

32/446(86) 28 ex.

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

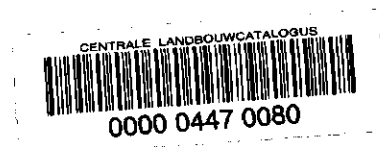
**Toepassingsmogelijkheden van remote sensing bij de kartering
van bodemkundige en hydrologische kenmerken in een zandgebied**

H.A.M. Thunnissen

Rapport 86

STARING CENTRUM, Wageningen, 1990

14 MEI 1991



538207

~~131753-20~~ ✓

REFERAAT

H.A.M. Thunissen, 1990. Toepassingsmogelijkheden van remote sensing bij de kartering van bodemkundige en hydrologische kenmerken in een zandgebied. Wageningen, Staring Centrum. Rapport nr. 86. 82 blz., 29 afb.

In het landinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder is onderzocht of remote sensing technieken kunnen worden toegepast bij de bodemkartering en de kartering van opbrengstdepressies door wateroverlast en vochttekort in een zandgebied. Remote sensing beelden blijken waardevolle aanvullende informatie te leveren over de verbreiding van bepaalde bodemkundige en hydrologische eigenschappen. Een aantal van deze eigenschappen speelt echter geen of slechts een beperkte rol bij de indeling in bodemtype en grondwatertrap en bij de bepaling van opbrengstdepressies. Bovendien varieert een aantal van de betreffende eigenschappen in de tijd, waardoor de ligging en vorm van patronen op de remote sensing beelden mede afhankelijk zijn van het opnametijdstip. De bruikbaarheid van remote sensing opnamen bij de bodemkartering en de kartering van opbrengstdepressies is daarom beperkt. De toepassing van na een droge periode opgenomen false colour foto's biedt het meeste perspectief, vooral in gebieden met veel akkerbouwgewassen.

Trefwoorden: remote sensing, bodemkartering, opbrengstdepressies

ISSN 0924-3070

Copyright 1990

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370 - 74200; telefax: 08370 - 24812; telex: 75230 VISI-NL

Het Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu, en de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Staring Centrum.

Project nr. 100.33

89IS/7.90.

INHOUD	Blz.
VOORWOORD	11
SAMENVATTING	13
1 INLEIDING	17
2 GEBIEDSBESCHRIJVING	19
2.1 Geologische en bodemkundig/hydrologische beschrijving van het studiegebied	19
2.2 Bodemgebruik en berekening	21
3 GEBRUIKTE REMOTE SENSING OPNAMEN EN KARTERINGSEXPERIMENT	25
3.1 Toelichting op de gebruikte remote sensing opnamen	25
3.2 Karteringsexperiment en veldwerkzaamheden	25
4 INTERPRETATIE VAN DE REMOTE SENSING BEELDEN	27
4.1 Interactie van elektromagnetische straling met bodem en vegetatie	27
4.1.1 Reflectie van zonnestraling door vegetatie en kale bodem	27
4.1.2 Emissie van warmtestraling door vegetatie en kale bodem	28
4.2 Vervaardiging van verdampingsbeelden	28
4.3 Vervaardiging van patronenkaarten uit remote sensing beelden	35
5 VERVAARDIGING VAN OPBRENGSTDEPRESSIEKAARTEN	35
6 VERGELIJKING VAN DE OP DE CONVENTIONELE WIJZE VERKREGEN BODEMKAARTEN MET DIE VERKREGEN MET ONDERSTEUNING VAN REMOTE SENSING OPNAMEN	41
7 RELATIES TUSSEN UIT REMOTE SENSING OPNAMEN AFGELEIDE INFORMATIE EN BODEMKUNDIGE EN HYDROLOGISCHE EIGENSCHAPPEN	47
7.1 Uit remote sensing opnamen afgeleide verdampingswaarden en bodemkundige en hydrologische kenmerken	47
7.2 Reflectie- en temperatuurwaarden in het voorjaar en bodemkundige en hydrologische kenmerken	63
7.3 Bijstelling van grenzen op de bodemkaart	66
8 OPBRENGSTDEPRESSIEKAARTEN EN REMOTE SENSING OPNAMEN	69
8.1 Onderlinge vergelijking van de opbrengstdepressiekaarten	69
8.2 Vergelijking van de opbrengstdepressiekaarten met de remote sensing opnamen	75
9 CONCLUSIES	79
LITERATUUR	81

AFBEELDINGEN

1	Ligging van het proefgebied in het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder.	18
2	Op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart voor het studiegebied. De kaart is alleen weergegeven voor het deel van het studiegebied waarvoor de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart beschikbaar is.	22
3	Met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart voor het studiegebied	23
4	Uit remote sensing opnamen van 14 augustus 1986 afgeleid verdampingsbeeld van een deel van het studiegebied. De betekenis van de kleuren is gegeven in tabel 5. Op het beeld zijn enkele percelen met gras, mais en aardappelen omljnd.	30
5	Op 14 augustus 1986 opgenomen false colour foto voor een deel van het studiegebied. Op de foto zijn enkele percelen met gras, mais en aardappelen omljnd.	30
6	Op 2 april 1987 opgenomen false colour foto voor een deel van het studiegebied. Op de foto zijn enkele percelen met gras en kale grond omljnd.	31
7	Kaarten met de opbrengstdepressies door droogte (7a) en wateroverlast (7b) die zijn afgeleid van de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart. De kaarten zijn alleen weergegeven voor het deel van het studiegebied waarvoor de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart beschikbaar is.	36
8	Kaarten met de opbrengstdepressies door droogte (8a) en wateroverlast (8b) die zijn afgeleid van de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart voor het studiegebied	38
9	Overeenkomst in bodemtype en/of grondwatertrap tussen de op conventionele wijze en met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart.	42
10	De ligging van de boorpunten bij de op conventionele wijze en met ondersteuning van remote sensing opnamen uitgevoerde bodemkartering voor een perceel in het studiegebied. Per boorpunt is het subgroepdeel van de toegewezen bodemcode gegeven.	43
11	De uit het verdampingsbeeld afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE^{24}/LE_P^{24}) (11a) en de schematisering van de verdampingswaarden die is gebruikt bij de analyse van de verdampingsbeelden (11b).	48
12	De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE^{24}/LE_P^{24}) en de grondwatertrap voor de boorpunten in maispercelen. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie dikteklassen van de	

- humushoudende bovengrond: < 30 cm (12a), 30-50 cm (12b) en > 50 cm (12c). 49
- 13 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE_{24}^2/LE_{24}^P) en de grondwatertrap voor de boorpunten in graslandpercelen. De boorpunten zijn onderververdeeld in drie dikteklassen van de humushoudende bovengrond: < 30 cm (13a), 30-50 cm (13b) en > 50 cm (13c). 50
- 14 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE_{24}^2/LE_{24}^P) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in maispercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm. De boorpunten zijn onderververdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (14a), 40-80 cm - mv. (14b) en > 80 cm - mv. (14c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst. 52
- 15 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE_{24}^2/LE_{24}^P) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in maispercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm. De boorpunten zijn onderververdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (15a), 40-80 cm - mv. (15b) en > 80 cm - mv. (15c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst. 53
- 16 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE_{24}^2/LE_{24}^P) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in maispercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond > 50 cm. De boorpunten zijn onderververdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (16a), 40-80 cm - mv. (16b) en > 80 cm - mv. (16c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst. 54
- 17 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE_{24}^2/LE_{24}^P) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in graslandpercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm. De boorpunten zijn onderververdeeld in twee GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (17a) en 40-80 cm - mv. (17b). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst. 55
- 18 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE_{24}^2/LE_{24}^P) en de afstand tussen de

- onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in graslandpercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (18a), 40-80 cm - mv. (18b) en > 80 cm - mv. (18c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst. 56
- 19 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE^{24}/LE^{24}_P) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in graslandpercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond > 50 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (19a), 40-80 cm - mv. (19b) en > 80 cm - mv. (19c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst. 57
- 20 De relatie tussen de uit het warmtebeeld van 14 augustus 1986 afgeleide stralingstemperatuur (T_s) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in een aardappelperceel met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in twee GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (20a) en 40-80 cm - mv. (20b). Voor de betekenis van het cijfer 1 in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst. 58
- 21 De relatie tussen de uit het warmtebeeld van 14 augustus 1986 afgeleide stralingstemperatuur (T_s) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in een aardappelperceel met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (21a) en 40-80 cm - mv. (21b). Voor de betekenis van het cijfer 1 in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst. 59
- 22 Relatie tussen het volumetrisch vochtgehalte in de bovenste 5 cm van de bovengrond van percelen met kale grond, die niet recent zijn gegierd en/of bewerkt, en de reflectie in het in het groene (22a), rode (22b) en nabij infrarode deel (22c) van het spectrum (naar Drogen). 65
- 23 De op de bodemkaart weergegeven grondwatertrapgrenzen en de aan de hand van remote sensing opnamen bijgestelde grondwatertrapgrenzen voor een perceel in het studiegebied. 67
- 24 Overeenkomst in opbrengstdepressieklassen tussen de kaarten met de opbrengstdepressies door droogte die zijn afgeleid van de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart en de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart. 70

25	Overeenkomst in opbrengstdepressieklassen tussen de kaarten met de opbrengstdepressies door wateroverlast die zijn afgeleid van de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart en de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart.	71
26	Opbrengstdepressies door droogte op de van de conventionele bodemkaart afgeleide opbrengstdepressiekaart uitgezet tegen de opbrengstdepressies door droogte op de opbrengstdepressiekaart die is afgeleid van de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart. De getallen geven het aantal samenvallende punten weer. De getrokken lijnen geven het traject aan waarbinnen de verschillen tussen beide kaarten kleiner of gelijk zijn aan 4 % opbrengstdepressie.	73
27	Opbrengstdepressies door wateroverlast op de van de conventionele bodemkaart afgeleide opbrengstdepressiekaart uitgezet tegen de opbrengstdepressies door wateroverlast op de opbrengstdepressiekaart die is afgeleid van de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart. De getallen geven het aantal samenvallende punten weer. De getrokken lijnen geven het traject aan waarbinnen de verschillen tussen beide kaarten kleiner of gelijk zijn aan 4 % opbrengstdepressie.	74
28	Procentuele verdeling van de relatieve verdampingswaarden (LE^{24}/LE_p^{24}) van mais over de opbrengstdepressiepercentages door droogte die zijn weergegeven op de van de conventionele bodemkaart afgeleide opbrengstdepressiekaart.	76
29	Procentuele verdeling van de relatieve verdampingswaarden (LE^{24}/LE_p^{24}) van gras over de opbrengstdepressiepercentages door droogte die zijn weergegeven op de van de conventionele bodemkaart afgeleide opbrengstdepressiekaart.	77

TABELLEN

1	Grondwatertrappenindeling voor vlakken op de bodemkaart	20
2	Procentuele verdeling van het bodemgebruik in het studiegebied en het gehele zuidelijk zandgebied over de oppervlakte cultuurgrond	21
3	Toegepaste remote sensing opnamen bij het karteringsexperiment	23
4	Waarden voor a en b uit vergelijking (2) voor grasland en mais met gewashoogte H (naar Thunnissen, 1984b)	29
5	Relatie tussen kleuren in afb. 4 en relatieve dagverdampingswaarden (LE^{24}/LE_p^{24})	29

VOORWOORD

In het kader van het Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland is ervaring opgedaan met de opname- en verwerkingstechnieken van false colour foto's en reflectie- en warmtebeelden onder praktijkomstandigheden (Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland, 1985). In het eindrapport van dit project werd geadviseerd om ter stimulering van het gebruik van remote sensing samen met uitvoerende diensten pilotprojecten op te zetten. In 1986 is door het ICW in samenwerking met de Landinrichtingsdienst en de Stichting voor Bodemkartering een project gestart met als doel te onderzoeken in hoeverre remote sensing technieken toegepast kunnen worden in de voorbereidingsfase van landinrichtingsprojecten en bestaande methoden kunnen vervangen, aanvullen of efficiënter maken. Het project is mogelijk gemaakt dankzij middelen van de Beleidscommissie Remote Sensing. In overleg met de landinrichtingsdienst is besloten het onderzoek uit te voeren in het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder dat is gelegen ten zuiden van Breda.

Een belangrijk onderdeel van het project is het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van remote sensing bij de bodemkartering. In dit rapport wordt van dit onderzoek verslag gedaan.

Het onderzoek is mede uitgevoerd door A. van Lieshout in het kader van een doctoraalvak aan de Landbouwuniversiteit. Het voor het project verrichte bodemgeografisch onderzoek is uitgevoerd door W. Leenders, B.J. Bles en A. van Nijf.

SAMENVATTING

Onderzocht is in hoeverre remote sensing beelden via verschillen in reflectie en of stralingstemperatuur informatie kunnen leveren over bodemkundige en hydrologische kenmerken in een zandgebied, die van nut kunnen zijn bij de bodemkartering op schaal 1 : 10 000. Bij het afleiden van informatie van digitale remote sensing beelden ten behoeve van bodemkundige en hydrologische studies op schaal 1 : 10 000 is het gewenst te werken met beelden met een geometrische resolutie van ca. 5 m.

Remote sensing beelden leveren niet voor het gehele gebied bruikbare informatie op. In het voorjaar zijn de meeste relevante verschillen in reflectie en temperatuur waarneembaar binnen percelen met kale grond. Eventuele informatie is echter vaak verloren gegaan als gevolg van menselijk handelen als grondbewerking en het uitrijden van drijfmest. Onder droge omstandigheden in de zomer blijken vooral binnen maïs- en aardappelpercelen reflectieverschillen waarneembaar. Bij maïs en in wat mindere mate bij aardappelen treedt onder droge omstandigheden als gevolg van vochttekort structuurverandering van het gewas op, waardoor de reflectie van zonnestraling verandert. Bij graslandpercelen worden verschillen in reflectie voornamelijk bepaald door verschillen in biomassa en bodembedekking. Toepassing van berekening en een onvolledige bodembedekking (pas gemaaid gras en veel tuinbouwgewassen) zijn de belangrijkste redenen dat uit de verdampingsbeelden slechts voor een deel van het gebied informatie kon worden afgeleid. Al met al leverden de verdampingsbeelden de meeste informatie op. In totaal kon voor 57% van de oppervlakte cultuurgrond informatie uit de remote sensing opnamen worden afgeleid.

Voor het oppervlak waarvoor informatie uit de remote sensing opnamen kon worden afgeleid is zowel een conventionele bodemkartering als een door remote sensing opnamen ondersteunde kartering uitgevoerd. Bij deze karteringen zijn respectievelijk 1,38 (inclusief de niet volledig beschreven boringen) en 0,47 boringen per ha uitgevoerd.

De relaties tussen uit de remote sensing opnamen afgeleide informatie en in het veld gemeten of geschatte bodemkundige en hydrologische kenmerken zijn geanalyseerd. Hieruit bleek dat wanneer de boorpunten worden ingedeeld in dezelfde dikteklassen van de humushoudende bovengrond en GHG-trajecten als waarop de indeling in bodemtypen en grondwatertrappen is gebaseerd (dikte humushoudende bovengrond: < 30, 30-50 en > 50 cm; GHG: < 40, 40-80 en > 80 cm - mv.) de uit de remote sensing opnamen afgeleide verschillen in verdamping redelijk tot goed kunnen worden verklaard aan de hand van de aanwezige afstanden tussen de bewortelde diepte en de GLG en aan de hand van de textuur van de ondergrond. De reflectie- en temperatuurverschillen in het voorjaar blijken bij kale grond percelen voornamelijk te

worden bepaald door verschillen in vochtgehalte van de top laag van de bodem. Bij graslandpercelen is de correlatie met het vochtgehalte aanzienlijk geringer. Hier worden de verschillen in reflectie en temperatuur mede sterk beïnvloed door verschillen in biomassa en bodembedekking.

Bij vergelijking van de op conventionele wijze en met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaarten blijkt dat de overeenkomst in vlakaanduiding tussen de beide kaarten vrij matig is en de overeenkomst in de ligging van grenzen zeer gering. Hierbij moet wel worden aangetekend dat relatief geringe verschillen in profielbeschrijving (bijv. alleen verschil in leemgehalte of in GHG) al kunnen leiden tot verschillende kaartvlakcodes. De matige overeenkomst in vlakaanduiding kan worden verklaard door:

- de aanwezigheid van kaartonzuiverheden;
- de aanwezigheid van verschillende bodemtypen en/of grondwatertrappen die geen verschillen in reflectie of stralingstemperatuur vertonen;
- de grote variatie in bodemkundige eigenschappen bij vergraven gronden;
- het optreden van schattings- en interpretatieverschillen tussen karteerders.

De boven gegeven redenen ter verklaring van de verschillen in vlakaanduiding tussen beide bodemkaarten zijn geheel of gedeeltelijk het gevolg van de beperking van het aantal boringen bij de door remote sensing opnamen ondersteunde kartering. Daarnaast spelen de aanwezigheid van vergraven gronden, het verschil in voorkennis tussen karteerders, en schattingsverschillen een rol.

De geringe overeenkomst in de ligging van grenzen op de beide bodemkaarten wordt ten dele veroorzaakt doordat kaarteenheden vaak niet van elkaar verschillen in vochtleverantie aan het gewas (in de zomer) of vochtgehalte van de bovengrond (in het voorjaar) en daarmee in reflectie en temperatuur van het gewas en bodemoppervlak. Daarnaast worden veel overgangen in reflectie en temperatuur van het gewas en bodemoppervlak veroorzaakt door variatie van bodemkundige en hydrologische kenmerken binnen kaarteenheden. Een aantal van deze kenmerken, zoals het vochtgehalte van de bovengrond, de textuur van de ondergrond en de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG speelt geen of slechts een beperkte rol bij de onderverdeling in bodemtype en grondwatertrap. Verder is de ligging van grenzen op de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart meestal gebaseerd op de omgrenzing van patronen op de remote sensing opnamen. Doordat overgangen tussen verschillen in reflectie en temperatuur vaak geleidelijk verlopen, gebeurt het omgrenzen van patronen gedeeltelijk volgens subjectieve criteria. Hierdoor kunnen verschillende personen tot een enigszins andere interpretatie van de ligging van patronen komen. Daarbij is bovendien van belang dat remote sensing opnamen de situatie op een bepaald tijdstip weergeven en dat de mate van

verdampingsreductie gewasafhankelijk is. Doordat verdampingswaarden en vochtgehalten in de tijd veranderen, zal ook de ligging van patronen in de tijd veranderen. Uit ervaringen in Oost-Gelderland is wel gebleken dat onder droge omstandigheden in verschillende jaren dezelfde patronen steeds weer terugkeren. De mate van verdroging en de precieze ligging van de grenzen tussen verdampingsklassen zijn echter mede afhankelijk van de voorafgaande meteorologische omstandigheden en de aanwezige gewassen. Tenslotte kunnen, wanneer grenzen mede zijn getrokken aan de hand van landschappelijke kenmerken, verschillen in de ligging van grenzen soms worden verklaard door interpretatieverschillen tussen karteerders.

Aan de hand van de gevonden relaties tussen reflectie en stralingstemperatuur enerzijds bodemkundige en hydrologische kenmerken anderzijds is na afloop van het karteringsexperiment door de karteerder die de conventionele bodemkartering heeft uitgevoerd nog een aantal aanvullende boringen uitgevoerd. Hierbij bleek dat de grenzen tussen grondwatertrappen op de conventionele kaart in een aantal gevallen konden worden bijgesteld. Dit betekent dat de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart er enigszins anders zou hebben uitgezien wanneer men tijdens de kartering de beschikking zou hebben gehad over remote sensing beelden.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de uit remote sensing beelden afgeleide verschillen in gewasverdamping en in reflectie en temperatuur van het aardoppervlak slechts in beperkte mate overeenkomen met verschillen in bodemtype en/of grondwatertrap zoals deze worden weergegeven op een kaart met schaal 1 : 10 000. De vergelijking tussen de op conventionele wijze en de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaarten wordt echter beïnvloed door het optreden van niet te vermijden schattings- en interpretatieverschillen tussen karteerders.

De met behulp van de HELP-tabellen van de beide bodemkaarten afgeleide kaarten met opbrengstdepressies door droogte en wateroverlast komen voor een groter deel van het studiegebied met elkaar overeen dan de bodemkaarten. Dit komt doordat verschillende kaarteenheden vaak niet van elkaar verschillen in vochtleverend en/of vochtbergend vermogen en doordat de verschillen in reflectie en temperatuur van het bodem- en gewasoppervlak voor een belangrijk deel worden veroorzaakt door verschillen in hydrologische kenmerken. De kaarten die de opbrengstdepressies door droogte weergeven komen vooral in de weinig droogtegevoelige gebieden over het algemeen goed met elkaar overeen, terwijl in de meer droogtegevoelige gebieden de overeenkomst tussen de kaarten aanzienlijk slechter is. Dit komt doordat in de weinig droogtegevoelige gebieden geringe verschillen in bodemkundige en hydrologische kenmerken over het algemeen geen invloed hebben op de gevoeligheid voor droogte, terwijl in de meer droogtegevoelige gebieden geringe verschillen in bodemkundige en hydrologische kenmerken grote ver-

schillen in de gevoeligheid voor droogte tot gevolg kunnen hebben.

De beide kaarten die de opbrengstdepressies voor wateroverlast weergeven, blijken juist in de meer droogtegevoelige gebieden over het algemeen goed met elkaar overeen te komen, terwijl in de weinig droogtegevoelige gebieden de overeenkomst aanzienlijk slechter is. Dit komt doordat de meer droogtegevoelige gebieden over het algemeen weinig gevoelig zijn voor wateroverlast, terwijl in de weinig droogtegevoelige gebieden geringe verschillen in bodemkundige en hydrologische kenmerken grote verschillen in de gevoeligheid voor wateroverlast tot gevolg kunnen hebben. De verschillen tussen de opbrengstdepressiekaarten worden veroorzaakt door dezelfde factoren die ook de verschillen tussen de beide bodemkaarten veroorzaken.

De naar oppervlakte gewogen, gemiddelde opbrengstdepressies voor het studiegebied blijken redelijk tot goed met elkaar overeen te komen. Voor de opbrengstdepressiekaarten die zijn afgeleid van de op conventionele wijze en met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart bedragen de gewogen gemiddelde opbrengstdepressies door droogte respectievelijk 7,7 en 7,6% en de gewogen gemiddelde opbrengstdepressies door wateroverlast respectievelijk 3,7 en 5,0%.

Uit vergelijking van de kaart met opbrengstdepressies door droogte, die is afgeleid van de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart, met het verdampingsbeeld blijkt dat de oppervlakte met lage verdampingswaarden over het algemeen toeneemt naarmate de opbrengstdepressie door droogte toeneemt. Toch is de spreiding in verdampingswaarden bij een bepaalde opbrengstdepressie nog vaak aanzienlijk. De spreiding in de verdampingswaarden bij een bepaalde opbrengstdepressie kan worden verklaard door:

- de aanwezigheid van onzuiverheden binnen kaartvlakken;
- variatie van de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG binnen een kaartvlak;
- de aanwezigheid van afwijkende ondergronden;
- het optreden van verdampingsreducties als gevolg van wateroverlast.

De van de conventionele bodemkaart afgeleide kaart die de opbrengstdepressies door wateroverlast weergeeft, vertoont weinig overeenkomst met de reflectie- en warmtebeelden uit het voorjaar. De factoren die de verschillen in reflectie en stralings-temperatuur veroorzaken spelen over het algemeen geen rol bij de bepaling van de opbrengstdepressies door wateroverlast met behulp van de HELP-tabellen.

1 INLEIDING

Reflectie- en warmtebeelden leveren informatie op over de reflectie van zonnestraling en de emissie van warmtestraling door het aardoppervlak. Een groot aantal bodemkundige en hydrologische kenmerken (waaronder dikte, textuur, humusgehalte en vochtgehalte van de bovengrond, bewortelingsdiepte, textuur van de ondergrond en verloop van de grondwaterstand) kan invloed hebben op de reflectie van zonnestraling en de emissie van warmtestraling. Het is daarom interessant om na te gaan of patronen op remote sensing beelden van nut kunnen zijn bij de kartering van bodemkundige en hydrologische kenmerken en in het bijzonder bij de bodemkartering. Bij de bodemkartering wordt informatie verzameld over de bodemopbouw en de grondwaterstandsfluctuatie. Grondwaterstandsfluctuaties worden gekarakteriseerd door middel van zogenaamde grondwatertrappen. De informatie wordt vastgelegd in bodemkaarten.

