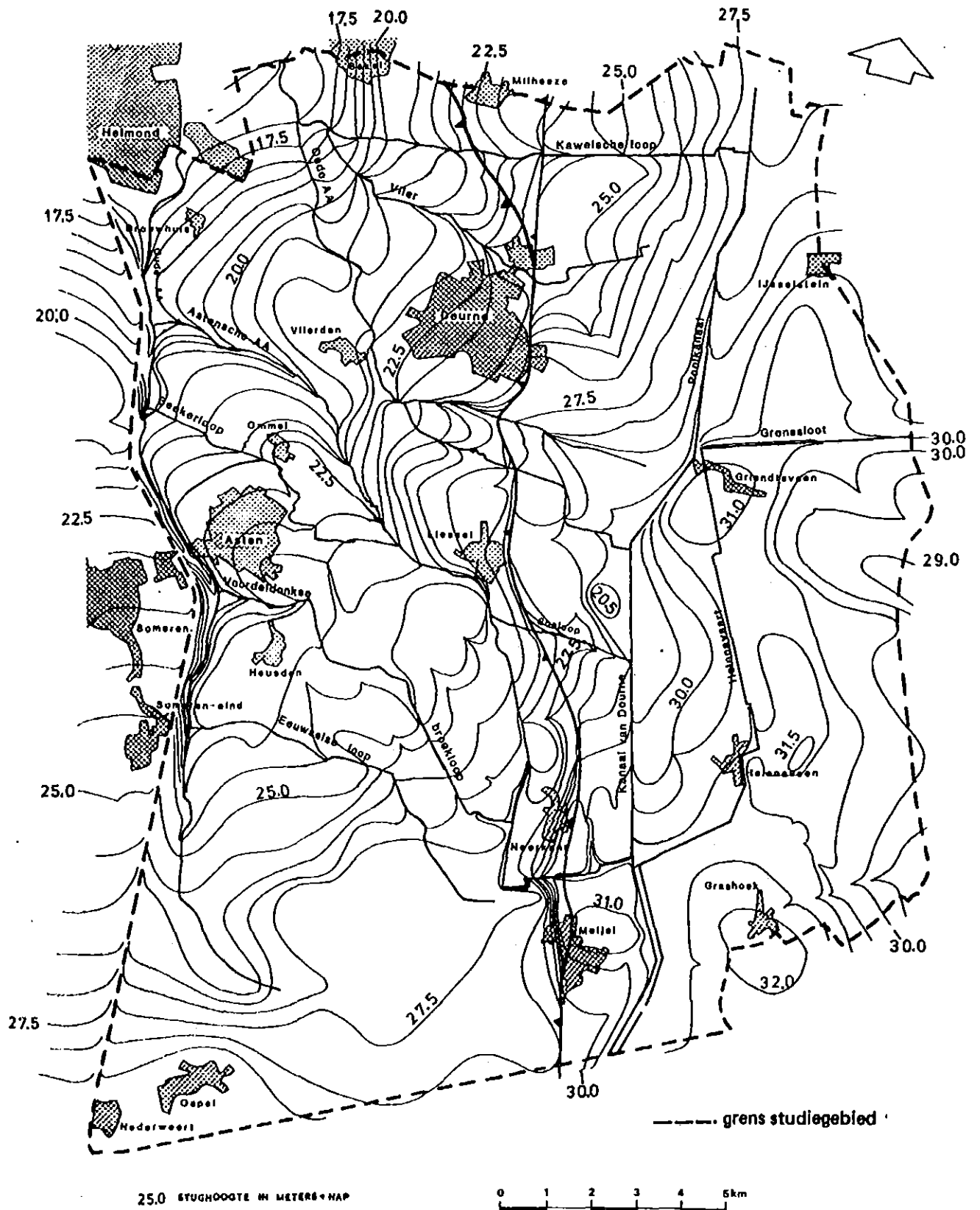


Fig. 2.4. Isohypsenkaart van het freatisch grondwater van het Zuidelijk Peelgebied voor augustus 1982. Het interval bedraagt een halve meter (naar WIT, 1986)

### 3. THEORETISCHE ACHTERGRONDEN

Beknopt wordt in dit hoofdstuk een overzicht gegeven van de theorie waarop het maken van een verdampingsbeeld is gebaseerd. Het overzicht is verre van volledig. We beperken ons tot de bij dit onderzoek gebruikte opnametechnieken, waarbij vooral de thermografie belangrijk is, en tot de voor ons belangrijkste gewassen: gras en mais. Voor een uitgebreidere behandeling van de theorie wordt verwezen naar THUNNISSEN en VAN POELJE (1984), LILLESAND en KIEFER (1979) en BUITEN (1980, 1982).

#### 3.1. Elektromagnetische straling

Alle objecten zenden energie uit in de vorm van elektromagnetische straling, warmtestraling genoemd. Deze elektromagnetische straling kan met behulp van remote sensing opnametechnieken worden waargenomen. In figuur 3.1 is de emissie van elektromagnetische straling door een gemiddeld object aan het aardoppervlak weergegeven. Het totale uitgestraalde vermogen is afhankelijk van de temperatuur en de emissiecoëfficiënt van het object (stralingswet van Stefan Boltzmann). De belangrijkste stralers zijn de zon en de aarde.

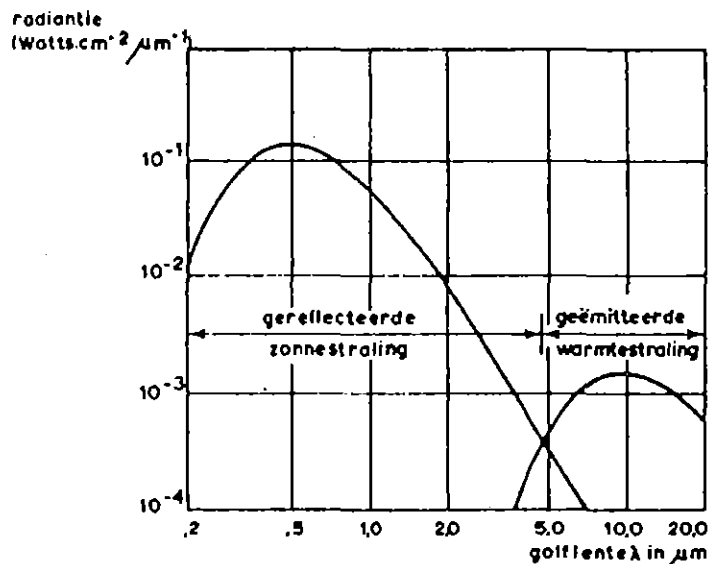


Fig. 3.1. Reflectie en emissie van elektromagnetische straling door een gemiddeld object aan het aardoppervlak (naar DE LOOR, 1980)

De door de zon uitgezonden straling wordt voor een deel door de aarde gereflecteerd. In het golflengtegebied van 3 tot 5  $\mu\text{m}$  is de bijdrage van de gereflecteerde zonnestraling in dezelfde orde van grootte als de door aardse objecten zelf uitgezonden warmtestraling. Bij golflengten groter dan 5  $\mu\text{m}$  is de bijdrage van gereflecteerde zonnestraling verwaarloosbaar, terwijl bij golflengten kleiner dan 3  $\mu\text{m}$  de warmtestraling van het object zelf verwaarloosbaar is (zie fig. 3.1).

De straling, die objecten aan het aardoppervlak uitzenden wordt door de atmosfeer slechts selectief doorgelaten (zie fig. 3.2). Een groot deel van de straling wordt door in de atmosfeer aanwezige moleculen geabsorbeerd. Golflengtegebieden, waar de atmosferische absorptie relatief gering is, worden atmosferische vensters genoemd. Voor dit onderzoek is naast het zichtbare (0,4 tot 0,7  $\mu\text{m}$ ) en het reflectief nabij-infrarode (0,78 tot 1,4  $\mu\text{m}$ ) venster het thermische venster van 8 tot 14  $\mu\text{m}$  van belang. Deze laatste golflengteband is niet alleen interessant omdat hij samenvalt met een atmosferisch venster, maar ook omdat bij aardse temperaturen de golflengte waarbij maximale uitstraling optreedt, in dit traject valt. Ook in deze band vindt toch nog enige atmosferische absorptie plaats.

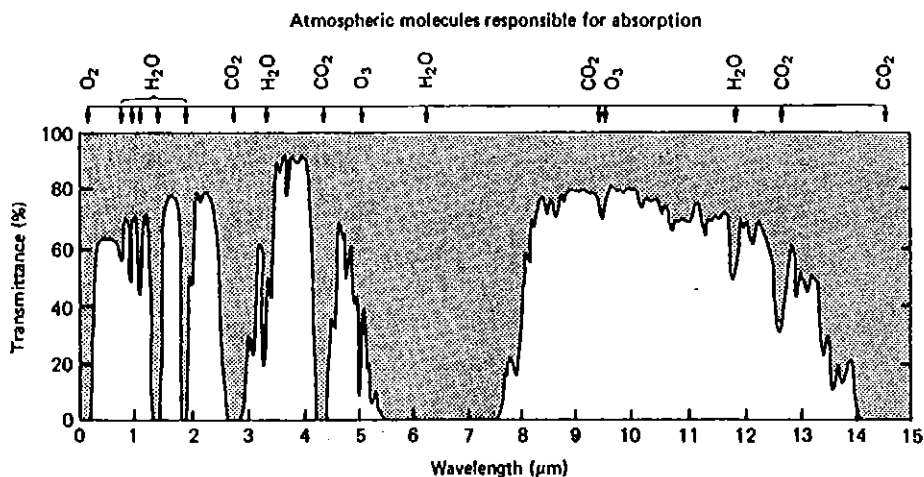


Fig. 3.2. Atmosferische absorptie van elektromagnetische straling tussen 0 en 15  $\mu\text{m}$  (naar LILLESAND en KIEFER, 1979)



### 3.2. Opnametechnieken

Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van fotografische technieken en scannertechnieken.

#### 3.2.1. Fotografische technieken

Van de onderzoeksbeelden zijn zowel normale true colour luchtfoto's (31 mei 1983) als false colour luchtfoto's (22 juli 1983) beschikbaar.

False colour foto's worden gemaakt met een kleurenfilm waarvan de kleurgevoeligheid is verschoven ten opzichte van die van een normale kleurenfilm (zie fig. 3.3). Nabij-infrarode straling wordt dan met een rode kleur weergegeven, terwijl het rode golflengtegebied met de kleur groen en het groene golflengtegebied met de kleur blauw wordt afgebeeld op de false colour foto. Het blauwe golflengtegebied wordt weggefilterd.

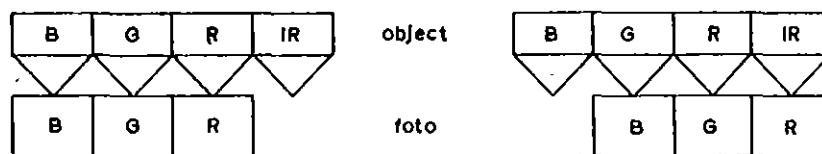


Fig. 3.3. Weergave van kleuren bij een normale kleurenfoto (links) en bij een false colour foto (rechts): B = blauw, G = groen en IR = infrarood

Het grote voordeel van de false colour fotografie is dat doorgaans het contrast op dergelijke films groter is dan op normale kleurenfilms, hetgeen voordelen geeft bij de interpretatie. De nabij-infrarode reflectie wordt voornamelijk bepaald door de structuur van het mesofyl in de bladeren terwijl in het zichtbare licht de hoeveelheid chlorophyl in de bladcellen bepalend is voor de reflectie.

#### 3.2.2. Scannertechniek

De bij dit onderzoek gebruikte scanneropnamen zijn met een Daedalus digitale scanner van het type DS 1240/1260 gemaakt. Met deze scanner zijn vanuit een vliegtuig opnamen gemaakt.

De Daedalus scanner is een multispectrale line scanner. Via een roterende spiegel en de voortbeweging van het vliegtuig wordt het terrein volgens opeenvolgende lijnen afgetast (zie fig. 3.4).

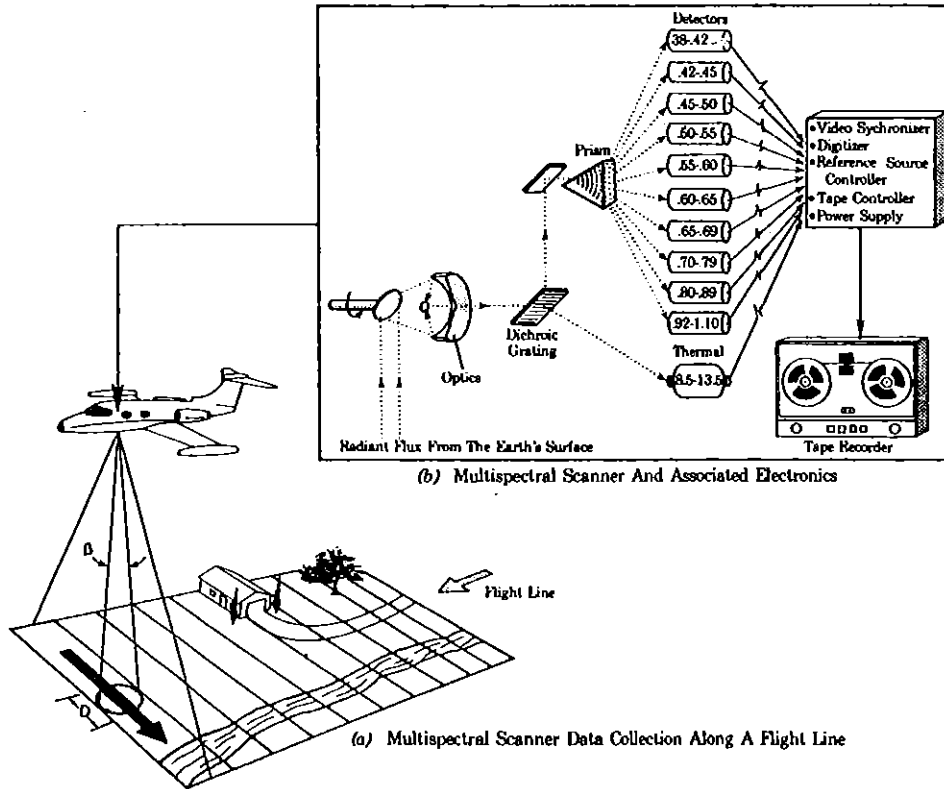


Fig. 3.4. Werking van de Daedalus digitale scanner (type DS-1260)  
 (naar JENSEN et al, 1986)

De openingshoek van de scanner bedraagt 2,5 mrad ( $\beta$ ). Er werd op 22 juli 1983 gevlogen op een hoogte (H) van 4000 m. Rechts onder het vliegtuig heeft de cirkelvormige resolutiecel dan een diameter ( $H \cdot \beta$ ) van 10 m. De oppervlakte bedraagt derhalve  $78,54 \text{ m}^2$ . Naar buiten toe wordt, de resolutiecel groter (panoramische vertekening), waardoor het ruimtelijk scheidend vermogen kleiner wordt. Bij een aftasthoek van  $47^\circ 57'$  bedragen de maximale afmetingen van de resolutiecel respectievelijk 18,7 m in de aftastrichting en 13,7 m in de vliegrichting. De oppervlakte is dan  $200,29 \text{ m}^2$ . Het gezichtsveld bedraagt  $85^\circ 55'$ . Bij een hoogte van 4000 m heeft de scanlijn dus een lengte van 7447 m.

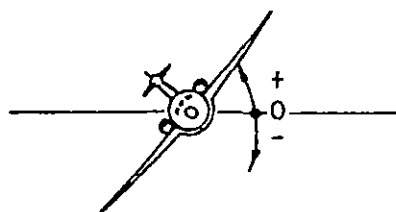
Om te voorkomen dat er 'gaten' vallen tussen de scanlijnen wordt aan de veilige kant opgenomen. Dit betekent dat aangrenzende scanlijnen elkaar over het algemeen enigszins overlappen. Hierdoor wordt het beeld in de vliegrichting uitgerekt (overscanning). Bij de gebruikte opnamen bedroeg deze overscanning  $\pm 50\%$ .

De spiegel stuurt de binnenkomende straling via een lenzenstelsel naar een tralie (zie fig. 3.4). Daar wordt de straling gescheiden in reflectieve (0,38 tot 1,10  $\mu\text{m}$ ) en emissieve (8,5 tot 13,5) golflengten. De warmtestraling wordt gemeten via thermisch-infrarood detectoren. De reflectieve golflengten worden door een prisma gescheiden in een continuüm van 0,38 tot 1,10  $\mu\text{m}$ . Bij de Daedalus scanner wordt dit in 10 banden onderscheiden.

De inkomende straling van een scanlijn is een anaaloog signaal. Dit wordt A-D geconverteerd en vervolgens digitaal opgeslagen in 600 pixel-eenheden van ongelijke grondresolutie. Ieder pixel wordt per golflengteband gekenmerkt door een stralingswaarde, de pixelvalue. De stralingswaarde wordt vastgelegd in een 8-bitscode. Dit betekent dat 256 stralingswaarden (Digital counts: DC) kunnen worden onderscheiden.

Tegelijkertijd met de A-D conversie vindt ook calibratie plaats. Wanneer de spiegel buiten de 'total-field of view' is gedraaid worden er een aantal licht en/of warmtebronnen per band geregistreerd, waardoor interne radiometrische vergelijking (ijking) mogelijk is.

In het vliegtuig worden de gegevens direct op een High Density Digital Tape (HDDT) geregistreerd. De dichtheid bedraagt 10 000 bits/inch. Naast gegevens over stralingsintensiteit wordt ook de 'roll' van het vliegtuig geregistreerd (fig. 3.5).



ROLL ANGLE

Fig. 3.5. Roll beweging van een vliegtuig

Na de vlucht worden de gegevens op computer compatible tape (CCT) geschreven, waarbij wordt gecorrigeerd voor de roll en vervolgens voor de panoramische vertekening, waardoor 716 pixels ontstaan van gelijke grondresolutie. De dichtheid bedraagt dan 1600 bits/inch.

De voor dit onderzoek bestelde banden zijn:

band 5	0,55- 0,60 $\mu\text{m}$	groen/geel
band 7	0,65- 0,70 $\mu\text{m}$	rood
band 9	0,80- 0,89 $\mu\text{m}$	nabij-infrarood
band 12	8,50-13,50 $\mu\text{m}$	thermisch infrarood

### 3.3. Atmosferische invloeden

De atmosfeer absorbeert straling, waardoor de sensoren minder straling waarnemen. Daarnaast spelen reflectie en emissie door de atmosfeer een rol, waardoor de sensoren juist meer straling detecteren. De netto invloed van de atmosfeer op de door de aarde uitgezonden elektromagnetische straling is verschillend in de verschillende golflengtebanden.

Banden 5, 7 en 9 worden gebruikt bij de classificatie en de bepaling van de vegetatie-index (VI).

Stralingsverschillen zoals ze in het vliegtuig worden gemeten hoeven hiervoor niet te worden gerelateerd aan stralingsverschillen aan de grond. Daarom is het bij deze banden niet nodig om te corrigeren voor de absolute netto invloed van de atmosfeer.

