Classificatie van landbouwgewassen met radar

Radarvluchten 1983 en 1984 in Groningen, Oostelijk-Flevoland en West-Brabant

D. Uenk, H. W. J. van Kasteren, P. Binnenkade

CABO-Verslag nr. 70

2641546.

Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO) 1987

Postbus 14, 6700 AA Wageningen

Classificatie van landbouwgewassen met radar.

D. Uenk
ir. H.W.J. van Kasteren
Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO)
Postbus 14
6700 AA Wageningen

drs. P. Binnenkade
Nationaal Lucht-en Ruimtevaartlaboratorium (NLR)
Postbus 90502
1006 BM Amsterdam

Inhoud blz.

Woord vooraf 1

1. Inleiding en probleemstelling 2

2. Methode 3
   2.1. Opname-apparatuur 5
   2.2. Optimale vliegdata 6
   2.3. Veldwaarnemingen 8
      2.3.1 Gewassen 8
      2.3.2 Stand van de gewassen 9
      2.3.3 De gevlogen gebieden 14

3. Verwerking 15
   3.1. Voorverwerking 15
   3.2. Classificatie 15
      3.2.1 Maximum likelihood methode 17
      3.2.2 Visuele interpretatie van kleurcomposiet 17
      3.2.3 De interactieve classificatie 17
   3.3. Het intekenen van de veldgrenzen 19
   3.4. Beeldverwerking 22
      3.4.1 Classificatiecriterium 22
      3.4.2 Hoekafhankelijkheid 22
      3.4.3 Training samples 22
      3.4.4 Uitgevoerde classificaties 27
      3.4.5 Presentatie van classificatieresultaten 28

4. Classificatieresultaten 29

5. Conclusies 36
   5.1. Gewasclassificatie met radar 36
   5.2. Opname- en verwerkingsproblematiek 36

Literatuurlijst 38

Woord vooraf

In Nederland onderzoekt de werkgroep ROVE (Radar Onderzoek aan Vegetaties) al verschillende jaren de mogelijkheden van radar voor landbouwkundige toepassingen (De Boer, 1983). Een mogelijke toepassing die wordt onderzocht is die van gewasclassificatie, liefst zo vroeg mogelijk in het groeiseizoen. Wat verder weg ligt oogstvoorspelling en ziektedetectie; als doel op lange termijn wordt een algehele controle van het landbouwareaal in de tijd gezien. De eerste jaren werd gewerkt op proefvelden met radaropstellingen op de grond, nu vanuit vliegtuigen.

Aan dit onderzoek is naast het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek te Wageningen (CABO), dat bij deze vluchten de veldwaarnemingen, de beeldverwerking, de interpretatie en de verslaggeving verzorgd heeft, deelgenomen door:
- Het Fysisch en Electronisch Laboratorium TNO in Den Haag (FEL-TNO; Calibratie);
- Het Nationaal Lucht-en Ruimtevaartlaboratorium in Amsterdam (NLR; vluchtuitvoering, voorverwerking ruwe data = PARES en beeldverwerking op Reseda);
- De vakgroepen microgolftechniek en informatietheorie van de Technische Universiteit Delft (TUD; ontwikkeling nieuwe classificatiemethodieken = Split and Merge).

De gelden voor de in dit verslag behandelde onderzoeken zijn beschikbaar gesteld door de Begeleidings Commissie Remote Sensing (BCRS).
Veel dank zijn we verschuldigd aan de karteringsleiders in de verschillende vluchtgebieden, de heer A.M.B.M. van Bilzen van het Landbouwschap Tilburg, de heer J.J. Hummel van het Landbouwschap Groningen en de heer H. Durenkamp van het Rentambt in Lelystad. Zij maakten een gewasinventarisatie van de betreffende gebieden. Tevens hebben ze er voor zorggedragen dat er percelen beschikbaar kwamen om de verschillende hoekreflectoren te plaatsen, ten behoeve van het calibreren van de radar.

1. Inleiding en probleemstelling

Bevredigende gewasclassificatie is mogelijk via radarreflectie voor gebieden met een grootschalige percelering. Dit blijkt uit onderzoek gebaseerd op vluchten boven de Flevopolders (Uenk, 1977; Van Kasteren, 1981; Hoogeboom, 1983).
Hieruit volgt niet zondermeer dat radar voor hetzelfde doel kan worden gebruikt in gebieden met een kleinere en een grilliger percelering.
Om hierover uitsluitsel te geven werd in 1983 onderzoek opgezet op basis van "radarvluchten" boven Noord-Groningen, het gebied ten zuiden van de lijn Usquert-Uithuizen-Roodeschool, tussen Kantens en Spijk.
De keuze viel op dit gebied in de eerste plaats vanwege het voorkomen van allerlei typen percelen wat grootte en vorm betreft. Ten tweede omdat dit gebied intensief door het Landbouwschap wordt gekarteerd en er beschikt kon worden over de betreffende gegevens. Een nevendoelstelling bij de vluchten in 1983 was om na te gaan in hoeverre radarbeelden bruikbaar kunnen zijn bij de kartering van aardappelpercelen in verband met controle op de naleving van de aardappelmoeheidswet.
Naast de landbouwkundige aspecten werd ook aandacht besteed aan de opname en verwerkingsproblematiek. Als eerste bestond de vraag welke opnamecombinaties (vliegtijdstippen en invalshoeken) de beste classificatieresultaten geven. Dit werd nagegaan door op verschillende hoogtes en vliegtijdstippen te vliegen.
Verder werd uitgezocht welke classificatiemethode het beste voldoet: de Maximum Likelihood classificatie of de interactieve classificatie (ook wel "snelle-doosjes"-classificatie genoemd).
Bij de verwerking bleek het classificatieresultaat over 1983 tegen te vallen, 76 % was goed geclassificeerd, tegen 85 % in het geval van de Flevopolders in vorige jaren. Ook konden er maar 4 gewassen worden geïndentificeerd tegen 7 bij de vorige vluchten. Deze lage score werd geweten aan het late inzaaien en poten van de diverse gewassen, waardoor voor "radar" herkenbare groeistadia van de diverse gewassen samenvielen, terwijl deze in een "normaal" jaar ver uit elkaar liggen. Daarom werd besloten in 1984 nogmaals vluchten uit te voeren maar nu met een uitgebreider programma, qua lokaties, vliegfrequentie, verwerkingsmethode en inkijkhoeken.
Er werd in drie gebieden gevlogen (fig. 1), het gebied in Groningen waar ook in 1983 gevlogen werd, een strook in Oost-Flevoland tussen de Knardijk en Biddinghuizen, en een gebied in Noordwest-Brabant ten noorden van Steenbergen, tussen Oudenbosch en St. Philipsland.

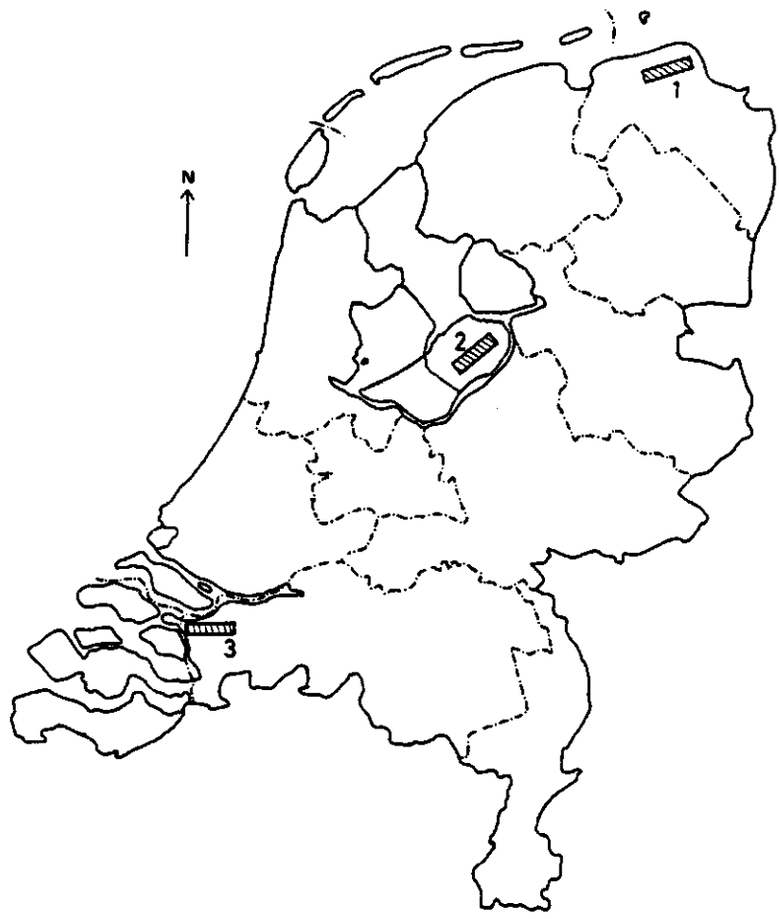


Fig. 1 Overzicht vluchtgebieden: 1 Groningen, 2 Oost-Flevoland,
3 Noordwest-Brabant.

Omdat uit de gegevens van 1983 de indruk werd verkregen dat de radarapparatuur tijdens de opname niet geheel stabiel bleef, is in 1984 een controle- en correctiemogelijkheid ingebouwd: aan het begin en aan het eind van elke vluchtlijn werden hoekreflectoren geplaatst met een bekend reflectiegedrag: (Hoogeboom, 1984; fig. 2).

2. Methode

Radarbackscatter, de terugwaartse verstrooiing in de richting van de zender, is enerzijds afhankelijk van golflengte, polarisatie, inkijkhoek en opnametijdstip (de vaste variabelen) en anderzijds van de aard en de structuur van het gewas. Naarmate het aantal vaste variabelen vermeerdert, wordt het classificatiesucces verhoogd (Hoogeboom, 1983).
Voor de vluchten van 1983 en 1984 zijn inkijkhoeken en opnametijdstip gevarieerd. De golflengte en de polarisatie zijn bij de SLAR (zie 2.1) vast.

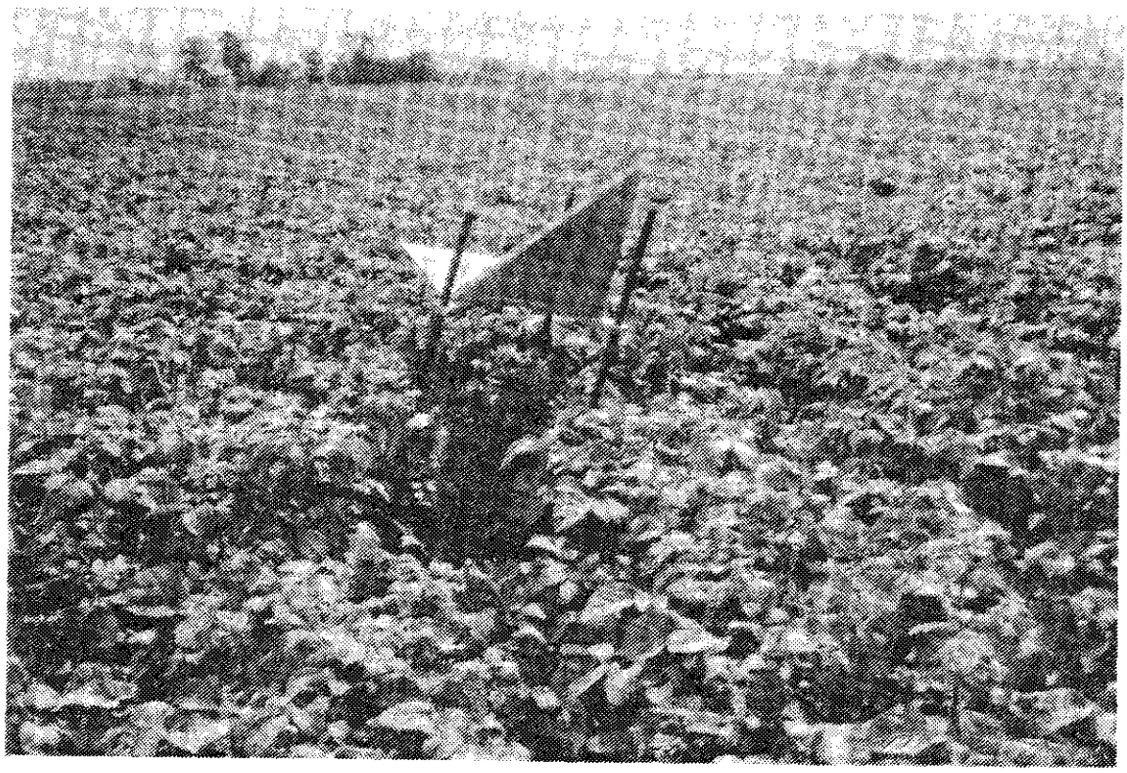


Fig 2 Hoekreflector in aardappelperceel.