Ter bepaling van de toepassingsmogelijkheden van remote sensing bij de bodemkartering is een onderzoek uitgevoerd in een deelgebied van het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder dat is gelegen ten zuiden van Breda. In dit gebied is naast de conventionele bodemkartering (schaal 1 : 10 000) ook een met remote sensing opnamen (i.c. digitale reflectie- en warmtebeelden en false colour foto's) ondersteunde kartering uitgevoerd. Bij deze laatste kartering zijn aanzienlijk minder boringen uitgevoerd dan bij de conventionele kartering. Beide karteringen zijn door verschillende personen uitgevoerd. De twee resulterende kaarten zijn met elkaar vergeleken en de oorzaken van de verschillen tussen beide kaarten zijn vastgesteld. Vervolgens is getracht de waargenomen verschillen in stralingstemperaturen en reflectiewaarden tussen verschillende gewas- en bodemoppervlakken te verklaren aan de hand van in het veld geschatte en gemeten bodemkundige en hydrologische kenmerken. Hiertoe is een aantal aanvullende boringen uitgevoerd.

De samenstelling van de bovengrond varieert weinig over het studiegebied en heeft daarom weinig invloed op de waargenomen verschillen in reflectie en stralingstemperatuur. Verschillen in reflectie en temperatuur van het bodem- en gewasoppervlak worden daarom voornamelijk bepaald door variatie in hydrologische eigenschappen van de boven- en ondergrond. Het ligt daarom voor de hand de kaarteenheden op de bodemkaart te vertalen naar eenheden die gebaseerd zijn op hydrologische kenmerken. Hiertoe is gebruik gemaakt van de zogenaamde HELP-tabellen. Deze tabellen worden bij de evaluatie van landinrichtingsprojecten gebruikt bij het voorspellen van de effecten van waterhuishoudkundige werken op de opbrengst van landbouwgewassen. Met behulp van deze tabellen zijn de kaarteenheden van de beide bodemkaarten vertaald naar opbrengstdepressies door wateroverlast en vochttekorten. Deze opbrengstdepressiekaarten zijn met elkaar vergeleken en met de remote sensing beelden.



Afb. 1 Ligging van het proefgebied in het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

2.1 Geologische en bodemkundig/hydrologische beschrijving van het studiegebied

Het onderzoek is uitgevoerd in een deelgebied van het herinrichtingsgebied Ulvenhout Galder (afb. 1). Het studiegebied heeft een oppervlakte van ca. 412 ha en ligt loodrecht op het beekdal van de Mark. De verschillende afzettingen die in het studiegebied aan of nabij de oppervlakte liggen, zijn grotendeels afgezet in het Pleistoceen. Daarnaast is enig materiaal in het Holocene afgezet. In het studiegebied liggen voornamelijk Laat-pleistocene sedimenten aan de oppervlakte die zijn afgezet gedurende de laatste ijstijd, het Weichselien. Dit pakket is wisselend van dikte, waardoor oudere sedimenten soms nabij het maaiveld voorkomen. De belangrijkste Laat-pleistocene afzettingen vormen de dekzanden. Deze zijn van eolische oorsprong. Onderscheid wordt gemaakt tussen Oud Dekzand en Jong Dekzand. Het oude dekzand bestaat over het algemeen uit sterk lemig, zeer fijn zand en het jonge dekzand uit zwak lemig, matig fijn zand. Daarnaast werden plaatselijk leemlagen afgezet. Tijdens korte perioden van dooi werd een belangrijk deel van het zand verspoeld (de zogenaamde fluvioperiglaciale zanden). Deze sedimenten vertonen een grote variatie in korrelgrootte. Veelal wordt aan maaiveld Jong Dekzand aangetroffen. Het oude dekzand wordt meestal op wisselende diepte in de ondergrond aangetroffen. Plaatselijk ligt het oude dekzand echter direct aan maaiveld. De fluvioperiglaciale afzettingen treft men vooral in de lage terreingedeelten aan. De holocene afzettingen in het studiegebied liggen alleen in de beekdalen in de vorm van een dunne laag beekleem.

In het natuurlijke landschap met zijn verschillende bodemvormingen heeft de mens reeds gedurende lange tijd ingegrepen. Zo wordt een deel van het studiegebied in beslag genomen door de zogenaamde oude cultuurgronden. Deze gronden zijn gedurende een lange periode geleidelijk opgehoogd met potstalmest. Daardoor hebben ze een dikke (> 50 cm) of matig dikke (30-50 cm) humushoudende bovengrond gekregen. Het zijn respectievelijk enkeerd en laarpodzolgronden. De gronden met een matig dikke, humushoudende bovengrond zijn in het algemeen van een jongere ontginningsdatum. Ze liggen vrijwel steeds bij of grenzen aan de enkeerdcomplexen, waarvan ze meestal een latere uitbreiding vormen.

De heidevelden die buiten de oude cultuurgronden lagen, zijn in de regel pas vrij recent, sinds het einde van de vorige eeuw, ontgonnen. Deze zogenaamde jonge ontginningen bezitten gewoonlijk een dunne (< 30 cm) humushoudende bovengrond. Voor het merendeel zijn het veldpodzolen, verder ook gooreerdgronden.

In de hoofd- en zijdalen van de beken komen zand- en leemafzettingen voor die afgezet zijn vanuit de beken. In de beekdalen liggen voornamelijk beekeerdgronden en verder gooreerdgronden

en lage enkeerdgronden. Ook in de beekdalen zijn soms gronden opgehoogd, zodat hier het opgebrachte dek rust op de beek- of gooreerdgronden.

Met name in de jonge ontginningen zijn op veel plaatsen gronden vergraven. Hierdoor is de humeuze bovengrond tot een bepaalde diepte vermengd met het onderliggende B- of C-materiaal.

Afhankelijk van de relatieve hoogteligging en de aanwezige ontwateringssituatie komen grote variaties in grondwaterstanden binnen het studiegebied voor. Om de fluctuatie van het grondwater te karakteriseren worden de van jaar tot jaar verschillende fluctuaties tot een gemiddelde herleid. Daartoe berekent men de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG). Onder de GHG (GLG) wordt verstaan het rekenkundig gemiddelde van de hoogste (laagste) drie grondwaterstanden per zomer- (winter-)halfjaar over een periode van zoveel mogelijk achtereenvolgende jaren (liefst tenminste 8 jaar). De waarden van de GHG en de GLG kunnen van plaats tot plaats vrij sterk variëren. Daarom is een klasseindeling gemaakt. Elke klasse of grondwatertrap (Gt) is door een GHG- en GLG-traject gedefinieerd. Voor de vlakken op de bodemkaart wordt de in tabel 1 weergegeven indeling in grondwatertrappen gehanteerd. De grondwatertrappen die worden aangetroffen in het studiegebied variëren tussen III en VII (tabel 1). Voor individuele

Tabel 1 Grondwatertrappenindeling voor vlakken op de bodemkaart

Grondwatertrap	I	II'	III'	IV	V'	VI	VII''
GHG in cm beneden maaiveld	(<20)	(<40)	<40	>40	<40	40-80	>80
GLG in cm beneden maaiveld	<50	50-80	80-120	80-120	>120	>120	(>160)

' een * achter deze Gt-codes betekent een 'droger deel'. Om de gedachten te bepalen: met een GHG dieper dan 25 cm beneden maaiveld

'' een * achter deze Gt-code duidt op een 'zeer droog deel', waarbij de GHG dieper dan 140 cm wordt verwacht

boorpunten wordt een enigszins afwijkende code gebruikt. De toevoeging a bij de grondwatertrappen II, III en V geeft aan dat de geschatte GHG zich in het traject 0-25 cm - mv. bevindt. Bij grondwatertrap VII geeft de toevoeging a aan dat de GHG in het traject 80 - 140 cm - mv ligt. De toevoeging b geeft aan dat de geschatte GHG bij de grondwatertrappen II, III en V in het traject 25 - 40 cm -mv. ligt en bij grondwatertrap VII dieper dan 140 cm - mv.

Voor uitvoerige informatie over de bodemkundige en hydrologische gesteldheid van het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder wordt verwezen naar Bles e.a. (1988).

2.2 Bodemgebruik en berekening

Van de oppervlakte van het studiegebied (= 412 ha) wordt 11,4% in beslag genomen door bos en natuurgebied, 10,3% door wegen, waterlopen, bebouwing, sportvelden en volkstuinen en 78,3% door cultuurgrond. De verdeling van het bodemgebruik over de oppervlakte cultuurgrond in 1986 is weergegeven in tabel 2. In deze tabel is tevens de procentuele verdeling van het bodemgebruik in het gehele zuidelijke zandgebied gegeven (CBS, 1986). Het blijkt dat de relatieve oppervlakte groenten in de open grond en boomkwekerijgewassen in het studiegebied ca. 2x zo groot is als in het gehele zuidelijke zandgebied. Daarentegen komen in het studiegebied naast mais en aardappelen geen andere akkerbouwgewassen voor.

Tabel 2 Procentuele verdeling van het bodemgebruik in het studiegebied en het gehele zuidelijk zandgebied over de oppervlakte cultuurgrond

Bodemgebruik	Oppervlakte (% opp. cultuurgrond)	
	studiegebied	zuidelijk zandgebied
grasland	57,5	52,3
mais	24,8	26,6
aardappelen	2,6	2,8
groenten open grond	11,4	5,4
groenten onder glas	0,4	0,4
boomkwekerijgewassen	2,8	1,1
kale grond	0,6	0,3
overige akkerbouwgew.	0	10,2
overige gewassen	0	0,9

Van de oppervlakte grasland in het studiegebied werd in 1986 28% berekend. In het zuidelijk zandgebied kon in 1985 op 37,4% van de veehouderijbedrijven die gezamenlijk 42,2% van de totale oppervlakte grasland bezitten, worden berekend (CBS, 1985). De oppervlakte groenten in de open grond wordt bijna geheel berekend. De totale in 1986 berekende oppervlakte in het studiegebied wordt geschat op ca. 29% van de oppervlakte cultuurgrond. In het zuidelijk zandgebied kon in 1985 34,1% van de oppervlakte cultuurgrond worden berekend (CBS, 1985).

LEGENDA BIJ AFBEELDING 2 EN 3

MOERIGE GRONDEN [W]

Moetige podzolgronden: zandondergrond met duidelijke humuspodzol-B-horizont [p]
Dampodzolgronden
zand met minerale eerdlaag [z]

zwP

ZANDGRONDEN

Moderpodzolgronden [Y]	Humuspodzolgronden [H]		Eerdgronden [Z]		Textuur van de bovengrond		
	Veltpodzolgronden [n]	[q]	Laarpodzolgronden [n]	Enkeerdgronden hoge lage [g]	Gooreerdgronden [n]	Beekeerdgronden [g]	zandgrofheid lemigheid
Dikte (cm) van de humushoudende bovengrond of A1-horizont							
<30	<30		30-50 [c]	>50 [E]	15-30 [t]	30-50 [c]	
					1Zn33		
					cZn33		zeer fijn [3]
					1Zn35	1Zg35	zwak lemig [3]
					cZn35		sterk lemig [5]
					1Zn53		matig fijn [5]
					cZn53		zwak lemig [3]

GRONDWATERTRAPPENINDELING

Gemiddeld laagste grondwaterstand (cm-mv)	Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm-mv)	
	<40	40-80 >80
80-120	III	III*
>120	V	V*
(>160)		VI
		VII

Een * achter de code van II, III en V duidt op een "droger deel", d.w.z. met een gemiddeld hoogste grondwaterstand dieper dan 25 cm · mv.
(...): Waarde niet klasse-bepalend

OVERIGE ONDERSCHIEDINGEN

→	Vergraven
↓	Afgegraven
	Geen informatie op remote sensing beelden
	Bodemgrens
	Grondwatertrapgrens

3 GEBRUIKTE REMOTE SENSING OPNAMEN EN KARTERINGSEXPERIMENT

3.1 Toelichting op de gebruikte remote sensing opnamen

Voor het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van remote sensing in de landinrichtingspraktijk zijn diverse opnamen gemaakt. Tabel 3 geeft een overzicht van de in dit onderzoek toegepaste opnamen. De gebruikte multispectrale reflectieopnamen, warmtebeelden en false colour foto's zijn opgenomen op hoogtes van 2 en 4 km (4 km alleen op 14 augustus 1986), resulterend in een geometrische resolutie van respectievelijk 5 en 10 m en fotoschalen van respectievelijk 1 : 13 000 en 1 : 26 000.

Tabel 3 Toegepaste remote sensing opnamen bij het karterings-experiment

datum	opnamen
14 aug. 1986	multispectraal reflectiebeeld warmtebeeld false colour foto's
2 april 1987	multispectraal reflectiebeeld warmtebeeld false colour foto's
3 juli 1987	false colour foto's
6 april 1988	multispectraal reflectiebeeld warmtebeeld false colour foto's

Via opnamen in het voorjaar is getracht informatie over de ontwateringssituatie te verkrijgen, terwijl de zomeropnamen speciaal bestemd waren voor het verkrijgen van informatie over droogtegevoelige gebieden. In de zomer van 1986 is een vlucht uitgevoerd na een droge periode. Zowel in 1987 als in 1988 zijn opnamen gemaakt in het vroege voorjaar. In beide perioden ging een natte periode vooraf aan de luchtopnamen. Bovendien was het in het voorjaar van 1987 relatief koud. In 1987 is tevens getracht een opname later in het voorjaar te maken. Deze vlucht was bedoeld om verschillen in gewasopkomst waar te nemen om zodoende informatie te verkrijgen over de ontwateringssituatie. Vanwege het uitzonderlijk koude en natte weer in mei en juni 1987 kon deze vlucht pas op 3 juli worden uitgevoerd.

3.2 Karteringsexperiment en veldwerkzaamheden

In 1987 is van het studiegebied op de conventionele wijze een 1 : 10 000 bodemkartering uitgevoerd. Hierbij wordt gewerkt met een boordichtheid van 1 à 2 boringen per ha. Daarnaast is gedurende hetzelfde jaar een met remote sensing opnamen ondersteunde kartering uitgevoerd. Hiertoe zijn op een aantal van de beschikbare remote sensing beelden min of meer homogene vlakken onderscheiden (zie ook paragraaf 4.3). Per vlak zijn

de beschikbare remote sensing beelden min of meer homogene vlakken onderscheiden (zie ook paragraaf 4.3). Per vlak zijn vervolgens 1 of 2 boringen uitgevoerd. Bij deze kartering is er naar gestreefd het aantal boringen te beperken tot 1 per 3 à 4 ha. Tijdens het veldwerk zijn de veldwaarnemingen en de patronenkaarten gecombineerd tot een bodem- en grondwatertrappenkaart. Hierbij is niet alleen uitgegaan van profielkenmerken en van de uit de remote sensing opnamen afgeleide informatie, maar ook van landschappelijke kenmerken zoals maaiveldsligging en reliëf. Beide karteringen zijn door verschillende personen uitgevoerd. Bij beide karteringen is de standaardlegenda voor bodemkaarten schaal 1 : 10 000 aangehouden. De beide bodemkaarten zijn weergegeven in de afb. 2 en 3. De met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart is vergeleken met de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart.

Aan de hand van de resultaten van de vergelijking tussen beide bodemkaarten en ter ondersteuning van een nadere analyse van de relaties tussen van remote sensing opnamen afgeleide informatie en bodemkundige en hydrologische kenmerken zijn in juni 1988 ca. 60 aanvullende boringen gedaan.

Tijdens de beide voorjaarsvluchten in april 1987 en 1988 is verspreid over het studiegebied een groot aantal monsters genomen ter bepaling van het volumetrisch vochtgehalte (Droesen en Van Lieshout, 1988 en Droesen, 1990).

Tijdens veldwerk zijn de percelen aangegeven waar toepassing van beregening werd waargenomen. Daarnaast kon soms de toepassing van beregening worden afgeleid uit de warmtebeelden (zeer lage stralingstemperaturen) en/of false colour foto's (draaiende beregeningsinstallatie zichtbaar). In enkele gevallen is bij boeren naar de toepassing van beregening geïnformeerd.

4 INTERPRETATIE VAN DE REMOTE SENSING BEELDEN

4.1 Interactie van elektromagnetische straling met bodem en vegetatie

Voor een goed begrip van de toepassingsmogelijkheden van remote sensing technieken bij de kartering van bodemkundige en hydrologische kenmerken is het van belang enig inzicht te hebben in de interactie van elektromagnetische straling met de bodem en vegetatie. In deze paragraaf wordt daarom ingegaan op de reflectie van zonnestraling en de emissie van warmtestraling door bodem- en gewasoppervlakken.

4.1.1 Reflectie van zonnestraling door vegetatie en kale bodem

De reflectie van zonnestraling door vegetatie is afhankelijk van het golflengtegebied. In het zichtbare deel van het spectrum (0,3-0,7 μm) wordt de reflectie van zonnestraling door vegetatie in hoofdzaak bepaald door de aanwezigheid van diverse pigmenten, met name chlorophyl. Deze pigmenten absorberen een groot deel van de zichtbare straling. Daarnaast wordt de reflectie beïnvloed door verschillen in de toestand van het bladoppervlak (zoals beharing, waslaag) en de gewastrucuur.

In het golflengtegebied tussen 0,7 en ca. 1,3 μm wordt, afhankelijk van de structuur van het blad, tussen de 40 à 70% van de zonnestraling gereflecteerd, terwijl de rest door het blad heen gaat. De doorgelaten straling komt op onderliggende bladeren terecht, die ook weer een deel reflecteren en een deel doorlaten. Naarmate er meer bladeren onder elkaar voorkomen neemt de reflectie in het golflengtegebied 0,7-1,3 μm toe totdat bij 5 à 6 bladeren onder elkaar een verzadigingspunt wordt bereikt.

In het golflengtegebied tussen 1,3 en 2,5 μm wordt een groot deel van de opvallende zonnestraling geabsorbeerd door het water dat zich in de plantecellen bevindt.

De reflectie van zonnestraling door kale bodemoppervlakken is afhankelijk van het vochtgehalte, het organische stofgehalte, de textuur, de structuur en de mineralogische samenstelling van de toplaag en van de hoek van inval van de zonnestraling. De straling wordt uitsluitend gereflecteerd door een uiterst dun laagje aan het bodemoppervlak. De reflectie neemt af bij toenemende vocht- en organische stofgehalten, vergroting van de bodemruwheid en toenemende korrelgrootte. De mineralogische samenstelling heeft invloed op de reflectie omdat verschillende mineralen verschillende absorptiebanden hebben. Het effect van de mineralogische samenstelling op de reflectie is voor Nederlandse omstandigheden over het algemeen van geen betekenis.

4.1.2 Emissie van warmtestraling door vegetatie en kale bodem

Emissie van warmtestraling door kale bodem en vegetatie is afhankelijk van de oppervlaktetemperatuur en de emissiecoëfficiënt van het betreffende oppervlak. De emissiecoëfficiënt van kale bodemoppervlakken varieert afhankelijk van het vochtgehalte, het organische stofgehalte en de mineralogische samenstelling. De emissiecoëfficiënt van vegetatie is nagenoeg constant. De temperatuur van kale bodemoppervlakken is afhankelijk van meteorologische factoren en samenstelling, vochtgehalte, structuur en textuur van de bovengrond. De waargenomen bodemtemperatuur is die van een uiterst dun toplaagje. De temperatuur van een vegetatiedek is afhankelijk van meteorologische omstandigheden, gewasstype, gewashoogte en de gewasverdamping. De gewasverdamping kan op zijn beurt weer worden beïnvloed door de dikte, de samenstelling en het vochtgehalte van de bovengrond, de bewortelingsdiepte, de textuur van de ondergrond en de grondwaterstandsdiepte.

4.2 Vervaardiging van verdampingsbeelden

Door het opstellen van de energiebalans aan het aardoppervlak kan een relatie worden afgeleid tussen de gewas temperatuur en de gewasverdamping. Als een gewas goed van water is voorzien, wordt het grootste deel van de beschikbare energie gebruikt voor de verdamping. Wanneer tekort aan water in de wortelzone optreedt, neemt de gewasverdamping af. Hierdoor komt een hoger percentage van de stralingsenergie beschikbaar voor opwarming van bodem, gewas en atmosfeer. De toename in (gewas)temperatuur is waarneembaar op warmtebeelden. Met behulp van de volgende vergelijking kunnen voor zonnige dagen uit waargenomen gewas-temperaturen relatieve dagverdampingswaarden worden afgeleid (Thunnissen, 1984b):

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

Hierin zijn LE^{24} en LE_p^{24} respectievelijk de werkelijke en potentiële 24-uurs verdamping ($W.m^{-2}$) van een bepaald gewas, T_c en T_c^* (K) de daarmee overeenkomende gewas temperaturen afgeleid uit het warmtebeeld en B^r een calibratiecoëfficiënt (K^{-1}). De waarden van B^r kunnen worden afgeleid uit de windsnelheid op het opnametijdstip:

$$B^r = a + b.u_2 \quad (K^{-1}) \quad (2)$$

Hierin is u_2 de windsnelheid ($m.s^{-1}$) gemeten op een hoogte van 2 m boven het maaiveld van een vlak en open terrein. De coëfficiënten a en b zijn afhankelijk van gewasstype en -hoogte. Tabel 4 toont voor grasland en maïs waarden voor a en b . De windsnelheid kan worden verkregen van een naburig meteorolo-

gisch station. Gegevens over gewastype en gewashoogte kunnen worden afgeleid uit reflectiebeelden (Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost Gelderland, 1985).

Tabel 4 Waarden voor a en b uit vergelijking (2) voor grasland en mais met gewashoogte H (naar Thunnissen, 1984b)

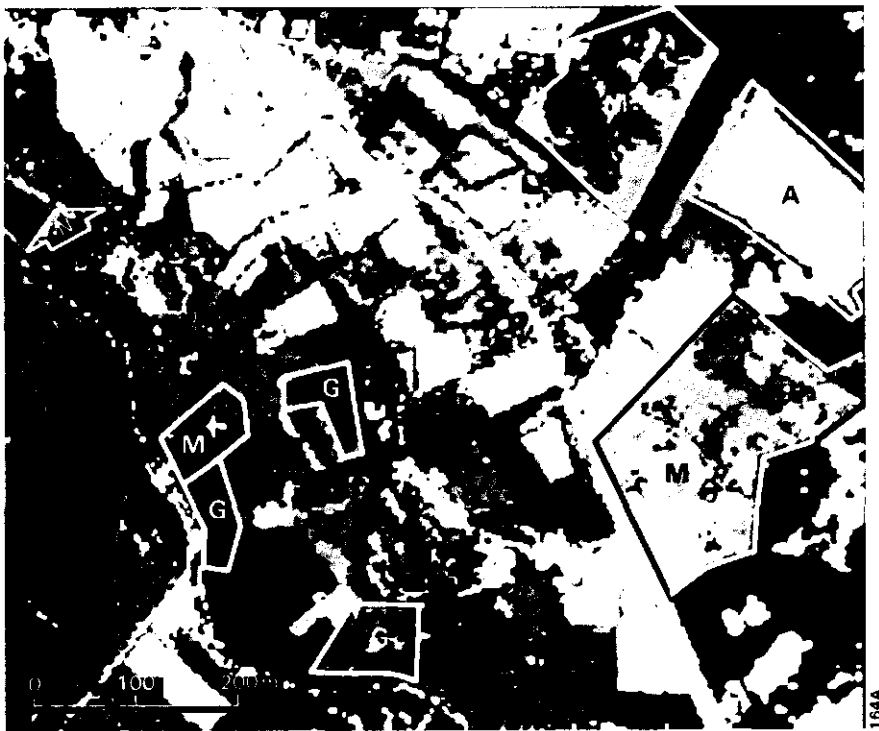
Gewas	H (m)	a (K ⁻¹)	b (K ⁻¹ . m . s)
Gras	< 0,15	0,050	0,010
Gras	> 0,15	0,050	0,017
Maïs	2,0	0,100	0,047

Door de kaart met gewastypen en -hoogten te combineren met het warmtebeeld is met behulp van de vergelijkingen (1) en (2) op automatische wijze een verdampingskaart voor het studiegebied samengesteld (Droesen en Van Lieshout, 1988). Hiervoor zijn de warmte- en reflectiebeelden van 14 augustus 1986 gebruikt. De verdampingskaart is alleen vervaardigd voor de belangrijkste landbouwgewassen in het studiegebied, te weten grasland en maïs. Bij toenemende verdroging van maïs gaan de bladeren krullen waardoor de bodembedekking afneemt. Onder die omstandigheden wordt de waargenomen oppervlaktetemperatuur mede bepaald door de relatief warme kale grond. Bij de bepaling van de gewasverdamping van maïs is hiervoor een correctie toegepast. Voor pas gemaaid grasland zijn geen verdampingswaarden afgeleid. Vanwege de geringe bodembedekking kan de gewas temperatuur niet voldoende nauwkeurig uit het warmtebeeld worden afgeleid.

