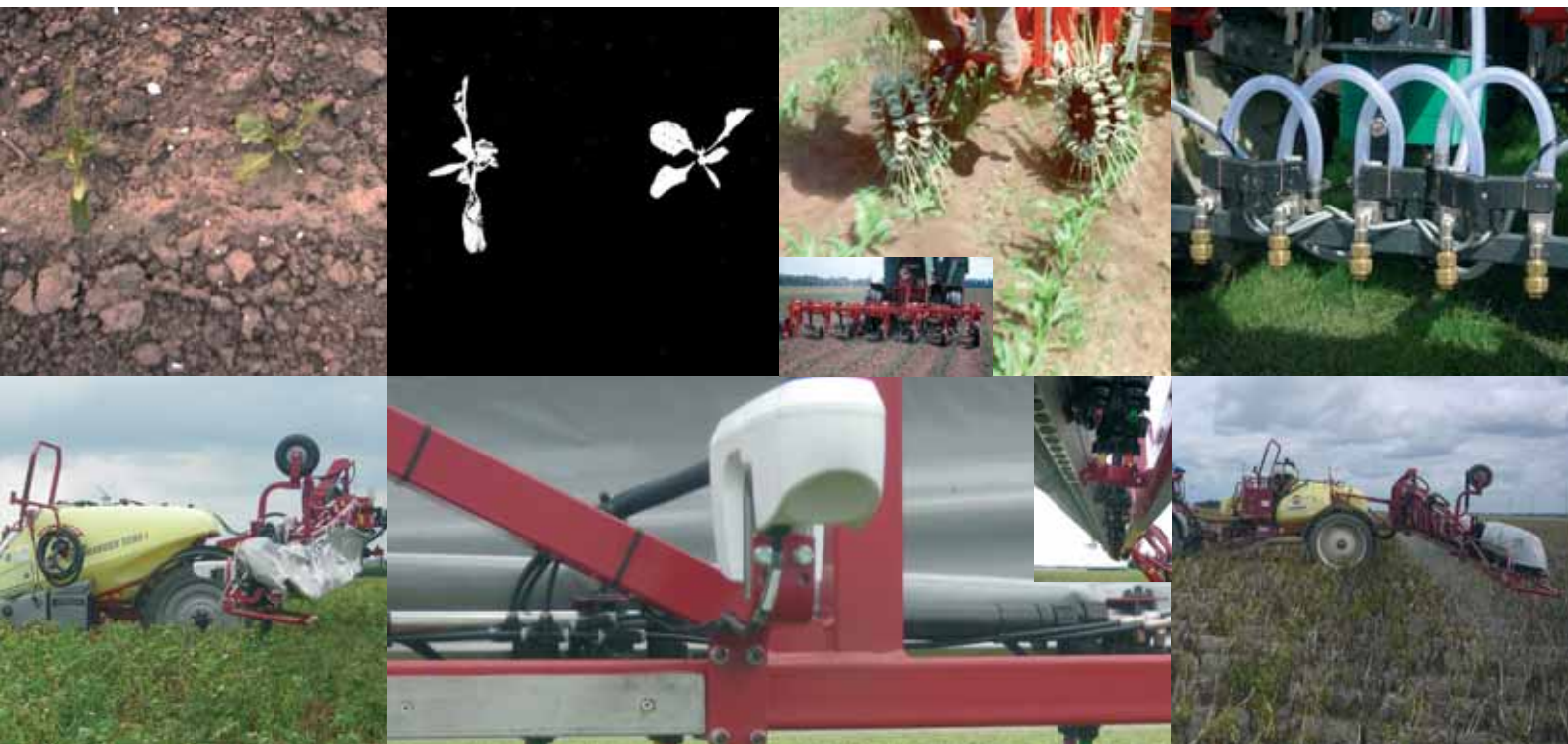




# Precisielandbouw en gewasbescherming: kansen, witte vlekken en kennisvragen

C. Kempenaar, R.Y. van der Weide, T.H. Been, J.C. van de Zande & L.A.P. Lotz







# Precisielandbouw en gewasbescherming: kansen, witte vlekken en kennisvragen

C. Kempenaar, R.Y. van der Weide, T.H. Been, J.C. van de Zande & L.A.P. Lotz

© 2009 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

## **Plant Research International B.V.**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 - 48 60 01  
Fax : 0317 - 41 80 94  
E-mail : [info.pri@wur.nl](mailto:info.pri@wur.nl)  
Internet : [www.pri.wur.nl](http://www.pri.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Introductie	3
1.1 Inleiding en doel	3
1.2 Leeswijzer en accenten	4
2. Precisiegewasbescherming, hoe precies?	5
2.1 Gewasbeschermingmethoden	5
2.2 Schaalniveaus van precisie	5
2.3 Spatiële variatie	6
3. Stand van zaken precisiegewasbescherming	9
3.1 Onkruidherkenningssystemen	9
3.1.1 Onkruidherkenning vanuit de lucht	10
3.1.2 Onkruidherkenning vanaf mobiele platforms op de grond	10
3.2 Overige detectiesystemen voor pleksgewijze gewasbescherming	12
3.2.1 Bodemkaarten	12
3.2.2 Biomassakaarten	13
3.2.3 Detectie met lichtsluizen en ultrasoonsensoren	16
3.2.4 Gewasrijherkenning	16
3.2.5 Onkruidscouten en bestrijdingkaarten	16
3.2.6 Geautomatiseerde ziekte- en plaagdetectie	16
3.3 Beslisregels/managementmodellen	17
3.3.1 Onkruiden	17
3.3.2 Ziekten, plagen en groeiregulatie	18
3.4 Actuatoren	19
3.4.1 Pleksgewijze vlakkenbehandeling met pesticiden	20
3.4.2 Pleksgewijze behandeling van individuele planten met pesticiden	20
3.4.3 Pleksgewijze inzet niet-chemische methoden	20
4. Witte vlekken en kennisvragen	21
4.1 Detectiesystemen	21
4.2 Beslisregels/managementmodellen	22
4.3 Actuatie	22
4.4 Overzicht kennisvragen	23
4.5 Milieu- en overige voordelen van precisiegewasbescherming	23
5. Conclusies en aanbevelingen	25
6. Referenties	27
Nawoord (met dank aan)	31
Bijlage I. Afkortingen	1 p.
Bijlage II. Gewasbescherming in PKE-PL-projectvoorstel	1 p.



# Samenvatting

De landbouw in Nederland staat voor de uitdaging om te komen tot duurzame gewasbescherming (convenant *Duurzame gewasbescherming*, *KaderRichtlijn Water* en VROM-programma *Schoon en Zuinig*). Uit de tussenevaluatie van het convenant blijkt dat er nog diverse slagen gemaakt dienen te worden om gebruik en emissie van gewasbeschermingsmiddelen te verminderen tot duurzame niveaus. Aanvullend stoffen- en bronnenbeleid is noodzakelijk, vooral bij herbiciden die het leeuwendeel van de pesticidengerelateerde 'drinkwaterknelpunten' in Nederland veroorzaken.

Precisiegewasbescherming biedt mogelijkheden om gewasbescherming te verduurzamen. Precisiegewasbescherming wordt gedefinieerd als het pleksgewijs bestrijden van onkruiden, ziekten en plagen binnen een perceel of gewas al naar gelang de plaatselijke behoefte door gebruik te maken van precisielandbouwtechnieken. Ook pleksgewijze gewasgroeiregulatie valt hieronder. Door precisiegewasbeschermingstechnieken worden inputs pleksgewijs geoptimaliseerd, wat een positief effect geeft op gewas, milieu, opbrengst en/of productkwaliteit, en daarmee positief is voor het bedrijfsresultaat. Dit rapport geeft een overzicht van ontwikkelingen en kennisvragen op het gebied van precisiegewasbescherming.

Vanuit de landbouwpraktijk is de interesse voor precisielandbouwtechnieken de laatste jaren sterk toegenomen. Op de eerste plaats komt dit door een groot aanbod van nieuwe technieken en mogelijkheden: GPS, biomassasensoren, bodemscans, satellietbeelden, innovatieve toedieningstechnieken en de mogelijkheid GEO-informatie in Bedrijfs-ManagementSystemen (BMS) te visualiseren en waar mogelijk te koppelen aan BeslissingsOndersteunende Systemen (BOS). Wat dit laatste betreft ontbreekt het voor veel gewasbeschermingtoepassingen nog aan gevalideerde beslissingsregels die de betreffende precisietoepassing winstgevend moeten maken in duurzaamheidstermen van People, Planet en Profit. Tevens ziet de praktijk kansen en enkele concrete successen, zoals sensorgestuurde aardappelloofdoding.

De stand van zaken m.b.t. precisiegewasbescherming is dat er ondertussen diverse componenten voor precisietoepassingen beschikbaar zijn, maar ook dat er nog inhoudelijke, technische en/of economische beperkingen zijn die grootschalige praktijktoepassingen belemmeren. Er ontbreekt fundamentele kennis over ruimtelijke variatie in onkruiden, ziekten, plagen, etc. om in te schatten wat het optimale schaalniveau van precisie is, welke beslissingsregels/managementmodellen daar bij passen en wat de uiteindelijke winst is in duurzaamheidstermen. Ontwikkelingen vinden grofweg op twee schaalniveaus plaats: vlakkenbehandeling (schaal 10-100 m<sup>2</sup>) en individuele plantbehandeling (schaal < 0,1 m<sup>2</sup>). Hoe kleiner het schaalniveau van precisie, hoe groter de besparingsmogelijkheden, maar ook hoe groter de complexiteit, de investeringen en de benodigde aanpassingen in mechanisatie en robotisering.

Uit de stand van zaken blijkt dat voor een succesvolle precisietoepassing de volgende onderdelen wat betreft effectiviteit, nauwkeurigheid, robuustheid en kosten voldoende ver ontwikkeld moeten zijn:

1. het detectiesysteem voor het meten en vaststellen van ruimtelijke variatie in onkruiden, ziekte, gewasstand, etc. binnen het perceel of gewas;
2. het managementmodel (de beslissingsregels) voor het doorvertalen van ruimtelijke variatie in nut en intensiteit van bestrijding/gewasbescherming;
3. de apparatuur voor het uitvoeren van de plaats specifieke bestrijding/gewasbescherming.

De volgende algemene kennisvragen dienen beantwoord te worden om brede introductie van precisiegewasbescherming in de praktijk mogelijk te maken:

1. Op welke schaal of schalen van precisie kunnen ontwikkeltrajecten zich het beste richten?
2. Welke beslisregels en managementmodellen zijn nodig om pleksgewijze gewasbescherming duurzaam te maken?
3. Welke verbeterlagen op het gebied van vooral programmatuur/software zijn mogelijk bij detectiesystemen, zodat effectiviteit, nauwkeurigheid, robuustheid en kosten acceptabel worden voor de Nederlandse landbouw?
4. Welke technische innovaties zijn mogelijk of gewenst bij precisietoedieningapparatuur?

Op dit moment liggen de belemmeringen voor precisiegewasbescherming niet zo zeer bij de technieken, maar bij de benodigde beslisregels, managementmodellen en ICT die de technieken winstgevend voor de teler, het milieu en de maatschappij. De kennisvragen 1 en 2 zijn vooral strategisch van aard en behoeven een fundamenteel-strategische aanpak. Door diverse deskundigen uit de praktijk wordt aangegeven dat hoge prioriteit gegeven moet worden aan ontwikkeling van gevalideerde beslisregels/modellen voor pleksgewijze gewasbescherming. De kennisvragen 3 en 4 hebben met techniek(door)ontwikkeling te maken, en kunnen het beste opgepakt worden via samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijfsleven.

De ontwikkeling van prototypes voor precisiegewasbescherming vergt maatwerk per belangrijke gewasbeschermingmaatregel, waarvan er minstens 20 te onderscheiden zijn. Prioritering is gewenst. De grootste financiële en milieuvoordelen zijn te behalen met precisietoediening van herbiciden en fungiciden. Verder dienen technische mogelijkheden en multiple inzetbaarheid van technieken bij verschillende gewasbeschermingmaatregelen meegewogen te worden bij het prioriteren.

Recentelijk is een prioritering van belangrijke precisiegewasbeschermingonderwerpen gemaakt door de landbouwpraktijk, toeleverende bedrijven en kennisinstellingen in het projectvoorstel Precisielandbouw voor Platform Keten-Efficiency (PKE-PL, zie bijlage). Bij grootschalige praktijkintroductie van deze precisietoepassingen in de Nederlandse landbouw wordt de besparing op gewasbeschermingmiddelen geschat op 35% ten opzicht van totaalgebruik en de besparing op energie op 3 - 5% van het totale energieverbruik.



# 1. Introductie

## 1.1 Inleiding en doel

Dit rapport is geschreven in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid (LNV) als project binnen het Beleidsondersteunend Onderzoek (BO), cluster Plantgezondheid (codering BO-06-004). De landbouwsectoren in Nederland hebben aangegeven dat precisielandbouw een gewenste ontwikkeling is die ecologische en economische doelstellingen van het convenant *Duurzame gewasbescherming* versneld dichterbij zullen brengen. Precisielandbouw sluit ook aan bij het programma *Schoon en Zuinig* en *EU kaderrichtlijn water*. Toepassing van precisielandbouwtechnologie bij gewasbescherming bieden mogelijkheden om te komen tot meer duurzame inzet van onkruid-, ziekte- en plaagbestrijding en gewasgroeiregulatie, omdat deze technologie het mogelijk maken de inzet van gewasbeschermingmiddelen en -methoden in gewassen pleksgewijs te optimaliseren, waardoor milieu-belasting en energieverbruik zal verminderen, productkwaliteit zal toenemen (o.a. minder kans op residuen van pesticiden in het gewas) en fysieke en financiële opbrengsten zullen verbeteren. Op de korte termijn lijken de perspectieven voor pleksgewijze onkruidbestrijding het grootst daar bij deze gewasbeschermingdiscipline de ontwikkelingen voorop lopen en urgentie eveneens hoog is.

Bij precisielandbouwtechnologieën en gewasbescherming gaat het om een combinatie van:

1. Geautomatiseerde detectiesystemen voor het kunnen meten van spatiële variatie in onkruiden, ziekten, plagen, gewasbiomassa en/of bodemeigenschappen binnen het perceel of gewas.
2. Beslisregels of managementmodellen die gemeten spatiële variatie kunnen doorvertalen in nut en intensiteit van bestrijding.
3. Toegesneden apparatuur/actuatoren die de gewasbescherming dan pleksgewijs kunnen inzetten (actuatie).

De verwachting is dat door op efficiënte wijze gebruik te maken van de altijd aanwezige spatiële (ruimtelijke) variatie in gewas(belagers) of bodemeigenschappen binnen een perceel of gewas, de inzet en intensiteit van gewasbeschermingmaatregelen verminderd kan worden, waardoor de duurzaamheid van teelten in termen van People, Planet en Profit vergroot worden. Op de langere termijn kan dit in combinatie met robotisering voor nog verdergaande verduurzaming zorgen. Bij de benutting van spatiële variatie dient overigens ook altijd de mogelijkheden van temporele variatie betrokken te worden. De huidige praktijk van gewasbescherming is op dit moment reeds verder in het benutten van deze temporele variatie, zie bijvoorbeeld optimalisatie van inzet van mechanische (eggen in witte draden stadium) of chemische (LDS en GEWIS) methoden in de tijd en afgestemd op ontwikkelingsstadia of weercondities.