Wel wordt er voor deze banden een hoekafhankelijke correctie uitgevoerd. Bij deze correctie, die uitgebreid wordt besproken in paragrafen 5.2 en 5.3 zijn vooral niet atmosferische invloeden zoals de invloed van de sensorinkijkhoek ten opzichte van de zonnestand en de bouw van de plant van belang (BANRSLEY, 1984). Daarnaast kan ook de atmosfeer door de naar de randen van het beeld toenemende weglengte een hoekafhankelijke invloed hebben. Voor al deze hoekafhankelijke invloeden samen wordt gecorrigeerd bij de hoekafhankelijke correctie.

Band 12 wordt gebruikt om stralingstemperaturen van potentieel verdampende gewassen te bepalen. Daarvoor moeten temperatuursverschillen aan de grond worden vertaald naar stralingsverschillen waargenomen met de scanner.

Om dit te kunnen doen is het nodig de absolute netto invloed van de atmosfeer te bepalen. De invloed van de atmosfeer op band 12 wordt daarom uitgebreider behandeld. In de atmosfeer aanwezige gasvormige en vaste deeltjes absorberen en verstrooien de van het aardoppervlak afkomstige langgolvlige straling, waardoor minder straling de scanner bereikt. De in de atmosfeer aanwezige deeltjes zenden ook zelf straling uit, waardoor een verhoging optreedt van de straling die de scanner bereikt. Atmosferische absorptie en verstrooiing zorgen dus voor een onderschatting van de temperatuur van objecten aan het aardoppervlak, terwijl atmosferische emissie juist zorgt voor een overschatting. Welk effect overheerst hangt af van de atmosferische omstandigheden tijdens de opname en van de afstand door de atmosfeer, die de straling moet afleggen.

Op een heldere dag wordt de reductie van de van het aardoppervlak afkomstige langgolvlige straling voornamelijk veroorzaakt door absorptie door  $H_2O$  moleculen en in mindere mate door  $CO_2$  moleculen en speelt verstrooiing een ondergeschikte rol.

Door op de grond gemeten stralingstemperaturen van bepaalde oppervlakten te vergelijken met de in het vliegtuig gemeten stralingstemperaturen van dezelfde oppervlakten wordt de invloed van de atmosfeer op het opnametijdstip vastgelegd. Deze atmosferische correctie wordt uitgebreid besproken in paragraaf 5.2.5. Enkelijke opmerkingen over hoekafhankelijke correctie van band 12 worden gemaakt in paragraaf 5.2.2 en 5.2.3.

### 3.4. Reflectie en warmtestraling van landbouwgewassen

#### 3.4.1. Reflectie van landbouwgewassen

De mate en richting van reflectie van zonnestraling aan het aardoppervlak wordt bepaald door de hoek van inval, de spectrale samenstelling van de straling en de spectrale eigenschappen van dit oppervlak. Zo zijn de reflectie-eigenschappen van een landbouwgewas afhankelijk van onder andere het type gewas, het groeistadium en de gezondheids-toestand. In figuur 3.6 is het reflectiegedrag van gras en mais weergegeven in een deel van het zichtbare en een deel van het nabij-infrarode spectrum.

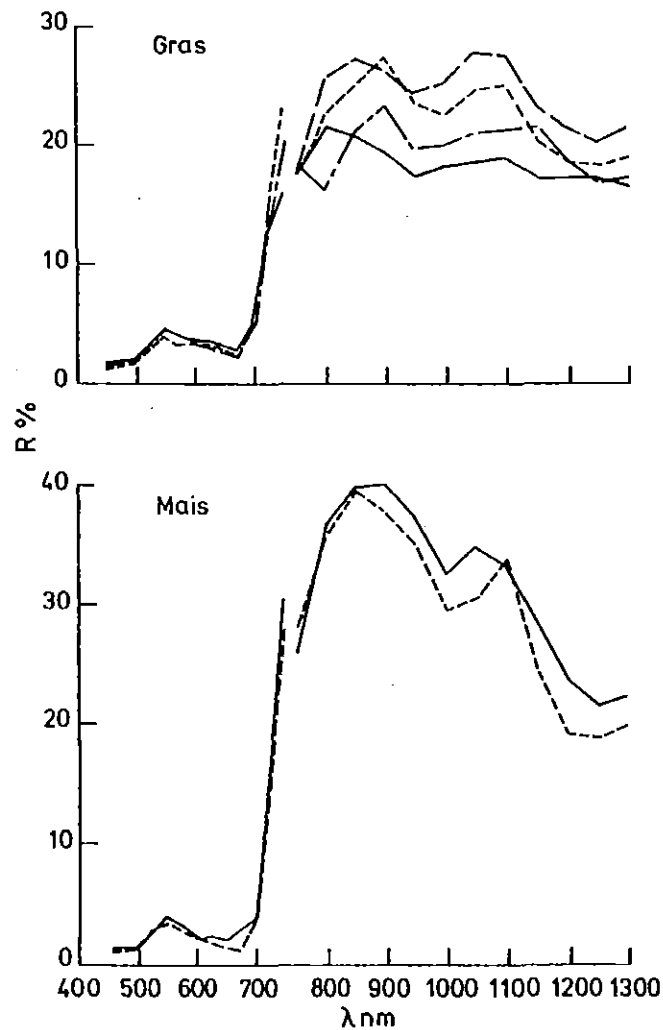


Fig. 3.6. Reflectiecurven van gras en mais (naar TELEKI en WEBER, 1984)

Opvallend zonlicht wordt door het blad voor een deel geabsorbeerd en gereflecteerd, voor het overige vindt transmissie plaats. Algemeen geldt:  $\alpha(\lambda) + \rho(\lambda) + \tau(\lambda) = 1$ , waarin  $\alpha$  is absorptie,  $\rho$  is reflectie en  $\tau$  is transmissie. Deze coëfficiënten zijn afhankelijk van de golflengte  $\lambda$ . Zie ook figuur 3.7.

Figuren 3.6 en 3.7 tonen dat de reflectie in het zichtbare licht gering is. Dit geldt vooral voor het rode gebied ten gevolge van absorptie van deze straling door het chlorophyl in de bladeren. De reflectie en transmissie van zichtbaar licht zijn voor een groen blad ongeveer gelijk. Nabij-infrarood reflectie van bladeren is hoog, terwijl er vrijwel geen absorptie plaatsvindt.

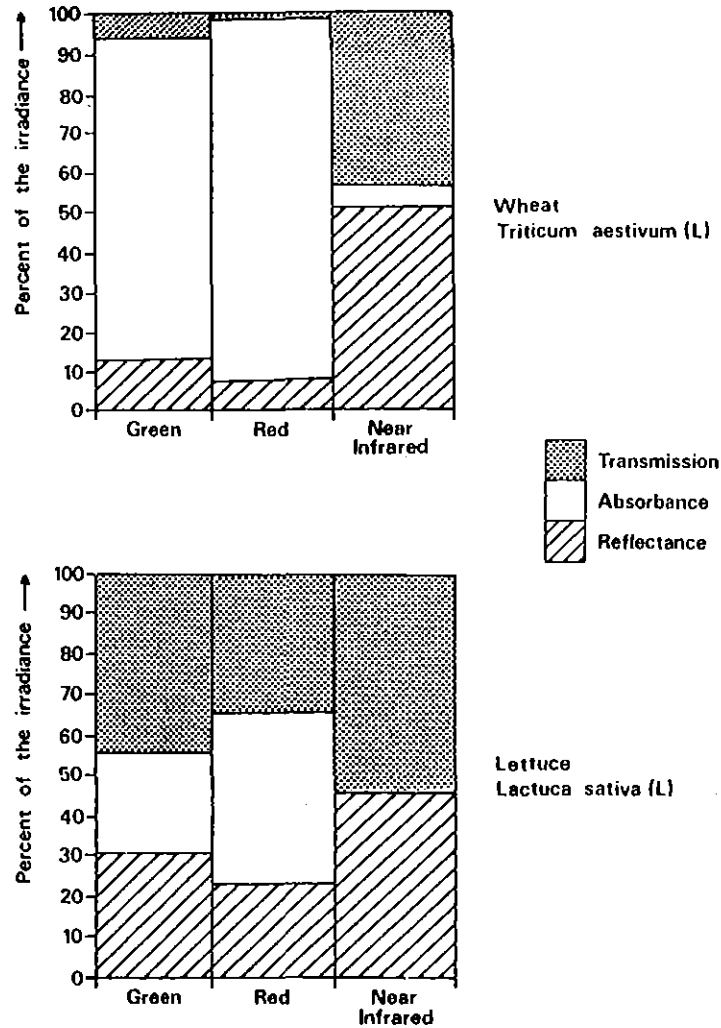


Fig. 3.7. De reflectie, absorptie en transmissie eigenschappen van graan en sla bladeren (naar CURRAN, 1985)

Bij een landbouwgewas is, naast de reflectie-eigenschappen van het afzonderlijke blad, de leaf-area-index (LAI) van belang. Deze index is gedefinieerd als het op een horizontaal vlak geprojecteerde totale eenzijdige bladoppervlak per eenheid van bodemoppervlak. Het is daarom een maat voor de hoeveelheid foto-actief materiaal en de mate van bodembedekking. Bij een hoge LAI wordt de door het bovenste bladerendek doorgelaten nabij-infrarode straling door een lager bladerendek weer deels gereflecteerd en geabsorbeerd. De totale gewasreflectie neemt bij toenemende LAI daarom toe in het nabije-infrarood (door multiple reflectie!). Zie hiervoor figuur 3.8.

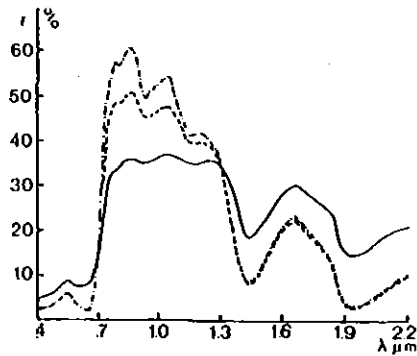


Fig. 3.8. Reflectiecurven voor verschillende waarden van de leaf area index (LAI). LAI = 0,5:—, 2:---, 8:-.-. (naar BUNNINK, 1978)

In het zichtbaar licht, waar het reflectiepercentage gering is, is de transmissie eveneens gering, waardoor de bijdrage van de onderliggende bladeren tot de door de sensor ontvangen straling nagenoeg nihil is. De LAI speelt in dat opzicht nauwelijks een rol in de ontvangen zichtbare straling. Toch is er enig verband tussen plant- en bladontwikkeling en mate van waargenomen reflectie. Immers, bij toenemende bodembedekkingsgraad B neemt de invloed van de (meestal hogere) bodemreflectie af, waardoor er bij toenemende plantontwikkeling (meestal gepaard gaand met een hogere LAI) een lager reflectiepercentage wordt ontvangen.

Op deze verschijnselen is de vegetatie-index gebaseerd. Deze luidt:

$$VI = \frac{\text{roodreflectie} - \text{nabij-infraroodreflectie}}{\text{roodreflectie} + \text{nabij-infraroodreflectie}} \quad (\times 100\%) \quad (3.1)$$

(TUCKER, 1977).

#### 3.4.2. Warmtestraling van landbouwgewassen

Alle objecten zenden warmtestraling uit, afhankelijk van hun temperatuur en emissiecoëfficiënt. De meeste landbouwgewassen hebben een constante emissiecoëfficiënt van  $\pm 0,98$  in het golflengtegebied van 8 tot 14  $\mu\text{m}$  (THUNNISSEN, 1984).

De gewastemperatuur is sterk bepalend voor de mate waarin straling wordt uitgezonden. Uit de warmtebeelden kunnen daarom temperatuurverschillen aan het aardoppervlak worden afgeleid.



Voor de verdampingskartering is alleen de gewastemperatuur van belang. In geval van onvolledige bodembedekking wordt de stralingstemperatuur van een perceel ook beïnvloed door de hogere temperatuur van de hele grond. Om deze reden worden percelen met een te geringe bodembedekking niet meegenomen bij de verdampingskartering.

### 3.5. Relatie tussen gewastemperatuur en verdamping

Door het opstellen van de energiebalans aan het aardoppervlak kan een relatie worden afgeleid tussen de gewastemperatuur en de momentane gewasverdamping. Wanneer de gewastemperatuur wordt afgeleid van een warmtebeeld kan informatie worden verkregen over de regionale gewasverdamping op het opname tijdstip.

Voor de praktijk is echter met name de verdamping gedurende een langere tijd van belang. Dit heeft geleid tot het TERGRA model (SOER, 1977), waarmee de momentane gewasverdamping kan worden omgezet in de gewasverdamping gedurende 24 uur. Voor de berekening van de dagverdamping met het TERGRA model moeten echter een groot aantal gewasparameters en micrometeorologische en bodemfysische grootheden bekend zijn. Verzameling van deze gegevens is weliswaar mogelijk voor een klein gebied, waarin zich een uitgebreide meetopstelling bevindt, maar vereist veel tijd.

JACKSON et al (1977) leidden een eenvoudige empirische relatie af tussen de actuele dagverdamping ( $LE^{24}$ ) enerzijds en de nettostraling gedurende 24 uur ( $R_n^{24}$ ) en het verschil tussen de op één moment rond het middaguur gemeten lucht- en gewastemperatuur ( $T_c - T_a$ )<sup>i</sup> anderzijds:

$$LE^{24} = R_n^{24} - B (T_c - T_a)^i \quad (3.2)$$

De parameter B is een calibratie constante.

In de vergelijking voor het voelbare warmtetransport in het TERGRA-model wordt de gewastemperatuur gelijkgesteld aan de luchttemperatuur op een referentiehoogte boven maaiveld, berekend onder aanname van een logaritmisch temperatuurprofiel, zonodig gecorrigeerd voor de (in)stabiliteit van de atmosfeer. Deze theoretische gewastemperatuur is ook van toepassing op de benadering volgens JACKSON et al (1977).

Deze theoretische gewastemperatuur en de met remote sensing gemeten stralingstemperatuur van een gewas hebben een verschillende fysische betekenis (NIEUWENHUIS en KLAASSEN, 1978). Een stralingsthermometer of thermische scanner meet een gemiddelde gewastemperatuur van een waargenomen gewasoppervlak. In de praktijk kunnen aanzienlijke verschillen tussen beide temperaturen optreden.

NIEUWENHUIS en PALLAND (1982) toonden echter aan, dat met remote sensing gemeten en met het TERGRA model gesimuleerde verschillen in gewastemperatuur wel met elkaar overeenkomen. Dit betekent dat met remote sensing waargenomen verschillen in gewastemperatuur met modelberekeningen kunnen worden vertaald in verdampingsverschillen.

NIEUWENHUIS et al (1985) stellen daarom voor in de methode van Jackson het verschil tussen gewas- en luchttemperatuur te vervangen door verschillen in gewastemperatuur afgeleid uit het warmtebeeld. Als referentietemperatuur wordt genomen de temperatuur van het gewas bij potentiële verdamping  $T_c^*$ (K). Bovendien wordt voorgesteld de nettostraling  $R_n^{24}$  te vervangen door de potentiële dagverdamping  $LE_p^{24}$ . De vergelijking die dan ontstaat ziet er als volgt uit:

$$LE^{24} = LE_p^{24} - B' (T_c - T_c^*)^i \quad (W.m^{-2}) \quad (3.3)$$

De factor  $B'$  is wederom een calibratie constante ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ ).

Voor het bepalen van referentietemperatuur  $T_c^*$  is het nodig dat van alle gewassen in een studiegebied percelen met potentieel verdampende gewassen aanwezig zijn. Deze percelen kunnen worden gevonden aan de hand van veldmetingen en/of bodem- en grondwatertrappenkaarten. Ook beregende percelen komen in sommige gevallen in aanmerking als referentiepercelen (THUNNISSEN en VAN POELJE, 1984).

Met vergelijking 3.3 kan men per gewas, verschillen in temperatuur, afgeleid uit een warmtebeeld, direct omzetten in verschillen in dagverdamping.

THUNNISSEN (1984) toonde aan dat het voorkeur verdient met relatieve waarden te werken. Vergelijking 3.3 wordt dan:

$$LE_R = \frac{LE^{24}}{LE_p^{24}} = 1 - B^r (T_c - T_c^*) \quad (3.4)$$

De nieuwe calibratie constante  $B^r (K^{-1})$  is gelijk aan  $B^r / LE_p^{24}$ .

Met behulp van het TERGRA-model zijn waarden voor de constante  $B^r$  bepaald (THUNNISSEN, 1984).

Hierbij wordt geconcludeerd dat de waarde van factor  $B^r$  op heldere en onbewolkte dagen tussen 12.00 en 16.00 MET (standaarddag) in hoofdzaak wordt bepaald door de windsnelheid en de gewashoogte. Voor een bepaald gewas met bekende gewashoogte kan dan  $B^r$  op eenvoudige wijze worden berekend uit de windsnelheid ( $u_2$ ) op het vluchttijdstip.

$$B^r = a + b u(2) \quad (K^{-1}) \quad (3.5)$$

In deze vergelijking zijn  $a$  en  $b$  regressiecoëfficiënten (zie tabel 3.1).

Op meteorologische stations wordt de windsnelheid routinematig gemeten op een hoogte van 10 m boven maaiveld. De gemeten windsnelheid op 10 m hoogte hangt af van de structuur, c.q. de ruwheid van het oppervlak in de directe omgeving van de plaats van waarneming. Om windstations met elkaar te kunnen vergelijken is door het KNMI een procedure ontwikkeld om de gemeten windsnelheden te herleiden tot denkbeeldige windsnelheden, welke zouden optreden indien het terrein vlak en open was en een ruwheid van 0,03 m zou gelden (WIERINGA en VAN DER VEER, 1976). Deze omrekeningsfactoren, beschuttingsfactoren geheten, kunnen aanzienlijk zijn: zo is voor De Bilt een beschuttingsfactor 1,1 tot 1,4 gevonden (afhankelijk van de windrichting en het seizoen).

De windsnelheid op een hoogte van 2 m boven de nulvlaksverplaatsing  $d$  van een gewas met een ruwheidshoogte  $z_0$  kan als volgt worden berekend uit de windsnelheid  $u(10)$  op een naburig meteorologisch station, gemeten op 10 m hoogte boven een vlak en open terrein of omgerekend tot die situatie (ad hoc groep Verdamping):

$$u(2 + 0,03) = c_u u(10) \quad (m.s^{-1}) \quad (3.6)$$

De correctiefactor  $c_u$  bedraagt:

$$c_u = 1,308 \frac{\ln(2/z_0)}{\ln(60/z_0)} \quad (3.7)$$

In tabel 3.1. zijn voor een aantal gewassen met bekende gewashoogte de waarden voor de coëfficiënten a en b uit vergelijking 3.5 gegeven. De waarden van de coëfficiënten voor gras van 10 en 20 cm kunnen als representatief worden beschouwd voor respectievelijk kort tot middel-hoog (< 15 cm) en hoog (> 15 cm) gras.

