

CARTOSCAN

AEROSPACE SURVEY AND REMOTE SENSING

**MULTISPECTRALE LUCHTFOTOGRAFIE
VAN DE
AKKERBOUWPROEFBOERDERIJ VREDEPEEL**

**MULTISPECTRALE LUCHTFOTOGRAFIE
VAN DE
AKKERBOUWPROEFBOERDERIJ VREDEPEEL**

Project uitgevoerd door CARTOSCAN

Dr Jos G.M. Bakker & drs Robert J. de Boer

januari 1991

**Opdrachtgever: Stichting Proefstation voor de akkerbouw
en de groenteteelt in de volle grond (PAGV), Lelystad;
opdracht kenmerk JB/ws/887 de dato 14 juni 1990.**

INHOUD

Samenvatting/summary	4
Kerndata	6
1 Inleiding	7
2 Luchtfotografie	9
3 IJking van de luchtfoto's	11
3.1 Analooq-digitaal conversie	11
3.2 Conversie filmdensiteit-stralingsenergie	11
3.3 Conversie stralingsenergie-reflectiewaarden	11
4 Veldwaarnemingen	14
4.1 Bodemtypes	14
4.2 Gewassen	15
4.3 Bedrijfssystemen	16
5 Beeldanalyse	19
5.1 Spectrale signatuur	19
5.1.1 Kwalitatieve interpretatie	19
5.1.2 Kwantitatieve interpretatie	24
5.2 Leaf area index (LAI)	34
5.2.1 Resultaat kwalitatieve analyse	35
5.2.2 Resultaat kwantitatieve analyse	38
5.3 Klassificatie	40
Conclusies	43
Aanbevelingen voor verder onderzoek	45
Literatuur	46

SAMENVATTING

Op de akkerbouwproefboerderij Vredepeel, in de omgeving van Venray, wordt door het PAGV over een reeks van jaren een Bedrijfs Systemen Onderzoek Vredepeel (BSO) uitgevoerd, teneinde de effecten van vier verschillende bedrijfssystemen te onderzoeken. De bedrijfssystemen variëren qua gewasrotatie, bemesting gewasbescherming etc. In het onderhavige multispectrale fotografie (MSP) project wordt, aan de hand van luchtfoto-opnamen van de proefboerderij getoond, hoe beeldverwerking en daaraan gerelateerde statistische analyses agrarisch onderzoek kunnen ondersteunen. Daartoe werden zwart/wit-rood en zwart/wit-infrarood luchtfoto-beelden vervaardigd en vervolgens gedigitaliseerd. De zo aangemaakte bestanden werden in een geografisch informatie systeem (ILWIS) ingevoerd.

De rode en infrarode digitale beeldbestanden werden radiometrisch gecalibreerd en omgerekend tot reflectiepercentages. Vervolgens werd een variantieanalyse uitgevoerd om de invloed van verschillende bedrijfssystemen op de spectrale signatuur van aardappelen en suikerbieten vast te stellen. Voor de onderscheiden percelen werd met behulp van het CLAIR model een schatting van de Leaf Area Index (LAI) gemaakt. De suikerbiet- en aardappelpercelen werden volgens de maximum likelihood methode (MLHD) geklassificeerd. Op grond van de resultaten van dit MSP project werden suggesties voor verder onderzoek geformuleerd.

SUMMARY

At the Vredepeel Experimental Farm, in the dutch province of Limburg, an Agricultural Management Systems Experiment (BSO) is being carried out over a number of years, by PAGV, aiming at the assessment of the impacts of several management techniques on the productivity of potato and sugarbeet tillage. The present multispectral photography (MSP) project, while based on an airborne survey of the same farm, has been carried out, in order to demonstrate image processing and subsequent statistical analyses in support of agricultural research. For the purpose, red and near infrared black-and-white aerial photographs at RPS 8100

have been digitized, using a Joice-Loebl Chromoscan 3. The resulting files served as an input for the ILWIS geographical information system.

The red and infrared digital image files were radiometrically calibrated and converted to reflection percentages. Subsequently, the images have been submitted to variance analysis, in order to find out if different management techniques did effect the spectral signature of potatoes and sugar beets, and how these were effected. A Leaf Area Index (LAI) of individual fields has been estimated on the basis of the CLAIR model. A maximum likelihood (MLHD) classification of sugar beet and potato fields has been carried out. Suggestions for further research have been made on the basis of the results of the present MSP project.

KERNDATA**1 Object**

Proefboerderij Vredepeel
Vredeweg 1, 5816 AJ VREDEPEEL

2 Eigendom/beheer

Eigendom: Stichting Proefboerderij Vredepeel
Bedrijfsleider: C.M. Huijs

3 Bestuurlijke eenheden

Provincie: Limburg
Gemeente: Venray

4 Kartografie

Kaartblad: 52A, Milheeze
Coördinaten in hele kilometers (x,y): 187,395

5 Vluchtdata

Vluchtuitvoering: KLM Aerocarto, 's-Gravenhage
Datum: 30 juli 1990
Tijdstip: ca 09.30 uur GMT
Zonshoogte: ca 48°
Vlieghoogte ca 2460 m
Vliegrichting: 175°

6 Luchtfotografie

Camera: Wild RC 10 #2614
Objectief: 30/4NAT 17003
Cameraconstante: 303.76

Films/filters: Kodak 2402 + W29 (Rd)
Kodak 2424 + 840E (IR)
Kodak 2443 + 525 (CIR)

Schaalgetal: ca 8100
Voorwaartse overlap: ca 80%

7 Sensitometrie

Referentiepanelen: BCRS; resp 3%, 25% en 60% reflectie
Densitometer: Joice-Loebl/Chromoscan 3
Lichtbron: 100μ diam.

8 Identificatie van relevant fotomateriaal

Film #1441, foto #5245 (2402)
Film #1442, foto #5274 (2424)
Film #1443, foto #5304 (2443)

1 INLEIDING

Vredepeel.

De proefboerderij Vredepeel beslaat in zijn geheel ruim 50 ha. Daartoe behoren drie, in een min of meer vierkant blok aaneengesloten gelegen kavels van elk 13 ha. Zij liggen aan de Vredeweg tussen Rips en Vredepeel, langs de oostzijde van het Peelkanaal en worden zuidelijk begrensd door de provinciale weg N277, plaatselijk Ripseweg geheten. Deze drie kavels, in het bijzonder die percelen welke behoren tot het reeds enkele jaren lopend bedrijfssysteemonderzoek Vredepeel (BSO), vormen het object van het onderhavige luchtfotoproject.

In agrarisch onderzoek kunnen, door middel van multispectrale luchtfotografie (MSP), op non-destructieve wijze gewasparameters geschat worden. Dit project demonstreert de toepassing van enkele remote-sensing technieken. Daartoe zijn een roodbeeld en een infrarood beeld geanalyseerd. Als thema werd de invloed van vier verschillende bedrijfssystemen op suikerbieten en op aardappelen bestudeerd.

Het bedrijfssysteemonderzoek Vredepeel (BSO) neemt op de boerderij een belangrijke plaats in. Het beslaat ruim 20ha, verdeeld over de drie kavels. In het BSO worden de effecten van vier verschillende bedrijfssystemen op de productie van o.a. aardappelen en suikerbieten onderzocht. Het BSO wordt geleid door het PAGV, dat de voor de retrospectieve interpretatie van de luchtfoto's benodigde informatie met betrekking tot de bedrijfsvoering en de achtergronden en effecten daarvan op de gewassen verschaft. Dank daarvoor aan ir. J. Boerma, ir. Y. Hofmeester, ing. M. Kronen en C.M. Huijs. Gezien de algemene strekking van de opdracht zijn er evenwel, afgezien van een éénmalige kwalitatieve grondwaarneming, geen veldparameters gemeten.

De aan de Vredeweg gelegen kavels strekken zich in westelijke richting uit tot aan het Peelkanaal. Zij zijn vanaf de Ripseweg genummerd 1 t/m 3. De dwars op de kavelrichting verlopende percelen worden met een twee-, danwel driecijferige code aangeduid. Het eerste cijfer daarvan heeft betrekking op de kavel, het tweede en eventueel, door een punt daarvan gescheiden, derde cijfer duidt het perceel aan (zie Fig. 1, Percelering).

PERCELERING (PAGV)

- 35.2 aardappelen
- 19.2 suikerbieten
- 26.2 overige percelen

CARTOSCAN

erf	31				erf	11			
	31.1	31.2	31.3	31.4		11.1	11.2	11.3	11.4
31	32.1	32.2	33.1	33.2	21	22.1	22.2	23.1	23.2
	34.1	34.2	35.1	35.2		24.1	24.2	25.1	25.2
	36.1	36.2	37.1	37.2		26.1	26.2	27.1	27.2
	38.1	38.2	39.1	39.2		28.1	28.2	29.1	29.2
32	32.1	32.2	33.1	33.2	22	22.1	22.2	23.1	23.2
	34.1	34.2	35.1	35.2		24.1	24.2	25.1	25.2
	36.1	36.2	37.1	37.2		26.1	26.2	27.1	27.2
	38.1	38.2	39.1	39.2		28.1	28.2	29.1	29.2
33	32.1	32.2	33.1	33.2	23	22.1	22.2	23.1	23.2
	34.1	34.2	35.1	35.2		24.1	24.2	25.1	25.2
	36.1	36.2	37.1	37.2		26.1	26.2	27.1	27.2
	38.1	38.2	39.1	39.2		28.1	28.2	29.1	29.2
34	32.1	32.2	33.1	33.2	24	22.1	22.2	23.1	23.2
	34.1	34.2	35.1	35.2		24.1	24.2	25.1	25.2
	36.1	36.2	37.1	37.2		26.1	26.2	27.1	27.2
	38.1	38.2	39.1	39.2		28.1	28.2	29.1	29.2
35	32.1	32.2	33.1	33.2	25	22.1	22.2	23.1	23.2
	34.1	34.2	35.1	35.2		24.1	24.2	25.1	25.2
	36.1	36.2	37.1	37.2		26.1	26.2	27.1	27.2
	38.1	38.2	39.1	39.2		28.1	28.2	29.1	29.2
36	32.1	32.2	33.1	33.2	26	22.1	22.2	23.1	23.2
	34.1	34.2	35.1	35.2		24.1	24.2	25.1	25.2
	36.1	36.2	37.1	37.2		26.1	26.2	27.1	27.2
	38.1	38.2	39.1	39.2		28.1	28.2	29.1	29.2
37	32.1	32.2	33.1	33.2	27	22.1	22.2	23.1	23.2
	34.1	34.2	35.1	35.2		24.1	24.2	25.1	25.2
	36.1	36.2	37.1	37.2		26.1	26.2	27.1	27.2
	38.1	38.2	39.1	39.2		28.1	28.2	29.1	29.2
38	32.1	32.2	33.1	33.2	28	22.1	22.2	23.1	23.2
	34.1	34.2	35.1	35.2		24.1	24.2	25.1	25.2
	36.1	36.2	37.1	37.2		26.1	26.2	27.1	27.2
	38.1	38.2	39.1	39.2		28.1	28.2	29.1	29.2
39	32.1	32.2	33.1	33.2	29	22.1	22.2	23.1	23.2
	34.1	34.2	35.1	35.2		24.1	24.2	25.1	25.2
	36.1	36.2	37.1	37.2		26.1	26.2	27.1	27.2
	38.1	38.2	39.1	39.2		28.1	28.2	29.1	29.2

2 LUCHTFOTOGRAFIE.

Multispectrale fotografie ontleent zijn waarde aan het gebruik van afzonderlijke spectrale banden op een zodanige manier, dat de fotobeelden een zo gering mogelijke correlatie vertonen. In de literatuur bestaat er consensus over dat, indien men voor het waarnemen van een vegetatie voor een tweetal banden kiest, een rode en een nabij-infrarode band de voorkeur verdienen. Daarvoor werd ook nu gekozen.