LNV heeft in 2008 het onderwerp precisielandbouw benoemd in haar Maatschappelijk innovatieagenda 2008-2013 (concept). Voor plantaardige systemen vindt men het belangrijk dat er detectiemethoden voor pleksgewijze plantbehandeling komen. LNV heeft behoefte aan nadere informatie over dit onderwerp en heeft daarom gevraagd om binnen BO-Plantgezondheid een deskstudie te doen waarin de volgende vragen geadresseerd worden:

1. Wat op dit moment de resultaten zijn ten aanzien van het onderzoek in relatie tot precisielandbouw?
2. Wat daarbij de perspectieven zijn ten aanzien van het realiseren van de doelstellingen van het convenant?
3. Wat de kennisleemtes daartoe zijn?
4. Welke rol onderzoek kan hebben om deze leemtes op te vullen opdat de doelstellingen gerealiseerd worden?

Het doel van dit rapport is bovenstaande vragen zo goed mogelijk te beantwoorden binnen de geboden mogelijkheden. Hiertoe is een literatuuronderzoek gedaan, is een consultatieronde gemaakt langs een tiental Wageningen UR deskundigen op het gebied van de verschillende disciplines van gewasbescherming, en is met deskundigen uit de praktijk gesproken waaronder leden van de werkgroep Platform KetenEfficiency-PrecisieLandbouw-GewasBescherming (PKE-PL-GB) (PKE, 2008) meegenomen bij het uitwerken van dit rapport.

## **1.2 Leeswijzer en accenten**

De opbouw van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 worden eerst operationele gewasbeschermingmethoden in open teelten en schaalniveaus van precisie onderscheiden. In hoofdstuk 3 wordt stand van zaken van precisie-landbouwtechnologieën binnen gewasbescherming besproken. In hoofdstuk 4 worden witte vlekken en kennisvragen benoemd. In Hoofdstuk 5 worden tot slot conclusies en aanbevelingen gedaan. Gezien de potentie en ontwikkelingen gaat de meeste aandacht in de deskstudie uit naar de kansen voor pleksgewijze onkruidbestrijding in akkerbouwmatige teelten. Andere vormen van gewasbescherming en toepassingen voor kleinere teelten als boom- en fruitteelt, en robotisering worden waar relevant eveneens besproken.

## 2. Precisiegewasbescherming, hoe precies?

Voor we ingaan op de stand van zaken, witte vlekken en kennisvragen op het gebied van precisiegewasbescherming, worden in dit hoofdstuk eerst belangrijke groepen van gewasbeschermingmethoden (onkruid-, ziekte-, plaagbestrijding en groeiregulatie) en schaalniveaus van precisie beschreven. Er bestaat in de praktijk namelijk een breed scala aan operationele gewasbeschermingmethoden. Groepering is nodig om aan de ene kant voldoende diepgang te hebben in deze deskstudie, en aan de andere kant niet in te veel details te verzanden. Bij de groepering wordt weer de meeste aandacht aan onkruidbestrijding besteed omdat hier de diversiteit aan operationele methoden het grootst is en ontwikkelingen bij pleksgewijze bestrijding het verst gevorderd zijn.

### 2.1 Gewasbeschermingmethoden

In Tabel 2.1 staan 20 belangrijke methoden van gewasbescherming beschreven. Het gaat hier om groepen van operationele methoden, waarbij per groep nog steeds enige mate van variatie in de operationele invulling mogelijk is (bijvoorbeeld de keuze van het middel of apparatuur, de intensiteit en de timing van de inzet). De 20 groepen zijn onderscheidend omdat ze gebruik maken van verschillende gewasbeschermingmiddelen, selectiviteitsprincipes en/of apparatuur, en op verschillende momenten in het teeltseizoen worden ingezet. De groepen van methoden hebben soms ook raakvlakken; sommige methoden maken namelijk gebruik van dezelfde apparatuur (één en dezelfde spuittechniek kan gebruikt worden voor onkruid-, ziekte- en plaagbestrijding dan wel loofdoding en groeiregulatie). In Tabel 2.1 staat met een x aangegeven welke methoden vooral aandacht krijgen in dit rapport.

### 2.2 Schaalniveaus van precisie

Als over pleksgewijze onkruidbestrijding gesproken wordt, dan hoort daar een bepaald schaalniveau bij waarop de bestrijding gedaan wordt. In de huidige landbouwpraktijk wordt de bestrijding meestal ingevuld per perceel. Doorgaans is dit dan één of meerdere behandelingen met één of verschillende methoden en dan steeds uniform over het perceel uitgevoerd. We praten dan over schaalniveau één van aggregatie in onderstaand overzicht.

Schalen waarop onkruidbestrijding uitgevoerd kan worden:

1. Uniforme behandeling van perceel/gewas.
2. Behandeling afgestemd op de situatie/behoefte van banen in perceel/gewas:
  - a. per spuitbaan (> 20 - 50 m breed),
  - b. per sectie van een spuitboom (ca 3 - 4 m breed),
  - c. per teeltbed (ca 1 - 3 m breed),
  - d. per gewasrij (vaak < 75 cm breed).
3. Behandeling van vlakken binnen baan/strook (gridbehandeling, 3 x 3 m tot 50 x 50 m).
4. Behandeling van individuele haarden binnen perceel/gewas (circa 10 - 100 m<sup>2</sup> per haard).
5. Behandeling van individuele planten binnen gewas (circa 0,001 - 0,01 m<sup>2</sup> per plant).

Bijvoorbeeld, pleksgewijze onkruidbestrijding binnen een perceel of gewas kan in de lijn van bovenstaande schaalniveaus onderverdeeld worden in strokenbehandeling (lengte >> breedte, waarbij de breedte varieert van ca 10 cm (gewasrij) tot 50 m (brede spuitboom)), vlakkenbehandeling (lengte x breedte, globaal 3 tot 50 m in het vierkant) en plantbehandeling (< 0,01 m<sup>2</sup>). De voorgenoemde indeling in schaalniveaus van precisie is ook toepasbaar voor bespreking van precisie van andere vormen van gewasbescherming.

Wat het optimale schaalniveau is voor een bepaalde vorm van onkruidbestrijding, hangt af van diverse factoren waaronder stand van de techniek, kostprijs van de techniek, effectiviteit, nauwkeurigheid, robuustheid, additionele voordelen en, last but not least, onkruidverdeling over het veld. Stand van de techniek wordt in hoofdstuk 3 nader besproken. Kostprijs, effectiviteit en robuustheid zijn belangrijke succesbepalende parameters die vooraf moeilijk of

slechts globaal in te schatten zijn. De kostprijs van de onkruidbestrijding met de precisietechniek (afschrijving mechanisatie en variabele kosten) moet kunnen concurreren met de kostprijs van de huidige praktijk van onkruidbestrijding (kostenoverzichten per machine en gewas, zie KWIN, 2006). Als referentie wordt meegegeven dat variabele kosten (middelen, handwieduren en brandstof) van onkruidbestrijding in gangbare akkerbouwmatige teelten in Nederland liggen tussen ongeveer 50 € per ha (bijvoorbeeld in granen) en 300 € per ha (bijvoorbeeld in uien). In biologische teelten en in gangbare teelten met aardappelopslag zijn de variabele kosten beduidend hoger (2 tot 3 x hoger) omdat hierbij veel meer uren ingezet moeten worden.

Tabel 2.1. *Belangrijke operationele gewasbeschermingmethoden in open teelten. Met 'x' wordt aangegeven of de methode relatief veel aandacht krijgt in dit rapport.*

Onkruidbestrijdingmethoden	
Grondbewerking voor zaai/planten of opkomst gewas	
Mechanische bestrijding voor opkomst gewas	
Thermische bestrijding voor opkomst gewas	
Inzet bodemherbicide(n) voor opkomst gewas	X
Inzet bodemherbicide(n) in meerjarig gewas	
Inzet contactherbicide(n) voor opkomst gewas	X
Mechanische/thermische bestrijding na opkomst gewas	X
Inzet contactherbicide(n) na oogst gewas	X
Grondbewerking na oogst gewas	
Plantbehandeling met selectieve niet-chemische methoden	X
Plantbehandeling met selectieve chemische methoden	X
Overige gewasbeschermingmethoden	
Zaai- en plantgoedbehandeling	
Gewasbehandeling met preventief werkende fungiciden	X
Gewasbehandeling met curatief werkende fungiciden	X
Gewasbehandeling met insecticiden / biologische bestrijders	
Plantbehandeling met selectieve methoden (diverse toepassingen)	X
Inzet van granulaten tegen bodemziekten/nematoden	X
Loofdoding (voornamelijk bij aardappel; chemisch, mechanisch of thermisch)	X
Groeiregulatie (voornamelijk bij granen, chemisch)	X

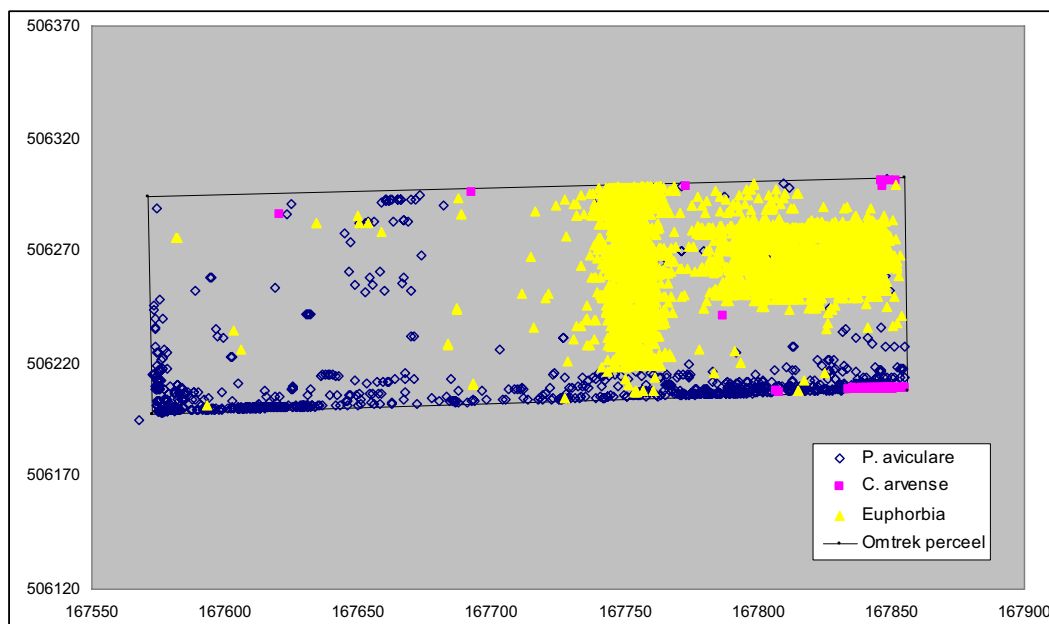
## 2.3 Spatiële variatie

Tot slot wordt in dit hoofdstuk nog kort ingegaan op variatie in onkruiden binnen percelen en gewassen. Heijting (2007) geeft in haar proefschrift een overzicht van onkruidpatronen en wetmatigheden binnen deze patronen. Onkruidpatronen zijn zelden zuiver toevallig. Sommige onkruidsoorten komen meer in haarden voor dan anderen. En grondbewerking heeft een grote invloed op verspreiding van onkruiden. In Figuur 2.1 wordt een onkruidkaart getoond van waarnemingen aan drie onkruidsoorten op een perceel zaaiuien van proefbedrijf Broekemahoeve in Lelystad in 2006. Deze kaart is gemaakt met een mappingsysteem van PRI voor vastlegging van groeiplaats van individuele planten (nauwkeurigheid < 1 m). Duidelijk is te zien in de figuur dat twee van de drie soorten (Varkensgras (*Persicaria aviculare*) en gewasopslag van Euphorbia) dominant zijn en op specifieke delen van het perceel voorkomen. Het varkensgras groeit vooral langs de rand van het perceel terwijl de Euphorbia groeit op een plaats waar ruim 10 jaar geleden een gewas met Euphorbia stond. Verder blijkt op enkele verspreide plekken in het gewas Akkerdistelplanten (*Cirsium arvense*) te groeien.

De verspreiding van onkruiden over het perceel bepaalt in hoge mate de winst die behaald kan worden met precisie-onkruidbestrijding op een bepaalde schaal. Meer kennis over deze verdeling is gewenst om onderbouwde uitspraken te doen over wat de optimale schaal is bij een bepaalde precisietechnologie. Als over Figuur 2.1 een raster van 1 bij 1 m gelegd wordt, dan blijkt dat globaal in de helft van de vakjes één of meer onkruidplanten van de drie genoemde soorten staan. Wordt alleen naar Akkerdistel gekeken, dan is meer dan 99% van de vakjes akkerdistelplantvrij. Dit geeft iets aan over besparingsmogelijkheden.

Net als voor onkruiden is het voor andere gewasbelagers ook van belang om de spatiële variatie goed te kennen om perspectief van precisiegewasbescherming goed in te schatten.

N.B. Temporele variatie is ook te benutten bij optimalisatie van gewasbescherming. Goede voorbeelden zijn LDS-systemen bij onkruidbestrijding en voorspellingmodellen bij ziektebestrijding. Temporele variatie wordt niet expliciet bestudeerd in dit rapport omdat hier al relatief veel mee gedaan is in de praktijk. Inspelen op spatiële variatie dient niet ondergeschikt gemaakt te worden aan de kansen die temporele variatie bieden.



*Figuur 2.1. Perceelkaart met posities van individuele planten van 3 onkruidsoorten op een perceel zaaiuien in Flevoland in mei 2006. Het perceel is 300 m lang en 75 m breed. Op x- en y-as staan rijksdriehoek-coördinaten.*



### 3. Stand van zaken precisiegewasbescherming

In dit hoofdstuk wordt voornamelijk op de stand van innovatieve pleksgewijze onkruidbestrijding ingegaan. De belangstelling voor dit onderwerp vanuit de landbouwpraktijk neemt de laatste jaren sterk toe. Het gaat nu niet zo zeer om interesse in pleksgewijze toepassingen als 'schoffelen tussen de rijen' en 'rijenbesputingen', bekend uit de MJG-periode, maar om geautomatiseerde systemen die binnen een perceel of gewas pleksgewijs onkruidbestrijding kunnen uitvoeren. De praktijk ziet perspectief om middelgebruik en kosten te besparen via deze systemen. Deze geautomatiseerde systemen omvatten altijd drie basisonderdelen:

1. Geautomatiseerde plant-, onkruid- of ziekteherkenning en digitaal kaartmateriaal<sup>1</sup>  $\Rightarrow$  levert informatie over de te benutten ruimtelijke (spatiële) variatie binnen het perceel of gewas.
2. Beslisregels / managementmodellen  $\Rightarrow$  vertalen de ruimtelijke informatie over door in pleksgewijze noodzaak en mate van bestrijding.
3. Actuatoren  $\Rightarrow$  voeren pleksgewijs en met relatief grote precisie de gewasbeschermingmaatregel uit.

Bovengenoemde onderdelen worden bij elkaar gebracht in systemen/prototypes voor onderzoek en ontwikkeling onder praktijkomstandigheden. Bij deze systemen is altijd een regelunit te onderscheiden die communicatie tussen de onderdelen en daarmee sturing van de pleksgewijze bestrijding mogelijk maakt. Ook wordt vaak wordt een GPS-systeem toegevoegd om informatie en/of acties 'geo-referenced' vast te leggen. Een GIS-systeem is dan nodig voor visualisering van variatie, analyse, planning, etc. In hoofdstuk 3.2 wordt specifiek nog ingegaan op het algemene principe van biomassa-afhankelijk doseren (toepasbaar bij pleksgewijze bemesting, ziektebestrijding, groeiregulatie en mogelijk ook onkruidbestrijding) en op ziekteherkenningssystemen. Ook voor deze systemen geldt dat er 3 basisonderdelen zijn: een geautomatiseerde ziekte- of plaagherkenning, beslisregels en actuatoren.