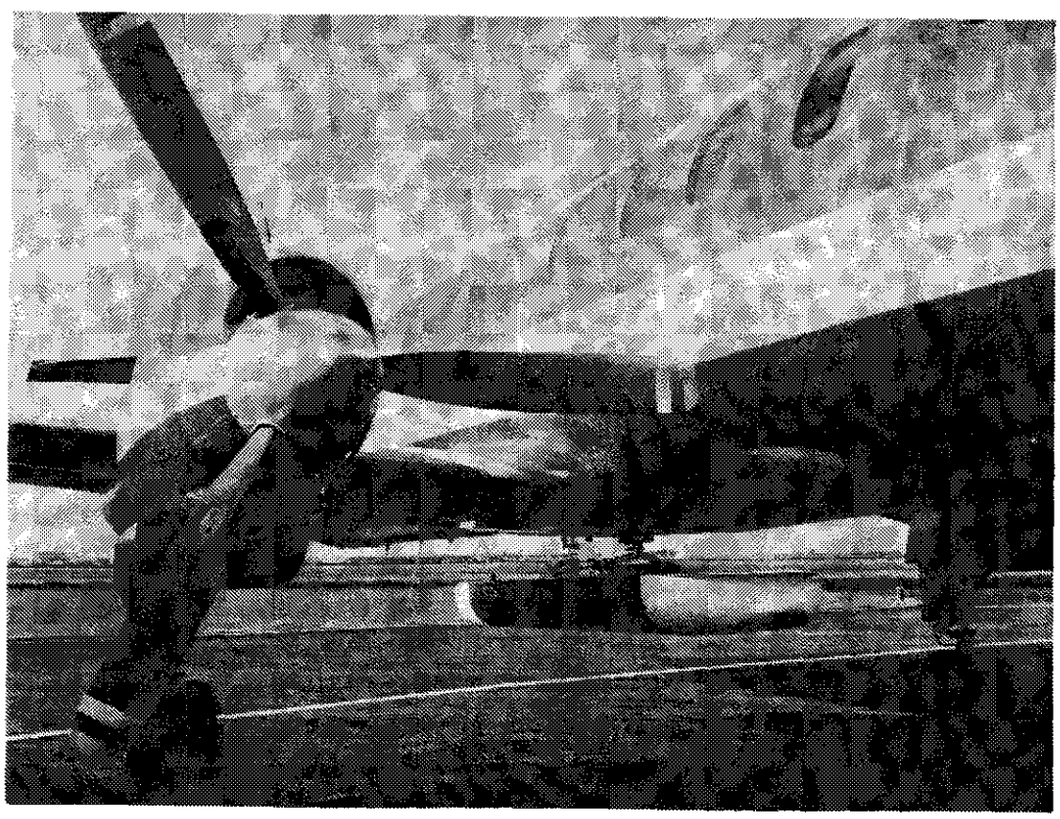


Fig. 3 Het NLR laboratoriumvliegtuig met SLAR antenne.

2.1. Opname`apparatuur

De radarbeelden zijn opgenomen met een SLAR (Side Looking Airborne Radar, fig. 3) X-band radar van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR), die uitzendt met een frequentie van 9,4 GHz (3 cm) en een HH-polarisatie (horizontaal uitzenden en ontvangen).
In 1983 zijn de doelgebieden vanuit 2 richtingen aangestraald: één vluchtlijn vanuit het noorden, de ander vanuit het zuiden gevlogen, op een hoogte van 2700 meter. Het doelgebied werd hierbij aangestraald onder hoeken tussen de 18° en 42° (fig. 4).
Naar aanleiding van de tegenvallende resultaten in 1983 zijn de gebieden in 1984 naast de wat steilere hoeken ook onder scherende hoeken opgenomen. Om dit te bereiken zijn de gebieden op twee hoogtes gevlogen. De noordelijke vluchtlijnen op 500 meter (de lage), de zuidelijke op 2700 meter (de hoge) met respectievelijk aanstraalhoeken van 5°-14° en van 22°-45°.
Dat het aantal geclassificeerde percelen op de beelden van 1983 in Groningen hoger is dan in 1984 ligt aan het feit dat het gevlogen gebied in 1983 wat langer was.

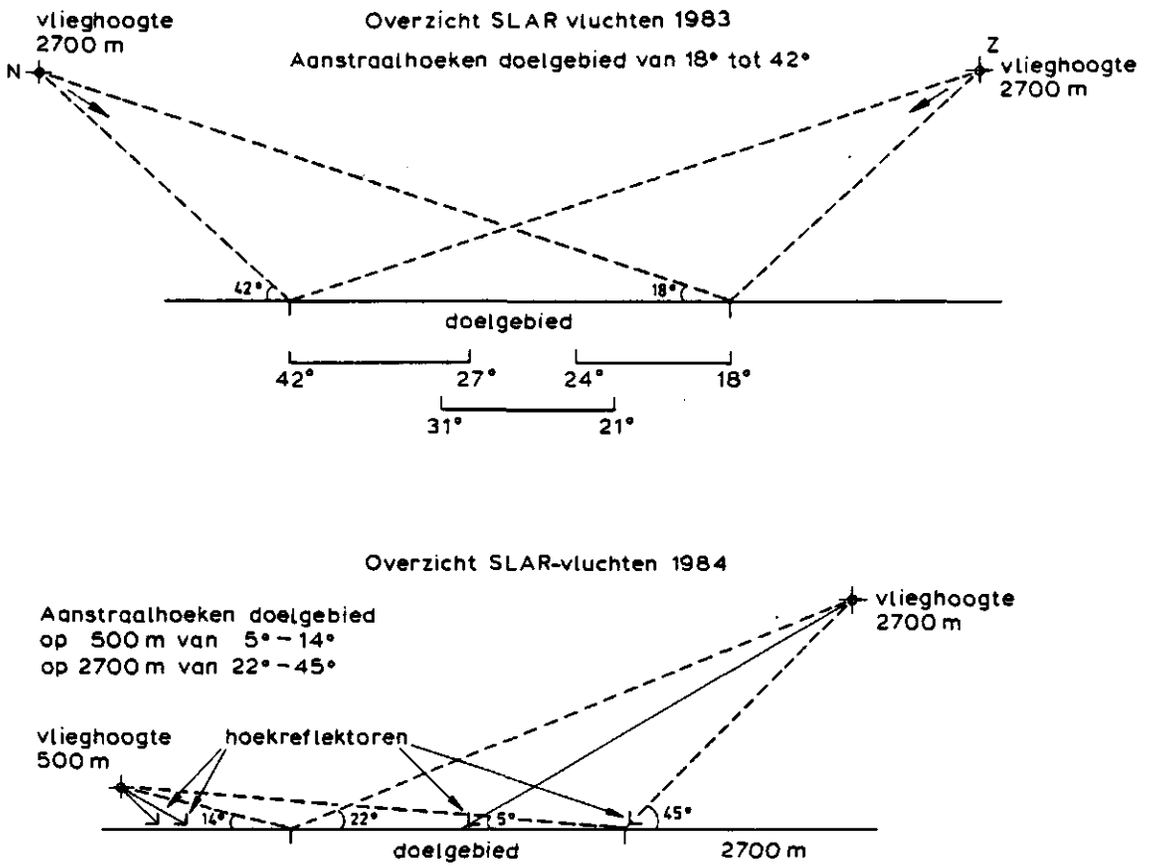


Fig. 4 Overzicht vluchten.

2.2. Keuze optimale vliegdata

De optimale vliegdata en inkijkhoeken werden gekozen aan de hand van in vorige jaren op proefvelden met de "grond"-radar verzamelde gegevens en vanuit vorige radarvluchten (ROVE databank). Ter illustratie worden de figuren 5 en 6 gegeven.
Uit fig. 5a blijkt dat de wintertarwe zich in mei goed onderscheidt van de aardappelen en de bieten: tarwe staat al boven de grond, terwijl de aardappelen- en bietenpercelen nog kaal zijn. In juni, een periode waarin de reflectiecurves elkaar kruisen, is geen onderscheid mogelijk. Na half juni zijn de bieten goed te onderscheiden van de andere gewassen, aardappelen en tarwe zijn vaak niet te herkennen, maar omdat de tarwepercelen al in mei herkenbaar waren, kunnen de aardappelpercelen toch worden geïndentificeerd.
Bij HH40, een steilere hoek (fig. 5b), wordt het onderscheid in mei moeilijker in vergelijking met HH15 (fig. 5a), maar vanaf eind juni zijn de drie gewassen goed van elkaar te onderscheiden. Hieruit werd de conclusie getrokken dat voor een optimale vroege classificatie er zo vroeg mogelijk in het seizoen in mei een vlucht moet plaatsvinden en een tweede eind juni. Is er niet zo vroeg mogelijk in het seizoen een volledige gewaskaart nodig, dan lijkt één steile vlucht in juli voldoende. Het tijdstip van de vlucht in juli moet dan afhangen van de inzaai- en pootdata van bieten en aardappelen. Bij een vroege inzaai kan één vlucht eind juni zelfs een goede classificatie geven.
Naar aanleiding van deze gegevens zijn de volgende vluchtdata bepaald.
In 1983 zijn de vluchten op twee verschillende tijdstippen uitgevoerd.
De eerste vlucht in het begin van het groeiseizoen (14 juni) is een maand uitgesteld in verband met de late inzaai ten gevolge van het natte voorjaar. De tweede vlucht werd midden in het seizoen uitgevoerd op 10 augustus.
In 1984 is er op drie tijdstippen gevlogen, namelijk op 10 mei, 26 juni en 19 juli.
Wat betreft de hoekkeuze (fig. 6) blijkt dat er rond de 15° een omslagpunt ligt. Boven de 15° is een goed contrast tussen de verschillende gewassen aanwezig. Bij hoeken beneden de 15° (scherende hoeken) wordt het onderscheid in het voorjaar wat moeilijk, met uitzondering van aardappelen. Wat later in het seizoen (juli) is onderscheid goed mogelijk.
In 1983 is gekozen voor de steilere hoeken en is het gebied opgenomen onder hoeken tussen de 18° en 42°.
In 1984 zijn ook de scherende hoeken meegenomen, de gebieden zijn toen aangestraald onder de hoeken 5°-14° en 22°-45°.