In het onderhavige geval werd het rode beeld vervaardigd door een Kodak Plus-X Aerographic Film 2402 te kiezen, in combinatie met een W29 high-pass filter. Dit resulteert in een bandbreedte van ca 620 - 690 nm. Voor het nabij-infrarode beeld werd een Kodak Infrared Aerographic Film 2424, gecombineerd met een 840E high-pass filter gekozen. De daaruit resulterende bandbreedte loopt van ca 840 - 900 nm. Behalve deze zwart/wit beelden werden, met behulp van Kodak Aerochrome Infrared Film 2443, zogenaamde kleuren-infrarood beelden gemaakt. Deze lenen zich, vergeleken met de eerstgenoemde twee, minder goed voor digitale, kwantitatieve analyse. Voor kwalitatieve analyse voldoen zij echter uitstekend. De drie gevoelige lagen van kleuren-infrarood diapositief films, ook wel false colour films genoemd, zijn gevoelig voor respectievelijk groen, rood en nabij-infrarood licht.

De foto's op de drie filmtypen werden asynchroon gemaakt op 9" (23 cm) film. Het 30 cm-objectief was voorzien van een antivignetting filter, teneinde lichtafval te ondervangen. Bovendien werden schaalgetal (ca 8100) en interval van de foto's (ca 80%) zodanig gekozen, dat kwantitatieve analyses tot de centrale delen van de desbetreffende diapositieven beperkt konden blijven.

Ten behoeve van de kwantitatieve analyse van de zwart/wit fotobeelden waren ten tijde van de fotovlucht referentiepanelen in het terrein uitgelegd. De reflectie percentages van deze panelen bedragen bij benadering respectievelijk 3%, 25% en 60%.

Als meest geschikte termijn voor het vervaardigen van de luchtfoto's werd, op grond van de phaenologie der gewassen, de periode van 25 juni t/m 14 juli, met een

mogelijke uitloop tot 21 juli gekozen. Ongunstige weersomstandigheden maakten dit echter onmogelijk. In onderling overleg werd de fotovlucht tenslotte op 30 juli 1990 uitgevoerd.

3 IJ KING LUCHTFOTO'S

3.1 Analooq-digitaal conversie. (Stap 1)

De analoge luchtfotobeelden worden in de hier gevolgde procedure allereerst omgezet tot een digitaal bestand, waarbij de optische filmdensiteit vertaald wordt naar digitale waarden (DN). Zie Fig. 2. Daarvoor gebruikt men een densitometer waarin de desbetreffende luchtfoto en een bijbehorende densiteitswig worden gescanned. De meetopening van de densitometer werd in dit geval ingesteld op 100 μm . Bij fotoschaal 1 : 8100 leverde dit een pixelgrootte van 81x81 cm in het terrein op.

3.2 Conversie filmdensiteit-stralingsenergie. (Stap 2)

Via deze stap (zie Fig. 2) worden de verkregen densiteitswaarden (uitgedrukt in digitale waarden) omgezet naar de logarithme van de totale relatieve stralingsenergie (relatieve $\log Q$), die over een oppervlakte ter groote van de meetopening op de film valt. Daarvoor worden de DN-waarden tegen de corresponderende densiteitswigen uitgezet, wat een zogenaamde karakteristieke curve oplevert (DlogQ-curve; Fig. 3). Deze wordt het best beschreven met een vierdegraads polynoom (Clevers, 1986). De gekozen belichtingstijden en de ontwikkelingsprocedure van de film zijn dusdanig gekozen dat men in het lineaire bereik van de karakteristieke curve zit. Dit betekent dat er een lineair verband bestaat tussen de gemeten stralingsenergie en de reflectiepercentages van het objekt.

Aangezien tijdens de opnamen gebruik werd gemaakt van een objectief met lange brandpuntsafstand ($f = \text{ca } 30 \text{ cm}$) en van een antivignettingfilter, is er tijdens de berekeningen niet voor de lichtafval gecorrigeerd.

3.3 Conversie stralingsenergie-reflectiewaarden. (Stap 3)

Via het gedigitaliseerde en gecorrigeerde beeld (verkregen uit stappen 1 & 2) beschrijft een lineaire functie de relatie tussen de stralingsenergie en de

LIJING VAN DE
LUCHTFOTO'S

BEELDANALYSE

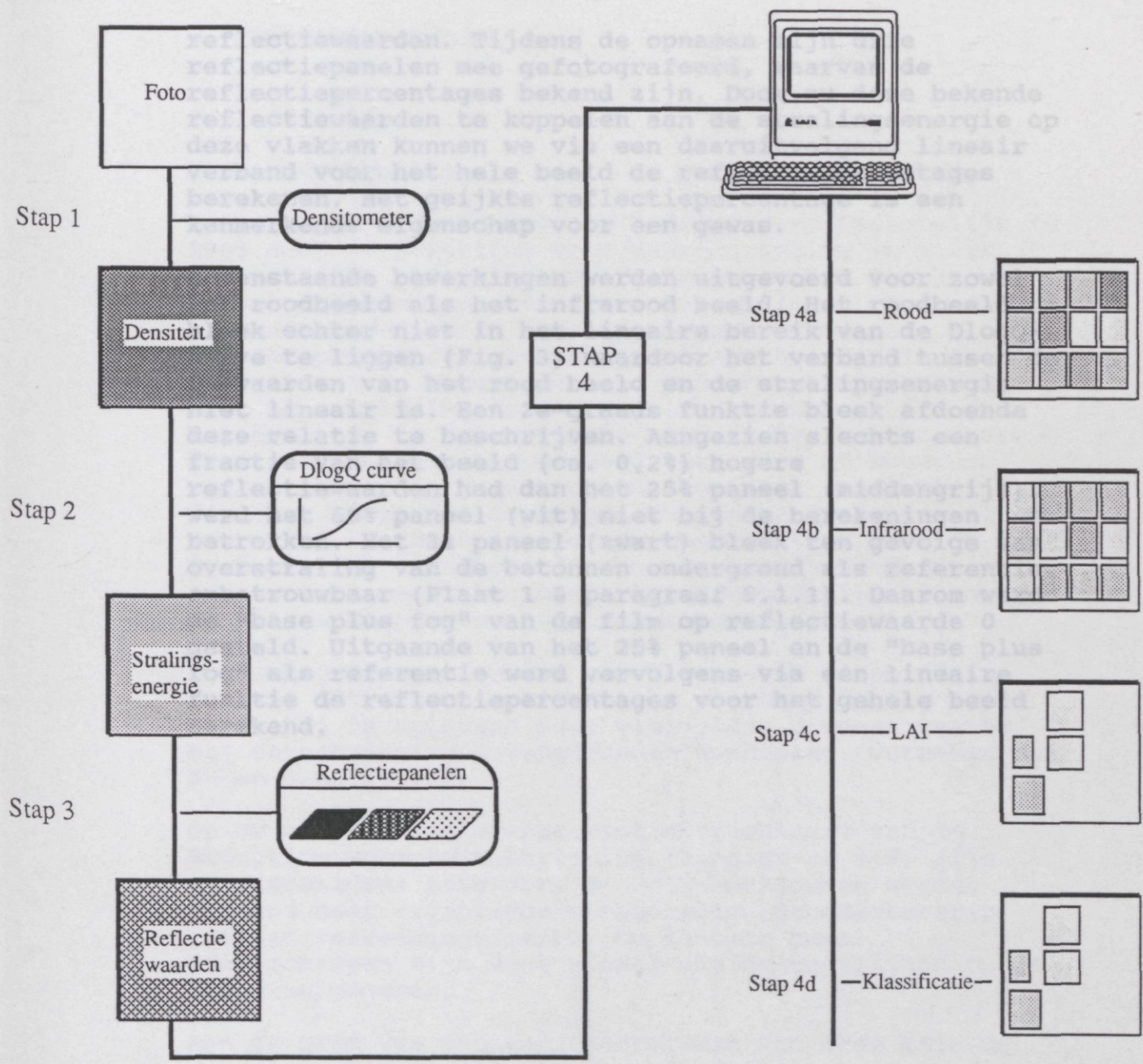


Fig. 2
Stroomdiagram dat de ijking van de multispectrale luchtfotografie weergeeft en de daaropvolgende beeldanalyse met als resultaat vier afgeleide beelden

reflectiewaarden. Tijdens de opnamen zijn drie reflectiepanelen mee gefotografeerd, waarvan de reflectiepercentages bekend zijn. Door nu deze bekende reflectiewaarden te koppelen aan de stralingsenergie op deze vlakken kunnen we via een daaruitvolgend lineair verband voor het hele beeld de reflectiepercentages berekenen. Het geijkte reflectiepercentage is een kenmerkende eigenschap voor een gewas.

Bovenstaande bewerkingen werden uitgevoerd voor zowel het roodbeeld als het infrarood beeld. Het roodbeeld bleek echter niet in het lineaire bereik van de DlogQ-curve te liggen (Fig. 3) waardoor het verband tussen de DN-waarden van het rood beeld en de stralingsenergie niet lineair is. Een 2e-graads funktie bleek afdoende deze relatie te beschrijven. Aangezien slechts een fractie van het beeld (ca. 0.2%) hogere reflectiewaarden had dan het 25% paneel (midden grijs), werd het 60% paneel (wit) niet bij de berekeningen betrokken. Het 3% paneel (zwart) bleek ten gevolge van overstraling van de betonnen ondergrond als referentie onbetrouwbaar (Plaat 1 & paragraaf 5.1.1). Daarom werd de "base plus fog" van de film op reflectiewaarde 0 gesteld. Uitgaande van het 25% paneel en de "base plus fog" als referentie werd vervolgens via een lineaire funktie de reflectiepercentages voor het gehele beeld berekend.

4 VELDWAARNEMINGEN

4.1 Bodemtypes.

Bodemontwikkeling.