#### 3.1 Onkruidherkenningssystemen

Geautomatiseerde pleksgewijze bestrijding van onkruiden begint met een systeem dat onkruiden kan detecteren. Het kunnen onderscheiden van verschillende onkruidsoorten is een voorwaarde om het maximale rendement te halen uit pleksgewijze onkruidbestrijding. Immers, effectiviteit van bestrijding en concurrentievermogen zijn vaak onkruidsoort-afhankelijk.

Geautomatiseerde onkruidherkenningssystemen omvatten altijd een cameradeel en een hard- en softwaredeel voor beeldanalyse. De camera maakt opnames (foto's) van 'vlakken' waarvan men wil weten of er onkruiden staan. Dankzij de ontwikkeling van vooral digitale, multi-spectrale camera's kunnen nu opnames gemaakt worden die computermatige onkruiddetectie binnen die vlakken mogelijk maken, mits de onkruiden voldoende onderscheidend zijn in het beeldvlak. Opnames kunnen van veraf (bijvoorbeeld uit satelliet of vliegtuig) of van dichtbij gemaakt worden (vanaf mobiel platform). Voorwaarde is dat er voldoende mate van resolutie in de opnames zit om onkruiden te kunnen onderscheiden. De software van het systeem stuurt de beeldanalyse aan en stelt vast of en waar er onkruiden binnen de opnamevlakken staan. Beeldanalyse kan gebaseerd zijn op analyse van de vastgelegde spectrale reflectie, analyse van patronen binnen het opnamevlak (beeldanalyse op textuur, bladvorm of plantorganisatie), of een combinatie van spectraal- en beeldanalyse.

In de hoofdstukken 3.1.1 en 3.1.2 worden een aantal perspectiefvolle systemen voor plant- en onkruidherkenningssystemen nader toegelicht. Geraadpleegde bronnen m.b.t. onkruiddetectie zijn: Christensen *et al.*, 2009; Van Evert

<sup>1</sup> In sommige situaties is onkruidherkenning niet strikt vereist voor pleksgewijze behandeling, zie bijv. hoofdstuk 3.2, bijvoorbeeld bij pleksgewijs doseren van bodemherbiciden. Hier volstaat het hebben van goede perceelkaarten met ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen. In andere situaties kan detectie via biomassametingen, lichtsluismetingen, ultrasoonsensoren of gewasrijherkenning volstaan.

*et al.*, 2009; Wiles & Waltermore, 2008; Lund *et al.*, 2008; Nieuwenhuizen *et al.*, 2007; Achten & Molema, 2006; Van de Zande *et al.*, 2005; Brown & Noble, 2005; Thorp & Tian, 2004; Vrindts *et al.*, 2002; Feyaerts, 1999.

Achten & Molema (2006) geven een helder overzicht van thans beschikbare camerasystemen voor geautomatiseerde plant- en onkruidherkenning. Belangrijk bij een keuze van camera's voor dit doel is (1) ruimtelijke resolutie (aantal pixels), opnametijd/bewegingscherpte, type beeldsensor (CCD of CMOS), spectrale resolutie (alleen RoodGroenBlauw of ook IR), spectrometrie en eventuele filters.

### 3.1.1 Onkruidherkenning vanuit de lucht

Bij deze vorm van onkruidherkenning zijn de camera's geplaatst op vliegtuigen of satellieten die vliegen ver boven het perceel. D.m.v. spectraalanalyse van de zichtbare en/of infrarood licht spectra wordt vastgesteld of er binnen het beeldvlak van opnames met de camera's onkruiden staan. Deze systemen kunnen alleen onkruidhaarden met hoge dichtheden en oppervlakten van meer dan 1 bij 1 m detecteren. Daarbij geldt dat de onkruidhaard unieke spectrale eigenschappen dient te hebben t.o.v. de achtergrond. Als de achtergrond voor een deel uit gewasplanten bestaat, is het onderscheid maken tussen onkruidsoorten en gewasplanten moeilijk zo niet onmogelijk met deze systemen. Alleen bij relatief grote onkruidhaarden op landbouwpercelen en bij een 'achtergrond' waar geen of een minimale hoeveelheid aan andere vegetatie (zoals gewas) te zien is, biedt deze vorm van onkruidherkenning via remote sensing perspectief om pleksgewijze onkruidbestrijding aan te sturen.

### 3.1.2 Onkruidherkenning vanaf mobiele platforms op de grond

Het gebruik van digitale, multi-spectrale camera's op mobiele platforms biedt beter perspectief voor herkenning en detectie van onkruid- en gewasplanten dan sensing vanuit de lucht. Opname van dichtbij vergroot namelijk de resolutie per pixel van de opname tot schaalniveau vierkante millimeter of kleiner. Deze pixelmaat is een voorwaarde voor detectie om onderscheid te kunnen maken tussen onkruidsoorten en gewasplanten via beeldanalyse op vorm en textuur. De uiteindelijke beslissing of er onkruiden staan in het beeldvak, en welke onkruidsoorten er staan, wordt gedaan met specifiek ontwikkelde software voor beeldanalyse van de spectrale reflectie per pixel en/of beeldanalyse van de patronen (vorm, textuur, organisatie) van de pixels. Sommige software neemt bij het beslissen extra informatie mee, zoals informatie over plantverband van het gewas (bijv. Bakker *et al.*, 2008).

Op dit moment zijn er diverse camera's systemen beschikbaar om te gebruiken voor geautomatiseerde onkruidherkenning. Deze camera's leggen de lichtreflectie vast van bepaalde golflengtegebieden, zoals het zichtbare spectrum en/of het infrarode spectrum. Daarnaast wordt in bepaalde systemen de chlorofyl *a* fluorescentie gebruikt om vast te stellen welke onkruidsoorten er staan. Op dit moment lijken de camera's niet de beperkende technische factor te zijn voor geautomatiseerde onkruidherkenning. Op het gebied van de benodigde detectiealgoritmen voor nauwkeurige onkruidherkenning zijn nog verbeterlagen noodzakelijk en mogelijk.

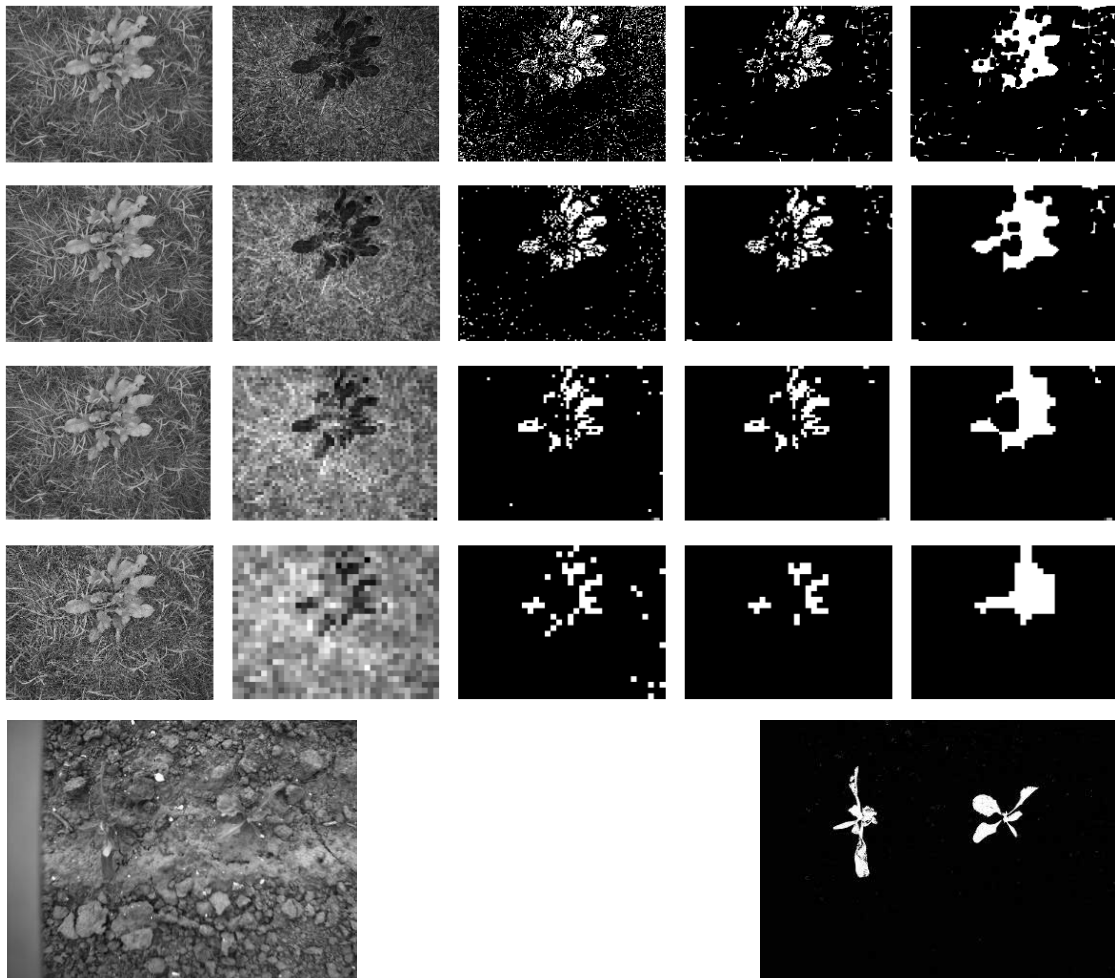
De nauwkeurigheid van de thans beste prototypes voor geautomatiseerde onkruidherkenning vanaf mobiele platforms ligt globaal op 80 tot 95% nauwkeurigheid (Christensen *et al.*, 2009; van Evert *et al.*, 2009). De camera wordt dan in een baan over een gewasrij of een deel van een te behandelen strook voortbewogen met een snelheid van enkele km per uur, en worden de beelden direct per opname geanalyseerd op aanwezigheid van onkruid. Aardappel-opslagbestrijding is een specifiek onkruidprobleem dat veel aandacht vraagt in Nederlandse akkerbouw. Bij herkenning van aardappelopslagplanten in gewassen ligt de nauwkeurigheid van detectie ook op circa 90%.

Voorbeelden van praktijkrijpe geautomatiseerde on-line plantherkenningssystemen op mobiele platforms zijn het Poulsen systeem voor detectie en branden van onkruiden in gewasrijen (Poulsen, 2006), het aardappelopslagdetectiesysteem van Nieuwenhuizen (Nieuwenhuizen *et al.*, 2007; zie ook Figuur 3.2) en het plantherkenningssysteem voor onkruidbestrijding in gewasrijen van Achten (Achten & Van de Zande, mondelinge toelichting, zie ook Figuur 3.1), het Zuringdetectiesysteem Ruud (van Evert, 2009, zie ook Figuur 3.1). Deze systemen gebruiken zowel spectraal- als textuurinformatie bij de plantherkenning. Hierbij dient ook, omdat hiermee veel praktijkervaring opgedaan is, het

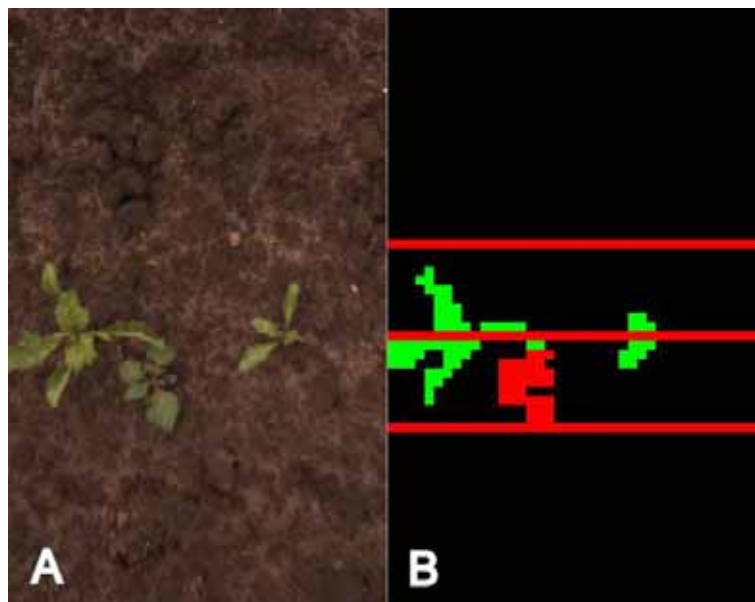


camerasysteem voor onkruidherkenning genoemd te worden dat ontwikkeld is door Universiteit van Bonn en thans toegepast wordt door Universiteit Stuttgart-Hohenheim in combinatie met een speciale landbouwspruit voor pleksgewijs toedienen van herbiciden (o.a. Gerhards & Oebel, 2006, zie ook hoofdstuk 3.3). Dit camerasysteem is een zogenaamd off-line systeem waarmee eerst onkruidichtheidskaarten gemaakt worden die in een tweede rondgang gebruikt worden om de dosering van de spruit aan te sturen. Ook Feyaerts *et al.* (1999) uit België hebben interessante resultaten gehaald met onkruidherkenning gekoppeld aan gangbare landbouwspruiten.

Naast de in de vorige paragraaf genoemde plant- en onkruidherkenningssystemen zijn er minder nauwkeurige maar wel voor specifieke toepassingen praktijkrijpe systemen die plantmassa kunnen detecteren via biomassametingen, lichtsluizen of ultrasoonsensoren. Deze systemen kunnen geen soorten onderscheiden, maar wel op basis van verschillen in grootte gewasplanten van onkruiden onderscheiden (alleen bij grote verschillen in grootte), of planten op onbeteelde grond detecteren op basis van kleurverschillen. Zie voor uitgebreide beschrijving hoofdstuk 3.2. Marktrijpe biomassasensoren zijn WeedIT, GreenSeeker, WeedSeeker, CropScan, Crop Circle en N-Sensor (Kempenaar *et al.*, 2008a, 2008b). Als voorbeeld kan tevens de ontwikkeling van sensorgestuurde (WeedIT- en Greenseekersensoren) onkruidbestrijding op verhardingen genomen worden. Mede vanuit BO-onderzoek is deze toepassing een volwaardige en verplichte praktijktoepassing met ruim 50% reductie in herbicidegebruik geworden t.o.v. volveldse bestrijding (Kempenaar *et al.*, 2007; Kempenaar & Leemans, 2005).



Figuur 3.1. *Stappen in beeldanalyse van plantherkenningssystemen.*  
 Boven: detectie zuringplanten in grasland (bron: Frits van Evert).  
 Onder: detectie suikerbietenplanten (bron: Jan van de Zande).