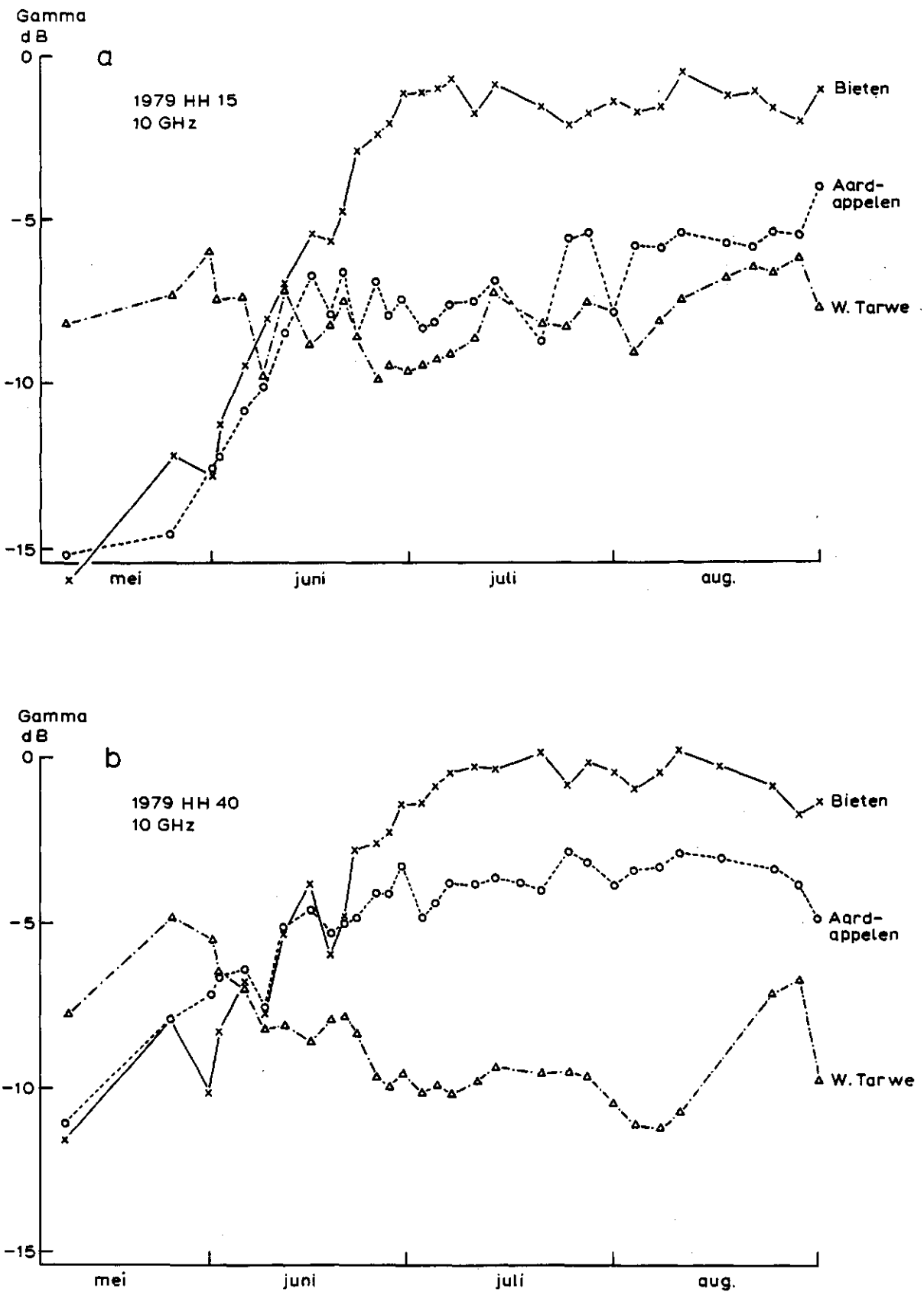


Fig. 5 De reflectiecoëfficienten van 3 gewassen in de loop van het groeiseizoen '79, bij een frequentie van 10 GHz en een HH-polarisatie bij 2 aanstraalhoeken (15 ° fig. 5a, 40 ° fig 5b).

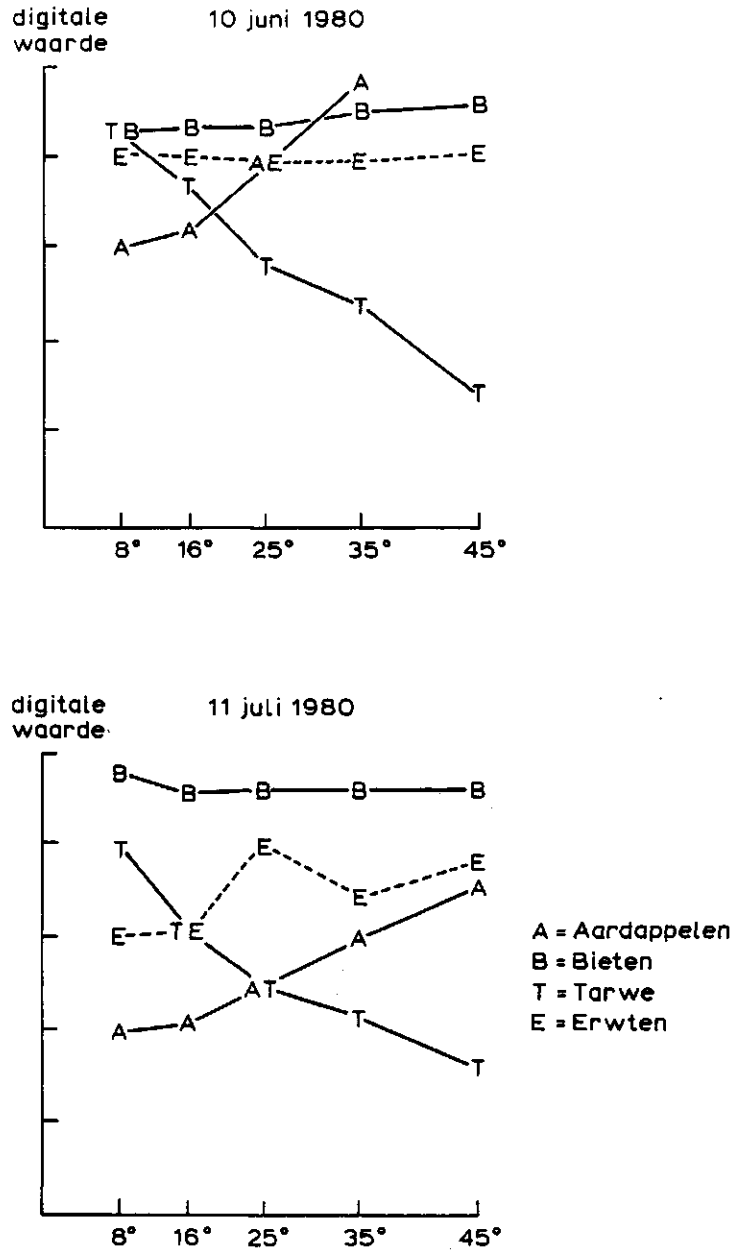


Fig. 6 De gedigitaliseerde reflectiewaarden van 4 gewassen op 2 vluchtdata, in relatie tot de aanstraalhoek.

2.3. Veldwaarnemingen

2.3.1 Gewassen

Om een indruk te geven van de mate van voorkomen van de verschillende gewassen in de vluchtgebieden is een inventarisatie gemaakt uit de gegevens van de meitellingen van 1983 en 1984 (Gegevens ontleend aan de rassenlijst 1984 en 1985).

Na vergelijking van de jaren 1983 en 1984 bleek dat deze onderling zo weinig verschilden dat presentatie van een gezamenlijke tabel een goede indicatie van de aanwezige gewassen geeft (tabel 1). De gebiedsoppervlakten waarover de inventarisatie heeft plaatsgevonden is als volgt: Zuiderzee-polders 91000 ha, N.W.-Brabant 31600 ha en N.-Groningen 36150 ha.

Tabel 1. Mate van voorkomen van de verschillende gewassen in procenten.

Gewas	Zuiderzeepolders %	N.W.-Brabant %	N.-Groningen %
Tarwe	27	29	39
Aardappelen	26	20	21
Bieten	22	17	15
Uien	6	3	-
Koolzaad	6	-	8
Gerst	5	5	9
Erwten	2	4	-
Graszaad	2	10	2
Haver	2	-	2
Maïs	1	7	1
Bonen	1	5	2
Karwij	-	-	1

Uit de tabel blijkt dat globaal 65-75 % van het landbouwareaal in de drie gebieden wordt ingenomen door de drie hoofdgewassen, tarwe, aardappelen en bieten. De andere 25 % betreft sterker gebiedsgebonden gewassen.

2.3.2 Stand van de gewassen

Voor een goede training sample keuze en voor de controle van de classificatie zijn van de zijde van CABO van de verschillende gewassen in de betreffende gebieden de stand, zaairichting, bedekking, hoogte en eventuele bijzonderheden zoals legering, regenval, enz. opgenomen.
De landbouwschappen verzorgden een gedeeltelijke gewasinventarisatie. Hieronder wordt de stand van de gewassen op de vluchtdagen beschreven.

Vluchten 1983

De bodem was tijdens beide vluchten droog.

Eerste vlucht, 14 juni 1983:

	Hoogte (cm)	Bedekking (%)	Opmerkingen
Bieten	0-10	0-3	90 % van de percelen is nog kaal, net ingezaaid; op enkele percelen zijn de bieten opgekomen. Een aantal van deze percelen is geschoffeld, de verslempte bovenlaag is losgetrokken.
Aardappelen	0-15	0-15	98 % van de percelen is nog kaal, de aardappelen zijn wel gepoot. De helft ervan is aangeaard, wat mooie rechte aardappelruggen van ongeveer 20 cm hoogte geeft. De andere helft moet nog aangeaard worden, of is in bewerking, de vorm van deze ruggen is veel ruwer. De hoogte is ongeveer 10 cm.
Winter tarwe	70-80	90-98	Aarsteellengte 0-15 cm. De plaats van de aar varieert van net zichtbaar onder de bladlaag, tot fors in de aar, boven het bladoppervlak uitstekend.
Zomer tarwe	40-80	50-70	Aarsteellengte 0-10 cm. Aar gelijk met bovenkant blad.
Koolzaad	80-110	100	Gewassen van in bloei tot uitgebloeid.
Karwij	100	100	Alle percelen staan in bloei.
Winter gerst	70-90	80-95	Kafnaalden ongeveer 6 cm lang.
Zomer gerst	3-60	5-60	Bij de hoogste gewassen zijn de puntjes van de kafnaalden net zichtbaar.
Gras	5-40	90-100	Komt in allerlei gradaties voor (lang, kort, beweid, gemaaid enz).
Maïs	3-5	3	

Tweede vlucht, 10 augustus 1983:

	Hoogte (cm)	Bedekking (%)	Opmerkingen
Bieten	35-50	90-100	
Aardappelen	50-70	70-100	
Winter tarwe en Zomer tarwe	90-110	80	Komt in verschillende vormen voor: nog staande op het veld (geel), gedorst met het stro op wiersen en als kaal stoppelland, wel of niet geëgd.
Koolzaad	-	-	Stoppelland dat soms al geëgd is.
Karwij			Geoogst (geploegd land).
Winter gerst	80-100	70	Van staande op het veld (geel) tot geploegd land (zie W. en Z. tarwe).
Zomer gerst	80-100	70-80	Van een groen gewas tot gedorst.
Gras			Zie eerste vlucht.
Maïs	100-120	60-85	

Vluchten 1984

Tussen de gewassen in de drie gebieden zit onderling, op een enkele uitzondering na, weinig verschil. Daarom wordt een gemeenschappelijke gewasbeschrijving gegeven voor alle gebieden, op de drie vluchtdata.
In de vochttoestand van de toplaag zitten echter wel onderlinge verschillen:

Vlucht	Oostelijk Flevoland	Groningen	Brabant
1	droog	droog*	droog
2	droog tot vochtig	vochtig tot nat	droog tot nat**
3	nat	vochtig	vochtig tot nat

* lokaal in het vluchtgebied zijn de percelen nat;
** kale grond droog, begroeide bodems iets vlekkerig nat.

Eerste vlucht, 10 mei 1984:

	Hoogte (cm)	Bedekking (%)	Opmerkingen
Bieten	0-4	0-3	Een aantal percelen is al geschoffeld, de verslempte bovenlaag is verbrokkeld.
Aardappelen	-	-	De helft van de percelen is aangeaard, de andere helft heeft nog een ruw pootbed.
Winter tarwe	15-50	30-70	
Koolzaad	70-80	90	Begin bloei.
Karwij	90	90-100	Gewassen bloeien.
Zomer gerst	10	6	
Gras	5-40	100	Komt in alle groeistadia voor.
Haver	7	4	
Erwten	4-6	5-10	
Uien	15	5	

Tweede vlucht, 26 juni 1984:

	Hoogte (cm)	Bedekking (%)	Opmerkingen
Bieten	30-40	50-90	In O. Flevoland zijn de bieten wat verder uitgegroeid, hoogte 40 cm: bedekking 90-100 %.
Aardappelen	50-70	70-100	
Winter Tarwe	90-100	80-90	Aren volledig uit.
Koolzaad	70-110	100	Op sommige percelen wat gelegerd.
Karwij	90	100	
Zomer gerst	90	90-100	Aren hangen.
Gras	5-40	90-100	Zie eerste vlucht.
Haver	100	80-90	Pluim vormt het hoogste punt.
Erwten	40	100	
Uien	25-30	15	

Derde vlucht, 19 juli 1984:

	Hoogte (cm)	Bedekking (%)	Opmerkingen
Bieten	±50	90-100	
Aardappelen	50-70	100	
Winter Tarwe	90-100	90	
Koolzaad	60-100	100	Plaatselijk wat legerplekjes.
Karwij	90	100	
Zomer gerst	80-100	90	
Gras	5-40	100	Zie eerste vlucht.
Haver	100-105	90	
Erwten	50	100	Forse peulen aan het gewas.
Uien	25-40	30	
Bonen	0-25	0-65	Bonen worden vaak als tweede gewas gezaaid, na eind juni, en komen dus in allerlei groeistadia voor.

