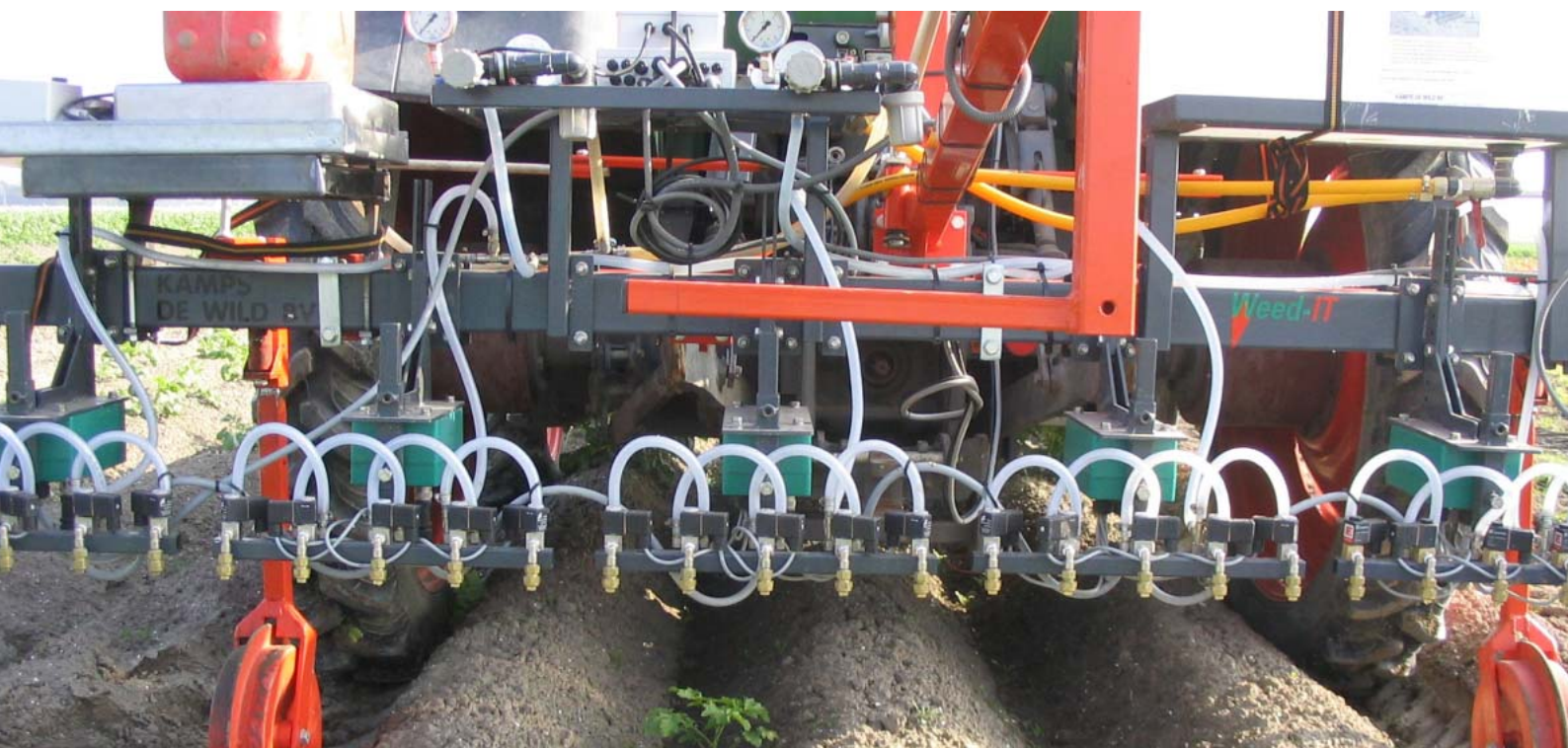




Verkenning van optische detectiemethoden en precisie spuittechnieken voor de behandeling van bolgewassen

J.C. van de Zande





Verkenning van optische detectiemethoden en precisie spuittechnieken voor de behandeling van bolgewassen

J.C. van de Zande

© 2008 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 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
1. Inleiding	3
2. Huidige ontwikkelingen gewasbescherming in bollen	5
3. Inventarisatie Precisie spuittechnieken	9
4. Inventarisatie Optische detectiemethoden ziekten en plantgezondheid	13
5. Discussie	21
Literatuur	23

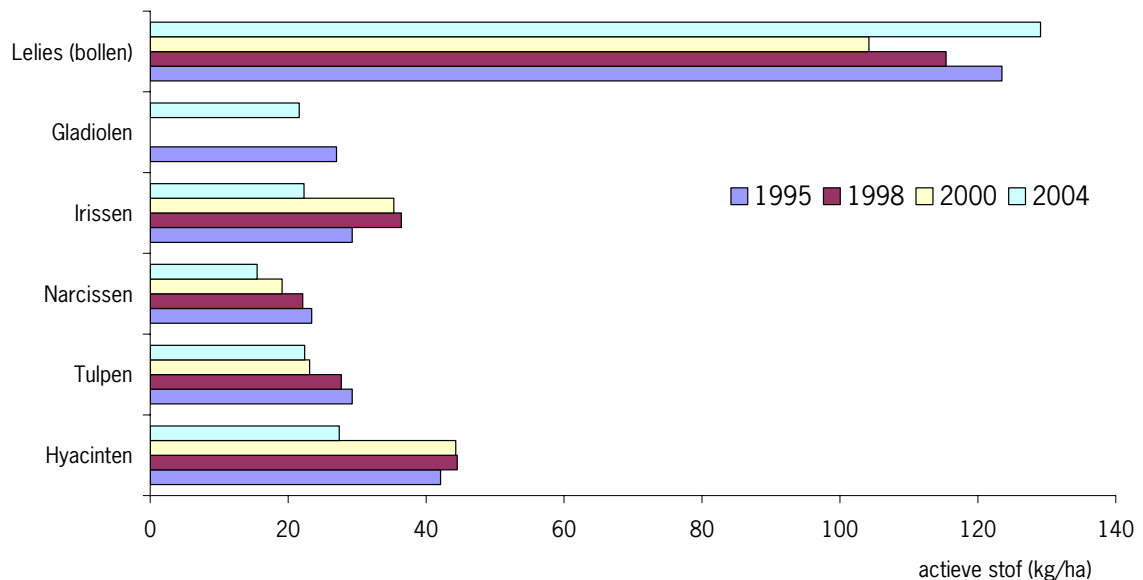
Voorwoord

Bij de ontwikkeling van nieuwe toedieningstechnieken van gewasbeschermingsmiddelen wordt gezocht naar mogelijkheden van vroegtijdige detectie van ziekten om alleen dan te spuiten als en waar het nodig is. Hierbij wordt gezocht naar sensoren die ziekten kunnen detecteren en toedieningstechnieken die heel precies kunnen doseren. Deze rapportage is een overzicht van precisie toedieningstechnieken en ziektedetectietechnieken die in lopend onderzoek of in de literatuur gevonden zijn en relevant geacht worden voor de verdere ontwikkeling van geavanceerde toedieningstechnieken in bloembollen. Voor de inventarisatie optische detectiemethoden is overleg gevoerd met collega onderzoekers van WUR-PRI (Achten, Hemming, Meuleman, Snel) en Biometris (Van der Heijden, Polder). Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van SmartSpray en medegefinancierd door Cleanlight en InnoPartner en sluit aan bij het onderzoek binnen het LNV onderzoeksprogramma Plantgezondheid thema Emissiereductie (BO-06-009) onderdeel Drift en depositie bij verlaagde doseringssystemen (ER4).