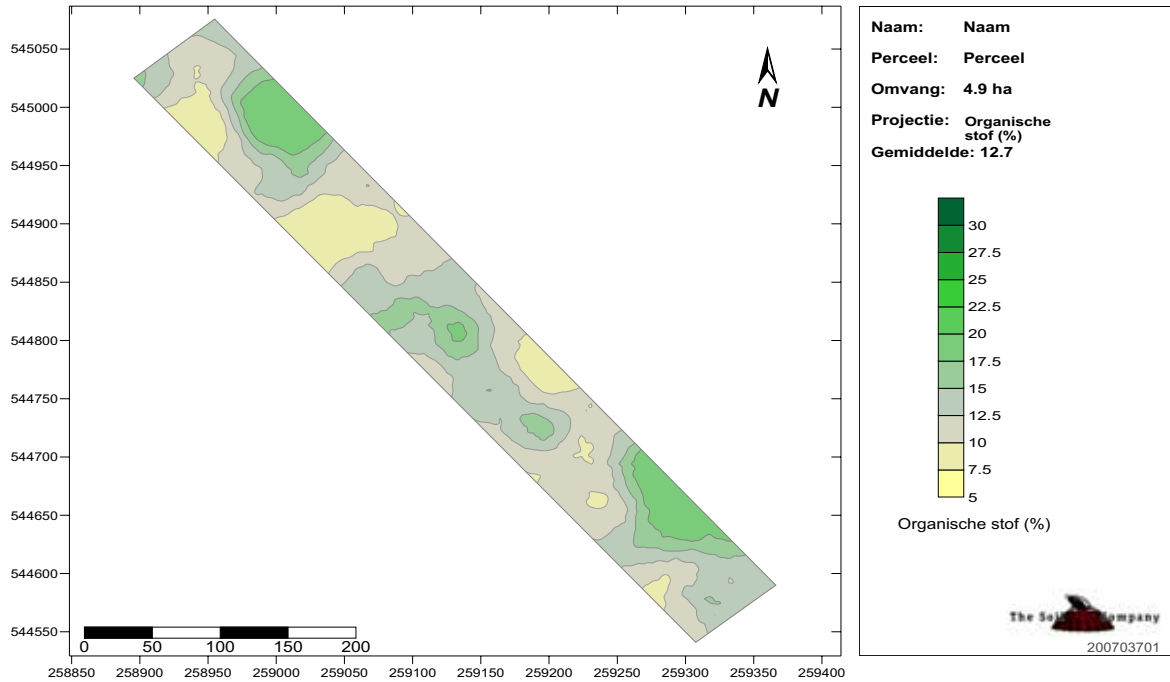
*Figuur 3.2. Stappen in beeldanalyse van detectie aardappelopslagplant in suikerbieten (bron: Ard Nieuwenhuizen).  
Op foto A: 2 suikerbieten en 1 aardappelplant.  
Op foto B: is in rood de aardappelplant aangemerkt.*

## 3.2 Overige detectiesystemen voor pleksgewijze gewasbescherming

In dit hoofdstuk gaat het niet om onkruiddetectie, maar om andere systemen waarmee pleksgewijze variatie binnen een gewas of perceel bepaald kan worden. Het gaat hier om systemen voor het maken van bodem-, plant- en gewas-scans, als ook ziekteherkenning.

### 3.2.1 Bodemkaarten

Bodemeigenschappen beïnvloeden de kans op aanwezigheid van bepaalde onkruidsoorten. Daarnaast beïnvloeden bepaalde bodemeigenschappen de effectiviteit van onkruidbestrijdingmethoden. Bijvoorbeeld, de effectiviteit van bodemherbiciden wordt beïnvloed door organische-stofgehalte en afslibbaarheid van de grond. Lokers & de Jong (2008) concluderen o.a. dat de huidige ontwikkelingen op het gebied van Digital Soil Mapping belangrijk zijn, maar dat verdere techniek-, proces- en softwareontwikkeling nodig is om te komen tot voor precisiegewasbescherming bruikbare bodemkaarten met voldoende nauwkeurigheid in ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen. Momenteel worden al wel diverse bodemkaarten op de markt gebracht in de akker- en tuinbouw (zie Figuur 3.3). Wetenschap en praktijk worstelen hier met de vraag welke nauwkeurigheid nodig is bij dergelijke kaarten. Duidelijk is wel dat de nauwkeurigheid van de huidige bodemscansystemen voor veel precisietoepassingen te kort schiet.

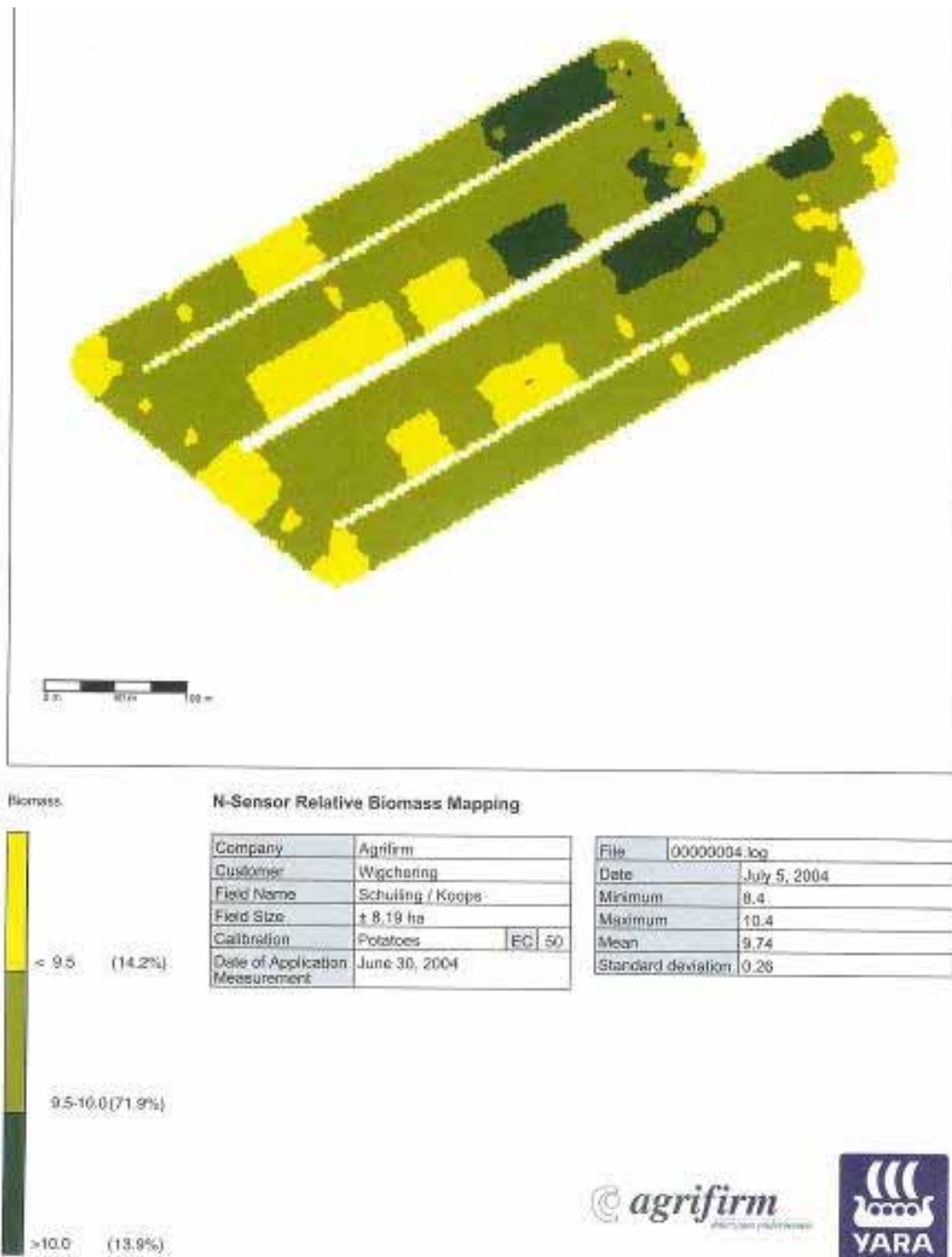


Figuur 3.3. Voorbeeld van een perceelkaart met ruimtelijke variatie in organische-stofgehalten.

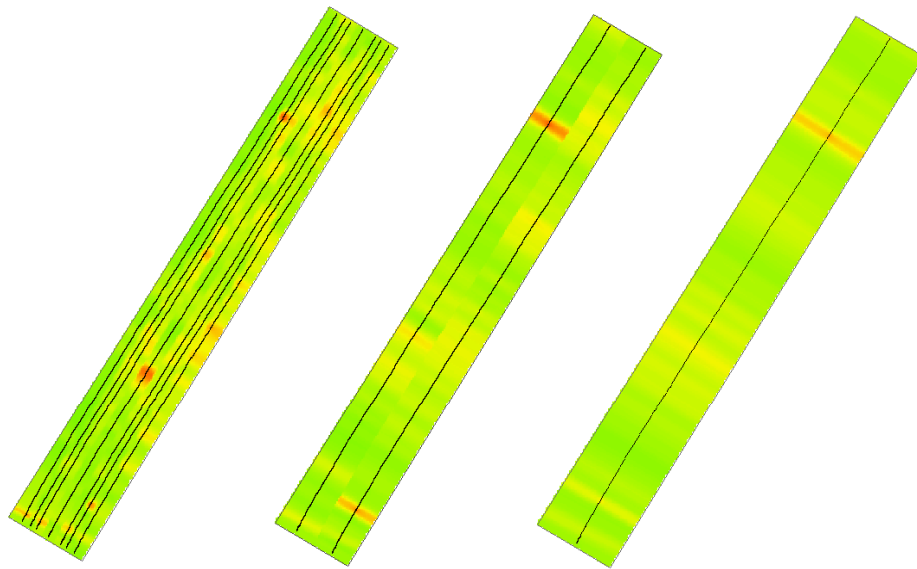
### 3.2.2 Biomassakaarten

Biomassakaarten zijn te gebruiken bij o.a. biomassa-afhankelijk doseren van gewasbeschermingmiddelen (Canopy Density Spraying). Sensoren als WeedIT, GreenSeeker, CropScan, Crop Circle en N-Sensor zijn te gebruiken om pleksgewijs de dichtheid en activiteit van 'standing biomassa' (de hoeveelheid en activiteit van de plantmassa op de meetplek van het perceel) te bepalen (Achten & Molema, 2006; Kempenaar *et al.*, 2008a, 2008b). Met deze sensoren kunnen on-line biomassametingen gedaan worden te gebruiken bij pleksgewijze inzet van gewasbeschermingmiddelen en N-meststoffen. Voorbeelden van succesvolle toepassingen zijn pleksgewijze dosering van loofdoodingmiddelen met N-Sensor in combinatie met MLHD-PHK-beslisregels en verschillende typen landbouwsputten, of met SensiSpray-prototype, in Flevoland (reducties 40 - 50% in middelgebruik, data 2006 t/m 2008, Kempenaar *et al.*, 2008a). In Figuren 3.4 en 3.5 worden gewaskaarten van biomassametingen met N-Sensor resp. SensiSpray getoond.

Via remote sensing vanuit satellieten is het ook mogelijk om biomassakaarten van gewassen te maken. In principe kunnen deze kaarten dezelfde informatie bevatten als de kaarten in Figuren 3.4 en 3.5. De tijdigheid en zekerheid is echter wel anders. Remote sensing dient beschouwd te worden als een off-line vorm van sensing. Er zit minimaal een aantal dagen tussen het maken van de opnames uit de satelliet en het beschikbaar komen van de digitale kaarten voor aansturing van pleksgewijze gewasbescherming. RS-opnames worden regelmatig verstoord door een aanwezig wolkendek. Een voorbeeld van een remote sensing gewaskaart staat in Figuur 3.6.



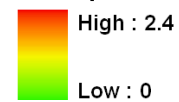
Figuur 3.4. Voorbeeld van een gewaskaart met ruimtelijke variatie in biomassa gemeten met N-Sensor. Aardappelperceel in provincie Groningen, juni 2004.



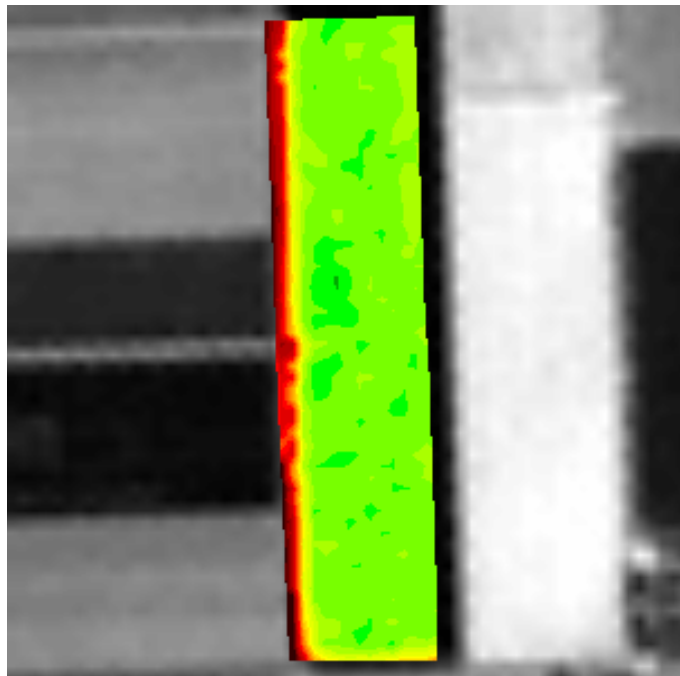
High Variation; Scenario 1, links; Scenario 2, midden; Scenario 3, rechts

**Legenda**

**Verloop dosering (l/ha)**



*Figuur 3.5. Voorbeeld van een doseringkaarten loofdodingmiddel op basis van ruimtelijke variatie gemeten met verschillende hoeveelheden Greenseeker-sensoren op een 27 m brede spuitmachine (SensiSpray-prototype).*



*Figuur 3.6. Voorbeeld van een gewaskaart met ruimtelijke variatie in biomassa gemeten vanuit een satelliet (bron: Voxel, project Geo-Logisch).*

### 3.2.3 Detectie met lichtsluizen en ultrasoonsensoren

Met behulp van lichtsluizen kunnen op eenvoudige manier planten boven het maaiveld gedetecteerd worden (Achten & Molema, 2006). Een lichtsluis bestaat uit een emitter en een detector. Als de lichtstraal tussen de emitter en de detector onderbroken wordt door een obstakel, bijvoorbeeld een plant, dan krijgt de actuator een signaal om juist niet of juist wel een bestrijdingsactie uit te voeren. Een voorbeeld van toepassing van lichtsluizen bij onkruidbestrijding in de gewasrij is het Sarl Radis intrarijwieder (Radis Mécanisation, Apt, Frankrijk) systeem. De hoogte van planten kan gemeten worden met ultrasoonsensoren, deze vorm van sensing kan gebruikt worden om onderscheidend vermogen van eerder genoemde systemen te verbeteren.

### 3.2.4 Gewasrijherkenning

Er zijn camerasystemen ontwikkeld die de positie van individuele gewasplanten en de richting van de gewasrij nauwkeurig kunnen bepalen (Bakker *et al.*, 2008; Nieuwenhuizen *et al.*, 2008a, 2008b). Deze informatie wordt dan voornamelijk gebruikt om de precisie van mechanische onkruidbestrijding te verbeteren. Met deze systemen kan sneller en dichter bij de onkruidplanten geschoffeld worden. Voorbeelden zijn EcoDAN en Garford Robocop (Achten & Molema, 2006).

### 3.2.5 Onkruidscouten en bestrijdingkaarten

Het is technisch gezien mogelijk om via visuele beoordeling de posities van onkruiden te markeren in digitale bestanden, en deze bestanden vervolgens om te zetten in onkruidkaarten en behandelkaarten. In bepaalde situaties kan dit zinvol zijn. In Figuur 2.1 wordt een dergelijke kaart getoond. Praktisch gezien is dit nog niet realistisch daar er (te) veel tijd zit in het maken van de kaart door onkruidscoutende personen. De kaart is namelijk gemaakt d.m.v. inspectie van het perceel zaaiuien en dan door de posities van individuele planten in te tikken in een PDA met specifieke software en DGPS. Alleen in heel specifieke gevallen kan het lonend zijn om dergelijke kaarten te maken. Te denken valt aan het markeren van gelokaliseerde haarden van meerjarig onkruid (bijvoorbeeld knolcyperus) of andere plagen binnen een perceel. De kaart is dan te gebruiken bij pleksgewijze bestrijding.