2.3.3 De gevlogen gebieden

Qua variatie in grootte en ligging van de percelen is N.-Groningen vergelijkbaar met N.W.-Brabant. In beide gebieden liggen zowel kleine, tot 50 m brede, als grotere tot 250 m brede percelen. Ook qua ligging en vorm is er veel variatie. Brabant onderscheidt zich van Groningen door de aanwezigheid van nogal wat dijken, die kriskras door het gebied lopen.
Een nadeel hiervan is, dat de strook land achter de dijk door de "schuinkijkende" radar niet wordt aangestraald. Vooral lage vluchten die evenwijdig aan een dijk gevlogen zijn, geven verstoringen tot 70 meter achter die dijk.

3. Verwerking

De verwerking van de radargegevens is in drie fasen onder te verdelen: Voorverwerking, classificatie en het intekenen van de veldgrenzen op de beelden. Na een behandeling van elk der fasen wordt het resultaat van de verwerking gepresenteerd.

3.1. Voorverwerking

Om de afzonderlijke vluchtlijnen bij de classificatie met elkaar te kunnen vergelijken en om een goed uitgangsbeeld te hebben voor classificatie, zijn verschillende voorbewerkingen noodzakelijk (fig. 7).
De op magneetband opgenomen beelden zijn bij het NLR geometrisch en radiometrisch gecorrigeerd op vliegbewegingen en antennepatroon, de zogenaamde PARES-bewerkingen (Preprocessing of Airborne Remote Sensing data: Hoogeboom, 1984).
Daarna zijn de beelden van de verschillende vluchten en vliegtijdstippen op elkaar passend gemaakt (geregistreerd), een bestaande routine die op het NLR uitgevoerd wordt. Deze voorverwerkingen zijn voor beide jaren gelijk, de verdere bewerkingen verschillen tussen beide jaren.
Bij de vluchten van 1983 zijn de voorbewerkte beelden gefilterd door een mediaan filter, wat een vermindering van de spreiding in het beeld te zien geeft. In 1984 volgt op de voorverwerking het segmentatieprogramma door middel van "split and merge", een programma dat gelijkwaardige pixels (beeldpunten) tot segmenten formeert en zo tot blokjes of blokken van dezelfde densiteit (kleurintensiteit; Van Leeuwen, 1984).
Op de nu ontstane "ruwe beelden", waarop de afzonderlijke percelen goed te herkennen zijn, kunnen de verschillende classificaties uitgevoerd worden.

3.2. Classificatie

De vluchten van 1983 en 1984 zijn volgens drie verschillende methoden geclassificeerd op het Remote Sensing Data verwerkingssysteem (RESEDA) bij het NLR:
- Maximum likelihood classificatie (1983);
- visuele interpretatie van kleurcomposiet (1984);
- de interactieve classificatie (1984).

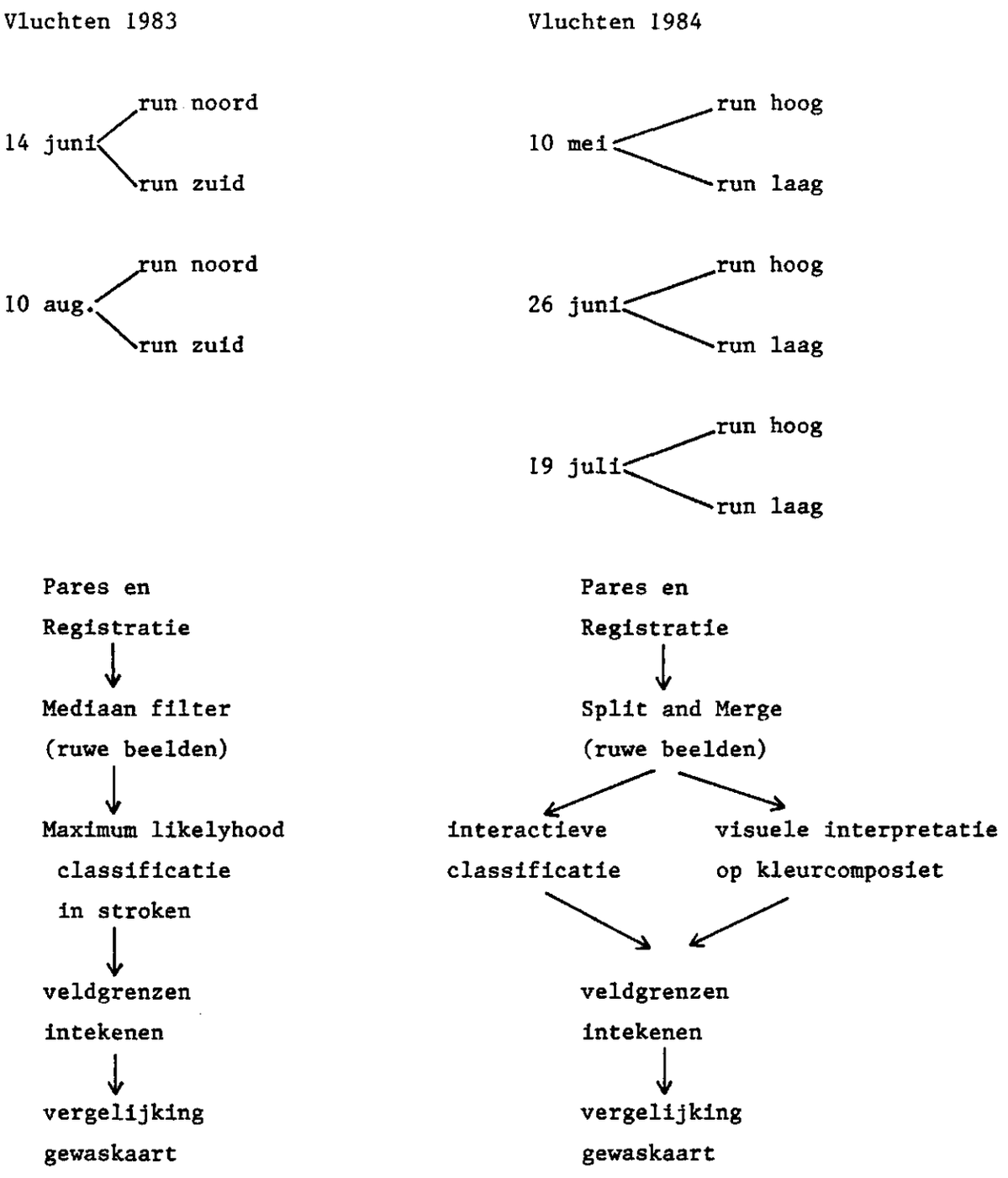


Fig. 7. De verschillende bewerkingen in chronologische volgorde.

3.2.1 "Maximum likelihood" classificatie

Bij de "Maximum likelihood" methode kan een classificatie uitgevoerd worden met een willekeurig aantal runs. Bij Groningen 1983 is dit gedaan met behulp van alle vier de runs. Nadat de ruwe beelden over elkaar geprojecteerd zijn, worden uit dit beeld (zichtbaar op het beeldscherm) een aantal percelen aangewezen waarvan de gewassoort bekend is, de zogenaamde "training samples" ongeveer 6 per gewas.
Van deze "training samples" wordt statistisch het reflectieniveau van elk gewas in elke gebruikte run bepaald. Aan de hand van de statistiek van deze reflecties kan nagegaan worden wat de bijdrage is van elke run aan het classificatieresultaat. Tevens is zichtbaar wat de spreiding van een bepaald gewas binnen de "training samples" is.
Nadat het reflectieniveau van de "training samples" bekend is, volgt de classificatie en worden over het beeld beeldpunten (pixels) met gelijke reflectie geselecteerd. Beeldpunten met een zelfde reflectie krijgen een zelfde kleur toegewezen. Ongeclassificeerde beeldelementen worden als zwart weergegeven. Een moeilijkheid bij deze classificaties is dat perceelsgrenzen moeilijk terug te vinden zijn, ze zijn hoekig en grillig van vorm.
Het resultaat wordt weergegeven op een polaroid foto (20 x 25 cm), een diapositief of op een dia. Hierna worden de beelden vergeleken met de gewaskaart.

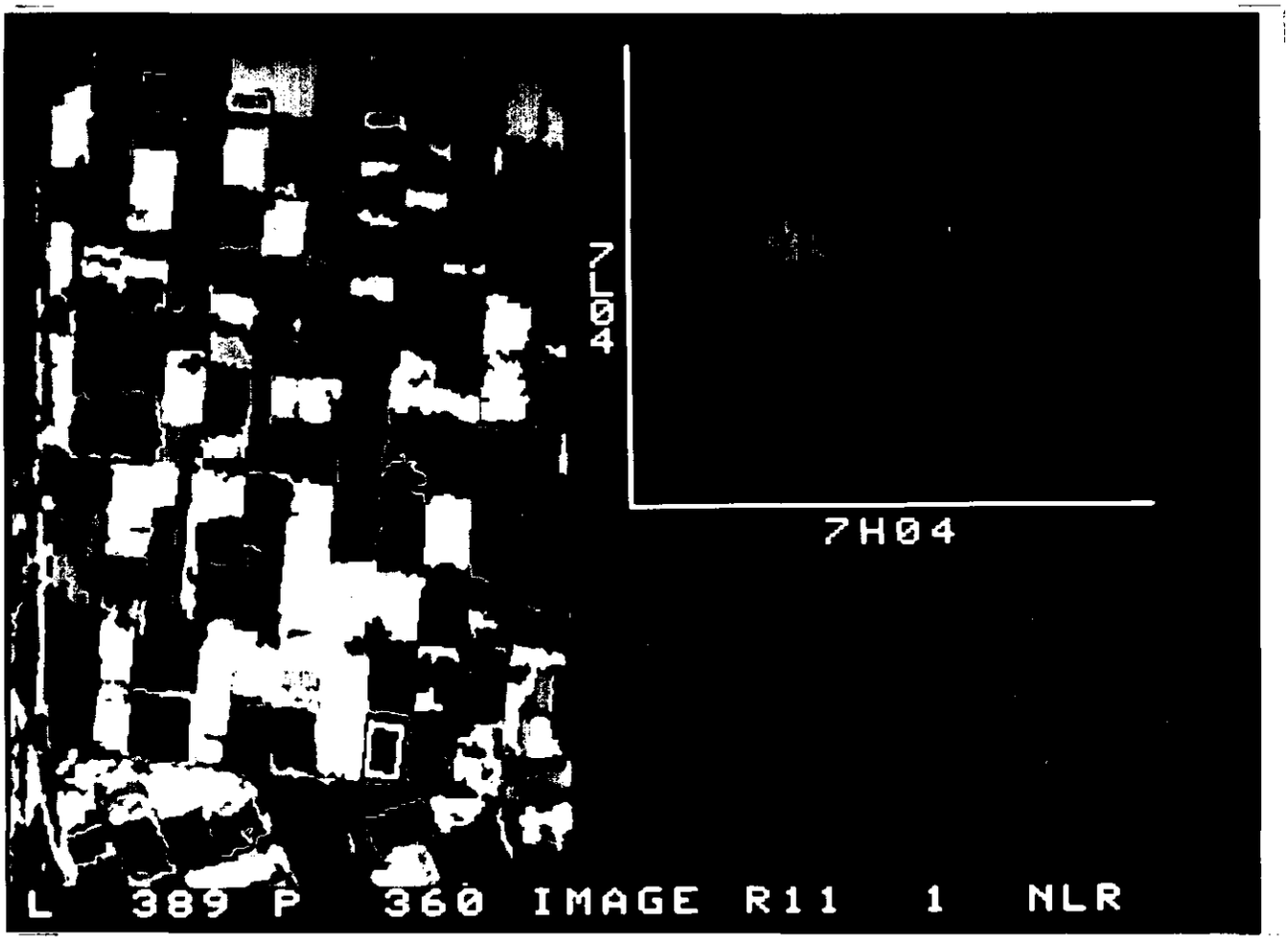
3.2.2 Visuele interpretatie van kleurcomposiet

Deze visuele interpretatie wordt uitgevoerd vanaf een kleurcomposiet.
Deze ontstaat door de "ruwe beelden" van 2 of 3 runs over elkaar te projecteren. Door de beelden van elke run een andere kleur te geven, ontstaat een beeld met mengkleuren (het is dus geen echte classificatie). Percelen komen op deze beelden niet zo hoekig en grillig over als op een geclassificeerd beeld, de grenzen tussen de percelen zijn duidelijk zichtbaar. De beoordeling van een kleurcomposiet gebeurt visueel. Enkele percelen waarvan de gewassoort bekend is, worden aangewezen als trainingsgebied. De rest van de percelen op het beeld wordt hiermee vergeleken.