Februari 2008

1. Inleiding

Ten opzichte van andere sectoren is het gewasbeschermingsmiddelengebruik in de bollensector relatief hoog. Na de champignonteelt is het gebruik aan kilogram actieve stof per hectare in de bollenteelt het hoogst. Nederland teelt 65% van het wereldareaal bloembollen. Bloembollenteelt vindt in Nederland op zo'n 23.000 hectare plaats door 2710 bedrijven. In 2003 vertegenwoordigde de sector een netto productiewaarde van € 575 miljoen en een exportwaarde van € 653 miljoen (Molema *et al.*, 2005). Omdat het klimaat gunstig is en het kennisniveau hoog heeft de Nederlandse bollenteelt toekomst. Op termijn zijn er echter serieuze bedreigingen omdat de sector steeds vaker op milieugrenzen stuit. Hoewel het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen is gedaald, is de bloembollenteelt in vergelijking met andere teelten nog altijd zeer intensief. Bij het telen van lelie- en tulpenbollen wordt respectievelijk 129 en 23 kg actieve stof per hectare per jaar gebruikt (CBS, 2008), tegenover 0,8 kg actieve stof per hectare per jaar voor bijvoorbeeld snijmais.



Figuur 1. Gewasbeschermingsmiddelengebruik (kg actieve stof/ha) in de bloembollensector weergegeven per gewas voor 1995, 1998, 2000 en 2004 (CBS, 2008).

Momenteel worden fungiciden veelal preventief toegepast. Het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen kan aanzienlijk worden verminderd als de behandeling gericht is op het in een vroegtijdig stadium herkennen van planteninfecties en het gericht en lokaal behandelen (pre-curatief) ervan. Deze techniek wordt door SmartSpray het Infectie-Detectie-Spuit systeem (IDS) genoemd. Vanuit dit perspectief is er een duidelijke behoefte aan geavanceerde, optische detectiesystemen waarmee een schimmelinfectie al in een vroeg stadium kan worden vastgesteld, mogelijk nog voordat menselijke experts dit kunnen waarnemen. Dit kunnen systemen zijn op basis van fluorescentie, lichtreflectie, multispectrale imaging, IR-thermografie of een combinatie van deze technieken. Een inventarisatie is uitgevoerd naar welk optisch principe en welke techniek in staat is om bepaalde vroegtijdige kenmerken van schimmelinfectie, bij voorkeur gewasonafhankelijk, betrouwbaar en dynamisch, waar te nemen. Onderzocht wordt of zo'n systeem al op de markt verkrijgbaar is en of zo'n systeem onder alle omstandigheden inzetbaar is bij voorkeur ook in andere gewasziekte combinaties.

Ten dienste van het te ontwikkelen IDS systeem wordt verder geïnventariseerd welke precisie spuittechnieken voor land- en tuinbouwgewassen er momenteel beschikbaar zijn. Daarbij wordt aandacht geschonken aan de vragen: hoe

kan precies gedoseerd worden, in welke stappen is de dosering mogelijk, kan er met meerdere middelen op meerdere niveaus gelijktijdig gespoten worden. Bovendien wordt aandacht geschonken aan de vraag welke andere technieken van belang zijn bij precisiebehandeling, zoals bijvoorbeeld GPS-technologie voor het bepalen van de positie van het voertuig, of om de infectie te lokaliseren. Welke andere precisielandbouwtechnieken zijn van belang en welke informatie is er beschikbaar uit andere reeds lopende onderzoeksprojecten (IsaFruit, PreciSpray, SensiSpray).

In deze rapportage wordt eerst een overzicht gegeven van de lopende projecten op het gebied van variabel en precies toedienen van gewasbeschermingsmiddelen. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van een inventarisatie van overige precisietoedieningstechnieken en ontwikkelingen op het gebied van ziekteherkenning in gewassen met sensoren. Vervolgens wordt aangegeven wat de directe mogelijkheden zijn voor de ontwikkeling van een IDS systeem en welke vervolgstappen genomen zouden kunnen worden om dit concept te kunnen realiseren.

2. Huidige ontwikkelingen gewasbescherming in bollen

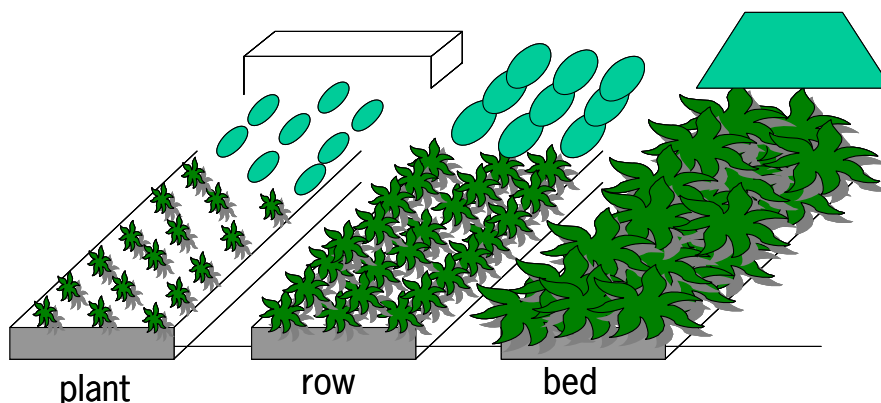
Bij toepassing van gewasbeschermingsmiddelen is vaak sprake van overdosering. De reden hiervoor is om bij een ongelijkmatige verdeling op plaatsen met een onderdosering de garantie te hebben op 100% werking. Een verbeterde nauwkeurige verdeling van middel kan een algehele overdosering overbodig maken.

Canopy Density Spraying (CDS)

Het concept van Canopy Density Spraying (CDS) zoals opgezet voor de fruitteelt (Zande *et al.*, 2006) is ook uitgewerkt voor de bollenteelt (Zande & Achten, 2005) en wordt in de praktijk getoetst. Doelstelling van het CDS is om paden tussen de bedden niet te bespuiten en de bespuiting te sturen op basis van de gewasontwikkeling (gewasdichtheid) op het bed. Afhankelijk van soort gewas, plantsysteem, plantverband en het groeistadium kan de dosering binnen het bed worden aangepast. Uiteindelijk doel is een concept op grond waarvan de ontwikkeling van een nieuwe generatie toedieningstechnieken mogelijk wordt en waarbij de communicatie over en weer tussen spuit en actuele omstandigheden van het gewas worden benut.

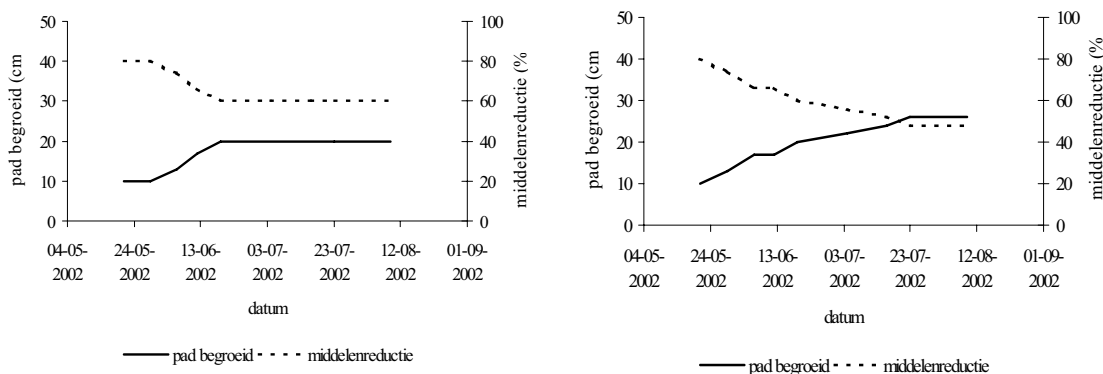
Om een indicatie te geven van de mogelijkheden voor middelenreductie bij gewasafhankelijk spuiten in bollen is een inventarisatie van de groeiomstandigheden gemaakt (Molema *et al.*, 2005a; 2005b; 2005c). Om gewasafhankelijk te kunnen spuiten kan gebruik worden gemaakt van zaken als de bodembedekking, gewashoogte en biomassa/bladoppervlak per oppervlakte eenheid. Hiervoor is van lelies, tulpen en gladiol de teeltwijze en de gewasontwikkeling in de tijd nader in kaart gebracht. Deze informatie is relevant voor het CDS concept waarbij plaats specifieke aansturing nodig is afhankelijk van de gewasontwikkeling.