### 3.2.6 Geautomatiseerde ziekte- en plaagdetectie

Op het gebied van geautomatiseerde ziekte- en plaagdetectie zijn de ontwikkelingen minder ver dan bij geautomatiseerde onkruiddetectie. Dit is niet verwonderlijk daar de te detecteren aantastingen of gewasbelagers over het algemeen kleiner en minder opvallend zijn dan de te detecteren onkruiden. In Zijlstra *et al.* (2008) worden naast diagnostische technieken een aantal ontwikkelingen op het gebied van ziekteherkenning genoemd, zoals een gewasgezondheidsensor voor detectie van schurft in fruitboomgaarden (Van de Zande *et al.*). Tevens wordt een goed overzicht gegeven van ziekte- en plaagdetectie in de proceedings van de 2nd conference on Precision Crop Protection in Bonn, October 2008 (DFG, 2008). Er zijn interessante ontwikkelingen op het gebied van detectie van o.a. valse meeldauw in druiven (Agati *et al.*, 2008), bladziekten in suikerbieten en *Puccinia* en *Fusarium* in granen (onderzoek in Duitsland (DFG, 2008) en België (Bravo, 2003, OptiDis project) bij de Universiteiten van Bonn en Leuven, respectievelijk). En goede bestrijding van *Fusarium* is extra belangrijk omdat het de kans op mycotoxinen in voedsel verkleint. Binnen Wageningen UR wordt gewerkt aan een systeem voor detectie van viruszieke planten (Van Doorn *et al.*, 2008) afgeleid van eerder onderzoek met de ImSpector (Schut *et al.*, 2004). Met de MIPS faciliteit binnen Wageningen UR kunnen infecties van bladeren door schimmels in een vroeg stadium in het laboratorium in een vroeg stadium gedetecteerd worden (de Ruiter *et al.*, 2005).

Detectie van specifieke ziekten gebeurt over het algemeen met de zelfde principes (spectraal- en/of beeldanalyse) zoals beschreven in hoofdstuk 3.1, met de aantekening dat nauwkeurige herkenning moeilijker en minder ver ontwikkeld is voor ziekten dan voor onkruiden. Voor detectie van gewasbelagende insecten kan gesteld worden dat er nog geen grote inspanningen gedaan zijn om detectiesystemen die gebruik maken van camera's te ontwikkelen. Wel is

het zo dat bij geïntegreerde plaagbestrijding er al veel jaren ervaring is met monitoring van aanwezigheid van plagen in gewassen met vangsystemen. De beweeglijkheid van insecten maakt dat camerasystemen minder bruikbaar zijn voor detectie van deze gewasbelagers in precisiegewasbeschermingtoepassingen. Voor het maken van perceelkaarten van bodemgebonden ziekten en plagen komen steeds meer technieken en ICT beschikbaar (DFG, 2008, en ook ontwikkelingen bij Nemadicide).

In bepaalde situaties bieden gewasreflectiemetingen perspectief om de inzet van bepaalde fungiciden pleksgewijs te optimaliseren. In hoofdstuk 3.2.2 is reeds een overzicht van geschikte sensoren gegeven (Achten & Molema, 2006; Kempenaar *et al.*, 2008a, 2008b). In het PreciSpray project Meron *et al.*, 2003) en ISAFruit projecten (Van de Zande *et al.*, 2008c, 2008d) is de haalbaarheid hiervan bij fruitboomgaardspuiten en de inzet van preventieve fungiciden reeds aangetoond (Achten & Molema, 2006; Lund *et al.*, 2008). Recentelijk zijn ook de eerste successen behaald op dit gebied met landbouwsputten (zie SensiSpray, Kempenaar *et al.*, 2008a, Van de Zande *et al.*, 2008e) bij de bescherming tegen *Phytophthora infestans* in aardappelen en *Botrytis* spp. in tulpen.

### 3.3 Beslisregels/managementmodellen

#### 3.3.1 Onkruiden

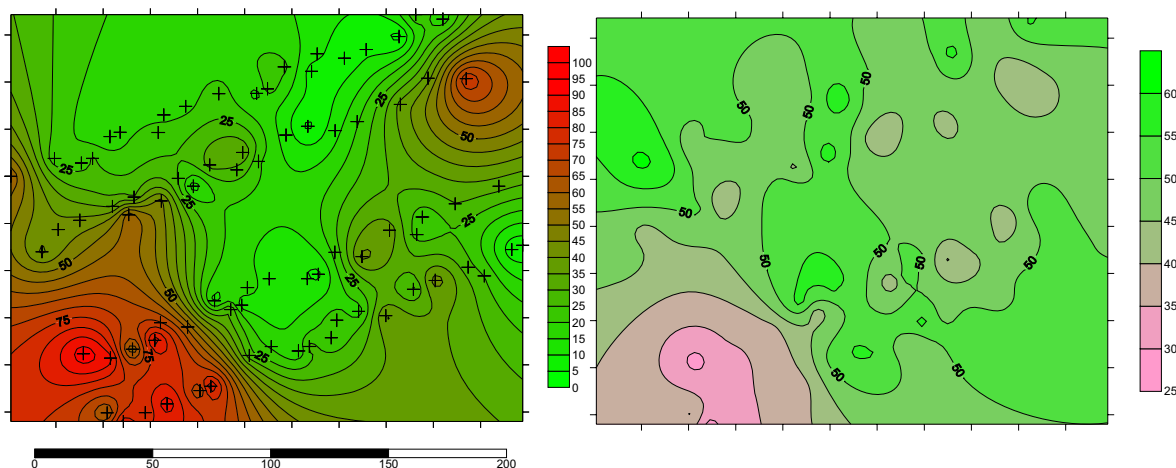
Na geautomatiseerde onkruidherkenning (of het beschikbaar hebben van data over ruimtelijke variatie binnen het gewas/perceel) dient het systeem van pleksgewijze onkruidbestrijding te kunnen bepalen of en in welke mate onkruidbestrijding op de verschillende plekken binnen het perceel uitgevoerd moet worden. Op hoofdlijnen kunnen twee typen beslisregels voor deze bepaling onderscheiden worden:

1. eenvoudige beslisregels (algoritmen);
2. complexe (onkruid)managementmodellen.

Noodzaak en benodigde mate van bestrijding hangt van veel factoren af, waaronder effectiviteit van de methode met dosis-responserelaties, onkruidsituatie (dichtheid, soorten, stadia), gewassituatie, populatiedynamica, schaderelaties, rotatie, economie en ecologie. Eenvoudige beslisregels houden meestal alleen rekening met één of enkele factoren die de werking bepalen. Een voorbeeld van eenvoudige beslisregels zijn de MLHD-PHK-rekenregels die sensormetingen van biomassa van aardappelloof doorvertalen in minimum effectieve doseringen van loofdodingmiddelen (Kempenaar *et al.*, 2008a). MLHD staat voor Minimum Letale Herbicide Dosering, PHK voor Potato Haulm Killing. De beslisregels vertalen pleksgewijs gemeten biomassa van de aardappel in pleksgewijze minimum effectieve dosering van de toegepaste loofdodingmiddelen. Uit kasproeven zijn sinds 2008 enkele beslisregels beschikbaar voor dosering op basis van de relatie tussen organische-stofgehalte in de bodem en de minimum letale dosering van drie bodemherbiciden. Van enkele contactherbiciden waren er al beslisregels die soorten en grootte van onkruiden koppelen aan minimum letale doseringen (zie [www.mlhd.nl](http://www.mlhd.nl)). Ook de Nederlandse BOSSen GEWIS (Opticrop) en Betakwik (IRS) bieden mogelijk bruikbare beslisregels.

Multi-factoriële onkruidmanagementmodellen worden tot nog toe weinig of niet gebruikt in systemen van pleksgewijze bestrijding. In potentie kunnen deze modellen een grotere bijdrage leveren aan optimalisering van teelt- en bedrijfsresultaat dan de eenvoudige rekenregels. Immers, de multi-factoriële modellen wegen ook schaderelaties, populatiedynamica, economie en soms ook ecologie mee, waardoor het uiteindelijke effect voor de portemonnee (en milieu) beter is. Christensen (2009) en Rydahl (2009, in press, Endure DSS workshop March 2008), hebben recentelijk overzichten gepresenteerd van onkruidmanagementmodellen/DSS-en. Voorbeelden zijn CPOWeeds uit Denemarken, OptHerbClim en DecidHerb uit Frankrijk en GestInf uit Italië. Een multi-factorieel onkruidmanagementmodel geënt op Nederlandse situatie is nog niet beschikbaar.

Voor de korte termijn hangt het succes van pleksgewijze onkruidbestrijding vooral af van gevalideerde eenvoudige beslisregels. Hierbij is ook schaal van precisie van belang. Als de schaal groter wordt van individuele plantbehandeling naar haard- of vlakbehandeling, dan zijn aanpassingen van de rekenregels nodig die onzekerheden afdekken. Dit wordt des te belangrijker als met onkruidherkenningsystemen gewerkt wordt die niet het gehele oppervlak scannen.



Figuur 3.7. Links: Verwelkingsziekte (*Verticillium dahlia*) in aardappel. De verwelkingsziekte is weergegeven in percentage stengels aangetast. Lijnen geven een soort 'hoogtelijn' van de intensiteit van de aantasting weer. Balk = 200 m.  
Rechts: De opbrengsten van aardappel per waarnemingsveld omgerekend naar tonnen/ha.

### 3.3.2 Ziekten, plagen en groeiregulatie

Onderzoek naar pleksgewijze bestrijding van ziekten en plagen werd in het verleden gehinderd door verschillende kennislacunes (zie ook hoofdstuk 3.2.6). Reflecties van percelen gemeten met gewasreflectiesensoren vertonen variaties t.g.v. zogenaamde intrinsieke verschillen in gewasontwikkeling over het perceel heen, veroorzaakt door verschillen in bijv. bodemgesteldheid, grondsoort, beschikbaarheid van water, etc. Hierdoor vertonen de meeste gescande percelen, onafhankelijk van eventueel aanwezige ziekten en plagen, een niet homogeen beeld. Per perceel, en soms per gewas, zal er een soort achtergrondkaart moeten worden gegenereerd die de opbrengst potentie zonder ziekten weergeeft. Een dergelijke kaart kan worden gemaakt door verschillende jaren waarnemingen met weinig of zonder ziekten over elkaar heen te leggen. Hiermee kan een 'ijkkaart' worden vervaardigd, waarmee een grote bron van variatie verdwijnt bij volgende metingen; afwijkingen van deze 'ijkkaart' zullen dan wijzen op een calamiteit. Het resultaat maakt het mogelijk een betere correlatie te leggen tussen ziekte/plaag- en sensorgegevens. De benodigde informatie hiervoor was 10 jaar geleden niet aanwezig. Tegenwoordig kunnen telers wanneer ze maar willen satellietbeelden opvragen betreffende de biomassa op hun perceel. De constructie van 'ijkkaarten' is hiermee dus mogelijk geworden. De relatie tussen de ziektedruk en de waarneembare afwijking van sensor informatie kan hierdoor worden geformaliseerd zonder de storende invloed van andere omgevingsfactoren onder gecontroleerde omstandigheden.

De ruimtelijke variatie van ziekten en plagen is niet of nauwelijks bekend op de schaalniveaus die de huidige sensing technieken mogelijk maken. Onderzoek in de Wieringermeepolders via scouting heeft wel aangetoond dat verschillende ziekten en plagen een zeer gevarieerd ruimtelijk patroon kunnen opleveren (zie Figuur 3.7). Maar met de toen nog ruimtelijk beperkte sensing informatie konden moeilijk interpolaties worden uitgevoerd. Nu percelen zonder problemen in het geheel kunnen worden gescand is ook hier de mogelijkheid voor vernieuwend onderzoek mogelijk.

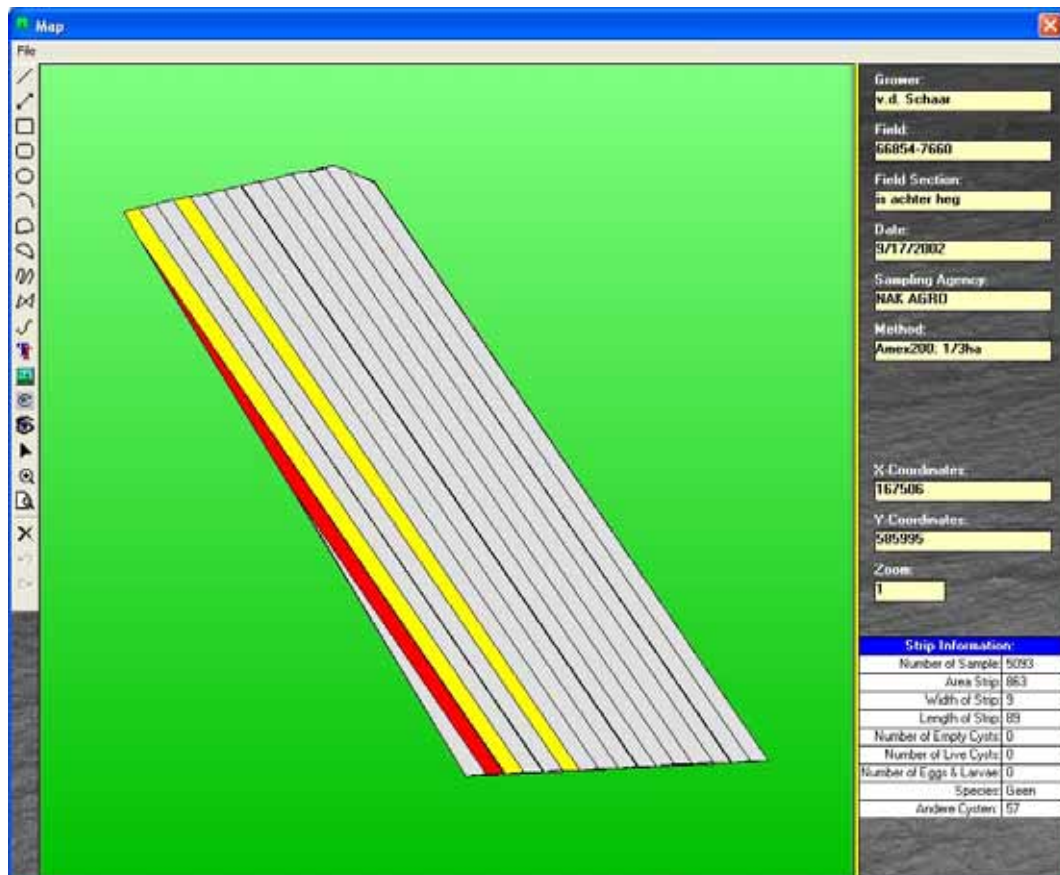
Ziekten en plagen kunnen verder worden onderverdeeld in bovengrondse en bodemgebonden ziekten. Tot bovengrondse ziekten worden vooral bovengronds verspreidende pathogene schimmels gerekend als *Botrytis* en *Phytophthora*. Detectiesystemen voor deze ziekten zijn nog niet beschikbaar (zie 3.2.6). Hier wordt nu verder ingegaan op bodemgebonden ziekten. Hieronder bevinden zich veel quarantaine organismen, bijvoorbeeld *Globodera* spp., *Meloidogyne chitwoodi* en *M. fallax*, wratziekte en stengelaaltjes. Mogelijk kunnen moderne sensing technieken lijden tot vroegtijdige detectie van deze pathogenen in het gewas (Figuur 3.8).

Voor bestrijding van bodempathogenen kan gebruik gemaakt worden van kennis uit o.a. het BOS Nemadecide (Been *et al.* 2004, 2005) dat zich richt op de beheersing van quarantaine aaltjes en aaltjes die een grote impact hebben op de Nederlandse akkerbouw en vollegrondsteelten. Met gerichte toepassing van resistente rassen, vruchtwisseling en



niet-chemische bestrijding kan de inzet van pesticiden worden verminderd. Het systeem is nog niet gereed voor alle aaltjes, maar wordt gestaag uitgebreid. Voor de pleksgewijze inzet van fungiciden gericht op bovengrondse ziekten zullen de benodigde beslisregels nog ontwikkeld of op maat gemaakt moeten worden. Het ligt hierbij voor de hand dat deze beslisregels rekening houden met weeromstandigheden (bijv. GEWIS van OptiCrop (Bouma, 2006)) en groeisnelheid van het gewas, wat maakt dat de regels al vrij snel complex zullen worden.