De bodemgesteldheid van het bedrijf werd laatstelijk in 1969 door de Stichting voor Bodemkartering in kaart gebracht. De onderstaande opmerkingen zijn aan het desbetreffende rapport nummer 849 ontleend. Voor nadere bijzonderheden wordt naar dit rapport verwezen. Het oorspronkelijke bodemtype op het bedrijf is te rekenen tot de humuspodzolen. Mede tengevolge van de vóór de ontginning vrij onregelmatige topografie van het dekzand, is de verwerkte en derhalve bewortelbare laag zeer heterogeen van aard. De onder de bouwvoor veelal aanwezige humushoudende horizont (voornamelijk disperse humus uit de podzol-B-laag) is zeer wisselend van dikte. De zwak lemige onverwerkte laag, hetzij B of C, begint op variabele diepte. Bovendien wordt in een aan aantal, meest oostelijk gelegen percelen tussen 80 en 120 cm diepte een leemlaag aangetroffen.

De goed gehomogeniseerde bouwvoor is ca 20 cm dik en bestaat uit zwart, matig humeus, leemarm, matig fijn zand. Zij is ontstaan door veelvuldig ploegen van de bij de ontginning bovengehouden heideplag, vermengd met B- en C-materiaal.

Op de uit 1969 daterende profieltypenkaart van de Stichting voor Bodemkartering (Rapport nr 849) zijn onderscheiden: bouwvoor, B- en C-horizonten werden benoemd naar organische stofgehalte, grondwatertrap (Gt) en verwerkingsdiepte. De laatste twee eigenschappen zijn door middel van contourlijnen op de kaart aangegeven.

Aan de hand van genoemde bodemkaart van 1969 zijn de percelen globaal als volgt in te delen:

* Percelen suikerbiet.

Perceelnummers: 18.1 & 18.2.

Beschrijving: Gt klasse IV

Verwerkingsdiepte neemt naar het noorden toe tot 80 cm

Organische stof: Bouwvoor ca. 4%

Verwerkte laag ca. 3%

Perceelnummers: 19.1 & 19.2.

Beschrijving: Gt klasse IV (GHG 40-80 cm, GLG <120 cm)
 Verwerkingsdiepte < 40 cm
 Organische stof: Bouwvoor ca. 4%
 Verwerkte laag ca. 6%.

Perceelnummers: 28.1, 29.1 & 29.2.

Beschrijving: Sterk variabel binnen perceel
 Gt klasse IIb (GHG 20-50 cm, GLG <120 cm) in ZW-deel tot klasse IV in het NO-deel.
 Verwerkingsdiepte hoofdzakelijk tot 80 cm
 Organische stof: Bouwvoor ca. 4%
 Verwerkte laag ca. 3%.

* Percelen aardappel.

Perceelnummers: 24.1, 24.2, 25.1, 25.2, 34.1, 34.2, 35.1 & 35.2.

Beschrijving: Sterk homogeen
 Gt klasse VI (GHG 40-80 cm, GLG >120 cm)
 Verwerkingsdiepte 40-80 cm
 Organische stof: Bouwvoor ca. 4%
 Verwerkte laag ca. 3%.

4.2 Gewassen.

Het BSO wordt uitgevoerd op 32 percelen. Tabel I geeft een overzicht van hun situering. In het BSO zijn negen gewassoorten betrokken, waarvan er op de dag van de fotovlucht, 30 juli 1990, nog zeven op stam stonden te weten: aardappelen, suikerbieten, schorseneren, wintertarwe, mais, stamslabonen en waspeen. De percelen 16.1 (erwten) en 32.1 (graszaad) waren geoogst en gefreesd. De verdeling van de gewassen over de percelen worden in Tabel II weergegeven.

Er is sprake van verschillende rassen, waarover meer bij de interpretatie van de luchtfoto's. Buiten het BSO staat op de percelen 21 en 36 zomergerst, terwijl op enkele aren van perceel 15 enige potentieel nieuwe akkerbouwgewassen staan.

Als demonstratie van digitale analyse is voor een thema gekozen waarbij gekeken is naar de respons van suikerbieten en aardappelen op verschillende bedrijfssystemen. Hiervoor zijn de percelen genoemd in Tabel III nader onderzocht.

4.3 Bedrijfssystemen.

Een viertal bedrijfssystemen wordt op zowel de suikerbieten als de aardappelen toegepast (Tabel IV). Elke teelt-systeemcombinatie; met uitzondering van de teelt van suikerbieten onder bedrijfssysteem S4 is in duplo uitgevoerd. Dat wil zeggen dat binnen eenzelfde bedrijfssysteem twee percelen met hetzelfde gewas worden geteeld. Bedrijfssysteem S2 komt overeen met de gangbare bedrijfsvoering.

Kavel	Perceelnummers	Aantal percelen
1	16.1 t/m 19.2	8
2	22.1 t/m 29.2	16
3	32.1 t/m 35.2	8

Tabel I
BSO percelen. Voor lokatie zie Fig. 1

Gewas	Aantal percelen	Perceelnummers per kavel		
		1	2	3
Aardappelen	8	–	24.1/25.2	34.1/35.2
Suikerbieten	7	18.1/19.2	28.2/29.2	–
Schorseneren	4	–	22.2&23.2	32.2&33.2
Wintertarwe	4	16.1&17.2	26.2&27.2	–
Mais	3	–	26.2, 27.2&28.2	–
Stamslabonen	3	–	22.1&23.1	33.1
Erwten	1	16.1	–	–
Graszaad	1	–	–	32.1
Waspeen	1	17.1	–	–

Tabel II
BSO gewassen per perceel op 30 juli 1990. Gewassen met * waren geoogst een gefreesd op deze datum

* Suikerbieten

Perceelnummer	Beschrijving
18.1, 18.2, 19.2, 29.2 & 28.2	Univers, bedekking ca 80-90%
28.2	Univers, bedekking ca 90%
19.1, 29.1	Univers/Furore, om en om 3 mtr van een ras, bedekking ca 80-90%

* Aardappelen

Perceelnummer	Beschrijving
24.1 & 24.2	Bintje, bedekking ca 85%
25.1	Van Gogh, bedekking ca 90%, schade door aaltjes en vorstschade
25.2	Eba, bedekking ca 98%, valplek i.v.m. cyste
34.1	Van Gogh, vorstschade
34.2	Eba
35.1	Van Gogh, vorstschade
35.2	Eba, valplek op grens met 35.1, beslaat ca 1/3 van perceelsoppervlakte

Tabel III

Beschrijving van de geanalyseerde percelen op 1-8-'90

* Suikerbieten

Perceelnummer	Bedrijfssysteem
18.1 & 18.2	S2; Gangbare bedrijfsvoering
19.1 & 19.2	S3; Bemesting naar behoefte
28.2	S4; Bemesting naar behoefte
29.1 & 29.2	S1; Bemesting naar behoefte

* Aardappelen

Perceelnummer	Bedrijfssysteem
24.1 & 24.2	S2; Gangbare bedrijfsvoering
25.1 & 25.2	S3; Bemesting naar behoefte
34.1 & 34.2	S4; Bemesting naar behoefte
35.1 & 35.2	S1; Bemesting naar behoefte

Tabel IV

De verschillende bedrijfssystemen met o.a. de bemesting als afwijkende teelmaatregel zoals deze op de onderzochte percelen zijn uitgevoerd

5 BEELDANALYSE

Via het geografische informatiesysteem ILWIS zijn de beelden zowel kwalitatief als kwantitief geïnterpreteerd (stap 4; Fig. 2)

In paragraaf 5.1 wordt de spectrale signatuur van de behandelde percelen in het rood en infrarood beeld beschreven (stap 4a & 4b; Fig. 2). Vervolgens wordt in paragraaf 5.2 het CLAIR model (Clevers, 1986) beschreven. Dit model is toegepast om een schatting te maken van de LAI (Leaf Area Index) die een indicatie is voor de hoeveelheid bladgroen per oppervlakteëenheid van het gewas (stap 4c). Als laatste afgeleide van de reflectiewaarden wordt in paragraaf 5.3 de toepassing van een klassificatietechniek beschreven (stap 4d).

5.1 Spectrale signatuur

5.1.1 Kwalitatieve interpretatie

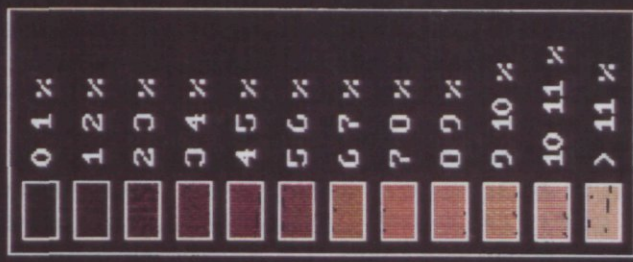
In deze paragraaf wordt voornamelijk aandacht besteed aan het totaalbeeld van de proefboerderij zonder te letten op een aantal specifieke kenmerken ten gevolge van de verschillende bedrijfssystemen. Er wordt met name gekeken naar enkele opvallende verschillen tussen suikerbiet- en aardappelpercelen en percelen die buiten het BSO schema vallen. In de hierop volgende paragraaf 5.1.2 wordt ingegaan op de effecten van de bedrijfssystemen S1, S2, S3 en S4 op de suikerbiet- en aardappelpercelen (zie ook paragraaf 4.3).

Roodbeeld.

In het roodbeeld (Plaat 1) is, ten gevolge van de hoge (>80%) absorptie van het licht in dit deel van het electromagnetisch spectrum door de bladpigmenten, de reflectie van het gewas erg laag (<10%). Ook de transmissie (het deel van de inkomende straling dat door het blad wordt doorgelaten) is erg laag (ca. 10%). Dit betekent dat in de rode band alleen de bovenste bladlaag de reflectie bepaalt en deze band dus een goede schatter is voor de bedekkingsgraad. Bij toenemende bedekkingsgraad mag een afname van de reflectie worden verwacht.

%-reflectie R

LEGEND



CARTOSCAN



Een aantal percelen (bv. 16.2, 26.2, 27.2 & 36; Fig. 1) valt op door de relatief hoge reflectie, terwijl er toch gewas (vnl. tarwe en gerst) op staat. De oorzaak hiervan is gelegen in het feit dat deze gewassen zich ten tijde van de luchtfoto-opname in een vergevorderd stadium van rijping bevonden. Dat betekent vermindering van bladpigment waardoor er minder absorptie van rood licht door het gewas plaats heeft. Perceel 17.2 met tarwe beheert volgens systeem S1 reflecteert minder dan de overige tarwepercelen. Blijkbaar is deze tarwe in een minder ver gevorderd stadium van rijping. De percelen 16.1 en 32.1 dragen geen gewas en hebben de kenmerkende hoge reflectiewaarden (ca. 10%) van kale bodem.

De aardappelpercelen 34 & 35 vertonen gemiddeld lagere reflectiewaarden dan de aangrenzende aardappelpercelen 24 & 25. De laatste zijn iets hoger gelegen en daardoor meer last van de droogte (Y. Hofmeester, pers. comm.). Dit komt overeen met het onderzoek van Shay et al. (1970) waaruit bleek dat bladeren met een gering vochtgehalte in de rode spectraalband een hogere reflectie vertonen dan bladeren met een hoog vochtgehalte.