Tabel 3.1. Waarden voor de coëfficiënten a en b uit vergelijking 3.5 voor een aantal gewassen met gewashoogte H (naar THUNNISSEN, 1984)

Gewas	H (cm)	a	b
gras	10	0,050	0,010
gras	20	0,050	0,017
aardappelen	60	} 0,050	0,023
suikerbieten	60		
granen	100	0,090	0,030
mais	200	0,100	0,047

Opgemerkt dient nog te worden dat deze vereenvoudigde methode waarbij de relatieve dagverdamping bepaald wordt uit een lineaire relatie met de opwarming van het gewas onder bepaalde omstandigheden onbetrouwbaar kan worden. Zo kan met name bij gering windsnelheden ( $u(2) < \pm 3 \text{ m.s}^{-1}$ ) op een warme dag na 14.00 MET de met standaardwaarden van  $B^r$  berekende dagverdamping voor ruwe gewassen vooral bij sterke verdroging aanzienlijk afwijken van de dagverdamping berekend met behulp van het TERGRA-model. Bij relatieve verdampingswaarden lager dan 50% bevatten de resultaten van de eenvoudige methode sowieso grote onzekerheden. In dit traject zijn echter ook de berekeningen met het TERGRA-model minder betrouwbaar (THUNNISSEN, 1984).

#### 4. LUCHTOPNAMEN VELDWAARNEMINGEN EN OVERIGE GEGEVENS

##### 4.1. Veldomstandigheden en luchtopnamen

Door het natte voorjaar van 1983 (fig. 4.1) deden zich in de loop van mei zichtbare problemen voor in de landbouw. Door het ICW werd besloten om in de Zuidelijke Peel te proberen de actuele situatie van bodem, gewas en vegetatie vanuit de lucht vast te leggen. Voor dit doel waren nog niet eerder opnamen gemaakt. Uiteindelijk kon op 31 mei 1983 - de tweede dag in mei zonder neerslag (fig. 4.2) - vrijwel de gehele Peel onder goede weersomstandigheden worden vastgelegd op gewone kleurenluchtfoto's.

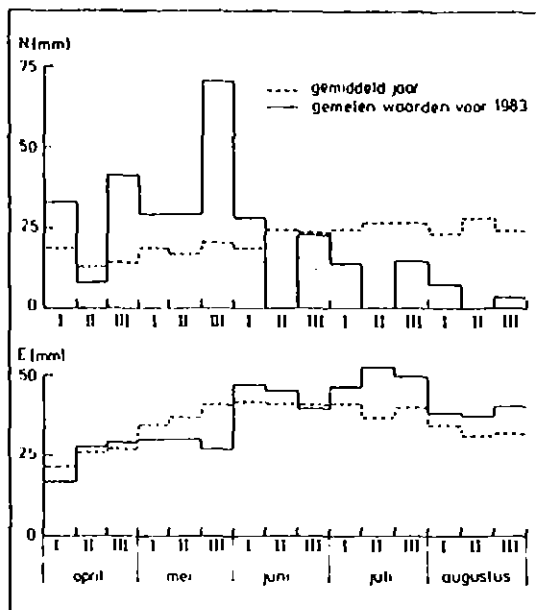


Fig. 4.1. Neerslag (N) en open water verdamping (E), beide in mm volgens het KNMI voor het meteorologisch station Eindhoven per decade (I, II, III) voor de periode 1 april tot 1 september 1983. Tevens zijn per decade de gemiddelde waarden over de jaren 1951 tot 1980 opgenomen (naar NIEUWENHUIS en BOUWMANS, 1984)

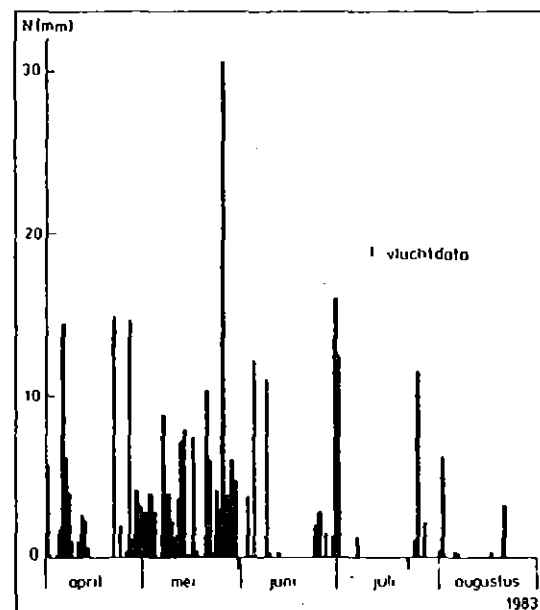


Fig. 4.2. Neerslag (N) in mm per dag voor de periode 1 april tot 1 september 1983, tevens zijn de vluchtdata aangegeven (naar NIEUWENHUIS en BOUWMANS, 1984)

Met name de tweede decade van juli was uitzonderlijk droog (fig. 4.1). Gelijktijdig lag door het mooie zomerweer in deze periode de verdamping op een relatief hoog niveau. Door de geringe hoeveelheid neerslag in juni en juli en de sterke verdamping veranderde in korte tijd de situatie in het veld van uitzonderlijk nat in zeer droog. Op het moment, dat in het veld de eerste droogteverschijnselen duidelijk waarneembaar waren, werd besloten een scannervlucht te laten uitvoeren voor het opnemen van reflectie- en warmtebeelden. Deze vlucht werd uitgevoerd op 22 juli 1983 tussen 12.00 en 13.00 uur zomertijd door de firma Eurosense met een Daedalus digitale scanner (type DS 1240/1260). Gelijktijdig met de scanneropnamen werden false colour foto's gemaakt. De opnamehoogte van 4000 meter resulteerde in een fotoschaal van 1:26 400. De false colourfoto's werden geleverd op diapositief materiaal en de bestelde scanneropnamen van de banden 5, 7 en 9 op CCT.

#### 4.2. Veldwaarnemingen

Tijdens de periode van wateroverlast in mei 1983 zijn in de Zuidelijke Peel geen waarnemingen in het veld verricht. Op de vluchtdag in juli 1983 zijn wel metingen in het veld uitgevoerd. Voor een goede ijking van de warmtebeelden werd op het tijdstip van de luchtopnamen van een aantal percelen de gewastemperatuur gemeten met een Heimann stralings thermometer (type KT15). Daarnaast werd van deze percelen een omschrijving gegeven van de gewastoestand: gewas lengte, mate van verdroging, grondbedekking, beregeningssituatie en schade door wateroverlast. Bovendien werd de situatie van het gewas op dia vastgelegd.

#### 4.3. Overige gegevens

Bij de interpretatie van de met remote sensing verkregen resultaten is gebruik gemaakt van een veelheid reeds beschikbare informatie. Dit betrof:

- Bodemkundige gegevens
  - Stiboka, 1968
  - Stiboka, 1972
  - Dekkers, 1977

- Hydrologische gegevens

Wit, 1986

Van Holst en Te Riele, 1985

Bon, 1972 en 1974

- Topografische gegevens

Topografische Dienst, topografische kaart, schaal 1:50 000, blad 51  
Oost, Eindhoven, 1973

Topografische Dienst, topografische kaart, schaal 1:50 000, blad 52  
West, Venlo, 1978

Topografische Dienst, topografische kaart, schaal 1:50 000, blad 58  
West, Roermond, 1967

Topografische Dienst, hoogtepuntenkaart, schaal 1:10 000.

Zowel bij het produceren van een verdampingsbeeld als bij de interpretatie van het uiteindelijk resultaat zijn een aantal meteorologische gegevens noodzakelijk: windsnelheid, luchttemperatuur, neerslag, etc. Deze gegevens werden betrokken van standaardweerstations van het KNMI.

## 5. WERKWIJZE

In paragraaf 5.1. wordt in de vorm van een stroomschema een overzicht gegeven van de beeldverwerkingsstappen om tot een verdampingsbeeld te komen. De uitvoering daarvan op het Kleuren Grafisch Systeem voor het onderzoeksgebied Vlierden staat in paragraaf 5.2. In paragraaf 5.3. wordt de uitvoering van de verdampingskartering voor het onderzoeksgebied Deurne-Meijel op het RESEDA systeem beschreven. Paragraaf 5.4. geeft schematisch de verschillende inputs weer die zijn gebruikt bij de interpretatie van het verdampingsbeeld van het onderzoeksgebied Deurne-Meijel. Het onderzoeksgebied Vlierden is niet verder geïnterpreteerd (zie paragraaf 6.1).

### 5.1. Beeldverwerking algemeen

De verwerking van de digitaal opgenomen reflectie- en warmtebeelden is op twee plaatsen uitgevoerd: op het KGS (LH) en op het RESEDA-systeem (NLR). Op het KGS: het onderzoeksgebied Vlierden, een relatief klein gebied. Op het RESEDA-systeem: het onderzoeksgebied Deurne-Meijel, een relatief groot gebied. Figuur 5.1. toont een stroomschema van de beeldverwerking zoals die op beide systemen is uitgevoerd. Een gedetailleerde beschrijving volgt in de paragrafen 5.2 en 5.3.

Uit figuur 5.1. blijkt dat een verscheidenheid van remote sensing gegevens is gebruikt. De scanneropnamen vormen de basisgegevens die uiteindelijk het verdampingsbeeld opleveren. Het samenstellen van een verdampingsbeeld vergt gewasclassificatie en berekening per gewastype. Scanneropnamen zijn hiervoor zeer geschikt omdat digitale verwerking mogelijk is.



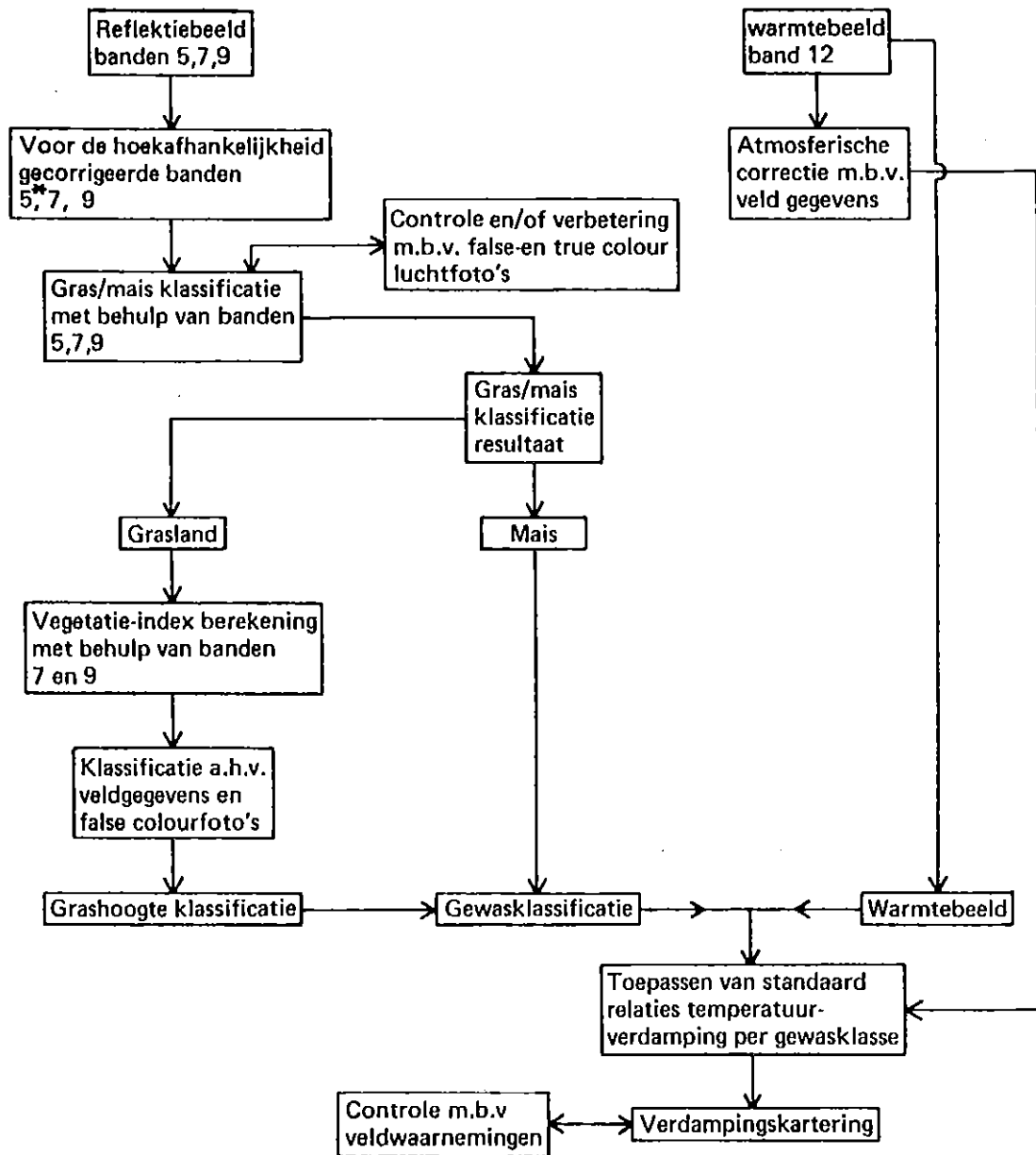


Fig. 5.1. Stroomschema van de op het KGS en het RESEDA-systeem toegepaste beeldverwerking voor de verdampingskartering.

\* alleen op het KGS gebruikt

De false en true colour foto's dienen als hulpmiddelen bij het beoordelen en verbeteren van het digitale beeld. De false colour foto's zijn gelijktijdig met de scanneropnamen gemaakt en geven, door de betere resolutie dan scanneropnamen, goede mogelijkheden van een visuele interpretatie van hetzelfde gebied. De true colourfoto's zijn in het voorjaar gevlogen en geven daarmee weer andere informatie. Door true en false colour foto's in combinatie te gebruiken heeft men de voordelen van multitemporele opnamen. Dit bleek nuttig te zijn bij de gewasclassificatie. Naast de luchtfoto's is bij de beeldverwerking ook gebruik gemaakt van veldwaarnemingen die op de vluchtdag werden verzameld. De veldwaarnemingen zijn gebruikt bij de onderverdeling van gras in bepaalde hoogteklassen, de koppeling van het warmtebeeld aan op de grond gemeten stralingstemperaturen van gewasoppervlakken en bij de beoordeling van het verdampingsbeeld.

## 5.2. Beeldverwerking op het Kleuren Grafisch Systeem van de Landbouwhogeschool

Het KGS van het Rekencentrum van de Landbouwhogeschool bevindt zich op de Leeuwenborgh te Wageningen. De hoofdelementen van het systeem zijn een kleurenmonitor, terminal, PDP 11/34 computer, tape en disc-units, een printer en een hardcopy unit.

In de volgende paragrafen wordt voor het onderzoeksgebied Vlierden de beeldverwerking beschreven.

### 5.2.1. Inlezen van de tape

Het beeld van de kleurenmonitor is opgebouwd uit 480 beeldlijnen en 512 pixels per beeldlijn. De scanneropnamen zijn opgebouwd uit 716 pixels per lijn. Vanaf tape is een beeld van 480 lijnen bij 716 pixels op disc ingelezen. Omdat de overscanning op het oog ongeveer 50% bedroeg, is één op de twee lijnen ingelezen. Uit de gehele beeldbreedte van 716 pixels per lijn werd een gebied gekozen van 500 pixels breedte en op het scherm gezet en als file benoemd.

In dit specifieke geval stonden de reflectiebeelden (banden 5, 7 en 9) op een andere tape dan het warmtebeeld (band 12). Voor de verdere bewerking was het nodig dat deze banden precies over elkaar heen konden worden geprojecteerd. Als eerste zijn daarom de beelden op het oog gepast. Voor verfijning en controle is gebruik gemaakt van het program-

ma TWOBAN optie ENLARGE (REKENCENTRUM LH, 1985). Banden 9 en 12 werden met een verschillende kleur op het scherm gebracht. Bij vergoting is dan te zien of een lijn van de ene band past op de lijn van de andere band.

### 5.2.2. Hoekafhankelijke beeldcorrectie

Bij het bekijken van de beelden van de banden 5, 7 en 9 viel op dat er een verloop (in stralingsintensiteit) loodrecht op de vliegrichting aanwezig was. Volgens BARNSELY (1984) is de spectrale respons, van een bepaalde vegetatie, als functie van de sensor inkijkhoek afhankelijk van: de zenithhoek van de zon, het relatieve azimut tussen zon ( $\alpha_z$ ) en sensor ( $\alpha_s$ ) en de golflengte. Daarnaast kan de atmosfeer door verschillen in weglengte een hoekafhankelijke invloed hebben (paragraaf 3.3). Het ideale opnametijdstip is wanneer de zon in de zenit staat en het relatieve azimut tussen zon en sensor  $90^\circ$  bedraagt. Zie figuur 5.2. De gegevens van opnamesituatie Vlierden zijn met een zonnetabel van het KNMI berekend.

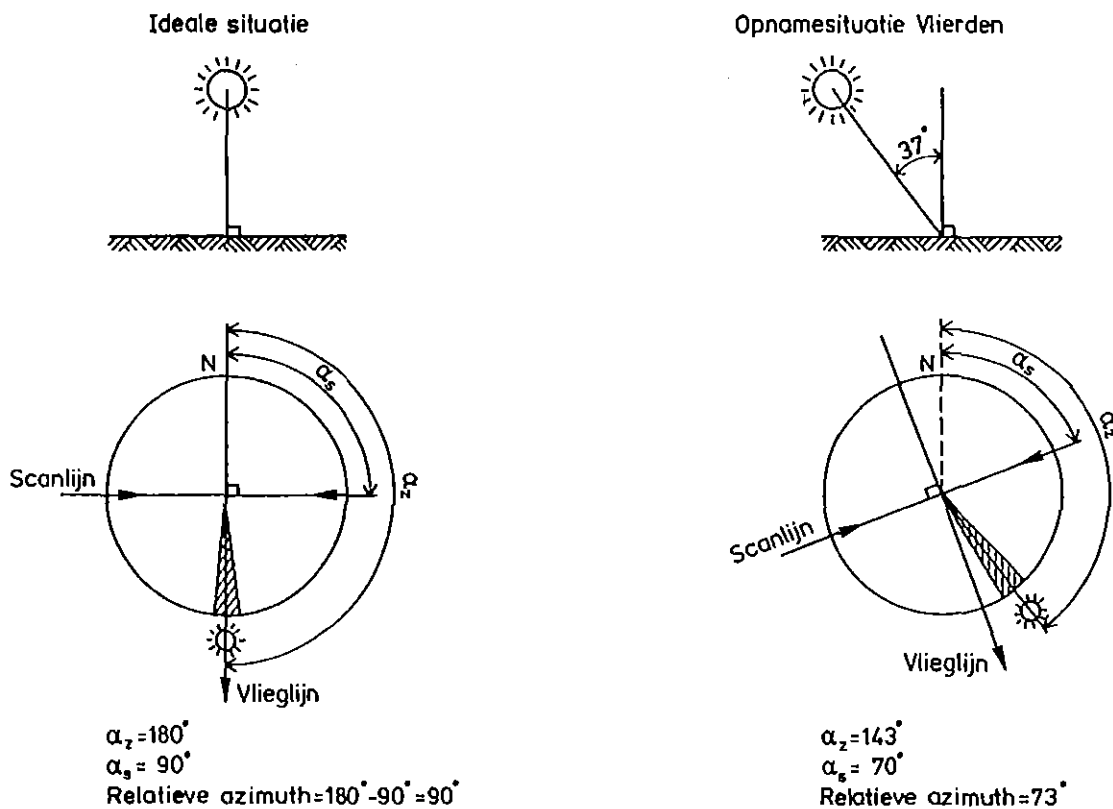


Fig. 5.2. Zenit van de zon en relatieve azimut tussen zon en sensor. Links: ideale opnamesituatie. Rechts: opnamesituatie voor onderzoeksgebied Vlierden op 22 juli 1983, 11.05 MET

Uit figuur 5.2. blijkt dat de opnamesituatie voor onderzoeksgebied Vlierden niet ideaal was. De zon stond relatief laag en het relatieve azimut week ongeveer 20° af van de ideale situatie.

