

32/446(48) 2^e ex

BIBLIOTHEEK
STARING GEBOUW

Toepassing van remote sensing in de landinrichtingspraktijk

Eindrapport Ulvenhout-Galder

Wim J. Drogen
Marijke N. Jaarsma

Rapport 48

STARING CENTRUM, Wageningen, 1990

13 JUN 1990

186 5-4066*

REFERAAT

Droesen, W.J. en M.N. Jaarsma, 1990. Toepassing remote sensing in de landinrichtingspraktijk: eindrapport Ulvenhout-Galder. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 48. 92 blz.; 16 afb.; 8 tab.; 5 bijlagen.

In het kader van het landinrichtingsproject Ulvenhout-Galder is onderzocht in hoeverre thans remote sensing technieken toepassingsmogelijkheden hebben in de voorbereidingsfase van landinrichtingsprojecten en in hoeverre de met remote sensing ondersteunde methoden de bestaande methoden kunnen vervangen, aanvullen of efficiënter maken.

Gebleken is dat de toepassing van false colour foto's kosteneffectief is in de praktijk. Voor scanningtechnieken bestaan potentiële toepassingsmogelijkheden. Reflektie beelden verschaffen informatie over het grondgebruik en warmtebeelden over de gewasverdamping. Het inpassen van remote sensing in de dagelijkse praktijk levert echter nog problemen op. De belangrijkste knelpunten zijn de beschikbaarheid van bruikbare opnamen en de vereiste specialistische kennis. Inpassing van remote sensing in de landinrichtingspraktijk vergt een vergaande aanpassing van de huidige werkwijze.

Trefwoorden: Toepassing remote sensing, landinrichting, kartering met remote sensing technieken.

ISSN 0924-3070

©1990

STARING CENTRUM Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied
Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-19100; 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 (IOB), de afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), 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 100.33

[RAP/48]

INHOUD

	Blz.
WOORD VOORAF	9
SAMENVATTING	11
CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	13
1 INLEIDING	17
2 GEBIEDSBESCHRIJVING	19
2.1 Topografie	
2.2 Geologie	19
2.3 Bodemgesteldheid	19
2.4 Grondgebruik	21
2.5 Waterhuishouding	21
3 BENODIGDE INFORMATIE BIJ LANDINRICHTINGSPROJEKTEN	23
3.1 Algemene informatie landinrichtingspraktijk	23
3.1.1 Inleiding	23
3.1.2 Vormen van landinrichting	23
3.1.3 Procedure	23
3.1.4 Het landinrichtingsplan	24
3.2 Gegevensverzameling tijdens de voorbereiding	25
3.2.1 Bodem- en Grondwatertrappenkaart	26
3.2.2 Grondgebruik	26
3.2.3 Vegetatiekaart	27
3.2.4 Terreinkaart	27
3.2.5 Begroeiingsklassifikatie	28
3.2.6 Archeologie en Cultuurhistorie	28
4 ONDERZOEKSOPZET	29
4.1 Algemeen	29
4.2 Kartering van bodemkundige en hydrologische kenmerken	32
4.2.1 Samenhang tussen remote sensing opnamen en veldgegevens	32
4.2.2 Toepassing van remote sensing bij de bodemkartering	34
4.2.3 Toepassing van remote sensing bij het bepalen van opbrengstdepressies	35
4.3 Grondgebruikskartering	36
4.3.1 Visuele interpretatie van false colour foto's	36
4.3.2 Automatische klassifikatie van scannerbeelden	37
4.4 Vegetatiekartering	38
4.5 Terreinkaart en globale begroeiingskaart	40

5	RESULTATEN REMOTE SENSING ONDERZOEK	41
5.1	Kartering van bodemkundige en hydrologische kenmerken	41
5.1.1	Samenhang tussen verdampingswaarden en veldgegevens	41
5.1.2	Kartering van het vochtgehalte van de toplaag met reflectie- en warmtebeelden en radaropnamen	42
5.1.3	Toepassing van remote sensing bij de bodemkartering	47
5.1.4	Toepassing van remote sensing bij de bepaling van opbrengstdepressies	52
5.2	Grondgebruikskartering	59
5.2.1	Visuele interpretatie van false colour foto's	59
5.2.2	Automatische klassifikatie met scannerbeelden	61
5.3	Vegetatiekartering	64
5.4	Terreinkaart en globale begroeiingskaart	67
5.4.1	Terreinkaart	67
5.4.2	Globale begroeiingskaart	68
6	EVALUATIE EN MOGELIJKHEDEN REMOTE SENSING	69
6.1	Algemeen	69
6.2	Evaluatie per toepassingsveld	70
6.2.1	Bodem- en grondwatertrappenkartering	70
6.2.2	Grondgebruik	72
6.2.3	Vegetatiekartering	72
6.2.4	Terrein- en begroeiingskaart	73
6.2.5	Cultuurhistorie en archeologie	73
6.3	Kanttekeningen bij de toegepaste remote sensing technieken	74
6.3.1	Fotografie	74
6.3.2	Scanningtechnieken	74
7	KOSTEN-BATEN-ANALYSE	75
8	ONTWIKKELINGEN	79
	LITERATUUR	81
	FIGUREN	
1	Topografische ligging van het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder	20
2	Overzicht van de verschillende fasen in de Landinrichtingswet	24
3	Verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 van het proefgebied Galder	31
4	De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide verdampingswaarden en de grondwatertrap van de boorpunten in maispercelen	42
5	De relatie tussen het volumetrisch vochtgehalte in de bovenste 5 cm van de kale bodem en de reflectie in het groene, het rode en het nabij infrarode deel van het spectrum	44

6 De dagstralingstemperatuur van de kale bodem uitgezet tegen het volumetrisch vochtgehalte van de 5 cm toplaag	45
7 Overeenkomst in vlakken en grenzen van bodemtype en/of grondwatertrap tussen de conventionele en de remote sensing bodemkaart	48
8 De ligging en de bodemcode van de boorpunten bij de conventionele en de remote sensing kartering voor een perceel in het studiegebied	49
9 De op de conventionele bodemkaart aangegeven grondwatertrapgrenzen en de aan de hand van remote sensing opnamen bijgestelde grondwatertrapgrenzen voor een perceel in het studiegebied	51
10 Overeenkomst in opbrengstdepressieklassen tussen de kaarten met de opbrengstdepressies door droogte die zijn afgeleid van de conventionele en remote sensing bodemkaart	53
11 Overeenkomst in opbrengstdepressieklassen tussen de kaarten met de opbrengstdepressies door wateroverlast die zijn afgeleid van de conventionele en remote sensing bodemkaart	54
12 Opbrengstdepressie door droogte afgeleid van de conventionele opbrengstdepressiekaart uitgezet tegen de opbrengstdepressie verkregen uit de remote sensing bodemkaart. De getallen geven het aantal samenvallende punten weer. De getrokken lijnen geven het traject aan waarbinnen de verschillen tussen de beide kaarten kleiner zijn dan of gelijk zijn aan 4% opbrengstdepressie	56
13 Opbrengstdepressie door wateroverlast afgeleid van de conventionele opbrengstdepressiekaart uitgezet tegen de opbrengstdepressie verkregen uit de remote sensing bodemkaart. De getallen geven het aantal samenvallende punten weer. De getrokken lijnen geven het traject aan waarbinnen de verschillen tussen de beide kaarten kleiner zijn dan of gelijk zijn aan 4% opbrengstdepressie	57
14 Procentuele verdeling van de relatieve verdampingsklassen van mais over de opbrengstdepressiepercentages door droogte afgeleid van de conventionele bodemkaart	58
15a De pixelgewijze grondgebruiksklassificatie met behulp van een Landsat-TM beeld d.d. 3-8-1986	62
15b Grondgebruiksklassificatie van het beeld in fig. 15a na bewerking met het postklassificatie programma OBJCLASS	62
16 False colour foto's van een deelgebied nabij Ulvenhout, van twee opnametijdstippen, met een overlay van de CABO-kartering naar graslandtypen	64

TABELLEN

1 Bij de bodem- en grondwatertrappenkartering gebruikte remote sensing beelden	32
2 Bij de vegetatiekartering gebruikte remote sensing beelden	39
3 De resultaten van de visuele interpretatie van de false colour foto's. De klassifikatienauwkeurigheden zijn berekend voor het proefgebied Galder (400 ha)	59
4 De resultaten van de pixelgewijze en de objekt klassifikatie van de verschillende scanneropnamen, en de semi-automatische klassifikatie uitgevoerd door DHV. De klassifikatie nauwkeurigheden zijn berekend voor het gehele gebied (3775 ha) behalve voor de Daedalus opnamen die beslaan slechts een deel van het gebied (1880 ha)	61
5 Mogelijkheden van vliegtuig en satelliet remote sensing bij karteringen in het kader van landinrichtingsprojekten	69
6 Overzicht kosten van remote sensing opnamen	75
7 Overzicht per kartering van de gebruikte remote sensing opnamen en produkten en de verwerkingskosten in guldens per hectare	76
8 Normbedrag per kartering en het aandeel voor het veldwerk in guldens per hectare en de geschatte besparing in guldens per hectare door toepassing van remote sensing, en de totale kosten verbonden aan opnamen en verwerking van remote sensing beelden	76

BIJLAGEN

1 Samenstelling van het projectteam	83
2 Overzicht van de in het kader van het studieproject verschenen publikaties	85
3 Verklarende woordenlijst	87
4 Overzicht van de benodigde basisinformatie voor landinrichtingsprojekten	89
5 Beschikbare opnamen en veldwaarnemingen	91

WOORD VOORAF

In 1986 is gestart met het Nationaal Remote Sensing Programma (NRSP). Een van de doelstellingen van dit programma heeft betrekking op de operationalisering van toepassingen.

Het voorafgaande onderzoek had diverse toepassingen tot ontwikkeling gebracht. In de landbouw waren goede resultaten geboekt op het gebied van de gewaskartering met multispectrale opnamen. Verder was veel aandacht besteed aan de kartering van de gewasverdamping met warmtebeelden. Gezien deze resultaten werd als een van de kansrijke toepassingen in het NRSP dan ook genoemd inventarisaties voor landinrichting.

Bij de Landinrichtingsdienst was veel belangstelling om de mogelijkheden van remote sensing onder praktijkomstandigheden te toetsen. Zo is een projekt tot stand gekomen, waarbij in het kader van een landinrichtingsprojekt diverse inventarisaties zowel op conventionele wijze als met ondersteuning van remote sensing werden verricht.

Naast de medewerking van de Landinrichtingsdienst is deze studie mogelijk geworden dankzij een financiële bijdrage van de BCRS in het kader van het NRSP. Het projekt is gezamenlijk uitgevoerd door LD, STIBOKA en ICW. De samenstelling van het projektteam staat in bijlage 1.

SAMENVATTING

In het kader van het landinrichtingsproject Ulvenhout-Galder is ervaring opgedaan met de toepassing van remote sensing onder praktijkomstandigheden. In de voorbereidingsfase van landinrichtingsprojecten worden diverse inventarisaties verricht zoals de kartering van bodem en grondwatertrap, grondgebruik, vegetatie. Onderzocht is in hoeverre de met remote sensing ondersteunde methoden de bestaande methoden kunnen vervangen, aanvullen of efficiënter maken.

Daartoe zijn in 1986, 1987 en 1988, verspreid over het jaar, verschillende vluchten uitgevoerd. Er zijn multispectrale en radarbeelden en false colour foto's op verschillende vlieghoogtes opgenomen. Daarnaast zijn satellietbeelden aangeschaft van Landsat Thematic Mapper en SPOT.

Gebleken is dat de toepassing van false colour foto's kosten-effectief is in de praktijk. Voor scanningtechnieken bestaan potentiële toepassingsmogelijkheden. Reflectie-beelden verschaffen informatie over het grondgebruik en warmtebeelden over de gewasverdamping. De mogelijkheden die false colour opnamen bieden, worden thans onvoldoende benut. Het inpassen van remote sensing in de dagelijkse praktijk levert echter nog problemen op. De belangrijkste knelpunten zijn de beschikbaarheid van bruikbare opnamen en de vereiste specialistische kennis. Inpassing van remote sensing in de landinrichtingspraktijk vergt een vergaande aanpassing van de huidige werkwijze.

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

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van de bereikte resultaten kunnen enkele algemene conclusies en aanbevelingen worden geformuleerd over de toepassing van remote sensing in de landinrichtingspraktijk. Daarna wordt de situatie voor een aantal inventarisaties toegelicht.

Algemeen

- Er bestaat een redelijk inzicht in de informatie die remote sensing beelden in het zichtbare en thermische golflengtegebied kunnen bieden voor landinrichtingsprojecten. Reflektiebeelden verschaffen informatie over het grondgebruik en warmtebeelden over de gewasverdamping.
- Toepassing van remote sensing vereist specialistische kennis. Daarbij zijn er onzekerheden over de beschikbaarheid van de benodigde remote sensing beelden. Het gevolg is dat inpassing in de gangbare praktijk een vergaande aanpassing vergt van de huidige werkwijze. Deze factoren vormen een belangrijke belemmering bij de operationalisering van remote sensing technieken.
- Toepassing van false colour foto's in de landinrichtingspraktijk is kosteneffektief en dient in projecten te worden toegepast.
- Voor het verkrijgen van verdampingsbeelden zijn vliegtuigscannerbeelden onmisbaar. Deze beelden zijn echter erg duur.
- Satelliet remote sensing biedt in potentie goede mogelijkheden voor de grondgebruikskartering. Het wachten is op beelden met een grotere geometrische resolutie.
- Radar biedt in potentie toepassingsmogelijkheden. Naar de objekt-sensor interactie in het microgolfgebied dient nog het nodige onderzoek te worden verricht.

Kartering van bodemtype en grondwatertrap

- 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 HELP-tabellen. De bruikbaarheid van remote sensing opnamen is daarom beperkt.
- Bij de toepassing van remote sensing bij de bodemkartering leveren verdampingsbeelden afgeleid uit scanneropnamen de meeste informatie. Vanwege de vereiste resolutie en het opname-tijdstip is men aangewezen op relatief dure vliegtuigopnamen. Wanneer deze opnamen uitsluitend worden gemaakt voor de bodemkartering kunnen de kosten niet opwegen tegen de besparingen op het aantal boringen. De kosten-baten verhouding wordt bovendien nadelig beïnvloed doordat de 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, dat wil zeggen na een droge periode, met name in gebieden met veel akkerbouwgewassen waardevolle informatie opleveren voor de bodemkartering. De toepassing van foto's wordt vooral aantrekkelijk wanneer deze tevens voor andere doeleinden kunnen worden gebruikt. De interpretatie van foto's is aanzienlijk eenvoudiger dan de interpretatie van digitale remote sensing opnamen.
- De reflectie van kale grond is een goede maat voor het bodemvochtgehalte in de top laag.

Grondgebruikskartering

- Met behulp van false colour foto's kunnen de meest voorkomende gewassen met een grote betrouwbaarheid worden gekarteerd. De kartering van tuinbouwgewassen kan echter niet met behulp van false colour foto's worden gerealiseerd. Daarvoor zijn veldinventarisaties onmisbaar.
- Digitale reflectiebeelden bieden goede mogelijkheden ten aanzien van de grondgebruikskartering en het aktualiseren van grondgebruiksgegevens. Ook voor de digitale beelden geldt dat klassen met een grote spectrale variatie niet automatisch zijn te klassificeren. Satellietbeelden hebben daarentegen het nadeel van een te geringe geometrische resolutie.

Vegetatiekartering

- Remote sensing beelden zijn niet voldoende gedetailleerd voor de inventarisatie van lijnvormige elementen, zoals bermen en slootkanten.
- Gegeven de huidige procedure van data-analyse en beeldverwerking is het niet mogelijk om met behulp van remote sensing beelden vegetatietypen binnen graslanden te onderscheiden.
- Het is wel mogelijk gebleken een globale indeling van het grasland naar cultuurdruk te maken op basis waarvan gerichter veldwerk kan worden verricht.
- Gezien de huidige wens om door middel van de kartering van vegetatie en indicatorsoorten een uitspraak te doen over de natuurlijke potenties van een gebied, zijn er geen toepassingsmogelijkheden voor remote sensing ten behoeve van de vegetatiekartering. Dit geldt specifiek voor vegetatiekarteringen zoals die voor landinrichtingsprojecten worden uitgevoerd. Reeds eerder is aangetoond dat er bij vegetatiekarteringen van natuurgebieden wel mogelijkheden zijn voor toepassing van remote sensing (Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland, 1985).

Terrein- en begroeiingskartering

- Vlakelementen zijn in het algemeen goed herkenbaar op luchtfoto's.
- De herkenbaarheid van lijn- en puntelementen is sterk afhankelijk van het type en de grootte van het object.

Cultuurhistorie

- Voor cultuurhistorische inventarisaties wordt gebruik gemaakt van luchtfoto's. Voor deze toepassing is behoefte aan groot-schalige luchtfoto's. Bovendien dienen deze foto's onder zeer specifieke veldomstandigheden te worden opgenomen. Het belang van verticale opnamen op een bepaald moment in het groeiseizoen is beperkt. In de praktijk wordt wel gebruik gemaakt van oblique fotografie, waarbij regelmatig wordt gevlogen om de verschillende percelen op het juiste tijdstip vlak na grond-bewerking te kunnen fotograferen.

1 INLEIDING

In het kader van het remote sensing studieproject Oost-Gelderland is ervaring opgedaan met de opname- en verwerkingstechnieken van reflectie- en warmtebeelden en van false colour foto's onder praktijkomstandigheden (Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland, 1985). In het kader van genoemd project is een methode ontwikkeld voor het karteren van de relatieve dagverdamping van gewassen met behulp van een warmtebeeld.

In het eindrapport werd geadviseerd om ter stimulering van het gebruik van remote sensing samen met uitvoerende diensten pilotprojecten op te zetten, waarbij remote sensing wordt toegepast in combinatie met de conventionele werkwijze.

In 1985 is door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) in samenwerking met de Landinrichtingsdienst (LD) een project gestart. Het doel van het project is te onderzoeken in hoeverre thans remote sensing technieken toepassingsmogelijkheden hebben in de voorbereidingsfase van landinrichtingsprojecten en na te gaan in hoeverre de met remote sensing ondersteunde methoden de bestaande methoden kunnen vervangen, aanvullen of efficiënter maken. Bij dit onderzoek speelde de bodem- en grondwatertrappenkartering een belangrijke rol. Remote sensing beelden tonen vaak patronen, die samenhangen met bodemkundige en hydrologische kenmerken. Daarom leken er goede mogelijkheden te bestaan om te besparen op het aantal boringen, die relatief hoge kosten met zich meebrengen. In verband met deze toepassing is de Stichting voor Bodemkartering (Stiboka) bij het project betrokken.

In overleg met de Landinrichtingsdienst is besloten het project uit te voeren in het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Gelder. Het is een relatief klein herinrichtingsgebied dat is gelegen in het zuidelijk zandgebied. In het herinrichtingsgebied komt de nodige variatie in bodemtypen, hydrologie en vegetatie voor. Het bodemgebruik is min of meer representatief voor het zuidelijk zandgebied.

Dit rapport geeft een samenvatting van de rapporten, die in het kader van dit project zijn uitgebracht (bijlage 2). In hoofdstuk 2 is een beknopte gebiedsbeschrijving opgenomen. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de basisinformatie, die nodig is bij de voorbereiding van landinrichtingsprojecten. De opzet van het remote sensing onderzoek wordt in hoofdstuk 4 besproken, gevolgd door hoofdstuk 5 met de resultaten van het remote sensing onderzoek. In hoofdstuk 6 worden de mogelijkheden van remote sensing in de voorbereidingsfase van landinrichtingsprojecten geëvalueerd. In hoofdstuk 7 is een globale kosten-baten-analyse opgenomen. Tenslotte volgen in hoofdstuk 8 de te verwachten ontwikkelingen met betrekking tot remote sensing technieken en de toepassingsmogelijkheden van remote sensing in de landinrichtingspraktijk. In bijlage 3 is een verklarende woordenlijst van enkele voorkomende termen opgenomen.

2 GEBIEDSBESCHRIJVING

2.1 Topografie

Het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder dat is gelegen tussen Breda en de Belgische grens, is 2650 hectare groot (fig. 1). Het gebied maakt deel uit van het zuidelijk zandgebied. Het herinrichtingsgebied wordt gekenmerkt door het brede dal van de Mark met aan weerszijden een dekzand plateau dat versneden is door verschillende beekdalen. Het maximale hoogteverschil in het gebied bedraagt ongeveer 5 meter. Het reliëf op de plateaus wordt plaatselijk versterkt door dekzandruggen en laagtes waardoor een licht golvend maaiveld is ontstaan. Het onregelmatig voorkomen van geringe hoogteverschillen in het gebied is overigens kenmerkend voor het gehele zuidelijk zandgebied.

2.2 Geologie

De afzettingen die in het gebied aan of nabij de oppervlakte voorkomen, dateren voornamelijk uit het Pleistoceen. Zowel fluviatiele als eolische afzettingen komen in het gebied voor. Op drie meter diepte bevindt zich in het gehele gebied een pakket fijn zand, het zogenaamde oude dekzand.

In de lage delen van het landschap kwamen leemlagen tot ontwikkeling met een dikte van ten hoogste 1 meter. Deze laag is zelden horizontaal of over grote afstanden aaneengesloten. Verder treedt ook in de diepteligging van de leemlaag veel variatie op. In de lagere gedeelten en in uitgestoven laagten vormde zich veen als gevolg van stagnatie van water. Het veen is in de afgelopen eeuwen door de mens vrijwel volledig afgegraven.

Tegenwoordig bevindt zich vrijwel overal in het gebied het jonge dekzand aan het oppervlak. Het jonge dekzand is grover en minder lemig dan het oude dekzand. Plaatselijk is het jonge dekzand verstoven en in de nabijheid op hogere delen afgezet.

2.3 Bodemgesteldheid

Het huidige landschap is voor het merendeel ontstaan door het ingrijpen van de mens. Er kunnen vier landschappelijke elementen met elk specifieke bodemkenmerken worden onderscheiden (Stiboka, 1983).

In de beekdalen komen voornamelijk de goor- en beekerdgronden voor met een grondwatertrap III of V. De door de mens opgehoogde gronden in deze lage delen behoren tot de lage enkeerdgronden met een grondwatertrap (GT) III* of VI.

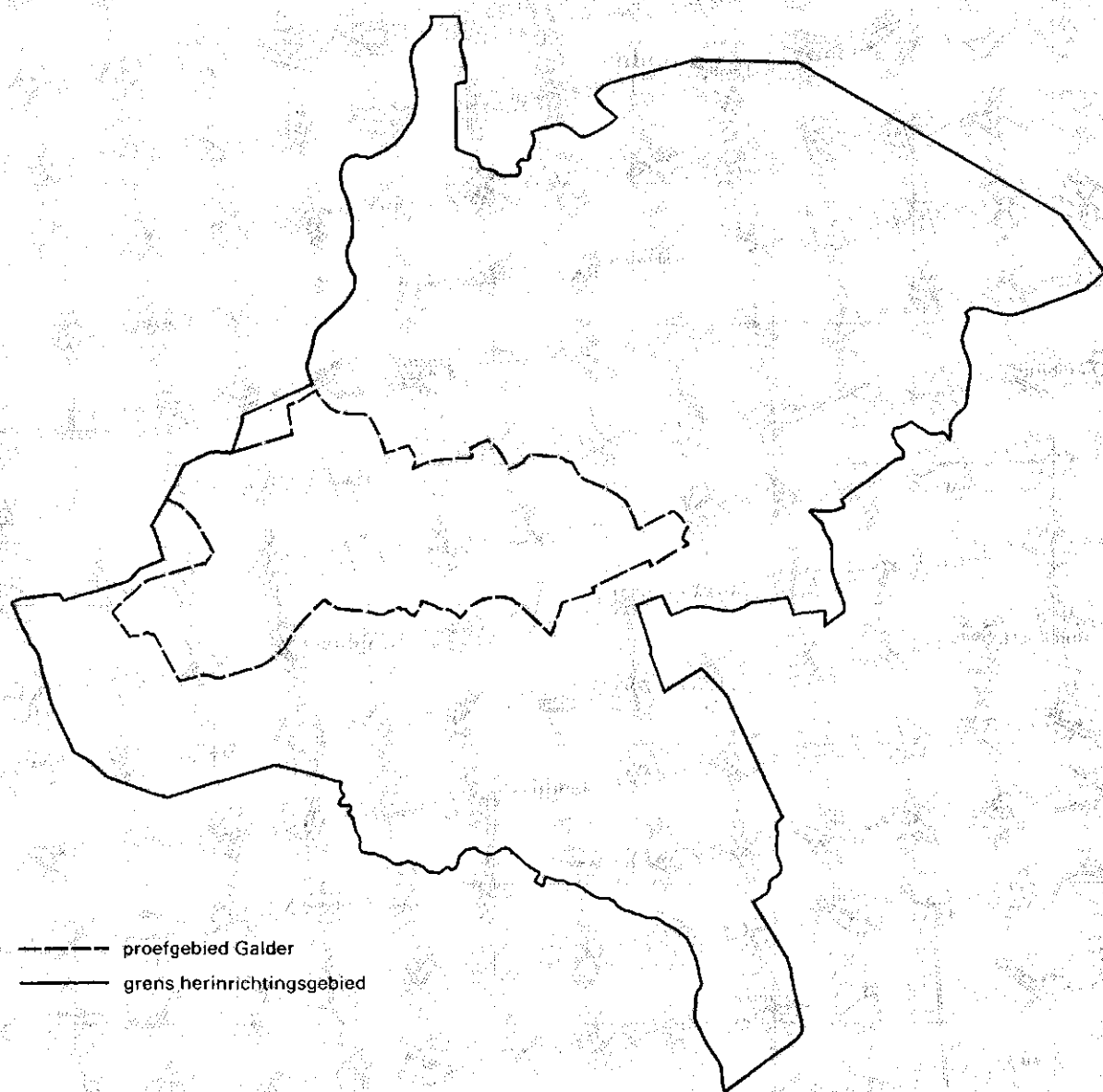


Fig 1. Topografische ligging van het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder.