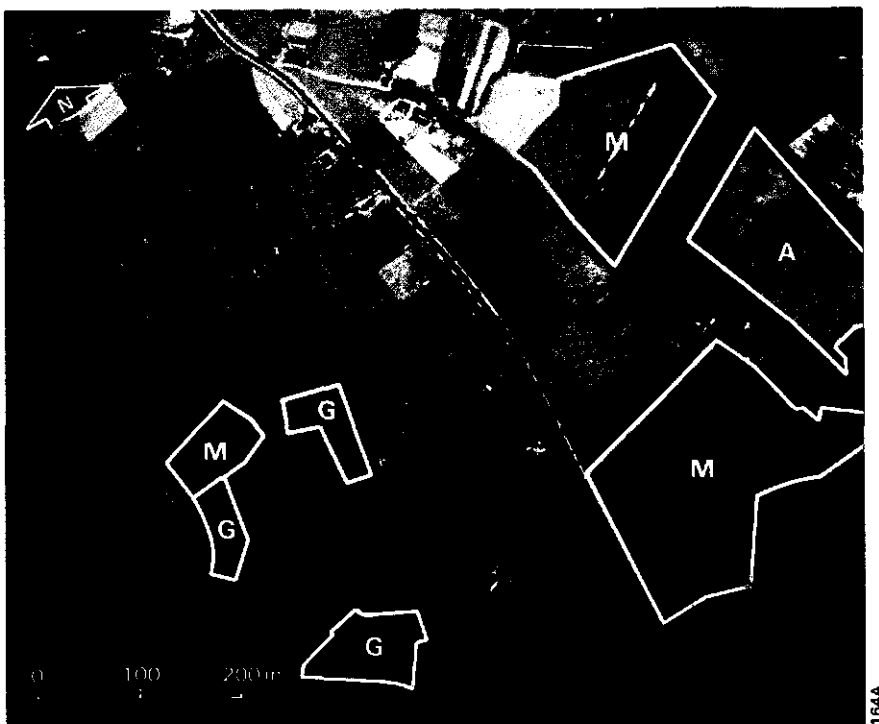
In afb. 4 is het verdampingsbeeld voor een deel van het studiegebied gegeven.

Tabel 5 Relatie tussen kleuren in afb. 4 en relatieve dagverdampingswaarden (LE^{24}/LE_P^{24})

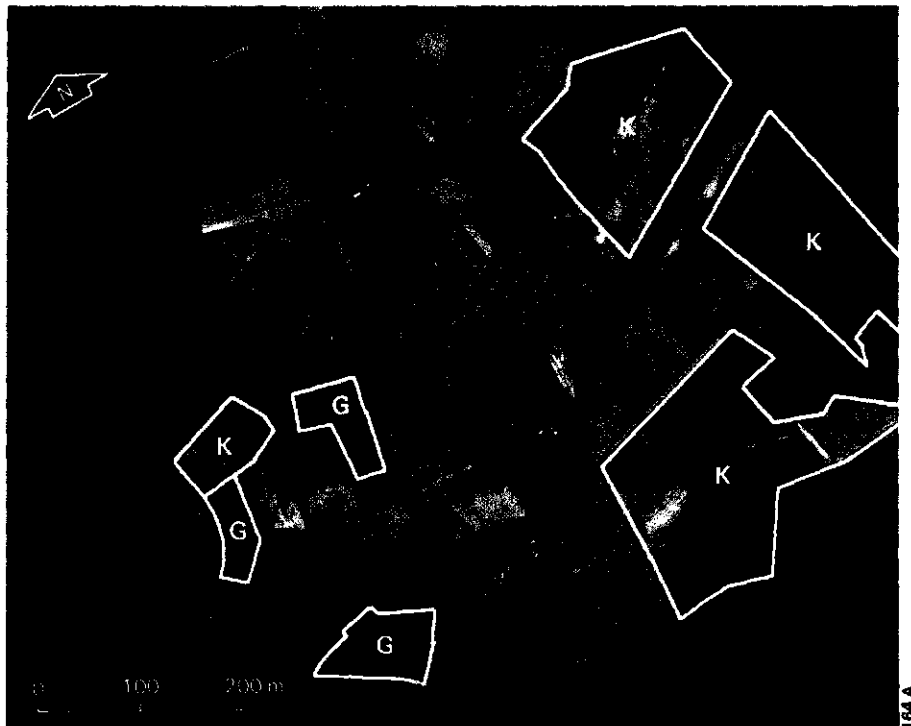
Kleur	LE^{24}/LE_P^{24}
donkerblauw	> 0,9
lichtblauw	0,8-0,9
donkergroen	0,7-0,8
lichtgroen	0,6-0,7
geel	0,5-0,6
oranje	0,4-0,5
rood	0,3-0,4
magenta	< 0,3
zwart	} niet geclassificeerd
wit	
lichtbruin	



Afb. 4 Uit remote sensing opnamen van 14 augustus 1986 afgeleid verdampingsbeeld van een deel van het studiegebied. De betekenis van de kleuren is gegeven in tabel 5. Op het beeld zijn enkele percelen met gras (G), maïs (M) en aardappelen (A) omlijnd.



Afb. 5 Op 14 augustus 1986 opgenomen false colour foto voor een deel van het studiegebied. Op de foto zijn enkele percelen met gras (G), maïs (M) en aardappelen (A) omlijnd.



Afb. 6 Op 2 april 1987 opgenomen false colour foto voor een deel van het studiegebied. Op de foto zijn enkele percelen met gras (G) en kale grond (K) omlijnd.

4.3 Vervaardiging van patronenkaarten uit remote sensing beelden

Ten behoeve van de met remote sensing opnamen ondersteunde bodemkartering zijn door visuele interpretatie van remote sensing beelden patronenkaarten samengesteld. Hierbij zijn de volgende beelden gebruikt:

- 14 augustus 1986: false colour foto's (afb. 5), warmtebeelden en de uit de reflectie- en warmtebeelden vervaardigde verdampingsbeelden (afb. 4)
- 2 april 1987: false colour foto's (afb. 6) en warmtebeelden.
- 3 juli 1987: false colour foto's.

De beschikbare digitale reflectiebeelden zijn niet gebruikt, omdat deze vrijwel dezelfde informatie bevatten als de false colour foto's. Het gebruik van foto's heeft dan bij visuele interpretatie de voorkeur vanwege de grotere geometrische nauwkeurigheid. Van de beelden van 14 augustus zijn voornamelijk de beelden opgenomen van een hoogte van 2 km gebruikt. De beelden opgenomen van een hoogte van 4 km bleken over het algemeen te weinig gedetailleerd voor de schaal waarop is gekarteerd (1 : 10 000). Bovendien was op deze beelden een nauwkeurige plaatsbepaling vaak niet mogelijk. Alleen voor een gebied van ca. 20 ha langs de oostelijke grens van het studiegebied, dat buiten het 2 km verdampingsbeeld valt, zijn de verdampingsbeelden van 4 km hoogte gebruikt. Voor dit gebied heeft de patronenkaart een geringere nauwkeurigheid.

Op de betreffende beelden zijn vlakken met duidelijke verschillen in reflectie, stralingstemperatuur of verdamping omlijnd en overgebracht op een kaart met schaal 1 : 5000. Op het verdampingsbeeld moeten twee aangrenzende vlakken minimaal twee verdampingsklassen van elkaar verschillen (zie afb. 4). Binnen één vlak kunnen dus twee opeenvolgende verdampingsklassen voorkomen. De grenzen tussen de verdampingsklassen zijn vrij willekeurig gekozen. Een andere keuze zou tot een enigszins andere patronenkaart kunnen leiden.

Op de false colour foto's van 14 augustus 1986 blijken voornamelijk binnen de mais- en aardappelpercelen patronen waarneembaar (afb. 5). Bij mais en in wat mindere mate bij aardappelen treedt onder droge omstandigheden als gevolg van vochttekort structuurverandering van het gewas op, waardoor de reflectie van zonnestraling verandert. Binnen graslandpercelen zijn slechts in enkele gevallen patronen waarneembaar. Deze zijn het gevolg van hergroeiverschillen die optreden na het maaien.

Op de false colour foto's van 2 april 1987 zijn patronen onderscheiden, wanneer binnen percelen duidelijke verschillen in reflectie-intensiteit waarneembaar zijn (afb. 6). Wanneer de verschillen in reflectie perceelsgebonden zijn dan worden deze verschillen namelijk over het algemeen niet veroorzaakt door bodemkundig/hydrologische factoren, maar door perceelsgebonden verschillen in gewassoort, biomassa, bemesting of groundbewerking. Binnen graslandpercelen zijn weinig duidelijke patronen waarneembaar. Binnen een aantal percelen met kale grond zijn duidelijke verschillen in reflectie waarneembaar. Binnen de meeste (delen van) kale grond percelen zijn echter geen (relevante) patronen zichtbaar, doordat hetzij de percelen min of meer homogeen zijn hetzij eventueel aanwezige informatie verloren is gegaan doordat de grond recent bewerkt is of drijfmest is uitgereden. Binnen de percelen, waarin wel patronen waarneembaar zijn, verlopen de overgangen tussen de delen met reflectieverschillen vaak zeer geleidelijk, zodat de patronen op meerdere manieren zijn te begrenzen.

Het hierboven gestelde is ook in grote lijnen van toepassing op de false colour foto's van 3 juli 1987 en de warmtebeelden van 2 april 1987, zij het dat er op de laatste beelden natuurlijk geen sprake is van reflectie-verschillen maar van temperatuurverschillen.

Het is duidelijk dat remote sensing opnamen de situatie op een bepaald tijdstip weergeven. Doordat verdampingswaarden en vochtgehalten in de tijd veranderen, zal ook de ligging van patronen in de tijd veranderen. Verder wordt, omdat de mate van verdampingsreductie gewasafhankelijk is, de ligging van de patronen op het verdampingsbeeld tevens beïnvloed door de aanwezige gewassen. Het bovenstaande betekent dat het aantal en de omgrenzing van de patronen afhankelijk is van het opnametijdstip. Uit ervaringen in Oost-Gelderland is wel gebleken dat onder droge omstandigheden in verschillende jaren dezelfde patronen

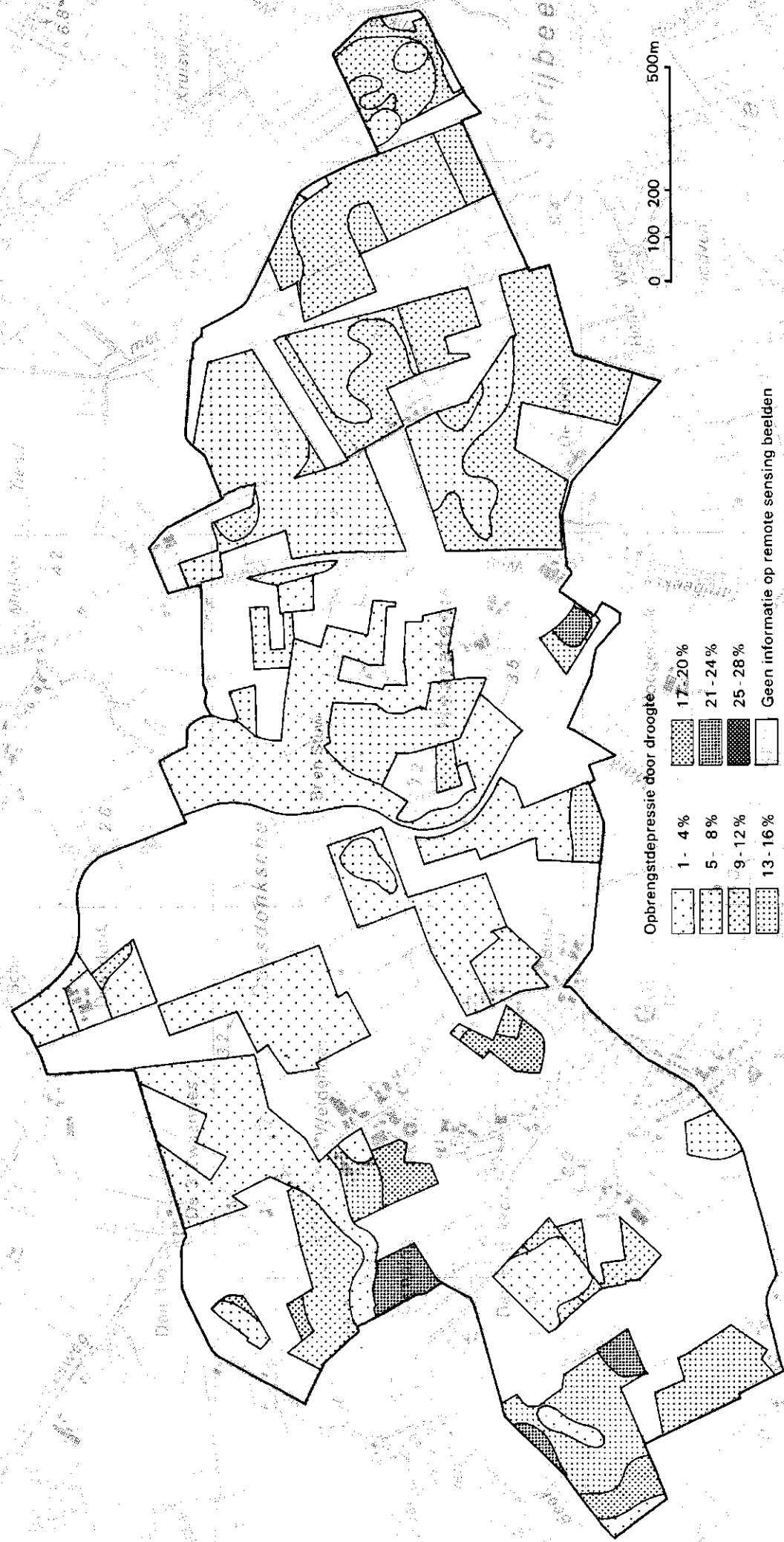
steeds weer terugkeren (Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland, 1985).

Uit de verdampingsbeelden kon slechts voor ca. 50% van de oppervlakte cultuurgrond informatie worden afgeleid. De oppervlakte waarover uit de overige beelden informatie kon worden afgeleid is echter nog aanzienlijk geringer. In totaal kon voor 57% van de oppervlakte cultuurgrond een patronenkaart uit de remote sensing opnamen worden afgeleid. Toepassing van berekening en een onvolledige bodembedekking (pas gemaaid gras en veel tuinbouwgewassen) zijn de belangrijkste redenen waarom uit de verdampingsbeelden geen informatie kon worden afgeleid. De aanwezigheid van vegetatie, grondbewerking en het uitrijden van drijfmest zijn de belangrijkste redenen waarom de voorjaarsbeelden geen informatie verschaften.

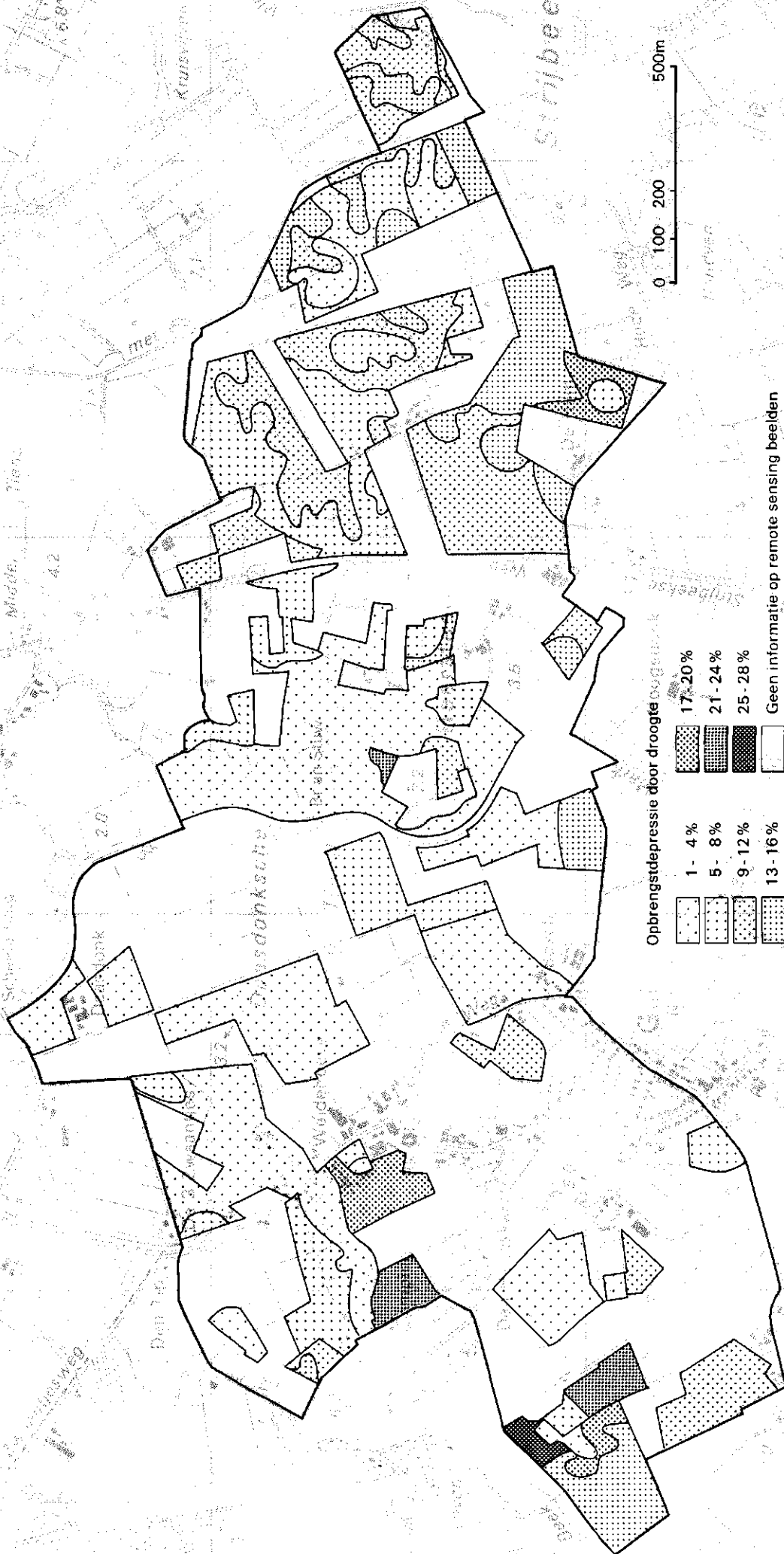
5 VERVAARDIGING VAN OPBRENGSTDEPRESSIEKAARTEN

Met behulp van de HELP-tabellen (Werkgroep HELP-tabel, 1987) zijn zowel de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart als die vervaardigd met ondersteuning van remote sensing beelden vertaald naar opbrengstdepressies door wateroverlast en vochttekort (afb. 7 en 8). Deze tabellen worden bij de evaluatie van landinrichtingsprojecten gebruikt voor het voorspellen van de effecten van waterhuishoudkundige werken op de opbrengst van landbouwgewassen. De uit de HELP-tabellen afgeleide opbrengstdepressiepercentages zijn samengevoegd in klassen met een klassebreedte van 4% opbrengstdepressie. De opbrengstdepressies moeten worden geïnterpreteerd als langjarig gemiddelde waarden. Bij de bepaling van de opbrengstdepressies is rekening gehouden met de gewassoort (gras of maïs).

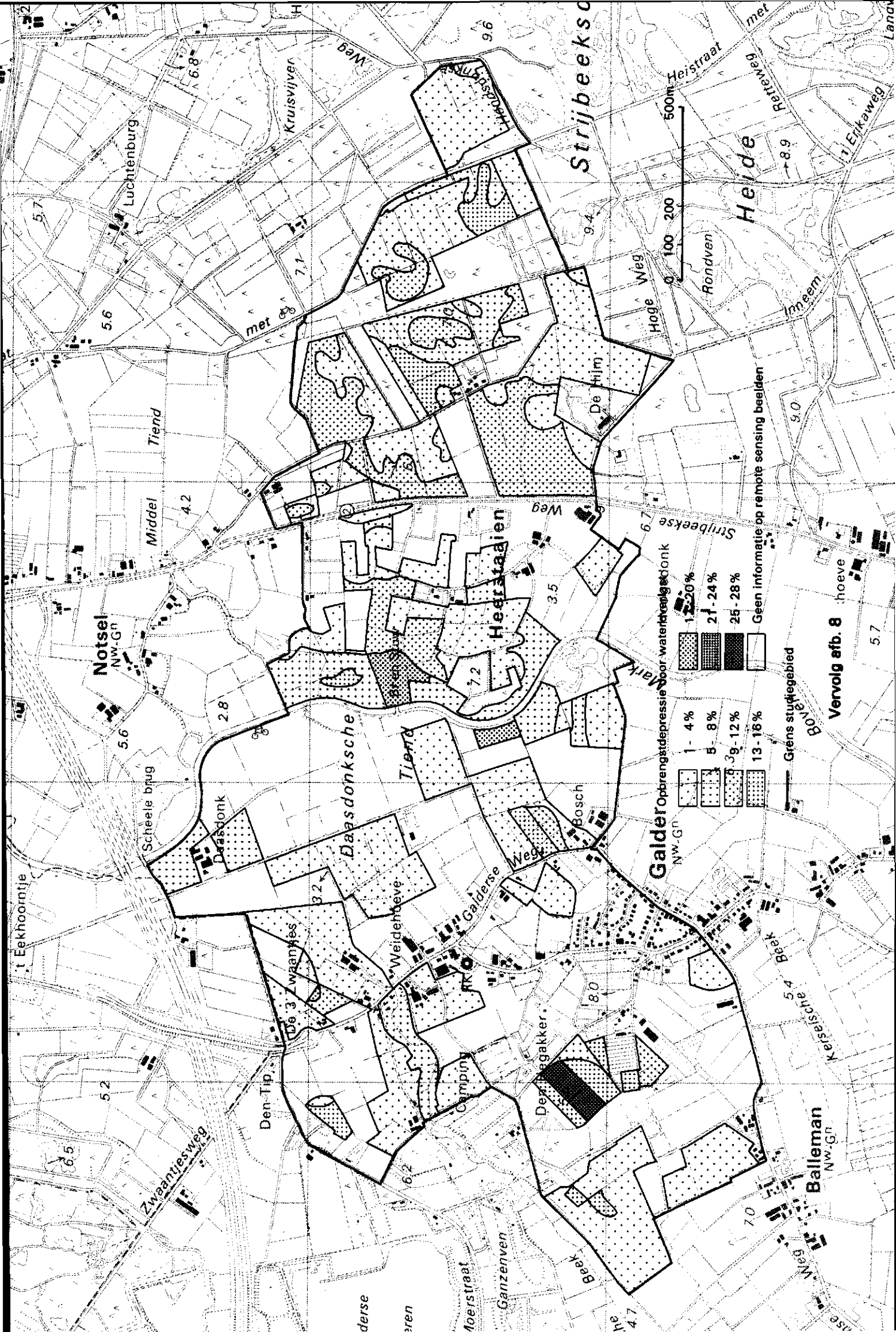
Per kaartvlak van de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart is een gemiddelde GHG en GLG bepaald door middeling van de geschatte waarden van de GHG en GLG van alle in het betreffende kaartvlak liggende boorpunten. Aan de hand van het bodemtype en de gemiddelde waarden van de GHG en de GLG zijn vervolgens voor ieder kaartvlak de opbrengstdepressies bepaald. Per kaartvlak van de met ondersteuning van remote sensing beelden vervaardigde bodemkaart is meestal slechts een boorpunt aanwezig. Voor een aantal van deze boorpunten is geen schatting van de GLG beschikbaar. In die gevallen zijn aan de betreffende boorpunten de GLG waarden toegewezen van boringen die zijn uitgevoerd in het kader van de conventionele kartering of van de aanvullende kartering in juni 1988 (zie par. 3.2). Hiervoor is steeds het dichtstbij gelegen boorpunt in het betreffende kaartvlak genomen. Aan de hand van de geschatte of toegewezen waarden voor de GHG en GLG en het bodemtype zijn vervolgens voor ieder kaartvlak de opbrengstdepressies bepaald.