Met behulp van het programma CORBAN kan voor een deel van het beeld de gemiddelde pixelwaarde per kolom worden berekend. Hiervoor hebben wij een zo homogeen mogelijk gebied (overheersend landbouwgewassen) van 30 lijnen uitgekozen. De resultaten van de berekening met CORBAN voor deze 30 lijnen zijn te zien in figuur 5.3.

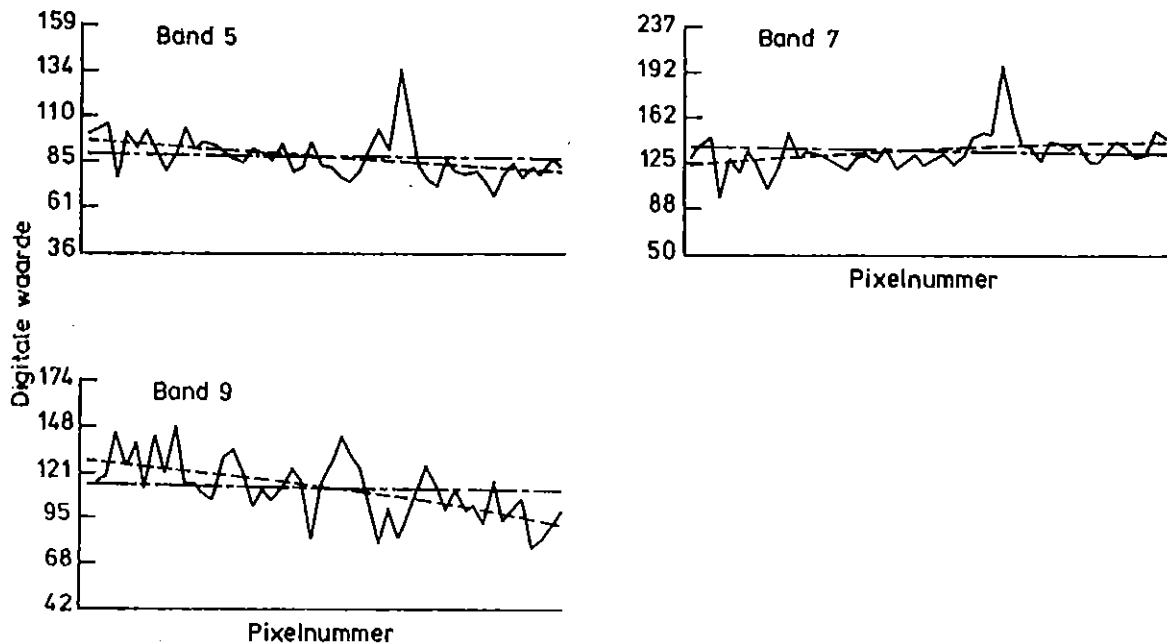


Fig. 5.3. Verloop in stralingswaarden loodrecht op de vliegrichting in de banden 5, 7 en 9 voor een deel van het onderzoeksgebied Vlierden. Het betreft de opnamen van 22 juli 1983.

- : de gemiddelde pixelwaarde per kolom
- - -: de parabool door de gemiddelde pixelwaarden
- · ·: de gemiddelde pixelwaarden van het totale berekende beeld

Het verloop is het duidelijkst in band 9 (nabij-infrarood) en wordt voor kleinere golflengten steeds minder duidelijk. Dit komt overeen met BARNSELY (1984).

Opvallend is dat de verlooprichting van band 7 tegengesteld is aan die van de 2 andere banden. Hiervoor hebben wij geen verklaring.

Voor het uitvoeren van de classificatie is het noodzakelijk dat er geen verloop in de banden aanwezig is. De correctie met het programma CORBAN vindt plaats via een tweede graads regressieberekening. Met de aldus berekende constanten  $a_0$ ,  $a_1$  en  $a_2$  van de parabool door de gemiddelde pixelwaarden (zie fig. 5.3) van het deelgebied kan vervolgens een correctie op het hele beeld worden uitgevoerd (zie fig. 5.4).

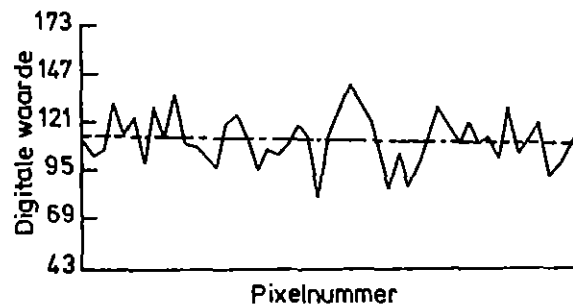


Fig. 5.4. Het verloop in stralingswaarden loodrecht op de vliegrichting in band 9 voor een deel van het onderzoeksgebied Vlierden na correctie met het programma CORBAN. Voor de betekenis van de lijnen zie figuur 5.3

Ook voor band 12 is het verloop berekend. Zie figuur 5.5.

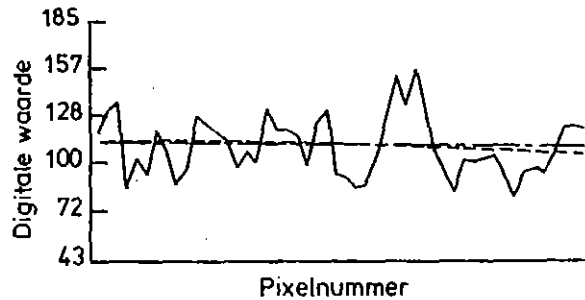


Fig. 5.5. Verloop in stralingswaarden loodrecht op de vliegrichting in band 12 voor een deel van het onderzoeksgebied Vlierden. Voor de betekenis van de lijnen zie figuur 5.3

Het relatieve azimut voor het opnametijdstip van Vlierden bedroeg  $73^\circ$  (zie fig. 5.2). Band 12 registreert warmtestraling. Warmtestraling wordt gelijkmatig in alle richtingen geëmitteerd. Wanneer het relatieve azimut kleiner wordt dan  $90^\circ$  gaat schaduwwerking een rol spelen. Zie figuur 5.6.

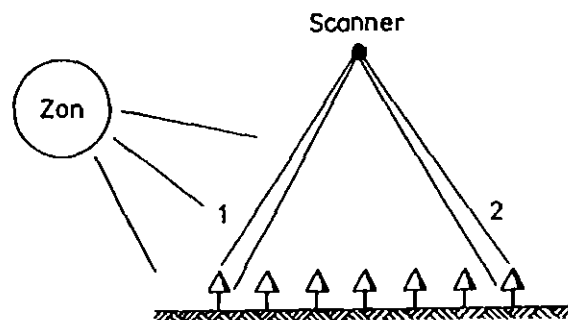


Fig. 5.6. Het principe van schaduwwerking

Staat de scanner in opnamesituatie 1 dan wordt een relatief koude schaduwzijde geregistreerd. In opnamesituatie 2 wordt een relatief warme door de zon beschenen kant geregistreerd. Door schaduwwerking kan zodoende een verloop over het warmtebeeld ontstaan. Ook kunnen bij band 12 verschillen in weglengte een verloop over het beeld veroorzaken.

Uit het verloop in figuur 5.5 blijkt dat de invloed van de schaduwwerking en de weglengteverschillen voor de opnamesituatie van onderzoeksgebied Vlierden verwaarloosbaar is. Op band 12 is daarom geen hoekafhankelijke correctie toegepast.

### 5.2.3. Classificatie

Omdat de relatie tussen gewastemperatuur en relatieve gewasverdamming afhankelijk is van het soort gewas, is een gewasclassificatie noodzakelijk. In beide onderzoeksgebieden betreft het de classificatie van gras en mais.

Het classificeren bestaat uit 2 stappen. De eerste stap is het aanwijzen van trainingspixels. Op grond van de trainingsset kan als tweede stap met een classificatiecriterium het gehele beeld worden geclassificeerd.

Een beperking van het KGS is dat er slechts 100 trainingspixels kunnen worden aangewezen. Voor de uiteindelijke trainingsset zijn 30 mais-, 30 gras-, 20 bos- en 20 'dorp'pixels aangewezen. Zie de feature space plot van band 7 tegen band 9 in figuur 5.7. De clusters van mais en bos zijn in deze feature space plot vrij compact. De clusters van dorp en gras zijn wat diffuser. Ook wanneer de banden 5/7 en 5/9 tegen elkaar worden uitgezet vormen zich dergelijke clusters, waarbij er steeds een grote mate van overlap is tussen het maiscluster en het grascluster, waardoor misclassificaties optreden. Juist wanneer het om een goede onderscheiding tussen mais en gras gaat, blijkt dat met de opnamen van 22 juli niet goed mogelijk te zijn.

Op het KGS zijn vier classificatiemethoden beschikbaar: Ward, Centro, Distance en Quadro (REKENCENTRUM LH, 1985). De eerste 2 methoden hebben een zelf te bepalen verwerpingsdrempel, bij Distance en Quadro is geen drempelkeuze mogelijk. Uiteindelijk bleek CENTRO met een verwerpingsdrempel van 2 het beste resultaat op te leveren.

In figuur 5.7. worden voor de banden 7 en 9 de beslissingsgebieden volgens CENTRO weergegeven. CENTRO deelt een pixel in bij die cluster waarvan het centrum (zwaartepunt) het dichtst bij de betreffende pixel ligt. De verwerpingsdrempel van 2 is niet in figuur 5.7. ingetekend.

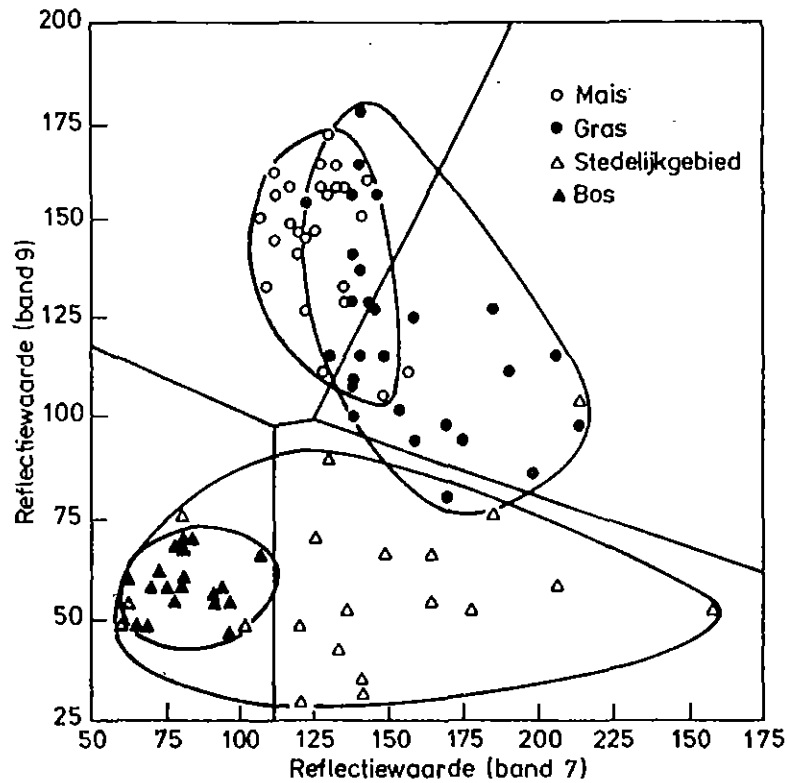


Fig. 5.7. Feature space plot van band 7 tegen band 9 van 100 trainingspixels verdeeld over 4 clusters. De clusters van mais en gras bevatten ieder 30 trainingspixels, de clusters van bos en dorp ieder 20. De lijnen zijn een reconstructie van de beslissingsgrenzen volgens de classificatie methode CENTRO (REKENCENTRUM LH, 1985)

Figuur 5.7. toont dat er meer graspixels bij de maiscluster worden ingedeeld dan andersom. Door de verwerpingsdrempel van 2 wordt 12,5% van de pixels niet ingedeeld. Dit zijn pixels die op een afstand groter dan 2 keer de standaardafwijking van het centrum liggen. De standaardafwijking wordt berekend uit afstanden in de 3-dimensionele kenmerkruimte ongeacht de richting.



In tabel 5.1. is het classificatie resultaat van het gehele beeld in procenten weergegeven en in figuur 5.8 is het classificatiebeeld te zien.

Tabel 5.1. Classificatieresultaat voor het onderzoeksgebied Vlierden gebaseerd op de banden 5, 7 en 9 volgens de classificatiemethode CENTRO (REKENCENTRUM LH, 1985), met een verwerpingsdrempel van 2

Klasse	Procenten van totaal aantal pixels
ongeclassificeerd	12,48%
dorp	17,98%
bos	15,57%
mais	25,09%
gras	28,88%



Fig. 5.8. Classificatieresultaat voor het onderzoeksgebied Vlierden gebaseerd op de banden 5, 7 en 9 volgens de classificatiemethode CENTRO (REKENCENTRUM LH, 1985) met een verwerpingsdrempel van 2. Geel = bos, groen = mais, blauw = gras en zwart = ongeclassificeerd

Band 12 is niet gebruikt bij de classificatie. In incidentele gevallen zou dit wel kunnen. Bijvoorbeeld als er zeer grote temperatuurverschillen optreden tussen gewassen kan band 12 nuttig zijn voor de classificatie. In dit geval zijn de temperatuurverschillen tussen mais en gras echter zo gering dat er een overlap optreedt tussen het temperatuurbereik van gras en dat van mais. Het meenemen van band 12 zou in dit geval het optreden van misclassificatie juist bevorderen.

#### 5.2.4. Vegetatie-index

Voor het maken van het verdampingsbeeld is het noodzakelijk dat de grasklasse wordt onderverdeeld in hoog, middelhoog en kort gras. Voor de mais kan eind juli één gewashoogte worden genomen. Bij het gras is veel variatie; het gras is hoog of is net gemaaid, is wel of niet begraasd en wordt eventueel beregend. Daarom moeten voor gras verschillende hoogteklassen met verschillende temperatuur-verdampingsrelaties worden toegepast.

Voor kort gras is geen verdampingskartering toegepast. Door de geringe bodembedekking wordt in dit geval de waarneming sterk beïnvloed door de temperatuur van de kale grond. De temperatuur van het gewas zelf kan dan niet voldoende nauwkeurig uit de waargenomen stralingstemperatuur worden afgeleid.

Een indeling naar gewashoogte werd verkregen door toepassing van de Vegetaite-Index (VI) (zie paragraaf 3.4.1.). Voor infrarood en rood zijn de referentiewaarden in de respectievelijke banden 9 en 7 toegepast. Bij de beeldverwerking is de volgende formule toegepast:

$$VI = 100 * (((band\ 9 - band\ 7) / (band\ 9 + band\ 7 + 1)) + 1) \quad (5.1)$$

Met de opties DENVAL en DENPRI (REKENCENTRUM LH, 1985) zijn de vegetatie indices in DC voor zes, in hoogte bekende, percelen in het beeld opgespoord. Verder is van ongeveer 20 percelen, waarvoor de relatieve gewashoogte aan de hand van de false colour foto is geschat, de VI bepaald. Dit resulteerde in de klasse grenzen weergegeven in tabel 5.2. De indeling in gewashoogte is gebaseerd op ervaringen uit het Oost Gelderlandproject (THUNNISSEN, 1984).

Tabel 5.2. Relatie tussen gewashoogte en de waarde van de Vegetatie Index (VI) berekend met formule 5.1

Klasse	Gewashoogte (cm)	VI (DC)
kort gras	< 5	0- 82
middelhoog gras	5-15	83-104
hoog gras	> 15	105-255

#### 5.2.5. Relatie tussen scannertemperatuur en gewastemperatuur

Zoals beschreven in paragraaf 3.3. komt de door de scanner geregistreeerde gewastemperatuur ( $T_{sc}$ ) niet overeen met de gewastemperatuur zoals die door een stralingsthermometer dicht bij het gewas wordt gemeten ( $T_{cr}$ ).

Tijdens de vlucht van 22 juli 1983 was het meetbereik van de scanner 10 tot 36°C. Dit traject is opgedeeld in 255 stappen van 0,11°C (zie bijlage 1). De temperatuurreolutie van de Daedalus DS-1260 is minder dan 0,1°C (DAEDALUS ENTERPRISES INC, 1986).

Op 22 juli 1983 zijn veldwaarnemingen verricht, waarbij van 10 percelen de stralingstemperatuur is gemeten met een Heimann stralingsthermometer (type KT15). Deze stralingsthermometer heeft een openingshoek van 30°. Op 1 meter afstand wordt dan de gemiddelde stralingstemperatuur gemeten van een oppervlak met een doorsnede van 0,65 meter. Door de grote openingshoek zijn metingen van de stralingsthermometer en de scanner goed vergelijkbaar voor gras. Bij mais zijn ze minder goed vergelijkbaar omdat de stralingsthermometer niet boven de mais gehouden kon worden. Bij de mais werd er aan de zijkanten en in de maispercelen gemeten om tot een gemiddelde stralingstemperatuur te komen.

Voor de 10 getallenparen is een lineaire relatie en de correlatiecoëfficiënt  $\rho$  berekend. De lineaire relatie luidt:

$$T_{sc} = 0,673 T_{cr} + 3,62 \quad (5.2)$$

$$\rho = 0,882$$

Figuur 5.9 toont de grafiek. De lineaire relatie is gebruikt voor de berekening van de gewastemperatuur van potentieel verdampende mais en gras ( $T_c^*$ ) (paragraaf 5.2.6.).



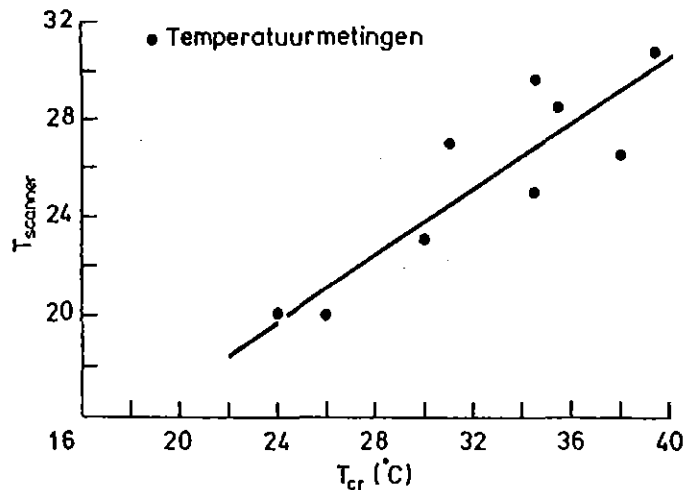


Fig. 5.9. T<sub>cr</sub> gemeten op de grond met een Heimann stralingsthermometer (type KT15) uitgezet tegen de stralingstemperatuur gemeten vanuit een vliegtuig met een Daedalus DS-1260 scanner op 4000 m hoogte. De metingen zijn uitgevoerd op 22 juli 1983 tussen 12.00 en 13.00 zomertijd in onderzoeksgebied Vlierden

#### 5.2.6. Relatie tussen gewastemperatuur en verdamping

Om de relatieve dagverdamping ( $LE^2_4/LE^2_P$ ) te berekenen met behulp van het warmtebeeld is het noodzakelijk de temperatuur van potentieel verdampende mais en gras (hoog, middelhoog) te bepalen (zie paragraaf 3.5). Voor mais is dat gemakkelijker dan van gras; daarom volgt hieronder per gewas de werkwijze.