Nabij de woonkernen liggen de oude bouwlanden die gedurende een lange tijd zijn opgehoogd met strooisel uit potstallen. Deze dikke enkeerdgronden hebben veelal een GT VI of VII. Enkeerdgronden en laarpodzolgronden komen meestal voor bij de oude bouwlandcomplexen, ze vormden vaak een latere uitbreiding van deze complexen.

Als laatste landschappelijk element worden de zogenaamde jonge ontginningen onderscheiden. Deze gebieden waren heidevelden maar zijn sinds het eind van de vorige eeuw ontgonnen en bestaan uit veldpodzolen. Veldpodzolgronden worden gekenmerkt door een dun humeus dek. De ontginningsgronden hebben vanwege het sterk variërend reliëf een grondwatertrap V*, VI of VII.

2.4 Grondgebruik

Van het in totaal 2650 hectare grote herinrichtingsgebied is 1468 hectare in gebruik als cultuurgrond. Hiervan is 65% grasland, 23% akkerbouw en 12% tuinbouw (Hulsbos, 1987).

Langs de beken komen vanwege de natte omstandigheden voornamelijk graslanden voor. Op de flanken van de beekdalen liggen de eerdgronden die als bouwland in gebruik zijn. De hoogste delen tussen de beken, de dekzandplateaus, worden ingenomen door bossen en heide.

De laatste jaren is het areaal snijmais sterk toegenomen. Door de verbeterde ontwatering van de lagere gronden vindt uitbreiding van de snijmais meer en meer in de beekdalen plaats. Daarnaast komt in het gebied op de drogere oude bouwlanden tuinbouw voor, de zogenaamde Bredase teelten (aardbeien, asperges e.d.).

2.5 Waterhuishouding

De hoofdontwatering van het gebied vindt plaats via de Mark, waarin de Kerselse, Galderse en Strijbeekse beek uitkomen. Het noordoostelijk deel van het gebied ontwatert via de Chaamse beek en de Bavelse Leij.

In de beekdalen treedt plaatselijk kwel in het freatisch niveau op. Langs de Strijbeekse beek en in het dal van de Mark treedt kwel in het maaiveld op. Inzijing van water vindt plaats op de hogere dekzandruggen. Ongeveer 30% van de oppervlakte cultuurgrond wordt beregend (Hulsbos, 1987). Het merendeel daarvan is grasland.

3 BENODIGDE INFORMATIE BIJ LANDINRICHTINGSPROJECTEN

3.1 Algemene informatie landinrichtingspraktijk

3.1.1 Inleiding

De doelstelling van landinrichting is geformuleerd in artikel 4 van de landinrichtingswet. Zij luidt: "Landinrichting strekt tot verbetering van de inrichting van het landelijk gebied overeenkomstig de functies van dat gebied, zoals deze in het kader van de ruimtelijke ordening zijn aangegeven".

Dat betekent dat met behulp van landinrichting maatregelen en voorzieningen kunnen worden getroffen voor de land- en tuinbouw, bosbouw, natuur, landschap, openluchtrecreatie, verkeer, cultuurhistorie en andere functies, die voor een gebied van belang zijn.

3.1.2 Vormen van landinrichting

De twee belangrijkste en meest voorkomende vormen van landinrichting zijn herinrichting en ruilverkaveling. Herinrichting is bedoeld voor die gebieden waar naast landbouw andere functies een belangrijke rol spelen of gaan spelen. Ruilverkaveling is bedoeld voor die gebieden die voornamelijk een agrarische functie hebben en waar de andere functies maar een beperkte rol spelen.

Het initiatief voor herinrichting of ruilverkaveling kan uitgaan van overheden zoals provincies of gemeenten, van verenigingen, stichtingen of van tenminste eenderde van de grondeigenaren en/of gebruikers in het betreffende gebied.

3.1.3 Procedure

Landinrichting is een proces dat doorgaans vele jaren in beslag neemt. De procedure kan in drie fasen (zie fig. 2) worden ingedeeld:

1. Initiatief tot landinrichting
2. Voorbereiding
3. Uitvoering

De fase van initiatief begint met een verzoek aan de Minister van Landbouw en Visserij en eindigt met de plaatsing van een project op het voorbereidingsschema. Daarmee begint de voorbereiding.

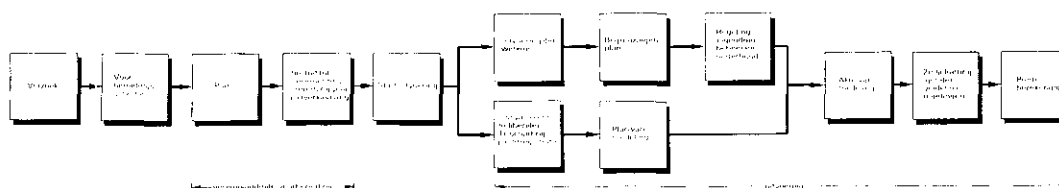


Fig. 2 Overzicht van de verschillende fasen in de Landinrichtingswet.

Na een positief besluit, door provinciale staten of bij stemming door belanghebbenden, kan met de uitvoering van het plan worden begonnen. De uitvoering kent in hoofdlijnen de volgende procedurestappen c.q. activiteiten:

- opstellen lijst van rechthebbenden en waardebeoordeling gronden;
- uitvoering infrastructuurwerken en boerderijverplaatsingen
- wenszittingen;
- begrenzingenplan met regeling eigendom, beheer en onderhoud van wegen, waterlopen en gronden van algemeen belang;
- plan van toedeling;
- uitvoering van inrichtingswerken;
- aktepassering;
- lijst van geldelijke regelingen;
- renteberekening en afsluiting.

Bij de voorbereiding en uitvoering zijn vanwege de vele belangen die bij de herinrichting van het landelijk gebied in het geding zijn, vele ambtelijke en niet-ambtelijke vertegenwoordigers van die belangen betrokken.

3.1.4 Het landinrichtingsplan

Nadat een gebied op het Voorbereidingsschema Landinrichting is geplaatst, wordt een landinrichtingscommissie ingesteld. Deze is verantwoordelijk voor de voorbereiding en eventuele uitvoering van de ruilverkaveling of herinrichting.

De commissie stelt het landinrichtingsplan op. Dit plan bestaat uit een beschrijving en een of meer kaarten, waarin het volgende wordt belicht.

Algemeen:

- voorbereiding van het project.

Beschrijving van het gebied:

- karakteristiek van het gebied;
- ruimtelijke ontwikkelingen;
- beschrijving bestaande situatie en vermoedelijke ontwikkeling zonder landinrichting (de zogenaamde "autonome ontwikkeling").

Maatregelen en voorzieningen:

- uitgangspunten en doelstellingen;
- maatregelen en voorzieningen.

Uitvoering van het plan:

- algemene aspecten van uitvoering;
- verwerving en bestemming van gronden;
- regeling betreffende eigendom, beheer en onderhoud;
- raming van de kosten en de verdeling daarvan.

Evaluatie:

- gevolgen van de uitvoering van het plan (landinrichtingsdienst, 1987).

3.2 Gegevensverzameling tijdens de voorbereiding

De voorbereiding van landinrichtingsprojecten is in de loop van de tijd uitgegroeid tot een omvangrijk proces ten behoeve waarvan veel en zeer uiteenlopende gegevens dienen te worden verzameld. In bijlage 4 is een tabel opgenomen waarin een overzicht wordt gegeven van de benodigde basisinformatie voor een landinrichtingsproject in de voorbereidingsfase en door welke instantie, onderzoeksinstituut of cultuurmaatschappij deze informatie wordt geleverd. Dat wil overigens niet zeggen, dat alle basisinformatie voor elk project wordt verzameld. Een en ander is sterk afhankelijk van de problematiek in het betreffende gebied.

Bij enkele aspecten van deze basisinformatie zou gebruik kunnen worden gemaakt van remote sensing opnamen. In enkele gevallen wordt nu al gebruik gemaakt van remote sensing, namelijk van panchromatische foto's van de Topografische Dienst. Aan de hand van bijlage 4 is nagegaan op welke onderdelen remote sensing in principe een bijdrage zou kunnen leveren. Deze onderdelen zijn:

- Bodem- en Grondwatertrappenkartering.
- Grondgebruik.
- Vegetatiekartering.
- Terreinkaart.
- Begroeiingsklassifikatie.
- Cultuurhistorie en Archeologie.

Per onderdeel wordt in de volgende paragrafen ingegaan op de huidige werkwijze en in hoeverre nu gebruik wordt gemaakt van remote sensing. Daarbij zal ook, voor zover mogelijk, worden aangegeven wat het toekomstig beleid van de Landinrichtingsdienst is ten aanzien van de gegevensverzameling.

3.2.1 Bodem- en grondwatertrappenkaart

Thans wordt in alle landinrichtingsprojecten een Bodem- en Grondwatertrappenkaart gemaakt, waarbij afhankelijk van de heterogeniteit van het gebied en de beschikbare gegevens wordt gekarteerd op schaal 1:10 000 of schaal 1:25 000. Hierbij worden gemiddeld 1 à 2 boringen per ha uitgevoerd.

De kaarten worden gemaakt door de Stichting voor Bodemkartering (thans Staring Centrum). Bij deze karteringen wordt geen gebruik gemaakt van remote sensing opnamen of van remote sensing opnamen afgeleide kaarten.

Er wordt binnen de Landinrichtingsdienst nagedacht over de vraag of in de vroege fase van een projekt kan worden volstaan met een kartering op kleinere schaal. Overwogen wordt of de in veel gevallen reeds voorhanden zijnde 1:50 000 kartering toereikend is. Later in de voorbereiding, wanneer de verschillende knelpunten en oplossingsrichtingen meer uitgekristalliseerd zijn, kunnen dan waar dat nodig is gedetailleerdere inventarisaties worden verricht.

Dit sluit goed aan bij een onderzoeksopzet van de Landinrichtingsdienst, waarbij nagegaan wordt of de verschillende inventarisaties van bodem, grondwatertrap en vegetatie geïntegreerd kunnen plaatsvinden.

Ook het digitaal beschikbaar zijn van 1:50 000 bodemkaarten in een Bodemkundig InformatieSysteem (BIS) is een belangrijke nieuwe ontwikkeling. Alle vlakgegevens, zoals bodemtype en grondwatertrap, alsmede de puntgegevens van boringen, diepboringen en profielbeschrijvingen kunnen nu in principe automatisch aan remote sensing data worden gekoppeld.

3.2.2 Grondgebruik

Een grondgebruikskaart wordt niet meer apart vervaardigd. Dit houdt met name verband met de snelle veroudering van deze kaart (na ongeveer 2 jaar). De informatie met betrekking tot het grondgebruik wordt bij de cultuurtechnische inventarisatie, eventueel bij de terreinmeting en bij de bodemkartering verzameld. Hiermee kan bij de meeste projecten een voldoende betrouwbaar beeld worden verkregen van het gemiddelde grondgebruik ten behoeve van planvorming en evaluatie. In sommige projecten, waarin relatief veel tuinbouw plaats vindt, kan hiermee niet worden volstaan. Ook voor het vaststellen van de uitgangssituatie voor het plan van toedeling is nauwkeurige informatie over het aktuele grondgebruik noodzakelijk.

Een aspekt dat bij de planvorming van belang kan zijn, is de verandering in het grondgebruik die in de loop van de tijd optreedt.

Bij de grondgebruikskartering wordt momenteel gebruik gemaakt van panchromatische foto's van de topografische dienst, die worden uitvergroet tot een schaal 1:5000. Deze kaarten worden gebruikt als veldkaarten om de verschillende percelen en kavels op in te tekenen.

3.2.3 Vegetatiekaart

In vrijwel alle projecten wordt tegenwoordig een vegetatiekartering uitgevoerd. Doel van deze kartering is de aanwezige en de potentiële natuurwaarden te inventariseren. Inzicht in de kwetsbaarheden van een gebied en de ontwikkelingsmogelijkheden van waardevolle vegetaties wordt steeds belangrijker.

In het verleden lag bij de karteringen die overwegend uitgevoerd werden door het Centrum voor AgroBiologisch Onderzoek (CABO) de nadruk bij de vegetatietypologie op een landbouwkundige invalshoek (b.v. cultuurdruk indeling van graslanden). Voor dit type kartering is tegenwoordig minder belangstelling.

Zoals bij de Bodem- en Grondwatertrappenkartering al aangegeven is, wordt nagegaan of het mogelijk of wenselijk is om in de toekomst de inventarisaties van bodem, grondwatertrap en vegetatie geïntegreerd te doen plaatsvinden. Thans wordt er geen gebruik gemaakt van remote sensing opnamen bij de vegetatiekartering.

3.2.4 Terreinkaart

De terreinkaart (schaal 1:5000) bevat zeer uiteenlopende gedetailleerde informatie over terreinkenmerken, zoals sloten, kunstwerken en recreatieve voorzieningen. De informatie op deze kaart, met name van de grotere vlakelementen, wordt gedeeltelijk van panchromatische foto's van de Topografische Dienst afgeleid.

De 1:10 000 topografische kaart van de Topografische Dienst dient als basis voor de terreinkaart. Tegenwoordig is deze topografische kaart voor elk projekt in digitale vorm beschikbaar. Deze zogenaamde DIGTOP dient als gemeenschappelijke basis voor alle gedigitaliseerde bestanden.

Terreinkaarten worden meestal niet meer vervaardigd (in minder dan 10 procent van de projecten).

3.2.5 Begroeiingsklassifikatie

Een klassifikatie van de opgaande begroeiing wordt nog slechts in een deel van de projekten uitgevoerd. Waar deze klassifikatie plaats vindt, wordt deze overwegend voor een proefgebied vervaardigd. De opgaande begroeiingen worden momenteel volledig in het veld geïnventariseerd.

3.2.6 Archeologie en Cultuurhistorie

In een aantal landinrichtingsprojekten worden de cultuurhistorische en archeologische overblijfselen gekarteerd. Bij de planning en uitvoering van werkzaamheden kan vervolgens met deze waarden rekening worden gehouden.

Tijdens de voorbereiding van deze kartering worden luchtfoto's geanalyseerd op de aanwezigheid van archeologische grondsporen. Verder worden panchromatische foto's van de topografische dienst met elkaar vergeleken.

4 OPZET VAN HET ONDERZOEK

4.1 Algemeen

Ten behoeve van de voorbereiding van de herinrichting Ulvenhout-Galder zijn inventarisaties uitgevoerd. Naast de conventionele inventarisatiemethoden is een aantal inventarisaties verricht met ondersteuning van remote sensing. Dit betreft:

- Bodem- en grondwatertrappenkartering.
- Grondgebruikskartering.
- Vegetatiekartering.
- Terreinkaart en begroeiingsklassifikatie.

De met remote sensing ondersteunde inventarisaties zijn getoetst aan de conventionele inventarisaties.

In bijlage 5 is een overzicht van alle voor het projekt uitgevoerde remote sensing vluchten en aangeschafte satellietbeelden opgenomen. Bovendien wordt een overzicht gegeven van de veldmetingen tijdens de vluchtdagen. Het beeldmateriaal bestaat uit MultiSpectrale Scanner beelden (MSS) en false colour foto's. Bij een multispectrale opname wordt de ontvangen elektromagnetische straling gescheiden in een aantal golflengtegebieden; de zogenaamde spectrale banden. De spectrale banden liggen in het zichtbare, het nabij infrarode, het midden infrarode en het thermisch infrarode golflengtegebied. Een false colour foto wordt in feite gemaakt met een gewone kleurenfilm waarvan de kleurgevoeligheid van de emulsielagen is verschoven. Nabij infrarode straling wordt met een rode kleur weergegeven, terwijl de oorspronkelijke rode kleur op de foto als groen en het oorspronkelijke groen als blauw wordt weergegeven. De blauwe straling wordt weggefilterd.

Het opnametijdstip wordt in eerste instantie bepaald door het optreden van de gewenste veldsituatie. Is deze situatie bereikt dan is voor het maken van luchtopnamen een geheel of gedeeltelijk onbewolkte dag een vereiste. Hierdoor treden onder Nederlandse omstandigheden slechts een beperkt aantal vluchtdagen op. Het vliegtuig waarmee remote sensing opnamen worden gemaakt is op afroep beschikbaar en is dus flexibel inzetbaar. Vliegtuigopnamen hebben het voordeel van een goede ruimtelijke resolutie. In een later stadium van het projekt is een aantal satellietbeelden aangeschaft om na te gaan of deze beelden een alternatief vormen voor de vliegtuigbeelden. Satellietbeelden hebben een geringere resolutie en zijn niet op ieder gewenst tijdstip beschikbaar.

Ten behoeve van het projekt zijn drie over het jaar verspreide remote sensing vluchten uitgevoerd. Tijdens de vluchten zijn gekombineerde multispectrale scanner- en false colour foto-opnamen gemaakt. In de zomer van 1986 is een opname van het herinrichtingsgebied gemaakt na een relatief droge periode om vochttekorten in landbouwgewassen en het grondgebruik vast te

leggen. In het vroege voorjaar van 1987 is het gebied opgenomen met de bedoeling de wateroverlastsituatie vast te leggen. Deze opname werd gevolgd door een opname in het late voorjaar van hetzelfde jaar om het grondgebruik en verschillen in gewasontwikkeling vast te leggen. Vanwege de slechte weersomstandigheden waren de beelden van het vroege voorjaar van 1987 van matige kwaliteit. Gezien de behaalde resultaten is deze vlucht opnieuw uitgevoerd in het vroege voorjaar van 1988. Gelijktijdig zijn toen radar opnamen gemaakt met de Nederlandse Side Looking Airborne Radar (SLAR). Hierbij zijn opnamen gemaakt in de X-band, waarvan het golflengtebereik is gelegen rondom de 3 cm.

De satellietbeelden zijn afkomstig van Landsat Thematic Mapper en SPOT. Een pixel (beeldelement) van een Landsatbeeld correspondeert met een grondoppervlak van 30 bij 30 m. Bij een SPOTbeeld is dit 20 bij 20 m.

Alhoewel de satellieten ongeveer 2 maal per maand overkomen zijn per jaar slechts enkele satellietbeelden bruikbaar. Dit wordt veroorzaakt doordat vaak bewolking aanwezig is. Van beide satellieten is een beeld van het groeiseizoen in 1986 aangeschaft. Bovendien is een SPOT-beeld beschikbaar van het voorjaar. Deze beelden zijn voornamelijk gebruikt voor de grondgebruiksklassificatie.

Met behulp van de warmte- en reflectiebeelden van 14 augustus 1986 is een verdampingskartering uitgevoerd. Het verdampingsbeeld is gebruikt bij de bodem- en grondwatertrappenkartering en bij de vegetatiekartering. In het volgende wordt de vervaardiging van het verdampingsbeeld kort toegelicht.

Door het opstellen van de energiebalans aan het aardoppervlak kan een relatie worden afgeleid tussen de gewastemperatuur en de gewasverdamping. Als een gewas goed van water is voorzien, wordt het grootste deel van de beschikbare energie gebruikt voor de verdamping. Wanneer een 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 een lineaire vergelijking kunnen voor zonnige dagen uit waargenomen gewastemperaturen relatieve dagverdampingswaarden worden afgeleid (THUNNISSEN, 1984).

$$\frac{LE_{24}}{LE_{24p}} = 1 - Br(T_c - T_c^*) \quad (-) \quad (1)$$

Hierin zijn LE_{24} en LE_{24p} respectievelijk de werkelijke en potentiële 24-uurs verdamping (mm.d^{-1}) van een bepaald gewas, en T_c en T_c^* (K) de daarmee overeenkomende gewastemperaturen afgeleid uit het warmtebeeld. Br is een calibratieconstante (K^{-1}). De waarden van Br kunnen worden afgeleid uit de windsnelheid op het opname-tijdstip:

$$Br = a + b \cdot u(2) \quad (K^{-1}) \quad (2)$$

Hierin is $u(2)$ de windsnelheid ($m \cdot s^{-1}$) gemeten op een hoogte van 2 m boven een vlak en open terrein. De factoren a en b zijn regressiecoëfficiënten welke afhankelijk zijn van het gewastype en de gewashoogte. Deze coëfficiënten zijn voor de belangrijkste landbouwgewassen bekend (THUNNISSEN, 1984). De windsnelheid kan worden verkregen van een naburig meteorologisch station.

Uit de reflectiebeelden is een kaart met gewastypen afgeleid. Voor gras is ook een globale indeling naar gewashoogte gegeven. Door een combinatie van de gewaskaart met het warmtebeeld is per onderscheiden gewasklasse met behulp van de vergelijkingen 1 en 2 op automatische wijze een verdampingskaart voor het studiegebied afgeleid (DROESEN en VAN LIESHOUT, 1988). De verdampingskaart is alleen vervaardigd voor de belangrijkste landbouwgewassen in het studiegebied, te weten gras en mais. In fig. 3 is het verdampingsbeeld voor een deel van het studiegebied gegeven.