Bij het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen kan op tal van manieren rekening worden gehouden met de gewasontwikkeling. Hierbij kan binnen het gewas onderscheid worden gemaakt in een horizontale en verticale component. De horizontale component is bepalend bij het niet bespuiten van onbedekte grond (in pad en netto bed). In wezen wordt bij deze methode gebruik gemaakt van het selectiecriterium wel/niet groen (van boven af gezien). Om ook rekening te houden met de verticale component in de gewasontwikkeling kan ingespeeld worden op hoogte, LAI of biomassa verschillen (Fig. 2).



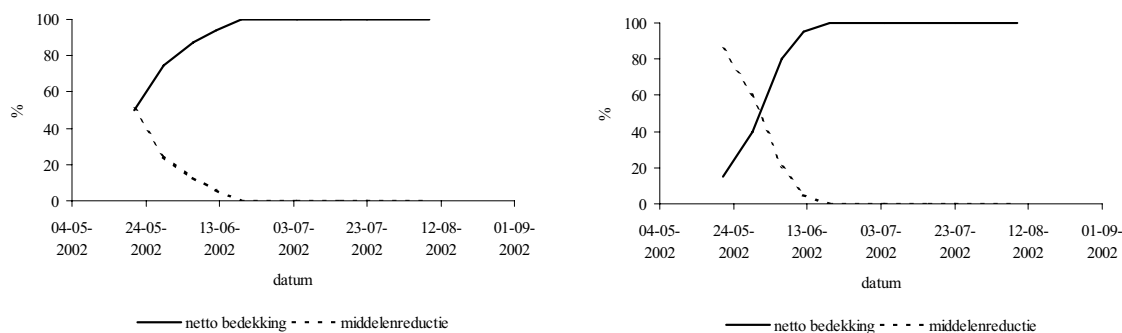
Figuur 2. Schematische weergave van de ontwikkeling van een bladmassa afhankelijke spuittechniek voor de bollenteelt (naar Zande & Achten, 2005).

Bij een gewas lelie (Molema *et al.*, 2005b) beslaat het onbedekte pad bij aanvang van het spuitseizoen 33% van het perceelsoppervlak. Concreet betekent dit een reductie in potentie van 33% aan middel (Fig. 3). Bij het niet bespuiten van de onbedekte bodem in een gewas lelie die zijn maximale bodembedekking heeft bereikt, kan op perceelsniveau een reductie van circa 16 tot 20% worden behaald. Deze reductie wordt vrijwel geheel bepaald door het niet bespuiten van de onbedekte grond van het pad.



Figuur 3. *Begroeiing en middenreductie voor het pad in de tijd bij een netto bed van 1 m breed bij lilies (links Stargazer en rechts Cordelia).*

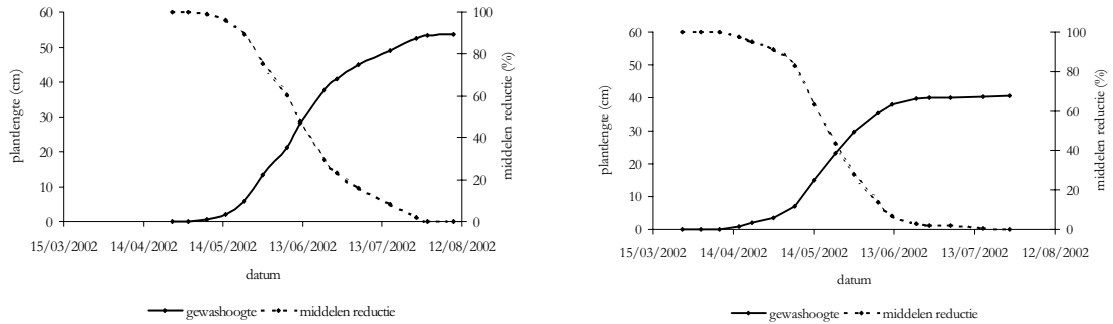
In het begin van het spuitseizoen is de potentiële reductie gedurende enkele weken aanzienlijk groter omdat het bed slechts een geringe bedekkingsgraad vertoont. Bij aanvang van de bespuitingen kan maximaal zo'n 90% middel worden bespaard op perceelsniveau. Dit percentage neemt echter snel af, afhankelijk van het type gewas (Fig. 4).



Figuur 4. *Bodembedekking en middenreductie uitgezet tegen de tijd voor het netto bed van 1 m breed bij lilies (links Stargazer en rechts Cordelia).*

Bovenop deze middelbesparingen is nog een reductie mogelijk door gewasontwikkeling afhankelijk te gaan spuiten. Hierbij is het van groot belang dat een goede depositie en effectiviteit gewaarborgd zijn.

Zowel bij Stargazer als Cordelia kan de hoogste reductie worden gehaald door een combinatie van het niet bespuiten van onbedekte grond (pad/bed) gecombineerd met bladoppervlak -afhankelijk spuiten. Technisch gezien lijkt het lastig om bladoppervlakafhankelijk te spuiten. Een meer voor de hand liggende parameter zou zijn biomassa of gewashoogte (Fig. 5).



Figuur 5. Gewashoogte en middelenreductie uitgezet tegen de tijd voor een netto bed van 1 m breed bij lelies (links Stargazer en rechts Cordelia).

Het meest perspectiefvol lijkt een combinatie van het niet bespuiten van het onbedekte pad en gewasontwikkeling-afhankelijk spuiten. Wanneer in week 6 (4 na planten) wordt begonnen met spuiten van lelies zou bij een wekelijkse bespuiting de middelreductie 43-47% kunnen bedragen. Bij een tweewekelijks spuitinterval kan de middelreductie 44-47% zijn voor lelies (respectievelijk de rassen Stargazer en Cordelia).

Om gewasontwikkelingafhankelijk te spuiten is een goede schatting van de gewasontwikkeling nodig. Hiervoor worden specifieke sensoren getest en ontwikkeld. Op de markt zijnde sensoren als de Greenseeker van NTech (Ntech, 2007) en de Weed-It MKII sensor van Rometron (Kempenaar *et al.*, 2006) en een ultrasoon hoogtemeter worden onderzocht op bruikbaarheid voor het CDS systeem voor bollen. De ontwikkeling van deze sensoren in combinatie met alternatieve precieze toedieningstechnieken vormen de basis voor een nieuw concept van gewas-afhankelijke toediening van gewasbeschermingsmiddelen in de bollenteelt (Zande *et al.*, 2008).

Een logische vervolg stap bij deze ontwikkelingen is het zoeken naar ziekten in het gewas om alleen daar te spuiten waar de ziekte reeds aanwezig is of die plekken aan te geven waar de plant gevoeliger is voor ziekteaantasting. De ontwikkeling van een ziekte- en gewasgezondheidssensor is onderdeel van het ISAFruit project (Zande *et al.*, 2007) dat wordt uitgevoerd bij WUR-PRI AGRO-FTI. Binnen dit project wordt een gewasgezondheidssensor ontwikkeld die schurft in appelblad in een vroeg stadium moet kunnen detecteren. Een vertaalslag van deze ontwikkeling naar ziekte in de bollenteelt is een logische vervolgstap.

Om de ontwikkeling van een plaats specifieke behandeling van ziekten in bolgewassen mogelijk te maken is een inventarisatie opgezet van mogelijke detectiemethoden en precisie spuittechnieken. Dit overzicht moet handvatten geven voor de verdere ontwikkeling van een SmartSpray concept gebaseerd op een Infectie-Detectie-Spuit (IDS) systeem.