Voor groeiregulatie zijn beslisregels beschikbaar als het gaat over loofdoding in consumptieaardappelen (vanuit Nederlandse onderzoek, MLHD-PHK-beslisregels, Kempenaar *et al.*, 2008a) en groeiregulatie in granen (vanuit Duitse onderzoek, Yara).



*Figuur 3.8. Geografisch informatie betreffen met aardappelmoeheid besmette stroken in een perceel na aardappelteelt. De mogelijkheden om met sensing eerder en goedkoper een besmetting te detecteren zouden moeten worden onderzocht. Met sensing zou ook een betere plaatsbepaling van de besmettingshaard en een meer gerichte bestrijding mogelijk kunnen worden.*

### 3.4 Actuatoren

De daadwerkelijke uitvoering van de onkruidbestrijding c.q. gewasbescherming kan volgens verschillende technieken op chemische, mechanische of fysische wijze gedaan worden. Voor pleksgewijze inzet van pesticiden vindt techniekontwikkeling plaats aan (secties van) spuitbomen van landbouwsputten, aan boomgaardspuiten en aan toedieningsystemen voor plantbehandeling. Bij de niet-chemische technieken richt techniekontwikkeling zich vooral op precisie in de gewasrij of precisie binnen een teeltbed.

In de hoofdstukken 3.4.1 tot en met 3.4.3 worden een aantal belangrijke technieken kort toegelicht. Geraadpleegde bronnen zijn: Christensen *et al.*, 2009; Lund *et al.*, 2008; Van de Zande *et al.*, 2005; Van der Schans *et al.*, 2006; Van der Weide *et al.*, 2008.

### 3.4.1 Pleksgewijze vlakkenbehandeling met pesticiden

De afgelopen 15 jaren zijn er verschillende prototype landbouwspruiten ontwikkeld die pleksgewijs onkruidhaarden in percelen kunnen bespuiten. De meeste van deze spruiten werkten volgens het injectiespuitstelsel of via het principe van selectieve aansturing van secties van de spuitboom. Als input gebruikten deze spruiten meestal een digitale behandelingskaart van het perceel. En doseringen werden dan veelal geregeld via een hydraulisch systeem met standaard spuitdoppen. Gerhards & Oebel (2006) hebben als één van de eersten een dergelijk systeem gekoppeld aan geautomatiseerde onkruidherkenning en een eenvoudig onkruidmanagementmodel. In graangewassen realiseren zij 60% reductie in middelen tegen breedbladigen en 90% reductie in middelen tegen grassen.

Een nadeel van thans gangbare spuitsystemen is dat ze slecht uit de voeten kunnen met grote aanpassingen in doseringen over korte afstanden en dat ze niet of nauwelijks middelen kunnen bijmengen. Een 'direct injection' injectiesysteem kan dit laatste manco wegnemen. Een VarioSelect doppensysteem op de spuitboom maakt grote aanpassingen in doseringen over korte afstand mogelijk, zie bijvoorbeeld de resultaten met SensiSpray prototype.

### 3.4.2 Pleksgewijze behandeling van individuele planten met pesticiden

Behandeling van individuele planten met herbiciden of andere pesticiden vergt specifieke toedieningstechniek. In geval van systemisch werkende middelen kan een 'Drop On Demand' (DOD) systeem volstaan. Hiermee kunnen druppels ter grootte van microliters per plant toegediend worden (Mathiassen *et al.*, 2008; Nieuwenhuizen, personal communication). Voor niet systemische middelen is vaak een goede verdeling van middel over de plant nodig. Dit kan gerealiseerd worden met een hydraulisch spuitsysteem met één of enkele spuitdoppen gericht op de plant.

### 3.4.3 Pleksgewijze inzet niet-chemische methoden

Pleksgewijze niet-chemische onkruidbestrijding vindt vooral plaats in de gewasrij. Vooral bij de mechanische methoden zijn er relatief veel ontwikkelingen geweest (Van der Schans *et al.*, 2006; Van Os & Van der Schans, 2006; Van der Weide *et al.*, 2008). Deze systemen kunnen gewas van onkruid in de rij onderscheiden. Diverse verbeteringen hebben er toe geleid dat relatief grote delen van de gewasrij behandeld kunnen worden met een schoffel of uitklappend mes zonder het gewas te beschadigen. Sarl radis stuurt pneumatisch een schoffel de rij in nadat de gewasplant met een simpele lichtsensor is bepaald. Garford laat een schoffelschijf om de gewasplanten heen draaien nadat de plek van de gewasplant met sensor en rekenregels is bepaald.

Poulsen (2006) heeft een precisiebrander voor in de gewasrij ontwikkeld. Ook hier geldt dat het systeem de gewasplanten herkent. Op de plaatsen waar gewasplanten staan, wordt de brander dan tijdelijk uitgeschakeld.

Andere technieken die als potentiële innovaties voor pleksgewijze onkruidbestrijding genoemd worden, zijn hydraulische schoffels of pneumatisch aangestuurde luchtblazers die rond de gewasplanten aan en uit gezet worden en mogelijk in de toekomst ook hoog-voltage elektriciteitsbehandeling en laser (Matthiassen *et al.*, 2006; Wöltjen *et al.*, 2008) behandelingen. M.u.v. enkele eerste typen intrarijschoffels hebben deze toepassingen nog niet geleid tot experimenten op grote schaal.

## 4. Witte vlekken en kennisvragen

Ondanks enkele recente doorbraken (zie sensorgestuurde aardappelloofdoding en onkruidbestrijding op verhardingen, pleksgewijze zuring- en aardappelopslagbestrijding, niet-chemische onkruidbestrijding in de gewasrij), vindt innovatieve pleksgewijze gewasbescherming nog niet of nauwelijks plaats in de praktijk. De praktijk ziet kansen en voorgenoemde successen, mede tot stand gekomen via BO-Plantgezondheidonderzoek. Maar er zijn nog diverse knelpunten die maken dat grootschalige toepassing van precisiegewasbescherming nog niet plaats kan vinden. De knelpunten hebben op onderdelen te maken hebben met specifieke technische beperkingen, maar over het algemeen meer met het ontbreken van gevalideerde beslisregels/ managementmodellen. De onzekerheden over de (meer)kosten en besparingen vormen een beperking. Om pleksgewijze onkruidbestrijding/gewasbescherming rendabel te maken en de verwachte teelt- en milieuvoordelen ervan te benutten in de toekomst, is stimulerend beleid en onderzoek nodig. In dit hoofdstuk worden de contouren van een onderzoeksagenda ter stimulering van pleksgewijze gewasbescherming/onkruidbestrijding geschetst. Per onderdeel van de combinatie detectie - beslisregel - actuatie worden witte vlekken besproken. Tot slot wordt een tabel gepresenteerd met specifieke kennisvragen per belangrijke gewasbeschermingmaatregel.

### 4.1 Detectiesystemen

Het is technisch en economisch gezien nog niet haalbaar om gangbare landbouwsputen in te richten met camera-systemen die soorten en dichtheden van onkruiden of ziekteverwekkers in gewassen kunnen detecteren. De benodigde hardware lijkt niet de beperkende factor te zijn, maar programmatuur voor snelle en nauwkeurige herkenning van onkruiden en ziekten is wel beperkend. Er zijn recentelijk wel enkele technische doorbraken (zie vorige hoofdstuk 3) gerealiseerd met geautomatiseerde plantherkenning gekoppeld aan bestrijding op schaalniveau 'individuele planten'. Zie hiervoor de pilotprojecten met plantherkenning in grasland en suikerbieten (hoofdstuk 3.1.2) en pleksgewijs niet-chemisch (hoofdstuk 3.4.3). Op dit moment liggen, technisch gezien, de beperkingen niet zo zeer bij camera's in de herkenningsystemen, maar bij de software en databases nodig voor de herkenning van onkruiden of ziekten. De benodigde software en databases voor herkenning van onkruiden of ziekten zijn nog onvoldoende ontwikkeld, waardoor de nauwkeurigheid van de systemen nog te beperkt is voor veel teeltsituaties in Nederland, zeker als het gaat om detectie van klein onkruid (kiemplanten, in LDS is herkenning van kiemend onkruid een must) of beginnende infecties. Duidelijk is wel dat succesvolle herkenning het beste kan door een combinatie van analyse van spectraal- en textuurinformatie in beeldopnames.

Verder is het van belang te blijven zoeken naar nieuwe principes die herkenning en aansturing van pleksgewijze onkruidbestrijding/gewasbescherming verbeteren/vereenvoudigen en kosten van de detectie verlagen, bijvoorbeeld door aanvullend gebruik van perceelkaarten met bodemeigenschappen of gebruik van biomassakaarten.

Witte vlekken/kennisvragen m.b.t. detectiesystemen:

1. Op welke schaal kan geautomatiseerde (onkruid)detectie het beste plaatsvinden (op niveau van planten/ gewasrijen of op niveau van vlakken binnen een perceel met bepaalde afmetingen? Het antwoord hangt o.a. af van ruimtelijke variatie van onkruidpatronen en ontwikkelingen binnen mechanisatie (schaalvergroting (grote landbouwsputen) of schaalverkleining (robotisering met behandeling van planten in gewasrijen). Dit schaalvraagstuk geldt ook voor geautomatiseerde ziekteherkenning.
2. Kunnen de prototypes van plantherkenning uit beschreven pilotprojecten veralgemeniseerd worden naar toepassingen in andere gewassen? En is het mogelijk om ziekten in gewassen specifiek te detecteren?
3. Kunnen de systemen van plant- en onkruidherkenning nauwkeuriger gemaakt worden zodat ze ook kiemplanten kunnen detecteren?
4. Kunnen de beoogde systemen voor ziekteherkenning dermate nauwkeurig gemaakt worden dat ze betrouwbaar onderscheid kunnen maken tussen aantastingen door verschillende ziekteverwekkers? Of volstaan specifieke 'stress' metingen om pleksgewijze ziektebestrijding aan te sturen?

5. Kunnen digitale perceel- en gewaskaarten (aanvullend) gebruikt worden om pleksgewijze onkruidbestrijding aan te sturen c.q. te vereenvoudigen? Het gaat hier om kaarten met ruimtelijke variatie in organische-stofgehalte van de bodem of ruimtelijke variatie in biomassa van het gewas? Bevatten deze bodemkaarten voldoende precisie om pleksgewijs doseringen van bodemherbiciden te optimaliseren? Zijn deze kaarten te maken via waarnemers die het perceel pleksgewijs visueel beoordelen (scoutingsysteem).

N.B. Deze toepassingen zijn mogelijk sneller te realiseren in de praktijk dan toepassingen met detectie van individuele onkruiden of ziekten, en verdienen daarom speciale aandacht bij prioritering.

## 4.2 Beslisregels/managementmodellen

Voor een enkele 'pleksgewijze' toepassing zijn beslisregels beschikbaar die sensormeeetwaarden vertalen in minimum effectieve doseringen, zie bijvoorbeeld de MLHD-PHK-beslisregels die biomassametingen vertalen in minimum effectieve doseringen van loofdoedingmiddelen (Kempenaar *et al.*, 2008a). Voor andere toepassingen moeten de beslisregels/managementmodellen nog ontwikkeld of op maat gemaakt worden. Als plant- of onkruidherkenning onnauwkeuriger wordt, dient er meer veiligheidsmarge in de beslisregel te komen. Verder is het zo dat in de tot nog toe gebruikte beslisregels alleen gestuurd wordt op effectiviteit. Meer rendement uit pleksgewijze onkruidbestrijding is mogelijk als factoren als onkruidpopulatiodynamica, gewas-onkruidschaderelaties, rotatie, economie en milieueffecten meegenomen worden in de beslisregels. In zo'n geval praten we over onkruidmanagementmodellen. Voor ziektebestrijding zullen waarschijnlijk ook microklimaat- en gewasgroeimodellen meegenomen moeten worden in de beslisregels/modellen.

Witte vlekken/onderzoeksvragen m.b.t. beslisregels/modellen:

1. Hoe kunnen beslisregels voor pleksgewijze bestrijding zo efficiënt mogelijk ontwikkeld worden? Is het mogelijk voor belangrijke categorieën van middelen en methoden generieke beslisregels te ontwikkelen die sensorwaarden aan doseringen koppelen? Belangrijke categorieën zijn o.a. bodemherbiciden, systemisch werkende contactherbiciden, niet-systemisch werkende contactherbiciden, preventieve fungiciden, groeiregulators en niet-chemische methoden voor in de gewasrij.
2. Wat is de relatie tussen nauwkeurigheid van de detectie en de veiligheidsmarge die in beslisregels/modellen gewenst is? Het antwoord hangt o.a. af van ruimtelijke variatie van de gewasbelagers.
3. Is er behoefte aan om factoren als gewasbelagerpopulatiodynamica, schaderelaties, rotatie, microklimaat, gewasgroei, economie en milieueffecten mee te nemen in beslisregels voor pleksgewijze onkruidbestrijding/gewasbescherming? En waar moet dan de prioriteit gelegd worden om zo veel mogelijk teelt- en/of milieurendement te realiseren?

## 4.3 Actuatie

Actuatie is de derde stap in de trits detectie - beslisregel - actuatie. Beperkingen bij actuatie hebben consequenties voor hoe in te steken op schaal, detectie en beslisregels. Gangbare landbouw is vooral schaalvergroting, en dus moeten actuatoren in korte tijd grote vlakken kunnen behandelen. In het kort worden knelpunten/witte vlekken en wensen opgesomd m.b.t. actuatie.

Witte vlekken/onderzoeksvragen m.b.t. actuatie/uitvoering:

1. Verbeteren van mechanische onkruidbestrijding in gewasrijen (snelheid en capaciteit; effectiviteit en selectiviteit; inzetbaarheid bij verschillende bodem- en weersomstandigheden).
2. Ontwikkelen van andere niet-chemische technieken t.b.v. onkruidbestrijding (in de gewasrij), bijvoorbeeld lasertechnologie.
3. Ontwikkelen van spuittechniek voor behandeling van individuele planten met gewasbeschermingmiddelen (vooral bij toediening van een systemisch onkruidbestrijdingmiddel als glyfosaat is dit van belang). Mogelijk dat ook andere toedieningstechnieken kunnen volstaan.

4. Ontwikkeling van techniek voor het pleksgewijs doseren van gewasbeschermingmiddelen op gangbare spuit-systemen. Ontwikkelingen als sectie control, direct injectie systemen en VarioSelect doppensysteem bieden perspectief, maar hebben ook nog technische beperkingen.
5. Hoe snel doet robotisering in akkerbouwmatige teelten haar intrede? De verwachting is dat grootschalige behan-deling van individuele planten in deze gewassen pas echt opgang zal maken als er 'robots' beschikbaar zijn die deze activiteiten met minder inzet van personeel mogelijk maken.

## 4.4 Overzicht kennisvragen

In de hoofdstukken 4.1 tot en met 4.3 staan de belangrijkste kennisvragen per onderdeel van precisiegewas-bescherming opgesomd. Deze kennisvragen kunnen geaggregeerd worden tot de volgende vier thema's:

1. Hoe precies kan precisiegewasbescherming worden?
2. Ontwikkeling van gevalideerde beslisregels/managementmodellen voor pleksgewijze inzet van gewas-beschermingmaatregelen.
3. Ontwikkeling en verbetering detectiesystemen van planten, onkruiden en ziekten (camera's lijken niet beperkend, de detectiesoftware wel).
4. Innovatie en/of op maat maken van actuatoren voor pleksgewijze gewasbescherming.