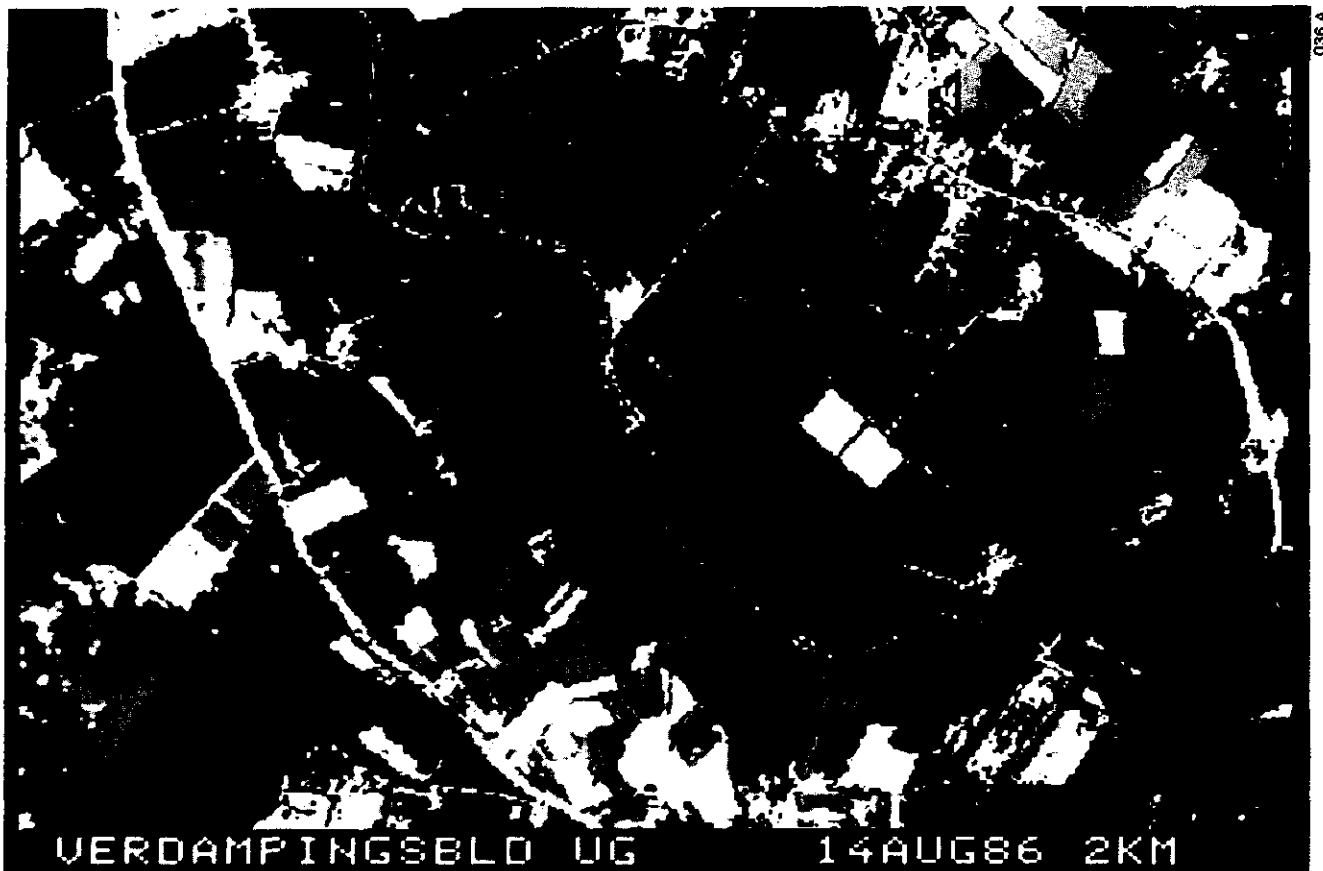


Fig. 3 Verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 van het proefgebied Galder.

Relatieve verdamping: donkerblauw = >90%, lichtblauw = 90-80%, donkergroen = 80-70%, lichtgroen = 70-60%, geel = 60-50%, oranje = 50-40%, rood = 40-30%.

4.2 Kartering van bodemkundige en hydrologische kenmerken

In 1987 is van het studiegebied op conventionele wijze een 1:10 000 bodemkartering uitgevoerd. In hetzelfde jaar is ook een met remote sensing ondersteunde kartering uitgevoerd. In tabel 1 (zie bijlage ook 5) is een overzicht gegeven van de gebruikte remote sensing opnamen. De beide karteringen zijn door verschillende karteerders uitgevoerd.

Tabel 1 Bij de bodem- en grondwatertrappenkartering gebruikte remote sensing beelden.

Datum	Beeldmateriaal	Patronen- kaarten	Bodemvocht- kartering
14 Augustus 1986	False colour foto's	x	
	Warmtebeeld	x	
	Verdampingsbeeld	x	
2 april 1987	False colour foto's	x	
3 juli 1987	False colour foto's	x	
6 april 1988	False colour foto's		x
	Multispectraal reflectiebeeld		x
	Warmtebeeld		x
	X-band radarbeeld		x
7 april 1988	Warmtebeeld		x

Om inzicht te krijgen in de toepassingsmogelijkheden van remote sensing bij de kartering van bodemkundige en hydrologische kenmerken zijn drie deelonderzoeken verricht:

1. Analyse van remote sensing beelden en veldgegevens:
Onderzoek naar de relaties tussen uit remote sensing beelden afgeleide informatie en in het veld geschatte bodemkundige en hydrologische kenmerken.
2. Vergelijking van de twee bodemkaarten (zowel bodem- als grondwatertrapgegevens):
Dit betreft de op conventionele wijze en de met ondersteuning van remote sensing vervaardigde bodemkaart. De laatstgenoemde bodemkaart wordt in het vervolg aangeduid met remote sensing bodemkaart.
3. Vergelijking van de opbrengstdepressiekaarten:
Behalve een directe vergelijking van de twee bodemkaarten zijn ook de uit beide bodemkaarten afgeleide opbrengstdepressiekaarten met elkaar vergeleken.

De drie deelonderzoeken worden achtereenvolgens toegelicht.

4.2.1 Samenhang tussen remote sensing opnamen en veldgegevens

Een verdampingsbeeld verschaft informatie omtrent bodemkundige en hydrologische eigenschappen van de wortelzone en de ondergrond via de gewasverdamping. Reflectie- en warmtebeelden van een kale

bodem verschaffen informatie over bodemkundige en hydrologische kenmerken aan het oppervlak. Voor het microgolfgebied geldt dat met een toenemende golflengte de indringingsweerstand toeneemt. Zo is in het microgolfbereik de indringingsdiepte groter dan in het kortgolfige en thermische golflengtegebied. De indringingsdiepte van een microgolf wordt, als vuistregel, gelijk gesteld aan de halve golflengte. De in dit onderzoek toegepaste X-band SLAR heeft dan een indringingsdiepte van 1,5 cm. De reflectie van microgolven wordt voornamelijk bepaald door het vochtgehalte en de oppervlakte ruwheid. De genoemde remote sensing beelden hebben door een specifieke interactie met het aardoppervlak alle een verschillende informatieinhoud.

De samenhang tussen het verdampingsbeeld en bodemkundige en hydrologische kenmerken van het bodemprofiel is onderzocht (par. 5.1.1). Alle boringen die verricht zijn voor beide karakteringen zijn beschikbaar. Daarnaast is bovendien, tijdens de analysefase van de remote sensing beelden, een 60-tal extra boringen verricht om de relatie met de bodemkundige en hydrologische kenmerken voldoende te kunnen onderbouwen en onverklaarde verschijnselen op te lossen.

Om inzicht te krijgen in de relatie tussen de uit remote sensing beelden afgeleide informatie en het vochtgehalte van de bovengrond zijn tijdens de voorjaarsvluchten van 2 april 1987 en 6 april 1988 op een aantal percelen en perceelsgedeelten monsters genomen ter bepaling van het volumetrisch vochtgehalte. Tevens is de oppervlakteruwheid van de percelen bepaald, omdat met name de radarreflectie hiervan afhankelijk is. Door het spuiten van verf op een vertikaal in de bodem gestoken plaat is een afdruk van het bodemoppervlak verkregen (Stolp et al., 1988). Uit het ruwheidsprofiel is de standaardafwijking ten opzicht van een referentienivo bepaald als een maat voor de ruwheid. Het referentienivo ligt evenwijdig aan de terreinhelling.

In tabel 1 is te zien van welke remote sensing beelden informatie is afgeleid, waarvan de samenhang met het bodemvochtgehalte is bepaald. Bovendien zijn twee afgeleide beelden berekend. Uit het verschil tussen de dag- en nachtstralingstemperatuur, die zijn afgeleid uit de warmtebeelden van 6 en 7 april 1988, is de dagelijkse stralingstemperatuuramplitude berekend. Uit de multispectrale opname is een albedobeeld bepaald (Brest and Goward, 1987). De albedo is de fraktie van de inkomende globale straling die door het aardoppervlak wordt teruggekaatst. De groen- en nabij infrarood reflectie worden representatief verondersteld voor de reflectie van respectievelijk zichtbare en infrarode straling. Door beide te vermenigvuldigen met de fraktie van de inkomende straling wordt de albedo berekend.

De relatie tussen de groen, rood en nabij infrarood reflectie en de albedo alsmede de dag- en nachtstralingstemperatuur en de dagelijkse stralingstemperatuuramplitude en het bodemvochtgehalte is door middel van enkelvoudige variantie- en regressie-analyse

onderzocht (par. 5.1.2). In meervoudige variantie- en regressie-analyses is het effect van andere bodemeigenschappen, zoals het humusgehalte, de textuur en het volumegewicht op de genoemde relatie onderzocht.

De gemiddelde radarreflektie van de bouwlandpercelen is voor zes invalshoeken gecorreleerd met het bodemvochtgehalte. De invalshoek is de hoek tussen het radarsignaal en de vertikaal. Verder zijn de radarbeelden visueel vergeleken met de false colour foto's.

4.2.2 Toepassing van remote sensing bij de bodemkartering

De interpretatie van vijf remote sensing beelden heeft geresulteerd in twee patronenkaarten (tabel 1). Een kaart is afgeleid uit remote sensing beelden die onder droge zomerse omstandigheden zijn gemaakt. De andere patronenkaart representeert natte voorjaarsomstandigheden. Een patronenkaart bestaat uit verschillende min of meer homogene vlakken. Overgangen op remote sensing beelden verlopen echter vaak geleidelijk, waardoor het aangeven van grenzen enigszins subjectief is. Bij het aangeven van patronen op het verdampingsbeeld van de zomerdag is als criterium gehanteerd dat aangrenzende patronen minimaal twee verdampingsklassen (een verdampingsklasse bedraagt 10% van de potentiële verdamping) van elkaar dienen te verschillen. Wanneer grasland recent is gemaaid of beregend levert het verdampingsbeeld geen bruikbare informatie. In geval van beregning wordt de natuurlijke hydrologische situatie verstoord. Terwijl bij pas gemaaid grasland de waargenomen gewastemperatuur mede wordt bepaald door de temperatuur van de kale grond.

Voor de interpretatie van de false colour foto's is geen kwantitatief criterium gehanteerd. Tijdens een droge periode komen op de false colour foto's in mais- en aardappelpercelen patronen voor als gevolg van structuurveranderingen in het gewas door vochttekort. Grasland vertoont slechts in een beperkt aantal gevallen patronen binnen percelen, namelijk door hergroei- verschillen na maaien. In het vroege en late voorjaar hangen patronen in grasland op de false colour foto's voornamelijk samen met verschillen in bedekking en biomassa van het gras.

De patronen op false colour foto's en warmtebeelden van kale bodem in het voorjaar hangen samen met verschillen in bodemvochtgehalte en bodemkundige factoren. Deze patronen worden beïnvloed door grondbewerking, het uitrijden van drijfmest en onkruidopslag.

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 opname tijdstip. 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 beide patronenkaarten vormden de basis voor de remote sensing bodemkaart. Per vlak op een patronenkaart is in het algemeen eenmaal geboord. Naast boorpuntgegevens en remote sensing informatie is ook gebruikgemaakt van landschappelijke kenmerken. Op basis van deze gegevens zijn op een veldkaart grenzen ingetekend en aan de vlakken een bodemtype en grondwatertrap toegekend.

Voor de conventionele en de remote sensing kartering zijn respectievelijk 254 en 86 boringen uitgevoerd. Bij de conventionele kartering zijn 70 boringen niet volledig beschreven. Deze zijn uitgevoerd om bijvoorbeeld de ligging van een bodem- of grondwatertrap-grens vast te stellen. Voor 184 ha. is de kartering uitgevoerd zodat respectievelijk 1,38 en 0,47 boringen per ha. zijn verricht. Afhankelijk van de omvang van de patronen varieert de boringsdichtheid aanzienlijk over het gebied.

De beide kaarten zijn met elkaar vergeleken. Hierbij is onderzocht in hoeverre vlakgrenzen en vlakinformatie overeenstemmen.

4.2.3 Toepassing van remote sensing bij het bepalen van opbrengstdepressies

De HELP-tabellen (Werkgroep HELP-Tabel, 1987) worden bij de evaluatie van landinrichtingsprojecten gebruikt voor het vaststellen van de effecten van waterhuishoudkundige werken op de opbrengst van landbouwgewassen. De opbrengstdepressies dienen te worden geïnterpreteerd als langjarige gemiddelden.

Met behulp van de HELP-tabellen zijn de conventionele en de remote sensing bodemkaarten vertaald naar opbrengstdepressies door wateroverlast en vochttekort.

Voor beide bodemkaarten is per kaartvlak de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) bepaald door middeling van de geschatte waarden van de GHG en de GLG van alle in het betreffende kaartvlak liggende boorpunten. Per kaartvlak van de remote sensing bodemkaart is meestal slechts een boring verricht. Aan de hand van de (gemiddelde waarden van de) GHG en de GLG en het bodemtype zijn voor de kaartvlakken de opbrengstdepressies bepaald. Bij de bepaling van de opbrengstdepressies is onderscheid gemaakt in gras- en bouwland.

De kaarten met opbrengstdepressies door droogte en wateroverlast, die zijn afgeleid uit de beide bodemkaarten, zijn op vier manieren met elkaar vergeleken:

- In eerste instantie zijn klassen van 4% opbrengstdepressie gemaakt, waarna voor de twee opbrengstdepressiekaarten de overeenkomst in klassen is bepaald.
- Vervolgens is nagegaan welke combinaties van opbrengstdepressies tussen de twee kaarten voorkomen.
- Verder is aan de hand van beide kaarten voor het proefgebied de naar oppervlakte gewogen gemiddelde opbrengstdepressie door droogte en wateroverlast berekend.
- Ten slotte is de samenhang tussen de opbrengstdepressiekaarten en de verdampingskaart en de reflectie- en stralingstemperatuuroptnamen in het voorjaar bekeken.

4.3 Grondgebruikskartering

Aan de hand van verschillende satelliet- en vliegtuig-scanner-beelden en false colour foto's zijn de mogelijkheden van remote sensing onderzocht voor het maken van een grondgebruikskaart.

Om remote sensing opnamen betrouwbaar te kunnen interpreteren is ondersteunend veldwerk noodzakelijk. Tijdens het groeiseizoen van 1986 is het grondgebruik van het proefgebied van 400 ha (fig. 1) en van enkele andere lokaties in het herinrichtingsgebied opgenomen.

Er is op twee manieren geklassificeerd. De false colour foto's zijn visueel geïnterpreteerd en de scannerbeelden zijn automatisch verwerkt. Beide methoden worden achtereenvolgens toegelicht. De resultaten van de klassifikaties worden in hoofdstuk 5.2 beschreven.

4.3.1 Visuele interpretatie van false colour foto's

Een beperkt deel van de veldwaarnemingen is gebruikt voor het opstellen van een zogenaamde interpretatiesleutel. Het belangrijkste kenmerk van gewassen op false colour foto's is de kleur. Daarnaast biedt de textuur informatie over het grondgebruik.

Met behulp van de interpretatiesleutel is een kartering uitgevoerd van het proefgebied aan de hand van false colour foto's. Deze grondgebruiksklassifikaties zijn vergeleken met het werkelijke grondgebruik verkregen uit veldwerk.

Bovendien is een gewassenkaart met behulp van false colour foto's gemaakt voor het gehele herinrichtingsgebied. Deze gewassenkaart is gebruikt voor het toetsen van de klassifikatieresultaten, die zijn verkregen met de scannerbeelden.

4.3.2 Automatische klassifikatie van scannerbeelden

Voorafgaand aan de klassifikatie zijn de scannerbeelden eerst radiometrisch en geometrisch gecorrigeerd. Na de geometrische correctie zijn de beelden vrijwel dekkend met een topografische kaart. Geometrisch gecorrigeerde beelden kunnen ook gekoppeld worden aan informatie uit een geografisch informatie systeem (GIS). In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een gedigitaliseerde topografische kaart (DIGTOP) met lijnelementen op schaal 1:10 000 en van de met behulp van ARC/INFO gedigitaliseerde informatie over het grondgebruik.

In dit onderzoek is een semi-automatische en de automatische klassifikatiemethode gebruikt. De eerste methode, uitgevoerd door DHV Raadgevend Ingenieursbureau B.V., is alleen toegepast op het Landsat-TM beeld. Aan de hand van de banden 3, 4 en 5 (rood, nabij infrarood en midden infrarood) is een kleurkompositie gemaakt. De drie banden zijn respectievelijk weergegeven in blauw, rood en groen. Vervolgens is een zo contrastrijk mogelijke afbeelding gemaakt waarop de landbouwgewassen zo goed mogelijk te onderscheiden zijn. Daarna is het Landsat-TM beeld op een film weggeschreven. Daarna is een afdruk visueel geïnterpreteerd. Het grondgebruik is vervolgens op een topografische kaart ingetekend en gedigitaliseerd.

Bij de automatische klassifikatie zijn voor de verschillende grondgebruiksklassen homogene trainingsgebieden aangewezen. De trainingsgebieden moeten representatief zijn voor een klasse en mogen niet overlappen met een andere klasse. Met een aantal trainingsgebieden per klasse is een klassifikatie uitgevoerd met behulp van de maximum likelihood methode. Bij deze methode wordt er vanuit gegaan dat voor iedere klasse de reflektiewaarden van de pixels binnen de aangewezen trainingsgebieden normaal verdeeld zijn. Voor ieder pixel wordt per klasse de waarschijnlijkheid berekend of een pixel tot de betreffende klasse behoort. Op basis hiervan vindt de toewijzing van een pixel aan een klasse plaats.

Op deze wijze zijn klassifikaties uitgevoerd van de vliegtuig- en satellietscannerbeelden. Bovendien zijn de SPOT-opnamen van beide data gekombineerd ten behoeve van een multitemporele klassifikatie.

Door de pixelgewijze manier van klassificeren levert het klassifikatieresultaat een "gespikkeld" beeld op. Er treden misklassifikaties op aan de randen van percelen door de zogenaamde mixed pixels en door bijvoorbeeld verdrogingsverschijnselen in een gewas. Om deze afwijkende pixels binnen percelen te elimineren is het postklassifikatieprogramma OBJECTCLASS (Janssen et al., 1989) ontwikkeld. Dit programma maakt gebruik van een gedigitaliseerd polygonenbestand. Een polygoon komt overeen met een grondgebruikstype. Het programma bepaalt per polygoon de frequentieverdeling van de voorkomende pixelwaarden. De klassifikatiewaarde met de grootste frequentie wordt beschouwd als de meest waarschijnlijke waarde voor dat betreffende polygoon. Deze waarde wordt vervolgens aan het polygoon toegekend.

Alle geklassificeerde beelden zijn door het programma OBJECTCLASS verwerkt. Vervolgens zijn de klassifikaties die verkregen zijn met en zonder het programma OBJECTCLASS, vergeleken met de grondgebruikskartering van het gehele herinrichtingsgebied verkregen door false colour foto interpretatie (par. 4.3.1). De false colour foto interpretatie is met behulp van ARC/INFO gedigitaliseerd. Dankzij de koppeling tussen het remote sensing beeldverwerkingssysteem ERDAS en het geografisch informatiesysteem ARC/INFO kunnen de klassifikatieresultaten automatisch worden vergeleken met het grondgebruik, zoals dat is afgeleid uit de false colour foto's. De resultaten worden weergegeven in kruistabellen, waaruit de mate van overeenkomst maar ook de aard van de afwijking is af te lezen.

4.4 Vegetatiekartering

In 1986 is door het Centrum voor AgroBiologisch Onderzoek (CABO) een vegetatiekartering uitgevoerd in het herinrichtingsgebied Ulvenhout-Galder (Kraak, 1987). Door het CABO is de verspreiding van vegetatietypen en aandachtsoorten voor het gehele herinrichtingsgebied in kaart gebracht. Deze inventarisatie is voor een vijftal ecotopen uitgevoerd: grasland, slootkanten, sloten, bermen en ondergroei van houtopstanden. De lijnelementen geven vaak een indicatie van de potentiële natuurwaarde van het aangrenzende cultuurland bij afnemende cultuurdruk.

De afzonderlijke gegevens van elk lijn- of oppervlakte-element zijn gegeneraliseerd tot min of meer homogene zones in het gebied. De vegetatie per zone geeft een indicatie van het groeimilieu (Kraak, 1987). Zo zijn de graslandvegetaties geïnterpreteerd naar de vochtvoorzieningstoestand en de mate van cultuurdruk en is een indeling van kant- en bermvegetaties gemaakt naar voedingsstoffenniveau. Aan de hand van slootvegetaties en roest, vlies of grijskleuring is het optreden van kwel gekarteerd. Verder zijn complexen onderscheiden, waarin frequent aandachtsoorten voorkomen.

De false colour foto's en reflektiebeelden van een viertal over het jaar verspreide vluchtdagen (tabel 2) zijn op drie manieren geïnterpreteerd. De verkregen thematische beelden zijn vergeleken met de vegetatiekaart en afgeleide kaarten die door het CABO zijn vervaardigd.

1. Een eerste visuele interpretatie van de beelden richtte zich op het aangeven van patronen en eenheden in het grasland met eenzelfde verschijningsvorm. Deze thematische kaarten zijn wederom visueel vergeleken met de vegetatie- en vochtklassenkartering van het CABO. Op dezelfde wijze is de informatie in het verdampingsbeeld vergeleken met de kwelkaart.

Tabel 2 Bij de vegetatiekartering gebruikte remote sensing beelden.

Datum	Beeldmateriaal
14 augustus 1986	False colour foto's Multispectraal reflectiebeeld Verdampingsbeeld
2 april 1987	False colour foto's Multispectraal reflectiebeeld Warmtebeeld
3 juli 1987	False colour foto's Multispectraal reflectiebeeld
6 april 1988	False colour foto's Multispectraal reflectiebeeld

2. Vervolgens zijn de mogelijkheden van false colour foto's voor het karteren van cultuurdruk onderzocht. De verwachting is dat naar mate de cultuurdruk afneemt de heteroginiteit van percelen toeneemt, dat wil zeggen de patronen binnen percelen duidelijker worden. Patronen hangen samen met verschillen in bodemvocht, verdroging en grasbedekking, begreppeling of de aanwezigheid van bomen). Daarnaast is in sommige gevallen een afwijkende kleur van het grasland gebruikt als indicatie voor een lagere cultuurdruk. De verwachting is getoetst door alle percelen met een lage of matige cultuurdruk binair te scoren op de genoemde twee criteria.
3. De tweede interpretatie van de false colour foto's uit het vroege voorjaar en de zomer naar cultuurdruk gaat uit van het gegeven dat percelen met een matige cultuurdruk min of meer complexgewijs voorkomen. Percelen met een lage cultuurdruk komen veelal verspreid in deze complexen voor.

Het complexgewijs voorkomen van percelen met een matige en lage cultuurdruk biedt de mogelijkheid gebieden aan te geven op de false colour foto's waarbinnen vervolgens veldwerk uitsluitend dient te geven omtrent de floristische samenstelling van een perceel.

Om te komen tot complexen is het herininrichtingsgebied met behulp van false colour foto's ingedeeld in fysiografische gebiedseenheden. De indeling heeft plaatsgevonden op grond van een combinatie van kenmerken betreffende beken en stroomdalen, de ligging van landgoederen en houtwallen, de percelering van de graslanden en overige gebieds- en veldkennis.

Met de informatie in de false colour foto's op perceelsniveau betreffende de cultuurdruk van graslandpercelen (methode 2) is daarna een indeling in twee typen gebiedseenheden gemaakt. Binnen het eerste gebiedstype hebben alle percelen mogelijk een lage of matige cultuurdruk. Het tweede type bestaat overwegend uit percelen met een hoge cultuurdruk. Binnen gebiedseenheden van het tweede type zijn percelen die volgens methode 2 een lage cultuurdruk hebben apart aangegeven.

De aldus verkregen themakaart naar cultuurdruk is vergeleken met de CABO-kartering door te bepalen hoeveel percelen met een matige of lage cultuurdruk niet als zodanig zijn aangegeven.

4.5 Terreinkaart en globale begroeiingskaart

Voor de terreinkaart worden in het veld gegevens verzameld. De terreinkaart bevat veel zeer uiteenlopende gegevens zoals perceelsgrenzen, cultuurgrenzen, sloten, heggen, onverharde en semi-verharde wegen, dijken, leidingen zowel boven- als ondergronds, bos, moeras, water, drinkkuilen voor vee, begraafplaatsen, campings, picknickplaatsen, waarnemingsputten, waterstandsbuizen, gemalen, molens, bruggen, stuwen en duikers.

Op de begroeiingskaart komen gegevens voor met betrekking tot de volgende elementen: bomenrijen, knotbomen, hakhout, solitaire bomen, heggen, houtwallen, bos en woeste grond. In veel gevallen wordt ook de houtsoort geïnventariseerd.