Duidelijk wordt de valplek op de grens van de percelen 25.1 en 25.2 geregistreerd. Deze valplek is ontstaan ten gevolge van een cyste-aantasting (M. Kronen, pers. comm.). Het aangetaste gewas is in de maand juni doodgespoten met het middel Roundup. Ten tijde van de luchtfoto-opnamen was er op deze plek geen groen gewas meer aanwezig.

De in de maand mei opgelopen nachtvorstschade in de percelen met Van Gogh-aardappelen (J. Boerma & Y. Hofmeester, pers. comm.) is niet duidelijk in de bedekkingsgraad terug te vinden. Perceel 25.1 bleek bij velwaarnemingen in mei het meest door de vorst te zijn aangetast en zich nadien ook het slechts te hebben hertseld. De iets hogere reflectie van dit perceel t.o.v. de andere Van Gogh-percelen zou dit mogelijk bevestigen. De hogere lokatie van dit perceel kan echter ook een rol hebben gespeeld. In het algemeen lijkt het erop, dat het gewas zich goed heeft hersteld van de opgelopen vorstschade.

In perceel 35.1 op de grens met 35.2, is een valplek van enige omvang waar te nemen. Deze zou kunnen zijn ontstaan door de aantasting van aaltjes die geconstateerd is in perceel 35.2.

In perceel 18.1 zien we een spoor met hoge reflectie. Dit is het spuitspoor van de sproeiinstallatie en heeft niets met gewassenmerken te maken. De plekken met hoge reflectiewaarden in de suikerbietpercelen 38 & 39 duiden op een relatief geringe bedekkingsgraad.

De hoge reflectie van de betonplaten waarop de referentiepanelen waren uitgelegd, veroorzaakt overstraling van de direkte omgeving. Vermoedelijk heeft dit ook zijn invloed gehad op de weergave van de referentiepanelen in het roodbeeld (zie paragraaf 3.3).

Infrarood beeld.

De hoge reflectiewaarden in het infrarood beeld (Plaat 2) duiden op een hoog totaal aan bladoppervlak. Vooral aardappelen en waspeen (perceel 17.1) vertonen hoge reflectiepercentages. Kale bodem heeft een relatief lage reflectie die, al naar gelang de bodemvochtigheid tussen ca. 10 en 20% varieert (zie bv. de percelen 32.1 & 16.1). Ook de granen (tarwe en gerst) vertonen in het algemeen een lage reflectie doordat ze in een vergevorderd rijpingsstadium zijn, waarbij bladverkleuring optreedt.

Tegen de verwachting in is de reflectie van de relatief droge aardappelpercelen 24 & 25 lager dan de wat vochtiger percelen 34 & 35 (Shay et al., 1970). Kennelijk is het aantal bladlagen in eerstgenoemde aardappelpercelen beduidend lager. Het verschil in bladvochtgehalte is daarbij vergeleken voor de reflectie van ondergeschikt belang.

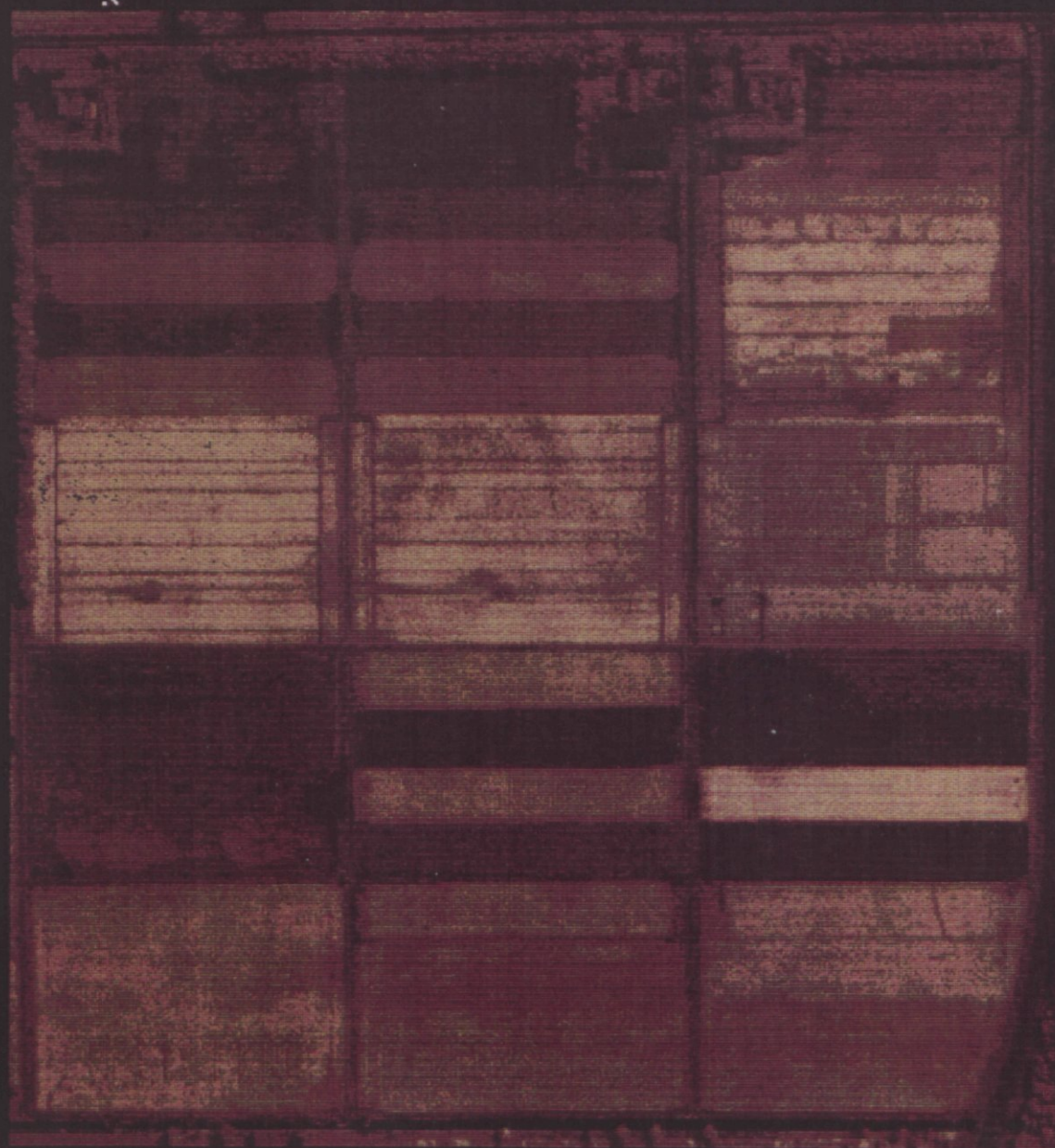
Opnieuw is de valplek tussen de percelen 25.1 en 25.2, ontstaan ten gevolge van een cyste-aantasting, duidelijk zichtbaar. De opgelopen schade t.g.v. de aaltjesaantasting lijkt effect te hebben gehad op het aantal bladlagen in perceel 35. De spuitsporen in de aardappelpercelen zijn ook hier duidelijk zichtbaar. De scherpe, niet-perceelgebonden grenzen in de reflectiewaarden (bv. veld 14 & 15) duiden mogelijk op de invloed van voormalige proefplots op de huidige begroeiing. De betonplaten hebben een relatief geringe reflectie waardoor de kans op overstraling van de panelen te verwaarlozen is.

%-reflectie NIR

LEGEND



CARTOSCAN



5.1.2 Kwantitatieve interpretatie.

In deze paragraaf worden de effecten van vier verschillende bedrijfssystemen op respectievelijk aardappel-en suikerbietpercelen en de invloed daarvan op de spectrale signatuur statistisch geanalyseerd. Uit Fig. 4 en 5 blijkt dat er duidelijke verschillen bestaan tussen de reflectiewaarden van de verschillende proefpercelen. Het is echter de vraag of deze verschillen significant zijn en, indien significant, aan welk verschijnsel dit verschil is toe te schrijven. Centraal bij de toegepaste statistische bewerkingen staat de variantie-analyse. Met behulp van deze analyse worden de verschillen in variantie tussen de gemeten waarden van de groepen onderling (het verklaarde deel van de variantie) en binnen de groepen afzonderlijk (het onverklaarde deel van de variantie; residu) kwantitatief onderscheiden. Vervolgens wordt via een F-test getoetst of de ratio tussen de verklaarde variantie en de onverklaarde variantie significant is. Indien significant, dan zal de nulhypothese (H_0 -hypothese: geen verschil tussen de gemiddelden van de reflectiewaarden) worden verworpen.

Vooreerst zijn de volgende groepen onderscheiden:

- * "Gewas" (suikerbiet vs aardappel)
- * "Duplo" (elk bedrijfssysteem komt, met uitzondering van S4, wordt op twee percelen van eenzelfde gewas uitgevoerd)
- * "Behandeling" (4 verschillende bedrijfssystemen werden toegepast)

Door het voorkomen van verschillende rassen van één gewas binnen één bedrijfssysteem bleken er soms significante verschillen tussen de duplo's op te treden. Dat wil zeggen dat in feite de bewuste duplo's niet als zodanig beschouwd mogen worden. Bij het optreden van een dergelijk significant verschil werd de groep "Rasduplo" geïntroduceerd (Tabel VIa & VIb). Variantie-analyse werd nu niet op waarnemingen tussen de verschillende percelen gebaseerd maar op waarnemingen tussen de perceelshelften. Elk bedrijfssysteem werd immers op twee perceelshelften toegepast. Het feit dat sommige rassen (bv. het ras Bintje) slechts aan één bedrijfssysteem werden onderworpen betekent dat het in die gevallen niet mogelijk is de oorzaak van verschillen in reflectiepercentages te herleiden.