Afb. 7 Kaarten met de opbrengstdepressies door droogte (7a) en wateroverlast (7b) die zijn afgeleid van de op conventionele wijze vermaarde bodemkaart. De kaarten zijn alleen weergegeven voor het deel van het



Afb. 8 Kaarten met de opbrengstdepressies door droogte (8a) en wateroverlast (8b) die zijn afgeleid van de met



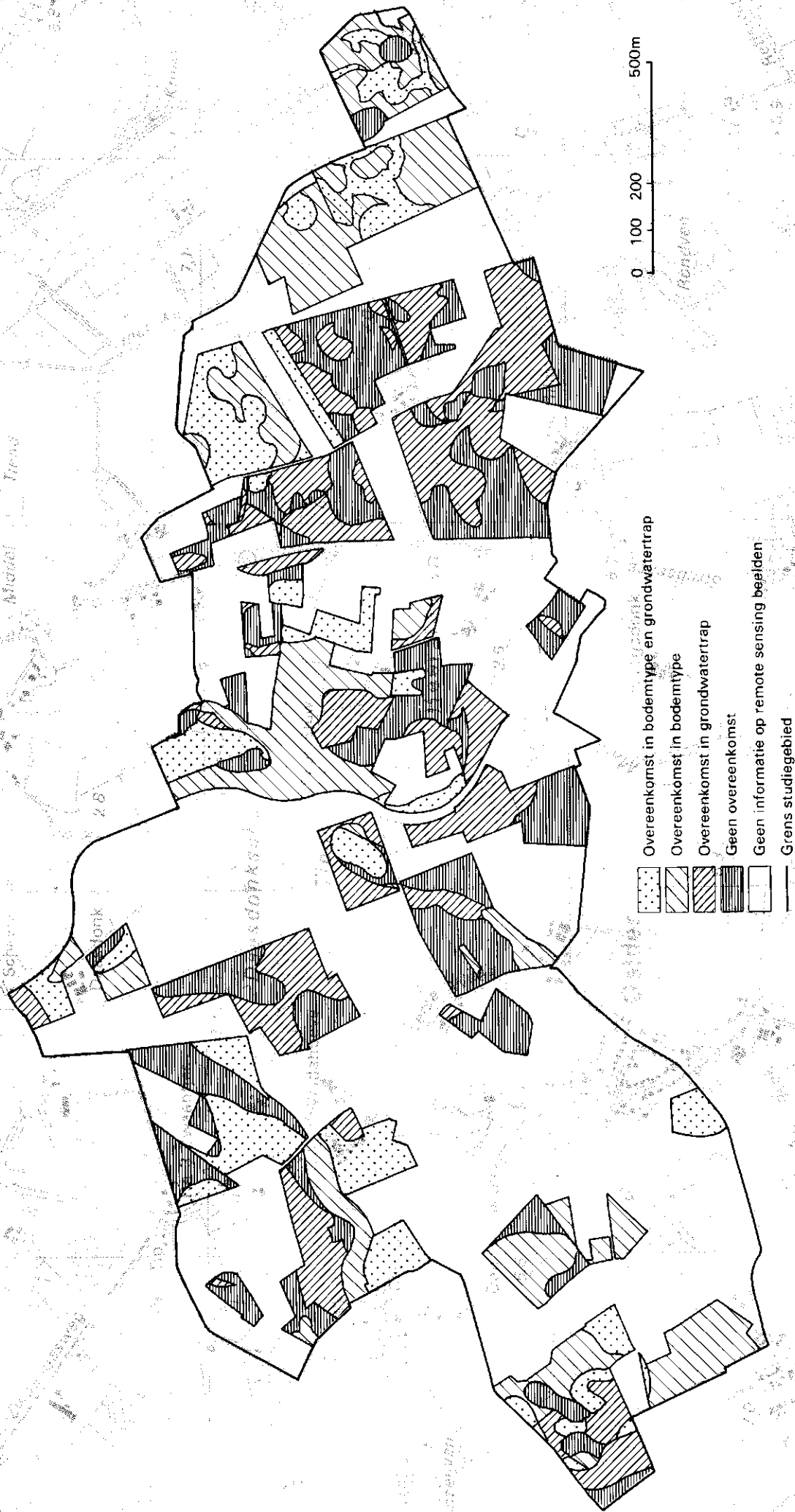
6 VERGELIJKING VAN DE OP CONVENTIONELE WIJZE VERKREGEN
BODEMKAARTEN MET DIE VERKREGEN MET ONDERSTEUNING VAN
REMOTE SENSING OPNAMEN

De bodemkaarten die het resultaat zijn van de conventionele kartering en de met remote sensing opnamen ondersteunde kartering zijn weergegeven in respectievelijk afb. 2 en 3. Het totale gebied waarvoor de met remote sensing opnamen ondersteunde kartering is uitgevoerd bedraagt 57% van de oppervlakte cultuurgrond (zie par. 4.3), hetgeen overeenkomt met ca. 184 ha. In dit gebied zijn bij de op de conventionele wijze uitgevoerde kartering 254 boringen uitgevoerd. Hiervan zijn 70 boringen niet volledig beschreven. Deze zijn uitgevoerd om de ligging van een bodem- of grondwatertrapgrens vast te stellen. De boringsdichtheid bedraagt dus 1,38 (boringen per ha) wanneer alle boringen worden beschouwd en 1 wanneer alleen de volledig beschreven boringen worden beschouwd. Bij de met remote sensing opnamen ondersteunde kartering zijn 86 boringen uitgevoerd. Dit komt overeen met een boringsdichtheid van 0,47. Afhankelijk van de omvang van de patronen op de remote sensing beelden varieert de boringsdichtheid bij de met remote sensing opnamen ondersteunde kartering sterk over het gebied.

In eerste instantie is nagegaan in hoeverre de vlakinformatie (bodemtype en grondwatertrap) en de ligging van grenzen op beide kaarten met elkaar overeenkomen. In afb. 9 is aangegeven waar zowel bodemtype als grondwatertrap met elkaar overeenkomen, waar óf bodemtype óf grondwatertrap overeenkomt en waar in het geheel geen overeenkomst in bodemtype en grondwatertrap aanwezig is. Het blijkt dat de overeenkomst in vlakaanduiding tussen beide kaarten vrij matig is. Hierbij moet wel worden aangetekend dat geringe verschillen in profielbeschrijving (bijv. alleen verschil in leemgehalte of in GHG) al kunnen leiden tot verschillende vlakcodes. Slechts in enkele gevallen vallen grenzen tussen kaartvlakken op beide bodemkaarten samen. De overeenkomst in de ligging van grenzen is dus zeer gering.

Om de oorzaak van de geringe overeenkomst in vlakaanduiding tussen de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart en die vervaardigd met ondersteuning van remote sensing beelden vast te stellen is de boorpuntinformatie op grond waarvan de bodem- en grondwatertrappencodes zijn toegekend nader bekeken. Het blijkt dat de verschillen in vlakaanduiding tussen beide kaarten als volgt kunnen worden verklaard:

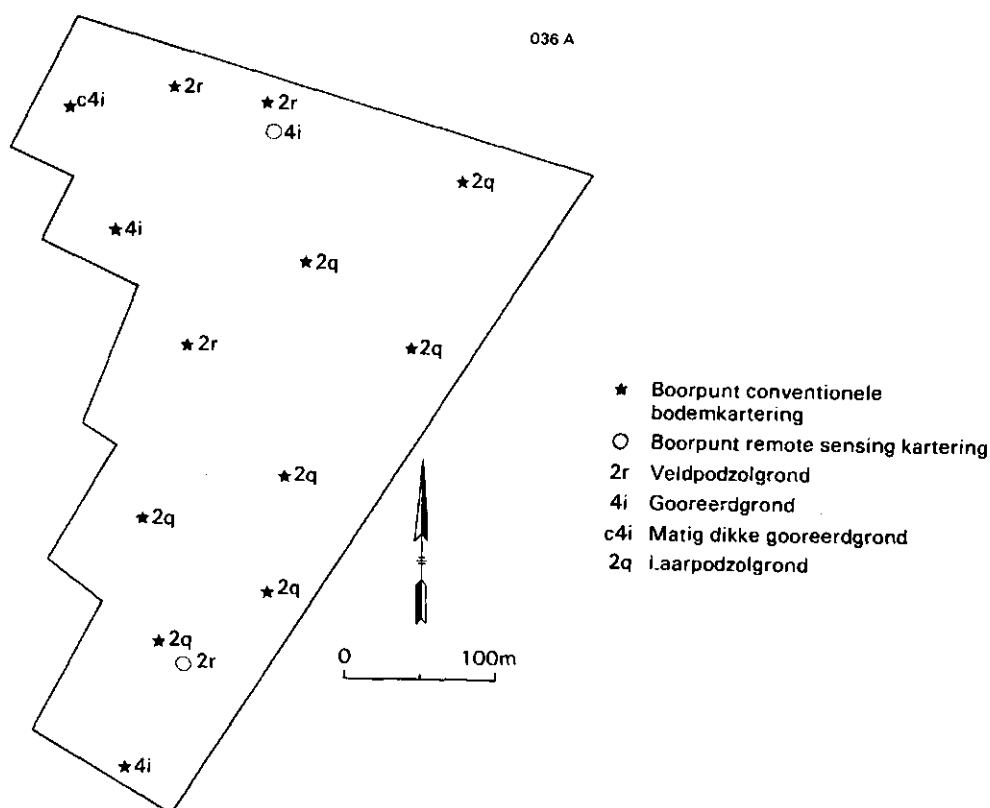
- Op de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart komen binnen vrijwel ieder kaartvlak oppervlakken voor waarvan de profielopbouw en/of grondwatertrap niet binnen de omschrijving valt van de eenheid waartoe dit kaartvlak behoort en die in de legenda wordt gegeven. Zo komen bijvoorbeeld binnen een vlak van de bodemeenheid veldpodzolgronden vaak ook punten voor die als laarpodgronden en dunne en matig dikke



Afb. 9 Overeenkomst in bodemtype en/of grondwatertrap tussen de op conventionele wijze en met ondersteuning

gooreerdgronden kunnen worden geclassificeerd en komen binnen een complex met enkeerdgronden punten voor die als laarpodzolgronden en matig dikke gooreerdgronden kunnen worden geclassificeerd. Dit zijn de zogenaamde kaartonzuiverheden. Hoewel deze onzuiverheden binnen een bepaald vlak samen vaak aanzienlijke oppervlakten beslaan, zijn de afzonderlijke oppervlakken meestal te klein om te kunnen worden weergegeven op schaal 1 : 10 000. Bij de met remote sensing opnamen ondersteunde kartering blijkt in veel gevallen te zijn geboord binnen een kaartonzuiverheid. Voor 59% van de op de remote sensing beelden waarneembare vlakken is dit de oorzaak of een van de oorzaken voor het niet overeenkomen van de vlak-aanduiding op beide kaarten. Dit duidt er op dat we hier te maken hebben met een heterogeen gebied met grote variatie in bodemkundige en hydrologische eigenschappen op korte afstand.

Ter illustratie van de bodemkundige variabiliteit is in afb. 10 voor een perceel in het studiegebied de ligging van de boorpunten op de beide bodemkaarten weergegeven. Per boorpunt is het subgroepdeel van de toegewezen bodemcode gegeven. Alle boorpunten hebben een zwak lemige en matig fijnzandige bovengrond. Op de conventionele bodemkaart valt dit perceel binnen een laarpodzolvlak en op de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart binnen een veldpodzolvlak.



Afb. 10 De ligging van de boorpunten bij de op conventionele wijze en met ondersteuning van remote sensing opnamen uitgevoerde bodemkartering voor een perceel in het studiegebied. Per boorpunt is het subgroepdeel van de toegewezen bodemcode gegeven.

- In het studiegebied komen met name in het gebied met jonge ontginningen op grote schaal gronden voor waarvan het profiel als gevolg van profielverbeteringswerkzaamheden is verstoord. Wanneer bij podzolgronden en gooreerdgronden de humeuze bovengrond tot dieper dan 30 cm is vermengd met het onderliggende B- en/of C-materiaal, dan worden deze gronden soms als veldpodzol-, respectievelijk dunne gooreerdgrond en soms als laarpodzol-, respectievelijk matig dikke gooreerdgrond benoemd. In principe moet aan deze punten de code van het oorspronkelijke profiel worden toegekend. Uit de profielbeschrijving is niet altijd eenduidig af te leiden wat het oorspronkelijke profiel is geweest. Bovendien worden aan punten met nagenoeg dezelfde profielopbouw soms verschillende codes toegewezen. Blijkbaar is de interpretatie van vergraven gronden aan minder strakke regels gebonden en speelt bij de toekenning van een code ook andere informatie over het gebied een rol. Verder is in vergraven percelen het aangetroffen bodemprofiel sterk afhankelijk van de plaats waar wordt geboord. Voor 12% van de op de remote sensing beelden waarneembare vlakken heeft de grote variatie in bodemkundige eigenschappen en de interpretatie van boringen in vergraven percelen vermoedelijk invloed op het niet overeenkomen van vlakaanduidingen op beide kaarten.
- Verschillen in bodemtype en grondwatertrap komen vaak niet tot uiting in verschillen in reflectie of stralingstemperatuur. Hierdoor kunnen naast het aangeboorde bodemtype en de gevonden grondwatertrap nog andere bodemtypes en/of grondwatertrappen voorkomen binnen hetzelfde vlak op de uit remote sensing opnamen afgeleide patronenkaart. Voor 34% van de op de remote sensing beelden waarneembare vlakken is dit de oorzaak of een van de oorzaken voor het niet overeenkomen van de vlakaanduiding op beide kaarten.
- Uit vergelijking van vlak bij elkaar (d.w.z. binnen ca. 25 m van elkaar) liggende, door verschillende karteerders uitgevoerde boringen blijkt dat er soms verschillen kunnen optreden tussen de geschatte bodemkundige en hydrologische parameters. In tegenstelling tot de karteerder die de met remote sensing opnamen ondersteunde kartering uitvoert, heeft de karteerder die de conventionele kartering uitvoert vaak al meerdere boringen in de directe omgeving uitgevoerd. Hierdoor beschikt deze karteerder over meer voorkennis over de bodemopbouw en grondwaterstandsfluctuatie in de omgeving, waardoor de bodemkundige en hydrologische parameters nauwkeuriger kunnen worden geschat. Daarnaast kunnen, met name wanneer de profielkenmerken waarop de schatting mede is gebaseerd niet duidelijk waarneembaar zijn, schattingsverschillen tussen karteerders een rol spelen.

Omdat in dit gebied de profielopbouw sterk kan variëren over korte afstand kan voor de aangetroffen verschillen in bodemkundige kenmerken tussen dicht bij elkaar liggende boringen niet zonder meer worden vastgesteld of er sprake is van schattingsverschillen.

Soms worden er in vlak bij elkaar liggende boringen aanzienlijke verschillen in GHG en/of GLG aangetroffen, welke op

kunnen lopen tot enkele tientallen cm. Deze verschillen kunnen vaak gedeeltelijk worden verklaard doordat nooit twee maal precies op dezelfde plaats zal zijn geboord. Vaak zijn de verschillen tussen de geschatte waarden van de GHG en/of GLG echter groter dan hydrologisch verklaarbaar is. De verschillen zijn dan veroorzaakt door verschil in voorkennis en/of door schattingsverschillen tussen de karteerders. Voor ca. 20% van de op de remote sensing beelden waarneembare vlakken is dit vermoedelijk de oorzaak of een van de oorzaken voor het niet overeenkomen van vlakaanduidingen op beide kaarten.

De bovengenoemde percentages zijn samen meer dan 100%. Dit komt doordat meerdere factoren gelijktijdig verantwoordelijk kunnen zijn voor het niet overeenkomen van vlakaanduidingen op beide kaarten. De vier gegeven redenen ter verklaring van de verschillen in vlakaanduiding tussen beide bodemkaarten zijn geheel of gedeeltelijk het gevolg van de beperking van het aantal boringen bij de met remote sensing opnamen ondersteunde kartering. Daarnaast spelen de aanwezigheid van vergraven gronden, verschil in voorkennis tussen karteerders en schattingsverschillen een rol.

Zoals hiervoor reeds is vermeld komt de ligging van de grenzen tussen kaartvlakken op de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart slechts in geringe mate overeen met de ligging van de grenzen tussen kaartvlakken op de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart. Voor een deel wordt dit veroorzaakt doordat kaartvlakken vaak niet van elkaar verschillen in vochtleverantie aan het gewas en daarmee in reflectie en temperatuur van het gewasoppervlak. Daarnaast worden veel overgangen in reflectie en temperatuur van het gewas en bodemoppervlak veroorzaakt door variatie van bodemkundige en hydrologische eigenschappen binnen kaartvlakken. Bovendien is de ligging van grenzen op de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart grotendeels gebaseerd op de omgrenzing van patronen op de remote sensing opnamen. Doordat overgangen tussen verschillen in reflectie en temperatuur vaak geleidelijk verlopen, gebeurt het omgrenzen van patronen gedeeltelijk volgens subjectieve criteria (zie par. 4.3). Hierdoor kunnen verschillende personen tot een enigszins andere interpretatie van de ligging van patronen komen. Daarbij is bovendien van belang dat remote sensing opnamen de situatie op een bepaald tijdstip weergeven en dat de mate van verdampingsreductie gewasafhankelijk is. Doordat verdampingswaarden en vochtgehalten in de tijd veranderen, zal ook de ligging van patronen in de tijd veranderen. Uit ervaringen in Oost-Gelderland is wel gebleken dat onder droge omstandigheden in verschillende jaren dezelfde patronen steeds weer terugkeren (Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland, 1985). De mate van verdroging en de precieze ligging van de grenzen tussen verdampingsklassen zijn echter mede afhankelijk van de voorafgaande meteorologische omstandigheden en de aanwezige gewassen. Tenslotte kunnen, wanneer grenzen mede zijn getrokken

aan de hand van landschappelijke kenmerken, verschillen in de ligging van grenzen ook worden beïnvloed door interpretatieverschillen tussen karteerders.

Concluderend kan worden gesteld dat de uit remote sensing beelden afgeleide verschillen in gewasverdamping en in reflectie en temperatuur van het aardoppervlak slechts in zeer beperkte mate overeenkomen met verschillen in bodemtype en/of grondwatertrap zoals deze worden weergegeven op een kaart met schaal 1 : 10 000. De vergelijking tussen de op conventionele wijze en de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaarten wordt echter beïnvloed door het optreden van niet te vermijden schattings- en interpretatieverschillen tussen karteerders.

Om meer inzicht te krijgen in wat nu wel de betekenis is van de op remote sensing opnamen waarneembare verschillen in reflectie en stralingstemperatuur en daaruit afgeleide verschillen in verdamping zijn twee wegen bewandeld. In de eerste plaats is onderzocht of er relaties bestaan tussen verschillen in gewasverdamping, reflectie of stralingstemperatuur en in het veld per boorpunt geschatte bodemkundige en hydrologische kenmerken (hoofdstuk 7). In de tweede plaats is gekeken of een vertaling van kaarteenheden naar opbrengstdepressies door droogte en wateroverlast resulteert in kaarten die beter met elkaar overeenkomen. Hiertoe is gebruik gemaakt van de zogenaamde HELP-tabellen. De kaart die de opbrengstdepressie door droogte weergeeft is bovendien vergeleken met de uit remote sensing opnamen afgeleide verdampingskaart (hoofdstuk 8).

7 RELATIES TUSSEN UIT REMOTE SENSING OPNAMEN AFGELEIDE INFORMATIE EN BODEMKUNDIGE EN HYDROLOGISCHE EIGENSCHAPPEN

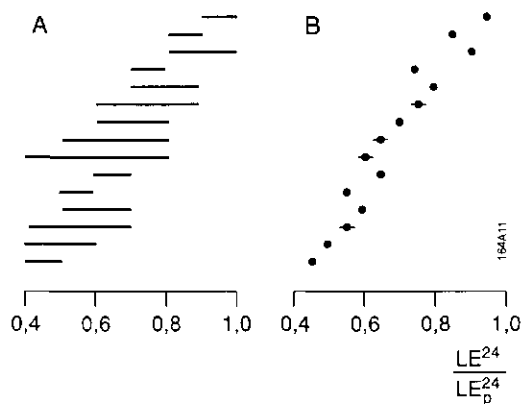
De geringe overeenkomst tussen de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart en die vervaardigd met ondersteuning van remote sensing opnamen wordt onder andere veroorzaakt door de aanwezigheid van bodemkundige en hydrologische variabiliteit binnen kaarteenheden en door interpretatieverschillen bij vergraven gronden (hoofdstuk 6). Met deze factoren kan rekening worden gehouden door bij de vergelijking van de bodemkaart met patronen op de remote sensing opnamen niet langer uit te gaan van kaarteenheden maar van per boorpunt geschatte bodemkundige en hydrologische kenmerken. Omdat de verdampingsbeelden verreweg de meeste informatie verschaffen (par. 4.3) is de meeste aandacht geschonken aan de analyse van relaties tussen verdampingswaarden op 14 augustus 1986 en aanwezige bodemkundige en hydrologische eigenschappen. In par. 7.1 wordt hierop ingegaan. De relaties tussen de uit de remote sensing opnamen uit het voorjaar van 1987 en 1988 afgeleide reflectie- en temperatuurwaarden enerzijds en aanwezige bodemkundige en hydrologische kenmerken anderzijds worden beschouwd in par. 7.2. Aan de hand van de gevonden relaties en een aanvullend veldbezoek konden tenslotte enkele grenzen op de bodemkaart worden bijgesteld (par. 7.3).

Om de analyse van de relaties tussen van remote sensing opnamen afgeleide informatie en bodemkundige en hydrologische kenmerken voldoende te kunnen onderbouwen was er om verschillende redenen behoefte aan aanvullende boringen. Zo was van veel boorpunten geen informatie beschikbaar over de GLG, omdat slechts tot 1.2 m - mv. is geboord. Daarnaast konden voor een aantal boorpunten op plekken met sterke variatie in de verdampingswaarden geen nauwkeurige verdampingswaarden uit het verdampingsbeeld worden afgeleid. Tenslotte zijn op een aantal plaatsen, gezien de aanwezige profielopbouw, onverwacht hoge of lage verdampingswaarden aangetroffen, hetgeen een extra boring ter controle wenselijk maakte. Daarom zijn in juni 1988 ca. 60 aanvullende boringen gedaan.

7.1 Uit remote sensing opnamen afgeleide verdampingswaarden en bodemkundige en hydrologische kenmerken

De verdamping van gewassen is mede afhankelijk van het vochtleverend vermogen van de bodem. Onderzocht is in hoeverre de belangrijkste bodemkundige en hydrologische kenmerken, die het vochtleverend vermogen bepalen, gecorreleerd zijn met de uit remote sensing opnamen afgeleide verdampingswaarden.

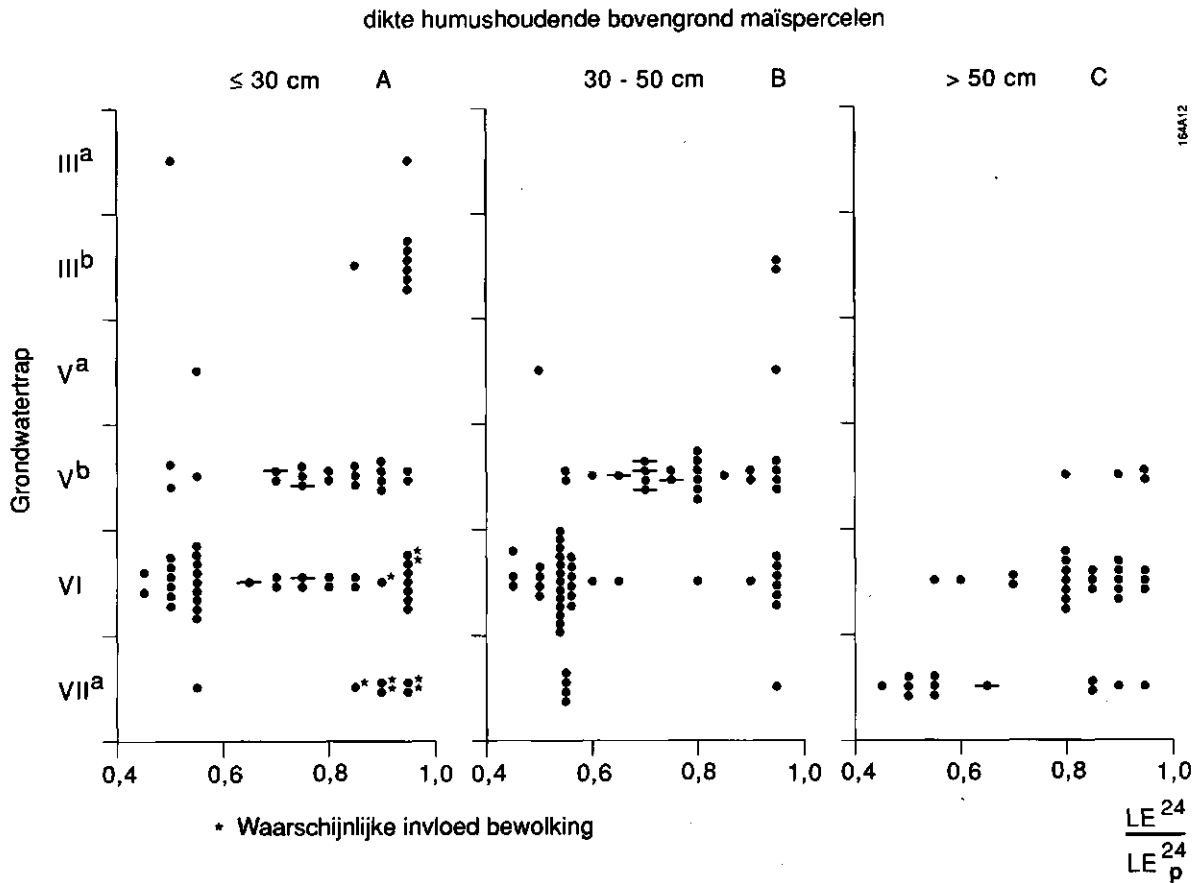
In het deel van het studiegebied, waarvoor het verdampingsbeeld informatie verschaft, is voor ieder boorpunt de op 14 augustus 1986 opgetreden relatieve verdampingswaarde afgeleid uit het verdampingsbeeld. Op het verdampingsbeeld is de verdamping weergegeven als percentage van de potentiële verdamping. Hierbij zijn klassen van 10% aangehouden. Wanneer de verdampingswaarde ter plaatse sterk varieerde over korte afstand zijn meerdere verdampingsklassen aan een boorpunt toegekend. Ten behoeve van de overzichtelijkheid zijn de relatieve verdampingswaarden per boorpunt niet als een traject weergegeven maar als de gemiddelde waarde van de boven- en ondergrens van het betreffende verdampingstraject (afb. 11). Wanneer het toegewezen verdampingstraject drie of meer verdampingsklassen beslaat dan is dat aangegeven met een dwarsstreepje.