Aan de hand van false colour foto's op verschillende schalen (1:26 400, 1:13 200 en 1:3300) van 3 juli 1987 is nagegaan welke mogelijkheden er zijn voor de toepassing van false colour foto's bij het maken van de terreinkaart en de globale begroeiingskaart. Vliegtuig- en satellietscanneropnamen zijn vanwege de geringe ruimtelijke resolutie buiten beschouwing gelaten. Ten behoeve van de herinrichting Ulvenhout-Galder is geen begroeiingsklassificatie uitgevoerd en geen terreinkaart beschikbaar. Toetsing van de fotointerpretatie heeft hierdoor slechts beperkt plaats kunnen vinden.

In een deelonderzoek van de Projektstudie Landinrichting Midden-Brabant is een uitgebreid onderzoek verricht naar de mogelijkheden van false colour foto's ten behoeve van genoemde karteringen (Van het Loo en De Veer, 1979). Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van false colour foto's met een opnameschaal van 1:10 000. De kaarten die zijn gemaakt met behulp van luchtfoto's zijn vergeleken met de kaarten die uit het veldwerk zijn voortgekomen.

5 RESULTATEN REMOTE SENSING ONDERZOEK

5.1 Kartering van bodemkundige en hydrologische kenmerken

5.1.1 Samenhang tussen verdampingswaarden en veldgegevens

De samenhang tussen verdampingswaarden en bodemkundige en hydrologische kenmerken is onderzocht. De verdamping onder droge omstandigheden is afhankelijk van het vochtleverend vermogen van de bodem. Die profielkenmerken, die in belangrijke mate het vochtleverend vermogen van de bodem bepalen, zijn dan ook in de beschouwing betrokken.

In eerste instantie is nagegaan of er een relatie bestaat tussen de dikte van de humushoudende bovengrond en de grondwatertrap enerzijds en de gewasverdamping anderzijds. Hiertoe zijn bodemtypen die gekenmerkt worden door gelijke dikteklassen van de humushoudende bovengrond (zoals b.v. laarpodzolen en matig dikke beekeerd- en gooreerdgronden) samengenomen. In fig. 4 is per dikteklasse van de humushoudende bovengrond voor alle beschikbare boorpunten in maispercelen de uit het verdampingsbeeld afgeleide verdampingswaarde uitgezet tegen de grondwatertrap.

In het algemeen blijkt dat bij mais het aantal punten met lage verdampingswaarden toeneemt, naarmate de grondwaterstand dieper is, dat wil zeggen dat de grondwatertrap toeneemt. Ondanks de duidelijke toename van het aantal punten met lage verdampingswaarden bij toenemende grondwatertrap is de spreiding in verdampingswaarden, met name binnen maispercelen met Gt Vb en VI, aanzienlijk. De verschillen in verdampingswaarden van mais op 14 augustus 1986 kunnen derhalve niet uitsluitend worden verklaard door verschillen in dikte van de humushoudende bovengrond en grondwatertrap. Evenals bij mais kunnen ook bij grasland de opgetreden verschillen in gewasverdamping op 14 augustus 1986 niet uitsluitend worden verklaard door verschillen in dikte van de humushoudende bovengrond en grondwatertrap.

Bij een nadere analyse is vooral aandacht besteed aan de ondergrond. Wanneer boorpunten worden ingedeeld in dikteklassen van de humushoudende bovengrond en in GHG-trajekten kunnen de optredende verschillen in verdamping redelijk tot goed worden verklaard aan de hand van de aanwezige afstand van de bewortelde diepte tot de gemiddeld laagste grondwaterstand en aan de hand van de textuur van de ondergrond. Hierbij is dezelfde indeling in dikte van de humushoudende bovengrond en in GHG-trajekten aangehouden als waarop de indeling in bodemtype en grondwatertrap is gebaseerd (dikte humushoudende bovengrond: < 30 cm, 30 tot 50 cm en > 50 cm; GHG: < 40 cm, 40 tot 80 cm en > 80 cm).

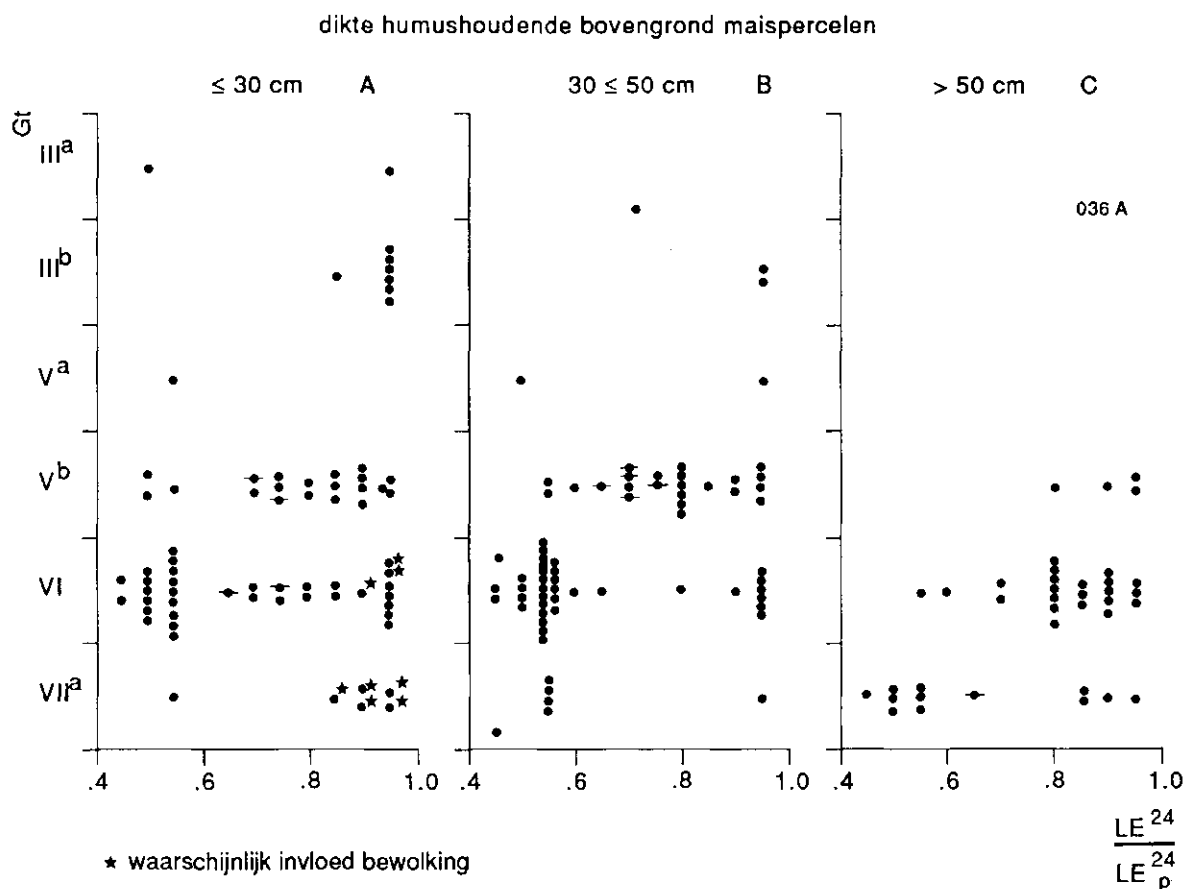


Fig. 4 De relatie tussen de uit het verdampingsbeeld van 14 augustus 1986 afgeleide verdampingswaarden en de grondwatertrap van de boorpunten in maispercelen. De boorpunten zijn onderverdeeld in drie dikteklassen van de humushoudende bovengrond: < 30 cm (4a), 30 - < 50 cm (4b) en > 50 cm (4c).

De factoren die de verdampingsverschillen bepalen spelen echter geen of slechts een beperkte rol bij de onderverdeling in bodemtype en grondwatertrap op de bodemkaart. De mogelijkheden van remote sensing zijn daardoor beperkt.

5.1.2 Kartering van het vochtgehalte van de toplaag met reflectie- en warmtebeelden en radaropnamen

Aan de hand van reflectie- en warmtebeelden en X-band radaropnamen van het voorjaar van 1988 is de mogelijkheid van remote sensing ten aanzien van bodemvochtkartering onderzocht.

De reflectie van een kale bodem is sterk afhankelijk van het bodemvochtgehalte (fig. 5). Het humusgehalte en de textuur van de bovengrond zijn zeer homogeen in het proefgebied en hebben dien-

tengevolge geen significant effect op de reflectie. In fig. 5 zijn de perceelsgedeelten, de zo genaamde strata, aangegeven die recent zijn bewerkt en die zijn bedekt met een laagje drijfmest. Deze strata en de strata met een vochtgehalte minder dan 20 volume procent vocht zijn niet meegenomen in de regressieberekeningen. In dit onderzoek gaat het met name om het waarnemen van natte lokaties. Bij lage vochtgehalten (< 20 volume procent vocht) ontstaat bovendien een uitgedroogd toplaagje met als gevolg dat de reflectie sterk toeneemt.

De groen- en rood-reflectie van lokaties zonder een uitgedroogde toplaag zijn goed gekorreleerd met het bodemvochtgehalte (fig. 5a en 5b). De korrelatiecoëfficiënten bedragen respectievelijk -0,83 en -0,75. De gevoeligheid van genoemde reflecties voor variatie in het bodemvochtgehalte is vrijwel gelijk. Respectievelijk 55 en 60 procent van de bemonsterde strata hebben een regressieresidu kleiner dan 3 volumepercent vocht. Het lijkt dan ook mogelijk uit de groen- of rood-reflectie in het vroege voorjaar met een redelijke nauwkeurigheid bodemvochtgehalten van de 5 cm toplaag af te leiden, indien de bodem niet is uitgedroogd.

De relatie tussen de infraroodreflectie van het bouwland en het volumetrisch bodemvochtgehalte is beduidend slechter ($r = -0,45$) (fig. 5c). Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door het feit dat het bouwland tijdens de opnamen in veel gevallen geen zuivere kale bodem heeft. Plantenresten, onkuiden, humusuitspoeling en drijfmest hebben een geringer effect op de groen- en rood-reflectie dan op de infraroodreflectie.

False colour foto's geven de groen-, rood- en nabij infrarood-reflectie weer en leveren dus informatie over het vochtgehalte van de kale bodem. Gezien de onnauwkeurigheid van de nabij infrarood-reflectie als schatter voor het bodemvochtgehalte, geven deze foto's een globale indicatie over het vochtgehalte. Door de extreem hoge reflectie van water in het nabij infrarood, zijn false colour foto's geschikt voor de kartering plasvorming.

De dagstralingstemperatuur van de kale bodem van niet uitgedroogde lokaties is slecht gekorreleerd met het bodemvochtgehalte en daardoor niet geschikt voor het bepalen van het bodemvochtgehalte. De harde wind tijdens de opname is waarschijnlijk de oorzaak van het geringe verloop in de minimum stralingstemperatuur (fig. 6). Een perceel zonder uitgedroogd toplaagje heeft een temperatuurnivo dat min of meer onafhankelijk is van het bodemvochtgehalte. Ook het temperatuurverloop in afhankelijkheid van het bodemvochtgehalte varieert tussen percelen. Het specifieke thermische gedrag van een perceel wordt waarschijnlijk bepaald door het gebruik en de bewerking. De oppervlakte ruwheid uitgedrukt in de standaardafwijking had in dit experiment geen effect op de temperatuur.

De variatie in nachtstralingstemperatuur van de bouwlandpercelen bedraagt slechts 2°C. Toch is de korrelatie tussen de gemiddelde

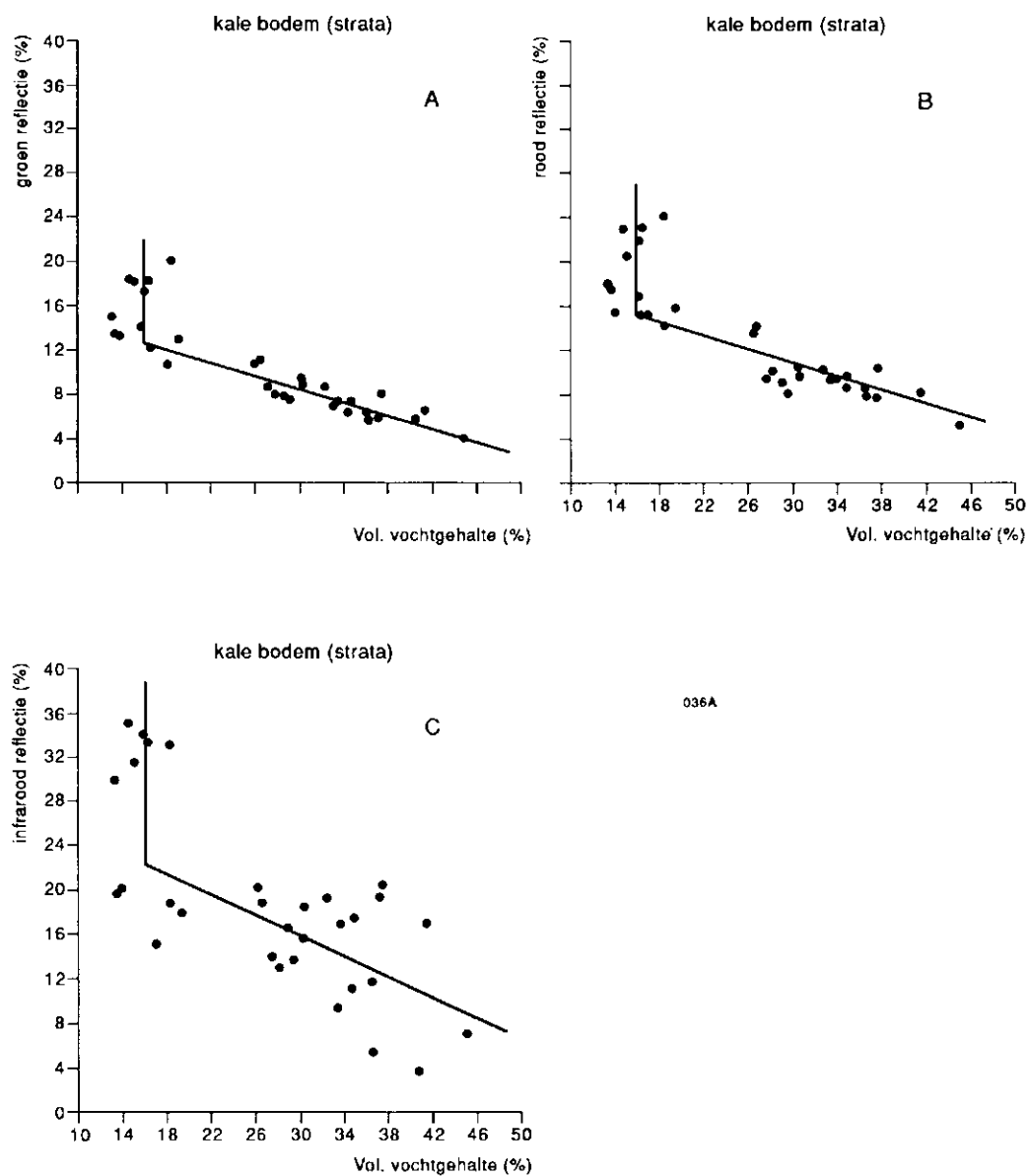


Fig. 5 De relatie tussen het volumetrisch vochtgehalte in de bovenste 5 cm van de kale bodem en de reflectie in het groene (5a), het rode (5b) en het nabij infrarode deel (5c) van het spectrum.

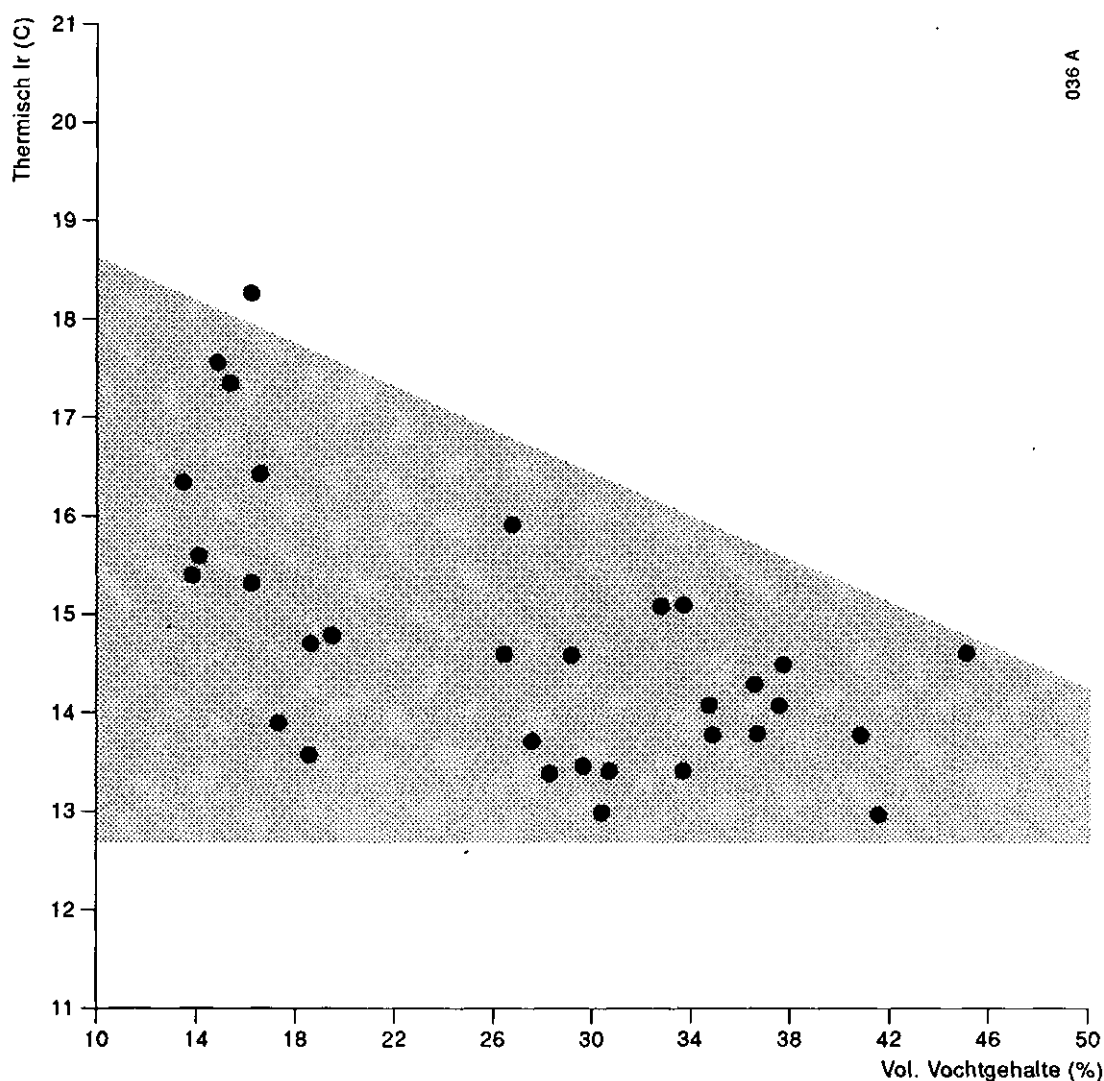


Fig. 6 De dagstralingstemperatuur van de kale bodem uitgezet tegen het volumetrisch vochtgehalte van de 5 cm toplaag.

nachtstralingstemperatuur van de perceelsgemiddelden en het volumetrisch bodemvochtgehalte goed wanneer een sterk afwijkend perceel (recent gescheurd grasland) niet wordt opgenomen in de berekening ($r = 0.86$). Binnen percelen komen de vochtpatronen die te zien zijn op de false colour foto's niet overeen met verschillen in nachtstralingstemperatuur. De verschillen in nachtstralingstemperatuur binnen percelen bedragen echter slechts enkele tienden van graden. Nader onderzoek zal uitsluitel moeten geven omtrent de bruikbaarheid van de nachtstralingstemperatuur als schatter voor het gemiddelde bodemvochtgehalte van percelen.

De dagelijkse stralingstemperatuur-amplitude is overeenkomstig aan de dagstralingstemperatuur niet gekorreleerd met het vochtgehalte van de niet uitgedroogde kale bodem.

Het combineren van remote sensing gegevens uit verschillende golflengtegebieden in een meervoudige regressie voor het schatten van het volumetrisch bodemvochtgehalte levert geen significant betere korrelatiecoëfficiënten op in vergelijking tot de enkelvoudige regressies.

Binnen graslandpercelen worden verschillen in reflectie voornamelijk veroorzaakt door bedekkings- en biomassaverschillen. Plassen op het maaiveld van graslandpercelen zijn over het algemeen wel waarneembaar op false colour foto's.

Door de harde wind tijdens de opnamen zijn de temperatuurverschillen in het grasland sterk genivelleerd. De geringe temperatuurverschillen in het grasland hangen niet samen met het bodemvochtgehalte of de biomassa.

Uit de visuele interpretatie van de X-band radarbeelden komt naar voren dat in redelijke mate patronen zijn te onderscheiden die overeenkomen met de vocht patronen op de false colour foto's. De korrelatiecoëfficiënten van de radarreflectie onder een bepaalde invalshoek met het perceelsvochtgehalte zijn matig, variërend van 0,60 tot 0,68. Er treedt geen eenduidige invalshoekafhankelijkheid op. Ook ten aanzien van deze metingen geldt, dat stoppelresten op het veld de korrelatie negatief hebben beïnvloed.

Omdat de radarreflectie van de kale bodem ook afhankelijk is van de oppervlakteruwheid dient voor een kwantitatieve analyse van de radarbeelden een radarreflectiemodel te worden gebruikt, om de relatieve bijdrage van de oppervlakteruwheid en het bodemvochtgehalte aan de radarreflectie te bepalen. Toepassing van het radarreflectiemodel voor kale grond van Attema et al. (1982) is in dit experiment niet bruikbaar gebleken. Toepassing en ontwikkeling van verbeterde modellen is noodzakelijk.

Met behulp van reflectiebeelden kan, zoals blijkt uit het voorgaande, het bodemvochtgehalte van de toplaag in kaart worden gebracht. De gebruiksmogelijkheid van een vocht kartering bij de bodem- en grondwatertrappen kartering is echter beperkt, omdat verschillen in vochtgehalte in het algemeen geen eenduidige relatie met verschillen in bodemtype of grondwatertrap vertonen. Verschillen in het bodemvochtgehalte worden veroorzaakt door de volgende factoren:

- verschillen in hoogteligging;
- verschillen in leemgehalte en/of humusgehalte. Met name 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;
- aanwezigheid van storende lagen in de ondiepe ondergrond;
- recent uitrijden van drijfmest.

5.1.3 Toepassing van remote sensing bij de bodem- en grondwatertrappenkartering

Het effect van bewerking van de percelen op de informatieinhoud van remote sensing beelden is een van de belangrijkste knelpunten bij de toepassing van remote sensing bij de bepaling van bodemkundige en hydrologische kenmerken. Toepassing van berekening en een onvolledige bodembedekking (recent gemaaid gras en veel tuinbouwgewassen) zijn de belangrijkste redenen dat uit de verdampingsbeelden geen informatie kon worden afgeleid. De aanwezigheid van vegetatie, grondbewerking en het uitrijden van drijfmest zijn de belangrijkste redenen dat de voorjaarsbeelden nauwelijks informatie toevoegen aan de zomeropname. Ook voor bos is geen informatie beschikbaar. Door genoemde oorzaken kon slechts voor 57% van de oppervlakte cultuurgrond informatie uit de remote sensing opnamen worden verkregen. De onderstaande resultaten hebben betrekking op de genoemde 57% van de oppervlakte cultuurgrond, waarvan informatie over de gewasverdamping beschikbaar is. Door versnippering in de beelden is de kartering nadelig beïnvloed.

De vlakaanduiding en de grenzen van de conventionele en de remote sensing bodemkaart zijn met elkaar vergeleken. In fig. 7 is aangegeven waar bodemtype en grondwatertrap met elkaar overeenkomen. De overeenkomst in vlakaanduiding tussen beide kaarten is matig. Hierbij moet wel worden aangetekend dat geringe verschillen in profielbeschrijving al kunnen leiden tot verschillen in vlakcodes. De overeenkomst in de ligging van de grenzen is gering.