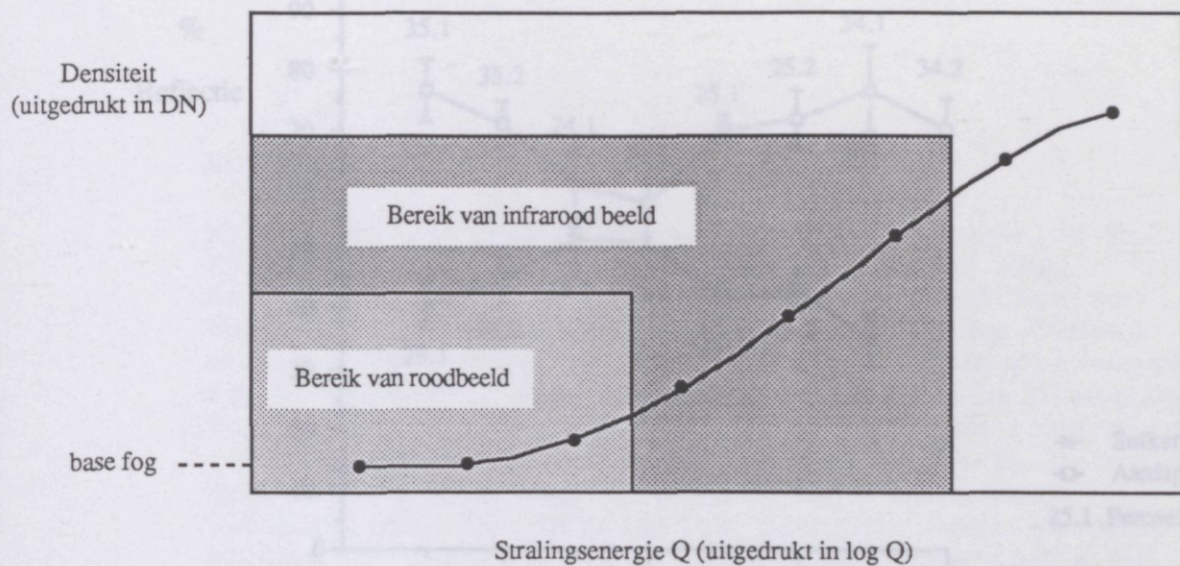


Fig. 3

Voorbeeld van een karakteristieke filmcurve (DlogQ-curve) waarin schematisch het bereik van de radiantie van respectievelijk het roodbeeld en het infrarood beeld is weergegeven

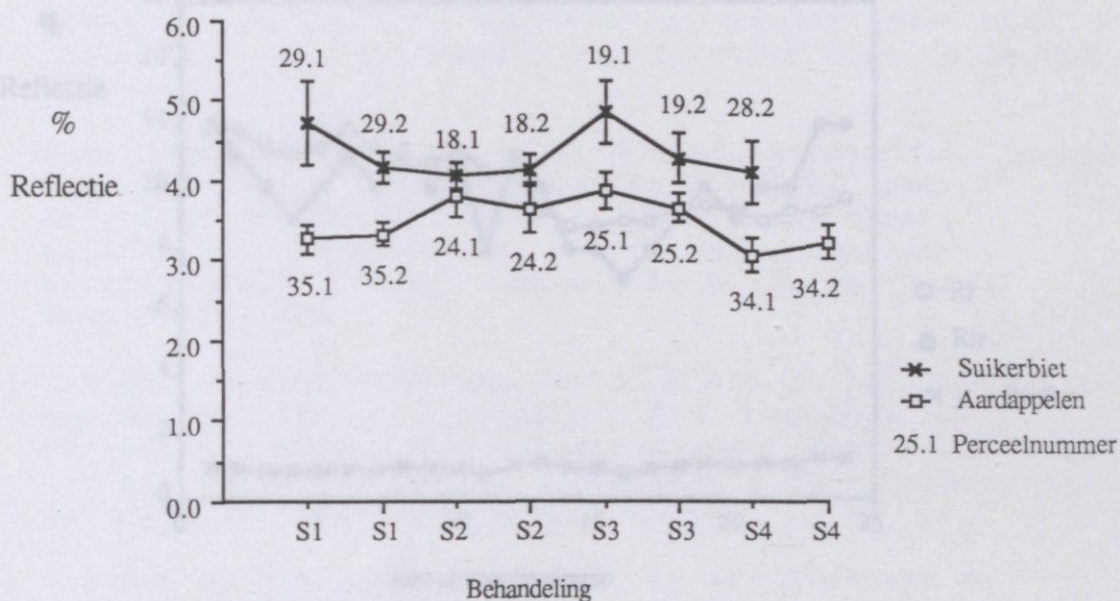


Fig. 4

Gemiddelde reflectiewaarden en hun standaardafwijkingen van de behandelde percelen in het roodbeeld

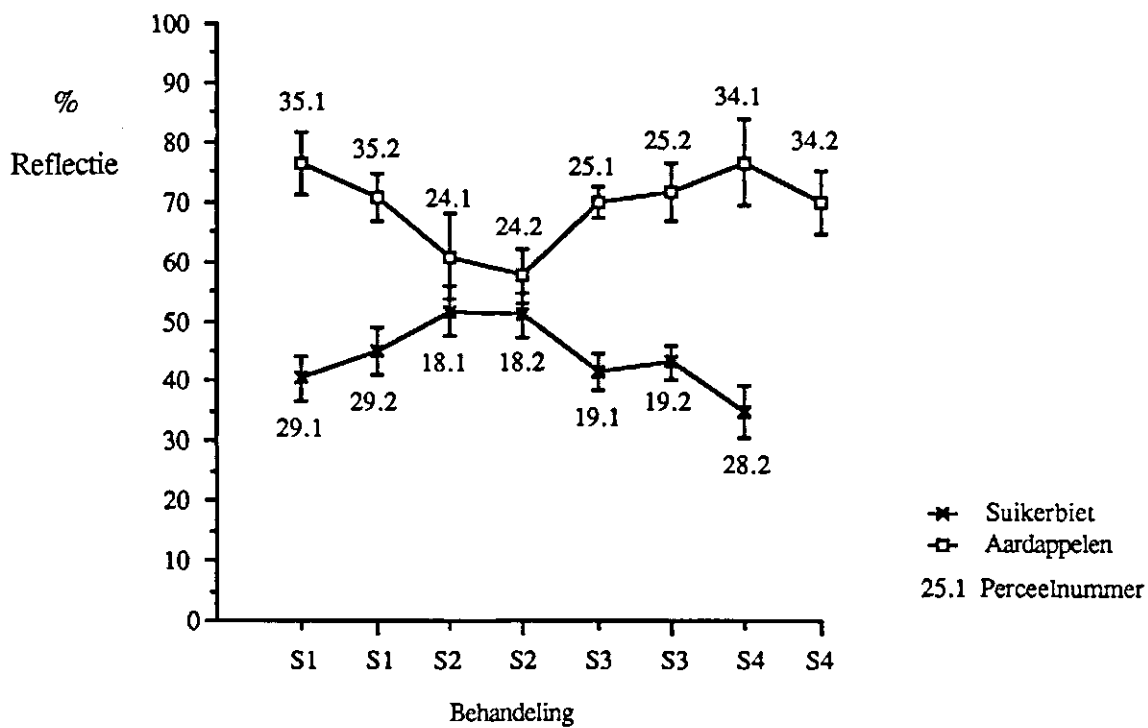


Fig. 5
Gemiddelde reflectiewaarden en hun standaardafwijkingen van de behandelde percelen in het infraroodbeeld

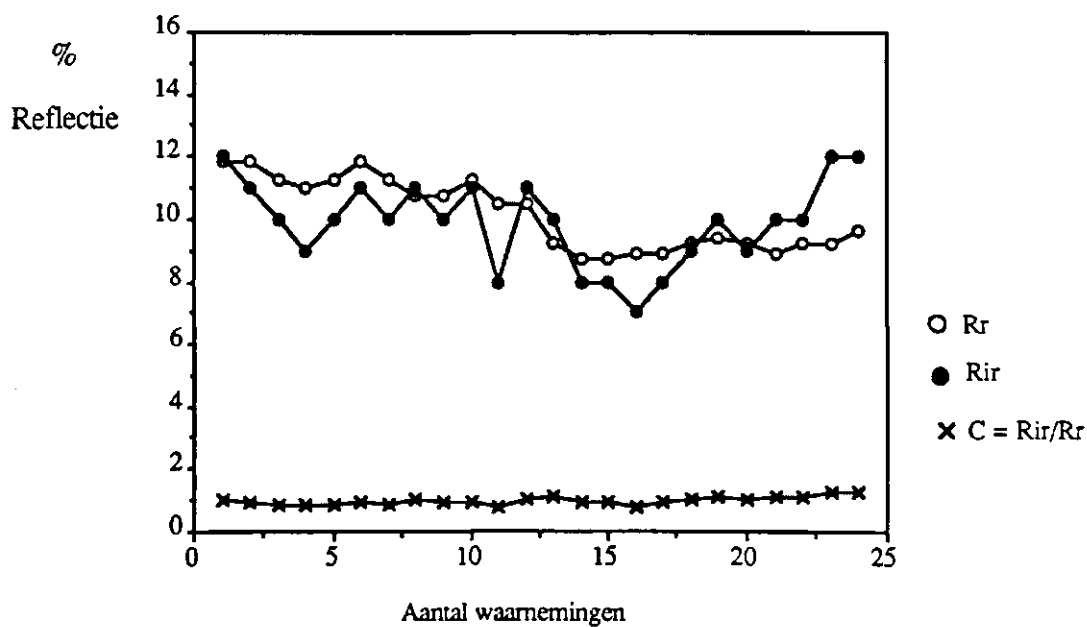


Fig. 6
Reflectiewaarden en hun verhouding van kale bodem in het rood en infraroodbeeld

Roodbeeld.

Van de reflectiepercentages van de behandelde percelen zijn in Fig. 4 de gemiddelde waarden met hun standaardafwijking uitgezet. Aan de hand van een variantie analyse ($\alpha=0.05$) bleek de groep "Gewas" het meest significant te zijn (tabel V). Dat wil zeggen dat in de rode band het verschil in spectrale signatuur, tussen enerzijds de aardappelpercelen en anderzijds de suikerbietpercelen, groter is dan de in de beide andere groepen, "Duplo" en "Behandeling", berekende verschillen. Een verklaring hiervoor moet gezocht worden in verschillen in gewassenmerken zoals bv. bladkleur en bladstand. Gezien de hoge bedekkingsgraad van de percelen ten tijde van de opname, is het verschil in spectrale signatuur voornamelijk te herleiden tot de bovenste bladlaag, waarbij verschillen in bladkleur en in de stand van de bladeren een belangrijke rol spelen.

Het verschil in bladkleur (al dan niet door stress veroorzaakt) zegt iets over de pigmentsamenstelling van het blad. Een bleker blad bevat minder van het pigment chlorofyl. Juist dit pigment zorgt voor een hoge absorptie in het rood waardoor een minder groen blad (suikerbiet vs. aardappel) een relatief hoge reflectie vertoont.

Een tweede verschil is de bladstand. Aardappelen hebben een zogenaamd planofiele bladstand waarbij het merendeel van het blad (sub-)horizontaal staat. Suikerbieten daarentegen, hebben een zogenaamd erectofiele bladstand, waarbij de bladeren (sub-) vertikaal staan.

Ook het vochtgehalte van het blad kan in het spectrale gedrag daarvan een rol spelen. Een vochtig blad reflecteert minder dan een droog blad. Vermoedelijk zal dit effect echter binnen de variantie der afzonderlijke percelen met eenzelfde gewas vallen.

Uit het bovenstaande volgt dat de effecten van de verschillende bedrijfssystemen op de roodreflectie het best binnen één gewas kunnen worden vergeleken.