Voorname kennisvragen hebben een specifiek karakter. Bij het ontwikkelen van precisietoepassingen voor belangrijke gewasbeschermingmaatregelen zal soms het accent meer bij detectie liggen en soms bij de beslisregels of actuatie. De PKE-PL-GB werkgroep kwam in 2008 tot de conclusie tot het vooral van belang is dat er gevalideerde beslisregels voor precisietoepassingen komen, en dan vooral op het niveau van vlakken- of gridbehandeling. De behandeling op kleiner schaalniveau biedt echter grotere potentiële besparingsmogelijkheden. In onderstaande tabel wordt aangegeven waar de specifieke kennisvragen liggen bij enkele belangrijke gewasbeschermingmethoden. Als de benodigde onderdelen detectie, beslisregels en actuatie voor deze methoden ver genoeg ontwikkeld zijn, dan is de tijd rijp om prototypes onder praktijkomstandigheden te testen. Een aantal van deze onderwerpen is geprioriteerd in het onderzoeksvoorstel Precisielandbouw (zie bijlage).

In Tabel 4.1 staat met een \* aangegeven welke methoden vooral ook perspectief bieden voor kleine open teelten als fruit- en boomteelten. In deze teelten is het door de opstanden lastiger om grote vlakken te behandelen, echter veel detectiemethoden bieden ook hier mogelijkheden om pleksgewijze onkruid-, ziekte- en plaagbestrijding uit te voeren.

## 4.5 Milieu- en overige voordelen van precisiegewas-bescherming

Als de beoogde precisietoepassingen uit het PKE-PL\_GB projectvoorstel gerealiseerd worden, dan wordt geschat door PKE-deelnemers dat dit binnen 10 jaar leidt tot een reductie van 35% op het gebruik van gewasbescherming-middelen in de grote teelten in Nederland (PKE, 2008). De besparingen variëren t.a.v. type toepassing, gewas en bodemsituatie (Van den Brink *et al.*, 2006; Kempenaar *et al.*, 2008). Verder geven de toepassingen een directe verlaging van 3 - 5% van het totale energieverbruik in deze teelten. De uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen zal hierdoor significant verminderen, enerzijds door verminderde productie van gewasbeschermingmiddelen en anderzijds door veranderingen in de gewasbeschermingpraktijk op landbouwbedrijven.

De reductie in gebruik van gewasbeschermingmiddelen draagt bij aan de gewenste reductie in milieubelasting. De belasting van oppervlaktewater door pesticiden zal minimaal evenredig verminderen. Ook het aantal pesticiden-gerelateerde 'drinkwaterknelpunten' zal dalen, zeker als een grote slag gemaakt wordt op gebied van pleksgewijs toedienen van herbiciden. Andere voordelen zijn versterking van belangrijke productie- en exportketens (zaai- en pootgoedketens), versterking van de kenniseconomie, imagoverbetering, minder belasting van drinkwaterbronnen door pesticiden en mogelijkheden om rendement op teelten te verhogen. Naar verwachting kunnen opbrengsten licht stijgen doordat effecten van gewasbescherming op gewasgroei verminderd worden.

Tabel 4.1. *Belangrijke operationele gewasbeschermingmethoden in akkerbouwmatige teelten en voorwaarden waaraan voldaan moet worden om pleksgewijze toepassing zinvol te maken.*

Onkruidbestrijdingmethoden	Voorwaarde bij praktijktoetsing
Inzet bodemherbicide(n) voor opkomst gewas *	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Goede kwaliteit bodemkaarten</li> <li>2. Beslisregels voor doseren</li> <li>3. Toegesneden spuittechniek</li> </ol>
Inzet contactherbicide(n) voor opkomst gewas *	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Onkruiddetectie/scoutingsysteem/actiekaarten</li> <li>2. Beslisregels voor doseren</li> <li>3. Toegesneden spuittechniek</li> </ol>
Inzet contactherbicide(n) na oogst gewas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Onkruiddetectie/actiekaarten</li> <li>2. Beslisregels voor doseren</li> <li>3. Toegesneden spuittechniek</li> </ol>
Plantbehandeling met selectieve niet-chemische methoden *	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nauwkeurige plantherkenning</li> <li>2. Doorontwikkelen niet-chemische technieken</li> </ol>
Plantbehandeling met selectieve chemische methoden *	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nauwkeurige plantherkenning</li> <li>2. Verbetering toedieningstechniek</li> </ol>
<hr/>	
Overige gewasbeschermingmethoden	
Gewasbehandeling met preventief werkende fungiciden *	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gewasreflectie- of ziektesensor</li> <li>2. Beslisregels voor doseren</li> <li>3. Toegesneden spuittechniek</li> </ol>
Gewasbehandeling met curatief werkende fungiciden *	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ziektesensor</li> <li>2. Beslisregels voor doseren</li> <li>3. Toegesneden spuittechniek</li> </ol>
Inzet van granulaten tegen bodemziekten/nematoden	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bodemziektesensor of scoutsysteem</li> <li>2. Goede bodemkaarten</li> <li>3. Beslisregels voor doseren</li> <li>4. Toegesneden toedieningstechniek</li> </ol>
Loofdoding/groeieregulatie	Sensoren, beslisregels en spuittechniek zijn niet beperkend. Op maat maken van beslisregels voor pootgoedteelt is nodig bij loofdoding in aardappel-pootgoed

\* *Ook relevant voor kleine grondgebonden teelten als fruit- en boomteelten. Naar verwachting kan van dezelfde sensoren en beslisregels gebruik gemaakt worden. Specifiek voor deze teelten is de spuittechniek en het omgaan/detecteren met de opstanden.*

## 5. Conclusies en aanbevelingen

De pleksgewijze inzet van operationele bestrijdingmethoden van onkruiden, ziekten en plagen binnen een perceel of gewas, als ook pleksgewijze chemische gewasgroeiregulatie, biedt mogelijkheden om kosten en ongewenste neven-effecten (milieueffecten, volksgezondheidsrisico's) van gewasbescherming te verminderen en fysieke opbrengsten en teeltresultaten te verbeteren. Een aantal technische doorbraken van de laatste jaren brengt deze pleksgewijze precisiegewasbescherming dichtbij. Deze doorbraken, gecombineerd met de genoemde voordelen, maken dat de praktijk en het beleid thans veel interesse tonen voor de mogelijkheden die precisielandbouwtechnieken bieden om pleksgewijze precisiegewasbescherming mogelijk te maken.

Een belangrijke vraag hierbij is hoe nauwkeurig kan precisiegewasbescherming worden. Dit bepaalt immers de winsten die er mee behaald kunnen worden. Hoe nauwkeuriger de inzet van een methode is afgestemd op de ruimtelijke variatie van het probleem (onkruid, ziekte, etc.), hoe groter de besparingsmogelijkheden. Grofweg zijn er twee niveaus van precisie te onderscheiden:

- a. Vlakkenbehandelingen van 10 - 100 m<sup>2</sup> binnen het perceel/gewas.
- b. Individuele plantbehandelingen (schaalniveau van precisie 0,001 - 0,01 m<sup>2</sup>).

Voor de praktijk zijn de individuele plantbehandelingsmethoden nog verder weg dan vlakkenbehandelingsmethoden vanwege stand van techniek. Op termijn bieden individuele plantbehandelingsmethoden wel de meeste besparingsmogelijkheden, vergaande robotisering is hierbij wel een voorwaarde omdat individuele plantbehandeling alleen haalbaar wordt in de praktijk als het met reductie van personele inzet gepaard gaat.

Het perspectief en stand van zaken van precisiegewasbescherming dient per operationele methode bekeken te worden. Iedere precisiegewasbeschermingsmethode kent minimaal drie onderdelen: detectie van het probleem, beslisregels die detectie naar nut en intensiteit van actie vertalen, en actuatie. Een goed voorbeeld van de ontwikkeling van pleksgewijze gewasbescherming is de pleksgewijze inzet van loofdodingmiddelen in consumptieaardappelen. Deze toepassing is in principe een vlakkenbehandelingsmethode. De trits (gewas)detectie - beslisregels - actuatie is hier dusdanig ver ontwikkeld dat prototypes nu in de praktijk gebruikt worden met goed resultaat. Op praktijkbedrijven in Flevoland in 2006 - 2008 werden reducties in middelgebruik van ruim 40% bereikt door de dosering pleksgewijs af te stemmen op de stand van het gewas.

In dit rapport zijn voor diverse andere operationele methoden van gewasbescherming ook stand van zaken, perspectief en witte vlekken weergegeven. De meeste aandacht is hierbij besteed aan precisieonkruidbestrijding, omdat hier wereldwijd de meeste ontwikkelingen op plaatsvinden en urgentie hoog is. Naast precisieonkruidbestrijding zijn er bij precisieziektebestrijding ook interessante ontwikkelingen (zie hoofdstukken 3 en 4).

We concluderen dat er een viertal algemene kennisvragen zijn die relevant zijn voor precisiegewasbescherming. Deze vragen zijn:

1. Hoe precies kan precisiegewasbescherming worden? Het antwoord hangt af van diverse factoren, zoals de ruimtelijke variatie van het te bestrijden onkruid, ziekte of plaag binnen perceel of gewas, stand van de techniek, kosten en mogelijke additionele voordelen. Het ontbreekt vaak aan voldoende inzicht in ruimtelijke variatie van het probleem binnen het gewas om dit goed te kunnen inschatten.
2. Welke beslisregels of managementmodellen zijn nodig voor pleksgewijze precisiegewasbescherming? Er is grote behoefte aan gevalideerde beslisregels die metingen van de detectiesystemen pleksgewijs doorvertalen naar nut en intensiteit van bestrijding. Deze beslisregels en modellen moeten zorgen dat de precisietoepassingen winstgevend worden in duurzaamheidstermen van People, Planet en Profit. Alleen voor loofdoding zijn deze gevalideerde regels nu beschikbaar in een praktijkrijp systeem. Vooral voor de inzet van herbiciden en fungiciden dienen dergelijke beslisregels en modellen afgestemd op schaal van precisie nog ontwikkeld te worden.
3. Kunnen detectiesystemen van onkruiden, ziekten en plagen voldoende nauwkeurig en robuust gemaakt worden voor de Nederlandse situatie? Bestaande detectiesystemen hebben nog niet voldoende precisie om deze problemen voldoende nauwkeurig te detecteren en pleksgewijze bestrijding aan te sturen. Hier is nog nadere

ideevorming en ontwikkeling nodig. Gewasbiomassadetectiesystemen zijn ondertussen voldoende ver ontwikkeld voor toepassing in de praktijk. Detectiesystemen voor bodemeigenschappen dienen ook nog verbeterd te worden voor toepassing in de praktijk.

4. Welke actuatoren dienen nog verder ontwikkeld te worden om precisiegewasbescherming verder te brengen. Zowel op schaalniveau van vlakkenbehandeling als individuele plantbehandeling is zijn nog verbeterlagen nodig.

We bevelen aan om de kennisvragen op te pakken via zowel fundamenteel-strategisch als praktijkonderzoek.

Kennisvraag 1 is een basisvraag van groot belang om ontwikkeling van precisiegewasbescherming goed te kunnen sturen. Het onderzoek kan informatie aanleveren om in overleg met de praktijk strategische keuzes over de richting en schaal van precisiegewasbescherming te maken. De kennisvragen 2 en 4 dienen vooral via samenwerking tussen techniekontwikkende en dienstverlenende bedrijven en kennisinstellingen opgepakt te worden vanwege het technische karakter en de commerciële mogelijkheden. Kennisvraag 3, de ontwikkeling van gevalideerde beslisregels heeft hoge prioriteit (o.a. uitkomst PKE-PL-GB overleg) en kan vanwege het inhoudelijke karakter het beste door kennisinstellingen onderzocht worden. Toetsing van prototypes voor precisiegewasbescherming is deels voorzien in PKE-PL voor enkele belangrijke toepassingen (zie bijlage). Het is daarbij belangrijk dat er tijdig gevalideerde beslisregels beschikbaar zijn of komen voor deze toepassingen.

Bij de aansturing van de ontwikkeling van precisiegewasbescherming is het verder van belang te kijken naar meer-voudige toepassingen van precisietechnieken voor verschillende operationele methoden van gewasbescherming. Sommige methoden kunnen gebruik maken van dezelfde technieken, bijvoorbeeld een spuitmachine met biomassasensor en dosering per sectie van de spuit. Hier is dan synergiewinst mogelijk. De synergie gaat zelfs verder dan gewasbescherming, precisiebemesting kan ook gebruik maken van deze technieken. Binnen PKE-PL is hier een start gemaakt met prioriteren van methoden die gebruik maken van dezelfde basistechnieken.

Bij de succesvolle ontwikkeling en introductie van belangrijke precisiegewasbeschermingmethoden in de open teelten, wordt de besparing op gewasbeschermingmiddelen geschat op 35% ten opzicht van het totaalgebruik, en de besparing op energiegebruik op 3 - 5% van het totale energiegebruik. Als dit tevens leidt tot lichte opbrengststijgingen, dan is de verwachting dat de meerkosten van de precisietechnieken gedekt zullen worden door de besparingen en de opbrengststijgingen. Dit alles maakt dat de doelen van het convenant Duurzame gewasbescherming dichterbij komen door ontwikkeling en implementatie van precisiegewasbescherming.



## 6. Referenties

- Achten, V.T.J.M. & G.J. Molema, 2006.  
Plantdetectie ten behoeve van onkruidbestrijding in de gewasrij. Rapport 573, Agrotechnology and Food Innovations B.V., Wageningen.
- Agati, G., Z.G. Cerovic, A.D. Marta, V. Di Stefano, P. Pinelli *et al.*, 2008.  
Optically-assessed preformed flavonoid and susceptibility of grapevine to *Plasmopara viticola* under different light regimes. *Functional Plant Biology* 35: 77-84.
- Bakker, T., H. Wouters, K. van Asselt, J. Bontsema, L. Tang, J. Müller & G. van Straten, 2008.  
A vision based row detection system for sugar beet. *Computers and Electronics in Agriculture* 60 (2008): 87-95.
- Been, T.H., C.H. Schomaker & L.P.G. Molendijk, 2005.  
NemaDecide: a decision support system for the management of potato cyst nematodes. In: Haverkort, A.J. & Struik, P.C. (Eds). *Potato in progress*. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Academic Publishers: 154 - 167.
- Been, T.H. & C.H. Schomaker, 2004.  
A geo-referenced Decision Support System for nematodes in potatoes. In: MacKerron D.K.L. & Haverkort, A.J. (Eds). *Decision Support Systems in potato production, Bringing models to practice*. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Academic Publishers: 154 - 167.
- Bouma, E., 2006.  
Weer & Gewasbescherming. Roodbont, Zutphen. 2006. 84p.
- Bravo, C., D. Moshou, J. West, A. McCartney & H. Ramon, 2003.  
Early disease detection in wheat fields using spectral reflectance. *Biosystems Engineering* 84(2003)2: 137-145.
- Brink, L. van den & R.Y. van der Weide, 2006.  
Perspectieven van precisiebespuitingen met fungiciden, insecticiden en herbiciden op basis van beeldherkenning. PPO projectverslag 32500316-1.
- Brink, I. van den, R.Y. van der Weide, C. Kempenaar, D.A. van der Schans, 2006.  
Perspectieven van precisiedosering van bodemherbiciden. PPO projectverslag 32500316-2.
- Brown, R.B. & S.D. Noble, 2005.  
Site-specific weed management: sensing-requirements - what do we need to see? *Weed Science* 53-2: 252-258.
- Christensen, S., H.T. Sogaard, P. Kudsk, I. Lund, M. Norremark, E.S. Nadimi & R. Jorgensen, 2009.  
Site specific Weed Control Technologies. *Weed Research* (in press).
- Dammer, K.H. & G. Wartenberg, 2000.  
Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time. *Crop protection* 26: 270-277.
- DFG, 2008.  
Program and Abstracts 2nd Conference on Precision Crop Protection, 10 - 12 October 2008, Bonn, Dld. Deutsche Forschungsgemeinschaft.
- Doorn, J. van, T. Baltissen, R. Schreuder, G. Polder, R. van der Schoor & G. van der Heijden, 2008.  
Op zoek naar virus in tulp: eerste stap naar gerobotiseerd ziekzoeken. *Bloembollennisie* 6 nov. 2009: 22-23.
- Evert, F.K. van, G.W. van der Heiden, G. Polder, C. Kempenaar & L.A.P. Lotz, in press.  
Real-time vision-based detection of *Rumex obtusifolius* in grassland. *Weed Research* (2009).
- Feyaerts, F., P. Pollet, L. van Gool & P. Wambacq, 1999.  
Vision system for weed detection using hyper-spectral imaging, structural field information and unsupervised sample collection. In: 1999 Brighthon conference: Weeds, Vol. 1: 607-614.
- Gerhards, R. & H. Oebel, 2006.  
Practical experiences with a system for site specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed research* 46: 185-193.