##### Mais

Zowel vanuit het veldwerk als de false colour foto's kan vrij goed worden afgeleid welke maispercelen er goed bijstaan. Het gewas staat dan zo dicht dat geen kale grond tussen de mais uit komt. Slechts bij uitzondering wordt mais berekend, zodat daar geen rekening mee gehouden hoeft te worden. Met de optie DENPRI zijn de laagste temperaturen in de maispercelen opgezocht. De door de scanner gemeten stralingstempera-

tuur kan dan met bijlage 1 en figuur 5.9 worden omgerekend naar gewas-temperatuur. Uit ervaringen in het kader van het Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland is gebleken dat deze laagste temperaturen kunnen worden beschouwd als de temperatuur van potentieel verdampend gewas ( $T_c^*$ ). Voor mais is voor  $T_c^*$  een waarde van 23,3°C genomen.

#### Gras

Door de veldwaarnemingen was van enkele onberegende percelen bekend wat de gewashoogte en de verdampingstoestand was.

Daarnaast zijn aan de hand van false colour foto's percelen opgespoord die beregeningspatronen vertoonden. Bij beregend grasland wordt de oppervlaktetemperatuur beïnvloed door het koude beregeningswater. Bij het beperkte aantal goed verdampende, niet beregende percelen dat overbleef zijn op dezelfde manier als bij mais uit het beeld temperaturen bepaald. Er werd geen verschil gevonden in de potentieel verdampende gewas-temperatuur van hoog en middelhoog gras. Voor gras is voor  $T_c^*$  een waarde van 26°C gevonden.

Opgemerkt dient te worden dat het bij gras aanzienlijk moeilijker is dan bij mais om op de false colour foto's of de dia's te zien of het gewas goed staat te verdampen. Dit en het feit dat rekening gehouden moet worden met 2 hoogteklassen en berekening, bemoeilijkt de bepaling van  $T_c^*$  aanzienlijk. Dit zou kunnen worden opgevangen door gedurende het veldwerk voldoende metingen te verrichten aan goed verdampend gras in de 2 hoogteklassen.

In tabel 5.3 worden de gevonden resultaten samengevat en vergeleken met de gegevens van het Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland.

Tabel 5.3. Vergelijking tussen de windsnelheid (m/s), de luchttemperatuur (°C) en de gewastemperatuur (°C) van potentieel verdampende mais en gras ( $T_c^*$ ) voor de opnamesituatie van Vlierden (22 juli 1983) en de opnamesituatie Oost-Gelderland (30 juli 1982)

Vergeleken gegevens	Vlierden 11.05 MET	Oost-Gelderland 12.40 MET
luchttemperatuur op 1,50 m	25,2	28,2
windsnelheid op 10 m	4,5	6,2
$T_c^*$ middelhoog gras	26	28,5
$T_c^*$ hoog gras	26	28,0
$T_c^*$ mais	23,3	26,0

Het verschil tussen  $T_c^*$  mais en de luchttemperatuur bedraagt 1,9°C voor Vlierden en 2,2°C voor Oost-Gelderland. Tijdens de opname van Oost-Gelderland werd er een hogere windsnelheid gemeten dan tijdens de opname van Vlierden. Bij een hogere windsnelheid vindt er een betere uitwisseling plaats van warmte en waterdamp met de atmosfeer. Als gevolg daarvan is het temperatuurverschil tussen mais en lucht voor Oost-Gelderland groter dan voor Vlierden.

Het verschil in temperatuur tussen gras en mais bedraagt voor Vlierden en Oost-Gelderland respectievelijk 2,7 en 2,3°C. Het kleinere temperatuurverschil voor Oost-Gelderland is eveneens het gevolg van een toename van de windsnelheid. Uit een simulatie met het TERGRA-model (SOER, 1977) bleek dat gras sterker afkoelt dan mais bij een toename van de windsnelheid. Het gevolg is dat bij een optimale vochtvoorziening het verschil in temperatuur tussen mais en gras daalt bij een toename van de windsnelheid.

Volgens de in paragraaf 3.5 beschreven methode is de calibratieconstante  $B^x$  berekend. De windsnelheid  $u_{(10)}$  bedroeg op 22 juli 1983 rond het middaguur 4,5 m/s.

Met behulp van vergelijking 3.7 wordt de correctiefactor berekend om  $u_{(2)}$  te verkrijgen.

$$c_u = 1,31 \frac{\ln(2/0,03)}{\ln(60/0,03)} = 0,723$$

Daaruit volgt:

$$u_{(2)} = 0,723 * 4,5 = 3,25 \text{ m/s}$$

In tabel 5.4 staan de waarden van  $B^x$  berekend volgens formule 3.5.

Tabel 5.4. Waarden van de calibratieconstante  $B^x$  voor 22 juli 1983 berekend met formule 3.5 voor gras en mais

Gewas	a ( $k^{-1}$ )	b ( $k^{-1} \cdot m^{-1} \cdot s$ )	$u_{(2)}$ (m/s)	$B^x$ ( $k^{-1}$ )
middelhoog gras	0,050	0,010	3,25	0,083
hoog gras	0,050	0,017	3,25	0,105
mais	0,100	0,047	3,25	0,253

Met de temperatuur voor potentieel verdampend gewas ( $T_c^*$ ) en de calibratieconstante  $B^x$  kan met formule 3.4 een toename in de gewastemperatuur ( $T_c - T_c^*$ ) worden vertaald in een reductie in de dagverdamping.

Voor mais geldt deze relatie tot 57% relatieve dagverdamping. Bij toenemende verdroging van mais gaan de bladeren krullen, waardoor de bodembedekking afneemt. Omdat onder die omstandigheden de waargenomen oppervlaktetemperatuur mede wordt bepaald door de relatief hoge temperatuur van de kale grond vertoont bij mais de genoemde relatie een exponentieel verloop (THUNNISSEN, 1984). Deze relatie is benaderd door 2 lineaire relaties met een knikpunt bij een relatieve dagverdamping van 57%. Bij een relatieve dagverdamping van minder dan 57% wordt de relatie vastgelegd door het punt waar mais 25% verdampt. Dit is de minimale relatieve dagverdamping van mais. Aan de hand van de veldwaarnemingen en het temperatuurbeeld is afgeleid dat de maximale temperatuur (d.w.z. bij 25% rel. verdamp.) 5°C hoger is dan de temperatuur van potentieel verdampende mais. Dit stemt overeen met de resultaten voor Oost-Gelderland.

Met behulp van de in figuur 5.10 uitgezette resultaten kunnen de grenzen voor de verdampingsklassen in DC worden berekend, hetgeen nodig is voor de verdere digitale verwerking.

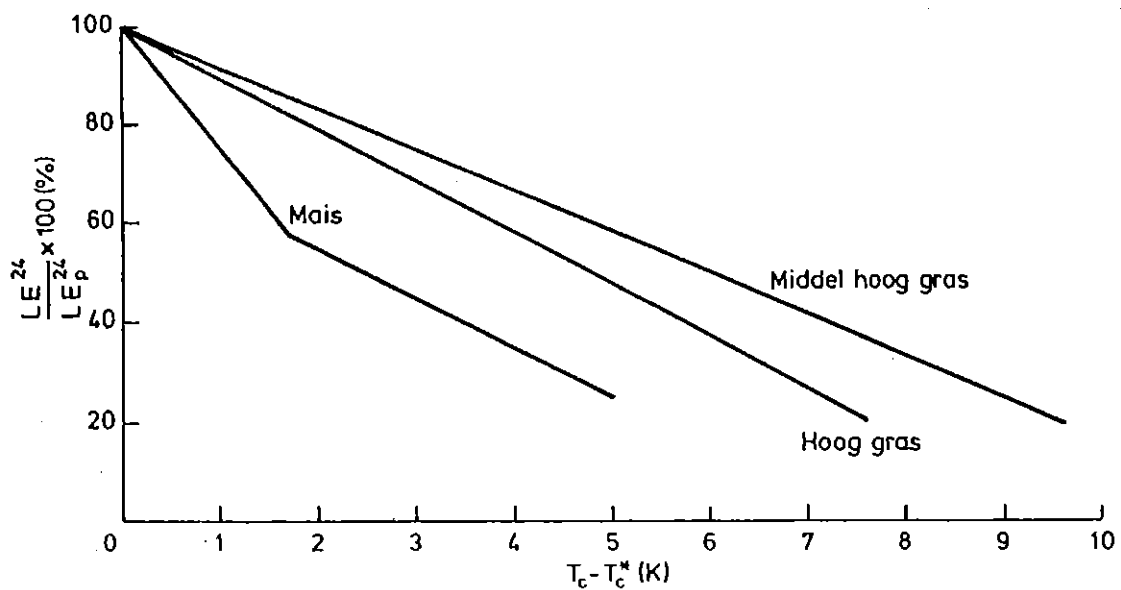


Fig. 5.10. Standaardrelaties tussen de relatieve dagverdamping ( $LE^{24}/LE_p^{24}$ ) en de opwarming van het gewas ( $T_c - T_c^*$ ) om 11.05 MET op 22 juli 1983 voor grasland en mais met verschillende gewashoogten

Als voorbeeld wordt nu de klassegrens voor 70% verdampend hoog gras berekend. De temperatuur van potentieel verdampend gras bedraagt  $26,0^\circ\text{C}$ . Uit figuur 5.10 valt af te lezen dat bij 70% relatieve verdamping de temperatuur  $2,8^\circ\text{C}$  stijgt. De gewastemperatuur bedraagt dan  $26,0 + 2,8 = 28,8^\circ\text{C}$ . De door de scanner geregistreeerde temperatuur bedraagt als gevolg van atmosferische storing  $23,0^\circ\text{C}$  (zie fig. 5.9). In bijlage 1 kan worden afgelezen welke pixelwaarde (DC) daarbij hoort namelijk: 118. Tabel 5.5 geeft de klassegrenzen van de drie gewassen.



Tabel 5.5. Klassegrenzen (in DC) voor vijf verdampingsklassen voor de gewassen hoog en middelhoog gras en mais. Deze waarden zijn van toepassing voor 22 juli 1983, onderzoeksgebied Vlierden

$LE^{24}/LE_p^{24}$ %	Gras, middelhoog	Gras hoog	Mais
> 90	0-108	0-106	0- 86
90-70	109-122	107-117	87- 91
70-50	123-137	118-129	92- 99
50-30	138-152	130-141	100-112
< 30	153-255	142-255	113-255

Met een hiertoe aangepast COMBAN-programma (VERDAM genaamd) is het relatieve dagverdampingsbeeld gemaakt. Een handleiding voor VERDAM staat in bijlage 2. Het principe is als volgt: per pixel wordt in de classificatie opgezocht welk gewas de pixel representeert. Indien dat gras betreft wordt in de vegetatie-index file opgezocht of het kort, middelhoog of hoog gras is.

Bij mais wordt deze stap overgeslagen. Tenslotte wordt in de warmte file de pixelwaarde opgespoord en vergeleken met de verdampingsklasse-tabel (tabel 5.5). Elke pixel in een bepaalde verdampingsklasse krijgt daarbij een waarde van 0 tot en met 5 (zie tabel 5.6). De waarde 0 staat voor alle pixels die ongeclassificeerd zijn, geclassificeerd zijn als dorp of bos of waarvoor de vegetatie-index aangeeft dat het kort gras is (de kleur is dan zwart). Voor de waarden van 1 tot en met 5 is de in tabel 5.6 getoonde kleurcodering toegepast. Blauw duidt op (bijna) potentiële verdamping en rood op extreme verdroging.

Tabel 5.6. Nummering en kleurcodering voor het verdampingsbeeld van onderzoeksgebied Vlierden

$LE^{24}/LE_p^{24}$ %	Verdampingsklasse	Kleur
> 90	1	donkerblauw
70-90	2	lichtblauw
50-70	3	groen
30-50	4	geel
< 30	5	rood

### 5.3. Beeldverwerking op het RESEDA systeem van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium

De kern van het systeem bestaat uit een DIPIX-video subsysteem te zamen met een DEC PDP 11/44 minicomputer.

Het video subsysteem wordt gevormd door een intern beeldgeheugen, een hoge-resolutie kleurenmonitor, een grafisch tablet en specifieke hardware voor de generatie en manipulatie van het beeld. Het beeldgeheugen kan gevuld worden vanaf magneetband, schijf, fotodigitizer of vanuit een ander deel van het beeldgeheugen. Dit subsysteem is in staat om een 3-kleurenbeeld van 1024 x 1024 pixels in het beeldgeheugen te bevatten. De gebruiker wederom kan dit beeld interactief manipuleren met onder andere functies voor grijscodering, kleurtoekenning, gebiedsomslijning en verschillende zoommogelijkheden met behulp van cursor en grafisch tablet.

De beeldmanipulaties in het video-subsysteem dienen uitsluitend als hulpmiddel bij de visuele interpretatie; na het bepalen van de gewenste parameters wordt, desgewenst, de gekozen bewerking uitgevoerd op de beelddata die op schijf zijn opgeslagen.

De belangrijkste randapparatuur, tenslotte, die voor ons onderzoek van belang is, bestaat uit:

- een Honeywell quick-look camera-unit, een Optronics C4300 kleurenfilmschrijver, een kaart-digitaliseertafel en een regeldrukker.

Op het RESEDA systeem heeft beeldverwerking van het onderzoeksgebied Deurne-Meijel plaatsgevonden.

#### 5.3.1. Inlezen van de tape

Bij het inlezen van de banden hebben we ditmaal geen lijnen overgeslagen. We hebben de overscanning erin laten zitten om in een later stadium het beeld geometrisch te corrigeren met paspunten. Ook hier is band 12 op de andere banden gepast volgens de methode beschreven in paragraaf 5.2.1.

### 5.3.2. Hoekafhankelijke beeldcorrectie

Om het verloop loodrecht op de vliegrichting te bekijken werd in het onderzoeksgebied Deurne-Meijel een min of meer homogeen deelgebied van 70 lijnen gekozen. Het verloop over de banden 5, 7 en 9 is te zien in figuur 5.11.

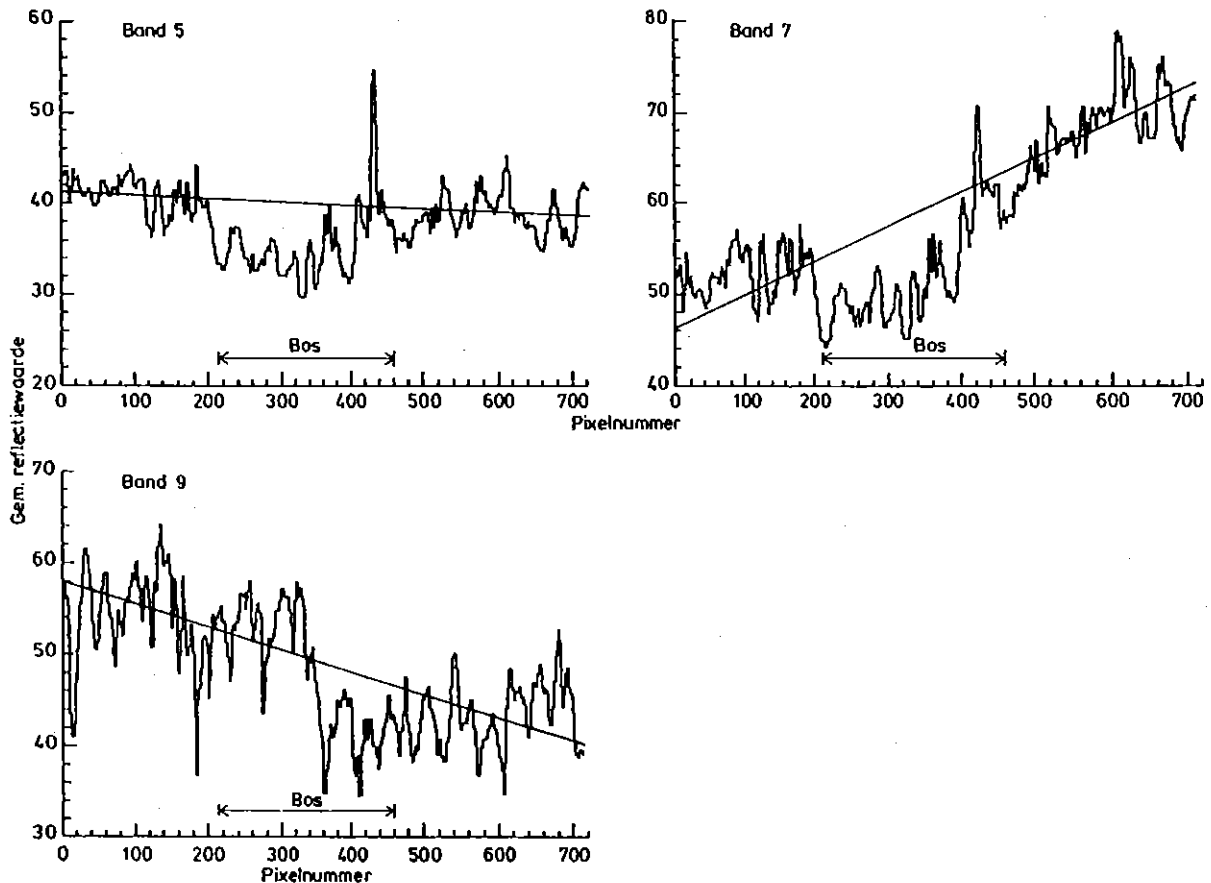


Fig. 5.11. Verloop in stralingswaarden loodrecht op de vliegrichting in de banden 5, 7 en 9 voor een deel van het onderzoeksgebied Deurne-Meijel. Het betreft opnamen van 22 juli 1983. De rechte lijnen zijn de verlooptlijnen die zijn gebruikt voor de lineaire correctie

Evenals in onderzoeksgebied Vlierden is ook hier de verlooprichting van band 7 tegengesteld aan die van de 2 andere banden. Een verschil is dat hier band 7 het grootste verloop heeft. In onderzoeksgebied Vlierden is dat band 9.