Afb. 11 De uit het verdampingsbeeld afgeleide relatieve verdampingswaarden ($\frac{LE^{24}}{LE_p^{24}}$) (11a) en de schematisering van de verdampingswaarden die is gebruikt bij de analyse van de verdampingsbeelden (11b).

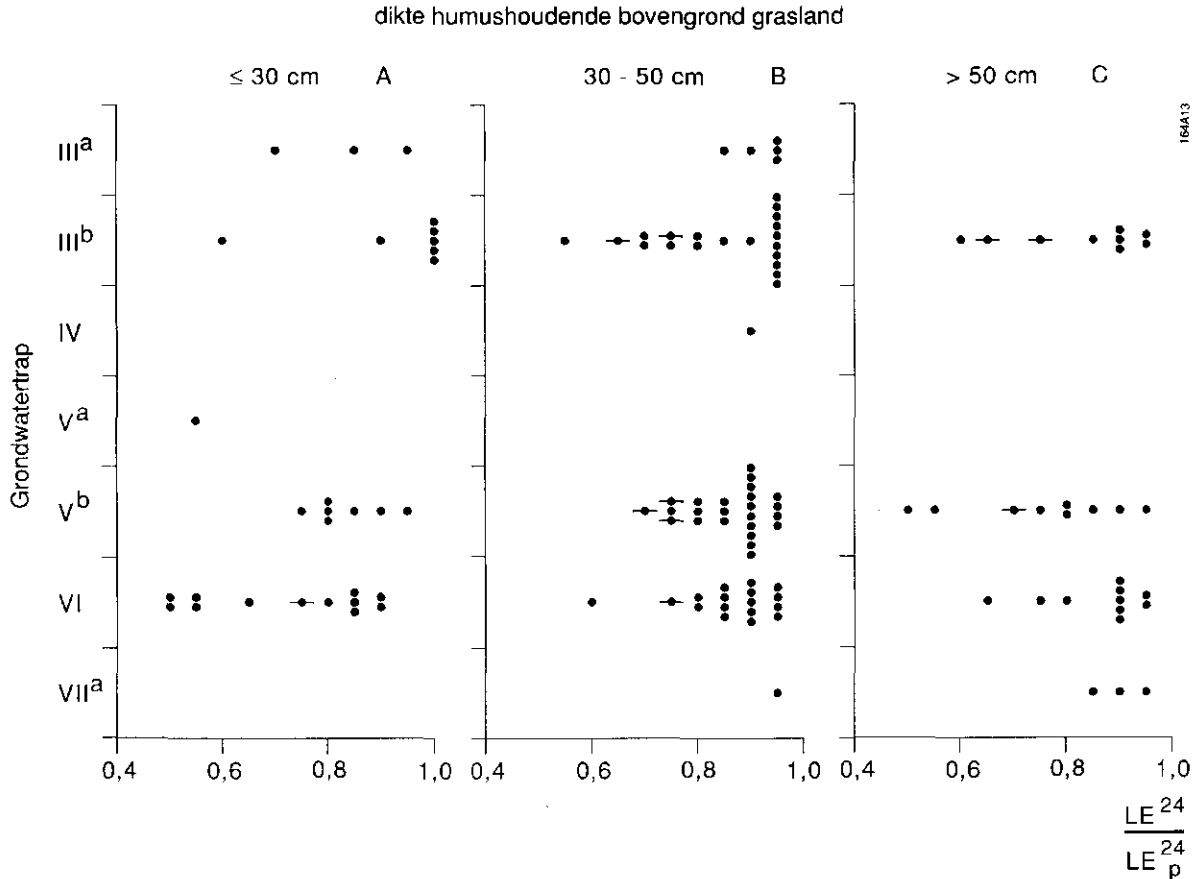
Belangrijke factoren die het vochtleverend vermogen van de bodem bepalen en die direct van de bodemkaart kunnen worden afgeleid zijn de dikte van de humushoudende bovengrond en de grondwatertrap. Daarom is in eerste instantie nagegaan wat het verband is tussen deze factoren en de gewasverdamping. Hiertoe zijn bodemtypen die gekenmerkt worden door gelijke dikteklassen

van de humushoudende bovengrond (zoals bijv. laarpodzolen en matig dikke beekeerd- en gooreerdgronden) samengenomen. In de afb. 12 en 13 zijn per dikteklasse van de humushoudende bovengrond voor alle beschikbare boorpunten in respectievelijk mais- en graslandpercelen de uit het verdampingsbeeld afgeleide verdampingswaarden uitgezet tegen de grondwatertrap. In het algemeen blijkt dat bij maïs het aantal punten met lage verdampings-



Afb. 12 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden ($\frac{LE^{24}}{LE_p^{24}}$) en de grondwatertrap voor de boorpunten in maïspcelen. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie dikteklassen van de humushoudende bovengrond: < 30 cm (12a), 30-50 cm (12b) en > 50 cm (12c).

waarden toeneemt, naarmate het grondwaterstandsverloop dieper is (d.w.z. bij hogere grondwatertrappen, zie tabel 1). Een uitzondering wordt gevormd door de boorpunten in maïspcelen met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm en grondwatertrap (Gt) VII. De vijf boorpunten met Gt VII, die in afb. 12a zijn aangeduid met x, liggen echter evenals enkele punten met Gt VI (eveneens aangeduid met x in afb. 12a) in een gebied waar op de false colour foto duidelijke verdrogingspatronen zichtbaar zijn. Op de false colour foto is in de nabijheid van de betref-



Afb. 13 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden ($\frac{LE^{24}}{LE_p^{24}}$) en de grondwatertrap voor de boorpunten in graslandpercelen. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie dikteklassen van de humushoudende bovengrond: < 30 cm (13a), 30-50 cm (13b) en > 50 cm (13c).

fende percelen enige sluierbewolking zichtbaar. Waarschijnlijk heeft deze lichte bewolking op het opnametijdstip een verlaging van de stralingstemperatuur van de betreffende percelen tot gevolg gehad.

Ondanks de duidelijke toename van het aantal punten met lage verdampingswaarden bij toenemende grondwatertrap is de spreiding in verdampingswaarden, vooral binnen maispercelen met Gt V*, VI en VII, aanzienlijk. De verschillen in verdampingswaarden van mais op 14 augustus 1986 kunnen daarom niet uitsluitend worden verklaard door verschillen in dikte van de humushoudende bovengrond en grondwatertrap.

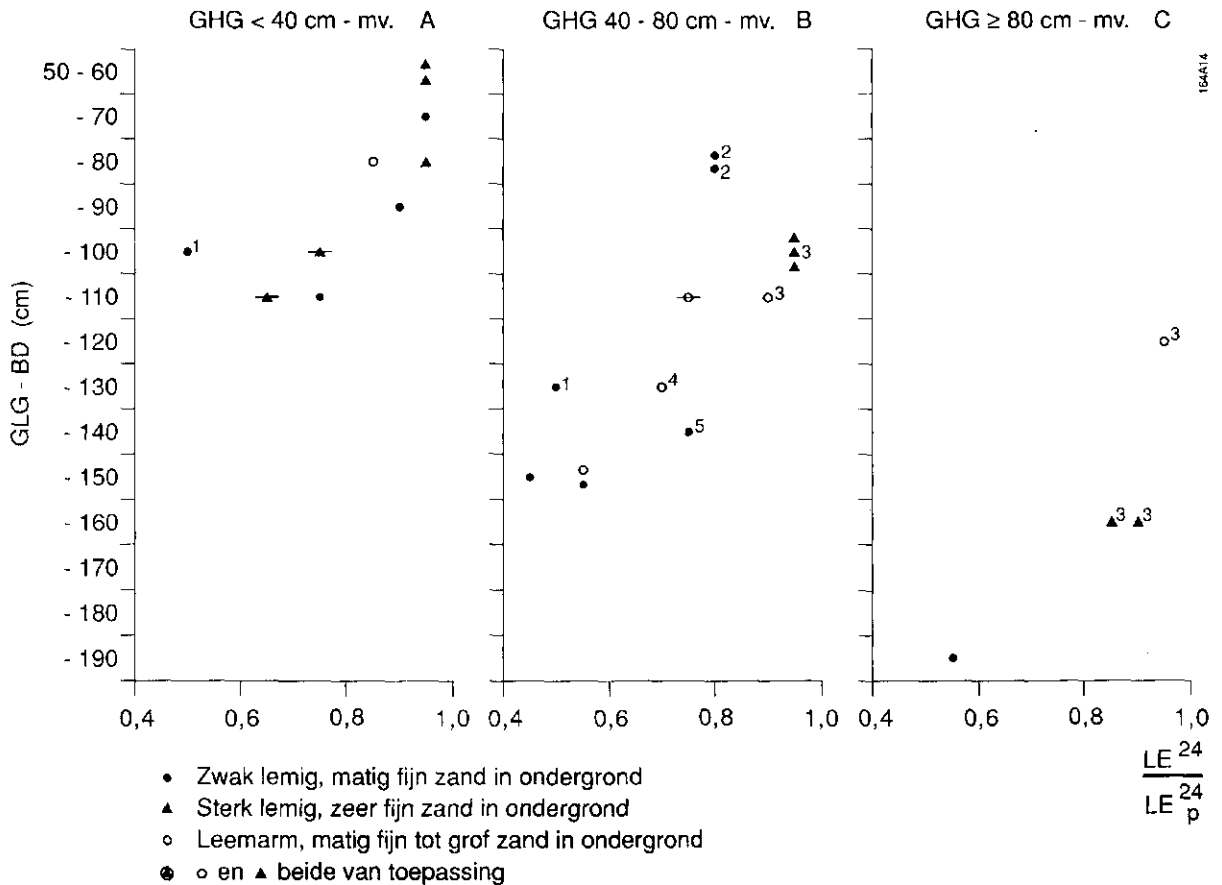
Van de boorpunten in graslandpercelen vertonen de meeste een matige tot hoge verdamping op 14 augustus 1986 (afb. 13). Opvallend is echter dat een vrij groot aantal punten, ondanks een relatief hoge grondwaterstand (Gt III en III*) toch een relatief lage verdamping vertoont. Ook bij Gt V* en VI wordt over het algemeen een aanzienlijke spreiding in verdampingswaarden

aangetroffen. Evenals bij mais kunnen dus ook bij grasland de opgetreden verschillen in verdampingswaarden op 14 augustus 1986 niet uitsluitend worden verklaard door verschillen in dikte van de humushoudende bovengrond en grondwatertrap.

In een nadere analyse is daarom aandacht besteed aan de invloed van een aantal andere bodemkundige en hydrologische factoren die invloed kunnen hebben op de gewasverdamping. Thunnissen (1984b) toonde aan dat relatief kleine verschillen in grondwaterstandsdiepte grote verschillen in capillaire opstijging en daarom in verdamping tot gevolg kunnen hebben. De indeling in grondwatertrappen daarentegen is gebaseerd op vrij brede niveaus waarbinnen de grondwaterstand kan fluctueren. Aan de hand van uitgebreide modelberekeningen toonden Bannink en Wösten (1988) aan dat textuurverschillen in de eerste 40 tot 60 cm beneden de onderkant van de wortelzone in sterke mate de grootte van het vochttekort bepalen. De textuur van de ondiepe ondergrond bepaalt in belangrijke mate de capillaire eigenschappen. Textuurverschillen op grotere diepte in de ondergrond zijn minder bepalend voor een eventueel vochttekort. In het dieptetraject tot 60 cm beneden de onderkant van de wortelzone kunnen effecten op het vochttekort reeds optreden bij relatief geringe laagdiktes.

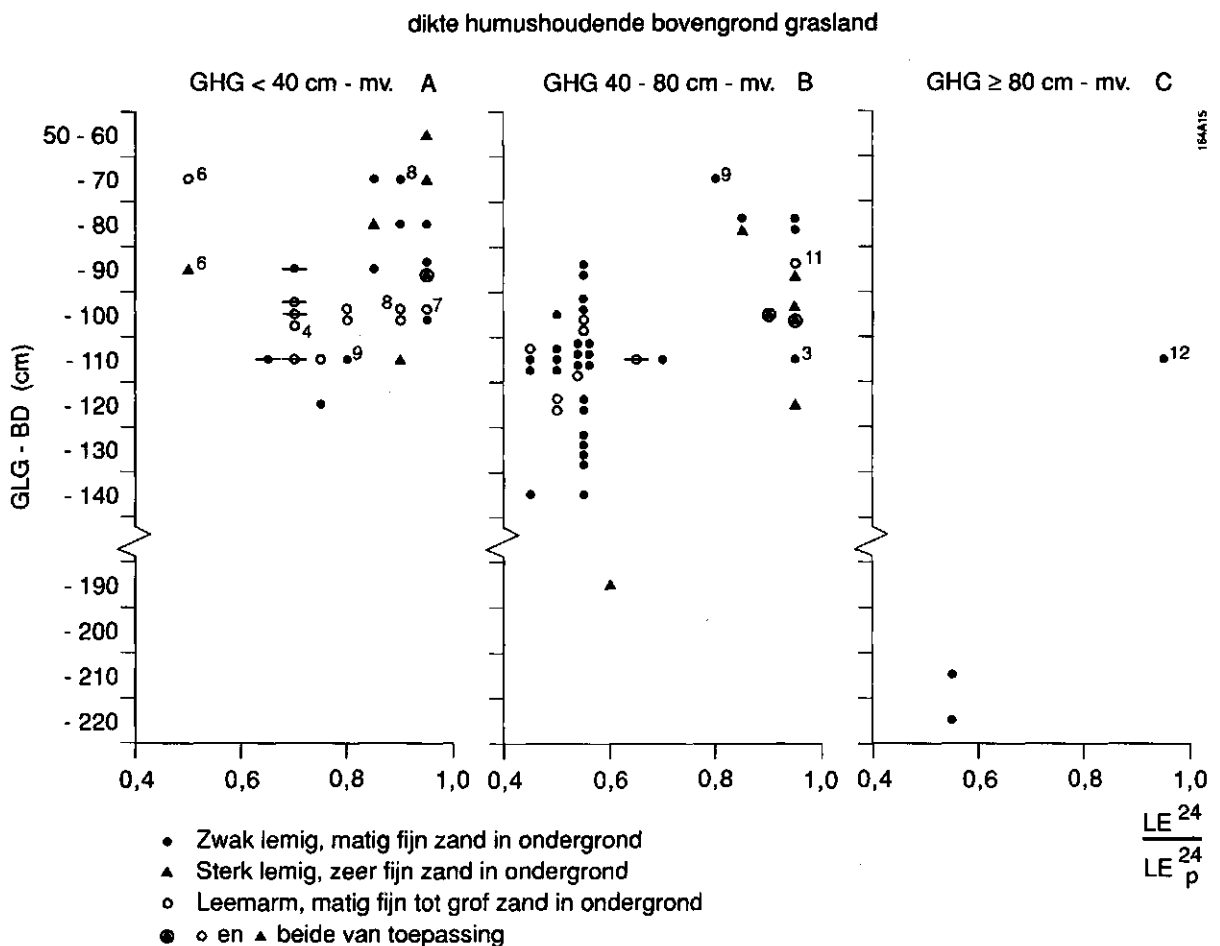
In afb. 14 t/m 19 zijn voor een groot aantal boorpunten in mais- en graslandpercelen per dikteklasse van de humushoudende bovengrond en per GHG-traject de uit remote sensing opnamen afgeleide verdampingswaarden uitgezet tegen de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte (BD) en de GLG. In het oosten van het studiegebied ligt een perceel van 8,7 ha waarop in 1986 aardappels zijn verbouwd (zie perceel aangeduid met A in afb. 5). Hoewel alleen voor grasland en mais verdampingswaarden zijn afgeleid is dit perceel vanwege zijn oppervlakte en de duidelijk aanwezige verdrogingspatronen ook in de analyse opgenomen. In plaats van verdampingswaarden zijn de uit het warmtebeeld afgeleide stralingstemperaturen in de analyse betrokken. De in het vliegtuig gemeten stralingstemperaturen voor dit perceel variëren tussen ca. 18 en 24°C. Het aanwezige temperatuurtraject in het aardappelperceel is onderverdeeld in klassen van 0,7°C. In de afb. 20 en 21 zijn voor de boorpunten in het aardappelperceel per dikteklasse van de humushoudende bovengrond en per GHG-traject de uit het warmtebeeld van 14 augustus 1986 afgeleide stralingstemperatuurklassen uitgezet tegen de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG. Per boorpunt is de bijbehorende temperatuurklasse uit het warmtebeeld afgeleid. Wanneer de stralingstemperatuur ter plaatse sterk varieerde over korte afstand zijn verschillende temperatuurklassen aan een boorpunt toegekend.

Bij vergraven bodemprofielen is de dikte van de humushoudende bovengrond gelijkgesteld aan de diepte tot waar de A-horizont vermengd is met het onderliggende B- of C-materiaal. De bewortelde diepte van mais is gelijkgesteld aan de in het veld geschatte bewortelbare diepte. Bij grasland en aardappelen is de



Afb. 14 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE^{24}/LE^{24}_p) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in maispercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (14a), 40-80 cm - mv. (14b) en > 80 cm - mv. (14c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst.

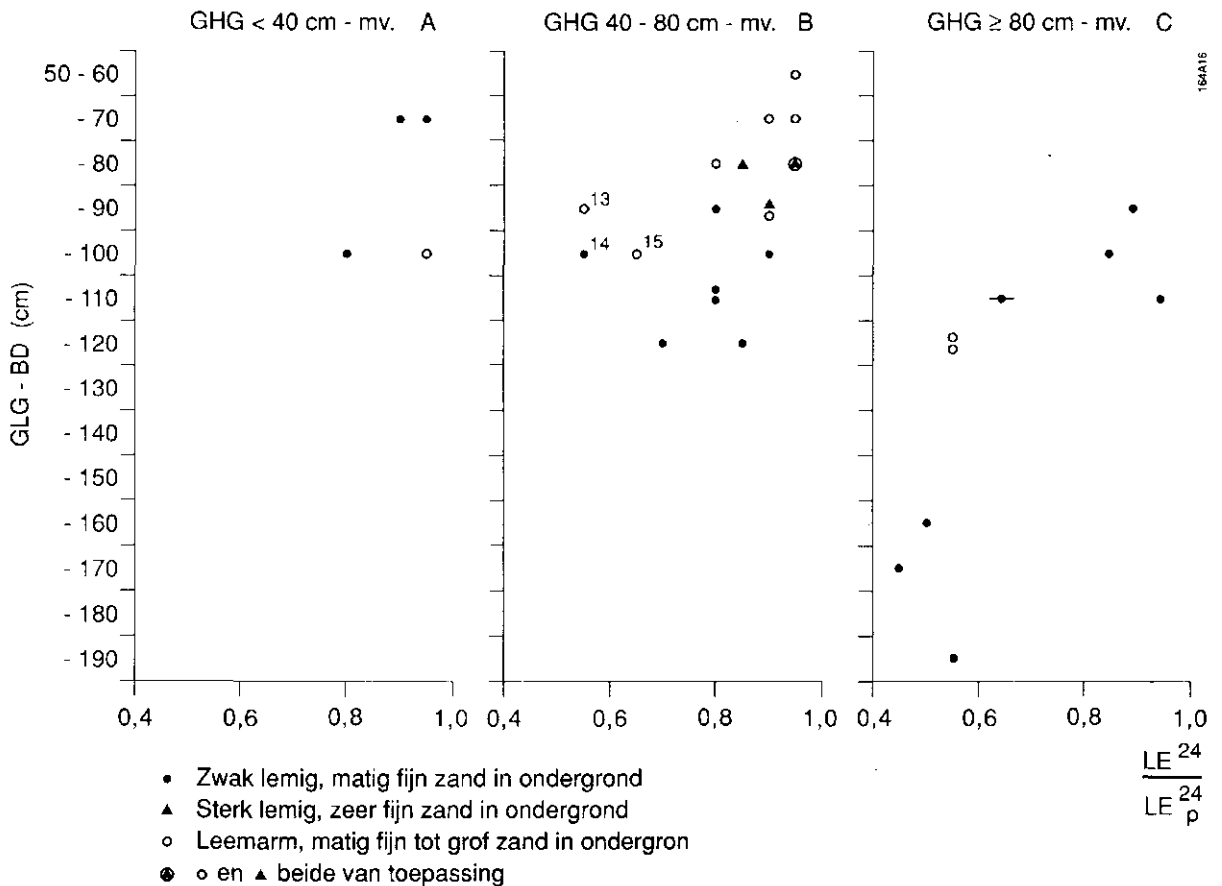
bewortelde diepte gelijkgesteld aan de geschatte bewortelbare diepte met een maximum van respectievelijk 40 en 50 cm (Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, 1984). De afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG is karakteristiek voor de afstand die gedurende droge perioden in de zomer overbrugd moet worden door capillaire opstijging. Omdat de capaciteit om water aan te leveren vanuit de ondergrond (capillaire opstijging) niet alleen wordt bepaald door de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG, maar ook door de capillaire eigenschappen van de (ondiepe) ondergrond is in de afb. 14 t/m 19 tevens enige informatie over de textuur van de ondergrond gegeven. Over het algemeen bestaat de ondiepe ondergrond in het studiegebied grotendeels uit zwak lemig, matig fijn Jong Dekzand. Soms wordt sterk of zeer sterk lemig, zeer fijn zand (meestal



Afb. 15 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden ($\frac{LE^{24}}{LE^{24}_p}$) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in maispercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (15a), 40-80 cm - mv. (15b) en > 80 cm - mv. (15c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst.

Oud Dekzand, soms beekafzetting) of leemarm, matig fijn tot grof zand (meestal fluvioperiglaciaal zand, soms beekafzetting) in de ondergrond aangetroffen. De aanwezigheid van (zeer) sterk lemig, zeer fijn zand en leemarm, matig fijn tot grof zand in de ondergrond is in de afb. 14 t/m 19 met een speciaal symbool aangegeven, wanneer het een laag betreft met een minimale dikte van 20 cm die zich geheel boven GLG-niveau bevindt en begint binnen 80 cm beneden maaiveld. De aanwezigheid van (II-0 of Brabantse) leem, die plaatselijk in de ondergrond wordt aangetroffen, is niet met een symbool aangegeven, maar komt ter sprake wanneer de indruk bestaat dat de leem duidelijke invloed heeft op de hydrologische situatie.