- Heijting, S., 2006.  
Spatial analysis of weed patterns. Proefschrift Wageningen Universiteit, Wageningen.
- KWIN, 2006.  
Kwantitatieve informatie. Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2006. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Wageningen.
- Kempenaar, C., V.T.J. Achten, F.K. van Evert, A. van de Lans, A.J. Olijve, D.A. van de Schans, H. Schepers, R.Y. van der Weide & J.C. van de Zande, 2008a.  
Biomassa-afhankelijk doseren van gewasbeschermingmiddelen. *Gewasbescherming* 39-5: 177-182.
- Kempenaar, C., V.T.J. Achten, F.K. van Evert, L.A.P. Lotz, R.Y. van der Weide & J.C. van de Zande, 2008b.  
Progress in site specific weed control/herbicide use in the Netherlands Abstract # 606 in: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Weed Science Congress, Vancouver, June 2008*. p 262.
- Kempenaar, C., R.M.W. Groeneveld, L. Doornbos, A.J. Olijve, W. Tonckens, 2008c.  
Verkenning sensorgestuurde dosering van loofdodingmiddelen in poot aardappelen. *Onderzoekverslag. Plant Research International, Wageningen, november 2008*.
- Kempenaar, C., & D.A. van der Schans, 2008d.  
Gebruikswaarde SensiSpray - Toetsing van prototype in 2007 en 2008. *Onderzoekverslag. Plant Research International, Wageningen, 31 december 2008*.
- Kempenaar, C. & P.C. Struik, 2008e.  
The canon of potato science: Haulm killing. *Potato Research* 50: 341-345.
- Kempenaar, C., L.A.P. Lotz, C.L.M. van der Horst, W.H.J. Beltman, K.J.M. Leemans & A.D. Bannink, 2007.  
Trade off between costs and environmental effects of weed control on pavements. *Crop Protection* 26: 430-435.
- Kempenaar, C. & K.J.M. Leemans, 2005.  
Developments in selective application of herbicides on pavements. In: *Proceedings of the 57<sup>th</sup> International Symposium on Crop Protection, Ghent, 997-1002*.
- LNV, 2008.  
Maatschappelijke Innovatieagenda, LNV, Den Haag.
- Lokers, R.M. & A. de Jong, A., 2008.  
Bodemdata voor precisielandbouw. Rapport, Alterra, Wageningen.
- Lund, I., M. Raynal & J.C. van de Zande, 2008.  
Potential of precision agriculture to reduce plant protection product use. Review report in the Endure framework of RA22.
- Meron, M., J.C. van de Zande, R.P. van Zuydam, B. Heijne, M. Shragai, J. Liberman, A. Hetzroni, P.G. Andersen & E. Shimborsky, 2003.  
Tree shape and foliage volume guided precision orchard sprayer - the PreciSpray FP5 project. In: Stafford, J. & Werner, A (eds). *Precision agriculture*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 2003. 411-416.
- MNP, 2006.  
Tussenevaluatie van de nota Duurzame Gewasbescherming. MNP, Bilthoven.
- Mathiassen, S.K., S. Bak, S. Christensen & P. Kudsk, 2006.  
The effect of laser treatment as a weed control method. *Biosystems Engineering* 95-4: 497-505.
- Mathiassen, S.K., P. Kudsk & I. Lund, 2008.  
Adjuvants for single droplet application of glyphosate. In: *proceedings of the 5<sup>th</sup> International Weed Science Congress, Vancouver, June 2008*.
- Nieuwenhuizen, A.T., J.W. Hofstee & E.J. van Henten, 2007.  
Improved adaptive detection of volunteer potato plants in sugar beet fields. In (ed. J.V. Stafford): *Precision agriculture '07, papers presented at the 6<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, Skiathios, Greece, 3-6 June 2007*, pp. 349-356.
- Nieuwenhuizen, A.T., S. van der Steen, J.W. Hofstee & E.J. van Henten, 2008a.  
Real time vision detection of weed potato plants in sugar beet fields. *VDI Tagung Landtechnik, Stuttgart 9-9-2008a*.
- Nieuwenhuizen, A.T., J.W. Hofstee, J.C. van de Zande & E.J. van Henten, 2008.  
Automated detection and spraying of volunteer potato plants in sugar beet fields. Abstract # 607 in *Proceedings IWSC congress June 2008, Vancouver, CA, p. 252*.

- Os, A. van & D.A. van der Schans, 2006.  
Verkenning van sensing en actuatie precisiebestrijding onkruiden. PPO projectverslag.
- Os, A. van, 2006.  
Rendabel plaats specifiek doseren? Studentenverslag afstudeerproject. CAH, Dronten.
- PKE, 2008.  
Projectvoorstel Precisielandbouw, fase 1: 2009-2010. Platform KetenEfficiency, 28 oktober 2008.
- Polder, G., 2004.  
Spectral imaging for measuring biochemicals in plant material. PhD Thesis Wageningen Agricultural University, Wageningen. 2004. 150 pp.
- Poulsen, F.P., 2006.  
System for selective treatment of plants in row. Patent WO/2006/021207.
- Ruiter, H. de, R. van der Schoor & H. Jalink, 2005.  
Fluorescence imaging for investigating the efficiency of formulations, adjuvants and application systems. Journal of ASTM International 2-7, 10 p., paper ID JAI12159, www.astm.org.
- Schans, D.A. van der, P.O. Bleeker, L. Molendijk, M. Plentinger, R.Y. van der Weide, L.A.P. Lotz, R. Bauermeister, R. Total & D.T. Baumann, 2006.  
Practical weed control in arable farming and outdoor vegetable cultivation without chemicals. Applied Plant Research, Wageningen University and Research Centre, Lelystad, The Netherlands, 77 p.
- Schut, A.G.T., M.M.W.B. Hendriks, F.K. van Evert, I.E. Hoving, M.J.W. Stienezen, G. Holshof, G.J. Molema & J. Meuleman, 2004.  
Non-destructive Assessment of Dry matter Yield, Nutrient Content and Feeding Value of Grass Swards with Imaging Spectroscopy. 7th International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, USA, 25-28 July 2004, 9 pp.
- Thorp, K.R. & L.F. Tian, 2004.  
A review on remote sensing of weeds in agriculture. Precision Agriculture 5-5: 477-508.
- Virindts, E., J. de Baerdemaker & H. Ramon, 2002.  
Weed detection using canopy reflection. Precision agriculture 3: 63-80.
- VROM, 2008.  
Schoon en Zuinig. VROM, Den Haag.
- Weide, R.Y. van der, P.O. Bleeker, V.T.J.M. Achten, L.A.P. Lotz, F. Fogelberg & B. Melander, 2008.  
Innovation in mechanical weed control in crop rows. Weed Research 48; 215-224
- Wiles, L. & R. Waltermore, R., 2008.  
Image analysis for growers to map weed cover in fallow fields with color digital images. Internal report, USDA-ARS, Fort Collins, Co, USA.
- Wöltjen, C., H. Haferkamp, T. Rath & D. Herzog, 2008.  
Plant growth depression by selective irradiation of the meristem with CO<sub>2</sub> and diode lasers. Biosystems engineering 101; 316-324.
- Zande, J.C. van de, A.E.G. Tonneijck & D.A. van der Schans, 2005.  
Deskstudie Robotisering. De Smaak van Morgen. Rapport, Agrotechnology and Food Innovations B.V., Wageningen.
- Zande, J.C. van de, 2008a.  
Verkenning van optische detectiemethoden en precisie spuittechnieken voor de behandeling van bolgewassen. Wageningen UR, Plant Research International, WUR-PRI Nota 522, Wageningen. 2008. 17p.
- Zande, J.C. van de, V.T.J.M. Achten, J.M.G.P. Michielsen, M. Wenneker & A.Th.J. Koster, 2008b.  
Towards more target oriented crop protection. International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology 84(2008): 245-252.
- Zande, J.C. van de, V.T.J.M. Achten & M. Wenneker, 2008c.  
Crop adapted spray techniques, developments in orchard spraying. In: A. Landers (ed), 2008. Proceedings 1<sup>st</sup> North American Conference on Precision Fruit Spraying, Canandaigua NY, 8-9/4/2008, Cornell University, Geneva NY, USA. 2008. 7-13.

- Zande, J.C. van de, M. Wenneker, G. Doruchowski, P. Balsari, V.T.J.M. Achten, J. Meuleman, R. Holownicki & P. Marucco, 2008d. Developments of advanced spray techniques in the ISAFruit project - towards safer and better quality fruit. In: A. Landers (ed), 2008. Proceedings 1st North American Conference on Precision Fruit Spraying, Canandaigua NY, 8-9/4/2008, Cornell University, Geneva NY, USA. 2008. 33-38.
- Zande, J.C. van de, V.T.J.M. Achten, H.T.A.M. Schepers, A. van der Lans & J.M.G.P. Michielsen, 2008e. Use reduction of agrochemicals by Canopy Density Spraying (CDS) of fungicides. ENDURE-International Conference 2008, La Grande Motte, France.
- Zijlstra, C., I. Lund & J.C. van de Zande, 2008. Future crop protection systems using innovatieve diagnostic tools and precision spraying techniques. Review report in the Endure framework of RA22.

## Nawoord

Deze publicatie is mede gebaseerd op expert judgment van diverse deskundigen.

Binnen Wageningen UR worden de meningen van Geert Kessel, Jürgen Kohl, Arie van de Lans en Ard Nieuwenhuizen genoemd en gewaardeerd.

Binnen PKE-PL-GB-verband waren de meningen van Wim Nugteren (AgroVision), Jannele Hadders (Dacom), Aaldrik Venhuizen (Agrifirm), Janny Peltjens (HLB), Jacob Dogterom en Herman Krebbers (DLV),

Anne Douwe van de Zee, Detmar Wage en Lenus Hamster (telers en LTO), Melle van der Molen (Kverneland).

Tot slot worden Guiljam van de Schelde (namens LTO) en Erik Greve (PA) bedankt voor hun commentaar op het concept van deze publicatie.



# Bijlage I.

## Afkortingen

BMS	BedrijfsManagementSysteem
BO	Beleidsondersteunend Onderzoek
BOS	BeslissingsOndersteunend Systeem
DOD	Drop on Demand
GEO	Geografisch
GIS	Geografisch InformatieSysteem
GPS	Global Positioning System
ICT	Informatie- en CommunicatieTechnologie
KRW	KaderRichtlijn Water
MJP-G	Meerjarenplan Gewasbescherming
MLHD	Minimum Letale Herbicide Dosering
MLHD-PHK	Minimum Lethal Herbicide Dose - Potato Haulm Killing
PKE-PL	Platform KetenEfficiency - PrecisieLandbouw
PKE-PL-GB	Platform KetenEfficiency - PrecisieLandbouw - Gewasbescherming





## Bijlage II.

# Gewasbescherming in PKE-PL- projectvoorstel

*Tabel*      *Overzicht projecten op thema precisiegewasbescherming in PKE-PL, met samenvatting activiteiten en resultaten. In kolom Projecttitel staat tussen haakjes voor zo ver relevant het schaalniveau weergegeven waarop de gewasbeschermingactiviteit geoptimaliseerd wordt.*

Projecttitel	Activiteiten	Resultaten na 2 jaar
1 Onkruidbeheersing		
1a Precisedosering herbiciden (schaalniveau 10-100 m <sup>2</sup> )	2 studiegroepen akkerbouw: inrichten apparatuur per groep, aanschaf bodemkaarten, beslisregels t.b.v. pleksgewijs doseren ontwikkelen en testen, evaluatie op bedrijfsniveau.	Prototypes pleksgewijze precisedosering herbiciden, evaluatieverslag.
1b Plantherkenning en onkruidbestrijding (schaalniveau 1-10 cm <sup>2</sup> )	3 studiegroepen (akkerbouw 2x en weide 1x): ontwikkeling en demonstratie van innovatieve plantherkenning & bestrijdingssystemen (onkruid in gewasrijen suikerbieten en tweede gewas, breedbladige onkruiden in grasland).	Demonstratie innovatieve systemen herkenning en bestrijding individuele onkruiden, evaluatieverslag.
2 Ziektebeheersing		
2a Precisedosering fungiciden (schaalniveau 10-100 m <sup>2</sup> )	2 studiegroepen akkerbouw (graan en aardappel): inrichten apparatuur per groep, beslisregels biomassa afhankelijk doseren ontwikkelen, testen, evaluatie op bedrijfsniveau.	Prototypes pleksgewijze precisedosering fungiciden, evaluatieverslag.
2b Ziektesensor t.b.v. plantspecifieke behandeling (schaalniveau 1-10 cm <sup>2</sup> )	Ontwikkeling sensorsysteem voor herkenning pathogenen in gewassen in vroeg stadium. Testgewassen zijn aardappel, graan, tulp en 4 <sup>e</sup> gewas naar keuze.	Haalbaarheidstudie afgerond met proof of principle.
3 Overige gewasbescherming		
3a Meer precisie door kennis op de landbouwspruit - interactie met GEO-BMS (schaalniveau 10-100 m <sup>2</sup> )	2 studiegroepen: verkenning en demonstratie gebruik remote sensing kaarten, weervoorspellingen en modellen bij aansturing dosering (o.a. groeiregulatie) landbouwspruiten.	Demonstraties meerwaarde kennis op de spruit, evaluatieverslag.
3b Precisie bij loofdoding pootgoedteelt aardappelen (schaalniveau 10 m <sup>2</sup> )	1 studiegroep: inrichten sensor-klap-spruit-apparatuur, ontwikkelen en testen beslisregels, evaluatie op bedrijfsniveau.	Prototype pleksgewijze precisieloofdoding pootgoed aardappel, evaluatieverslag.
3c Precisedosering granulaten tegen aaltjes (schaalniveau 10-100 m <sup>2</sup> )	1 studiegroepen akkerbouw: inrichten apparatuur, aanschaf bodem- en haardenkaarten, beslisregels t.b.v. pleksgewijs doseren ontwikkelen, testen, evaluatie op bedrijfsniveau.	Prototype pleksgewijze precisedosering granulaten, evaluatieverslag.
3d <i>Ridge tillage</i> systeem (innovatief ruggenteeltsysteem)	1 studiegroep maïs: aanschaf apparatuur, opzetten studieobjecten, evaluatie op bedrijfsniveau, demo.	Haalbaarheidstudie afgerond met proof of principle.