De matige overeenkomst in vlakaanduiding tussen de twee kaarten heeft een aantal oorzaken:

- Op de conventionele bodemkaart komen binnen vrijwel ieder kaartvlak delen voor waarvan de profielopbouw en/of grondwatertrap afwijkt van de omschrijving die in de legenda voor dit kaartvlak wordt gegeven. Dit zijn de zogenaamde kaartonzuiverheden. Hoewel deze onzuiverheden binnen een bepaald vlak vaak aanzienlijke oppervlakten beslaan, zijn de afzonderlijke oppervlakken meestal te gering om te kunnen worden weergegeven op kaart met een schaal van 1:10 000. Bij de remote sensing bodemkaart blijkt in veel gevallen te zijn geboord binnen een kaartonzuiverheid (fig. 8). Voor 59% van de op de remote sensing beelden waarneembare vlakken is dit de oorzaak voor het niet overeenkomen van vlakaanduiding 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.
- 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. Vergraven gronden worden vaak niet eenduidig benoemd door de verschillende karteerders. Verder is in vergraven percelen het

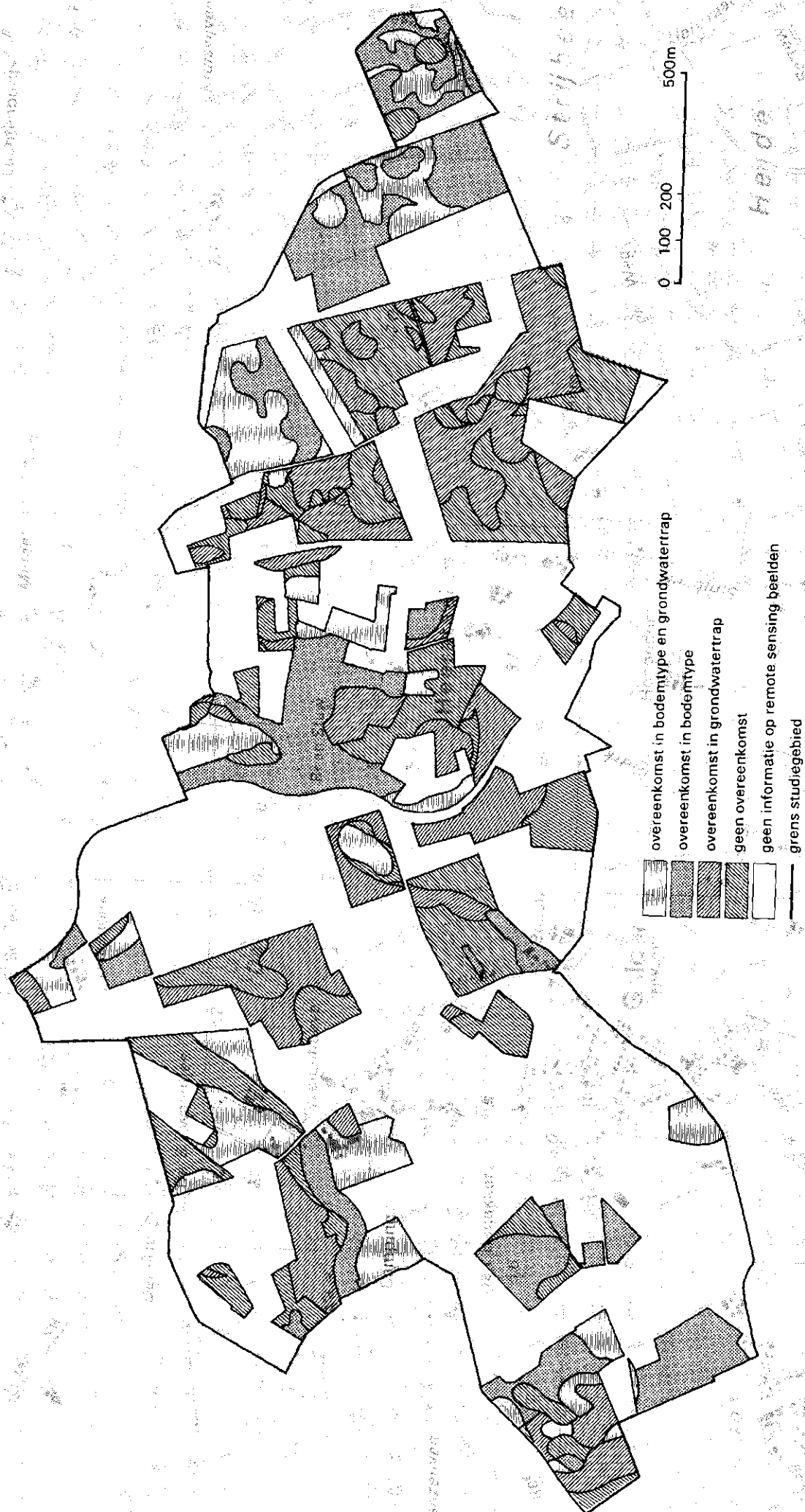


Fig 7. Overeenkomst in vlakken en grenzen van bodemtype en/of grondwatertrap tussen de

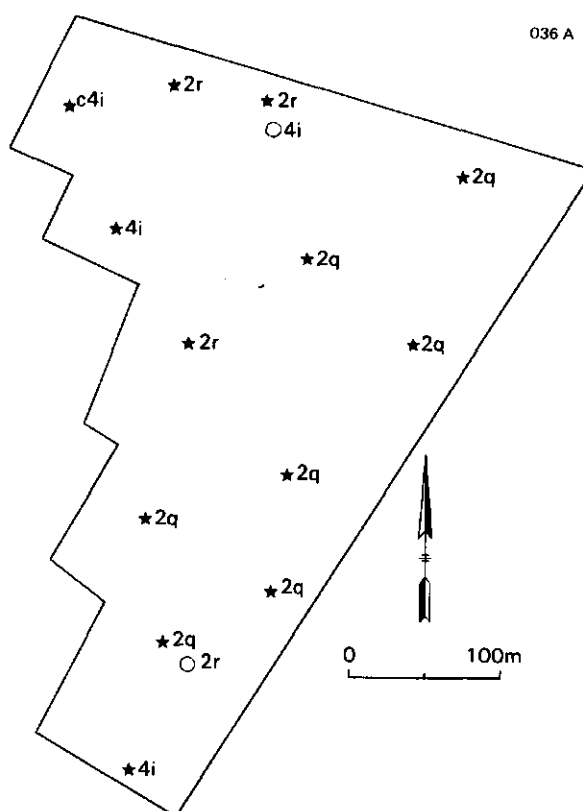


Fig. 8 De ligging en de bodemcode van de boorpunten bij de conventionele (*) en de remote sensing (o) kartering voor een perceel in het studiegebied.

aangetroffen bodemprofiel sterk afhankelijk van de plaats waar wordt geboord. Door deze factoren was 12% van de afwijkingen-tussen beide kaarten te verklaren.

- Verschillen in bodemtype en grondwatertrap komen vaak niet tot uiting in verschillen in verdamping, reflectie of stralingstemperatuur. Hierdoor kunnen naast het aangeboorde bodemtype en de gevonden grondwatertrap nog andere bodemtypes en/of grondwatertrappen voorkomen binnen een vlak van de uit remote sensing opnamen afgeleide patronenkaart. Voor 34% van de aan de hand van de remote sensing beelden onderscheidde vlakken is dit de oorzaak voor het niet overeenkomen van vlakaanduiding op beide kaarten.
- Uit vergelijking van dicht 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 conventioneel kartering uitvoert vaak al meerdere boringen in de directe omgeving uitgevoerd. Hierdoor beschikt deze karteerder

over meer voorkennis over de bodemopbouw en grondwaterfluctuaties in de omgeving, waardoor de bodemkundige en hydrologische parameters nauwkeuriger kunnen worden geschat. Daarnaast kunnen, met name wanneer profielkenmerken waarop de schatting mede is gebaseerd niet eenduidig waarneembaar zijn, schattingsverschillen tussen karteerders een rol spelen. Voor ca. 20% van de op remote sensing beelden waarneembare vlakken zijn verschil in voorkennis en/of schattingsverschillen tussen de karteerders de oorzaken van het niet overeenkomen van vlakaanduiding op beide kaarten.

De bovengenoemde percentages zijn samen meer dan 100%. Dit komt omdat 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 kaarten zijn geheel of gedeeltelijk het gevolg van de beperking van het aantal boringen bij met remote sensing opnamen ondersteunde kartering. Daarnaast spelen de aanwezigheid van vergraven gronden, verschil in voorkennis tussen karteerders en schattingverschillen een rol.

Zoals boven reeds is vermeld komt de ligging van de grenzen op beide kaarten slecht overeen. Voor een deel wordt dit veroorzaakt doordat kaartvlakken vaak niet van elkaar verschillen wat betreft vochtleverantie aan het gewas en daarmee in de 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 remote sensing 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. Hierdoor kunnen verschillende personen tot een enigszins andere interpretatie van de ligging van de 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. 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 of reflectie en temperatuur van het bodemoppervlak slechts in beperkte mate overeenkomen met verschillen in bodemtype en/of grondwatertrap zoals deze worden weergegeven op een kaart met een schaal van 1:10 000. De vergelijking tussen de remote sensing en de conventionele bodemkaart wordt echter beïnvloed door het op heden niet te vermijden schattings- en interpretatieverschil tussen karteerders.

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 zijn een aantal aanvullende boringen verricht samen met de karteerder die de conventionele kartering heeft 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 geringe en geleidelijk verlopende verschillen in maaiveldshoogte. Het trekken van de veldgrenzen is dan moeilijk. In gunstige gevallen kunnen dergelijke geringe verschillen in maaiveldshoogte zich echter op remote sensing beelden duidelijk manifesteren door middel van verschillen in reflectie temperatuur en/of verdamping. Aan de hand deze waarneembare patronen op remote sensing beelden kunnen dan gericht boringen worden uitgevoerd en door het overzicht dat met een remote sensing opname wordt verkregen kunnen grenzen gemakkelijker worden getrokken.

Dit betekent dat de conventionele bodemkaart er enigszins anders zou hebben uitgezien, wanneer tijdens deze kartering gebruik was gemaakt van remote sensing beelden. Fig. 9 geeft hiervan een voorbeeld.

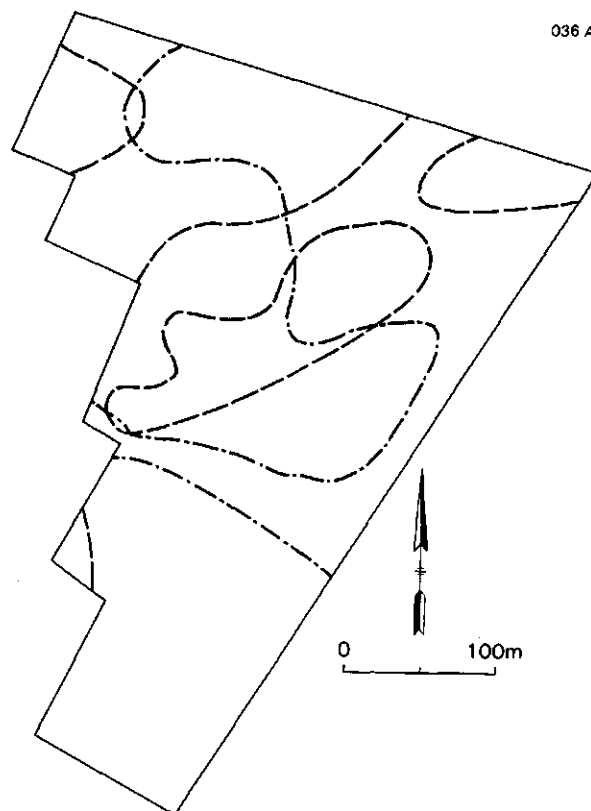


Fig. 9 De op de conventionele bodemkaart aangegeven grondwatertrapgrenzen (-.-.-.-) en de aan de hand van remote sensing opnamen bijgestelde grondwatertrapgrenzen (-----) voor een perceel in het studiegebied.

5.1.4 Toepassing van remote sensing bij de bepaling van opbrengstdepressies

De slechte overeenkomst tussen de conventionele en de remote sensing bodemkaart wordt onder andere veroorzaakt doordat verschillende kaarteenheden niet van elkaar verschillen in vochtleverantie aan het gewas of reflectie en temperatuur van het bodemoppervlak.

Het verdampingsbeeld geeft voornamelijk informatie over hydrologische eigenschappen van het bodemprofiel (par. 5.1.1). Reflectiebeelden van de kale bodem zijn door de geringe variatie in bodemkundige eigenschappen aan het oppervlak in het proefgebied sterk gekorreleerd met het bodemvochtgehalte (par. 5.1.2). Omdat de remote sensing beelden voornamelijk samenhangen met hydrologische eigenschappen van de boven- en ondergrond, ligt het voor de hand de kaarteenheden op de bodemkaart te vertalen naar eenheden die gebaseerd zijn op hydrologische kenmerken. Hiertoe zijn de kaartvlakken op de bodemkaarten met behulp van de HELP-tabellen vertaald naar opbrengstdepressies door vochttekort en wateroverlast (par. 4.2).

Vergelijking van de opbrengstdepressiekaarten

De kaarten die de opbrengstdepressie als gevolg van droogte weergeven, blijken voor 55% van de oppervlakte van het gebied met elkaar overeen te komen (fig. 10). Voor 36% van de oppervlakte blijkt de opbrengstdepressie op beide kaarten een klasse van elkaar te verschillen. Een klasse vertegenwoordigt een traject van 4% in opbrengstdepressie. Slechts voor 9% van het gebied bedraagt het verschil 2 klassen of meer. Opvallend is dat met name in de weinig droogtegevoelige gebieden de beide kaarten goed met elkaar overeenkomen, terwijl in de meer droogtegevoelige gebieden de overeenkomst tussen de kaarten aanzienlijk geringer 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 verschillen in de gevoeligheid voor droogte tot gevolg kunnen hebben.

De beide kaarten die de opbrengstdepressie door wateroverlast weergeven, blijken voor 62% van de oppervlakte van het gebied met elkaar overeen te komen (fig. 11). Voor 24% van de oppervlakte blijkt de opbrengstdepressie op beide kaarten een klasse van elkaar te verschillen. Voor 14% van het gebied bedraagt het verschil 2 klassen of meer. De opbrengstdepressie door wateroverlast komt in de meer droogtegevoelige gebieden over het algemeen goed met elkaar overeen. In weinig droogtegevoelige gebieden is de overeenkomst aanzienlijk geringer. 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.

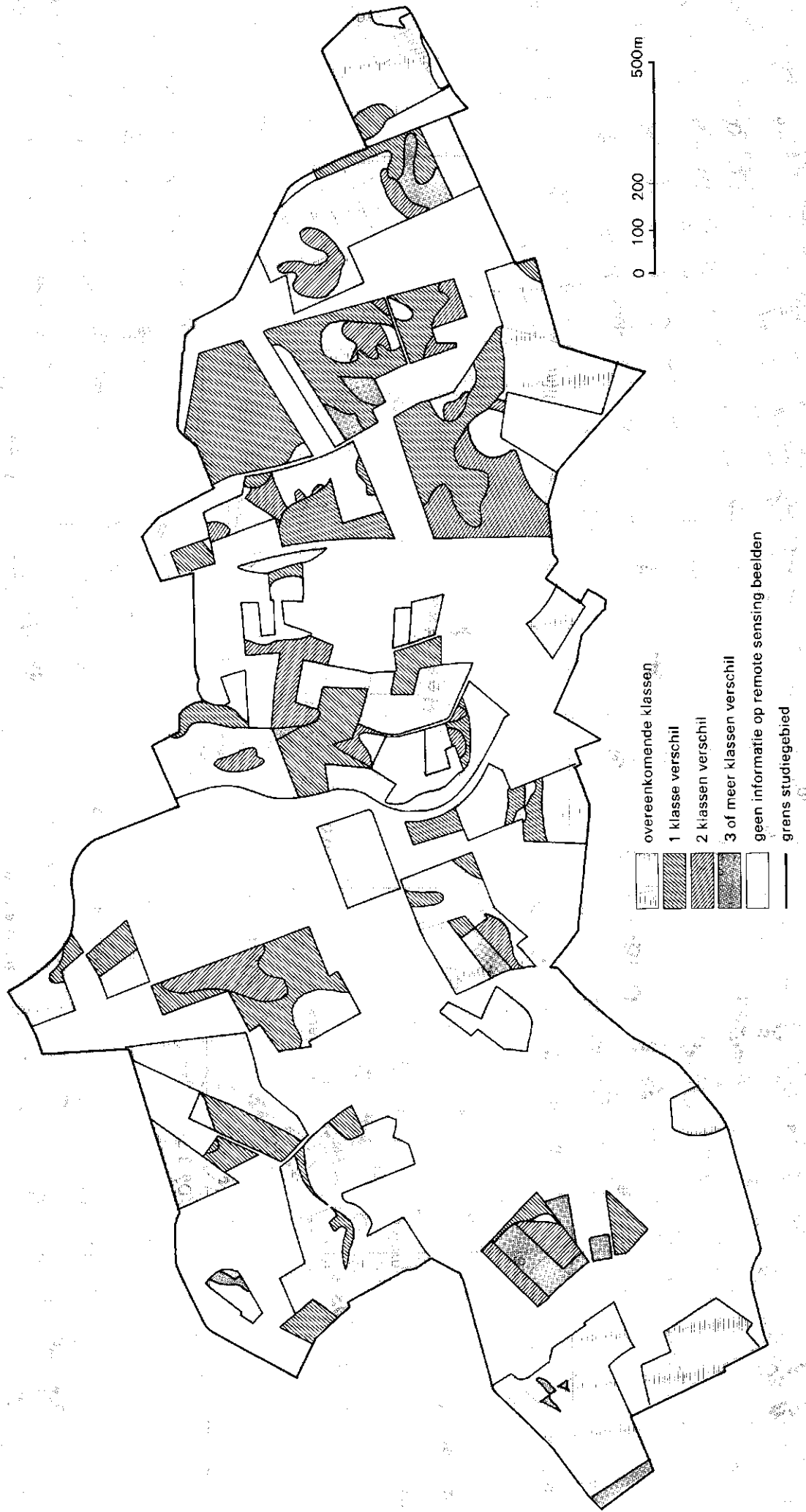


Fig 11. Overeenkomst in opbrengstdepressieklassen tussen de kaarten met de opbrengstdepressies door wateroverlast die zijn afgeleid van de conventionele en remote sensing bodemkaart.

Kombinaties van opbrengstdepressies

Omdat iedere klasse op de opbrengstdepressiekaarten overeenkomt met 4% opbrengstreduktie geven de kaarten in fig. 10 en 11 slechts beperkt inzicht in de mate van overeenkomst tussen de opbrengstdepressiekaarten, die zijn afgeleid uit de conventionele en de remote sensing bodemkaart. Daarom is nagegaan welke combinaties van opbrengstdepressies tussen de twee kaarten voorkomen. Voor de opbrengstdepressie door respektievelijk droogte en wateroverlast zijn de resultaten weergegeven in de fig. 12 en 13. 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 respektievelijk 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 fig. 12 en 13 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 beschrijving van de oorzaken par 5.1.3):

- 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.

Gewogen gemiddelde opbrengstdepressie

Vaak is men niet zozeer geïnteresseerd in de opbrengstdepressie van afzonderlijke (kaart)vlakken maar veeleer in de (gemiddelde) opbrengstdepressie van een bepaald gebied. Voor het deel van het herinrichtingsgebied waarvoor de opbrengstdepressiekaarten zijn gemaakt (zie fig. 10 en 11), is de gewogen gemiddelde opbrengstdepressie bepaald, waarbij de oppervlakten van de kaartvlakken als gewichten zijn gebruikt. De gewogen gemiddelde opbrengstdepressie door droogte en wateroverlast, die zijn afgeleid uit de beide opbrengstdepressiekaarten bedragen 7,7 en 3,7% respektievelijk 7,6 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.

Relatie tussen verdampingsklassen en opbrengstdepressie

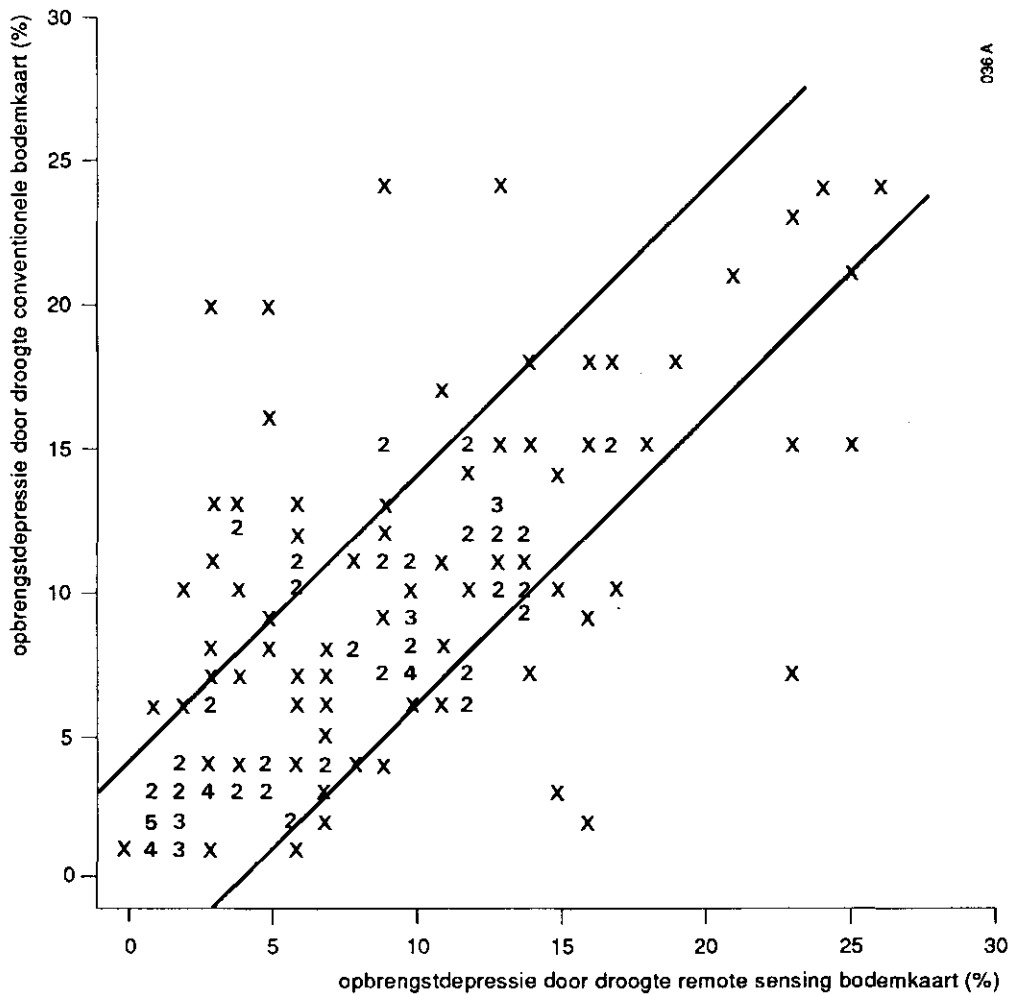


Fig. 12 Opbrengstdepressie door droogte afgeleid van de conventionele opbrengstdepressiekaart uitgezet tegen de opbrengstdepressie verkregen uit de remote sensing bodemkaart. De getallen geven het aantal samenvallende punten weer. De getrokken lijnen geven het traject aan waarbinnen de verschillen tussen de beide kaarten kleiner zijn dan of gelijk zijn aan 4% opbrengstdepressie.

Ten slotte zijn de opbrengstdepressiekaarten, die zijn afgeleid van de conventionele bodemkaart, vergeleken met de verdampingskaart van 14 augustus 1986 en de reflectie- en temperatuuroopnamen van 2 april 1987 en 6 april 1988. Natuurlijk mogen langjarig gemiddelde opbrengstdepressies niet zonder meer worden vergeleken met de verdampingsreductie op een bepaalde dag. Wel mag worden verwacht dat het langjarig gemiddelde vochttekort groter zal zijn naarmate op het verdampingsbeeld een grotere verdampingsreductie wordt aangetroffen.