Uiteraard zijn alleen die boringen in de afb. 14 t/m 21 opgenomen, waarvoor schattingen van de GLG beschikbaar waren. Bij grasland zijn bovendien zeven boringen op een perceel net bui-



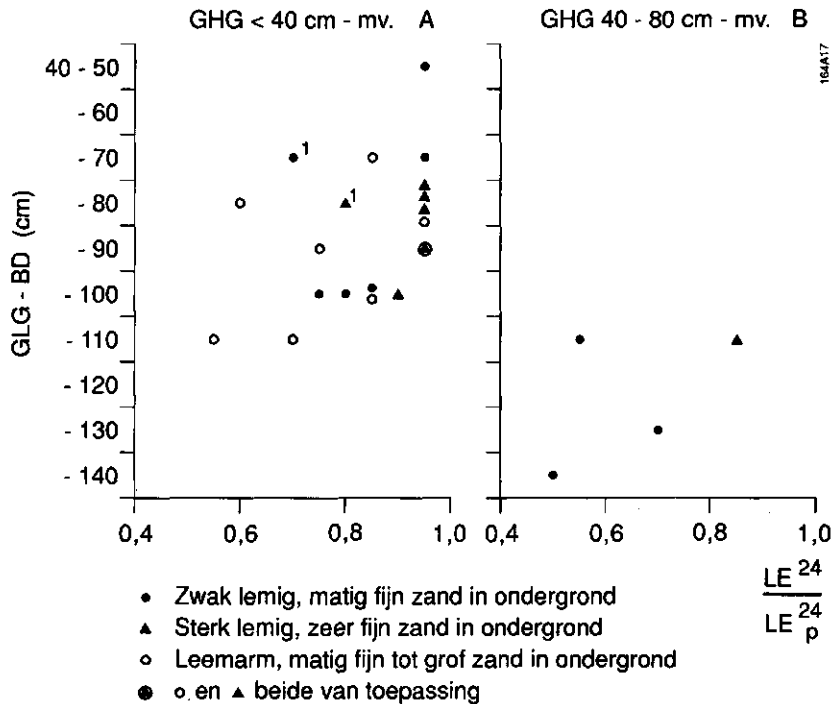
Afb. 16 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE^{24}/LE_p^{24}) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in maïspcelen met een dikte van de humushoudende bovengrond > 50 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (16a), 40-80 cm - mv. (16b) en > 80 cm - mv. (16c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst.

ten het eigenlijke studiegebied bij de analyse betrokken. Op dit perceel wordt fluvioperiglaciaal zand ondiep in de ondergrond aangetroffen.

Achtereenvolgens worden de resultaten voor maïs, gras en aardappelen besproken.

Maïspcelen (afb.14 t/m 16)

Bij maïspcelen met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm (afb. 14) blijkt de verdamping op 14 augustus 1986 af te nemen met toenemende afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG. Het lijkt er echter op alsof de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG waarbij verdampingsreductie van enige betekenis gaat optreden, groter wordt naarmate het GHG-niveau

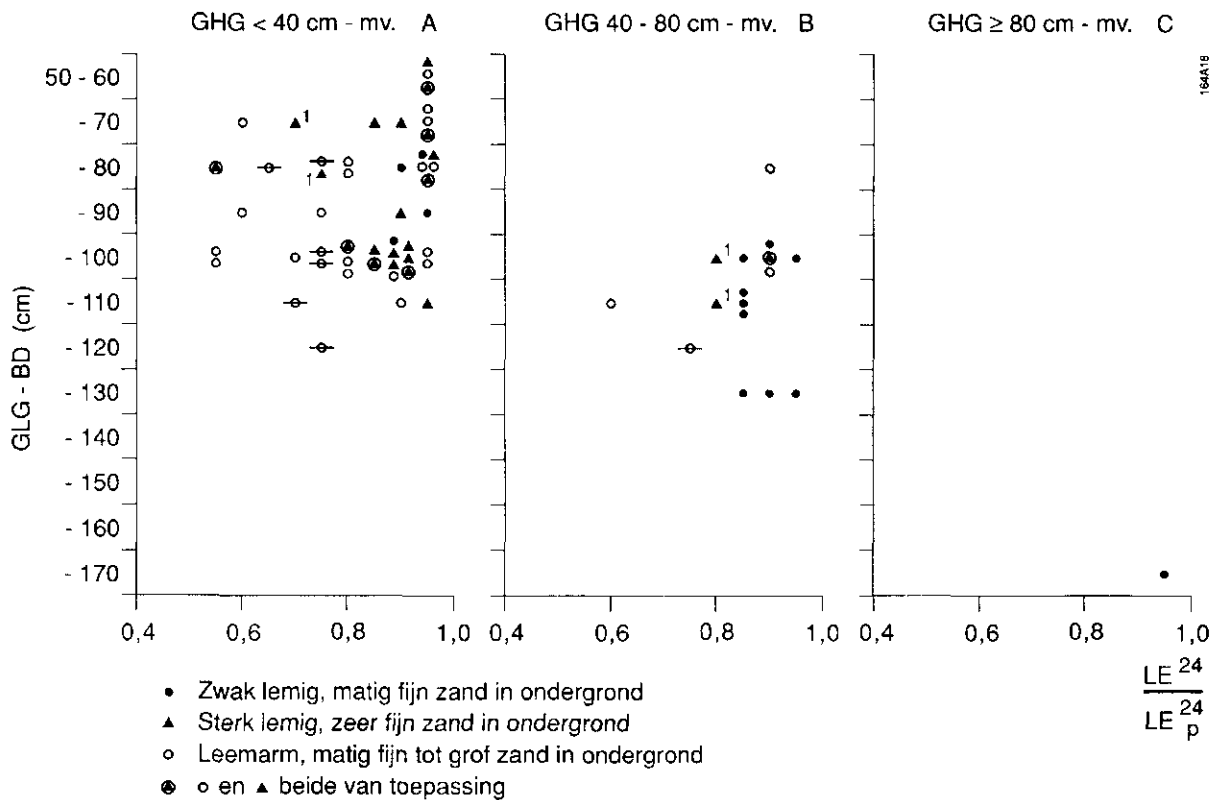


Afb. 17 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE^{24}/LE_p^{24}) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in graslandpercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in twee GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (17a) en 40-80 cm - mv. (17b). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst.

lager is. Dit is in tegenspraak met wat wordt verwacht. Met name de met 3 aangeduide boorpunten in afb. 14b en c vertonen onverwacht hoge verdampingswaarden. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door de hierboven reeds genoemde invloed van lichte sluierbewolking.

Het boorpunt dat in afb. 14a is aangeduid met 1 heeft een bewortelbare diepte van 35 cm en een GLG van 130 cm - mv. De afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG bedraagt dus 95 cm. Een latere boring op ongeveer dezelfde plaats leverde behalve een iets diepere GHG een bewortelbare diepte van 35 cm en een GLG van 160 cm - mv. (punt 1 in afb. 14b). Vermoedelijk is de GLG van de eerste boring enigszins onderschat.

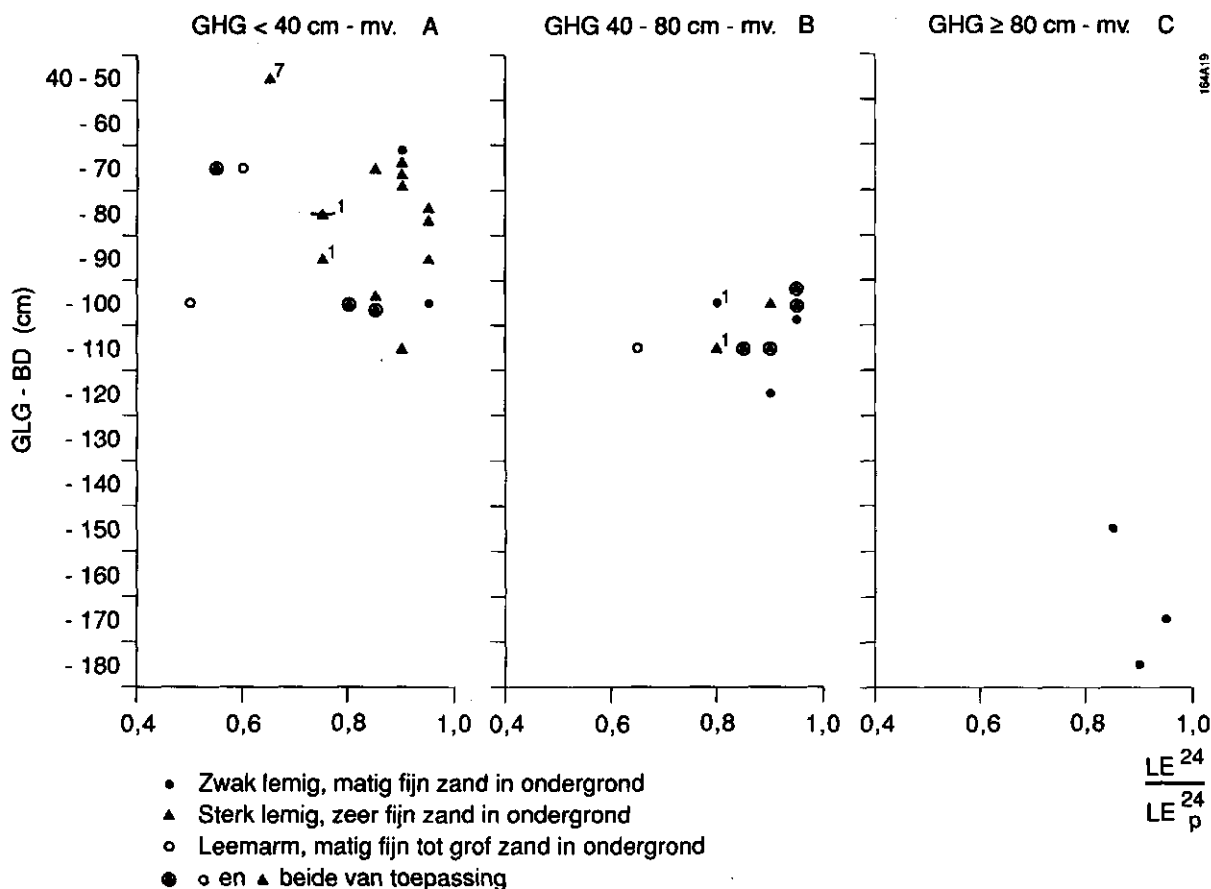
Beide boorpunten aangeduid met 2 in afb. 14b zouden, gezien de profielopbouw en de relatief geringe afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG, potentieel moeten verdampen. Ze vertonen



Afb. 18 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden ($\frac{LE^{24}}{LE^{24}_p}$) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in graslandpercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (18a), 40-80 cm - mv. (18b) en > 80 cm - mv. (18c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst.

echter een geringe verdampingsreductie (verdampingstraject 0,7-0,9). Beide punten betreffen een veldpodzol met een humushoudende bovengrond van 25 à 30 cm, een B-horizont tussen 25 à 30 cm en 60 cm beneden maaiveld en een bewortelbare diepte van 60 cm. De bewortelbare diepte wordt dus voor een groot deel in beslag genomen door de B-horizont, waarvan het vochtbergend vermogen aanzienlijk geringer is dan dat van de A-horizont. Mogelijk verklaart dit de geringe verdampingsreductie van deze punten.

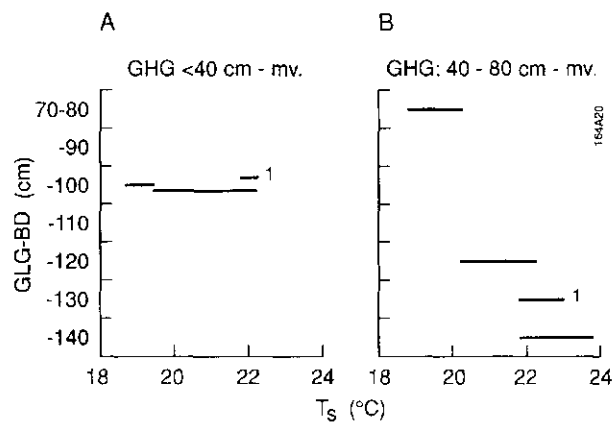
Gezien de profielopbouw en de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG vertoont het punt aangeduid met 4 in afb. 14b een relatief hoge verdampingswaarde. Dit punt heeft een dikte van de humushoudende bovengrond van 25 cm, een bewortelbare diepte van 35 cm, een GHG van 45 cm - mv. en een GLG van 160 cm - mv. Een tweede boring op nagenoeg dezelfde plaats leverde de volgen-



Afb. 19 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide relatieve verdampingswaarden (LE^{24} / LE^{24}_p) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in graslandpercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond > 50 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (19a), 40-80 cm - mv. (19b) en > 80 cm - mv. (19c). Voor de betekenis van de cijfers in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst.

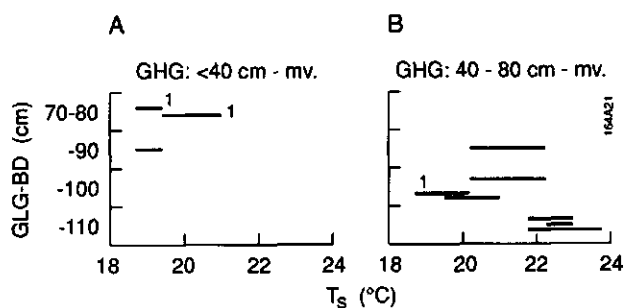
de waarden op: humushoudende bovengrond = 35 cm, bewortelbare diepte = 40 cm, GHG = 30 cm - mv. en GLG = 130 cm - mv. (boorpunt aangeduid met 4 in afb. 15a). Beide punten vertonen een verschil in GLG van 30 cm. De ligging van het betreffende boorpunt in afb. 14b doet vermoeden dat de GLG van dit punt enigszins is overschat.

Ook het boorpunt aangeduid met 5 in afb. 14b vertoont, gezien de grote afstand tussen de bewortelbare diepte en de GLG, een relatief hoge verdampingswaarde. Een mogelijke verklaring hiervoor is de aanwezigheid van een dik pakket Brabantse leem beginnend op 80 cm - mv. en doorlopend tot dieper dan 1,7 m - mv. Leem kan zowel door zijn capillaire eigenschappen als door het mogelijk optreden van een schijngrondwaterspiegel de hydrologische situatie beïnvloeden.



Afb. 20 De relatie tussen de uit het warmtebeeld van 14 augustus 1986 afgeleide stralingstemperatuur (T_s) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in een aardappelperceel met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in twee GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (20a) en 40-80 cm - mv. (20b). Voor de betekenis van het cijfer 1 in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst.

Bij maïspancelen met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm en een GHG ondieper dan 40 cm lijken er verdampingsreducties van enige betekenis te gaan optreden wanneer de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG groter wordt dan 90 à 100 cm (afb. 15a). De beide boorpunten, die in afb. 15a zijn aangeduid met 6, voldoen echter niet aan dit algemene beeld. Deze punten liggen beide in een sterk verdrogend deel van hetzelfde perceel. Bij deze boorpunten werd vlak onder de wortelzone een rottingslucht aangetroffen, hetgeen wijst op mogelijk zuurstofgebrek. Hierdoor is de wortelontwikkeling mogelijk achtergebleven, waardoor op een warme en droge dag, zoals 14 augustus 1986, niet aan de hoge verdampingsvraag kan worden voldaan. De variatie in verdampingswaarden bij een afstand tussen de bewortelbare diepte en de GLG van 90 à 110 cm wordt veroorzaakt door (geringe) variatie in de bewortelbare diepte en de GLG en door verschillen in de profielopbouw (aan-



Afb. 21 De relatie tussen de uit het warmtebeeld van 14 augustus 1986 afgeleide stralingstemperatuur (T_s) en de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG (GLG-BD) voor boorpunten in een aardappel-perceel met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm. De boorpunten zijn onderverdeeld in twee GHG-trajecten: < 40 cm - mv. (21a) en 40-80 cm - mv. (21b). Voor de betekenis van het cijfer 1 in de afbeelding wordt verwezen naar de tekst.

wezigheid en variërende dikte en diepte van lagen fluvioperiglaciaal zand, Oud Dekzand of leem). Het punt aangeduid met 7 in afb. 15a bevat bijvoorbeeld een laag II-0 leem tussen 45 en 75 cm, hetgeen een gunstig effect heeft op de capillaire opstijging. De boorpunten aangeduid met 9 in afb. 15a en b liggen vlakbij elkaar. Beide punten verschillen (enigszins) van elkaar in de (geschatte) waarden van de GHG (30 respectievelijk 45 cm - mv.), bewortelbare diepte (40 respectievelijk 60 cm) en GLG (140 respectievelijk 120 cm - mv.). Deze boorpunten liggen in een intensief bewerkt perceel waar grote verschillen in profielopbouw over korte afstand worden aangetroffen.

Bij maïspercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm en een GHG tussen 40 en 80 cm - mv. komen reeds grote verdampingsreducties voor bij afstanden tussen de bewortelde diepte en de GLG groter dan 80 à 90 cm (afb. 15b).

Indien zich echter sterk lemig, zeer fijn zand in de ondergrond bevindt, wat een gunstig effect heeft op de capillaire opstijging, dan worden hoge verdampingswaarden gehandhaafd tot aanzienlijk grotere afstanden tussen de bewortelde diepte en de GLG. Het boorpunt aangeduid met 11 in afb. 15b betreft een matig dikke gooreerdgrond binnen een enkeerdcomplex. Het profiel bevat een humushoudende bovengrond van 45 cm en een laag sterk lemig, zeer fijn, Oud Dekzand tussen 30 en 60 cm. Het punt aangeduid met 12 in afb. 15c betreft eveneens een matig dikke gooreerdgrond (dikte humushoudende bovengrond = 40 cm en GHG = 80 cm - mv.) binnen een complex met enkeerdgronden. Bovendien doen sporen van recente bewerking vermoeden dat de bovengrond hier onlangs is afgeschoven. Vermoedelijk liggen beide laatstgenoemde punten in kleine oppervlakken met een enigszins afwijkend profiel binnen een complex met enkeerdgronden. Het boorpunt aangeduid met 3 in afb. 15b ligt in het eerder genoemde gebied langs de westrand van het studiegebied waar de gewastemperatuur waarschijnlijk enigszins is verlaagd onder invloed van bewolking.

Afb. 16 ten slotte betreft maïspcelen met een dikte van de humushoudende bovengrond groter dan 50 cm. Over het algemeen komen er tot grotere afstanden tussen de bewortelbare diepte en de GLG matige tot hoge verdampingswaarden voor dan bij de maïspcelen met een dunnere humushoudende bovengrond. De boorpunten aangeduid met 13, 14 en 15 in afb. 16b voldoen niet aan dit algemene beeld. Boorpunt 13 betreft een veldpodzolgrond, waarvan de humushoudende bovengrond tot 65 cm is vermengd met het onderliggende B- en C-materiaal. Het resultaat van deze menging is een zeer schrale bovengrond met een gering vochtbergend vermogen. Bovendien is leemarm zand in de ondergrond aanwezig. Boorpunt 14 betreft een matig dikke gooreerdgrond, waarvan de humushoudende bovengrond van 35 tot 55 cm is vermengd met het onderliggende C-materiaal. Hoewel minder eenduidig dan bij boorpunt 13 is ook hier de opgetreden verschraling van de bovengrond waarschijnlijk verantwoordelijk voor de relatief lage verdampingswaarde. De relatief lage verdampingswaarde van boorpunt 15 ten slotte kan alleen worden verklaard uit de aanwezigheid van leemarm, fluvioperiglaciaal zand in de ondergrond.

Graslandpercelen (afb. 17 t/m 19)

Verreweg de meeste graslandpercelen vertonen een hoge tot zeer hoge verdamping. Bij de meeste boorpunten die een matige tot lage verdampingswaarde vertonen, is leemarm, matig fijn tot grof zand in de ondergrond aanwezig. De optredende variaties in verdampingswaarden bij deze profielen hangen waarschijnlijk samen met (geringe) verschillen in de grondwaterstandsdiepte en in dikte, begindiepte en grofheid van de leemarme zandondergrond. De boorpunten aangeduid met 1 in de afb. 17a, 18a en b, en 19a en b vertonen echter, gezien hun profielopbouw en de

aanwezige afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG, een onverwacht lage verdampingswaarde. Alle zeven punten aangeduid met 1 die een GHG hebben lager dan 40 cm - mv. hebben een zeer sterk lemige, zeer fijnzandige bovengrond. Vier van deze punten hebben bovendien een leemlaag ondiep in het profiel. De bovengrond ter plaatse was vaak dicht en in de meeste gevallen erg vertrapt. Ook werd soms een rottingslucht waargenomen. Vermoedelijk hebben de wortels zich hier als gevolg van zuurstofgebrek niet optimaal kunnen ontwikkelen, waardoor op mooie, warme dagen, zoals 14 augustus 1986, niet aan de hoge verdampingsvraag kan worden voldaan. De boorpunten aangeduid met 1 in afb. 18b liggen op plaatsen waar slechts kleine oppervlakken met matige verdamping voorkomen binnen overigens goed verdampende percelen. De exacte ligging van de punten op het verdampingsbeeld was daarom moeilijk nauwkeurig te bepalen. De boorpunten tenslotte aangeduid met 1 in afb. 19b liggen in een perceel waarvan een groot deel een matige verdamping vertoont. De oorzaak hiervan is niet duidelijk.

Bij boorpunten in graslandpercelen met een dikte van de humushoudende bovengrond kleiner dan 30 cm, waarvan de ondiepe ondergrond (hoofdzakelijk) bestaat uit zwak lemig, matig fijn zand, beginnen verdampingsreducties op te treden bij afstanden tussen de bewortelde diepte en de GLG groter dan 90 à 100 cm (afb. 17a). Bij grotere diktes van de humushoudende bovengrond vertonen deze boorpunten tot grote afstanden tussen de bewortelde diepte en de GLG hoge verdampingswaarden (afb. 18b en c en 19c). Dit is niet geheel overeenkomstig de verwachting, immers bij afstanden tussen de bewortelde diepte en de GLG groter dan ca. 150 cm zal er zeker sprake zijn van een hangwaterprofiel. Bovendien blijkt uit de vaak grote verdampingsreducties bij de aanwezigheid van leemarm, matig fijn tot grof zand in de ondergrond (zie bijv. afb. 17a) dat het vochtbergend vermogen van de wortelzone niet voldoende is voor de handhaving van een hoge verdamping. Aan de juistheid van met name de hoge verdampingswaarden in de afb. 18c en 19c wordt daarom getwijfeld. Mogelijk is hier berekening toegepast. Dit valt echter niet te achterhalen met behulp van de beschikbare informatie. In zijn algemeenheid kan echter wel worden gesteld dat bij grasland verdampingsreducties later gaan optreden dan bij mais (vergelijk bijv. afb. 18b met afb. 15b).

Aardappelperceel (afb. 20 en 21)

In het oosten van het studiegebied ligt een perceel van 8,7 ha waarop in 1986 aardappels zijn verbouwd (zie perceel aangeduid met A in afb. 5). Hoewel alleen voor grasland en mais verdampingswaarden zijn afgeleid is dit perceel vanwege zijn oppervlakte en de duidelijk aanwezige verdrogingspatronen ook in de analyse opgenomen. In plaats van verdampingswaarden zijn de uit het warmtebeeld afgeleide stralingstemperaturen bij de

analyse betrokken. De in het vliegtuig gemeten stralingstemperaturen voor dit perceel variëren tussen ca. 18° en 24°C. In de afb. 20 en 21 zijn voor de boorpunten in het aardappelperceel per dikteklasse van de humushoudende bovengrond en per GHG-traject de uit het warmtebeeld van 14 augustus 1986 afgeleide stralingstemperaturen uitgezet tegen de afstand tussen de onderkant van de bewortelde diepte en de GLG. De bewortelde diepte van aardappelen is gelijk gesteld aan de in het veld geschatte bewortelbare diepte met een maximum van 50 cm. Het aanwezige temperatuurtraject in het aardappelperceel is onderverdeeld in klassen van 0,7°C. Per boorpunt is het bijbehorende temperatuurtraject uit het warmtebeeld afgeleid. Wanneer de ligging van een boorpunt niet nauwkeurig kon worden vastgesteld of wanneer de temperatuurwaarden sterk variëren over korte afstand is vaak meer dan een temperatuurklasse aan een boorpunt toegekend. Op een deel van het perceel is in 1987 een nieuwe sloot gegraven, terwijl de oude sloot is gedempt. Een aantal van de boringen, die in 1987 zijn uitgevoerd, is mogelijk beïnvloed door deze werkzaamheden. Deze boorpunten zijn in de afb. 20 en 21 aangeduid met 1. Vergelijking van de false colour foto's uit het voorjaar van 1986 met die uit het voorjaar van 1987 laat echter zien dat de grondwerkzaamheden de aanwezige reflectiepatronen niet drastisch hebben veranderd. Hoewel het aantal boorpunten per dikteklasse van de humushoudende bovengrond en per GHG-traject beperkt is, kunnen toch enige algemene conclusies worden getrokken die de resultaten van de analyse bij de mais- en graslandpercelen bevestigen. In het aardappelperceel bevinden zich slechts drie boorpunten met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm en een GHG < 40 cm - mv. (afb. 20a). De stralingstemperaturen van deze punten variëren sterk. Waarschijnlijk bevond de grondwaterstand op 14 augustus 1986 zich rond een niveau waarop voldoende capillaire aanvoer net nog mogelijk was. Berekeningen uitgevoerd door Thunnissen (1984b) voor dekzandgronden in Oost-Gelderland met vergelijkbare capillaire eigenschappen tonen aan dat onder deze omstandigheden kleine variaties in het grondwaterpeil grote verschillen in verdamping i.c. stralingstemperatuur kunnen veroorzaken. Bij de boorpunten met een dikte van de humushoudende bovengrond < 30 cm en een GHG tussen 40 en 80 cm - mv. bevindt de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG waarbij reducties in verdamping gaan optreden zich ergens tussen 80 en 110 cm (afb. 20b). Bij de boorpunten met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm en een GHG < 40 cm - mv. blijken tot een afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG van ca. 90 cm geen reducties in verdamping van enige betekenis op te treden (afb. 21a). Bij de boorpunten tenslotte met een dikte van de humushoudende bovengrond tussen 30 en 50 cm en een GHG tussen 40 en 80 cm (afb. 21b) blijken reducties in verdamping van betekenis te gaan optreden wanneer de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG groter wordt dan ca. 100 cm.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat wanneer de boorpunten worden ingedeeld in dikteklassen van de humushoudende bovengrond en in GHG-trajecten de optredende verschillen in verdamping redelijk tot goed kunnen worden verklaard aan de hand van de aanwezige afstanden tussen de bewortelde diepte en de GLG en aan de hand van de textuur van de ondergrond. Hierbij is dezelfde indeling in dikte van de humushoudende bovengrond en in GHG-trajecten aangehouden als waarop de indeling in bodemtypen en grondwatertrappen is gebaseerd (dikte humushoudende bovengrond: < 30, 30-50 en > 50 cm; GHG: < 40, 40-80 en > 80 cm - mv.). Zowel de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG als de textuur van de ondergrond spelen geen of slechts een beperkte rol bij de onderverdeling in bodemtypen en grondwatertrappen. Dat verklaart voor een groot deel de matige overeenkomst tussen de patronen op de remote sensing beelden en de kaartvlakken op de op de conventionele wijze vervaardigde bodemkaart.