3.2.3 De interactieve classificatie

De interactieve classificatie ook wel "snelle-doosjes"-classificatie genoemd, werkt volgens het principe van de "parallellepipidum-procedure".
Bij deze classificatiemethode kunnen slechts twee beelden tegelijkertijd met elkaar vergeleken worden.

Het resultaat van een classificatie kan opnieuw vergeleken worden met een andere run.
De ruwe beelden van twee runs worden over elkaar op het beeldscherm van het verwerkingssysteem geprojekteerd. Door aanwijzingen van een punt in een perceel lichten alle punten met dezelfde densiteit op in de rest van het beeld en op één punt in het naast geprojecteerde scatter diagram. Andersom lichten alle punten met dezelfde densiteit op in beeld door een punt in het diagram aan te wijzen (fig. 8).



Geel	= Tarwe	Lichtblauw	= Bonen
Rood	= Aardappelen	Donkerblauw	= Blauwmaanzaad
Groen	= Bieten	Lichtbruin	= Uien

Fig. 8 Voorbeeld van een interactieve classificatie op basis van de beelden van O. Flevoland (juli laag x juli hoog).

De densiteiten van het ene beeld komen op de x-as, die van het andere op de y-as. Door aanwijzing van meerdere punten binnen een perceel zal er een cluster van punten in het diagram ontstaan. Hoe groter deze cluster, hoe groter de spreiding binnen de gewassoort. In feite is dit te vergelijken met de statistiek van de MLC, maar er komen bij deze methode geen getallen vrij. Door voor elke gewassoort een andere kleur te kiezen, ontstaat een kleurenbeeld dat nadien vergeleken kan worden met de gewaskaart.
Door deze flexibele verwerkingsmethode is direct te zien wanneer een bepaald gewas verward wordt met een ander. Foutieve beslissingen kunnen direct gecorrigeerd worden. Een voorbeeld van een classificatie via de interactieve methode inclusief de bijbehorende gewassenkaart is in het verslag opgenomen (fig. 9a en b).

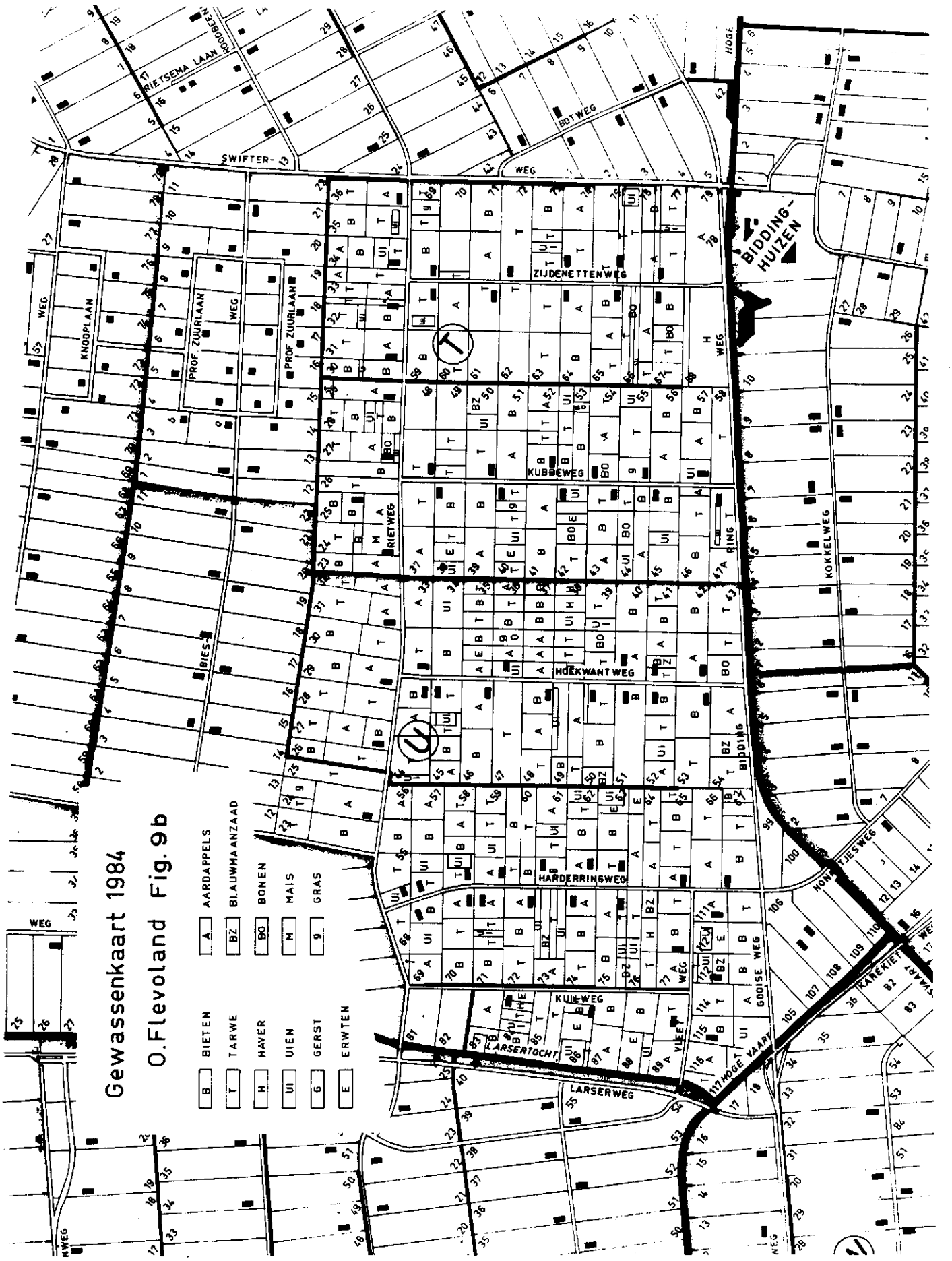
Uit het diagram (fig. 8), waarin de juli lage vlucht (7LO4) is uitgezet tegen de juli hoge vlucht (7HO4), blijkt dat bij de lage vlucht alleen tarwe, aardappelen en bonen te onderscheiden zijn.
Bij de hoge vlucht tarwe, aardappelen en bieten. Aardappelen, uien en blauwmaanzaad zijn niet uit elkaar te houden. Maar omdat aardappelen bij de lage vlucht al herkend is, ontstaan er alleen herkenningsproblemen bij uien en blauwmaanzaad.

3.3. Het intekenen van de veldgrenzen in de beelden

Nadat het beeld geclassificeerd is moeten de perceelsgrenzen op het beeld ingetekend worden, voordat met de beoordeling van de classificatie begonnen kan worden.
Er is gepoogd om via de computer automatisch de perceelgrenzen vanaf een stafkaart in het beeld te projecteren, maar dit stuitte op nogal wat bezwaren. Hoewel de beelden met PARES bewerkt zijn, zit er nog wel enige vertekening in. Daardoor zijn op de geclassificeerde beelden van 1983 deze grenzen met de hand ingetekend, wat een enorm tijdrovend karwei is. Daarbij ontstaan veel fouten, met name doordat veel percelen grillig van vorm zijn.
In 1984 is deze grenzenproblematiek op een andere wijze aangepakt. Omdat op de ruwe beelden de perceelsgrenzen beter zijn te herkennen dan op de geclassificeerde beelden, is hiervanaf eerst een grenzenkaart getekend op glasheldere film. Door nu alle geclassificeerde beelden op dezelfde schaal te maken (deze is nauwkeurig in te stellen op het verwerkingssysteem) kan de grenzenkaart er overheen gelegd worden. Hierna volgt de vergelijking met de gewassenkaart.



Fig. 9a Een classificatie van O. Flevoland (tabel 7) volgens de interactieve methode op basis van de beelden van mei laag x mei hoog en juli laag x juli hoog.


Gewassenkaart 1984
O.Flevoland Fig. 9b
A AARDAPPELS
BZ BLAUWMAANZAAD
BO BONEN
M MAIS
9 GRAS
B BIETEN
T TARWE
H HAVER
UI UIEN
G GERST
E ERWTEN
RIETSEMA LAAN
SWIFTER-
WEG
BOTWEG
HOGE
BIDDING-
HUIZEN
ZIJDENETTENWEG
KNOOPLAAN
PROF ZUURLAAN
KUBBEWEG
RIETWEG
RING T
KOKKELWEG
HOEKWANTWEG
BIDDING
HARDERRINGWEG
NONNETJESWEG
KUILWEG
GOOISE WEG
KAREKIET
LARSERTOCHT
LARSERWEG
HOGE VAART
VLEET

3.4. Beeldverwerking

3.4.1 Classificatiecriterium

Uit de geclassificeerde beelden blijkt dat binnen een perceel vaak meerdere kleuren zichtbaar zijn. Dit zou moeten wijzen op meerdere gewassen per perceel, terwijl er in werkelijkheid slechts sprake was van één enkele, waardoor de altijd optredende spreiding overlapt met die van een ander gewas en als dat gewas is geclassificeerd. Ook is mogelijk dat het perceel qua gewasstand zo onregelmatig is dat stukken van het perceel als ongeclassificeerd gekenmerkt worden. Vooraf is de afspraak gemaakt, dat een perceel aan een gewas wordt toegekend, indien ≥ 75 % van het perceeloppervlak met de classificatie dezelfde kleur heeft gekregen. Bij een lager percentage wordt het als ongeclassificeerd gekenmerkt.

3.4.2 Hoekafhankelijkheid

De radarreflectie van een gewas wordt mede bepaald door de hoek waaronder het gewas wordt aangestraald. Elk gewas heeft zo een karakteristiek hoekafhankelijkheidsverloop. Fig. 6 toont dat dit verloop bij aardappelen en tarwe aanzienlijk is, terwijl de bietencurve vrijwel horizontaal loopt.
In de beelden van 1983, waarbij het aangestraalde gebied 4 km breed is met hoeken tussen de 18° en 42°, gevlogen op één hoogte, trad een aanzienlijk hoekverloop op. Om problemen bij de classificatie te voorkomen, is het gebied in de vliegrichting in drie stroken verdeeld van ongeveer 1300 m breed. Op elke strook is een afzonderlijke classificatie uitgevoerd, nadien zijn deze stroken tot één beeld samengevoegd. In 1984 bleek een dergelijke aanpak niet nodig. De te classificeren gebieden werden van twee verschillende hoogtes aangestraald onder hoeken van 22°-45° en van 5°-14° (fig. 4). Classificatie vond daarna plaats op basis van de gecombineerde beelden.

3.4.3 Densiteit van de training samples

In fig. 10a,b en 11a, b en c zijn per gewas en per vluchtlijn de gemiddelde reflectiewaarden in de vorm van mediaan gefilterde densiteitswaarden van de "training samples" met hun spreiding uitgezet.
Uit deze densiteitswaarden is na te gaan uit welke vluchtlijncombinaties de beste classificatieresultaten te verwachten zijn. Tevens geven de figuren inzicht in de variabiliteit binnen de "training samples" van een gewas, een goede controle op de "training sample" keuze.

Fig. 10a en b toont de densiteitswaarden van de Groningen vlucht 1983. Per track zijn de mediaan gefilterde densiteitswaarden van de drie stroken uitgezet. Aangegeven is onder welke aanstraalhoeken de betreffende stroken liggen. Uit de met de aanstraalhoeken oplopende waarden in de diagrammen, blijkt het hoekafhankelijkheidsverloop over het beeld. Omdat op de ruwe beelden van 1983 de perceelsgrenzen moeilijk waren te identificeren, hebben we ons qua "training sample" keuze voor de classificatie beperkt tot de drie hoofdgewassen en koolzaad. Deze percelen waren voldoende groot qua oppervlakte en aantal om een betrouwbare keuze te doen.
De grenzen op de beelden van 1984 zijn veel scherper en duidelijker te onderscheiden. Bij de verwerking van deze beelden zijn meer gewassen in de classificatie opgenomen.