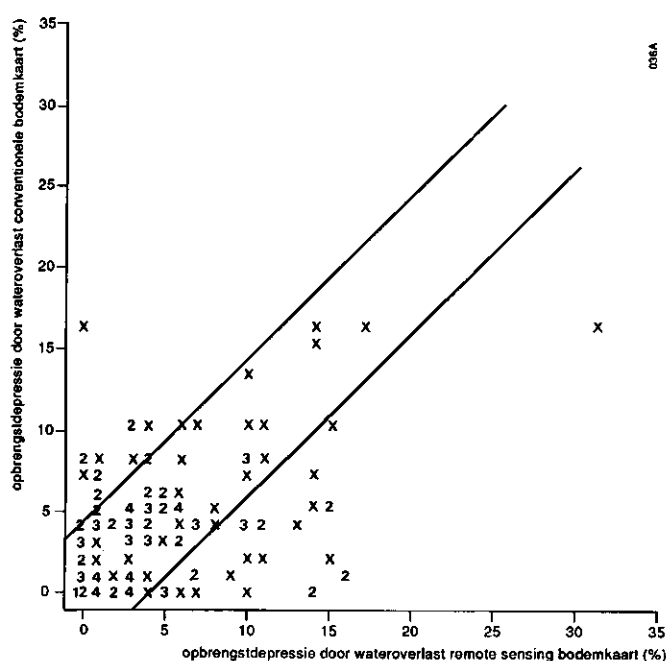


Fig. 13 Opbrengstdepressie door wateroverlast afgeleid van de conventionele opbrengstdepressiekaart uitgezet tegen de opbrengstdepressie verkregen uit de remote sensing bodemkaart. De getallen geven het aantal samenvallende punten weer. De getrokken lijnen geven het traject aan waarbinnen de verschillen tussen de beide kaarten kleiner zijn dan of gelijk zijn aan 4% opbrengstdepressie.

In fig. 14 is voor mais voor verschillende opbrengstdepressiepercentages door vochttekort weergegeven hoe de oppervlakte met een bepaald opbrengstdepressiepercentage verdeeld is over de verschillende relatieve verdampingsklassen. Bij mais 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 vaak aanzienlijk. Ook bij gras wordt vaak een grote spreiding in verdampingswaarden bij een bepaalde opbrengstdepressie aangetroffen. Bovendien blijken bij gras bij hoge opbrengstdepressies door droogte nog vaak aanzienlijke oppervlakken met relatief hoge verdampingswaarden voor te komen. Dit zou er op kunnen wijzen dat door specifieke meteorologische omstandigheden verdampingsredukties bij grasland later gaan optreden dan bij mais. Dit wordt bevestigd door de resultaten van de analyse van de relatie tussen de verdampingswaarde en de in het veld geschatte bodemkundige en hydrologische kenmerken.

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

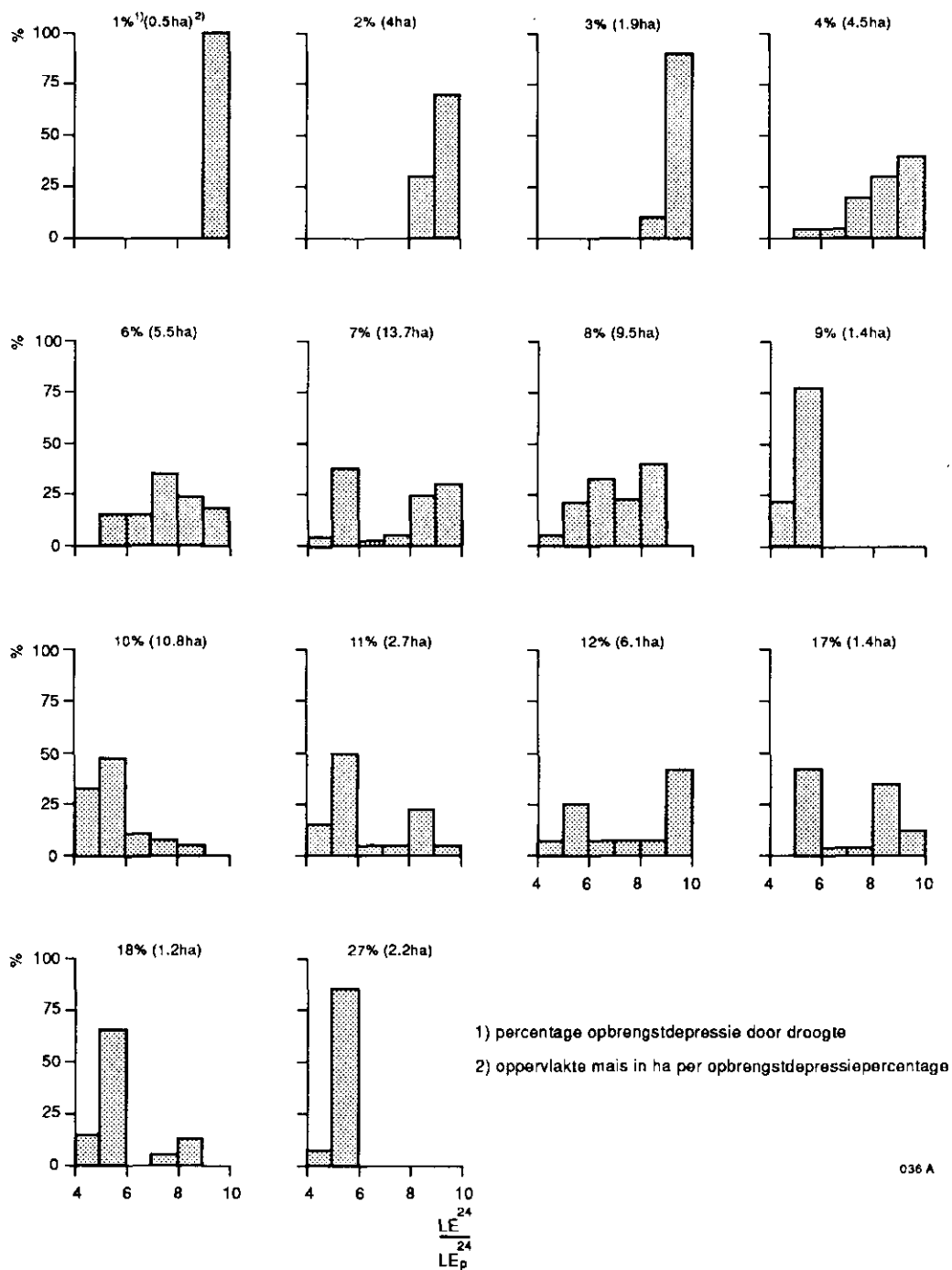


Fig. 14 Procentuele verdeling van de relatieve verdampingsklassen van mais over de opbrengst depressiepercentages door droogte afgeleid van de conventionele bodemkaart.

- de aanwezigheid van onzuiverheden binnen kaartvlakken. Dit kan tot gevolg hebben dat binnen een kaarteenheid meerdere verdampingswaarden voorkomen;
- variatie van de GLG binnen een kaartvlak. Relatief geringe verschillen in grondwaterstand kunnen grote verschillen in verdamping tot gevolg hebben;
- de aanwezigheid van afwijkende ondergronden. Een grofzandige of sterk lemige ondergrond kan aanzienlijke invloed hebben op de vochtvoorziening van het gewas. Bij de bepaling van de opbrengstdepressie door droogte met behulp van de HELP-tabellen speelt de ondergrond echter geen rol;
- het optreden van verdampingsredukties op laaggelegen, natte gronden. Vermoedelijk hebben we hier te maken met een slecht ontwikkeld wortelstelsel als gevolg van wateroverlast in het voorjaar.

5.2 Grondgebruikskartering

5.2.1 Visuele interpretatie van false colour foto's

De resultaten van de interpretatie van false colour foto's zijn weergegeven in tabel 3. De interpretatie is uitgevoerd voor het 400 ha grote proefgebied nabij Galder, waarvoor informatie over het grondgebruik in het veld is verzameld.

Tabel 3 De resultaten van de visuele interpretatie van de false colour foto's. De klassifikatienauwkeurigheden zijn berekend voor het proefgebied Galder (400 ha).

Beeld	Schaal	Klassifikatie nauwkeurigheden (%)			
		gras	mais	tuinbouw	kale grond
FC500	1: 3 300	98,3	96,9	96,0	78,7
FC2000	1:13 200	96,5	97,0	93,7	78,7
FC4000	1:26 400	97,3	97,1	96,7	78,7

Beeld	Specificatie
FC500	False colour foto, vlieghoogte 500 m, 3 juli 1987
FC2000	False colour foto, vlieghoogte 2000 m, 14 augustus 1986
FC4000	False colour foto, vlieghoogte 4000 m, 14 augustus 1986

De resultaten van de verschillende fotoschalen komen sterk met elkaar overeen. In het algemeen zijn vlakelementen zoals gras, mais en tuinbouw op de drie fotoschalen goed te onderscheiden. Verder is gebleken dat ook grotere eenheden zoals loof- en naaldbossen, wegen en bredere waterlopen nauwkeurig zijn te karteren aan de hand van false colour foto's.

Pas ingezaaid gras wordt op de false colour foto verward met kale grond. De oppervlakte kale grond is beperkt, dit verklaart het relatief slechte resultaat voor deze klasse. In het algemeen kan echter gesteld worden dat kale grond goed te karteren is.

Op basis van dit experiment kan worden geconcludeerd dat voor de praktijk de fotoschaal 1:13 200 de voorkeur verdient boven de andere twee fotoschalen. Bij een fotoschaal 1:3300 worden zeer gedetailleerde gegevens verkregen. De nadelen bij deze schaal zijn echter dat het overzicht over het gehele gebied ontbreekt en het grote aantal foto's. Bij meer globale schalen, zoals 1:26 400 wordt wel een goed overzicht verkregen. Het nadeel is in dit geval echter dat details verloren kunnen gaan. Bovendien is een nadeel dat bij deze schaal informatie verloren kan gaan indien de foto's onder minder ideale weersomstandigheden worden opgenomen. Door heiligheid loopt het contrast op de foto's sterk terug bij een toenemende opnamehoogte.

Uit de goede grondgebruiksklassifikatie van het proefgebied kan worden afgeleid dat de false colour foto interpretatie van het gehele herinrichtingsgebied ook een goede weergave oplevert van het werkelijke grondgebruik. Dit rechtvaardigt het gebruik van deze kartering voor het toetsen van de klassifikaties met scannerbeelden.

5.2.2 Automatische klassifikatie met scannerbeelden

De resultaten van de verschillende klassifikaties zijn in tabel 4 weergegeven. In fig. 15a is duidelijk het "gespikkeld" resultaat te zien van een pixelgewijze klassifikatie. Na de postklassifikatie bewerking krijgen alle pixels binnen een grondgebruikseenheid een waarde (zie fig. 15b).

Voor de controle van de klassifikatieresultaten van de scannerbeelden is het grondgebruik gedigitaliseerd. Dit beslaat een groter gebied dan de herinrichting, namelijk 3775 hectare. De klassifikaties met de Daedalus-scanner opnamen beslaan echter een kleiner gebied, 1880 hectare.

Tuinbouw is niet apart opgenomen in de klassifikatie. Vanwege de grote variatie in spektrale eigenschappen van de verschillende gewassen, vertonen deze veel overlap met ander klassen. Ook bebouwing en waterlopen zijn moeilijk te klassificeren behalve bij de TM-klassifikaties. Bebouwing heeft een grote spektrale variatie. De waterlopen zijn smal, waardoor veel mixed pixels voorkomen. Visueel zijn beide klassen wel goed te onderscheiden op een scannerbeeld. Voor klassen zoals boomkwekerijen, aardappelen en kassen konden geen trainingsgebieden worden aangewezen omdat de spectrale waarden van deze klassen met andere klassen overlappen.

Tabel 4 De resultaten van de pixelgewijze en de objekt klassifikatie van de verschillende scanneropnamen, en de semi-automatische klassifikatie uitgevoerd door DHV. De klassifikatie nauwkeurigheden zijn berekend voor het gehele gebied (3775 ha) behalve voor de Daedalus opnamen die beslaan slechts een deel van het gebied (1880 ha).

Beeld	Klassifikatie methode	Klassifikatie nauwkeurigheden (%)					
		gras	mais	kale grond	bos	bebouwing	Totaal
TM-1	pixel	77	65	34	83	72	70
	objekt	95	88	48	99	87	86
TM-2	pixel	84	62	46	86	73	73
	objekt	97	86	51	99	87	86
SPOT-1	pixel	50	54	35	90	29	50
	objekt	67	66	48	99	42	68
SPOT-2	pixel	81	76	42	87	8	69
	objekt	94	94	52	99	0	80
DAEDALUS	pixel	65	45	53	69	12	53
	objekt	90	50	91	96	1	71
DAE-SPOT	pixel	84	78	33	75	64	68
	objekt	98	92	30	98	89	84
SPOT-TM	pixel	72	71	80	81	35	65
	objekt	90	93	88	98	34	80
DHV	visueel	82	70	28	87	61	70

Beeld	Specificatie
TM-1	Landsat-TM, banden 3-5, 3 augustus
TM-2	Landsat-TM, banden 1-5,7, 3 augustus
SPOT-1	SPOT, banden 1-3, 28 september
SPOT-2	SPOT, banden 1-3, 27 mei en 28 september
DAEDALUS	DAEDALUS, banden 5,7 en 9, 14 augustus
DAE-SPOT	DAEDALUS, banden 5,7,9 14 augustus gekombineerd met SPOT, banden 1-3, 27 mei
SPOT-TM	SPOT, banden 1-3, 27 mei gekombineerd met Landsat-TM banden 1-5,7, 3 augustus
DHV	Landsat-TM banden 3-5, 3 augustus semi-automatisch geklassificeerd door DHV

De klassifikatieresultaten zijn na de postklassifikatie bewerking voor alle grondgebruiksklassen aanmerkelijk beter. Een uitzondering vormt de klassifikatie van mais met Daedalusopnamen. Het onderscheid tussen mais en gras met Daedalus opnamen is slecht. Daarbij treden extra problemen op door verdroging en door de niet-optimale weersomstandigheden tijdens de opnamen. Door deze problemen bleken de resultaten te verslechteren na postklassifikatie.

Bij de beoordeling van de klassifikatieresultaten verkregen na de postklassifikatie bewerking dient te worden opgemerkt dat een nauwkeurigheid hoger dan ongeveer 95 % niet haalbaar is. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de gedigitaliseerde grond-

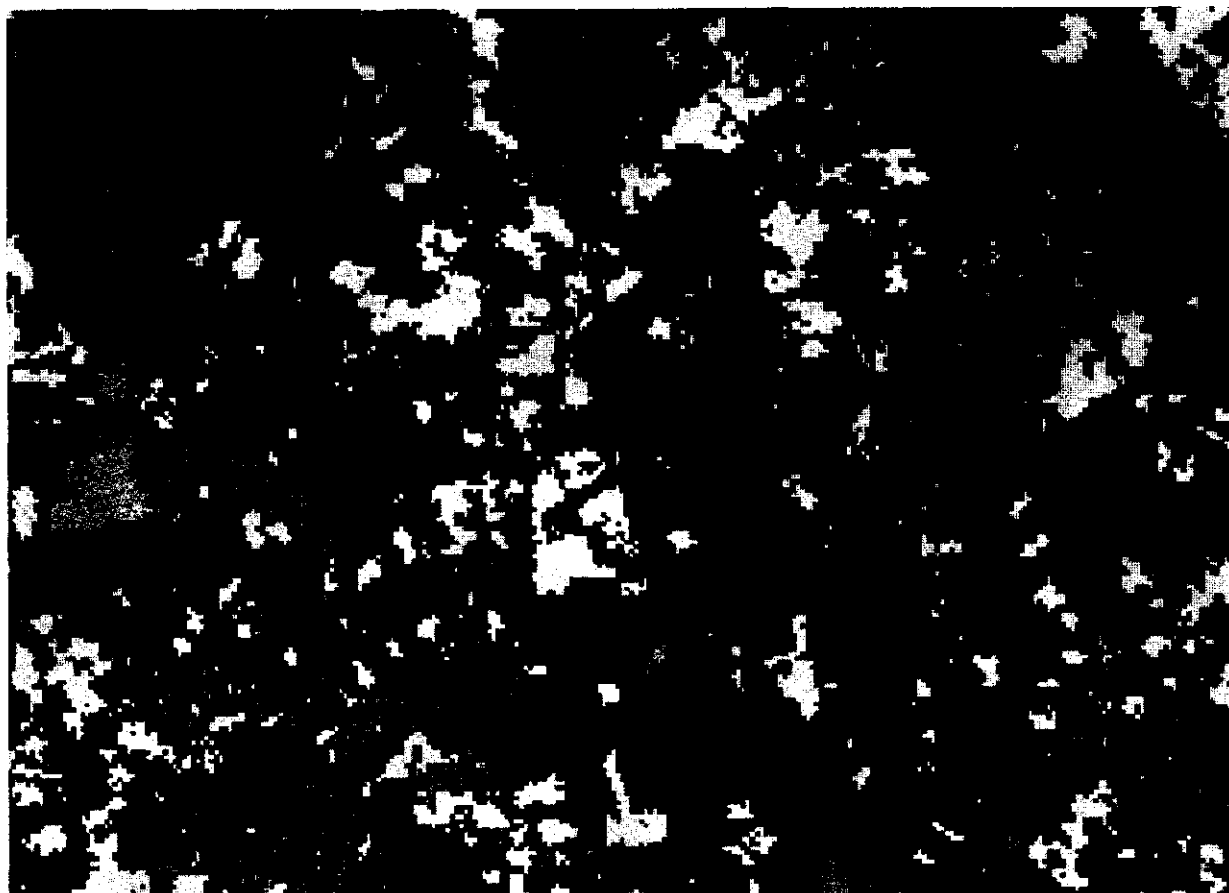
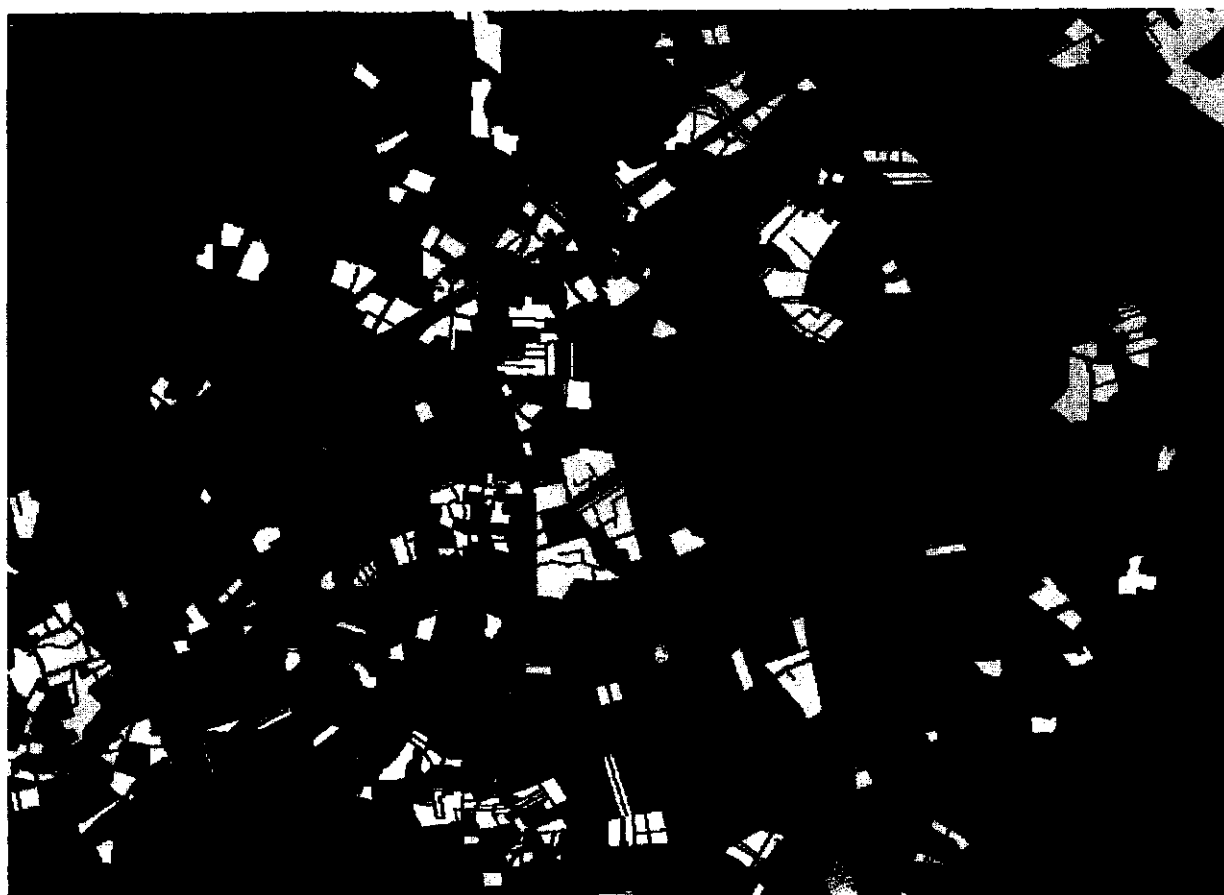


Fig. 15a De pixelgewijze grondgebruiksklassifikatie met behulp van een Landsat-TM beeld d.d. 3-8-1986.



gras
 mais
 kale grond
 bos
 water
 bebouwing

Fig. 15b Grondgebruiksklassifikatie van het beeld in fig. 15a na bewerking met het postklassifikatie programma OBJCLASS.

gebruikerskaart niet exact past op de remote sensing beelden als gevolg van fouten bij het digitaliseren en door het feit dat beide beelden uiteraard nooit exact geometrisch korrekt zijn. Dit laatste geeft vooral problemen bij lijnvormige elementen zoals waterlopen.

Gras wordt over het algemeen goed gekarteerd met name bij multitemporele beelden en van de Landsat-TM. Na postklassifikatie zijn de resultaten zeer goed, tot 98 % bij de combinatie SPOT-mei en Daedalus.

Mais wordt met name zeer goed gekarteerd wanneer SPOT beelden uit mei en september worden gekombineerd. Het onderscheid tussen gras en mais wordt aanzienlijk verbeterd bij de multitemporele klassifikatie doordat in het voorjaar percelen gras sterk verschillen van de nog kale maispercelen.

Het slechte resultaat voor mais met Daedalus scannerbeelden is reeds gedeeltelijk toegelicht. Zowel de Daedalus- als de TM-scannerbeelden zijn onder vergelijkbare droge omstandigheden in het veld opgenomen. De betere klassifikatieresultaten met Landsat-TM zijn het gevolg van de extra informatie die de zogenaamde waterabsorptieband in het midden infrarood geeft. De Daedalus-scanner neemt niet waar in het genoemde golflengtebereik.

Bij de semi-automatische klassifikatie worden een aantal kleine maispercelen gemist, die bij de automatische klassifikaties wel gekarteerd worden.

De oppervlakte kale grond is relatief klein zodat er weinig konklusies aan de resultaten kunnen worden verbonden. De ervaring leert echter dat in het algemeen kale grond goed automatisch is te klassificeren.

Bos wordt zeer goed geklassificeerd. Loof- en naaldbossen zijn apart van elkaar te onderscheiden. Maar omdat er veel gemengde opstanden in het gebied voorkomen was het niet mogelijk loof- en naaldbos apart te digitaliseren.

5.3 Vegetatiekartering

Het spreekt voor zich dat op de remote sensing beelden de indicatorsoorten en de ondergroei van houtopstanden niet kunnen worden onderscheiden. De false colour foto's en scanneropnamen zijn ook onvoldoende gedetailleerd voor de interpretatie van lijnvormige elementen. Dit geldt zelfs voor false colour foto's met een schaal 1:3300. Bovenstaande heeft tot gevolg dat alleen de oppervlakte elementen met behulp van remote sensing beelden kunnen worden geïnterpreteerd.