3. Inventarisatie Precisie spuittechnieken

Recentelijk is een overzicht gemaakt van beschikbare en gewenste nieuwe toedieningstechnieken om gewasbescherming duurzamer te maken (Van de Zande *et al.*, 2004). Deze rapportage geeft een goed overzicht van wat er voor mogelijkheden beschikbaar zijn voor de Nederlandse landbouw. Geconcludeerd werd dat op het gebied van de toediening van meststoffen er mogelijkheden liggen voor precisiedoseringstechnieken maar dat deze voor de toediening van gewasbeschermingsmiddelen beperkt beschikbaar zijn en voor de toediening van insecticiden en fungiciden nog niet voldoende uitgewerkt en nog niet beschikbaar zijn.

Ook Matthews (2005) geeft aan dat er de afgelopen 10 jaar veel energie gestoken is in onderzoek naar het gebruik van vooral GPS om de onkruidverdeling binnen het perceel vast te leggen en pleksgewijs te bestrijden. Vooral nog is het geen gemeengoed in de praktijk, maar hij ziet er wel veel mogelijkheden voor de toekomst voor. Ook voor de ontwikkeling van gewasafhankelijk spuiten ziet hij veel mogelijkheden en een grote vraag vanuit de gebruiker (veiligheid), het milieu (minder belasting) en de consument (minder gewasbeschermingsmiddelen).

De mogelijkheid van GIS gestuurde spuiten wordt door Ganzelmeier (2005) beschreven. Hij geeft aan dat er een prototype beschikbaar is voor het plaats specifiek bestrijden van onkruid (geïntroduceerd op de Agritechnica 2003). Dit systeem beschikt over een aan/uit schakeling van de vloeistofafgifte op basis van het ja/nee voorkomen van onkruidpopulaties in een jong gewas (groene vlekken t.o.v. kale grond). Vervolg ontwikkelingen worden gezien in de mogelijkheid van GIS besturing van de spuiten naar gevoelige gebieden, bijvoorbeeld automatisch afsluiten of kiezen van driftarme spuitdoppen bij sloten.

In het Precision Agriculture congres van 2005 in Upsala (Stafford, 2005) is een aparte sessie gewijd aan 'Variable rate application'. In deze sessie van 5 presentaties gingen er 3 over het variabel toedienen van meststoffen, 1 over variabele zaaidichtheden en 1 over de variabele dosering van onkruidbestrijdingsmiddelen (Braziliaans project). Ook uit de andere presentaties (Scotford & Miller, 2005) bleek dat er wel aandacht is voor het monitoren van het gewas met sensoren maar dat er nog geen praktische toepassingen genoemd worden voor het variabel toedienen van fungiciden afhankelijk van de gewasontwikkeling en de gewas- en ziekte-toestand.

In de ewrs-sswm workshop 2005 werden een aantal presentaties over site specific weed management met spuittechniek gepresenteerd, zoals door Dammer & Wollny (2005) die met een camera-sensing systeem werken en Nordmeier (2005) die op basis van onkruidkaarten en schade drempels op een perceel onkruid bestrijd. De conclusie luidde ook daar: We zijn al 10-20 jaar bezig met onderzoek naar plaats specifieke onkruidbestrijding maar er is nog geen praktijkspuit die variabel kan doseren op een kleinere schaal dan een volle spuitboombreedte en de doseringsvariatie die met gangbare landbouwspuiten kunnen worden gerealiseerd zijn te gering. Nieuw in deze is de ontwikkeling in het SensiSpray project (Kempenaar *et al.*, 2007) waarbij een Greenseeker sensor gebruikt gaat worden voor het aansturen van 4 verschillende spuitdoppen in een VarioSelect (Lechler) dophouder waardoor 16 stappen in de dosering gerealiseerd kunnen worden voor het per sectie (3 m werkbreedte) doodspuiten van aardappelroof op basis van de groenheid van het aardappelgewas.

Geconcludeerd mag worden dat het gewasafhankelijk toedienen van gewasbeschermingsmiddelen als perspectiefvol wordt gezien. De ontwikkeling van deze technieken staat in de kinderschoenen. Het pleksgewijs toedienen van gewasbeschermingsmiddelen is daarentegen in verschillende onderzoeksprojecten beproefd, maar had vooral betrekking op onkruidbestrijding waarbij wel/niet gespoten werd afhankelijk van o.m. sensorwaarnemingen. Het heeft echter niet geleid tot commerciële toepassingen. De oorzaak hiervan is mogelijk te herleiden tot het feit dat dergelijke systemen dusdanig complex en kostbaar zijn dat dit een succesvolle marktintroductie belemmert. Het toedienen van fungiciden en herbiciden (loofdodingsmiddelen) afhankelijk van de gewasstand en -ontwikkeling is een ontwikkeling die door diverse autoriteiten op het gebied van spuittechniek als kansrijk gezien wordt. Hierbij is het echter wel belangrijk dat de complexiteit en de kostprijs in ogenschouw wordt genomen om een succesvolle introductie in de praktijk te waarborgen.

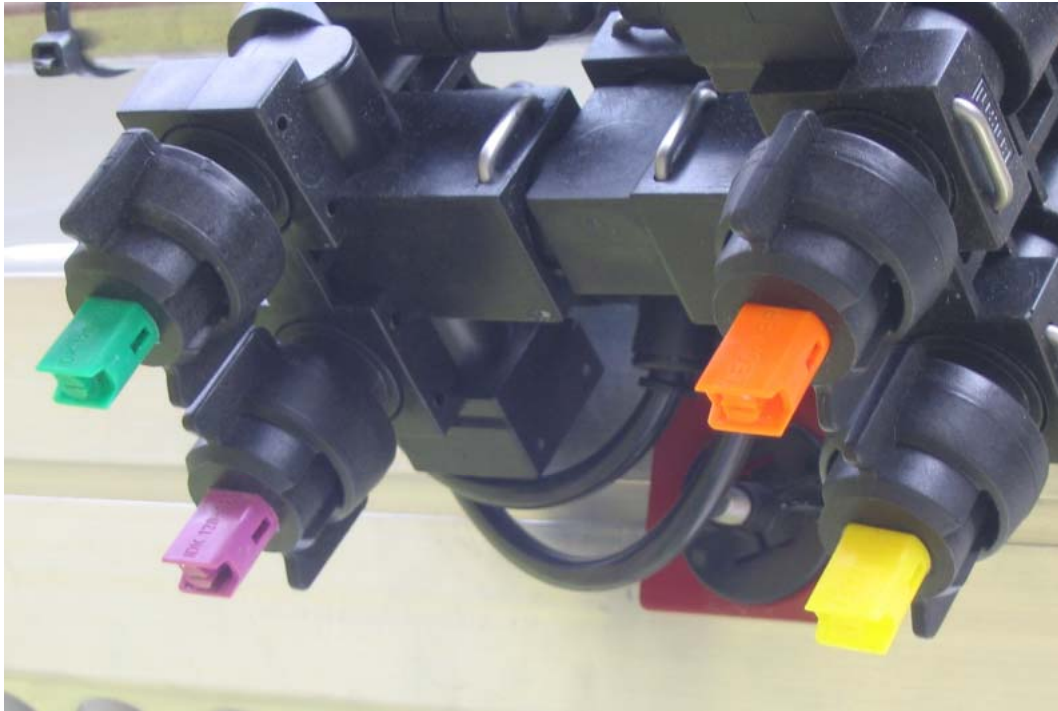
Voor mogelijke spuittechnieken voor het variabel toedienen van gewasbeschermingsmiddelen kan een onderscheid gemaakt worden tussen werkingsprincipes op basis van het aan- en uitschakelen van de gehele spuitboom, een