Het voordeel van de correctieprocedure op het RESEDA-systeem is dat het verloop met de hand kan worden ingevoerd. Hierdoor kunnen niet representatieve delen van het beeld (zoals het bosgebied in fig. 5.11) worden uitgesloten bij de bepaling van het verloop. Voor de correctie kan men voor maximaal 16 punten, met de hand, de correctiefactoren bepalen. Hiertussen wordt geïnterpoleerd door een eerste, tweede of derde graadsfunctie (naar keuze), waarmee de correctiefactoren voor alle kolommen zijn vastgelegd. Door ons is gekozen voor een lineaire correctie. Figuur 5.12 toont band 5 na de lineaire correctie volgens de rechte lijn in figuur 5.11.

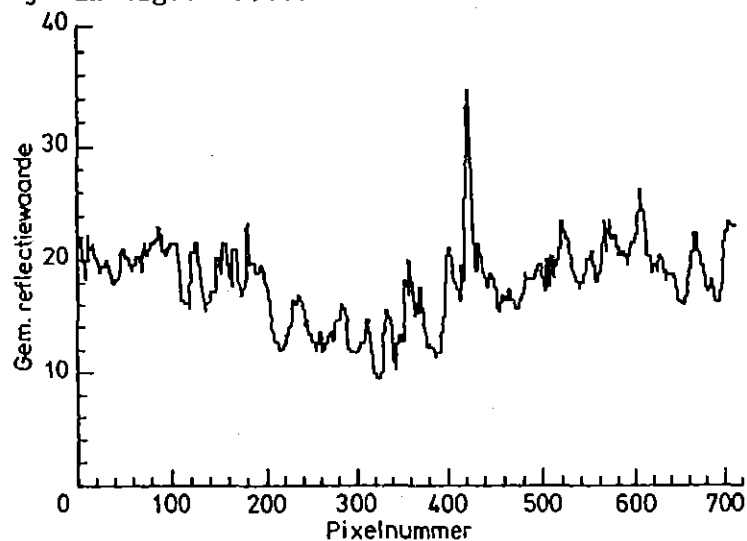


Fig. 5.12. Het verloop in stralingswaarden loodrecht op de vliegrichting in band 5 na lineaire correctie volgens de rechte lijn in figuur 5.11

Ter controle van de uitgevoerde correctie is een kleurencompositie van de banden 5, 7 en 9 gemaakt. Het effect van de correctie is duidelijk te zien in figuur 5.13.

Band 12 is niet gecorrigeerd. Er was geen duidelijk verloop waarneembaar. Dit is in overeenstemming met het resultaat van onderzoeksgebied Vlierden. In het onderzoeksgebied kan de grondwaterstroming worden beïnvloed door geologische storingen met als gevolg dat er in een beeld systematische verschillen in de vochtvoorziening en daarmee in gewastemperatuur kunnen optreden. Bij een ondoordachte correctie kan daarmee informatie in het beeld verloren gaan. Het is in dit geval zeker beter om band 12 niet te corrigeren.



Fig. 5.13. Kleurencomposiet van de banden 5, 7 en 9 voor een deel van onderzoeksgebied Deurne-Meijel. Links vóór de lineaire correctie, rechts na de correctie. Blauw = band 5, groen = band 7 en rood = band 9

### 5.3.3. Geometrische correctie

De door lijn-scanning opgenomen beelden bevatten meetkundige afwijkingen. De beelden die op CCT worden geleverd door Eurosense zijn gecorrigeerd voor systematische afwijkingen (panoramische vertekening) en voor roll (paragraaf 3.2.2.). Desondanks waren de beelden nog sterk vervormd door andere onregelmatige vliegtuigbewegingen en door overscanning. Door deze vervormingen wordt de interpretatie ernstig bemoeilijkt, bijvoorbeeld als men het verdampingsbeeld wil vergelijken met de bodemkaart of als men dezelfde percelen zowel op het verdampingsbeeld als op de false colour foto's wil bekijken. Ten behoeve van de interpretatie is er daarom een geometrische correctie uitgevoerd. Hiervoor zijn met de kaart-digitaliseertafel 15 paspunten ingevoerd, waarna de correctie is uitgevoerd met een tweede-graads transformatie.



#### 5.3.4. Classificatie

De automatische gewasclassificatie is uitgevoerd met de interactieve classificatiemethode. Hierbij wordt gebruik gemaakt van 2 banden, in dit geval de banden 7 en 9. De classificatie werd wederom beperkt tot de meest voorkomende gewassen gras en mais. Het aanwijzen van trainingspixels op RESEDA gebeurt door percelen te omkaderen. De spectrale signatuur (feature space plot) van de omkaderde pixels is zichtbaar op het beeldscherm (fig. 5.14).

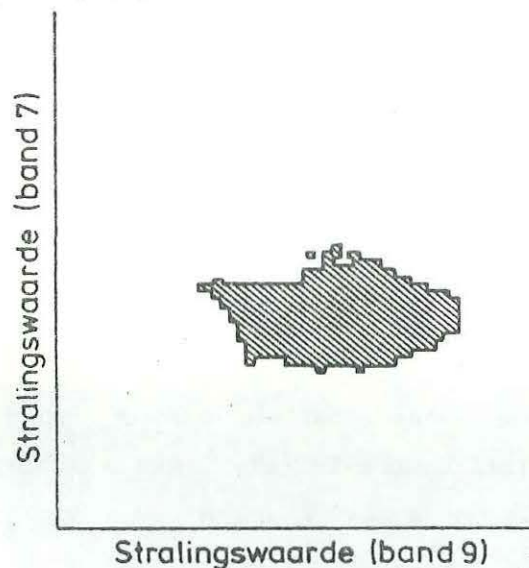


Fig. 5.14. Feature space plot van band 9 tegen band 7 voor mais in onderzoeksgebied Deurne-Meijel

Er is een grote overlap tussen de spectrale signatuur van gras en mais (zie fig. 5.15).

Onze keuze was dat in geval van overlap het gewas werd geclassificeerd als gras. Hierdoor werd alle gras ook als gras geclassificeerd, zodat slechts misclassificaties bij mais optreden en hoeven te worden verbeterd.

Met behulp van de voorjaarsfoto's, waarop al het bouwland braak is, werden alle maispercelen omkaderd op de false colour foto's. Hiermee konden slecht geclassificeerde maispercelen snel worden opgezocht, waarna ze werden omkaderd op het beeldscherm en alsnog geclassificeerd als mais.

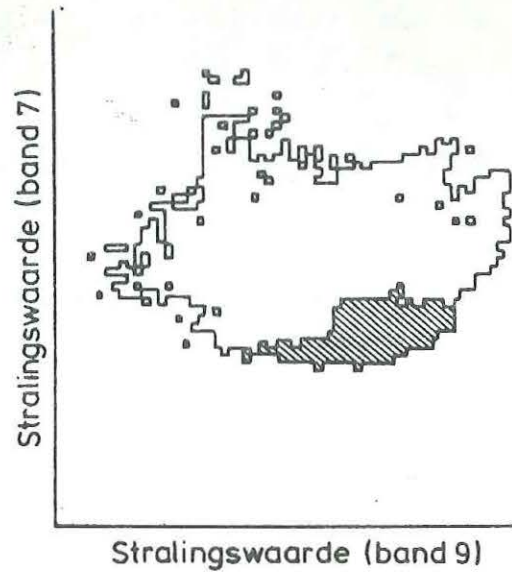


Fig. 5.15. Feature space plot van band 9 tegen band 7 voor gras en mais in onderzoeksgebied Deurne-Meijel

Evenals bij onderzoeksgebied Vlierden is ook voor onderzoeksgebied Deurne-Meijel de vegetatie-index (VI) berekend om het gras verder onder te verdelen. De berekening van de VI gebeurde op het RESEDA-systeem op de volgende manier:

$$VI = 100 (\text{band } 9 - \text{band } 7) / (\text{band } 9 + \text{band } 7) + 150 \quad (5.4)$$

Omdat de golflengtebanden op een andere manier zijn gecorrigeerd als op het KGS zijn opnieuw de waarden van de drie grasklassen vanuit het VI-beeld bepaald. Tabel 5.7 toont het resultaat.

Tabel 5.7. Relatie tussen gewashoogte en de waarde van de VI voor onderzoeksgebied Deurne-Meijel, berekend met formule 5.4

Klasse	Gewashoogte (cm)	VI (DC)
kort gras	< 5	0-120
middelhoog gras	5-15	121-151
hoog gras	> 15	152-255



Figuur 5.16 toont het classificatieresultaat. Het beeld is geometrisch gecorrigeerd. De randen van het beeld zijn niet verbeterd omdat de middenstrook het interessantste deel van het beeld is. De randen bevatten dus veel misclassificaties.

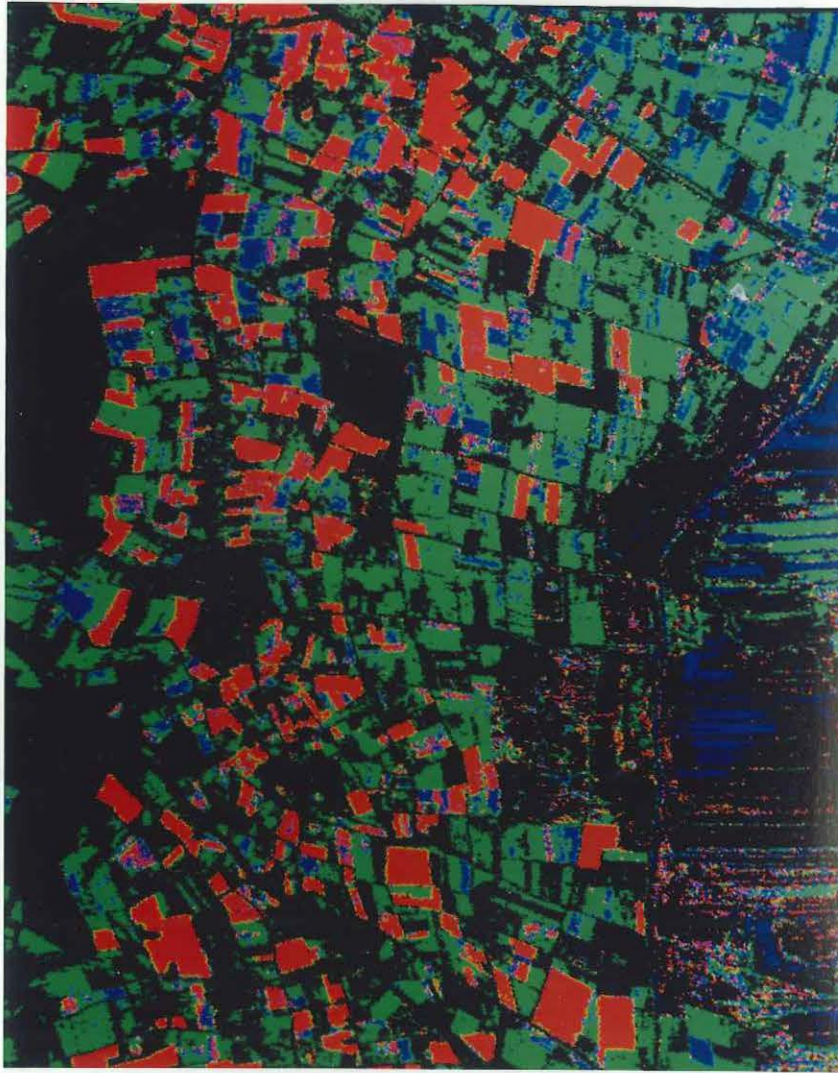


Fig. 5.16. Classificatieresultaat voor een deelgebied van onderzoeksgebied Deurne-Meijel na classificatie volgens de interactieve methode gebaseerd op de banden 7 en 9 en na het met de hand verwijderen van misclassificaties. Rood = mais, blauw = hoog gras, groen = middelhoog gras



### 5.3.5. Verdampingskartering

Het onderzoeksgebied Deurne-Meijel is  $\pm$  20 minuten later opgenomen dan het onderzoeksgebied Vlierden. Daarom is voor Deurne-Meijel opnieuw onderzocht wat de temperaturen van potentieel verdampende mais en gras zijn. Er werd geen verschil met Vlierden gevonden. Dit betekent dat de klassen voor de relatieve dagverdamping in DC gehandhaafd zijn (zie tabel 5.5).

In eerste instantie werd het verdampingsbeeld afgedrukt op polaroids omdat daarmee onmiddellijk een beeld beschikbaar is. Het maken van een optronics vergt enige tijd. Er was toen nog geen geometrische correctie uitgevoerd.

Naast polaroids met het totale verdampingsbeeld zijn er ook aparte polaroids gemaakt met het verdampingsbeeld van alleen mais en alleen gras. Dit had de volgende reden: mais en gras hebben zeer verschillende wortelingsdiepten. Meerjarig gras wortelt tot maximaal  $\pm$  35 cm; mais wortelt tot maximaal  $\pm$  70 cm. Deze wortelingsdiepten variëren met bodemsoort, grondwaterstand enz. Bovendien varieert de gewastoeestand bij mais veel minder dan bij gras (maaien, beregening enz.). Beperking tot één gewas kan daardoor de interpretatie vereenvoudigen.

### 5.4. Werkwijze bij de interpretatie van het verdampingsbeeld van onderzoeksgebied Deurne-Meijel

Het verdampingsbeeld van Deurne-Meijel is geïnterpreteerd om conclusies te trekken over de invloed van de Peelrandbreuk op het freatisch grondwater. Het doel is dan om voor de doelstelling relevante verdampingsverschillen te herkennen. Aangezien zeer veel factoren van invloed kunnen zijn op de verdamping komt het verkrijgen van relevante verdampingsverschillen neer op het combineren van bodemkundige, topografische, hydrologische en remote sensing gegevens. Bij dit onderzoek gaat het speciaal om verdampingsverschillen ter weerszijde van de Peelrandbreuk.

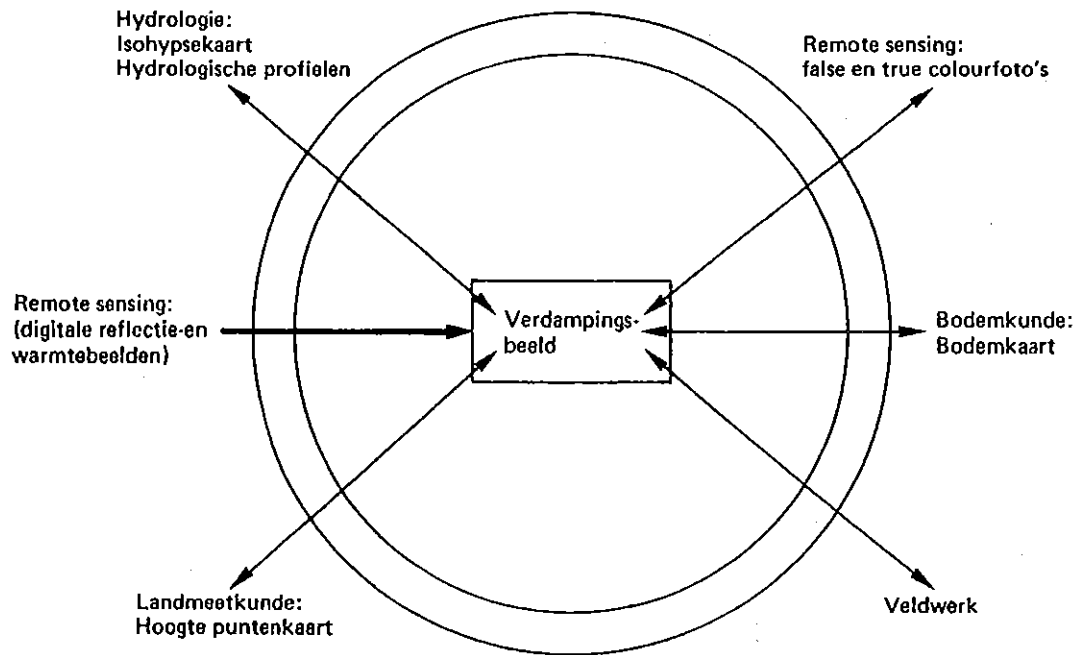


Fig. 5.17. Schematische presentatie van de verschillende inputs bij de interpretatie van onderzoeksgebied Deurne-Meijel

Uit figuur 5.17 blijkt duidelijk het multidisciplinaire karakter van de interpretatie en de verwevenheid van de verschillende inputs. Bij het verklaren van verdampingsverschillen werd gebruikt gemaakt van een of meerdere informatiebronnen. Indeeën die ontstonden over de manier waarop de verdamping wordt beïnvloed werden daarna weer teruggekoppeld naar het verdampingsbeeld. Er ontstaat zo een continue wisselwerking tussen het verdampingsbeeld en de beschikbare informatie. De zo verkregen conclusies zijn gecontroleerd door gericht veldwerk te doen.

## 6. RESULTATEN

Van de onderzoeksgebieden Vlierden en Deurne-Meijel zijn met de remote sensingopnamen van 22 juli 1983 verdampingsbeelden gemaakt volgens de methode zoals beschreven in de paragrafen 5.2 en 5.3. De resultaten staan in figuur 6.1 en 6.2.

### 6.1. Verdampingsbeeld van het onderzoeksgebied Vlierden

Voor dit onderzoeksgebied zijn de mogelijkheden voor verdampingskartering op het KGS onderzocht. Figuur 6.1 toont het verdampingsbeeld voor onderzoeksgebied Vlierden. Tabel 6.1 geeft een getalsmatige presentatie van de verdampingsklassen.

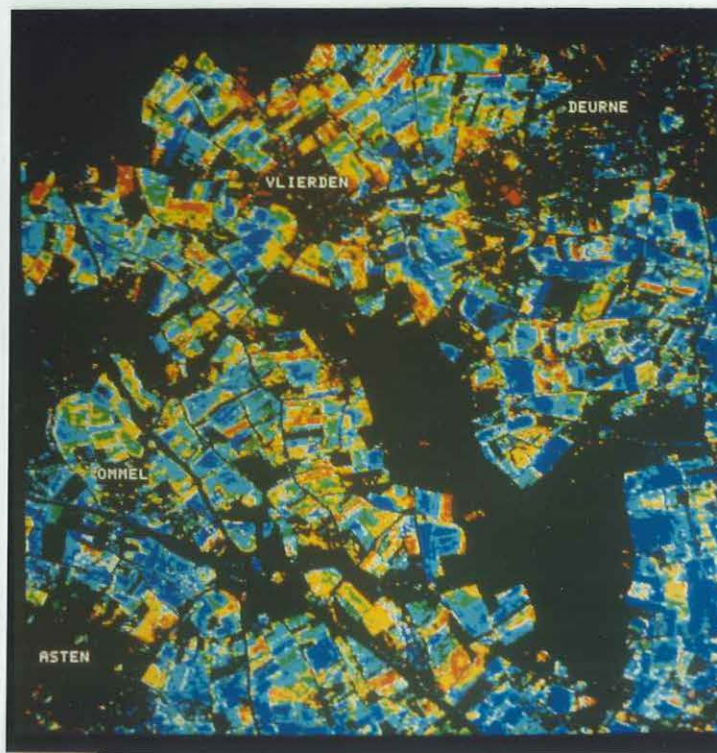


Fig. 6.1. Verdampingsbeeld van onderzoeksgebied Vlierden voor 22 juli 1983. Donkerblauw = > 90%, lichtblauw = 70-90%, groen = 50-70%, geel = 30-50%, rood = < 30%

Tabel 6.1. Resultaat van de verdampingskartering voor het onderzoeks-  
 gebied Vlierden op 22 juli 1983

Relatieve dagverdamping (5)	Procenten van het totaal aantal pixels
> 90	11,48
70-90	7,78
50-70	7,98
30-50	6,04
< 30	3,44

Helaas is figuur 6.1. niet zonder meer bruikbaar. Hieronder volgen enkele opmerkingen waarmee bij het gebruik van het verdampingsbeeld rekening moet worden gehouden.