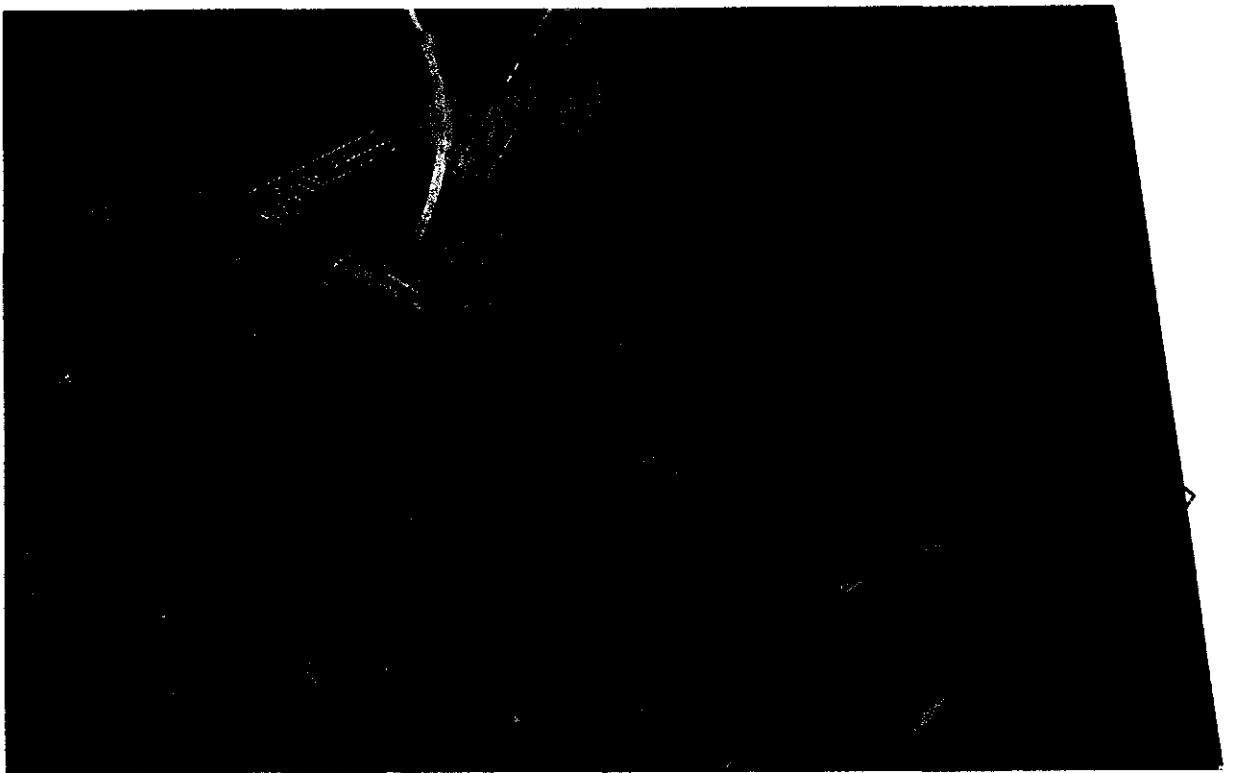


Fig. 16 False colour foto's van een deelgebied nabij Ulvenhout, van twee opnametijdstippen, a. 14 augustus 1986; b. 2 april 1987, met een overlay van de CABO-kartering naar graslandtypen.

I: Komplex van percelen met een matige soortenrijkdom, waarbinnen patronen tussen aangrenzende percelen doorlopen. Zichtbaar is: foto a: hergroeiverschillen in het grasland; foto b: grijze kleur duidt op de afwezigheid van groene vegetatie. II: Komplex van percelen met een matige soortenrijkdom, patronen lopen meestal niet door in aangrenzende percelen: foto a: verschillen tussen percelen als gevolg van beweiding en maaien. foto b: op een aantal percelen is de begreppeling zichtbaar. III: Komplex met heterogene soortenrijke percelen. IV: Soortenarm perceel met een heterogene verschijning op de beelden door patronen in de vegetatie en de begreppeling.

Uit een vergelijking van de false colour foto's van de vier opnametijdstoppen met de vegetatie- en vochtklassenkartering van het CABO (par. 4.4; methode 1) blijkt, dat in een beperkt aantal gevallen de patronen binnen percelen of binnen enkele aangrenzende percelen overeenkomen (fig. 16). Graslandpercelen kunnen zich binnen de diverse CABO-klassen echter ook zeer verschillend manifesteren. Hierdoor is het niet mogelijk met behulp van false colour foto's een indeling in het grasland aan te brengen naar vegetatietype of vochtvoorzieningstoestand.

Ook digitale reflectie- en warmtebeelden en het verdampingsbeeld vertonen geen patronen die eenduidig overeenkomen met vegetatietypen, vochtvoorzieningsklassen of het optreden van kwel. Een uitzondering dient wellicht gemaakt te worden voor scanneropnamen, indien deze worden gemaakt onder specifieke omstandigheden in het voorjaar, namelijk wanneer hergroeiverschillen in grasland optreden als gevolg van bodemopwarmingsverschillen. Het gebruik van textuurmaten als toevoeging aan de spectrale kenmerken levert verbeterde klassificatieresultaten op. Het Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN) doet onderzoek naar oorzaken van verschillen in textuur in grasland.

Vervolgens zijn de false colour foto's geïnterpreteerd naar cultuurdruk (par. 4.4.; methode 2). Het heterogeniteitspercentage van de graslanden met lage cultuurdruk is het hoogst in het vroege voorjaar, in het bijzonder na een strenge winter. Dit blijkt uit de heterogeniteitspercentages van het vroege voorjaar van 1987 na een strenge winter en van 1988 na een zachte winter, deze bedragen respectievelijk 0,80 en 0,68. De patronen in het vroege voorjaar hangen voornamelijk samen met het bodemvocht en de dichtheid van de zode.

De informatie in de false colour foto's van het late voorjaar wordt voornamelijk bepaald door het beheer van de percelen. Op recent gehooide percelen biedt begreppeling de enige indicatie voor heterogeniteit. De overige percelen met een meestal gesloten vegetatie vertonen kleurverschillen veroorzaakt door verschillen in biomassa en vegetatietype. Alhoewel het heterogeniteitspercentage van dit tijdstip redelijk hoog is (0,65) lijkt dit opnametijdstip toch minder geschikt vanwege de grote invloed van het beheer op de informatie in de false colour foto.

Het zomerbeeld geeft het kleinste onderscheidingsvermogen te zien (0,55) van de opnametijdstoppen voor percelen met een lage cultuurdruk. Ook op dit tijdstip speelt naast eventuele effecten van verdroging het gebruik van de percelen een rol in de informatie inhoud van de false colour foto.

Grasland met een matige cultuurdruk heeft in het algemeen een lager percentage heterogene percelen, variërend van 0,49 tot 0,63, op de false colour foto's van de afzonderlijke opnametijdstoppen dan grasland met een lage cultuurdruk.

Een combinatie van false colour foto's van twee opnametijdstippen vergroot de kans dat een perceel met een lage of matige cultuurdruk minimaal op een van de beelden heterogeen is in veel gevallen aanzienlijk. De beste resultaten zijn verkregen met een combinatie van een vroege voorjaars- met een zomeropname.

De boven gepresenteerde resultaten kunnen van jaar tot jaar sterk verschillen afhankelijk van de meteorologische omstandigheden, het gebruik van het grasland en het opnametijdstip. Het lijkt niet mogelijk alleen op grond van heterogeniteit van een perceel een nauwkeurige kartering van de cultuurdruk uit te voeren.

Op grond van de toegepaste 'komplexgewijze interpretatie' met false colourfoto's uit het vroege voorjaar en de zomer (par. 4.4; methode 3) is in Ulvenhout-Galder 50% van de 950 hectare grasland aangemerkt als percelen met een mogelijk lage of matige cultuurdruk. De overige 50% bestaat uit percelen met een hoge cultuurdruk, waarbinnen heterogene percelen zijn aangegeven. Van de op deze wijze geïnventariseerde percelen met een lage of matige cultuurdruk wijken 14 percelen af van de CABO-kartering. Het betreft 13 percelen met een matige cultuurdruk en een perceel met een lage cultuurdruk, die foutief zijn aangemerkt met een hoge cultuurdruk. Door het CABO zijn in Ulvenhout-Galder 198 en 32 percelen gekarteerd met respectievelijk een matige en lage cultuurdruk.

Met behulp van false colour foto's is het dus mogelijk gebieden aan te geven, waar met een verhoogde kans interessante graslandvegetaties voorkomen. Binnen deze gebieden kan veldwerk uitsluitend geven omtrent de floristische samenstelling van een perceel.

5.4 Terreinkaart en globale begroeiingskaart

5.4.1 Terreinkaart

De informatieinhoud van false colour foto's ten aanzien van de terreinkaart is afhankelijk van het type terreinelement. Onderscheid wordt gemaakt in vlak-, lijn-, en puntelementen.

Vlakelementen zoals bossen, begraafplaatsen, campings, moerassen en water zijn goed herkenbaar. De herkenbaarheid van lijnelementen wisselt per element. Voorbeelden van goed herkenbare elementen zijn sloten, wegen, perceels- en cultuurgrenzen. Wegen zijn door hun vorm en contrast met de omgeving goed herkenbaar. Het materiaal waaruit het wegdek bestaat is echter niet uit de foto's af te leiden. De verschillende soorten afasteringen zijn op de foto's niet te onderscheiden. Ondergrondse leidingen zijn niet waarneembaar. De herkenbaarheid van puntelementen is afhankelijk van de grootte en de ligging. Hoogspanningsmasten zijn op lucht-

foto's te herkennen, terwijl bijvoorbeeld duikers, waarnemingsputten en waterstandsbuizen niet zijn te herkennen.

5.4.2 Globale begroeiingskaart

Bossen, houtwallen en solitaire bomen zijn goed te herkennen op false colour foto's. Het onderscheid tussen loof- en naaldhout is goed te maken. Enkele loofhoutsoorten zijn redelijk goed te herkennen op false colour foto's. Dit zijn de wilg en esdoorn, deze soorten hebben op deze foto's een specifieke kleur. Populieren zijn op luchtfoto's te herkennen aan hun vorm, de schaduwen van deze bomen zijn namelijk zuilvormig. Ook de verspreiding en de aanwezigheid van rijen begroeiing is goed zichtbaar op luchtfoto's. De Hoogte, breedte en dichtheid van de landschapselementen kunnen echter niet met "veldnauwkeurigheid" (dit is 1 m) worden aangegeven. Het zal duidelijk zijn dat elementen die voorkomen onder een hogere begroeiing niet met behulp van luchtfoto's zijn te inventariseren. Bovenstaande resultaten zijn voornamelijk afkomstig van Van het Loo en De Veer (1979).

6 EVALUATIE VAN DE TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VAN REMOTE SENSING

6.1 Algemeen

In de vroege voorbereiding van landinrichtingsprojecten wordt een groot aantal gegevens verzameld. Door de veldwaarnemingen die ten behoeve van deze projecten noodzakelijk zijn brengen deze inventarisaties in het algemeen hoge kosten met zich mee. Met remote sensing technieken zijn er mogelijkheden om ruimtelijke informatie te verkrijgen. In dit onderzoek is onderzocht in hoeverre bij diverse inventarisaties in de voorbereidingsfase van landinrichtingsprojecten de met remote sensing ondersteunde methoden de bestaande methoden kunnen vervangen, aanvullen of efficiënter maken.

Momenteel is er binnen de Landinrichtingsdienst een ontwikkeling gaande om bepaalde gegevens niet meer of eventueel in een latere fase van het project te verzamelen. Ook wordt er gedacht aan globalere karteringen. De belangrijkste reden hiervoor is het streven naar kostenbeheersing. Het is van belang om na te gaan in hoeverre remote sensing eventueel optredende leemten in de informatievoorziening kan opvullen.

Worden de mogelijkheden van remote sensing opnametechnieken beschouwd dan moeten 3 technieken worden onderscheiden:

- Luchtfotografie vanuit vliegtuigen; panchromatisch en false colour.
- Multi Spectrale Scanning (MSS) en InfraRed Line Scanning (IRLS) vanuit vliegtuigen.
- Multi Spectrale Scanning (MSS) vanuit satellieten; Franse satelliet SPOT en Amerikaanse satelliet Landsat-TM.

De drie genoemde technieken hebben ieder specifieke toepassingsmogelijkheden. Tabel 5 geeft hiervan een overzicht voor wat betreft de in dit onderzoek beschouwde karteringen.

Tabel 5 Mogelijkheden van vliegtuig en satelliet remote sensing bij karteringen in het kader van landinrichtingsprojecten;
+ ondersteunende bijdrage remote sensing
- geen mogelijkheden voor remote sensing

Toepassingsveld	Remote sensing techniek		
	Vliegtuig		Satelliet MSS (SPOT en TM)
	fotografie	MSS/IRLS	
Bodentype en grondwatertrap	+	+	-
Grondgebruik	+	+	+
Vegetatie	-	-	-
Terreinkenmerken	+	-	-
Begroeiing	+	-	-
Cultuurhistorie	+	-	-

Uit tabel 5 blijkt dat bij alle karteringen behalve de vegetatiekartering remote sensing een ondersteunende bijdrage kan leveren. Deze bijdrage kan bestaan uit een besparing op het veldwerk dan wel het verkrijgen van meer gedetailleerde en betrouwbare gegevens. In de volgende paragrafen wordt hier kort op ingegaan. In een aparte paragraaf worden vervolgens de specifieke mogelijkheden van vliegtuig en satelliet remote sensing besproken.

6.2 Evaluatie per toepassingsveld

6.2.1 Bodem- en grondwatertrappenkartering

Voor het samenstellen van een bodemkaart op een schaal van 1:10 000 worden in het veld veel boringen verricht. Dit vergt veel menskracht en daarmee veel geld. Het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van remote sensing in de landinrichtingspraktijk richtte zich aanvankelijk dan ook met name op de toepassing in de bodemkartering.

De behoefte aan gedetailleerde gegevens over bodemtype en grondwatertrap in de vroege fase van een landinrichtingsproject is in discussie binnen de Landinrichtingsdienst. Bij dit onderzoek is echter uitgegaan van de huidige werkwijze. Dit houdt in dat de conventionele bodemkaart op een schaal van 1:10 000 als referentie is genomen voor de beoordeling van de met remote sensing ondersteunde kartering.

Het onderzoek heeft aangetoond dat met behulp van remote sensing beelden waardevolle aanvullende informatie kan worden verkregen over de verbreiding van bepaalde bodemkundige en hydrologische eigenschappen. Warmtebeelden die zijn opgenomen na een droge periode en daaruit afgeleide verdampingsbeelden, verschaffen de meeste informatie. Gebleken is echter dat de uit remote sensing opnamen afgeleide eigenschappen niet altijd een rol spelen bij de indeling in bodemtype en grondwatertrap.

Kaarteenheden van de bodemkaart vertonen nogal eens een overeenkomst in vochtleverend en/of vochtbergend vermogen. Daarom zijn de conventionele bodemkaart en de met remote sensing ondersteunde samengestelde bodemkaart met behulp van de HELP-tabellen vertaald naar kaarten met opbrengstdepressies door droogte en wateroverlast. Gebleken is dat deze opbrengstdepressiekaarten een grotere overeenkomst vertonen met de verdampingsreduktie kaart dan de beide bodemkaarten.

Aangetoond is dat remote sensing beelden aanvullende informatie verschaffen over de verbreiding van bodemkundige en hydrologische eigenschappen. De besparing op het aantal boringen en daarmee de besparing op het veldwerk is echter beperkt. Bij een conventio-

nele kartering wordt 1 boring per ha uitgevoerd. Zelfs een besparing tot 1 boring per 2 ha is niet haalbaar gebleken. Daarbij wordt de besparing door toepassing van remote sensing nog nadelig beïnvloed doordat met remote sensing beelden slechts voor een deel van het gebied relevante informatie wordt verkregen.

Remote sensing opnamen zijn alleen bruikbaar voor de bodemkartering als er een eenduidige relatie bestaat tussen reflectie intensiteit en stralingstemperatuur enerzijds en bodemtype en/of grondwatertrap anderzijds. In dat geval komen patronen op remote sensing beelden overeen met kaartvlakken op de bodemkaart. Gebleken is dat de reflectie en stralingstemperatuur van het bodemoppervlak wordt beïnvloed door een groot aantal bodemkundige en hydrologische kenmerken. Een aantal van deze kenmerken speelt geen of slechts een beperkte rol bij de onderverdeling in bodemtypen en grondwatertrappen volgens de gebruikte legenda. Slechts in bepaalde gunstige gevallen zullen bodemtypen en/of grondwatertrappen zich duidelijk manifesteren op remote sensing beelden. Zo vertonen bijvoorbeeld de zandopduikingen in de Veenkoloniën onder droge omstandigheden over het algemeen een hogere temperatuur dan de omliggende, lager gelegen veen- en moerige gronden. De zandopduikingen betreffen meestal veldpodzolgronden met Gt VI en VII. Binnen het gebied met veen- en moerige gronden kan echter met behulp van warmtebeelden geen nader onderscheid worden gemaakt tussen bodemtypen (Kok, 1984). Dat betekent dat wanneer wordt uitgegaan van de conventionele legenda remote sensing over het algemeen slechts beperkte mogelijkheden biedt.

Wanneer echter meer gegeneraliseerde eenheden worden beschouwd, zoals bodemfysische eenheden, biedt remote sensing meer mogelijkheden. Niettemin is uit de studie in Ulvenhout-Galder gebleken dat de overeenkomst tussen de uit remote sensing opnamen afgeleide verdampingsbeelden en de met behulp van de HELP-tabellen afgeleide kaarten met opbrengstdepressies door droogte en wateroverlast matig is. Dit komt doordat bij de vervaardiging van de HELP-tabellen in sterke mate is uitgegaan van de legenda van de bodemkaart. Uit remote sensing opnamen afgeleide verdampingsbeelden daarentegen geven de werkelijke hydrologische situatie op een bepaald moment weer. Dit maakt het mogelijk uit de bodemkaart afgeleide bodemkundige/hydrologische eenheden te valideren en/of te actualiseren.

Tenslotte kunnen remote sensing beelden een rol spelen bij studies naar bodemkundige variabiliteit binnen kaarteenheden. Bodemkundige en/of hydrologische verschillen, die niet direct op de bodemkaart tot uiting komen doordat ze geen rol spelen bij de indeling in legenda eenheden of doordat ze een te gering oppervlakte vertegenwoordigen (kaartonzuiverheden), kunnen toch veel effect op de gewasontwikkeling hebben. Deze verschillen komen vaak wel tot uiting op remote sensing beelden.

6.2.2 Grondgebruik

Voor de kartering van het grondgebruik zijn er goede mogelijkheden met verschillende remote sensing technieken. Gebleken is dat met name false colour foto's gedetailleerde informatie verschaffen. De belangrijkste grondgebruikstypen akkerbouw, grasland, bos, stedelijk gebied en open water zijn goed te onderscheiden op false colour foto's. Bovendien leveren lucht-foto's van recente datum actuele informatie over perceelsgrenzen. Grote homogene landbouwgebieden zijn te karteren met behulp van luchtfotointerpretatie. Daarna is aanvullend veldwerk noodzakelijk voor kleinschalige klassen zoals tuinbouw. False colour foto's geven aanzienlijk meer onderscheid in gewassen te zien ten opzichte van panchromatische foto's. Panchromatische foto's opgenomen onder droge omstandigheden in het voorjaar verschaffen informatie over gras- en bouwland. Op foto's die onder natte omstandigheden zijn opgenomen, is moeilijk onderscheid te maken tussen gras- en bouwland.

Met de in dit onderzoek toegepaste vliegtuigscannerbeelden is de nauwkeurigheid van de klassifikatieresultaten voor toepassing in de praktijk te beperkt. Voor de belangrijkste grondgebruikstypen worden nauwkeurigheden verkregen die variëren van 50% voor mais tot 90% voor gras.

Hoewel satellietopnamen minder detail vertonen dan vliegtuig-scanneropnamen zijn er voor satelliet remote sensing betere, doch beperkte, perspectieven. De beperking is met name het gevolg van het geringe detail van satellietopnamen. Met zowel de Landsat-TM als de SPOT zijn voor de belangrijkste grondgebruikstypen nauwkeurigheden haalbaar van ongeveer 95% door combinatie met topografische informatie. Bij de Landsat-TM is dit te danken aan de banden in het midden infrarood. SPOT biedt met name goede mogelijkheden door de hoge opnamefrequentie, waardoor er een reële kans is op meerdere opnamen per groeiseizoen. In dit geval worden voor de belangrijkste grondgebruikstypen nauwkeurige resultaten verkregen met een multitemporele benadering. Grondgebruikstypen met een grote variatie in spectrale reflectie, zoals tuinbouwgewassen, leveren problemen op bij een automatische kartering. Door visuele interpretatie zijn er mogelijkheden onder andere voor het stedelijk gebied. In sommige gevallen ook voor tuinbouw. Echter voor de grondgebruikskartering van tuinbouw is veldwerk onmisbaar. Met behulp van satelliet remote sensing zijn er mogelijkheden een bestaande grondgebruikskaart te actualiseren, met name verschuivingen tussen akkerbouw en grasland kunnen worden bepaald.

6.2.3 Vegetatiekartering

De mogelijkheden van remote sensing bij de vegetatiekartering zijn beperkt. Daar gedetailleerde informatie over de samenstelling van de vegetatie noodzakelijk is zijn scanneropnamen niet toepasbaar.

False colour foto's die zijn opgenomen in het vroege voorjaar verschaffen voor grasland enige informatie over de cultuurdruk. Gebieden die mogelijk interessant zijn vanuit vegetatiekundig oogpunt, zijn te onderscheiden van gebieden met een hoge cultuurdruk, die veelal nauwelijks interessant zijn. Op deze wijze kan aan de hand van false colour foto's een eerste globale indeling worden gemaakt, waarna een meer gerichte veldopname mogelijk is.

Het onderzoek heeft aangetoond dat false colour foto's een bijdrage kunnen leveren bij de kartering van vlakken. Het detail van de remote sensing opnamen is in het algemeen niet toereikend voor de beschrijving van lijnelementen.

Daar tegenwoordig de nadruk ligt op de kartering van potentiële natuurwaarden, waarbij de verspreiding van indikatorsoorten van belang is, zijn er geen mogelijkheden voor remote sensing in de toekomst wat betreft de vegetatiekartering.

6.2.4 Terrein- en begroeiingskaart

In het algemeen is de ligging van begroeiingselementen goed met behulp van false colour foto's te karteren. In een aantal gevallen zijn ook boomsoorten te herkennen. Voor het verkrijgen van een gedetailleerde begroeiingskaart is aanvullend veldwerk onmisbaar. Panchromatische foto's zijn voor de begroeiingskartering niet bruikbaar (Van het Loo en De Veer, 1979). Ook scanner-beelden zijn door het gebrek aan detail niet geschikt voor deze toepassing. De remote sensing ondersteuning ten behoeve van de terreinkaart is overeenkomstig aan de begroeiingskartering beperkt tot false colour foto's.

6.2.5 Cultuurhistorie en archeologie

Uit de onderzoeken van Slofstra e.a. (1985) en Datema (1988) blijkt dat de resultaten van analyses van luchtfoto's voor de kartering van cultuurhistorische waarden en archeologische overblijfselen zowel positief als negatief zijn. Het is daarbij van belang te beschikken over luchtfoto's met een zo groot mogelijke opnameschaal en gemaakt op een gunstig tijdstip van het jaar in verband met de zichtbaarheid van grondsporen. Gekonstaterde sporen op foto's hebben niet altijd betrekking op cultuurhistorische waarden of archeologische overblijfselen maar kunnen ook veroorzaakt zijn door agrarische activiteiten. In bossen kunnen in het geheel geen sporen worden ontdekt. Sporen of patronen met een duidelijke structuur die zich uitstrekken over een groot gebied zoals bijvoorbeeld voormalige akkerpatronen, leveren bij de foto-interpretatie weinig problemen op. Deze sporen vormen een uitgangspunt voor verder onderzoek. Sporen die op luchtfoto's worden aangetroffen moeten in het veld gecontroleerd en vergeleken worden met overige onderzoeksresultaten.

6.3 Kanttekeningen bij de toegepaste remote sensing technieken

6.3.1 Fotografie

Zoals uit de toepassingsmogelijkheden, die zijn beschreven in par. 6.2, kan worden geconcludeerd, bevatten false colourfoto's aanzienlijk meer informatie dan panchromatische foto's. Met name wat betreft de gewasherkenning bieden kleurenopnamen grote voordelen ten opzichte van panchromatische opnamen. De beschikbaarheid van panchromatische foto's van de Topografische Dienst van heel Nederland, die met een herhalingsstijd van drie jaar worden opgenomen, maken deze foto's wel tot een goedkoop alternatief. Echter, omdat deze foto's primair zijn gemaakt voor topografische doeleinden, behoeven deze niet op een tijdstip te zijn gemaakt waarop deze foto's maximale informatie verschaffen ten aanzien van landbouwkundige kenmerken.