sectie van de spuitboom of per individuele spuitdop op de spuitboom. Dit geeft de mate van precisie in de breedterichting aan, respectievelijk 24-52m, 3-5m en 0,50m. In de rijrichting van de spuit wordt de precisie van de dosering vooral beïnvloed door of er gewerkt wordt met een tankoplossing van een middel of dat het middel geïnjecteerd wordt in de vloeistofleiding. Als met een tankoplossing gewerkt wordt is de snelheid van het aan- en uitschakelen van de dop bepalend, dit is doorgaans in milliseconden, dus met een nauwkeurigheid binnen 1 meter (afhankelijk van de rijnsnelheid). Bij de VarioSelect dophouders (Lechler) worden de spuitdoppen door perslucht geschakeld. Bij het afhankelijk van de gewashoogte spuiten van fungiciden in graan kon met de Varioselect en gewashoogtemetingen met de CROP-Meter 22% fungicide bespaard worden (Dammer & Ehlert, 2006). De VariTarget spuitdop (Bui, 2005) kan door de druk te variëren tussen 1,0 en 3,5 bar de afgifte veranderen van 0,5 tot 3,5 l/min. Ondanks de variatie in spuitvolume en druk blijft het druppelgroottespectrum min of meer gelijk. Bij het systeem van de Weed-It (Rometron; Kempenaar *et al.*, 2006) wordt met een dwarsverdeling van 8 cm een verdeelnauwkeurigheid in de rijrichting van 1-2 cm gehaald. Dit systeem wordt vooral gebruikt in het stedelijk gebied voor het pleksgewijs bestrijden van onkruid. De Weed-It werkt met een Pulse Width Modulatie Systeem waardoor een afsluiter in de dophouder heel snel schakelt tussen aan en uit en de openings/sluitingstijd verhouding kan aanpassen. Hierdoor wordt met een constante tankmix met één dop toch een variabele dosering gerealiseerd. Een soortgelijk systeem is de Pulstec van Agritechnics, dit systeem werkt echter doorgaans met hoge drukken wat extra compressor capaciteit op de spuit vraagt.

Wordt het middel geïnjecteerd in de leiding (Gillis *et al.*, 2003; Steward & Humburg, 2000) dan is de plaats van injectie en de doorstroomsnelheid in de leiding maatgevend voor de snelheid van aanpassing van de dosering. Doorgaans is een nauwkeurigheid van 10 m in de rijrichting een haalbare nauwkeurigheid (Michielsen *et al.*, 2007). Doorgaans wordt er bij spuiten met injectiesystemen geen onderscheid gemaakt tussen secties op de spuitboom alhoewel dit wel mogelijk is. Recente ontwikkelingen geven ook aan dat injectie in de spuitdop mogelijk is (Downey *et al.*, 2006; Vondricka, 2007; Giles & Brock, 2008) waardoor de precisie en de reactietijd aanzienlijk verbeterd worden. Het zal nog even duren voordat deze systemen op de markt zullen zijn.



Figuur 6. *Weed-IT* spuitsysteem voor variabele dosering van gewasbeschermingsmiddelen (variabel spuitvolume door Pulse Width Modulation).



Figuur 7. Lechler VarioSelect spuitdophouder met vier spuitdoppen die individueel aan en uit geschakeld kunnen worden (16 stappen in spuitvolume).

4. Inventarisatie Optische detectiemethoden ziekten en plantgezondheid

Er wordt vanuit gegaan dat gewaseigenschappen als biomassa, bladoppervlak, hoeveelheid chlorofyl, watergehalte, fotosynthese activiteit, ziekten en plagen kunnen worden bepaald met sensoren bevestigd aan mens, trekker of werktuig (close sensing). Een deel hiervan kan eveneens worden bepaald met remote sensing (vliegtuig, satelliet). Diverse sensoren voor het meten van de gewastoestand zijn reeds beschikbaar (Cropscan, Greenseeker, N-sensor). Zij verschillen in gebruikersgemak, oppervlakte die ze bemonsteren en interpretatie van de meetgegevens (Meuleman & Molema, 2004). Verwacht mag worden dat op termijn voldoende verwerkingscapaciteit van de verkregen meetdata wordt gehaald, zodat tot integratie met andere bewerkingen kan worden overgegaan. In dit kader is het van groot belang dat voldoende kennis wordt opgedaan om de gemeten signalen te interpreteren in relatie tot de specifieke gewasomstandigheden in het veld. De sensoren, waaronder de Cropscan (meet gewasreflectie in bepaalde golflengtes) zijn mogelijk ook inzetbaar bij de herkenning van ziekten en plagen (Booij *et al.*, 2004; Meuleman & Molema, 2004).

Zande *et al.*, 2005 concludeerde dat "Voor zover bekend zijn geen gerichte acties gaande om sensortechnologie te ontwikkelen voor waarneming van specifieke plantenziekten in het gewas. Tools voor geautomatiseerde detectie van plantenziekten in volvelds situaties zijn er niet. Een uitzondering kan wellicht worden gemaakt voor de MIPS (Multiple Imaging Plant Stress); een recent ontwikkeld en volledig geautomatiseerd apparaat (WUR-PRI) waarmee vroegtijdig stress bij planten kan worden waargenomen onder laboratoriumomstandigheden. Een schimmelaantasting kon hiermee vroegtijdig worden opgespoord binnen een grote partij planten. Naar verwachting zal deze tool binnen vijf jaar operationeel zijn voor pilot studies in het veld". Tabel 1 geeft relevante veel voorkomende symptomen bij ziekten en plagen in aardappelen, suikerbieten en granen en potentiële detectietechnieken die kunnen worden gebruikt bij het monitoren van het gewas (Smit *et al.*, 1999). Opgemerkt moet worden dat deze symptomen vaak niet specifiek zijn.

Tabel 1. Veel voorkomende symptomen bij ziekten en plagen in aardappelen, suikerbieten en granen en potentiële detectietechnieken die kunnen worden gebruikt bij het monitoren van het gewas (Naar Smit et al., 1999).

Afwijking	Gewas			Techniek
	aardappelen	suikerbieten	granen	
Achterblijven in groei (LAI)	+			Reflectie, Vision, Mechanisch
Vormverandering	+	+		Reflectie, Vision, Radar
Verkleuring		+	+	Reflectie, Vision
Verwelking		+		Reflectie, , IR, NIR, Vangplaat, Ultrasoon
Vruchtlichamen			+	Reflectie, Vision
Beestjes	+	+	+	Akoestisch, Vision, Vangplaat, Ultrasoon

Voor gerichte acties om plantenziekten te bestrijden zijn geen geautomatiseerde systemen beschikbaar. Wel beschikbaar zijn beslissingsondersteunende systemen (BOS) voor bepaalde plantenziektewas combinaties zoals Epipre, Botrytus/Aardbei BOS en een Phytophthora module. Op basis van periodieke monitoring van het gewas stelt de teler aard en intensiteit van een bepaalde ziekte vast en voert deze informatie in het BOS in. De output daarvan leidt vervolgens tot een gerichte bestrijdingsactie van de teler zelf. Beslissingsondersteunende systemen koppelen waarneming van weersomstandigheden en ziektedruk aan een gerichte bestrijdingsactie en vormen daarmee een essentieel onderdeel van eventuele robotisering en automatisering op dit terrein.

In de tussentijd zijn er publicaties verschenen over sensoren gebruikt voor het meten aan gewasgezondheid en specifieke ziekten in gewassen. Veelal werd de gewasreflectie gemeten en gerelateerd aan de mate van de voorkomende ziekte.

Lokhorst *et al.* (2002) onderscheiden in relatie tot het meten van gewassenmerken vier typen sensoren: laboratorium sensoren, contact sensoren, close sensoren en remote sensoren. Met laboratorium sensoren kunnen verschillende eigenschappen van gewas en grond in het laboratorium worden geanalyseerd. Contact sensoren worden in directe verbinding gebracht met het doelobject: bijvoorbeeld een plantenblad. Met deze sensoren kan bijvoorbeeld de fotosynthese worden gekwantificeerd. Close sensing houdt in dat met sensoren bevestigd aan mens, trekker of werktuig bepalingen gedaan kunnen worden aan gewas en grond. Een variant hierop is het inzetten van line-scan camera's om opnames te maken in productstromen waarna door middel van beeldverwerkingstechnieken grootte, sortering, kleur, vorm, afwijkingen, ziekten en tarra kunnen worden gedetecteerd en gekwantificeerd. Sensoren gebruikt bij remote sensing zijn per definitie op afstand van het doelobject geplaatst. Hierbij kan gedacht worden aan vliegtuigen, helikopters of satellieten. Bij remote sensing gaat het om sensoren die de absorptie/reflectie van straling kwantificeren. Zowel de zon als kunstlicht kunnen als stralingsbron fungeren. De mate van reflectie in bepaalde golflengtes en/of hun onderlinge verhoudingen karakteriseren bepaalde gewas- of bodemeigenschappen. Voordeel van remote sensing vanuit de lucht is dat er 2-D informatie wordt verzameld, waardoor variatie binnen oppervlakte-eenheden in beeld kan worden gebracht. Plaatsspecifiek management komt hierdoor binnen handbereik. In de praktijk wordt vaak geen onderscheid gemaakt tussen close- en remote sensing. Nadeel van remote sensing op dit moment is vooral de schaal van waarnemen. Voor plantspecifieke acties is de nauwkeurigheid van remote sensing onvoldoende (Meuleman & Molema, 2004; Smit *et al.*, 1999).