Betreft:	Populaties:	Gem. Variantie:	F-toets:	P-waarde:
ROODBEELD	Gewas	56,953	624,668*	0,000
	Behandeling	3,106	34,068*	0,000
	Duplo	1,275	13,986*	0,000
INFRAROOD BEELD	Gewas	55230,050	2899,448*	0,000
	Behandeling	213,438	9,273*	0,000
	Duplo	68,450	2,974	0,086
LAI	Gewas	104,425	65,991*	0,000
	Behandeling	12,734	8,047*	0,000
	Duplo	5,513	3,484	0,063

* Significant bij 95%

Tabel V

Variantie analyse en F-toets met drie populaties (gewas, behandeling en duplo) versus respectievelijk reflectie in het roodbeeld, infrarood beeld en de Leaf Area Index (LAI)

	Betreft:	Populaties:	Gem. Variantie:	F-toets:	P-waarde:
ROOD	Suikerbiet	Behandeling	1,765	14,533*	0,000
		Duplo	4,064	33,459*	0,000
		<i>Behandeling</i>	<i>1,765</i>	<i>10,786*</i>	<i>0,000</i>
		<i>Rasduplo</i>	<i>0,00756</i>	<i>0,047</i>	<i>0,8294</i>
	Aardappel	Behandeling	3,84	78,982*	0,000
		Duplo	0,068	1,4	0,2386
INFRA ROOD	Suikerbiet	Behandeling	1664,906	104,252*	0,000
		Duplo	45,156	2,828	0,0947
	Aardappel	Behandeling	1837,083	64,123*	0,000
		Duplo	497,025	17,349*	0,000
		<i>Behandeling</i>	<i>1837,083</i>	<i>56,038*</i>	<i>0,000</i>
		<i>Rasduplo</i>	<i>27,225</i>	<i>0,83</i>	<i>0,3636</i>
LAI	Suikerbiet	Behandeling	93,542	67,816*	0,000
		Duplo	2,401	1,741	0,189
	Aardappel	Behandeling	74,027	41,024*	0,000
		Duplo	0,049	0,027	0,8693

* Significant bij 95%

Tabel VI

A/Variantie analyse en F-toets met twee populaties (behandeling en duplo) versus suikerbiet en aardappelen in respectievelijk het roodbeeld, het infrarood beeld en Leaf Area Index (LAI). De cursieve waarden zijn indicatief bij significante afwijkingen van de duplo's. In dat geval wordt verwezen naar Tabel VIb

Betreft:		Populaties:	Gem. Variantie:	F-toets:	P-waarde:
ROOD	Suikerbiet	Ras	11,011	90,284*	0,000
		Rasduplo	0,105	0,861	0,3549
INFRA ROOD	Aardappel	Ras	2555,704	93,143*	0,000
		Rasduplo	48,096	1,569	0,2123

* Signifcant bij 95%

Tabel VI

B/Variantie analyse en F-toets met twee populaties (ras en rasduplo) indien de duplo's in Tabel VIa significant waren t.g.v. gebruik van verschillende rassen (zie ook tekst)

* Suikerbieten

Indien we nu de roodreflectie per gewas bekijken, dan houden we voor de variantie-analyse in eerste instantie twee groepen over: "Duplo" en "Behandeling". Van deze groepen bleek de groep "Duplo" sterker significant te zijn dan de groep "Behandeling" (Tabel VIa). Dat betekent dat er tussen de percelen die onder eenzelfde bedrijfssysteem vallen een grote variantie in de roodreflectie optreedt. In het bijzonder blijken de percelen 19.1 en 29.1 significant van hun duplo's (resp. perceel 19.2 en 29.2) af te wijken. Dit verschil is toe te schrijven aan het gecombineerd gebruik van het ras Univers en het ras Furore in de percelen 19.1 en 29.1. Dit in tegenstelling tot alle andere suikerbietpercelen waar alleen het ras Univers werd gebruikt. Het ras Furore is lichter van bladkleur, het blad is groter en meer erectofiel dan dat van Univers (Y. Hofmeester, pers. comm.). Dit verklaart de relatief hoge reflectie van de gemengde percelen t.o.v. de Univers percelen. De verschillen zijn dermate groot dat de percelen 19.1 en 29.1 niet meer als duplo's van resp. 19.2 en 29.2 beschouwd mogen worden. Dit blijkt uit de variantie-analyse waarbij de groep "Ras" en de groep "Rasduplo" wordt uitgezet tegen de reflectiewaarden in de rode band (Tabel VIb). De groep "Ras" geeft een duidelijk significant verband te zien i.t.t. de groep "Rasduplo". Hieruit volgt dat de gemengde percelen als zelfstandige groep van suikerbietpercelen dienen te worden beschouwd die onder bedrijfssysteem S3, resp. S1 vallen.

De verschillende bedrijfssystemen blijken significante verschillen op te leveren in de bedekkingsgraad van het gewas. Met behulp van een D-toets (Snedecor & Cochran, 1980) werden de effecten van de verschillende bedrijfssystemen op de rood reflectie (bedekkingsgraad) onderling met elkaar vergeleken. Hieruit bleek dat alleen de verschillen in bedekkingsgraad tussen S1 en S2 significant zijn (Tabel VII), waarbij behandeling S1 een lagere bedekkingsgraad lijkt op te leveren. De relatief hoge reflectie in perceel 29.1 is echter toe te schrijven aan de additionele verbouw van het ras Furore, d.w.z. aan raskenmerken. Uitspraken over de effecten van de verschillende bedrijfssystemen op de suikerbieten moeten daarom met de nodige terughoudendheid beschouwd worden. De overige bedrijfssystemen geven een zeer zwak, dan wel een niet significant verschil.

* Aardappelen

Ook de verschillen in reflectiewaarden van de aardappelpercelen werden op significantie getoetst (Tabel VIa). De variantie-analyse van de aardappelpercelen gaf, in tegenstelling tot die van de suikerbietpercelen, geen significant verschil tussen de percelen waarop eenzelfde bedrijfssysteem wordt toegepast ("Duplo").

Wel bestaat er een significant verschil in roodreflectie tussen de percelen met verschillende bedrijfssystemen ("Behandeling"). Uit de D-toets (Tabel VII) blijkt dat er geen significante verschillen zijn te constateren tussen bedrijfssystemen S1 en S4, noch tussen S2 en S3. De overige combinaties zijn wel significant, waarbij met name het verschil tussen enerzijds S4 (hoge bedekkingsgraad) en anderzijds S2 en S3 (lage bedekkingsgraad) significant is.

Infrarood beeld.

In het nabij-infrarode deel van het spectrum zijn de reflectie van licht door een gewas en de transmissie elk ongeveer 50%. Door die hoge transmissie zal niet alleen de bovenste bladlaag maar zullen ook de bladlagen daaronder aan de totale reflectie bijdragen. Dat betekent, dat de reflectie in het nabij-infrarode deel van het spectrum een goede schatter is voor de biomassa (gerelateerd aan het aantal bladlagen; LAI = Leaf Area Index).

Het beeld van de reflectiewaarden is nu in zekere zin het omgekeerde van hetgeen het roodbeeld te zien gaf: aardappelen geven een hogere reflectie dan suikerbieten (Fig. 5). Uit de variantie-analyse blijkt evenals bij het roodbeeld het verschil tussen de aardappelpercelen enerzijds en suikerbietpercelen anderzijds significant te zijn (Tabel V). Hieruit volgt dat de effecten van de verschillende bedrijfssystemen op de spectrale signatuur in de infrarode band het best binnen één gewas met elkaar vergeleken kunnen worden. Naast bladkleur en bladstand kan ook hier het vochtgehalte van de bladeren een rol spelen.

* Suikerbieten.

De groep "Duplo" blijkt, in het infrarood beeld, geen significant verschil op te leveren (Tabel VIa).

SuikerbietenAardappelen

Bemestingen:

Dunnett t:

Bemestingen:

Dunnett t:

ROODBEELD

S1 vs. S2	5,072*	S1 vs. S2	11,974*
S1 vs. S3	1,358	S1 vs. S3	12,863*
S1 vs. S4	3,963 ≈	S1 vs. S4	3,968
S2 vs. S3	3,714 ≈	S2 vs. S3	0,889
S2 vs. S4	1,109	S2 vs. S4	15,942*
S3 vs. S4	2,605	S3 vs. S4	16,831*

INFRAROOD
BEELD

S1 vs. S2	9,9*	S1 vs. S2	15,695*
S1 vs. S3	0,487	S1 vs. S3	3,002
S1 vs. S4	7,114*	S1 vs. S4	0,409
S2 vs. S3	9,413*	S2 vs. S3	12,692*
S2 vs. S4	17,014*	S2 vs. S4	15,285*
S3 vs. S4	7,601*	S3 vs. S4	2,593

LEAF AREA INDEX
(LAI)

S1 vs. S2	10,81*	S1 vs. S2	8,951*
S1 vs. S3	0,571	S1 vs. S3	3,942 ≈
S1 vs. S4	1,539	S1 vs. S4	6,159*
S2 vs. S3	10,239*	S2 vs. S3	5,01 ≈
S2 vs. S4	12,349*	S2 vs. S4	15,111*
S3 vs. S4	2,11	S3 vs. S4	10,101*

≈ Licht significant bij 95%

* Significant bij 95%

Tabel VII

Signifantie analyse door middel van een D-toets tussen de gemiddelden van reflectiewaarden in respectievelijk het roodbeeld, het infrarood beeld en de LAI onder invloed van de verschillende bemestingstechnieken (S1 t/m S4)

	Suikerbieten	Aardappelen
Goed	52,5 %	47,9 %
Fout	4,7 %	9,6 %
Niet	42,8 %	42,5 %

Tabel VIII

Klassificatieresultaat volgens MLHD (2σ).

Blijkbaar zijn de reflectieverschillen van de verschillende rassen in het infrarood beeld niet significant. Dat betekent, dat het aantal bladlagen in percelen met eenzelfde behandeling onderling niet significant verschilt.

De toepassing van verschillende bedrijfssystemen leverde wel significante verschillen in reflectiewaarden op. Een onderlinge vergelijking met gebruikmaking van een D-toets (Tabel VII) geeft geen significant verschil tussen S1 en S3 te zien. Het grootste verschil is waar te nemen tussen bedrijfssystemen S2 (hoge reflectiewaarden; veel bladlagen) en S4 (lage reflectiewaarden; weinig bladlagen). De oorzaak van het geringe aantal bladlagen bij laatstgenoemd bedrijfssysteem zou kunnen worden toegeschreven aan een in het veld waargenomen rhizoctonia-aantasting die veel bladwegval teweeg bracht (Y. Hofmeester, pers. comm.).

* Aardappelen

Bij de aardappelpercelen zien we nu hetzelfde verschijnsel optreden als bij de suikerbietpercelen in de rode band. De duplo's zijn, ten gevolge van de verbouw van verschillende rassen binnen eenzelfde bedrijfssysteem, significant verschillend (Tabel VIa) zodat de duplo's niet representatief mogen worden beschouwd. Uit Tabel VIb blijkt de significante invloed van het ras op de infraroodreflectie. Binnen de groep "Rasduplo" (Tabel VIa) blijkt het effect van de verschillende bedrijfssystemen significant te zijn. Bij een onderlinge vergelijking van de bedrijfssystemen zien we dat de verschillen tussen de bedrijfssystemen S1, S3 en S4 niet significant zijn (Tabel VII). Het lijkt erop dat alleen bedrijfssysteem S2 significant minder biomassa oplevert. Echter, de S2-percelen zijn de enige waarop het ras Bintje verbouwd werd. Van dit ras is bekend dat het minder blad maakt dan de beide andere rassen; Van Gogh en Eba (Y. Hofmeester, pers. comm.). Over het effect van de gangbare bedrijfsvoering S2 op de bladmassa, in vergelijking met de alternatieve bedrijfssystemen, kan daarom geen uitspraak gedaan worden.