6.3.2 Scanningtechnieken

Met de in dit onderzoek toegepaste vliegtuigscanner worden reflectie- en warmtebeelden verkregen. Via de temperatuur van het gewas wordt kwantitatieve informatie verkregen over de verdamping van het gewas en daarmee over de vochtvoorziening van het gewas. Warmtebeelden van satellieten hebben een te gering detail. De Landsat-TM satelliet levert de beste beelden bestaande uit pixels met een grondoppervlak van 120 bij 120 m (dit geldt voor de thermische band, de pixels van de multispectrale banden zijn 30 bij 30 m). Het opnametijdstip van ongeveer 10.00 uur s'ochtends is echter niet geschikt voor de kartering van verschillen in gewasverdamping. Een Landsat-TM beeld verschaft ook reflectiewaarden in het middeninfrarood. Deze zogenaamde waterabsorptiebanden zijn gerelateerd aan de bladvochtvoorraad. Gebleken is dat dergelijke reflectieparameters echter geen nauwkeurige schatting geven van de vochttoestand van het gewas (Droesen, 1989).

Voor het afleiden van specifieke landbouwkundige en vegetatiekundige gegevens uit remote sensing beelden zijn specifieke opname omstandigheden vereist. Bruikbare beelden worden alleen verkregen bij een combinatie van de gewenste veldsituatie en gunstige weersomstandigheden op het opnametijdstip. Dit vergt een flexibel opnamesysteem, zoals vliegtuig remote sensing is.

7 KOSTEN-BATEN-ANALYSE

Een nauwkeurige kosten-baten analyse is met de huidige inzichten nauwelijks mogelijk. Met name de bepaling van de baten bij toepassing van remote sensing is moeilijk. Voor een deel bestaan de baten uit verbetering van de kwaliteit, die zich nauwelijks laat kwantificeren. Gebaseerd op de ervaringen in dit onderzoek is er wel enig inzicht verkregen in de mogelijkheden om te besparen op de huidige werkwijze indien remote sensing opnamen beschikbaar zijn. In dit hoofdstuk wordt daar nader op ingegaan.

De kosten per hectare die toepassing van remote sensing technieken met zich meebrengen, zijn sterk afhankelijk van de omvang van het landinrichtingsproject. Daarom is in deze analyse uitgegaan van een landinrichtingsproject van een gemiddelde omvang in een zandgebied. Hiervoor is 5000 hectare genomen. Gebaseerd op ervaringen in Ulvenhout-Galder zijn de opnamekosten geschat voor de diverse remote sensing technieken. Deze staan in tabel 6.

Tabel 6 Overzicht kosten van remote sensing opnamen (in guldens per hectare)

Remote sensing techniek	Opnamekosten
Luchtfotografie	0,02 - 0,05
False colour luchtfotografie	1 - 2
Vliegtuigscanner	5 - 10*
Satellietscanner	0,1 - 1**

*De opnamekosten van 1 vliegtuigscannervlucht voor 1 project bedragen ca. 10 gulden per hectare. Bij combinatie van projecten zijn de opnamekosten naar schatting met een faktor 2 terug te brengen. De minimale opnamekosten bedragen altijd ca. 5 gulden per hectare.

**Voor grote projecten of combinaties van meerdere projecten waarvoor maar 1 satellietbeeld aangeschaft dient te worden, bedragen de kosten een dubbelteje per hectare.

In hoofdstuk 6 is ingegaan op de toepassingsvelden waarvoor remote sensing perspectieven biedt. Alvorens in te gaan op de te berekenen besparing wordt per toepassingsveld de remote sensing inbreng toegelicht. In tabel 7 is per kartering aangegeven welke remote sensing opnamen gebruikt zijn en welke afgeleide produkten in enkele gevallen gemaakt zijn.

In tabel 8 wordt per kartering aangegeven welke normbedragen daarvoor bij het opstellen van de begroting van de voorbereidingskosten van landinrichtingsprojecten door de Landinrichtingsdienst worden gehanteerd (prijsspeil 1988). Vervolgens is aangegeven welke remote sensing opnamen en/of produkten een besparing opleveren uitgedrukt in guldens per hectare.

Tabel 7 Overzicht per kartering van de gebruikte remote sensing opnamen en producten en de verwerkingskosten in guldens per hectare.

Kartering	R.S.opnamen	R.S. producten	Verwerkingskosten
Bodemkartering	false colour foto's		p.m.
	vliegtuigscanneropnamen	warmtebeeld verdampingsbeeld	0,50 5,00
Grondgebruik	false colour foto's	visuele interpretatie	1,00
	vliegtuig beelden	autom. klassifikatie	2,00
	satelliet beelden	monotemp. klass.	0,50
		multitemp. klass.	1,00
Terreinkenmerken	false colour foto's	visuele interpretatie	p.m.
Begroeiingskarteringen	false colour foto's	visuele interpretatie	p.m.

Zoals reeds is aangegeven moeten deze resultaten slechts worden beschouwd als een indicatie voor de te bereiken besparingen. Voor de kartering van het grondgebruik, terreinkenmerken en begroeiing is de besparing beperkt, daar te allen tijde veldwerk noodzakelijk is. De te bereiken besparingen zijn voor deze karteringen dan ook niet nader gespecificeerd. In de tabel is tevens aangegeven welke kosten aan de opname en verwerking van remote sensing beelden zijn verbonden.

Tabel 8 Normbedrag per kartering en het aandeel voor het veldwerk in guldens per hectare en de geschatte besparing in guldens per hectare door toepassing van remote sensing, en de totale kosten verbonden aan opnamen en verwerking van remote sensing beelden.

Toepassing	Normbedrag	Normbedrag veldwerk	benodigde rs opnamen	Geschatte besparing	opname en verwerkingskosten
Bodemkartering	70	35	fc foto's + vliegtuigscanner opnamen	3,5	10,0-15,0
			fc foto's voorjaar + zomer	2,0	3,0- 5,0
Grondgebruik	7	3,5	fc foto's	p.m.	2,0- 3,0
Terrein-kenmerken	18	8	fc foto's	p.m.	2,0- 3,0
Begroeiingskartering	20	14	fc foto's	p.m.	2,0- 3,0

Uit tabel 8 kan worden geconcludeerd dat scanningtechnieken vanuit vliegtuigen niet op een kosteneffektieve wijze kunnen worden toegepast. De kosten per hectare liggen in dit geval aanzienlijk hoger dan de te bereiken besparingen. Voor satellietopnamen zijn de opnamekosten relatief laag (zie tabel 6) gunstiger. De kosten zullen in dit geval dan ook geen wezenlijke belemmering zijn. Toepassing in de praktijk is meer afhankelijk van de technische mogelijkheden van satellietopnamen.

De kosten per hectare voor false colour foto's zijn beperkt. Indien 2 opnamen nodig zijn in het groeiseizoen worden de kosten niet volledig gekompenseerd door de baten die worden verkregen bij de bodemkartering. Daar staat tegenover dat een kwaliteitsverbetering wordt bereikt en dat de false colour foto's van dienst kunnen zijn bij de andere karteringen. De te bereiken besparingen en de te bereiken kwaliteitsverbetering bij deze karteringen is echter moeilijk te schatten. Indien de false colour foto's worden toegepast bij de diverse karteringen moet het mogelijk zijn false colour fotografie op een kosteneffektieve wijze toe te passen. Daarnaast dient men in ogenschouw te nemen dat naast de kostenbesparing een wezenlijke kwaliteitsverbetering kan worden verkregen.

De ontwikkelingen ten aanzien van toepassingsmogelijkheden van remote sensing dienen tegen de achtergrond van een aantal konstateringen te worden gezien. In het algemeen geldt, dat voor landinrichtingsprojecten een inventarisatiemethode met een grote betrouwbaarheid en een hoge nauwkeurigheid van belang is. Verder treedt in de landinrichtingspraktijk een verschuiving van analoge naar digitale gegevensverwerking op en bestaat er in de voorbereidingsfase een tendens naar minder gedetailleerde karteringen. Bovendien is het streven verschillende inventarisaties geïntegreerd uit te voeren. In het volgende zal het effect van deze ontwikkelingen op de toepassingsmogelijkheden van remote sensing worden geschetst.

Remote sensing opnamen in het reflektieve en thermische golflengtegebied verschaffen informatie over het grondgebruik en de gewasverdamping. Bij een aantal inventarisaties voor landinrichting kan deze informatie worden benut. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de toepassingsmogelijkheden van remote sensing. Momenteel zijn met name false colourfoto's in dit opzicht van belang. Gesteld kan worden dat de informatie afgeleid uit een digitaal reflektiebeeld niet groter is dan de informatie afgeleid uit een luchtfoto die de overeenkomstige golflengtegebieden weergeeft. De ontwikkeling naar meer gedetailleerde digitale beelden levert dan ook op den duur hoogstens gelijkwaardige produkten op. De thermische en midden infrarood banden van digitale beelden verschaffen wel aanvullende informatie, die tot een verbetering van het remote sensing produkt kan leiden.

Tot op heden zijn beperkingen in het gebruik van digitale beelden vooral het gevolg van de te geringe geometrische resolutie en de hoge opnamekosten. Het digitaal verwerven van gegevens sluit echter goed aan bij de algemene tendens naar digitale gegevensverwerking, bijvoorbeeld in een geografisch informatiesysteem. Het gebruik van digitale beelden wordt aantrekkelijker door nieuwe betere scanners zoals de CAESAR: een Nederlandse scanner met zeer goede geometrische en radiometrische eigenschappen.

De mogelijkheden van satelliet remote sensing zijn met de komst van Landsat-TM en SPOT aanzienlijk toegenomen. Zo wordt momenteel een projekt uitgevoerd, gericht op de kartering van het grondgebruik van heel Nederland met behulp van remote sensing. Deze gegevens zijn bruikbaar op een schaal van 1:50 000. Het ligt in de bedoeling dat deze database met een frequentie van enkele jaren wordt geaktualiseerd. Voor landinrichtingsprojecten is deze informatie nog te globaal. Wel kan deze informatie in de toekomst worden benut om veranderingen in het grondgebruik vast te stellen.

Voor een operationele toepassing van remote sensing dient de nodige kennis aanwezig te zijn bij de gebruikers. Omdat deze beelden een weergave zijn van zowel de landbouwkundige, de bodemkundige, de hydrologische en de vegetatiekundige toestand dient bij de interpretatie kennis op genoemde vakgebieden aanwezig te zijn. Wanneer de karteringen integraal plaatsvinden wordt de vereiste kennis samen gebracht, hetgeen een stimulans voor het gebruik van remote sensing kan betekenen.

De betrouwbaarheid van remote sensing in het reflektieve en thermische venster blijft beperkt doordat goede weersomstandigheden een vereiste zijn voor het maken van opnamen. Radar is een betrouwbaarder remote sensing systeem, omdat ook met bewolkt weer opnamen kunnen worden gemaakt. De object-sensor interactie in het microgolfgebied is echter nog volop in studie. Naar verwachting zal het nog enige jaren duren voor operationele radartoepassingen beschikbaar zijn.

LITERATUUR

- Attema, E.P.W., P.J. van Kats and L. Krul, 1982. A radar signature model for partially coherent scattering from irregular surfaces. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-20: 76-84.
- Brest, C.L. and S.N. Goward, 1987. Deriving surfase albedo measurements from narrow band satellite data. Int. J. Remote Sensing, Vol. 8, No. 3: 315-367.
- Datema, R.R., 1988. De Weerijds. Een archeologische kartering, inventarisatie en waardering. R.A.A.P. rapport 13, Amsterdam.
- Droesen, W.J., A.M. van Lieshout, 1988. Toepassingsmogelijkheden van remote sensing in de voorbereidingsfase van een landinrichtingsproject. ICW nota 1832.
- Droesen, W.J., 1989. Detektie van bodemvocht door middel van reflectie- en stralingstemperatuurmetingen in een zandgebied. ICW nota, Wageningen.
- Hulsbos, M.D., 1987. Ulvenhout-Galder hydrologisch en chemisch bezien. Nota 87-17: Hul, L.D. Provincie Brabant, afdeling onderzoek.
- Kok, A., 1984. Studie naar de effecten van grondverbetering in de veenkoloniën met remote sensing. ICW nota 1532.
- Kraak, T., 1987. Een vegetatiekartering van het landinrichtingsproject Ulvenhout-Galder. Centrum voor Agrobiologisch onderzoek, Karteringsverslag nr. 229, Wageningen.
- Landinrichtingsdienst, 1987. De Landinrichtingswet, een samenvatting van de hoofdzaken, Utrecht.
- Loo, H. van het, A.A. De Veer, 1979. De bruikbaarheid van false colour luchtfoto's voor landschapsinventarisatie. Stiboka rapport 1474, Wageningen.
- Janssen, L.L.F., M.N. Jaarsma and H.T.M. van der Linden, 1989. Topographic data for land cover classification with remote sensing; post classification using object boundary information (aangeboden aan Photogrammetric Engineering and Remote Sensing).
- Projectteam Remote Sensing Studieproject Oost-Gelderland, 1985. Onderzoek naar de mogelijkheden van operationele toepassing van remote sensing technieken in de landbouw en het natuurbeheer. ICW Rapport 17, Wageningen.

Slofstra, J., H.H. van Regteren en F. Theuws, 1985. Het Kempenprojekt 2. Een regionaal-archeologisch onderzoek in uitvoering, Waalre.

Stichting voor Bodemkartering, 1983. Bodemkaart van Nederland. Schaal 1:50 000, Blad 50 West, Breda, 2e Uitg., Wageningen.

Stolp, J., M.A.M. Vissers, D. Uenk and B.A.M. Bouman, 1988. Agriscatt 87 Ground Data Collection Flevoland (NL); Final Report. Soil Survey Institute, Report no. 2027, Wageningen.

Thunnissen, H.A.M., 1984. Hydrologisch onderzoek. Toepassing van hydrologische modellen en remote sensing, ICW nota 1542, Wageningen.

Werkgroep HELP-Tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie, Mededelingen Landinrichtingsdienst 176, Utrecht.

BIJLAGE 1 SAMENSTELLING VAN HET PROJEKTTEAM**Deelnemende instellingen:**

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW)
Landinrichtingsdienst (LD)
Stichting voor Bodemkartering (StiBoka)

Samenstelling projektteam:

A. Sleeking	- Voorzitter tot januari 1988 (LD) Centrale Direktie afd. Grondwaterbeheer
P. Kusse	- Voorzitter vanaf januari 1988 (LD) Centrale Direktie afd. Grondwaterbeheer
J. Bouwmans	- (LD) Centrale Direktie afd. Grondwaterbeheer
W.J. Drogen	- (ICW)
G.J. de Fijter	- (LD) Noord-Brabant afd. Onderzoek
M. Hulsbos	- (LD) Noord-Brabant afd. Onderzoek
M.N. Jaarsma	- (ICW)
W. van der Meer	- (LD) Noord-Brabant afd. Onderzoek
G.J.A. Nieuwenhuis	- (ICW)
H.A.M. Thunnissen	- (Stiboka)
H.A.L.J. Voet	- (LD) Centrale Direktie afd. Landinrichtingsonderzoek

BIJLAGE 2 OVERZICHT VAN DE IN HET KADER VAN HET STUDIEPROJEKT
VERSCHEENEN PUBLIKATIES

ICW-nota's:

Droesen, W.J. en A.M. van Lieshout, 1988. Toepassingsmogelijkheden van remote sensing in de voorbereidingsfase van een land-inrichtingsproject. Nota ICW 1832.

Hagedoorn, F.P., 1988. Detektie van bodemvocht met X-band SLAR opnamen in een zandgebied. Nota ICW 1942.

Staring Centrum-rapporten en interne mededelingen:

Thunnissen, H.A.M., 1989. Toepassingsmogelijkheden van remote sensing bij de kartering van bodemkundige en hydrologische kenmerken in een zandgebied. Staring Centrum-rapport in voorbereiding.

Droesen, W.J., 1989. Detektie van Bodemvocht door middel van reflectie- en stralingstemperatuurmetingen in Ulvenhout-Galder. Staring Centrum-rapport in voorbereiding.

Droesen, W.J., 1989. Vergelijking van de regionale gewasverdamping met een Landsat-TM beeld. Staring Centrum interne mededeling 4 september 1989. Wageningen.

Jaarsma, M.N. en W.J. Droesen, 1989. Grondgebruiks- en vegetatiekartering met behulp van remote sensing in Ulvenhout-Galder. Staring Centrum-rapport in voorbereiding.

BIJLAGE 3 VERKLARENDE WOORDENLIJST

ARC/INFO	: Een geografisch informatie systeem.
Albedo	: De fraktie van de inkomende globale straling die door het aardoppervlak wordt teruggekaatst.
False colour foto	: Luchtfoto waarbij de opvallende blauwe straling werd tegengehouden door een geelfilter en de groene, rode en nabij-infrarode straling als respectievelijk blauw, groen en rood wordt weergegeven.
Landsat-TM	: Landsat Thematic Mapper is een Amerikaanse satelliet met een multispectrale scanner.
Multi spectrale scanning:	Opname waarbij de de ontvangen elektro-magnetische straling wordt gescheiden in een aantal golflengtebanden.
Oblique foto	: Opname waarbij de hoofdas van de kamera een bepaalde hoek maakt met het aardoppervlak.
Pixel	: Afgeleid van Picture Element, beeldelement waarin het gemiddeld signaal afkomstig van een bepaald grondoppervlak is vastgelegd.
Reflectiebeeld	: De fraktie van de inkomende globale straling die door aardoppervlak wordt teruggekaatst in een zeker golflengte-trajekt.
Remote sensing	: Het toepassen van luchtopnametechnieken bij het observeren van verschijnselen aan het aardoppervlak. Het handelt hier om non-destructieve waarnemingen aan objecten en systemen.
RADAR	: RADio Detection And Ranging. Actieve remote sensing techniek in het micro-golf trajekt.
SLAR	: Side Looking Airborne Radar.
SPOT	: Een franse satelliet, Satellite Probatoire d'Observation de la Terre.
Warmtebeelden	: Opname, gemaakt met een Infrarood Line Scanner, waarin de pixelwaarden overeenkomen met een bepaalde temperatuur.

**BIJLAGE 4 OVERZICHT VAN DE BENODIGDE BASISINFORMATIE VOOR
LANDINRICHTINGSPROJECTEN**

Volledig overzicht basisinformatie	voorkomen in in landinrich- tingsprojecten %	leverancier	digitale oplevering
1 topografie (fotogr.krt/ terreinkrt)	100	top.dienst/cult.mij	+
2 luchtfoto's	75	top.dienst	-
3 kadastraal (ligging + eigendom)	75	kadaster	-
4 bedrijfsgegevens	75?	CBS/ICW	+
5 cultuurtoestand	75?	cult.mij/ICW	+
6 grondgebruikers	75?	ICW	+
7 waterhuish. toestand bemalingsgrenzen sloten + stroom- richting plaats kunstwerken	100	afd.onderz./cult.mij afd. CTA	ged.
8 grondwaterstanden	100	TNO/Stiboka/onderz.	+
9 diep g.w.standen		waterschap	-
10 opp.waterstanden/tij- beweging	100	afd.onderz./afd. CTA/ waterschap	ged.
11 afvoermetingen + riooloverstorten + effluent rioolwater- zuivering + industr. lozingen		afd.onderz./afd. CTA	ged.
12 sloot- en greppel- inhouden	75	cult.mij	-
13 tech.geg. kunstwerken	100	cult.mij/afd. CTA/ waterschap	+
14 tech.geg. waterlopen	100	cult.mij/afd. CTA/ waterschap	+
15 wegen (globale opn.)	100	afd.oz/CTA/cult.mij	-
16 tech.geg. wegen	100	cult.mij/CTA	-
17 verkeersk.geg. wegen	<75	afd. W+V	-
18 nutsleidingen		afd.oz/CTA/cult.mij	
19 boorstaten	100	Stiboka	+
20 bodemgrenzen	100	Stiboka	+
21 GT-grenzen	100	Stiboka	+
22 hoogtecijfers	100	cult.mij	-
23 begroeiingsclass.	<75	cult.mij/afd.oz/SBB	-
24 vegetatieopn.	<75	AA/CABO/part.buro	-
25 faunageg.		SBB	ged.

Volledig overzicht basisinformatie	voorkomen in in landinrich- tingsprojecten %	leverancier	digitale oplevering
26 recreatie		NBOR/afd. onderz.	-
27 milieu		div.	-
28 cult.historie		SBB/NCW/Stiboka/afd.oz	-
29 archeologie		ROB/afd. onderz.	-
30 geologie		RGD	-
31 klimaat		KNMI	
32 sociologie		afd. SRO	ged.
33 soc.econom.geg.	100	LEI	+
34 standaardeenheids- prijzen	100	afd. Cultuurtechn.	+
35 waterstaat			

BIJLAGE 5 BESCHIKBARE OPNAMEN EN VELDWAARNEMINGEN

Datum	Techniek	Toelichting
27-05 1986	MSS	SPOT-satelliet opname aan het begin van het groeiseizoen.
03-08 1986	MSS/IRLS	Satelliet opname van de Landsat Thematic Mapper.
14-08 1986	FC MSS/IRLS	De opnameschaal van de foto's bedraagt 1:13 200 en 1:26 400. De opnamehoogten van de scanner-beelden zijn 2000 m en 4000 m. De opnamen zijn gemaakt na een droge, warme en zonnige periode. De opnameomstandigheden waren niet optimaal, heig en bewolking. De opnamen zijn desondanks bruikbaar.
23-09 1986	panchromatisch	Een panchromatische opname van de SPOT-satelliet.
28-09 1986	MSS	Een opname aan het eind van het groeiseizoen van de SPOT-satelliet. Er is enige hogere sluierbewolking op het beeld aanwezig.
02-04 1987	FC MSS/IRLS	Opnameschaal van de foto's is 1:13 200, van de scannerbeelden is de opnamehoogte 2000 m. De omstandigheden waren slecht. De foto's zijn grijs van tint en weinig kontrastrijk door de sluierbewolking, maar wel bruikbaar. Er is door binnendrijvende bewolking slechts 1 track op 2000 m beschikbaar, deze beslaat het gehele veldwerkgebied.
03-07 1987	FC	Onder goede weersomstandigheden zijn foto's gemaakt op 3 verschillende schalen, te weten op 1:3300 (alleen het proefgebied), 1:13 200 en 1:26 400.
06-04 1988	FC MSS/IRLS X-band RADAR	Onder goede weersomstandigheden zijn foto's gemaakt op schaal 1:13 200. Scannerbeelden zijn gemaakt op 2000 m hoogte. RADAR opnamen etc.
07-04 1988	thermische video	Warmtebeelden zijn gemaakt op 2000 m 's morgens tussen 6.00 en 7.00 uur.

VERRICHT VELDWERK:

- 14-08 1986 Stralingstemperatuur is gemeten voor de verdampingskartering. Inventarisatie van het grondgebruik en beregende percelen.
- 02-04 1987 Bemonstering van gras- en bouwlandpercelen om de vochtgehalten vast te leggen. Meten van stralingstemperaturen.
- 03-07 1987 Inventarisatie van het grondgebruik.
- 06-04 1988 Stralingstemperatuurs- en reflectie metingen zijn verricht. Bemonstering van het volumetrisch bodemvocht heeft plaatsgevonden. Er zijn indringsweerstand bepaald. Oppervlakte ruwheid van enkele percelen is bepaald.

SPECTRALE BANDEN:

Type scanner	Bandnummer	Resolutie
Daedalus	5 0,55- 0,60	vlieghoogte 2000 m 5 * 5 m
	6 0,60- 0,65	
	7 0,65- 0,69	
	9 0,80- 0,89	vlieghoogte 4000 m 10 * 10 m
	12 8,50-13,50	
SPOT- MSS	1 0,50- 0,59	20 * 20 m
	2 0,62- 0,68	
	3 0,79- 0,89	
SPOT-panchromatisch		10 * 10 m
LANDSAT-TM	1 0,45- 0,52	30 * 30 m
	2 0,52- 0,60	
	3 0,63- 0,69	
	4 0,70- 0,90	
	5 1,55- 1,75	
	7 2,08- 2,35	