De lichtreflectie eigenschappen van planten kunnen gebruikt worden om de gewastoestand, groei, ziekte, water- en nutriëntenstress van het gewas vast te leggen. Zo kan ook onkruiddetectie plaatsvinden door gebruik te maken van het verschil in optische reflectie tussen gewas en onkruidplanten (Vrindts, 2000). Ontwikkeling van sensoren voor bladreflectie is dan essentieel. Afhankelijk van de toepassing zijn reeds meetmethoden bekend en wordt aan de praktijktoepassing van sensoren gewerkt voor:

1. chemische samenstelling blad (m.n. pigmenten en chlorofyl en caroteen; Vrindts, 2000; Chen *et al.*, 2002; Fridgen *et al.*, 2004);
2. N-gehalte blad (Osborne *et al.*, 2002; McGrath *et al.*, 1996);
3. P-gehalte (Osborne *et al.*, 2002) en K-gehalte blad (Halgerson *et al.*, 2004; Fridgen *et al.*, 2004);
4. Vochtgehalte (Schut, 2003);
5. Onkruid (Vrindts & De Baerdemaker, 1997).

Sensoren zijn ook in ontwikkeling voor de specifieke detectie van ziekten in het gewas. Een aantasting van *Phytophthora infestans* in aardappelen verlaagde de reflectie in het infrarood, zelfs in een heel vroeg stadium van de ontwikkeling van de aardappelziekte (Verhoef & Bunnik, 1974). Binnen PRI en GreenVision is een groep onderzoekers betrokken bij onderzoek naar de detectie van ziekten in planten (Os *et al.*, 2007). Baltissen en Van der Heide zijn in een project bezig met de inventarisatie van de mogelijkheden van een automatisch ziekzoekstelsel in bloembollen waarin verschillende sensing systemen geëvalueerd worden naar de mogelijkheid om virus in tulpen te detecteren (VIS/NIR-spectroscopie, spectral imaging, fluorescence imaging, en kleurenbeelden). Een aantasting met *Botrytis* kan met de Multiple Imaging Plant Stress faciliteit (MIPS) al na enkele uren aangetoond worden terwijl het met het blote oog een week duurt voor het zichtbaar is (Anoniem, 2002). MIPS meet de chlorofylfluorescentie van de bladeren. MIPS kan gebruikt worden voor sorteren op ziekten, kleur, vorm, en andere kwaliteitsparameters. Bovendien kan MIPS ook het effect van gewasbeschermingsmiddelen op de fotosynthese meten. De mogelijkheid om planten in de tijd te volgen en aantastingspunten van ziekte op een individueel blad terwijl de aantasting uitbreid wordt door Polder *et al.* (2007) beschreven. Hierbij wordt de chlorofyl fluorescentie techniek van de MIPS gebruikt. De tijdseries van beelden kunnen gebruikt worden om vroege detectie van plantziekten mogelijk te maken en de gewasgezondheidstoestand van het gewas aan te geven. Bergervoet *et al.* (2007) concluderen dat een vroege aantasting van *Botrytis* in roos op vergelijkbaar tijdstip of eerder gedetecteerd wordt met de MIPS dan met het menselijk oog. De op chlorofylfluorescentie gebaseerde MIPS methode biedt perspectieven voor praktische toepassingen maar niet voor vroege detectie.

Polder *et al.* (2005) heeft ook gekeken naar de detectie van fusarium op individuele graankorrels en concludeerde dat dit mogelijk was met een voorspellende waarde van 80%. De ontwikkeling van een vereenvoudigde sensor is mogelijk op grond van twee bandfilters in plaats van het gehele opgenomen spectrale reflectie patroon (430-1750 nm). De detectie van fusarium aantasting op pixel niveau is nauwkeuriger dan met gewone spectroscopie.

Een praktische toepassing in het veld is de Minimale Lethale Herbicide Dosering (MLHD) methode.

De Imspectormobiel, die ontwikkeld is voor het vastleggen van gewassenmerken van grasland (Schut, 2003), is toegepast voor de spectrale reflectie (450-1600 nm) van appelblad na inoculatie met ascosporen van appelschurft (Zande *et al.*, 2007). Wanneer onderscheidende golflengten voor appelschurft gevonden worden kan daarmee een sensor ontwikkeld worden voor de detectie van appelschurft in boomgaarden.

OPTIDIS

West *et al.* (2003) lieten zien dat door een schimmelaantasting in het gewas het blad minder chlorofyl heeft met als gevolg een verandering in de spectrale reflectie in het groene, rode en vooral NIR spectrum (680-800 nm). Kleurt een plant bruin door afsterving dan beïnvloedt dit de NIR reflectie omdat de interne celstructuur uit elkaar valt en het luchtgehalte in de cellen daalt. In algemene zin stelt West *et al.* (2003) dat de verschillende ziektesymptomen in de verschillende golflengten zichtbaar zijn:

- Pathogeen deeltjes VIS (400-700 nm),
- chlorofyl degradatie (necrotische of chlorotische lesions) in het VIS of red-edge gebied (550 nm; 650-720 nm),
- fotosynthese verstoring als verandering in fluorescentie (450-550 nm; 690-740 nm) en in het TIR (8000-14000 nm),
- afsterving in het VIS en NIR gebied (680-880 nm) als gevolg van bruinverkleuring
- afsterving als gevolg van droogte in het SWIR gebied (1400-1600 nm en 1900-2100 nm),
- verandering in bladdichtheid en bladoppervlakte in het NIR (700-1200 nm) en verandering in de transpiratie snelheid (8000-14000 nm).

Dit geeft de mogelijkheid om met deze optische veranderingen ziekten in het veld te kunnen detecteren. Door het gewas te belichten met een Xenonlamp met een 420 nm low-pass filter kon de reflectie in de golflengten van 550 nm en 690 nm gebruikt worden om een graangewas als ziek (roest) of als gezond te classificeren. De ziekteclassificatie was 95% betrouwbaar en de gezond classificatie 71%.

Moshou *et al.*, 2003, 2004 geven aan dat met roest aangetast graanblad goed gedetecteerd kan worden door de reflectie van een combinatie van vier golflengten (543 nm, 630 nm, 750 nm en 861 nm +/- 10 nm). Zowel gezond als ziek gewas kon op deze manier met 96% betrouwbaarheid geclassificeerd worden. In Moshou *et al.*, 2005 wordt geconcludeerd dat de golflengten 680 nm, 725 nm en 750 nm de beste combinatie geven voor het verifiëren van de aanwezigheid van gewas ($NDVI = (R_{NIR} - R_{VIS}) / (R_{NIR} + R_{VIS})$) bepaling met 750 en 680 nm) en voor ziektedetectie 725 nm, 750 nm en 680 nm. Fluorescentie metingen lieten ook duidelijke ziektepatronen in het veld zien. Hiervoor werden de golflengten 550 nm en 690 nm gebruikt.