5.2 LEAF AREA INDEX (LAI)

Er zijn verschillende modellen ontwikkeld om via een combinatie van gemeten reflectiewaarden, de zogenaamde Vegetatie Index, uitspraken te doen over bepaalde gewassenmerken, zoals het totale bladoppervlak van een gewas per bodemoppervlak (Leaf Area Index: LAI). Indien we een relatie kunnen leggen tussen de LAI van het gewas en zijn spectrale signatuur (of afgeleiden daarvan), dan is het mogelijk om via luchtfoto-beelden een schatting van de bladdichtheid van het gewas te maken. Om tot een dergelijke schatting te komen, is in deze studie voor het zogenaamde CLAIR model (Clevers, 1986) gekozen.

Uit de voorgaande paragrafen moge duidelijk zijn dat vooral de reflectiewaarden in het infrarood beeld bij dit model een belangrijke rol spelen, aangezien licht in dit spectrale bereik relatief diep in het bladerdek doordringt.

Behalve gewas dragen andere factoren aan de gemeten reflectiewaarden bij. Er zal, om een relatie tussen gewas en reflectie te kunnen leggen, voor dergelijke factoren gecorrigeerd moeten worden. Clevers (1986) gaat er in zijn model vanuit dat zowel gewas als bodem aan de reflectie bijdragen. Aangezien we uitspraken willen doen over de gewassenmerken, wordt de bodemreflectie als storende factor gezien. In het CLAIR model wordt er naar gestreefd de bijdrage van de bodem aan de reflectie uit te filteren. Daartoe wordt een infrarood reflectie (r'_{ir}) in het model geïntroduceerd, die corrigeert voor het aandeel van de bodem in de reflectie. De afgeleide formule voor deze gecorrigeerde r'_{ir} is als volgt:

$$r'_{ir} = r_{ir} - C * r_{rd} \quad (1)$$

Uit een aantal onderzoeken blijkt dat voor veel bodems de verhouding tussen de rood- en infrarood reflectie constant en onafhankelijk van het vochtgehalte is:

$$C = r_{ir}/r_{rd} \quad (2)$$

C kan men verkrijgen door van een kale bodem de reflectie in het roodbeeld en in het infrarood beeld te meten. Daarnaast heeft Clevers (1986) het verband tussen infrarood reflectie en LAI via een exponentiële functie beschreven.

Deze luidt:

$$LAI = -1/\alpha * \ln(1-r'_{ir}/r_{\infty,ir}) \quad (3)$$

α = extinctie- en verstrooiingscoëfficiënt van de straling in het gewas

$r_{\infty,ir}$ = asymptotische waarde voor de gecorrigeerde infrarood-reflectie bij zeer grote LAI

Uit metingen in de kale percelen blijkt dat C varieert tussen 1 en 1.1 (Fig. 6). In de verdere berekeningen is derhalve gekozen voor C=1. Derhalve kan formule (1) worden herleid tot:

$$r'_{ir} = r_{ir} - r_{rd} \quad (4)$$

Bij metingen in het gecorrigeerde infrarood beeld blijkt dat $r_{\infty,ir}$ voor de suikerbieten (ca. 55) significant lager ligt dan voor de aardappelen (ca. 80). Dit verschil is gewas-afhankelijk en wordt veroorzaakt door de erectofiele bladstand van suikerbieten, resp. de planofiele stand van het aardappelblad.

Aangezien het niet in de opzet van deze studie lag tijdens de opnamen veldmetingen te doen, is de α -parameter op 0.3 geschat. Met bovengenoemde grootheden kan formule (3) worden herleid (Fig. 7) tot:

$$\text{Suikerbiet} \Rightarrow LAI = 3.33 * \ln(1-r'_{ir}/55) \quad (5)$$

$$\text{Aardappelen} \Rightarrow LAI = 3.33 * \ln(1-r'_{ir}/80) \quad (6)$$

5.2.1 Resultaat van de kwalitatieve analyse.

Het bovenbeschreven CLAIR-model is alleen toegepast op de BSO-percelen (zie Plaat 3). Er treden opvallende verschillen op tussen de percelen 18.1 & 18.2 (beide bedrijfssysteem S2) en de andere suikerbietpercelen die een veel lagere LAI vertonen. In laatstgenoemde percelen lijkt het er op dat de LAI naar het westen toeneemt. Dit zou te maken kunnen hebben met de vochthuishouding van de bodem en wellicht ook met de aanwezigheid van het Peelkanaal direkt westelijk van

Leaf Area Index
(CLAIR)

LEGENDA

	0
	1
	2
	3
	4
	5
	6
	7
	8

CARTOSCAN

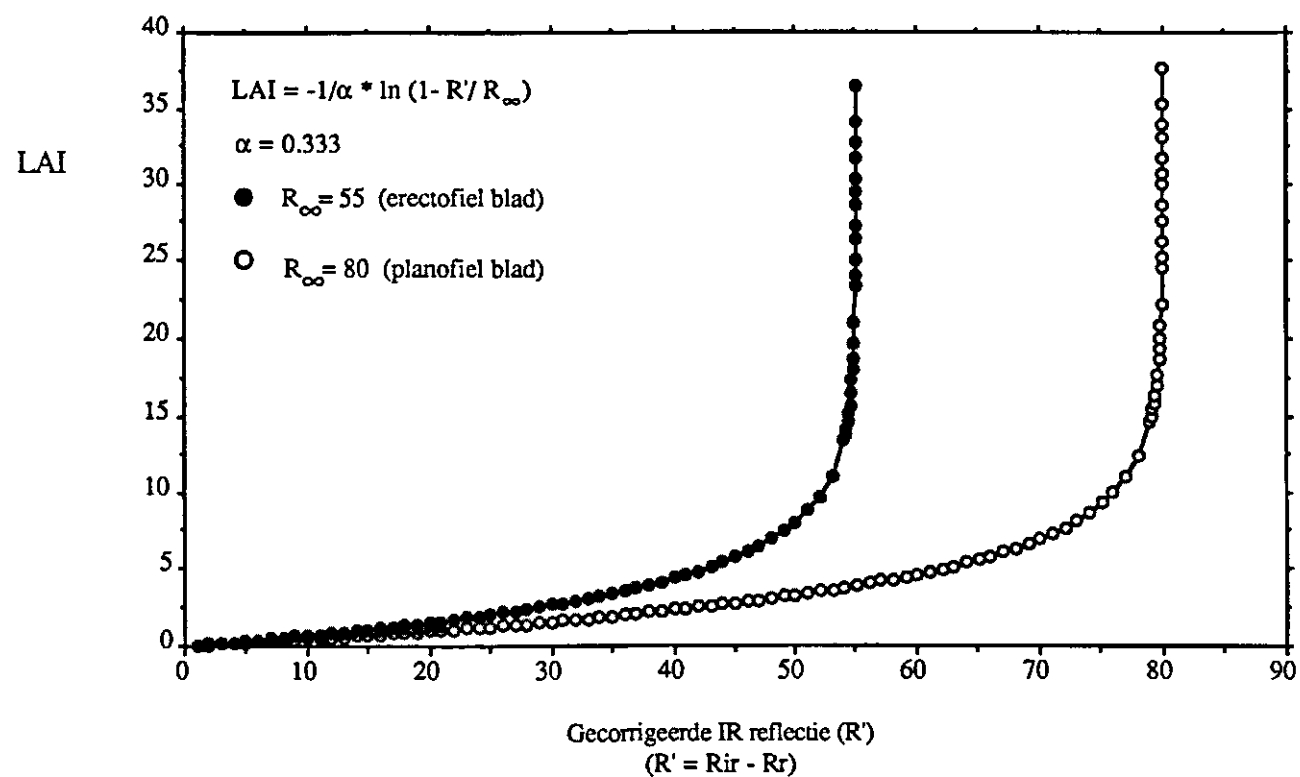


Fig. 7
 Schatting van de Leaf Area Index voor een erectofiel gewassoort (suikerbiet) en een planofiel gewas (aardappel)

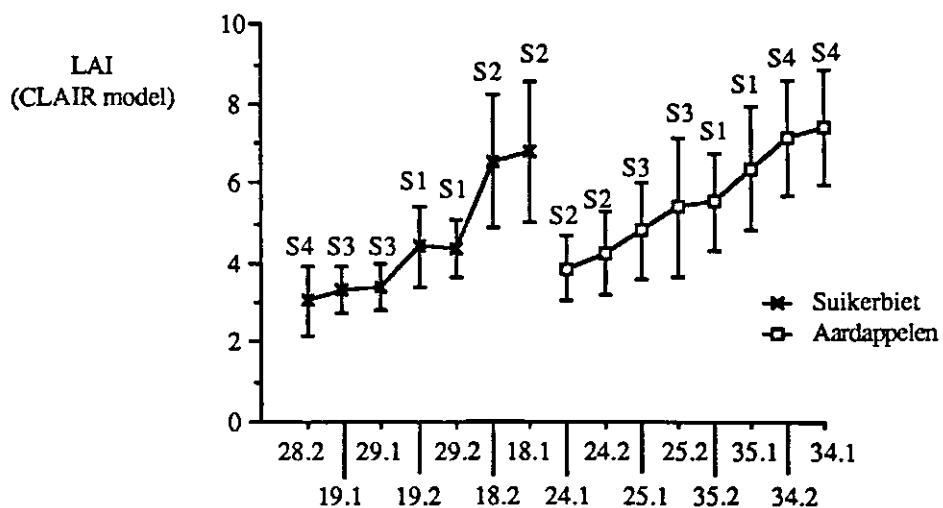


Fig. 8
 Schattingen van de Leaf Area Index van de behandelde percelen aan de hand van de curves gegeven in figuur 6

de suikerbietpercelen. Binnen de afzonderlijke aardappelpercelen is een heterogene structuur waar te nemen. Gezien de homogeniteit van de bodem over alle aardappelpercelen (paragraaf 4.1) is het niet waarschijnlijk dat de variatie van de LAI binnen de percelen aan de bodem toe te schrijven is .

Opvallend is het grote verschil in LAI tussen de noordelijke (hoge LAI) en de zuidelijke aardappelpercelen (lage LAI). Zoals eerder opgemerkt hebben de hoger gelegen percelen meer last van de droogte dan de lager gelegen percelen. Dit zou zijn weerslag in de LAI kunnen hebben.

Een smalle strook met een lage LAI is waarneembaar op de perceelsgrens 35.1-35.2. Dit zou te maken kunnen hebben met de cyste aantasting die ter plekke in het veld werd geconstateerd. Voorts zijn de spuitsporen in de aardappelpercelen duidelijk waarneembaar.