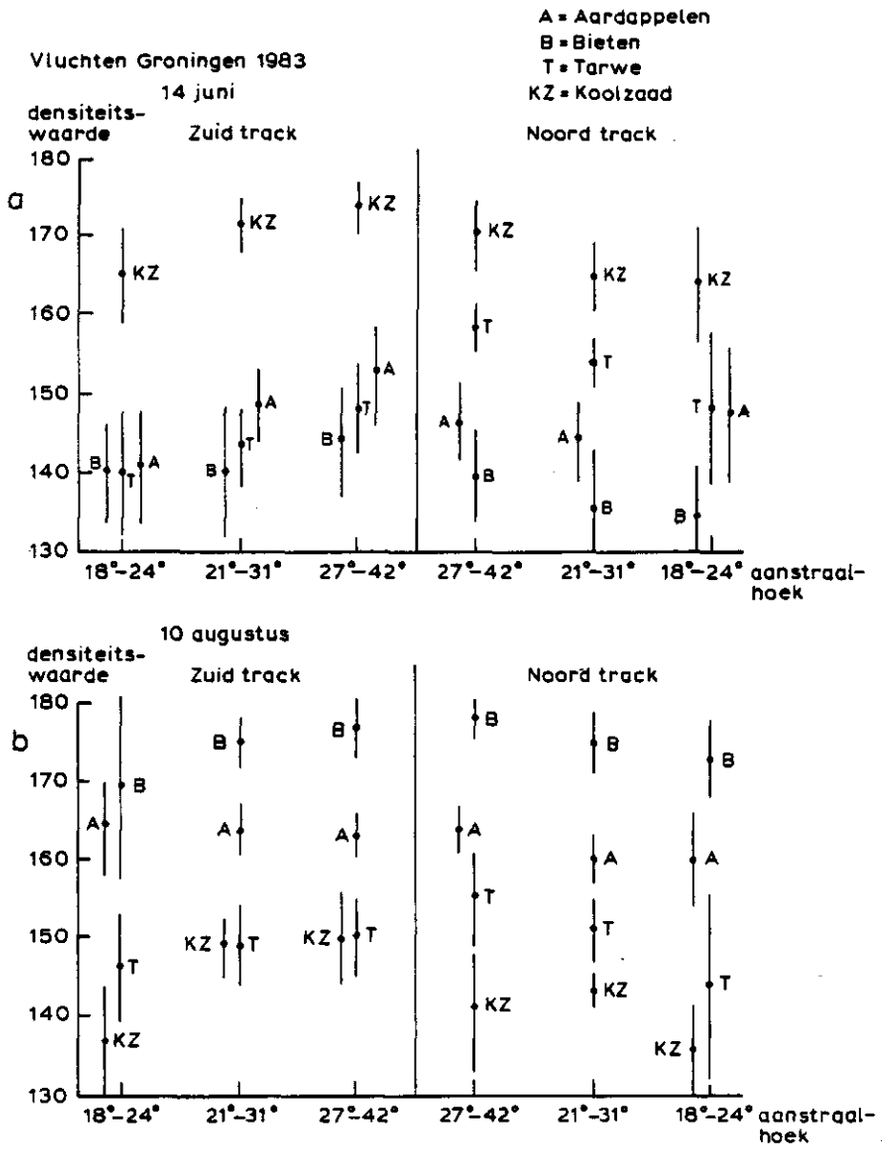


Fig. 10 Gemiddelde mediaan gefilterde densiteitswaarde van de "trainings samples" met hun spreiding in relatie tot de aanstraalhoek, de kijkrichting en de vliegdatum.

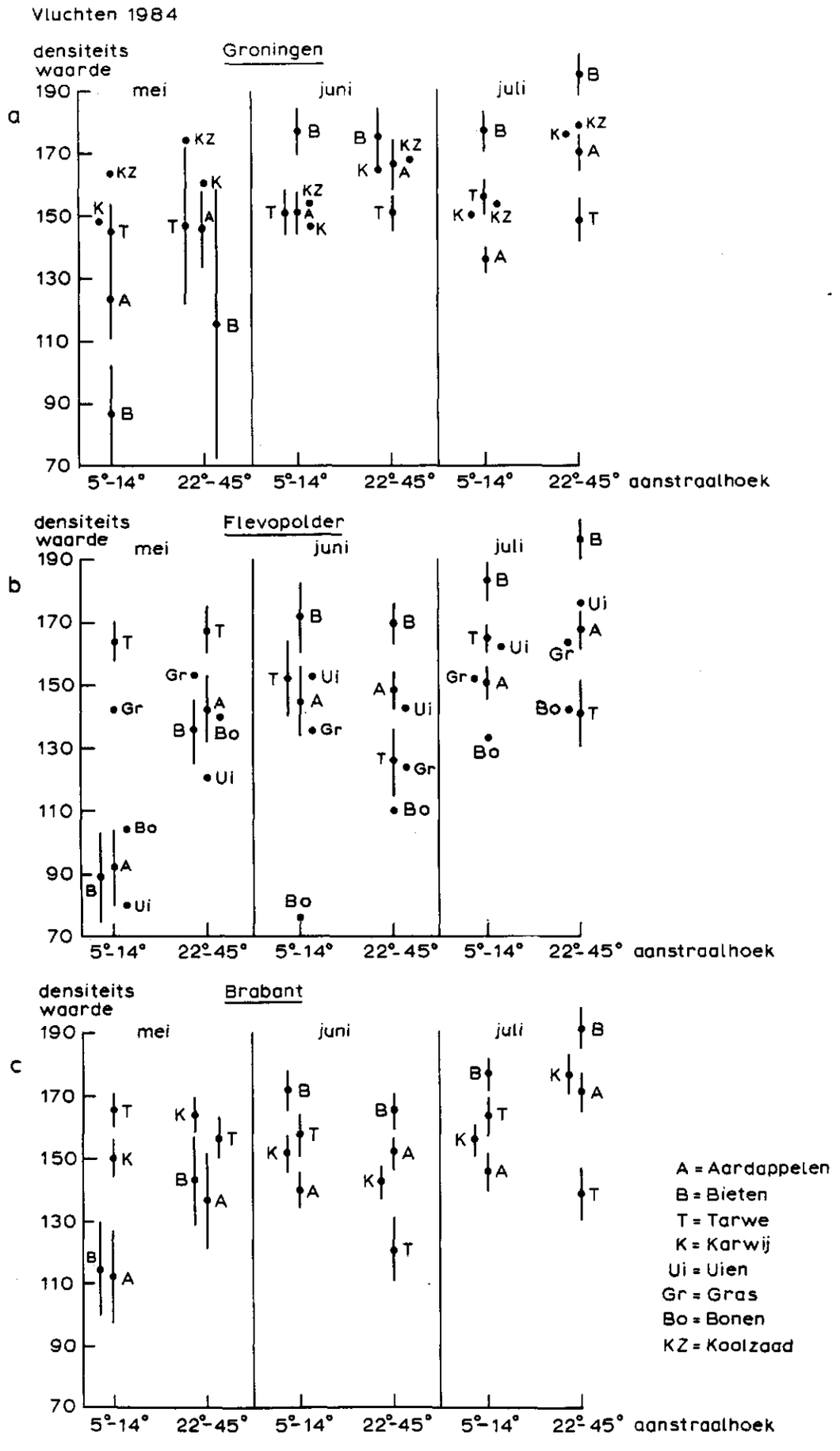


Fig. 11 Gemiddelde desiteitswaarde van de "trainings samples" met hun spreiding in relatie tot de aanstraalhoek, de kijkrichting en de vliegdatum.

Uit de junibeelden blijkt dat alleen koolzaad zich goed laat onderscheiden. De densiteiten van aardappelen, bieten en tarwe liggen te dicht bij elkaar, waarbij de noordelijke vluchtlijn iets meer mogelijkheid biedt dan de zuidelijke vluchtlijn. De tarwe, die volgens fig. 5 in het voorjaar een veel hogere radarreflectie heeft dan aardappel- en bietenvelden, is bij deze vluchten nauwelijks te identificeren, uitgezonderd in de noordelijke vluchtlijn (21°-42°). De oorzaak moet gezocht worden in het uitgestelde vluchttijdstip in verband met het late inzaaien en poten van bieten en aardappelen. De wintertarwe, gezaaid in het najaar, is in juni in een stadium waarop de curves in de grafiek (fig. 5) elkaar kruisen. Op de augustusbeelden onderscheiden de aardappelen zich goed van de bieten en van tarwe en koolzaad, vooral in de noordelijke vluchtlijn. De vermenging van tarwe en koolzaad levert geen problemen op, deze zijn in de junivlucht al te scheiden.
De conclusie is dat voor een optimaal resultaat alle vier vluchtlijnen in de classificatie betrokken moeten worden.

De gehanteerde verwerkingsmethode voor de beelden van de vluchten uit 1984, de interactieve classificatie (3.2.3), geeft geen statistische gegevens. Om vooraf een indruk te krijgen over de kwaliteit van de gevlogen vluchtlijnen en om de gebieden onderling te kunnen vergelijken, is van enkele percelen per gewas de statistiek bepaald als bij de beelden uit 1983 (fig. 11a, b en c).
In de diagrammen zijn de gegevens per vluchtlijn weergegeven. De hoeken 5°-14° staan voor de laag gevlogen vluchtlijnen, die van 22°-45° voor de hoge (fig. 4). Om de figuren overzichtelijk te houden zijn alleen bij de hoofdgewassen aardappelen, bieten en tarwe spreidingen gegeven.
Bij enkele vluchtlijnen werd de automatische segmentatie van de beelden ernstig bemoeilijkt door hun streperig karakter, waarschijnlijk ontstaan door problemen in de registratie tijdens de opname. Deze vluchtlijnen zijn dan ook niet in de classificatie meegenomen. Het betreft de hoge meivlucht en de lage junivlucht in Groningen, de hoge en lage junivlucht in de Flevopolder en de lage junivlucht in Brabant. Van deze vluchtlijnen is de statistiek wel bepaald om de precisie van de "training samples" na te gaan.
De diagrammen van de vluchten in Groningen 1984 (fig. 11a) tonen in tegenstelling tot die van 1983, dat in mei de tarwe wel goed is te scheiden van aardappelen en bieten. Dat de aardappelen en de bieten op dit tijdstip al te scheiden zijn is niet volgens verwachting, omdat in mei de betreffende percelen nog kaal zijn.

Een verklaring kan het verschil in bodemoppervlak zijn: bij aardappelen de ruggenstructuur ten opzichte van het gladde zaaibed bij de bietenpercelen. Aan de grote spreidingen rond de bieten en tarwe bij de hoge vlucht in mei is te zien dat er iets mis is (de streperigheid op betreffende beelden).
In de junibeelden scheiden bieten zich al redelijk af van de andere gewassen. Aan de trainingsgewassen is niet waar te nemen dat hier sprake is van een matige beeldkwaliteit.
In de julibeelden zien we dat zowel bij de lage als bij de hoge hoeken aardappelen, bieten en tarwe geen overlappende spreiding laten zien. Karwij, koolzaad, ui en gras vertroebelen het beeld in juli, maar door combinatie van hoog en laag of combinatie van tijdstippen ontstaat toch voor vrijwel elk gewas een aparte cluster.
Bij de lage hoeken in juli (en juni) geven aardappelen de laagste reflectie, terwijl bij de hoge hoeken tarwe de laagste reflectie geeft. Dit patroon komt overeen met dat van vroegere SLAR-vluchten (fig. 6).
In vergelijking met Groningen, waar in mei aardappelen en bieten al te scheiden blijken, is de tendens in de Flevopolder (fig. 11b) die uit vorige jaren: De gewassen die niet of nauwelijks boven de grond zijn scheiden zich goed van de meer ontwikkelde gewassen, zoals tarwe en gras.
De junibeelden zijn van slechte kwaliteit, alhoewel bij de hoge vlucht de "training sample" gewassen goed te onderscheiden zijn. De julibeelden geven hetzelfde beeld te zien als bij de Groningen vlucht.
De beelden uit Brabant (fig. 11c) verschillen niet wezenlijk van die uit Groningen en de Flevopolder voor wat de densiteit van de "training samples" en hun spreiding betreft.

Samenvattend kunnen dan ook de volgende conclusies getrokken worden:
De lage vluchten in mei geven in alle gebieden een goed onderscheid tussen tarwe en koolzaad ten opzichte van aardappelen en bieten, die niet van elkaar te scheiden zijn. De hoge vluchten in mei vertonen wel dezelfde tendens, maar de gewassen liggen hier qua densiteit veel dichter bij elkaar. Combineren we deze meivlucht met de hoge vluchten in juni dan blijkt dat in Brabant alle gewassen te scheiden zijn, maar de combinatie met de hoge junivlucht in Groningen laat te wensen over.