Moshou *et al.* (2006) onderzocht of plant stress veroorzaakt door ziekteaantasting vroegtijdig geregistreerd kon worden. In wintertarwe werd gele roest geïnfecteerd en gekeken naar het effect op de reflectie van ziekte aantasting, nutriënten stress en gezonde planten. Hyperspectrale reflectie werd gemeten. Er werd gebruik gemaakt van een SPECIM V9 Spectrograph op spuitboomhoogte boven het gewas. Gemeten werd in het golflengtebereik 460-900 nm. Met gele roest geïnfecteerde tarwe werd succesvol (99%) onderscheiden van gezonde planten en planten met nutriënten stress. De NDVI had lagere waarden, gedeeltelijk verklaard door lagere fotosynthese activiteit van deze planten. Door de spectrograph 10° naar achteren te draaien en spectra met $NDVI < 0.4$ als van de grond te beschouwen konden de planten spectra effectief gesepareerd worden. Naast de NDVI golflengten 630 nm en 750 nm werden nog drie golflengten geselecteerd; 725, 680 en 475 nm. Deze drie afzonderlijk of de NDVI golflengten afzonderlijk gaven geen bevredigend resultaat daarom werden combinaties van de verschillende golflengten genomen.

Tartachnyk *et al.* (2005, 2006) onderzochten de mogelijkheden van Laser Induced Fluorescence (LIF) voor het detecteren van ziekten (roest en meeldauw) en nutriënten tekort bij wintertarwe. In het donker werden twee planten beschenen met een He-Ne laser met een 633 nm lichtstraal. De geëmitteerde fluorescentie werd vastgelegd met

een FieldSpec™ UV/VNIR systeem. Opgenomen werden spectra bij een golflengte van 650 tot 900 nm. Vanuit de opgenomen spectra werden de chlorofyl fluorescentie (686, 740 nm), laser licht reflectie bij 633 nm en de verhoudingen 686/740 nm, 633/686 nm, en 633/740 nm berekend. Zowel ziekte als nutriëntentekort gaven een verhoging van de golflengte verhoudingen 686/740 nm. Dit kwam samen met een verlaging van het chlorofyl-gehalte. Er was dus geen onderscheid te maken tussen ziekte en nutriëntentekort. Bij de ziekten trad een grotere spreiding op in reductie van chlorofylgehalte dan bij planten met een nutriëntentekort. Bij planten met een goede voedingstoestand kon de ziekte wel teruggevonden worden door de hogere spreiding in spectrale metingen. Gelijktijdig opnemen van de laser reflectie 633 nm, de fluorescentie bij de verhoudingen 633/686 nm en 633/740 nm en de bijbehorende standaardafwijking wordt als een goede maat voor ziektestress detectie onder veldomstandigheden aanbevolen.

Larsolle & Hamid Muhammed (2005, 2007) onderzochten het effect van plantdichtheid en ziekteaantasting op de hyperspectrale gewasreflectie. Er werd gebruik gemaakt van een spectroradiometer die in 164 banden de reflectie mat tussen de 360 en 900 nm. Door toenemende ziekteaantasting en lagere plantdichtheid ontstonden twee 'handtekeningen':

1. vlakte de groen reflectie piek af en werd in algemene zin de nabij infrarood reflectie lager, en
2. de 'schouder' van het nabijrood reflectieplateau ging samen met een toename van het zichtbare lichtreflectie tussen 550 en 750 nm.

Bravo *et al.* (2008) geeft aan dat het effect van de ziekten gele roest en septoria in tarwe en de bemestingstoestand (N-bemesting) de spectrale reflectie in het golflengtegebied 450-900 nm verandert. In Tabel 2 worden de veranderingen in spectrale reflectie aangegeven ten opzichte van een gezond blad.

Tabel 2. *Veranderingen in spectrale reflectie door ziekteaantasting en nutriëntentekort in graan (naar Bravo et al., 2008).*

Spectrale reflectie	550 nm	550-620 nm	620-650 nm	650-670 nm	>750 nm
Septoria	laag	toenemend	toenemend	max	negatief
Gele roest	laag	toenemend	max	afnemend	negatief
N - tekort	max	afnemend	afnemend	laag	negatief

Bravo *et al.* (2008) stelt dat fluorescentie imaging de enige methode is om ziekteaantasting waar te nemen voordat het met het oog zichtbaar is (3 tot 7 dagen na infectie). Spectrale reflectiemethoden kunnen goed gebruikt worden voor het volgen van het infectieproces op het blad maar zijn pas bruikbaar als de symptomen als duidelijke lesies zichtbaar zijn of juist voor sporulatie. Dit geeft overigens wel de mogelijkheid om in het veld de ziekte te detecteren voordat een volgende sporulatie golf optreedt.

Franke & Menz (2007a) gebruikten remote sensing beelden QuickBird om een inschatting te maken van de roest en meeldauw aantasting in wintertarwe. Zij concludeerden dat de hoge resolutie Multi-spectraal data geschikt zijn om de gewasontwikkeling en gewasgroei vast te leggen maar minder geschikt zijn voor de vroege detectie van ziekte aantastingen.

Lenthe *et al.* (2005, 2007) testten het gebruik van een infrarood thermografiesysteem voor het vastleggen van een relatie tussen de microklimaat condities in een tarwegewas en de mate van ziekteaantasting. Zij concludeerden dat het niet mogelijk is verschillen in bladaantasting met de schimmelziekte *Septoria* met thermografie in een tarwegewas te detecteren. In het veld zijn er andere abiotische factoren die een grotere invloed hebben op de bladtemperatuur dan de bladaantasting met schimmelziekte. De metingen werden uitgevoerd met een Varioscan 3021-ST (Jenoptik).

Fitzgerald *et al.*, 2006 inventariseerden het gebruik van thermische en spectrale reflectie meetmethoden voor het vastleggen van water en nutriëntenstress in graangewassen. Er worden resultaten gepresenteerd van studies uit de Verenigde Staten en Australië. In Australië gebruikten ze een FieldSpec Pro draagbare spectroradiometer (Analytical Spectral Devices, Boulder) waarmee de lichtreflectie gemeten werd in de bandbreedtes 350-1050 nm en 900-2500 nm. Met een ThermoCAM P40 (FLIR, Zweden) werd de temperatuur reflectie van grond en gewas vastgelegd in het spectrum 7,5-13 μm . In de VS werd de spectrale reflectie gemeten met een Exotech 100-BX handradiometer in de golflengten 650-675 nm, 715-725 nm en 780-900 nm. Gewastemperatuur werd gemeten met een Everest 100,3Z infrarood sensor (Everest InterScience, Tucson). Uit de hyperspectrale analyse kwam een duidelijk verband met de N-toestand vroeg in de gewasontwikkeling (vanaf Zadoks 14). De methode met Canopy Chlorofyll Content Index (CCCI) kon dit pas vanaf Zadoks 33. CCCI kan echter wel een betere schatting geven van de N-toestand in situaties met vochttekort. De combinatie van thermische en spectrale informatie levert meerwaarde op voor het inschatten van de gewastoestand voor N-bemesting.

Petterson *et al.*, 2006 hebben over 3 jaar de gewasreflectie en het elektrisch geleidingsvermogen EC gemeten tijdens de groeistadia GS32 en GS69 van een brouwergerst. Deze parameters werden gerelateerd aan de bovengrondse biomassa en de uiteindelijke gerstopbrengst en de brouwkwaliteit ervan. De gewasreflectie werd gemeten met een hand reflectiemeter (beschreven in Reusch *et al.*, 2002) over het golflengtebereik 400-1000 nm (stappen 10 nm). De grond EC werd met een Geonics EM38 gemeten die met een quad over het perceel gereden werd.