Slechts bij een relatief gering aantal boorpunten voldoen de bijbehorende verdampingswaarden niet aan het algemene beeld van de relatie tussen de verdampingswaarden en de bodemkundige en hydrologische eigenschappen. In de meeste van deze gevallen kunnen de afwijkende verdampingswaarden echter worden verklaard door het optreden van wateroverlastschade, vermindering van het vochtvasthoudend vermogen van de wortelzone als gevolg van vergraving of door onnauwkeurige schattingen bij de profielbeschrijving.

7.2 Reflectie- en temperatuurwaarden in het voorjaar en bodemkundige en hydrologische kenmerken

Tijdens de voorjaarsvluchten van 2 april 1987 en 6 april 1988 zijn op een groot aantal plaatsen monsters genomen ter bepaling van het volumetrisch vochtgehalte van de bovenste 5 cm van de bovengrond. Het humus- en leemgehalte en de textuur van de top-laag zijn tijdens de bodemkartering in het veld geschat. De relaties tussen de reflectie en stralingstemperaturen enerzijds en bodemkundige en hydrologische kenmerken anderzijds zijn door Drogen (1990) nader geanalyseerd. Voor de volledigheid worden de belangrijkste resultaten hieronder kort weergegeven. Vervolgens wordt ingegaan op de oorzaken van de geringe overeenkomst tussen de patronen op de remote sensing opnamen uit het voorjaar van 1987 en 1988 en de vlakken op de bodemkaart.

Bij vochtgehalten boven ca. 20 vol. % blijkt de reflectie van (niet recent gegierde en/of bewerkte) kale grond in het zichtbare en nabij infrarode deel van het spectrum matig tot sterk lineair gecorreleerd te zijn met het volumetrisch vochtgehalte in de bovenste 5 cm van de bovengrond (afb. 22). Bij lagere vochtgehalten ontstaat er een sterk uitgedroogd toplaagje van vaak slechts enkele mm dikte waardoor de reflectie versterkt toeneemt. Het humusgehalte en de textuur vertonen weinig varia-

tie binnen het studiegebied waardoor de invloed van deze factoren op de reflectieverschillen gering is.

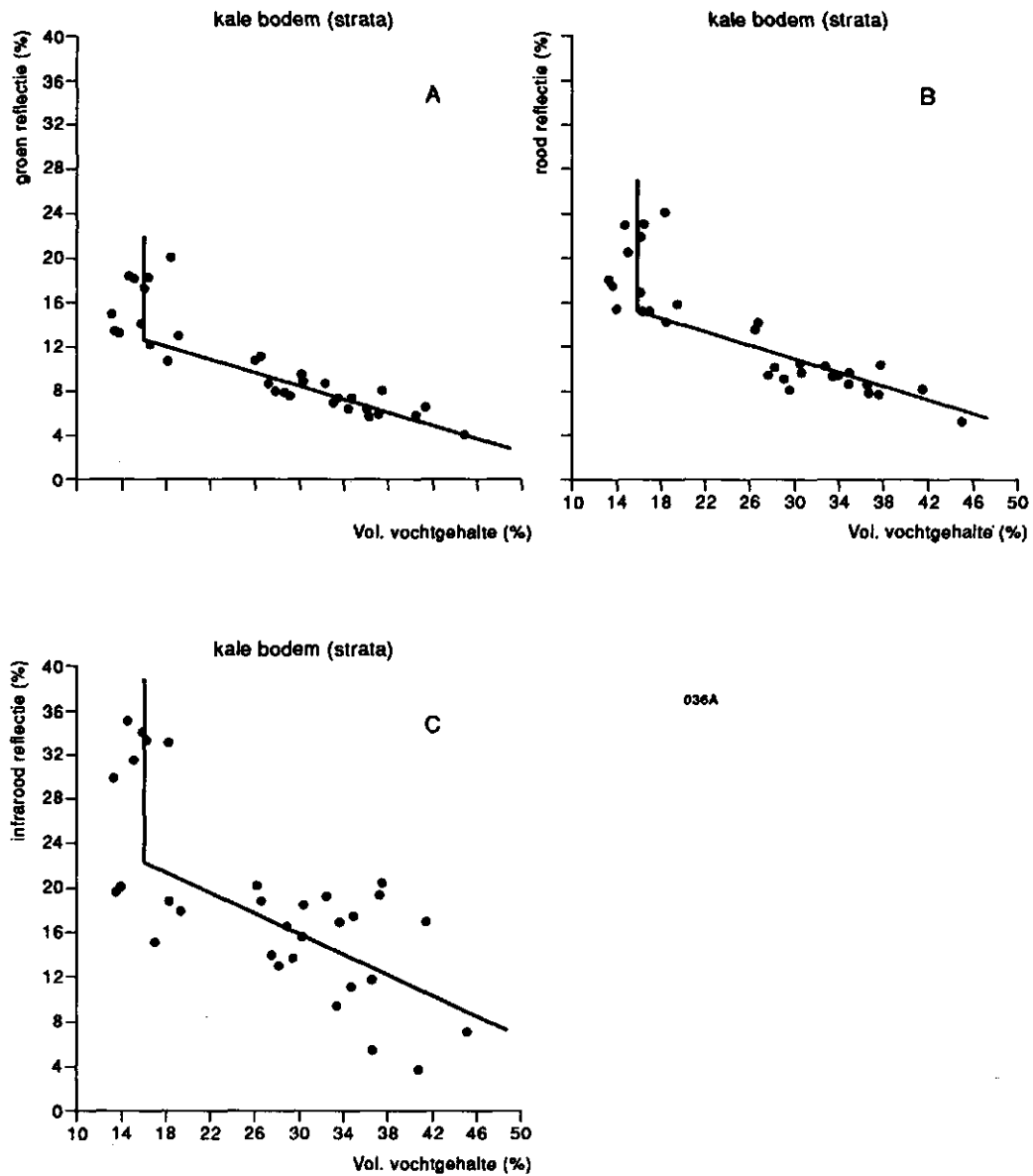
Binnen graslandpercelen is de correlatie tussen reflectie en vochtgehalte van de top laag gering. De verschillen in reflectie worden mede veroorzaakt door verschillen in bodembedekking en biomassa en door menselijke invloeden, zoals recent uitrijden van drijfmest. Plassen in graslandpercelen zijn echter over het algemeen duidelijk waarneembaar op de false colour foto's.

De patronen op de warmtebeelden van percelen met kale grond komen in grote lijnen overeen met de patronen op de reflectiebeelden. Dit zou er op kunnen wijzen dat ook de temperatuurverschillen worden veroorzaakt door vochtverschillen. Dit wordt echter tegengesproken door de relatief geringe correlatie tussen de stralingstemperatuur en het volumetrisch vochtgehalte. Ook de correlatie tussen de stralingstemperatuur en de reflectie is matig. Wanneer het perceel waarin een bemonsteringspunt is gelegen als extra verklarende variabele wordt meegenomen dan neemt de correlatie tussen de stralingstemperatuur en de reflectie echter sterk toe. Dit wijst er op dat waarschijnlijk ook de stralingstemperatuur en het vochtgehalte binnen percelen redelijk met elkaar gecorreleerd zijn. Waarschijnlijk spelen verschillen in bewerking tussen percelen, die resulteren in verschillen in thermische eigenschappen, hierbij een belangrijke rol.

Bij grasland is een matige correlatie aangetroffen tussen het volumetrisch bodemvochtgehalte en de stralingstemperatuur. Waarschijnlijk wordt de stralingstemperatuur van grasland mede beïnvloed door verschillen in biomassa en bodembedekking.

Uit het bovenstaande blijkt dat de remote sensing beelden uit het voorjaar vooral informatie verschaffen over het vochtgehalte van de top laag binnen percelen met kale grond, die niet recent zijn gegierd en/of bewerkt. Uit de matige overeenkomst tussen patronen op de remote sensing beelden uit het voorjaar en de vlakken op de bodemkaart kan daarom worden geconcludeerd dat verschillen in vochtgehalte over het algemeen geen eenduidige relatie vertonen met verschillen in bodemtype of grondwatertrap. Nadere analyse van de remote sensing beelden en de veldgegevens laat zien dat de verschillen in vochtgehalte worden veroorzaakt door de volgende factoren:

- (geringe) verschillen in hoogteligging;
- (geringe) verschillen in leemgehalte en/of humusgehalte. Vooral waar door bewerking de humeuze bovengrond is gemengd met het onderliggende B- of C-materiaal worden soms schrale bovengronden aangetroffen;
- grondbewerking, waardoor relatief vochtig materiaal naar het maaiveld is gebracht;
- recent uitrijden van drijfmest;
- (mogelijk) de aanwezigheid van storende lagen in de ondiepe ondergrond.

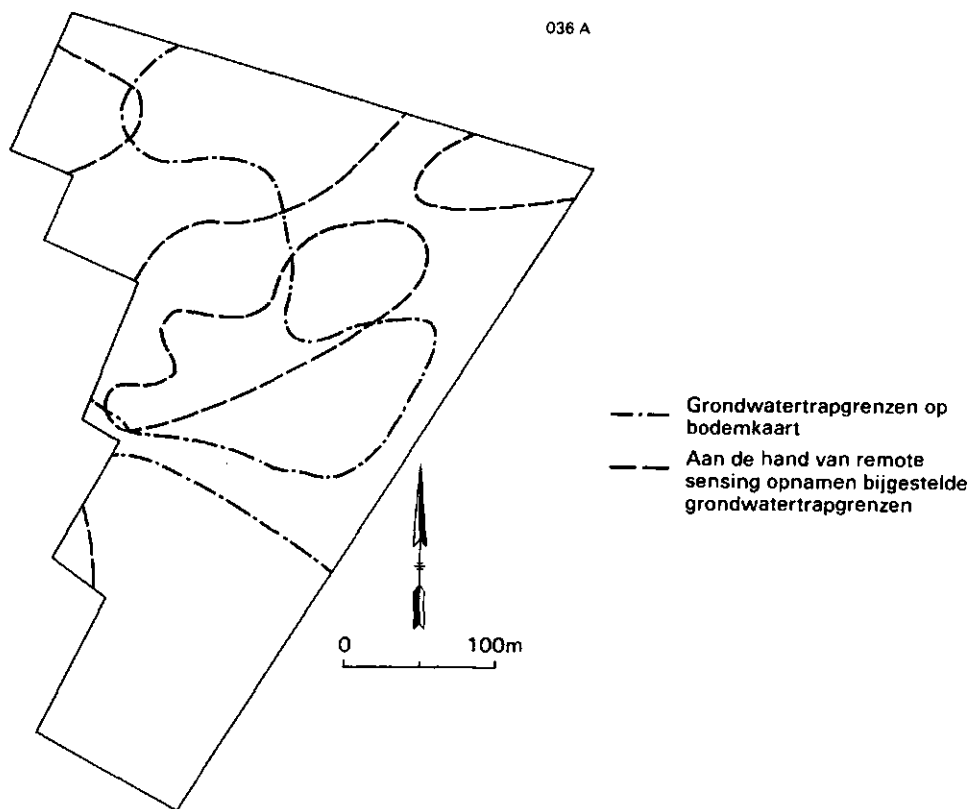


Afb. 22 Relatie tussen het volumetrisch vochtgehalte in de bovenste 5 cm van de bovengrond van percelen met kale grond, die niet recent zijn gegierd en/of bewerkt, en de reflectie in het in het groene (22a), rode (22b) en nabij-infrarode deel (22c) van het spectrum (naar Droesen i.v.).

7.3 Bijstelling van grenzen op de bodemkaart

Aan de hand van de gevonden relaties tussen de uit de remote sensing beelden afgeleide informatie en de in het veld geschatte bodemkundige en hydrologische kenmerken is samen met de karterder die de conventionele kartering heeft uitgevoerd nog een aantal aanvullende boringen uitgevoerd. Hierbij bleek dat in een aantal gevallen grenzen tussen grondwatertrappen op de conventionele kaart konden worden bijgesteld. Vaak gaan overgangen tussen verschillende grondwatertrappen gepaard met slechts geringe en geleidelijk verlopende verschillen in maaiveldhoogte. Het trekken van de veldgrenzen is dan een moeilijke zaak. In gunstige gevallen kunnen dergelijke geringe verschillen in maaiveldhoogte zich echter op remote sensing beelden duidelijk manifesteren door middel van verschillen in reflectie, temperatuur en/of verdamping. Aan de hand van deze op remote sensing beelden waarneembare patronen kunnen dan gericht boringen worden uitgevoerd en door het overzicht van boven dat via een remote sensing opname wordt verkregen kunnen grenzen gemakkelijker worden getrokken. Afb. 23 laat voor een perceel de op de bodemkaart weergegeven grondwatertrapgrenzen zien en de aan de hand van de remote sensing opnamen bijgestelde grondwatertrapgrenzen.

Het bovenstaande betekent dat de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart er enigszins anders zou hebben uitgezien wanneer men tijdens deze kartering de beschikking zou hebben gehad over remote sensing beelden.



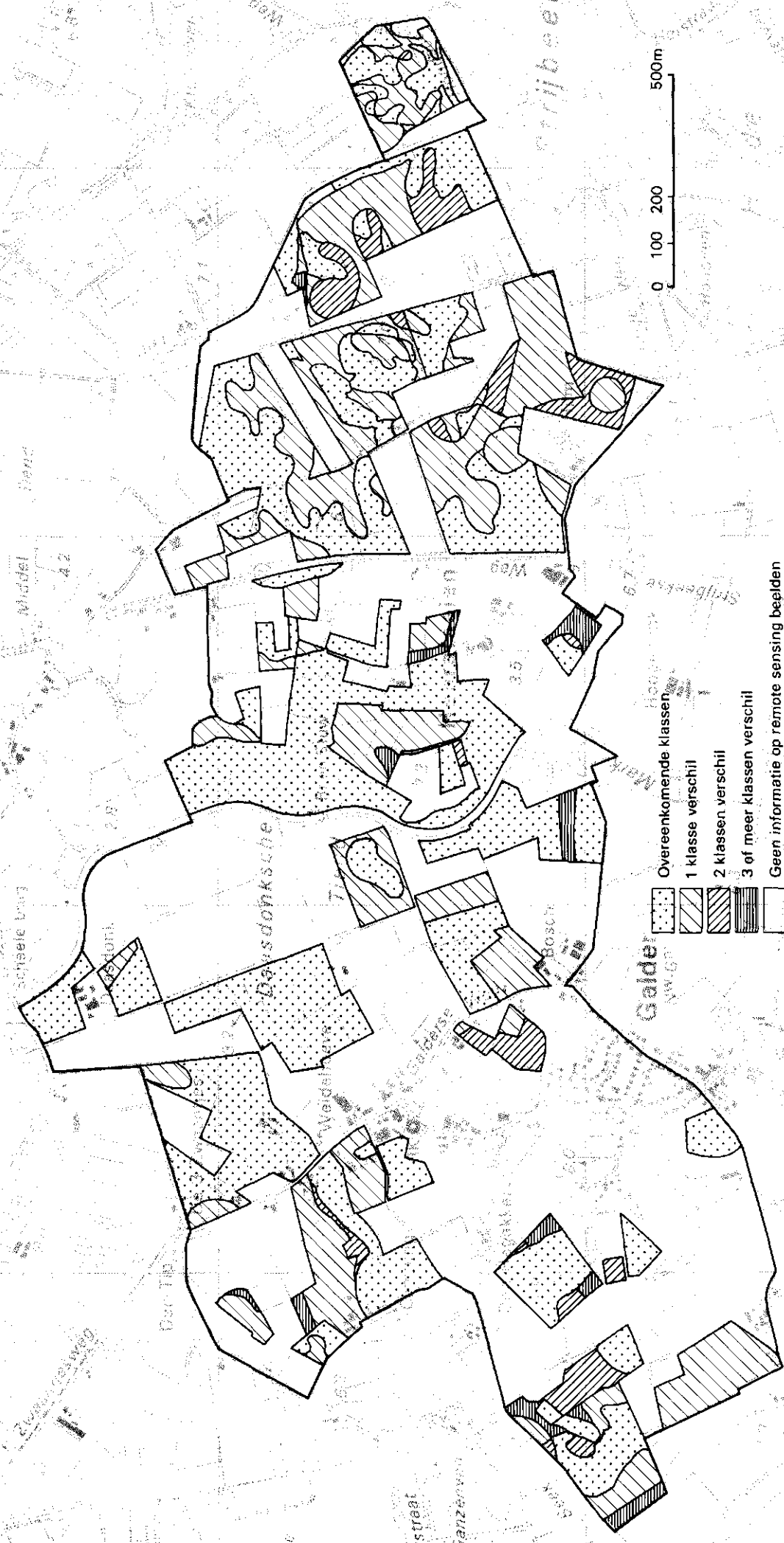
Afb. 23 De op de bodemkaart weergegeven grondwatertrapgrenzen en de aan de hand van remote sensing opnamen bijgestelde grondwatertrapgrenzen voor een perceel in het studiegebied.

8 OPBRENGSTDEPRESSIEKAARTEN EN REMOTE SENSING OPNAMEN

Een van de redenen voor de geringe overeenkomst tussen de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart en die vervaardigd met ondersteuning van remote sensing opnamen is dat verschillen de kaarteenheden niet van elkaar verschillen in vochtleverantie aan het gewas en reflectie en temperatuur van het (bodem)oppervlak (zie hoofdstuk 6). De samenstelling van de bovengrond varieert weinig over het studiegebied en heeft daarom weinig invloed op de waargenomen verschillen in reflectie en stralings-temperatuur. Verschillen in reflectie en temperatuur van het bodem- en gewasoppervlak worden voornamelijk bepaald door variatie in hydrologische eigenschappen van de boven- en ondergrond. Het ligt daarom voor de hand de kaarteenheden op de bodemkaart te vertalen naar eenheden die gebaseerd zijn op hydrologische kenmerken. Hiertoe zijn de op conventionele wijze en met ondersteuning van remote sensing opnamen verkregen bodemkaarten beide vertaald naar opbrengstdepressiekaarten volgens een methode die is beschreven in hoofdstuk 5. In paragraaf 8.1 worden de opbrengstdepressiekaarten met elkaar vergeleken en in paragraaf 8.2 worden de opbrengstdepressiekaarten vergeleken met de remote sensing opnamen.

8.1 Onderlinge vergelijking van de opbrengstdepressiekaarten

De kaarten met opbrengstdepressies door droogte en wateroverlast die zijn afgeleid van de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaarten zijn vergeleken met de opbrengstdepressiekaarten die zijn afgeleid van de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart. In de afb. 24 en 25 is aangegeven waar de opbrengstdepressieklassen met elkaar overeenkomen en waar ze van elkaar verschillen. De kaarten geven vanzelfsprekend alleen informatie over het gebied, waarvoor de met remote sensing opnamen ondersteunde kartering is uitgevoerd. De beide kaarten die de opbrengstdepressieklassen voor droogte weergeven, blijken voor ca. 55% van de oppervlakte van het gebied met elkaar overeen te komen. Dat wil zeggen dat voor 55% van de oppervlakte de opbrengstdepressies op beide kaarten maximaal 3% (opbrengstdepressie) van elkaar verschillen. Voor ca. 36% van de oppervlakte van het gebied blijken de opbrengstdepressies op beide kaarten één klasse van elkaar te verschillen. Slechts voor ca. 9% van het gebied bedraagt het verschil twee klassen of meer. Opvallend is dat vooral in de weinig droogtegevoelige gebieden de beide kaarten over het algemeen goed met elkaar overeenkomen, terwijl in de meer droogtegevoelige gebieden de overeenkomst tussen de kaarten aanzienlijk slechter is. Dit komt doordat in de weinig droogtegevoelige gebieden geringe verschillen in bodemkundige



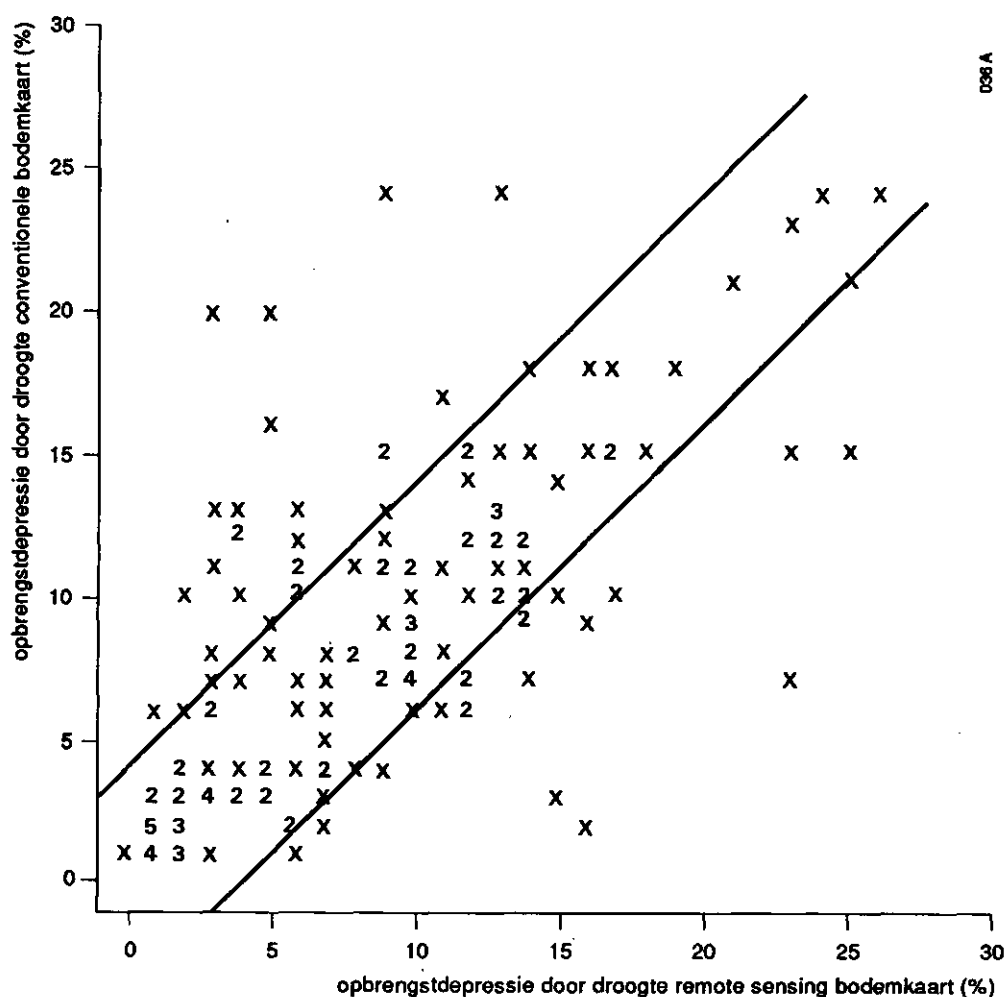
Afb. 24 Overeenkomst in opbrengstdepressieklassen tussen de kaarten met de opbrengstdepressies door droogte die zijn afgeleid van de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart en de met ondersteuning van

en hydrologische kenmerken over het algemeen geen invloed hebben op de gevoeligheid voor droogte, terwijl in de meer droogtegevoelige gebieden geringe verschillen in bodemkundige en hydrologische kenmerken grote verschillen in de gevoeligheid voor droogte tot gevolg kunnen hebben.