Alhoewel de hoge junivlucht in Oostelijk-Flevoland niet meegenomen is in de classificatie, blijkt toch dat hier een goed onderscheid tussen de gewassen aanwezig is. De julivluchten geven zowel bij de lage als de hoge een goed onderscheid tussen alle hoofdgewassen. Bij de andere gewassen, zoals karwij, koolzaad, uien, gras en bonen, die niet steeds in elk gebied voorkomen, varieert de mogelijkheid tot herkenning. Voor de hoofdgewassen aardappelen, bieten en tarwe is in principe één vlucht voldoende om tot een goede classificatie te komen, één hoge of lage julivlucht.
Een andere mogelijkheid vormt de combinatie van een lage meivlucht met een hoge junivlucht. Dan kunnen ook bepaalde bijgewassen meegeclassificeerd worden. Om tot een totale gewasclassificatie te komen blijkt dat naarmate het aantal vluchtlijnen opgevoerd wordt, het classificatieresultaat verbetert.
De meeste classificaties zijn dan ook uitgevoerd met het maximale aantal beschikbare vluchtlijnen met goede beeldregistratie.
Omdat de classificatie van Groningen 1984 niet het gewenste resultaat opleverde, is hier nog een afzonderlijke classificatie met alleen de julivluchten uitgevoerd.
Naast deze classificaties zijn van alle gebieden uit 1984 visuele interpretaties van de kleurcomposieten gemaakt. Hiervoor zijn in alle gebieden de lage vluchten van mei en juli gebruikt.

3.4.4 Uitgevoerde classificaties

Een overzicht van alle uitgevoerde classificaties wordt in tabel 2 gegeven, waarin vooruitlopend op de bespreking van de resultaten ook een vergelijking van de betrouwbaarheid wordt gegeven.

Tabel 2. Een overzicht van de uitgevoerde classificaties met een indicatie van de gehanteerde methodieken en van de gebruikte vluchtlijncombinaties en een vergelijking van de betrouwbaarheid van de resultaten.

vlucht	methodiek	vluchtlijncombinaties	betrouw-baarheids-percentage	tabel nummer
Groningen 1983	max. likelihood	juni Z x juni N x aug. Z x aug. N	76	3
Groningen 1984	interactieve classificatie	(juli L x juli H) (juni H)(mei L)	71	4
Groningen 1984	interactieve classificatie	juli L x juli H	83	5
Groningen 1984	visuele inter-pretatie	kleurcomposiet ont-staan uit: mei L en juli L	84	6
O. Flevoland 1984	interactieve classificatie	(mei L x mei H) (juli L x juli H)	79	7
O. Flevoland 1984	visuele inter-pretatie	kleurcomposiet ont-staan uit: mei L en juli L	86	8
Brabant 1984	interactieve classificatie	(mei L x mei H)(juni H) (juli L x juli H)	76	9
Brabant 1984	visuele inter-pretatie	kleurcomposiet ont-staan uit: mei L en juli L	77	10

3.4.5 Presentatie classificatieresultaten

Na de classificatie (of interpretatie) zijn de ontstane beelden vergeleken met de gewaskaart (zie voorbeeld fig. 9b). De resultaten hiervan zijn weergegeven in de tabellen 3 tot en met 10.
Op de diagonaal van de tabellen staat het aantal goed geclassificeerde percelen (de omlijnde getallen). Deze kunnen we in percentages uitdrukken door ze te vergelijken met het aantal percelen op de gewaskaart of met het aantal percelen op het geclassificeerde beeld.

De resultaten hiervan worden in het onderste deel van elke tabel gepresenteerd, per gewas afzonderlijk zowel als het totale gemiddelde. Links van de diagonaal staan de aantallen velden die niet tot de klasse behoren waarin ze zijn ingedeeld. Rechts van de diagonaal staan de aantallen velden die anders geclassificeerd zijn dan de gewaskaart aangeeft.

4. Classificatieresultaten

Gezien de resultaten kan de maximum likelihood classificatie van het proefterrein in Groningen (tabel 3) niet op erg gunstige resultaten bogen, de gemiddelde nauwkeurigheid is 76 %. Aardappelen en bieten geven het beste resultaat, met respectievelijk 88 % en 94 % nauwkeurigheid. Door het ontbreken van een goede perceelsgrenzenkaart was het moeilijk de percelering goed in het geclassificeerde beeld te zetten. Hierdoor zijn veel misclassificaties ontstaan. Veel tarwepercelen worden toegewezen aan aardappelen. De oorzaak hiervan is het uitgestelde vliegtijdstip naar 14 juni, de wintertarwe is dan al te ver doorgegroeid. Dat vrij veel tarwepercelen als ongeclassificeerd worden gekenmerkt ligt aan het feit dat tarwepercelen in augustus (te late vlucht) in veel vormen voorkomen, van nog staande op het veld tot kaal stoppelland (zie 2.3.).
Verklaarbaar is dat gerst en haver, graangewassen die niet in de classificatie meegenomen zijn, grotendeels worden gerangschikt onder tarwe. Gras, dat in veel groeistadia voorkomt, wordt onder verschillende gewassen gerangschikt of als ongeclassificeerd veld aangemerkt.
Een oordeel wat betreft de herkenning van kleine percelen kan bij deze vlucht maar in enkele gevallen gegeven worden. Door perceelsgrensproblemen kunnen deze percelen ook wel als ongeclassificeerd gekenmerkt zijn.

De interactieve classificatie van Groningen '84, op basis van alle beschikbare goede vluchtlijnen (tabel 4), was de eerste kennismaking met de interactieve methode.
Dat er, alhoewel foutieve beslissingen direct gecorrigeerd kunnen worden, wat fout kan gaan, blijkt uit het resultaat: 71 % goed geclassificeerd. De neiging bij deze methode bestaat, zolang er nog ongeclassificeerde stukken zijn, door te gaan met benoemen.
Hierdoor worden percelen die al in een klasse zijn ingedeeld, geheel of gedeeltelijk overschreven, zo ook bij deze classificatie. Er zijn te veel klassen onderscheiden, veel percelen bestaan daardoor uit een mengeling van 3 of 4 kleuren, waardoor ze als ongeclassificeerd moeten worden bestempeld (3.4.1).

Tabel 3 Het resultaat van de maximum likelihood classificatie van de vluchten in Groningen in 1983 juni Z x juni N x aug. Z x aug. N

N-percelen

Gewaskaart		Geclassificeerd beeld	311 Aard-appelen	113 Bieten	247 Tarwe	31 Kool-zaad	57 onge-klassif.	7 Te kleine percelen	totaal 766
303	Aardappelen		266	6	11		18	2	
113	Bieten		5	106		1		1	
239	Tarwe		31	1	191	2	12	2	
26	Koolzaad		1			21	4		
35	Gras		3		13	7	10	2	
48	Gerst		5		30		13		
2	Haver				2				
totaal 766			Classificatie resultaat						584

N-percelen

Classificatie succes in percentages

	Aard-appelen	Bieten	Tarwe	Kool-zaad	Gem
Op de gewaskaart	88	94	80	81	76
Op geclassificeerd beeld	86	94	77	68	76

Tabel 4 Het resultaat van de interactieve classificatie van Groningen 1984 op basis van alle beschikbare goede tracks (juli L x juli H)(juni H)(mei L)

N-percelen

Gewaskaart		Geclassificeerd beeld	174 Aard-appelen	94 Bieten	164 Tarwe	19 Karwij	20 Gras	11 Gerst	13 Kool-zaad	78 onge-klassif.	21 te kleine percelen	totaal 594
208	Aardappelen		164		5	2	2			28	7	
106	Bieten		1	91	1		1			8	4	
205	Tarwe		5	1	143	10	8	8	1	24	5	
2	Karwij					2						
44	Gras		3	1	11	5	10	1		9	4	
8	Gerst				3			1	1	2		
16	Koolzaad			1					10	5	1	
5	Haver		1		1				1	2		
totaal 594			Classificatie resultaat									421

N-percelen

Classificatie succes in percentages

	Aard-appelen	Bieten	Tarwe	Karwij	Gras	Gerst	Kool-zaad	Gem
Op de gewaskaart	79	86	70	100	23	13	63	71
Op geclassificeerd beeld	94	97	87	11	50	9	77	71

Deze classificatie is herhaald met alleen de julibeelden.
Dan scoort ze 83 % goed (tabel 5). Vooral de landbouwkundig gezien belangrijkste gewassen, aardappelen, bieten en tarwe, geven een goed resultaat: 91 % nauwkeurigheid. Ook koolzaad scoort hoog. Gras geeft een slecht resultaat, bijna de helft wordt onder aardappelen gerangschikt. De oorzaak is dat gras in veel groeistadia voorkomt met zeer verschillende reflecties.
De herkenning van de kleinere percelen is goed (0.5 % te kleine percelen).

Door combinatie van de goede vluchtkeuze (lage mei- en junivluchten), in samenhang met een goede perceelsherkenning, levert de visuele interpretatie van het kleurcomposiet van "Groningen '84" een goed resultaat, 84 % nauwkeurigheid (tabel 6). Vooral aardappelen, bieten en tarwe scoren hoog, 93 %, koolzaad aanzienlijk minder. Gras kreeg in veel gevallen dezelfde kleurtint als tarwe en aardappelen, karwij was in het geheel niet van tarwe te onderscheiden.

De interactieve classificatie van Ooostelijk-Flevoland levert voor aardappelen, bieten en tarwe een hoge score, 97 % goed geclassificeerd (tabel 7). Aardappelpercelen zijn zelfs voor 100 % goed benoemd. De bijgewassen uien, bonen en blauwmaanzaad scoren slecht, waardoor het gemiddelde classificatiesucces niet hoger is dan 79 %. Bij gewassen zoals bonen en erwten, die vaak op contract geteelt worden en dus een wisselende zaaidatum hebben, blijven de classificatie resultaten onvoorspelbaar. Ook gras is een moeilijk te classificeren gewas door veel wisselende maaidata en dus grote verschillen in biomassa op een bepaalde vluchtdatum.
De aardappelen zijn overgeclassificeerd, wat in het veel lagere scoringspercentage in de kolom "op het geclassificeerde beeld" tot uiting komt (67 %). Ook in de verticale kolom van tabel 7 onder aardappelen is te zien dat aardappelen aan te veel gewassen wordt toegewezen.
Te kleine percelen (40 x 40 m) komen er voor radar in deze vliegstrook niet voor. Alle percelen kunnen worden herkend.

Evenals voor Groningen 1984 geeft ook in het geval "Oostelijk-Flevoland '84" de visuele interpretatie vanaf de kleurcomposiet een hoger resultaat dan het geclassificeerde beeld: gemiddeld 86 % goed (tabel 8).
Alle aardappelen-, bieten- en tarwepercelen zijn met het oog duidelijk herkenbaar op dit beeld. Blauwmaanzaad was als zodanig niet te herkennen.
Het verschil in het aantal geclassificeerde percelen bij de interactieve classificatie en de visuele classificatie ligt in het feit dat door het soms iets vergroten van het beeld op het videoscherm aan de rand van de beelden een strookje wegvalt.