- Graspercelen met hoog gras zijn geclassificeerd als mais. Hierdoor geeft het beeld op deze plaatsen ten onrechte sterke verdroging te zien.
- Slechte plekken in de mais, vaak het gevolg van wateroverlast in het voorjaar, zijn juist vaak als gras geclassificeerd. Deze plekken laten een onjuiste verdamping zien.
- Alleen mais en gras zijn geclassificeerd. In het gebied zijn ook een aantal percelen aardappelen en bieten aanwezig. Deze zijn respectievelijk ingedeeld bij de mais en de grasklasse. Ook voor deze percelen geldt dat er een onjuiste relatie is gebruikt om de gewastemperaturen in verdampingswaarden om te zetten.

Deze misclassificaties kunnen op het KGS niet worden gecorrigeerd. Daarom is het noodzakelijk het classificatieresultaat zo goed mogelijk te controleren met de true- en false colour foto's. Misclassificaties kunnen op het verdampingsbeeld met de hand worden gezwart.

- Als laatste is er de invloed van beregening. De recent beregende percelen zijn relatief koud en zullen dus een goede verdamping te zien geven (> 90%). De verdamping zegt in dit geval echter niets over de vochtleverantie van de bodem en de grondwaterstand. Op de false colour foto's is beregening als cirkelvormige patronen terug te vinden. Bij hydrologische en bodemkundige interpretatie van het verdampingsbeeld moeten deze percelen ook buiten beschouwing worden gelaten.



Voor het Zuidelijk Peelgebied zijn met het model FEMSATP ook hydrologische modelberekeningen uitgevoerd voor het hele groeiseizoen 1983. Aan een vergelijking van deze modelberekeningen met het resultaat van de verdampingskarteringen met remote sensing en een verdere interpretatie van het verdampingsbeeld van onderzoeksgebied Vlierden zijn we in het kader van dit doctoraalvak niet toegekomen.

## 6.2. Verdampingsbeeld van het onderzoeksgebied Deurne-Meijel

Aan de hand van dit verdampingsbeeld is onderzocht in hoeverre de Peelrandbreuk het freatisch grondwater beïnvloed en daarmee de vochtvoorziening van de aanwezige landbouwgewassen.

Figuur 6.2. toont een deelgebied van het uiteindelijke geometrisch gecorrigeerde verdampingsbeeld van 22 juli 1983. Net als bij het classificatiebeeld geldt ook hier dat de randen van het beeld geen realiteitswaarde hebben, vanwege de vele misclassificaties die zich hier bevinden.

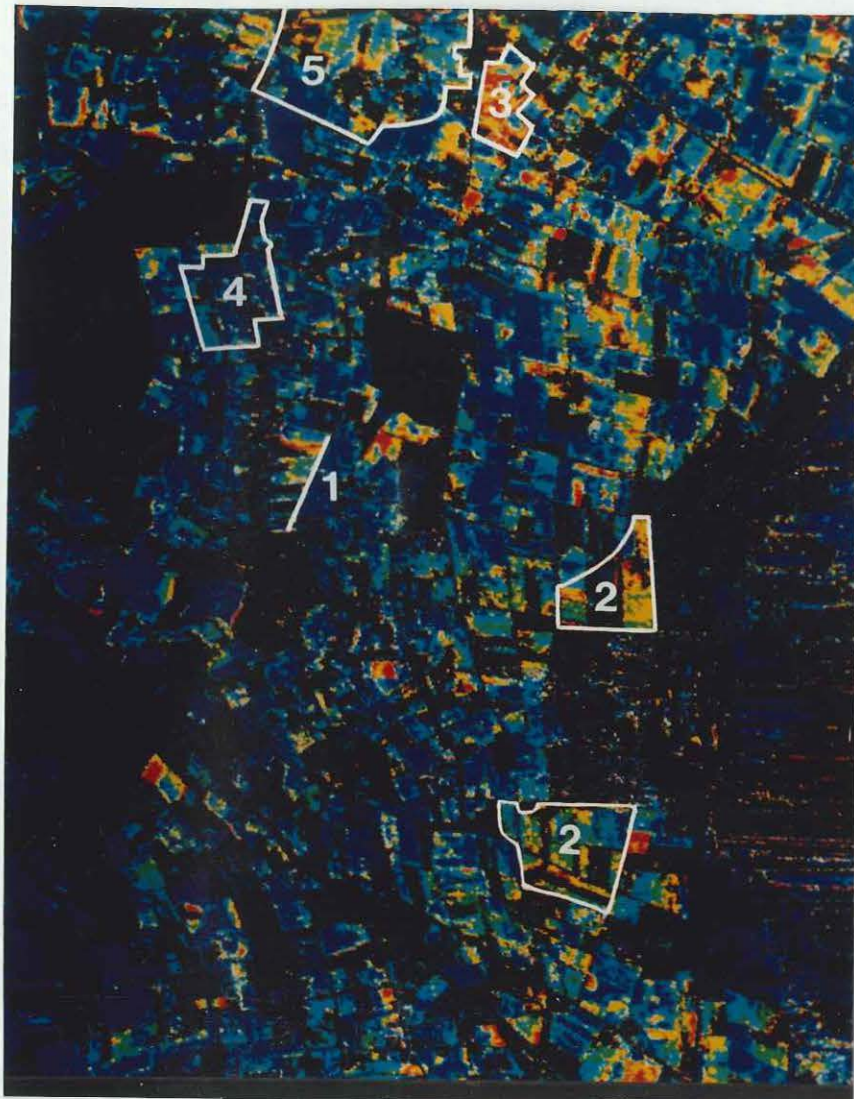


Fig. 6.2. Verdampingsbeeld voor een deelgebied van onderzoeksgebied Deurne-Meijel voor 22 juli 1983. Donkerblauw = > 90%, lichtblauw = 70-90%, groen = 50-70%, geel = 30-50%, rood = < 30%. De Peelrandbreuk is ingeketend. Naar de nummers in het verdampingsbeeld wordt verwezen in de tekst.

### 6.3. Interpretatie van het verdampingsbeeld Deurne-Meijel

Uit eerder onderzoek is gebleken dat de Peelrandbreuk lokaal de grondwaterstroming beïnvloedt:

- zie figuur 2.4. Duidelijk is het verval van de isohypsen in noordwestelijke richting. Het sterkste verval is aanwezig langs de Peelrandbreuk.

- Uit DEKKERS (1977) blijkt dat grondwatertrap 7 slechts westelijk van de breuk voorkomt. Oostelijk vindt men in het algemeen wat hogere grondwaterstanden (grondwatertrap 6, 5 en 5\*).
- BON (1974) vond ook duidelijk lagere grondwaterstanden ten westen van de breuk. Figuur 6.3. toont hiervan een voorbeeld.

Op grond van het bovenstaande verwacht men na een natte periode meer wateroverlast oostelijk van de breuk. Het voorjaar van 1983 is zeer nat (zie fig. 4.1 en 4.2). Op de true colour foto's van 31 mei 1983 op het eind van deze natte periode konden wij echter geen verschillen in wateroverlast oostelijk en westelijk van de Peelrandbreuk waarnemen. De verklaring hiervoor is dat wateroverlastplekken vaak lagere plekken in een perceel zijn waar door toestroming van slib en humus tesamen met berijding en versmering door zware landbouwmachines de top-laag ondoorlatend is geworden. Hierdoor ontstaat ook wateroverlast onafhankelijk van de grondwaterstand.

Na een droge periode (het moment van de verdampingskartering) verwacht men een grotere verdroging westelijk van de breuk. Ten zuidwesten van de steenfabriek nabij Liessel is een lijnvormige sprong te zien in de relatieve dagverdamping die samenvalt met de breuk (nummer 1 in fig. 6.2). De sprong wordt echter niet veroorzaakt door de breuk maar door de topografie. Er komen hier perceelsgewijs hoogteverschillen tot 2 m voor door het voorkomen van een steilrand.

In het onderzoeksgebied hebben wij geen scherpe overgangen ten gevolge van de breuk gevonden. Vervolgens is getracht voor een groter gebied systematisch de verdampingsverschillen te analyseren.

Om via het verdampingsbeeld iets te achterhalen over het effect van de breuk op het freatisch grondwater is het noodzakelijk zowel per gewas (i.v.m. bewortelingsdiepte, paragraaf 5.3.5) als per bodemtype te interpreteren. Dit laatste blijkt in het studiegebied nauwelijks mogelijk te zijn. De bodemtypen oostelijk en westelijk van de breuk verschillen te veel (paragraaf 2.3).

Bovendien speelt binnen één bodemtype ook de topografie een belangrijke rol. De topografie in het studiegebied is tamelijk onregelmatig (paragraaf 2.2). Dit betekent dat men binnen één bodemtype, zowel oostelijk als westelijk van de breuk vrij veel percelen moet beschouwen om tot een gemiddelde verdampingswaarde te komen, hetgeen in het studiegebied zeker niet mogelijk is.

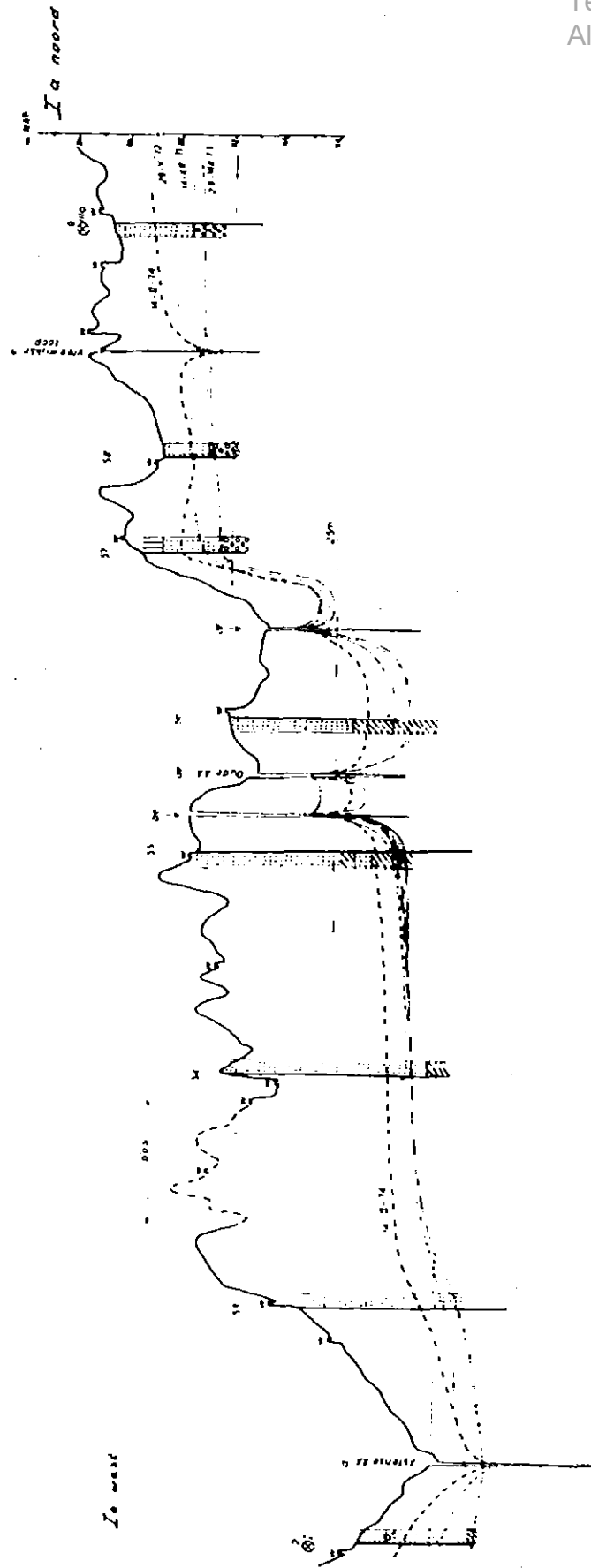


Fig. 6.3. NO-ZW dwarsprofiel tussen Deurne en Liessel met de grondwaterstanden op 29-5-1972, 14-12-1971 en 28-8-1973 (naar BON, 1974)



De verdampingsverschillen per gewas zijn dus niet alleen het gevolg van een verschil in grondwaterstand, maar kunnen slechts worden verklaard door:

1. het bodemtype in combinatie met de aanwezige grondwatertrap;
2. de detail-hoogteligging.

ad 1. Het hangwater van een bodem bepaald samen met de capillaire nalevering het totaal aan vocht dat gedurende het groeiseizoen voor het gewas beschikbaar is. De verschillen in vochtleverend vermogen tussen de verschillende bodemtypen komen in het verdampingsbeeld van 22 juli duidelijk naar voren.

ad 2. Bij een lager gelegen plek in een perceel is de afstand tot het grondwater plaatselijk kleiner, waardoor er meer capillaire nalevering kan optreden.

Bovendien vindt er naar deze plekken extra toestroming van water plaats. Deze plekken zijn als donkere vlekken zichtbaar op de voorjaarsfoto's. Op het verdampingsbeeld geven deze plekken vaak een relatief goede verdamping te zien. De toestroming van water kan zo groot zijn dat er wateroverlast optreedt. Het gewas ontwikkeld zich dan juist niet of nauwelijks. Voorbeelden hiervan zijn ook te vinden bij BOUWMANS en NIEUWENHUIS (1984).

Samenvattend: de grondwaterstandsverschillen als gevolg van de Peelrandbreuk zijn niet direct zichtbaar op de voorjaarsfoto's of op het verdampingsbeeld.

Hieronder volgen enkele voorbeelden om het bovenstaande te illustreren. De nummers in de tekst corresponderen met de nummers in figuur 6.2.

De verdroging van het gras aan de oostzijde van de breuk is een sprekend voorbeeld van een situatie waar een andere factor dan de grondwaterstand de grootste invloed op de gewasverdamping heeft. Het gras bij nummer 2 staat matig te verdrogen. De grondwaterstand is er vrij hoog (GWT III en V). De bodem heeft hier een zVp profiel (zie paragraaf 2.3). Het bovenste bewortelbare deel bedraagt slechts  $\pm 20$  cm. Daaronder bevindt zich een veenlaag die niet bewortelbaar is voor gras en waardoor ook vrijwel geen capillaire nalevering plaatsvindt. Zodra de grondwaterstand dus onder de wortelzone van ruim 20 cm zakt, is er nog slechts het water in de bovenste  $\pm 20$  cm van het profiel beschikbaar. Er treedt dan ook vrij snel verdroging op, ondanks de relatief hoge grondwaterstand.

Dit in tegenstelling tot het gras met dezelfde of diepere grondwaterstanden, maar een ander bodemtype zonder de storende veenlaag.

In de maispercelen direct ten zuiden van de spoorlijn bij Deurne zijn grote verdampingsverschillen zichtbaar (nummer 3). In het bovenste puntje potentieel verdampend, de rest sterk tot matig verdrogend. Dit patroon is ook op de voorjaars true colour foto's terug te vinden.

Het potentieel verdampende deel is wat donkerder (bevat humus cHn21), het hele lichte, slecht verdampende stuk is recent ontgonnen en bij het landbouwareaal getrokken. Er is nog geen cultuur of teeltdek op ontwikkeld (Hn21). Dit patroon van goede verdamping op een humuspodzol met een teelt of cultuurdek en de zeer slechte verdamping op de humuspodzol zonder zo'n dek is op meerdere plaatsen terug te vinden.

Blijkbaar is op het moment van de verdampingskartering de grondwaterstand te diep voor capillaire nalevering. Het beschikbare vocht is dan alleen afkomstig van het hangwater.

Als laatste voorbeeld kunnen de enkeerdgronden dienen. Deze bevinden zich rondom oude bewoningsplaatsen. Men zou verwachten dat mais op deze bodem beter verdampt dan op een cHn21 (nummer 4). Dit is vaak niet het geval. Dit is te verklaren door de vaak hoge ligging van de enkeerdgronden (nummer 5). Het beschikbare vocht is alleen afkomstig van het hangwaterprofiel. De lager gelegen humuspodzol daarentegen put, voor zijn vochtleverantie zowel uit het hangwater als uit capillair nageleverd water, waardoor deze bodem na een droge periode een betere verdamping te zien geeft.

Bij de interpretatie is gebruik gemaakt van isohypsenkaarten. Tijdens het interpreteren bleek hoe belangrijk het is om daarbij tegelijkertijd gebruik te maken van een hoogtepuntenkaart. Vaak bleek een deel van het verval in de isohypsen veroorzaakt te worden door een verval in de maaiveldshoogteligging. Voor de gewasverdamping is de afstand van het freatisch vlak tot de onderkant van de wortelzone van belang.

## 7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In het kader van het Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland is een methodiek ontwikkeld, voor de automatische verdampingskartering met digitaal opgenomen reflectie- en warmtebeelden (THUNNISSEN, 1984).

Van de Zuidelijke Peel (Oost-Brabant) zijn op 22 juli 1983 false colour foto's en scanneropnamen in het groene, het rode, het nabij-infrarode en het thermisch infrarode deel van het elektromagnetische spectrum gemaakt. Daarnaast zijn er van hetzelfde gebied op 31 mei 1983 gemaakte true colour foto's beschikbaar.

Met de opnamen van 22 juli 1983 van een gebied rondom Vlierden is nagegaan of het mogelijk is een automatische verdampingskartering uit te voeren op het Kleuren Grafische Systeem van de Landbouwhogeschool te Wageningen. Eén van de op het systeem aanwezige softwareprogramma's is voor dit doel aangepast. Naar aanleiding van de resultaten kan het volgende worden geconcludeerd.

Met de aangepaste programmatuur is voor een gebied van beperkte omvang een automatische verdampingskartering op het KGS mogelijk. Voor een goed resultaat is een goede gewasclassificatie een eerste voorwaarde. Bij de uitgevoerde gewasclassificatie werd hoog gras echter consequent geclassificeerd als mais. Slechte plekken in de mais, vaak het gevolg van wateroverlast in het voorjaar, werden als gras geclassificeerd. Voor deze misclassificaties geeft het verdampingsbeeld onjuiste informatie. Het verdampingsbeeld is hierdoor slecht bruikbaar.

Een methode om mogelijk tot een beter classificatieresultaat te komen is door met multitemporele opnamen te werken. Een andere methode is om in de programmatuur een optie in te bouwen, waarmee het mogelijk is de automatische gewasclassificatie met de hand te verbeteren, aan de hand van de beschikbare luchtfoto's en via andere bronnen van informatie.

Voor het onderzoeksgebied Deurne - Meijel is de beeldverwerking uitgevoerd op het RESEDA-systeem van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium te Amsterdam.

Voor dit gebied is onderzocht of met het verdampingsbeeld informatie wordt verkregen over het effect van de Peelrandbreuk op het freatisch grondwater.