5.2.2 Resultaat van de kwantitatieve analyse.

De LAI van de afzonderlijke percelen zijn uitgezet in Fig. 8. Uit de variantie analyse (Tabel V) blijkt dat er een significant verschil bestaat tussen de LAI van de suikerbieten en de LAI van de aardappelen ("gewas"). Dit verschil zou wellicht verklaard kunnen worden uit de geschatte parameters r_{ij} en α . Vanwege dit significante verschil werd de invloed van de verschillende bedrijfssystemen op de LAI per gewas op significantie getest.

* Suikerbieten

Uit de variantie-analyse blijkt, dat de groep "Duplo" niet significant verschillen (Tabel VIa). Dat wil zeggen dat percelen die onder eenzelfde bedrijfssysteem vallen een vergelijkbare LAI opleverden. De LAI van percelen die onder verschillende bedrijfssystemen vielen leverden wel significante verschillen op. Bij een onderlinge vergelijking tussen de respectievelijke bedrijfssystemen kwam het volgende naar voren (Tabel VII):

Niet-significante verschillen in de LAI werden gevonden tussen de bedrijfssystemen S1, S3 en S4. Alle overige combinaties van bedrijfssystemen hadden wel een significant verschil in de LAI tot gevolg. Dit verschil tussen enerzijds systeem S2 en anderzijds S1, S3 en S4

wordt met name veroorzaakt door de grote hoeveelheid beschikbare nutriënten bij de gangbare bedrijfsvoering (S2). Het grootste verschil is gevonden tussen bedrijfssystemen S2 en S4, waarbij de S2-percelen duidelijk een hogere LAI hebben.

*** Aardappelen.**

Bij de aardappelpercelen werden dezelfde statistische analyses toegepast als bij de suikerbietpercelen. Ook hier bleken er geen significante verschillen op te treden binnen de groep "Duplo" (Tabel VIa). Alle vier de bedrijfssystemen leverden via een D-toets onderling significante verschillen in LAI op. De significantie tussen de behandelingen S1 en S3, alsook tussen S2 en S3 is echter zwak. Het meest significante verschil werd gevonden tussen bedrijfssystemen S2 en S4. Hier leverde, in tegenstelling tot de hetgeen we bij de suikerbietpercelen zagen, de gangbare bedrijfssysteem (S2) de laagste LAI op. Dit verschil moet vooralsnog worden toegeschreven aan het gebruik van het ras Bintje onder bedrijfssysteem S2.

5.3 KLASSIFICATIE

Indien men van een in het fotobeeld voorkomende lokatie bepaalde karakteristieken heeft verzameld, zoals type gewas, zieke planten, etc., kan men aan de hand van de spectrale signatuur van deze karakteristieken andere lokaties met soortgelijke kenmerken opsporen. De werkwijze is in het kort als volgt (zie ook Buiten & Clevers, 1990).

Pixels waarvan bekend is dat ze gelijke veldkenmerken bezitten, brengt men onder in een groep (trainingsset). In het algemeen bestaat zo'n trainingsset uit ca. 20-40 pixels. Veelal klassificeert men een dergelijke trainingsset aan de hand van de reflectiewaarden in het roodbeeld (X-as) en het infraroodbeeld (Y-as). Ondanks het gemeenschappelijke bezit van kenmerken, zullen de reflectiewaarden in de grafiek een zekere spreiding vertonen, waardoor er een twee-dimensionale puntenwolk ontstaat. Het gebruik van meer dan twee banden is echter ook mogelijk; er ontstaat dan een multi-dimensionale puntenwolk. Vervolgens worden er bepaalde denkbeeldige beslisgrenzen rond een dergelijke puntenwolk getrokken. Deze grenzen hebben betrekking op uiterste waarden waarbij een pixel al of niet wordt toegekend aan een bepaalde puntenwolk (= klasse). Vervolgens wordt bekeken tot welke trainingsset iedere afzonderlijke pixel in het gedigitaliseerde fotobeeld behoort.

Een dergelijke klassificatie is uitgevoerd op de proefpercelen (Plaat 4). Daarbij zijn twee klassen onderscheiden: suikerbiet en aardappel. De klassificatie is volgens de maximum likelihood methode (MLHD) uitgevoerd. Bij deze methode worden de beslisgrenzen, op grond waarvan een pixel al of niet tot een klasse wordt toegelaten, als ellipsen om het gemiddelde van een puntenwolk getrokken. De omvang van een ellips wordt uitgedrukt in n standaardafwijkingen.

In het voorbeeld hebben we voor de klasse suikerbiet een 20-tal pixels uit perceel 28.2 genomen en voor de klasse aardappel een zelfde aantal uit perceel 35.2. Voor de beslisgrens hebben we $n=2$ genomen, hetgeen erop neerkomt dat de desbetreffende ellips ca. 95% van de totale puntenwolk omvat.

CLASSIFICATIE
(MLHD 9.45)

Aardappel



Suikerbiet



CARTOSCAN

Resultaat van de klassifikatie.

Het blijkt dat de suikerbieten een goed geklassificeerd beeld geven. Slechts een gering percentage pixels is foutief als aardappel geklassificeerd (Tabel VIII). Dit is vooral aan de westelijke rand van perceel 29.2 het geval. Kennelijk hebben de bieten daar reflectiewaarden die overeenkomen met aardappelen. De niet geklassificeerde pixels (zwart in de percelen) vallen buiten beide klassen.

Binnen de aardappelpercelen zien we dat met name op de perceelsgrens 25.1-25.2 aardappel foutief als suikerbiet is geklassificeerd. Het percentage foutief geklassificeerde pixels is hoger dan bij de suikerbieten (Tabel VIII). Daarnaast blijkt een aantal lokaties, waaronder de valplekken (perceel 25.1 en 35.1), niet geklassificeerd te zijn.

CONCLUSIES

Uit dit onderzoek blijkt dat remote sensing-technieken als hulpmiddel kunnen dienen bij het bepalen van gewassenmerken. In vergelijking met de traditionele methodieken leidt het tot een snelle en non-destructieve analyse van de gewenste kenmerken. In het kader van de globale opzet van dit onderzoek waren slechts weinig parameters bekend. Desondanks blijkt, dat op basis van de multispectrale luchtfotografie verschillen in gewassenmerken zijn waar te nemen die deels zijn toe te schrijven aan de verschillende bedrijfssystemen.

De bedekkingsgraad lijkt bij de suikerbieten alleen significant lager te zijn bij bedrijfssysteem S1. Daarnaast treden er binnen een gewas significante verschillen op tussen de velden met eenzelfde bedrijfssysteem (duplo's). Deze verschillen moeten worden toegeschreven aan het gebruik van verschillende rassen binnen een bedrijfssysteem en soms zelfs binnen een perceel.

Het lijkt erop dat de aardappelpercelen onder het regime van bedrijfssystemen S2 & S3 een significant lagere bedekkingsgraad ontwikkelen dan de percelen die volgens bedrijfssysteem S1 of S4 zijn behandeld.

Uit het infrarood beeld blijkt dat de traditionele bedrijfsvoering (S2) bij suikerbieten een positief effect heeft op het aantal bladlagen. Dit lijkt tegengesteld aan het effect bij de aardappelen waar dit bedrijfssysteem juist een geringer aantal bladlagen oplevert. Die schijnbare tegenstelling moet echter worden toegeschreven aan het gebruik van het ras Bintje dat minder blad produceert dan de andere hier verbouwde aardappelrassen.

Ook de Leaf Area Index (LAI) levert een aantal duidelijke verschillen tussen de bedrijfssystemen op. De duplo's leveren noch bij de aardappelpercelen, noch bij de suikerbietpercelen significante verschillen op. Ook hier neemt het traditionele bedrijfssysteem S2 een interessante plaats in. Dat systeem levert namelijk bij de suikerbieten de hoogste, bij de aardappelen de laagste LAI op. De lage LAI bij aardappelen wordt met name veroorzaakt door het gebruik van verschillende aardappelrassen.

In dit onderzoek werd als voorbeeld het thema "herkenning van suikerbiet respectievelijk aardappel" voor een klassificatie uitgevoerd. Het lijkt erop dat klassificatie een betrouwbare techniek kan zijn bij een thematische inventarisatie van een gebied. Dit kan zowel op kleinschalig niveau plaatsvinden (bv. opsporen van ziekten binnen een perceel) als op grootschalig niveau (bv. gewasinventarisatie van een gebied).

AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK

Het hiervoor beschreven multispectrale luchtfotografie project heeft geleid tot resultaten en conclusies met betrekking tot het Bedrijfssystemenonderzoek. Een vervolgpriject zou de effecten van de verschillende bedrijfssystemen kunnen verduidelijken.

Met het oog op financiën en milieu wordt gezocht naar mogelijkheden om het effect van mestgiften te optimaliseren. Het tijdstip van bemesting speelt daarbij een belangrijke rol. Vervolgonderzoek dat zich toespitst op de gewasontwikkeling in de tijd onder invloed van verschillende bedrijfssystemen kan aan de oplossing van dit vraagstuk een waardevolle bijdrage leveren. Aan de hand van een dergelijk onderzoek zou men kunnen vaststellen op welk tijdstip in het groeiseizoen zekere bedrijfsmaatregelen het grootste effect sorteren. Multispectrale luchtfotografie (monitoring) kan een dergelijk vervolgpriject effectief ondersteunen.

Voor monitoring vanuit de lucht is de homogeniteit der percelen, wellicht nog meer van voor onderzoek in het veld, van grote betekenis. Waar men, ten behoeve van aan de digitale beeldverwerking gekoppelde statistische analyse, er naar streeft om elk der te onderzoeken rassen onder meer dan één bedrijfssysteem te verbouwen, kan men overwegen, eventueel kleinere percelen te bebouwen. Daaraan kleven monitoring-technisch geen bezwaren.

LITERATUUR

Akker, A.M. van den (1969). De bodemgesteldheid van het proefbedrijf Vredepeel. Rapport nr 849, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen; 13pp. + bijlage (kaart).

Buiten, H.J. & J.G.P.W. Clevers (red., 1990). Remote Sensing, theorie en toepassingen van landobservatie. (Dynamiek, inrichting en beheer van landelijke gebieden; 2). Pudoc, Wageningen.

Clevers, J.G.P.W. (1986). Application of remote sensing to agricultural field trials. Thesis, Wageningen; 227 pp.

Eastman Kodak Company (1981). Kodak filters for scientific and technical uses. Publicatie B-3, Kodak; 94 pp.

Eastman Kodak Company (1982). Kodak data for aerial photography. Publicatie M-29, Kodak; 136 pp.

Kasteren, H.W.J. van, en D. Uenk (1975). Spectrale reflectie van enige landbouwgewassen in relatie tot hun aard en structurele opbouw. Publicatie nr 32, NIWARS; 31 pp.

Shay, J.R. et al. (eds., 1970). Remote Sensing, with special reference to agriculture and forestry. Washington, Nat. Acad. of Sciences, 424 pp.

Snedecor, G.W. & W.G. Cochran (1980). Statistical methods. Iowa State University Press, Iowa.

Uenk, D. (1982). Bepaling van grondbedekking en biomassa met behulp van een reflectiemeter. Verslag nr 41, CABO; 18 pp.