Tabel 5 Het resultaat van de interactieve classificatie van Groningen 1984 op basis van juli L x juli H

N-percelen

Gewaskaart		Geclassificeerd beeld	234 Aardappelen	110 Bieten	192 Tarwe	1 Karwij	26 Gras	1 Haver	5 Gerst	18 Koolzaad	6 ongeclassif.	3 te kleine percelen	totaal 596
206	Aardappelen		188		5		10				2	1	
110	Bieten			106	4								
201	Tarwe		17	1	174		3		3	1	1	1	
2	Karwij					1				1			
46	Gras		21	3	5		12		1	1	2	1	
4	Haver		1		2			1					
8	Gerst		3		2				1	1	1		
16	Koolzaad		1				1			14			
3	Erwten		3										
totaal 596		Classificatie resultaat											497

N-percelen

Classificatie succes in percentages

	Aardappelen	Bieten	Tarwe	Karwij	Gras	Haver	Gerst	Koolzaad	Gem.
Op de gewaskaart	91	96	87	50	26	25	13	88	83
Op geclassificeerd beeld	80	96	91	100	46	100	20	78	83

Tabel 6 Het resultaat van de visuele interpretatie van het kleurcomposiet van Groningen 1984 onstaan uit de beelden van mei L en juli L

N-percelen

Gewaskaart		Geclassificeerd beeld	207 Aardappelen	113 Bieten	232 Tarwe	5 Haver	17 Gerst	8 Koolzaad	7 ongeclassif.	3 te kleine percelen	totaal 592
214	Aardappelen		198		12		1		2	1	
112	Bieten			109	2				1		
196	Tarwe		2	3	177	2	8		2	2	
4	Haver				1	2			1		
8	Gerst				2	1	4		1		
15	Koolzaad				6		1	8			
41	Gras		7	1	30		3				
2	Karwij				2						
totaal 592		Classificatie resultaat									498

N-percelen

Classificatie succes in percentages

	Aardappelen	Bieten	Tarwe	Haver	Gerst	Koolzaad	Gem.
Op de gewaskaart	93	97	90	50	50	53	84
Op geclassificeerd beeld	96	97	76	40	24	100	84

Tabel 7 Het resultaat van de interactieve classificatie van O. Flevoland 1984 op basis van (mei L x mei H)(juli L x juli H)

N-percelen	Geclassificeerd beeld / Gewaskaart		87 Aardappelen	62 Bieten	99 Tarwe	9 Uien	6 Bonen	1 Blauwmaanzaad	12 ongeklassif.	totaal 276
58	Aardappelen		58							
58	Bieten		1	54					3	
92	Tarwe		3		89					
35	Uien		14	4	2	9			6	
9	Bonen		2	1			6			
9	Blauwmaanzaad		5	1				1	2	
7	Erwten		3	1	2				1	
3	Gras		1		2					
5	Haver			1	4					
totaal 276								Classificatie resultaat		217

Classificatie succes in percentages

	Aardappelen	Bieten	Tarwe	Uien	Bonen	Blauwmaanzaad	Gem.
Op de gewaskaart	100	93	97	26	67	11	79
Op geclassificeerd beeld	67	87	90	100	100	100	79

Tabel 8 Het resultaat van de visuele interpretatie van het kleurcomposiet van O. Flevoland 1984 onstaan uit de beelden van mei L en juli L

N-percelen	Geclassificeerd beeld / Gewaskaart		55 Aardappelen	66 Bieten	89 Tarwe	21 Uien	6 Bonen	1 Haver	7 ongeklassif.	totaal 245
52	Aardappelen		52							
54	Bieten			54						
81	Tarwe				81					
31	Uien		2	6	2	17			4	
7	Bonen			2			5			
5	Haver				4			1		
9	Blauwmaanzaad			4		4	1			
4	Erwten		1		1				2	
2	Gras				1				1	
totaal 245								Classificatie resultaat		210

Classificatie succes in percentages

	Aardappelen	Bieten	Tarwe	Uien	Bonen	Haver	Gem.
Op de gewaskaart	100	100	100	55	71	20	86
Op geclassificeerd beeld	95	82	91	81	83	100	86

Een wat tegenvallende classificatie vormt die van Brabant 1984: 76 % goed geclassificeerd (tabel 9). Veel percelen vallen in de klasse "ongeclassificeerd". Mede oorzaak hiervan zijn de niet aangestraalde stukken achter de verschillende dijken (2.3.3). De bieten scoren wel uitzonderlijk laag vergeleken met de andere gebieden. Een oorzaak voor deze tegenvallende classificatie is niet aan te wijzen. Het aantal percelen welke niet meer op de beelden zijn terug te vinden, ligt ook hoger dan in de andere gebieden: ruim 3 % te kleine percelen (40 x 40 m).
Ten opzichte van Groningen en de Flevopolder valt de visuele interpretatie van het kleurencomposiet van Brabant 1984 erg mager uit: 77 % goed geclassificeerd (tabel 10). Bij de beoordeling konden maar drie gewassen onderscheiden worden: aardappelen, bieten en tarwe.

Een overzicht van de behaalde classificatieresultaten in % wordt gegeven in tabel 11. De bruikbaarheid van de methodieken en de herkenbaarheid van de gewassen worden erin vergeleken.

Tabel 11. Overzicht van de behaalde classificatieresultaten (%)

	1983	1984						
	Groningen				Oostelijk-Flevoland		Brabant	
	*M.L.C.	*I.C.		*V.I.	I.C.	V.I.	I.C.	V.I.
		alle vluchtlijnen	juli vluchtlijnen	mei L en juli L	mei L mei H juli L juli H	mei L en juli L	alle vluchtlijnen	mei L e juli L
Bieten	94	86	96	97	93	100	80	88
Aard.	88	79	91	93	100	100	86	91
Tarwe	80	70	87	90	97	100	93	94
Koolz.	81	63	88	53				
Karwij		100	50				75	
Bonen					67	71		
Haver			25	50		20		
Uien					26	55		
Gerst		13	13	50				
Gras		23	26				48	
BlMZ					11			

* M.L.C. = maximum likelihood classificatie
* I.C. = interactieve classificatie
* V.I. = visuele interpretatie

Tabel 9 Het resultaat van de interactieve classificatie van West-Brabant 1984 op basis van (mei L x mei H)(juni H)(juli L x juli H)

N-percelen

Gewaskaart \ Geclassificeerd beeld		95 Aardappelen	50 Bieten	98 Tarwe	3 Karwij	21 Gras	42 onge-klassif.	11 te kleine percelen	totaal 320
103	Aardappelen	89	2			1	8	3	
59	Bieten	1	47	3			6	2	
96	Tarwe	3		89		1	1	2	
4	Karwij				3	1			
29	Gras	2		1		14	8	4	
11	Uien		1	3		3	4		
2	Bonen						2		
3	Blauwmaanzaad					1	2		
4	Erwten						4		
1	Haver			1					
8	Gerst			1			7		
totaal 320		Classificatie resultaat							242

N-percelen

Classificatie succes in percentages

	Aardappelen	Bieten	Tarwe	Karwij	Gras	Gem
Op de gewaskaart	86	80	93	75	48	76
Op geclassificeerd beeld	94	94	91	100	67	76

Tabel 10 Het resultaat van de visuele interpretatie van het kleurcomposiet van West-Brabant onstaan uit de beelden van mei L en juli L

N-percelen

Gewaskaart \ Geclassificeerd beeld		115 Aardappelen	63 Bieten	121 Tarwe	11 onge-klassif.	4 te kleine percelen	totaal 314
109	Aardappelen	99	2	2	5	1	
58	Bieten		51	3	2	2	
97	Tarwe		1	91	4	1	
25	Gras	16	1	8			
8	Gerst			8			
3	Blauwmaanzaad		3				
4	Erwten		1	3			
10	Uien		4	6			
totaal 314		Classificatie resultaat					241

N-percelen

Classificatie succes in percentages

	Aardappelen	Bieten	Tarwe	Gem.
Op de gewaskaart	91	88	94	77
Op geclassificeerd beeld	86	91	75	77

5. Conclusies

5.1. Gewasclassificatie met radar

- De classificatie van aardappelen, bieten en tarwe met behulp van SLAR-vluchten is goed mogelijk: In het algemeen worden precisies van 90 % of meer bereikt. De grootste nauwkeurigheid wordt bereikt met kleurencomposieten.
- De vraag die bestond of in gebieden met een grillige en kleinschalige percelering radarbeelden nuttig kunnen zijn, kan in het algemeen bevestigend worden beantwoord. Percelen ≥ 40 x 40 meter zijn goed terug te vinden op de geclassificeerde beelden. Op de kleurencomposieten is de nauwkeurigheid zelfs nog iets groter.
- Op dit moment kan met de huidige SLAR-technieken niet met 100 % zekerheid gezegd worden waar aardappelpercelen liggen (gemiddelde nauwkeurigheid 93 %) en wat de preciese oppervlakte van deze percelen is. Daarom zal op dit moment voor de aardappelmoeheidscontrole uitgezien moeten worden naar andere opnametechnieken, zolang er voor deze controle juridisch nog geen 100 % zekerheid bestaat.

5.2. Opname- en verwerkingsproblematiek

- Vluchtdata

  Voor de classificatie van aardappelen, bieten en tarwe zijn twee vluchten voldoende, één lage vlucht in mei en één hoge vlucht in juni. Indien niet zo vroeg in het seizoen een gewaskaart nodig is, kan volstaan worden met één hoge of één lage vlucht in juli voor een goede detectie van de hoofdgewassen aardappelen, bieten en tarwe. Uit de vluchten uit 1983 blijkt dat voor een voorjaarsvlucht voor detectie van het wintertarwe-areaal, het vliegtijdstip nauw moet samenhangen met de inzaaidata van de verschillende gewassen. Uitstel van een voorjaarsvlucht kan beter leiden tot afstel, omdat bij een laat uitgevoerde vlucht de wintertarwe al zover ontwikkeld is, dat verwarring met de kale grond ontstaat (aardappelen en bieten). In het algemeen moet eind mei gevlogen worden.

- Instraalhoeken

  Voor classificatie in mei geven scherende hoeken een aanzienlijk beter resultaat dan de steile. Ten opzichte van de lage junivluchten is geen uitspraak mogelijk. Op de vluchten van Groningen na geven de steile hoeken in juni een goed resultaat. Bij de julivluchten gaat de voorkeur uit naar de steile hoeken, maar een goede gewasclassificatie is evenwel ook mogelijk met de scherende hoeken. Een nadeel van scherende hoeken is dat in gebieden met dijken en bomenrijen, vooral wanneer deze evenwijdig aan de vliegrichting lopen, grote slagschaduwen ontstaan. Classificatie achter deze obstakels is onmogelijk.

- Classificatiemethodes

  De interactieve classificatie (I.C.) verdient de voorkeur boven de maximum likelihood classificatie (M.L.C.). De I.C. kan stap voor stap gevolgd worden en bij foute beeldpuntkeuze kan direct worden ingegrepen. Wel moet in de gaten gehouden worden dat niet te ver doorgeclassificeerd wordt, waardoor reeds geclassificeerde stukken op het beeld overschreven worden.
  De M.L.C. is wat logger. Tussentijds ingrijpen is bij deze classificatie niet mogelijk, foute keuze van "training samples" komt pas achteraf bij de beoordeling van de beelden naar voren. Wel belangrijk bij de M.L.C. is de statistiek die beschikbaar komt van de "training samples". De hieruit af te lezen informatie is een goede controle op de keuze van "training samples" en is noodzakelijk voor keuze van de beste vliegtijdstippen in verband met classificatie.
  De beste verwerkingsmethode is om zonder een gehele M.L.C. uit te voeren van een aantal percelen per gewas de statistiek te berekenen en met deze gegevens voorhanden over te stappen op de I.C.
  Visuele interpretatie van de kleurencomposieten geeft gemiddeld een 4 % hogere nauwkeurigheid dan de hiervoor omschreven methoden. Nadeel van deze methode is dat het een visuele beoordeling betreft, die enigszins subjectief uitgevoerd kan worden.
  Aan het intekenen van de perceelsgrenzen op de beelden mag nog wel de nodige aandacht geschonken worden. Voor een goede en snelle classificatie is het noodzakelijk om automatisch een perceelsgrenzenkaart over het beeld te kunnen projecteren.
  Naar verluidt heeft het plaatsen van hoekreflectoren er toe bijgedragen dat nauwkeuriger calibratie op de beelden kon plaatsvinden. Verdere informatie over dit onderwerp ontbreekt tot nog toe.

Literatuur

Boer, Th.A. de, et al. Radar; Cultuurtechnisch Tijdschrift. Febr./maart '83. Jaargang 22 nr. 5, blz. 265-269.

Commissie ..., 59e en 60e Beschrijvende Rassenlijst van landbouwgewassen 1984 en 1985. Uitgeverij Leiter-Nijpels B.V.

Hoogeboom, P. Classification of Agricultural Crops in Radar Images (In IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing), vol. GE-21, nr. 3, blz. 329-336, July 1983.

Hoogeboom, P. Enkele kanttekeningen bij de externe SLAR calibratie (IR 1984-21) april 1984 Physisch en Elektronisch Laboratorium Den Haag.

Hoogeboom, P. et al. An Algorithm for Radiometric and Geometric Correction of Digital SLAR data (In IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing), vol. GE-22, nr. 6, blz. 570-576, Nov. 1984.

Leeuwen, P.J. van. Analyse van "SLAR"-beelden. Afstudeerverslag Technische Hogeschool Delft, afd. der Elektrotechniek, Vakgroep Informatie Theorie, juli 1984.

Kasteren, H.W.J. van. Radar signature of crops. The effect of weather conditions and the possibilities of crop discrimination with radar. In Signatures spectiales d'objets en télédétection, Avignon, blz. 407-415, 8-11 sept. 1981.

Uenk, D. en H.W.J. van Kasteren. Radarvluchten 1977 Oost en Zuid Flevoland, aug. 1978, CABO, Wageningen.