De beide kaarten die de opbrengstdepressieklassen voor wateroverlast weergeven, blijken voor ca. 62% van de oppervlakte van het gebied met elkaar overeen te komen. Voor ca. 24% van de oppervlakte van het gebied blijken de opbrengstdepressies op beide kaarten één klasse van elkaar te verschillen, terwijl voor ca. 14% van het gebied het verschil twee klassen of meer bedraagt. In tegenstelling tot de opbrengstdepressies door droogte komen de opbrengstdepressies door wateroverlast juist in de meer droogtegevoelige gebieden over het algemeen goed met elkaar overeen, terwijl in de weinig droogtegevoelige gebieden de overeenkomst aanzienlijk slechter is. Dit komt doordat de meer droogtegevoelige gebieden over het algemeen weinig gevoelig zijn voor wateroverlast, terwijl in de weinig droogtegevoelige gebieden geringe verschillen in bodemkundige en hydrologische kenmerken grote verschillen in de gevoeligheid voor wateroverlast tot gevolg kunnen hebben.

Omdat iedere klasse op de opbrengstdepressiekaarten overeenkomt met 4% opbrengstreductie geven de kaarten in de afb. 24 en 25 slechts beperkt inzicht in de mate van overeenkomst tussen de opbrengstdepressiekaarten die zijn afgeleid van de beide bodemkaarten. Daarom zijn nog enige aanvullende analyses uitgevoerd. Voor de opbrengstdepressiekaarten die zijn afgeleid van de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart is per kaartvlak vastgesteld welke opbrengstdepressies in hetzelfde vlak aanwezig zijn op de opbrengstdepressiekaarten die zijn afgeleid van de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart. In de afb. 26 en 27 zijn de op deze wijze bepaalde combinaties van opbrengstdepressies door droogte, respectievelijk wateroverlast tegen elkaar uitgezet. Soms is het in de afbeeldingen gebruikte symbool vervangen door een getal. Deze getallen geven het aantal samenvallende punten weer. De getrokken lijnen in beide figuren geven het traject aan waarbinnen de verschillen tussen beide kaarten kleiner of gelijk zijn aan 4% opbrengstdepressie. Het blijkt dat bij de opbrengstdepressiekaarten door droogte en wateroverlast respectievelijk 75 en 73% van de punten binnen dit traject valt. Dit duidt op een redelijke tot goede overeenkomst tussen de verschillende kaarten. De overige punten vallen in geringe of sterke mate buiten dit traject.

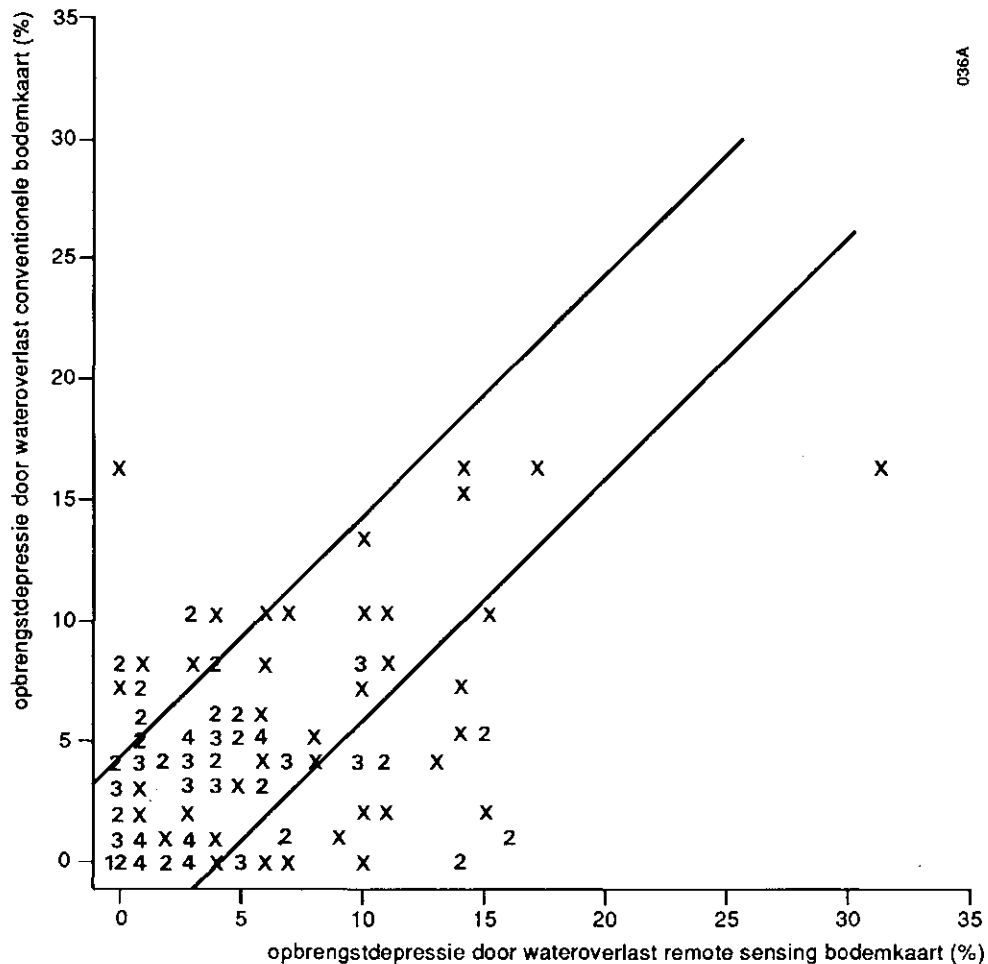
Uit een globale vergelijking van de verschillende opbrengstdepressiekaarten en een gedetailleerde analyse van een aantal sterk afwijkende punten in afb. 26 en 27 blijkt dat de verschillen tussen de opbrengstdepressiekaarten worden veroorzaakt door dezelfde factoren die ook de verschillen tussen de beide bodemkaarten veroorzaken, te weten (zie voor een uitgebreide beschrij-



Afb. 26 Opbrengstdepressies door droogte op de van de conventionele bodemkaart afgeleide opbrengstdepressiekaart uitgezet tegen de opbrengstdepressies door droogte op de opbrengstdepressiekaart die is afgeleid van de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart. De getallen geven het aantal samenvallende punten weer. De getrokken lijnen geven het traject aan waarbinnen de verschillen tussen beide kaarten kleiner of gelijk zijn aan 4% opbrengstdepressie.

ving van de oorzaken hoofdstuk 6):

- overgangen in bodemtype en/of grondwatertrap vallen vaak niet samen met overgangen in reflectie en of verdamping;
- de aanwezigheid van kaartonzuiverheden;
- grote variatie in bodemkundige eigenschappen bij vergraven gronden;
- verschillen in schatting van bodemkundige en hydrologische kenmerken door verschillende karteerders;
- verschillen in interpretatie van landschappelijke kenmerken door verschillende karteerders, wat leidt tot (geringe) verschillen in de ligging van grenzen.



Afb. 27 Opbrengstdepressies door wateroverlast op de van de conventionele bodemkaart afgeleide opbrengstdepressiekaart uitgezet tegen de opbrengstdepressies door wateroverlast op de opbrengstdepressiekaart die is afgeleid van de met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart. De getallen geven het aantal samenvallende punten weer. De getrokken lijnen geven het traject aan waarbinnen de verschillen tussen beide kaarten kleiner of gelijk zijn aan 4% opbrengstdepressie.

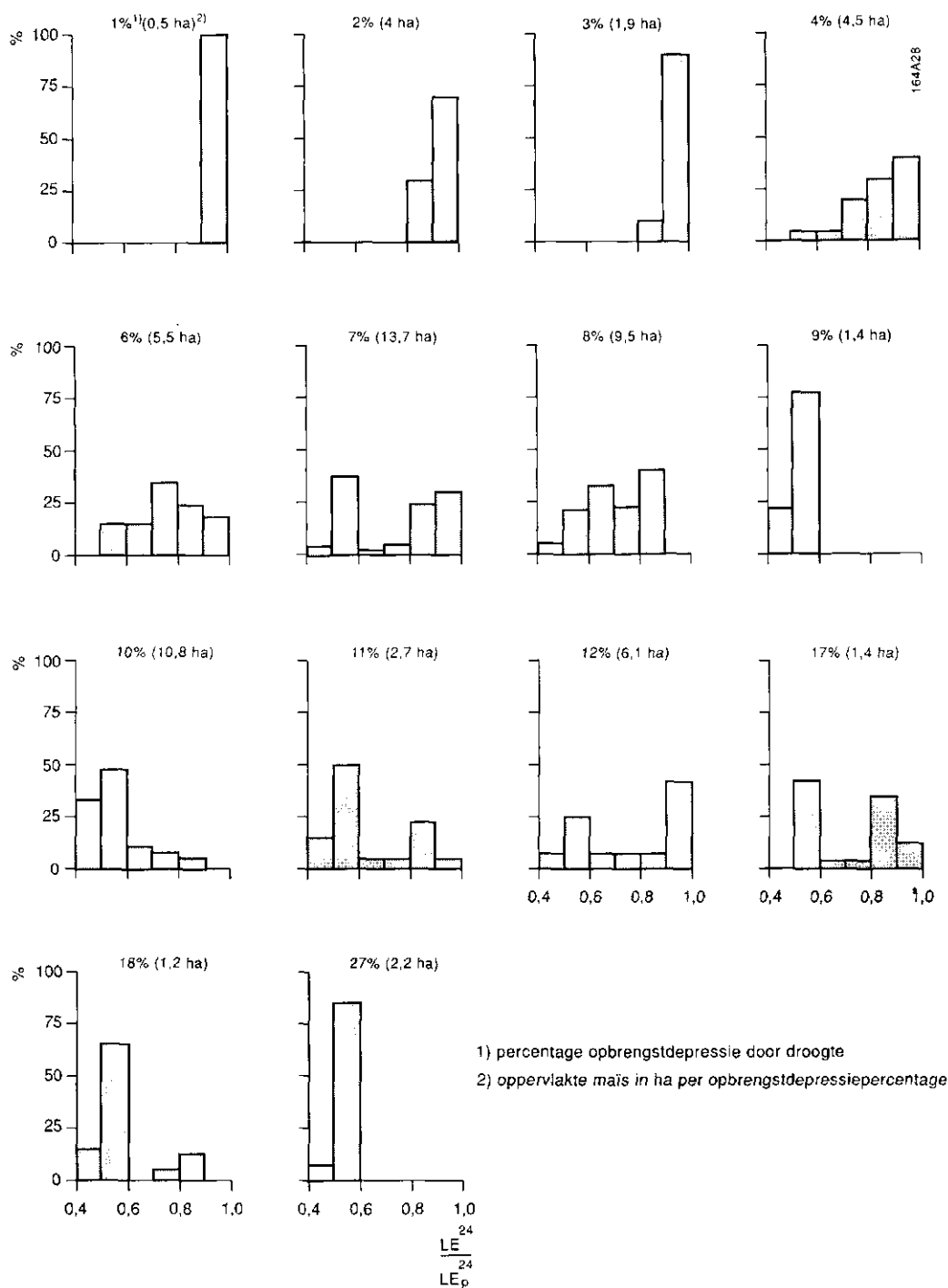
Vaak is men niet zozeer geïnteresseerd in de opbrengstdepressies van afzonderlijke (kaart)vlakken maar veeleer in de (gemiddelde) opbrengstdepressies van bepaalde gebieden. Voor het deel van het studiegebied waarvoor de opbrengstdepressiekaarten zijn gemaakt (zie afb. 7 en 8), zijn de gewogen gemiddelde opbrengstdepressies bepaald, waarbij de oppervlakten van de kaartvlakken als gewichten zijn gebruikt. Voor de opbrengstdepressiekaarten die zijn afgeleid van de op conventionele wijze en met ondersteuning van remote sensing opnamen vervaardigde bodemkaart bedragen de gewogen gemiddelde opbrengstdepressies door droogte respectievelijk 7,7 en 7,6% en de gewogen gemiddelde opbrengstdepressies door wateroverlast respectievelijk 3,7 en 5,0%. Het blijkt dat de overeenkomst tussen de gewogen gemiddelde opbrengstdepressies redelijk tot goed is. Wanneer deelgebieden worden beschouwd kan de overeenkomst echter minder goed zijn.

8.2 Vergelijking van de opbrengstdepressiekaarten met de remote sensing opnamen

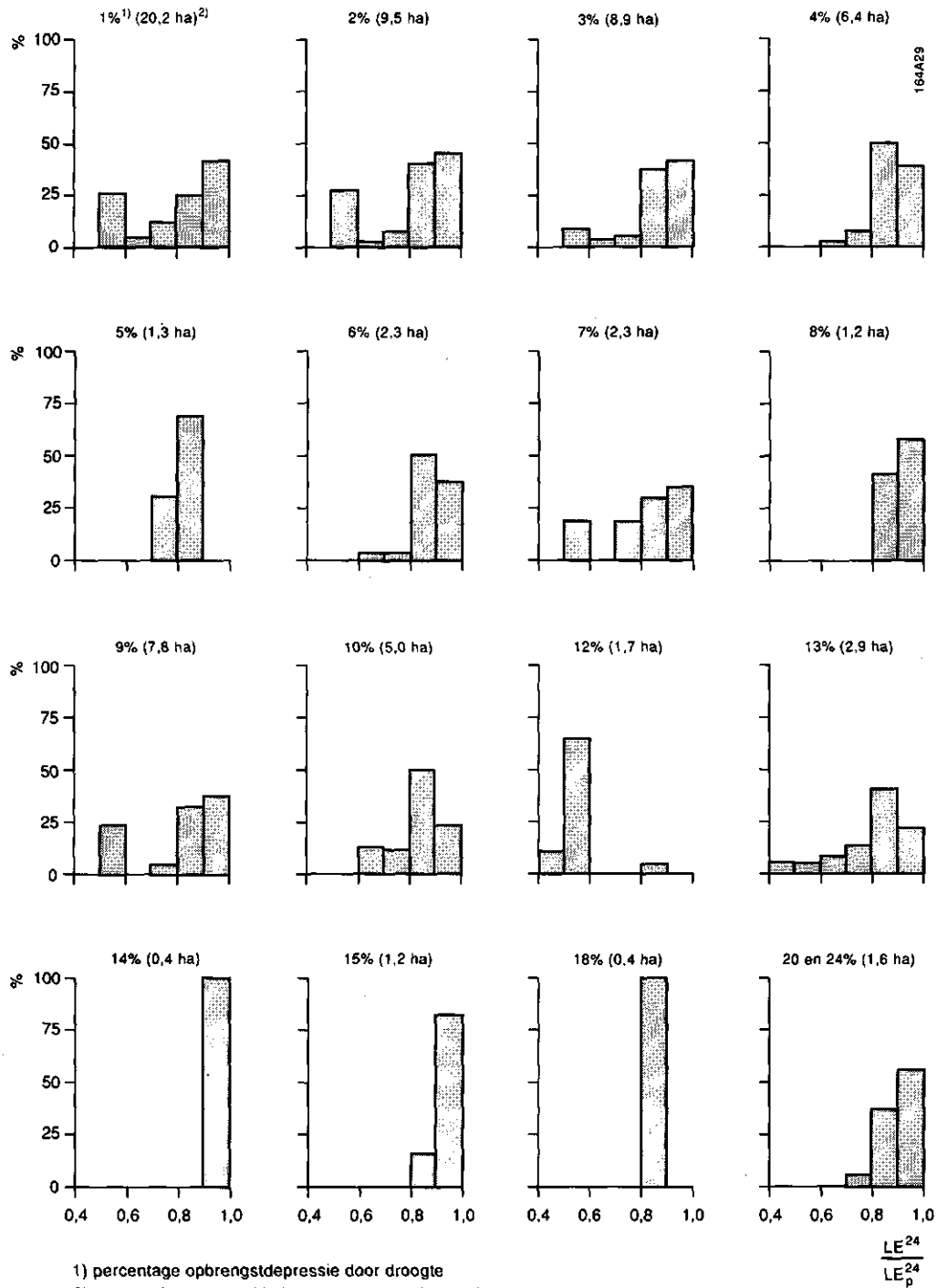
De kaarten met opbrengstdepressies door wateroverlast en vochttekort, die zijn afgeleid van de op conventionele wijze vervaardigde bodemkaart zijn vergeleken met de uit de remote sensing opnamen afgeleide verdampingskaart voor 14 augustus 1986 en de reflectie- en temperatuuropmaten van 2 april 1987 en 6 april 1988. Omdat het verdampingsbeeld voor een aanzienlijk groter oppervlak informatie verschaft dan de reflectie- en warmtebeelden uit het voorjaar is de meeste aandacht besteed aan de vergelijking van het verdampingsbeeld met de kaart die de opbrengstdepressies door vochttekort weergeeft. Natuurlijk mogen langjarig gemiddelde opbrengstdepressies niet zonder meer worden vergeleken met verdampingsreducties op een bepaalde dag. Wel mag worden verwacht dat de langjarig gemiddelde opbrengstdepressie door vochttekort groter zal zijn naarmate op het verdampingsbeeld een grotere verdampingsreductie wordt aangetroffen. In de afb. 28 en 29 is voor respectievelijk maïs en grasland voor verschillende opbrengstdepressiepercentages weergegeven hoe de oppervlakte met een bepaald opbrengstdepressiepercentage verdeeld is over de verschillende relatieve verdampingsklassen. We zien dat bij maïs de oppervlakte met lage verdampingswaarden over het algemeen toeneemt naarmate de opbrengstdepressie door droogte toeneemt. Toch is de spreiding in verdampingswaarden bij een bepaalde opbrengstdepressie nog vaak aanzienlijk. Ook bij gras wordt vaak een grote spreiding in verdampingswaarden bij een bepaalde opbrengstdepressie aangetroffen. Bovendien blijken bij gras bij hoge opbrengstdepressies nog vaak aanzienlijke oppervlakken met relatief hoge verdampingswaarden voor te komen. Dit zou er op kunnen wijzen dat verdampingsreducties bij grasland later gaan optreden dan bij maïs. Dit wordt bevestigd door de resultaten van de analyse van de relaties tussen de verdampingswaarden en de in het veld geschatte bodemkundige en hydrologische kenmerken (zie paragraaf 7.1). Bij deze analyse konden de hoge verdampingswaarden die zijn aangetroffen in de vlakken met opbrengstdepressies van 15, 18, 20 en 24% (zie afb. 29) overigens niet worden verklaard aan de hand van de aanwezige bodemkundige en hydrologische kenmerken. Mogelijk is hier berekening toegepast.

De spreiding in de verdampingswaarden bij een bepaalde opbrengstdepressie kan worden verklaard door:

- de aanwezigheid van onzuiverheden binnen kaartvlakken. Dit kan tot gevolg hebben dat binnen een kaarteenhed meer dan een verdampingswaarde voorkomt;
- variatie van de afstand tussen de bewortelde diepte en de GLG binnen een kaartvlak. Relatief geringe verschillen in deze afstand kunnen grote verschillen in verdamping tot gevolg hebben;
- de aanwezigheid van afwijkende ondergronden. Een grofzandige of sterk lemige ondergrond kan aanzienlijke invloed hebben



Afb. 28 Procentuele verdeling van de relatieve verdampingswaarden ($\frac{LE^{24}}{LE_p^{24}}$) van maïs over de opbrengstdepressiepercentages door droogte die zijn weergegeven op de van de conventionele bodemkaart afgeleide opbrengstdepressiekaart.



Afb. 29 Procentuele verdeling van de relatieve verdampingswaarden (LE^{24}/LE_p^{24}) van gras over de opbrengstdepressiepercentages door droogte die zijn weergegeven op de van de conventionele bodemkaart afgeleide opbrengstdepressiekaart.

- op de vochtvoorziening van het gewas. Bij de bepaling van de opbrengstdepressies door droogte met behulp van de HELP-tabellen speelt de ondergrond echter geen rol;
- het optreden van verdampingsreducties op laaggelegen, natte gronden. Vermoedelijk hebben we hier te maken met een slecht ontwikkeld wortelstelsel als gevolg van wateroverlast in het voorjaar.

De van de conventionele bodemkaart afgeleide kaart, die de opbrengstdepressies door wateroverlast weergeeft, is visueel vergeleken met de reflectie- en warmtebeelden van 2 april 1987 en 6 april 1988. Omdat de verschillen in reflectie en temperatuur van graslandpercelen matig tot slecht zijn gecorreleerd met het vochtgehalte in de top laag en mede worden veroorzaakt door verschillen in biomassa en bodembedekking (zie paragraaf 7.2) worden alleen percelen met kale grond beschouwd. Het blijkt dat er weinig tot geen correlatie bestaat tussen verschillen in reflectie en temperatuur i.c. verschillen in vochtgehalte enerzijds, en de opbrengstdepressie door wateroverlast anderzijds. Voor de factoren die de verschillen in vochtgehalte veroorzaken wordt verwezen naar paragraaf 7.2. Deze factoren spelen over het algemeen geen rol bij de bepaling van de opbrengstdepressies door wateroverlast met behulp van de HELP-tabellen.

Met behulp van remote sensing beelden kan waardevolle aanvullende informatie worden verkregen over de verbreiding van bepaalde bodemkundige en hydrologische eigenschappen. Een aantal van deze eigenschappen speelt echter geen of slechts een beperkte rol bij de indeling in bodemtype en grondwatertrap en bij de bepaling van opbrengstdepressies met behulp van de HELP-tabellen. Bovendien varieert een aantal van de betreffende eigenschappen in de tijd, waardoor de ligging en vorm van patronen op de remote sensing beelden mede afhankelijk zijn van het opnametijdstip. De bruikbaarheid van remote sensing opnamen bij de bodemkartering en de vervaardiging van opbrengstdepressiekaarten is daarom beperkt. Een beperking van het aantal boringen bij een 1 : 10 000 kartering tot ca. 1 per 2 ha is niet haalbaar gebleken.

Bij de toepassing van remote sensing in de bodemkartering leveren verdampingsbeelden afgeleid uit digitale remote sensing opnamen de meeste informatie. Vanwege de vereiste resolutie en het opnametijdstip zijn we hiervoor aangewezen op relatief dure opnamen vanuit vliegtuigen. Wanneer deze opnamen uitsluitend worden gemaakt ten behoeve van de bodemkartering zullen de kosten, gemoeid met de verkrijging en interpretatie van remote sensing beelden, daarom niet opwegen tegen de besparing op het aantal boringen en de verkregen extra informatie. De kosten-batenverhouding wordt bovendien nadelig beïnvloed doordat remote sensing beelden slechts voor een deel van het gebied relevante informatie opleveren.

False colour foto's kunnen, wanneer ze zijn opgenomen onder gunstige omstandigheden, d.w.z. na een droge periode, vooral in gebieden met veel akkerbouwgewassen waardevolle aanvullende informatie opleveren voor de bodemkartering. De toepassing van foto's, die aanzienlijk goedkoper zijn dan digitale remote sensing opnamen, wordt vooral aantrekkelijk wanneer deze tevens voor andere doeleinden kunnen worden gebruikt. De interpretatie van foto's is bovendien aanzienlijk eenvoudiger dan de interpretatie van digitale remote sensing opnamen.

LITERATUUR

- Bannink, M.H. en J.H.M. Wösten, 1988. Vochttransport tussen wortelzone en grondwaterspiegel; schematisering van ondergrond-informatie voor simulatieberekeningen. Landinrichting 28(1): 23-28.
- Bles, B.J. en A. van Nijf, 1989. De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1981.
- CBS, 1985. Landbouwtellingen 1985. Voorburg.
- CBS, 1986. Landbouwtellingen 1986. Voorburg.
- Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, Werkgroep Landbouwkundige aspecten, 1984. Landbouwkundige aspecten van grondwateronttrekking. Berekening van schade als gevolg van kunstmatige verlaging van de grondwaterstand.
- Droesen, W.J., i.v. Detectie van bodemvocht door middel van reflectie- en stralingstemperatuurmetingen in Ulvenhout-Galder. Wageningen, Staring Centrum.
- Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland, 1985. Onderzoek naar de mogelijkheden van operationele toepassing van remote sensing technieken in de landbouw en het natuurbeheer. Wageningen, ICW. Rapport 17.
- Werkgroep HELP-tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Utrecht, Landinrichtingsdienst. Mededelingen 176.

NIET-GEPUBLICEEERDE BRONNEN

- Droesen, W.J. en A.M. van Lieshout, 1988. Toepassingsmogelijkheden van remote sensing in de voorbereidingsfase van een landinrichtingsproject. Wageningen, ICW. Nota 1832.
- Thunnissen, H.A.M., 1984a. Hydrologische beschrijving van een studiegebied rond het pompstation 't Klooster; toepassing van hydrologische modellen en remote sensing. Wageningen, ICW. Nota 1542.
- Thunnissen, H.A.M., 1984b. Eenvoudige methode voor de bepaling van de regionale dagverdamping van een gewas met remote sensing. Wageningen, ICW. Nota 1580.