Naar aanleiding van de interpretatie kunnen de volgende conclusies worden getrokken: op het verdampingsbeeld is het effect van de Peelrandbreuk op de hydrologie niet zichtbaar. De oorzaak is de grote inhomogeni-

teit van het gebied. Vooral het grote verschil in bodemgesteldheid oostelijk en westelijk van de Peelrandbreuk camoufleert het aanwezige verschil in de gemiddelde grondwaterstand ter weerszijde van de breuk. Dit betekent dat in een gebied met een meer vergelijkbare bodemgesteldheid aan beide zijden van de breuk het effect van de breuk op de hydrologie misschien wel zichtbaar zal zijn.

Voor wat betreft het maken van verdampingsbeelden in het algemeen kan het volgende worden opgemerkt: mais is een homogener gewas dan gras. Er zijn grote verschillen tussen percelen gras onderling tengevolge van begrazing, maaien en beregening. Dit maakt het moeilijk de voor de verdampingskartering benodigde temperatuur van potentieel verdampend gras in de verschillende gewashoogteklassen vast te stellen. De bruikbare veldmetingen van gras op 22 juli 1983 waren hiervoor onvoldoende. Het verdient aanbeveling om daar bij volgende opnamen meer aandacht aan te besteden.

LITERATUUR

- AD-HOC GROEP VERDAMPING, 1984. Herziening van de berekening van de gewasverdamping in het hydrologisch model GELGAM. Dienst Waterbeheer, Provincie Gelderland, Arnhem.
- AHORNER, L., 1962. Untersuchungen zur quartären Bruchtektonik der Niederrheinischen Bucht. *Esz. und Gegenwart*, 13, 24-105.
- BARNESLEY, M.J., 1984. Integration of multispectral data obtained at different view angles for vegetation analyses. *Earsel/Esa Symposium on integrative approaches in remote sensing*. ESA sp-214, United Kingdom.
- BON, J., 1972. Hydrologische veldkenmerken langs de Westflank van de Peelhorst. Mededeling ICW 142, Wageningen.
- , 1974. Grondwaterstroming in het gebied van de Astense Aa. Nota ICW 800, Wageningen.
- , 1974. Enkele opmerkingen over afvoer en afvoernormen in Oost-Noord-Brabant, toegelicht aan metingen in de ruilverkaveling Astense Aa. Nota ICW 813, Wageningen.
- BROEK, J.M.M. VAN DEN en G.C. MAARLEVELD, 1963. The Late-Pleistocene terrace deposits of the Meuse. *Med. Ged. St. N.S.* nr. 16, 13-24.
- BUITEN, H.J. en P. RICHARDUS, 1980. TELEDETECTIE deel 1. Opnamemethoden en beeldvorming. Landbouwhogeschool, Vakgroep Landmeetkunde, Wageningen.
- , 1983. TELEDETECTIE deel 2. Informatieverwerking. Landbouwhogeschool, Vakgroep Landmeetkunde, Wageningen.
- BUNNIK, N.J.J., 1978. The multispectral reflectance of short wave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties. *Mededelingen Landbouwhogeschool* 78-1. Wageningen.
- CURRAN, P.J., 1985. *Principles of Remote Sensing*. Longman Group Ltd., England.
- DAEDALUS ENTERPRICES, INC., 1986. DS-1260 digital multispectral scanner. Michigan, USA.
- DEKKERS, J.M.J., 1977. Bestemmingsplan Buitengebied Deurne, de bodemgesteldheid. Stiboka, rapportnr 1374, Wageningen.

- GOSHINGS-NIEUWBEERTHA, H. en E. WOLF, 1985. Aardappels, suikerbieten, tarwe, haver, gerst, .....? Scriptie 1985-6, Vakgroep Landmeetkunde Landbouwhogeschool, Wageningen.
- HOLST, A.F. VAN en W.J.M. TE RIELE, 1985. Waterwinning Vlierden (fase 1) Profielbeschrijving bij nieuwe en bestaande grondwaterstands- buizen, Stiboka, rapportnr 1763, Wageningen.
- JACKSON, R.D., J.L. HATFIELD, R.J. REGINATO, S.B. IDSO and P.J. PINTER, 1983. Estimation of daily evapotranspiration from one-time-of-day measurements. Agric. Water Manage. 7: 351-362.
- , R.J. REGINATO and S.B. IDSO, 1977. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. Water Resour. Res. 13: 651-656.
- JENSEN, J.R., M.E. HODGSON, E. CHRISTENSEN, H.E. MACKEY Jr, L.R. TINNEY and R. SHARITZ, 1986. Remote Sensing Inland Wetlands: A multi-spectral approach. Photogramm. Eng. and Remote Sensing 52: 87-100.
- KOK, A., 1984. Studie naar de effecten van grondverbetering in de veenkoloniën met remote sensing. Nota ICW 1532, Wageningen.
- LILLESAND, T.M. and R.W. KIEFER, 1979. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, New York.
- LOOR, G.P. DE, 1980. Remote sensing, een algemene inleiding. Cultuurtechnisch tijdschrift 19, nr 5: 222-235.
- NIEUWENHUIS, G.J.A. and W. KLAASSEN, 1978. Estimation of the regional evapotranspiration from remotely sensed crop surface temperatures. Part I: grassland. Nota ICW 1055, Wageningen.
- en C.L. PALLAND, 1982. Verdamping van een aardappelgewas en de meting daarvan via remote sensing. Rapport ICW 2, Wageningen.
- en J.M.M. BOUWMANS, 1984. Remote sensing hulpmiddel bij wateroverlast en droogte. Landbouwkundig tijdschrift 96, 2, 1984.
- , E.H. SMIDT and H.A.M. THUNNISSEN, 1985. Estimation of regional evapotranspiration of arable crops from thermal infrared images. Int. J. Remote Sensing (accepted).
- NIWARS, 1977. Onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van multispectrale scanning NIWARS, publ. no. 44, Delft.
- PROJECTTEAM REMOTE SENSING STUDIEPROJECT OOST-GELDERLAND, 1985. Eindrapport. Nota 1641, ICW, Wageningen.

- REES VELLINGA, E. VAN en J.P. BROERTJES, 1984. Enige resultaten van een geohydrologisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied. Nota ICW 1590, Wageningen.
- REKENCENTRUM, 1985. REMSEN MANUAL REMOTE SENSING (PDP11), Landbouwhogeschool, Wageningen.
- SOER, G.J.R., 1977. The TERGRA-model - mathematical model for the simulation of the daily behaviour of crop surface temperature and actual evapotranspiration. Nota ICW 1014, Wageningen.
- STIBOKA, 1968. Bodemkaart van Nederland, blad 52 West, Venlo.
- , 1972. Bodemkaart van Nederland, blad 58 West, Roermond.
- TELEKI, P. and C. WEBER, 1984. Remote sensing for geological mapping. Seminar, february 1984. Orleans, USA.
- 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.). Deelrapport 3. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Nota ICW 1432, Wageningen.
- , 1984. Toepassing van hydrologische modellen en remote sensing. Deelrapport 4. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Nota ICW 1542. Wageningen.
- , 1984. Eenvoudige methode voor de bepaling van de regionale gewasverdamping. Deelrapport 6. Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland. Nota ICW 1580, Wageningen.
- 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.
- WIT, K.E., 1986. Hydrologisch onderzoek in het Zuidelijk Peelgebied. Nota ICW 1691, Wageningen.
- WIERINGA, J. en P.J.M. VAN DER VEER, 1976. Nederlandse windstations 1971-1974. Verslag KNMI V-278.

## Relationship between digital value and radiometric temperature

BB1 = 10.00 deg. C      MBB1 = 0

BB2 = 38.00 deg. C      MBB2 = 255

VAL	TEMP	VAL	TEMP	VAL	TEMP	VAL	TEMP	VAL	TEMP
===	=====	===	=====	===	=====	===	=====	===	=====
0	10.00	1	10.11	2	10.22	3	10.33	4	10.44
5	10.55	6	10.66	7	10.77	8	10.88	9	10.99
10	11.10	11	11.21	12	11.32	13	11.43	14	11.54
15	11.65	16	11.76	17	11.87	18	11.98	19	12.09
20	12.20	21	12.31	22	12.42	23	12.53	24	12.64
25	12.75	26	12.85	27	12.96	28	13.07	29	13.18
30	13.29	31	13.40	32	13.51	33	13.62	34	13.73
35	13.84	36	13.95	37	14.06	38	14.17	39	14.28
40	14.39	41	14.50	42	14.61	43	14.72	44	14.83
45	14.94	46	15.05	47	15.16	48	15.27	49	15.38
50	15.49	51	15.60	52	15.71	53	15.82	54	15.93
55	16.04	56	16.15	57	16.26	58	16.37	59	16.48
60	16.59	61	16.70	62	16.81	63	16.92	64	17.03
65	17.14	66	17.25	67	17.36	68	17.47	69	17.58
70	17.69	71	17.80	72	17.91	73	18.02	74	18.13
75	18.24	76	18.35	77	18.45	78	18.56	79	18.67
80	18.78	81	18.89	82	19.00	83	19.11	84	19.22
85	19.33	86	19.44	87	19.55	88	19.66	89	19.77
90	19.88	91	19.99	92	20.10	93	20.21	94	20.32
95	20.43	96	20.54	97	20.65	98	20.76	99	20.87
100	20.98	101	21.09	102	21.20	103	21.31	104	21.42
105	21.53	106	21.64	107	21.75	108	21.86	109	21.97
110	22.08	111	22.19	112	22.30	113	22.41	114	22.52
115	22.63	116	22.74	117	22.85	118	22.96	119	23.07
120	23.18	121	23.29	122	23.40	123	23.51	124	23.62
125	23.73	126	23.84	127	23.95	128	24.05	129	24.16
130	24.27	131	24.38	132	24.49	133	24.60	134	24.71
135	24.82	136	24.93	137	25.04	138	25.15	139	25.26
140	25.37	141	25.48	142	25.59	143	25.70	144	25.81
145	25.92	146	26.03	147	26.14	148	26.25	149	26.36
150	26.47	151	26.58	152	26.69	153	26.80	154	26.91
155	27.02	156	27.13	157	27.24	158	27.35	159	27.46
160	27.57	161	27.68	162	27.79	163	27.90	164	28.01
165	28.12	166	28.23	167	28.34	168	28.45	169	28.56
170	28.67	171	28.78	172	28.89	173	29.00	174	29.11
175	29.22	176	29.33	177	29.44	178	29.55	179	29.65
180	29.76	181	29.87	182	29.98	183	30.09	184	30.20
185	30.31	186	30.42	187	30.53	188	30.64	189	30.75
190	30.86	191	30.97	192	31.08	193	31.19	194	31.30
195	31.41	196	31.52	197	31.63	198	31.74	199	31.85
200	31.96	201	32.07	202	32.18	203	32.29	204	32.40
205	32.51	206	32.62	207	32.73	208	32.84	209	32.95
210	33.06	211	33.17	212	33.28	213	33.39	214	33.50
215	33.61	216	33.72	217	33.83	218	33.94	219	34.05
220	34.16	221	34.27	222	34.38	223	34.49	224	34.60
225	34.71	226	34.82	227	34.93	228	35.04	229	35.15
230	35.25	231	35.36	232	35.47	233	35.58	234	35.69
235	35.80	236	35.91	237	36.02	238	36.13	239	36.24
240	36.35	241	36.46	242	36.57	243	36.68	244	36.79
245	36.90	246	37.01	247	37.12	248	37.23	249	37.34
250	37.45	251	37.56	252	37.67	253	37.78	254	37.89
255	38.00								



## MANUAL VOOR VERDAM EN VERDA2

De programma's VERDAM en VERDA2 zijn gemaakt om op het Kleuren Grafisch Systeem een verdampingskartering te kunnen uitvoeren voor gras en mais.

Als invoerfile dienen: een classificatie, een file met de waarden van de vegetatie-index, het warmtebeeld en een tabellen-file. De tabellen-file bevat de in te voeren grenzen voor de vegetatie-index en de verdampingsklassen. Het verschil tussen VERDAM en VERDA2 is dat bij VERDAM het korte gras in de klasse ongeclassificeerd valt en dus zwart wordt, terwijl het korte gras bij VERDA2 grijs wordt.

Hieronder volgt de werking:

```
.RUN VERDA2
Classificatie file = VLIER.KLA
Vegetatie file = VLIER.VEG
Warmte file = VLIER.12R
Tabellen file = VLIER.TAB
Firstline nline 1 479
Firstpixel npixel npixperline 1 500 500
Outfile = VLIER.CC
470 blocks allocated for VLIER.CC
Min max 0 7
```

De programma's worden aangeroepen door RUN VERDAM (of VERDA2). De in te vullen 'classificatie file' is opgebouwd uit pixels met waarden tussen 0 en 4. 0, 1 en 2 zijn respectievelijk ongeclassificeerd, bos en dorp, 3 is gras en 4 is mais.

De 'vegetatie-file' is een vegetatie-index file die gebruikt wordt het gras verder in hoogteklassen onder te verdelen.

Het warmtebeeld moet worden ingevoerd bij 'warmte-file'. Als laatste wordt een 'tabellen-file' ingevoerd. In deze file staan de klassegrenzen die dienen om het gras in hoogteklassen onder te verdelen en de klassegrenzen voor de verdampingsklassen van de gewastypen. De organisatie van de 'tabellen-file' is als volgt.

Bijlage 2 vervolg

a	b	}	kort gras	Definiëring van de hoogteklassen voor gras
c	d		middelhoog gras	
e	f		hoog gras	

N1

a	b	}	Definiëring van de verdampingsklassen voor middelhoog gras
c	d		
-	-		
i	j		

N2

a	b	}	Definiëring van de verdampingsklassen voor hoog gras
c	d		
-	-		
i	j		

N3

a	b	}	Definiëring van de verdampingsklassen voor mais
c	d		
-	-		
i	j		

N1 = aantal verdampingsklassen voor middelhoog gras

N2 = aantal verdampingsklassen voor hoog gras

N3 = aantal verdampingsklassen voor mais

$N_{1,2,3} \leq 10$  voor VERDAM

$N_{1,2,3} \leq 6$  voor VERDA2

$0, \leq a, j \leq 255$

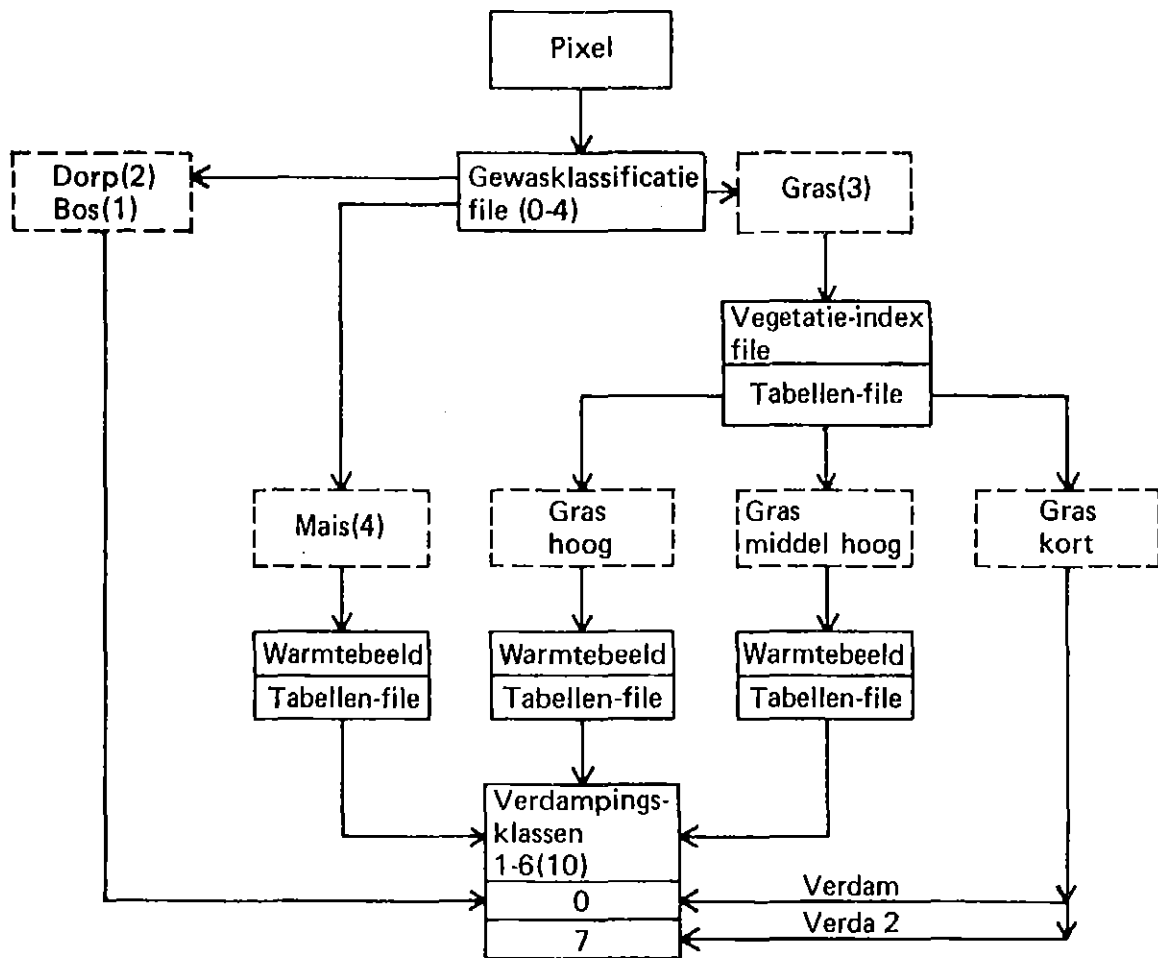
Vervolgens moeten de data-conventies worden ingevoerd en kan de verdampingsfile ('outputfile') worden benoemd en weggeschreven.

Deze outputfile heeft pixelwaarden van 0-7 voor de VERDA2-versie. Er zijn dan 6 verdampingsklassen (N) mogelijk per gewastype en het korte gras wordt in klasse 7 ingedeeld.

De VERDAM-versie heeft de mogelijkheid tot het kiezen van maximaal 10 verdampingsklassen (N). Het korte gras valt dan automatisch in de klasse ongeclassificeerd (zwart).

Het eindresultaat, het relatieve dagverdampingsbeeld, kan na oproepen bijvoorbeeld gekleurd worden met behulp van een zelf aan te maken 'kleurenfile' waar alle kleuren per verdampingsklasse zijn ingevoerd. Ook kunnen de pixels per klassen een voor een met de optie SLICEC worden gekleurd.

Samenvattend: de verdampingskartering kan alleen worden uitgevoerd voor gras en mais, waarbij gras in de classificatiefile de klasse 3 moet zijn en mais de klasse 4. Er kunnen voor de onderverdeling van gras slechts 3 hoogteklassen worden ingevoerd. De verdampingsklassen zijn wel variabel. Bij VERDAM kunnen per gewas maximaal 10 verdampingsklassen worden ingevoerd, bij VERDA2 maximaal 6. Voor een schematische voorstelling van VERDAM en VERDA2 zie het stroomschema.



Stroomschema voor VERDAM en VERDA2