Bepaalde vegetatieindices waren:

RATIO (NIR/red=R780/R670 en NIR/green=R780/R550),

Normalised Difference Vegetation Index (NDVI = $(R780-R670)/(R780+R670)$),

GreenNDVI (GNDVI = $(R780-R560)/(R780+R560)$),

red edge inflection point (REIP = $700+40(((R670-R780)/2)-R700)/(R740-R700)$)

triangular vegetation index (TrVI = $0.5 * [120(R750-R550)-200(R670-R550)]$)

transformed chlorofyll absorption ratio index (TCARI = $3[(R700-R670)-0.2(R700-R550)] * (R700/R670)$)

optimised soil adjusted vegetation index (OSAVI = $(1+0.16)(R800-R670)/(R800+R670+0.16)$)

ratio Vis TC/OS = TCARI/OSAVI

Op GS69 was er een goede correlatie tussen de vegetatie-indices en de graanopbrengst en het eiwitgehalte. Op GS32 was er alleen een goede correlatie met de TrVI, OSAVI, TCARI en TC/OS. De meest verklarende vegetatie-indices waren de TCARI, OSAVI en TC/OS.

Bjerre *et al.* (2006) geven een overzicht van de mogelijkheden van plaats specifieke ziektebestrijding met als voorbeeld roest, bladvlekkenziekte en meeldauw in wintertarwe. Als belangrijkste redenen voor het opstarten van plaats specifieke ziektebestrijding noemen zij dat:

1. binnen het veld varieert de ziekteontwikkeling
2. de gewasgevoeligheid voor ziekte varieert binnen het perceel
3. het bestrijdingseffect van het toegediende fungicide varieert binnen het perceel.

Ook geven ze een overzicht van onderzoek waarin sensoren gebruikt worden voor dit doel.

Op het Precision agriculture 2005 congres (Stafford, 2005) presenteerde Nicolas (2005) resultaten van remote sensing onderzoek naar het detecteren van *Septoria* in een graangewas. Gewasopnamen werden vanaf een kraan op 17m hoogte gemaakt. De opnameapparatuur was een infrarood camera (inframetrics 600R, 8-14 μm) en een optische camera met een infrarood zwart-wit film (35 mm Kodak 2481) gecombineerd met een infraroodfilter (Kodak Wratten 87) voor het gebied 700-900 nm. Voor het gebied 400-700 nm werd een gewone film gebruikt. Beelden werden gescand op 550 dpi. *Septoria* kon aangetoond worden als een verlaging van de NDVI als de ziekte op de bovenste bladeren zichtbaar wordt. Een effect op de gewasopbrengst is duidelijk als het bovenste blad aangetast is. Geconcludeerd werd dat *Septoria* aantasting overeenkomt met een afname in de NDVI en een toename van de gewastemperatuur.

Oerke *et al.* (2005) beschreven de resultaten van digitale infrarood thermografie voor de detectie van bladziekten. Hiervoor werden in een kas komkommerbladeren gebruikt die geïnfecteerd waren met meeldauw (*Pseudoperonospora cubensis*) en appelblad met schurft (*Venturia inaequalis*). De aantasting met deze schimmels veroorzaakten veranderingen in de plantverdamping welke aangetoond kon worden met DIRT. In een buiten-

experiment met meeldauw en komkommer bleek dat er veel effect was van andere variabelen waardoor de resultaten van de potproef niet bevestigd werden.

Op het Precision agriculture 2007 congres (Stafford, 2007)presenteerde Kuckenber *et al.* (2007) de resultaten van fluorescentiemetingen in graan geïnfecteerd met roest en meeldauw. Zij hebben in een potproef geconstateerd dat in wintertarwe roest en meeldauw 2-3 dagen voordat het visueel waarneembaar is te detecteren is met een Pulse-Amplitude-Modulated (PAM) chlorofyl fluorimeter (Waltz). Fluorescentie werd gemeten in het rood NIR reflectiegebied. De veranderingen in de tijd en plaats op het blad van de chlorofyl fluorescentie (basis F_0 , maximum F_m , variabele $F_v = F_m - F_0$) zijn bij deze vroege aantasting duidelijk. In de vroege nog niet zichtbare aantastingsfase van de schimmels werd de F_0 hoger en de verhouding variabele fluorescentie en basis fluorescentie (F_v/F_0) en de maximale fotochemische efficiëntie (F_v/F_m) lager. Als in de vlekken pustules zichtbaar worden werden de F_0 en F_m lager, maar een reactie was het meest duidelijk in de verhouding F_v/F_0 . Dit werd vooral veroorzaakt door afschermen van bladdeel door de pustules en minder door afbraak van chlorofyl. De NDVI verandert in de beginfase van schimmelontwikkeling slechts gering, veranderingen treden vooral op als de pustules al op het blad zitten. Werden de opnamen niet na donkeraanpassing maar onder daglicht omstandigheden genomen dan was het onderscheidende vermogen aanzienlijk lager.

Stenzel *et al.* (2007) beschrijven de resultaten van een onderzoek naar de mogelijkheden van infrarood temperatuur metingen voor het detecteren van schimmelziekten (bladvlekziekte, meeldauw) in suikerbieten. Omdat de schimmelziekten of vrij water op bladoppervlak of een hoge luchtvochtigheid nodig hebben zijn er mogelijkheden om plekken binnen een perceel te identificeren waar deze situaties voorkomen met infrarood temperatuur metingen (Varioscan 3021-ST, Jenoptik). Gewasgegevens werden gecombineerd met opnamen van het elektrisch geleidingsvermogen EC van de grond (EM38, Geonics). Door ziekteaantasting ontstonden verschillen in temperatuur van het bietenblad. Aangetaste planten hadden gemiddeld aan het eind van het seizoen (eind augustus) een 0,6 °K lagere temperatuur. Verschil tussen zieke en gezonde planten kon gemaakt worden bij een 0,13 °K lagere temperatuur van aangetast bietenblad. Binnen een perceel leek meeldauw pleksgewijs voor te komen overeenkomend met de gebieden met lagere temperatuur vroeg in het groeiseizoen. Later in het groeiseizoen veranderde de temperatuur van de suikerbieten en de eerst koele gebieden werden warmer en de eerst warme gebieden werden koeler. Deze plekken kwamen overeen met afwijkingen in het reliëf, bodemheterogeniteit en stand van het gewas. Beide ziekten kwamen vooral voor op de gebieden die vroeg in het seizoen koeler waren. Een vroege detectie van bladvlekkenziekte en meeldauw in suikerbieten lijkt echter niet mogelijk met thermografie.

De ontwikkeling van een mobiele gewassensor MobilLas voor het vaststellen van de gewasparameters gewashoogte en bladhoeveelheid in relatie met N bemesting werd beschreven door Thomsen & Schelde (2007). Het systeem bestaat uit een NIR laser range finder (AccuRange 4000, Acuity Research) en twee vierband radiometers (SKR 1850, Skye) gefilterd op 650, 710, 730 en 780 nm. De standaard parameters RVI, NDVI en red edge position worden weergegeven. De gewashoogte wordt berekend als het verschil in cumulatieve verdeling van de top gewas meting (99,5%) en de grondoppervlak meting (0,5%). De kijkhoek is 53°. Uit de cumulatieve verdeling kan ook de LAI berekend worden via de Canopy Gap Fraction. Geconcludeerd werd dat de LAI resultaten afwijken van de controlemetingen, er is sprake van een onderschatting van de LAI bij waarden hoger dan 2,5. De reflectiemetingen van het mobiele systeem, vertaald in een ratio vegetatie index RVI als verhouding tussen NIR en rood reflectie, kwamen goed overeen met controle metingen.

Ehlert *et al.*, 2007 beschrijft laboratorium- en veldonderzoek aan twee typen laser range finder sensoren voor het vaststellen van gewasparameters. De twee systemen waren een ODS 1600 HT 2select (LASE) die volgens het triangulatie principe met een golflengte van 670 nm werkt en de AccuRange 4000-LIR (Schmitt Measurement Systems) die volgens het time-of-flight principe op een golflengte van 780 nm werkt. Uit het signaal werd het "height of reflection point" bepaald als $h_r = h_s \cdot I_r \cos \phi$, met daarin sensorhoogte h_s en reflectie afstand I_r . Absoluut gaf de LASE sensor iets hogere waarden voor het zelfde gewas dan de Schmitt sensor. Door het definiëren van een "height of reflection point" kon voor beide sensoren een relatie gelegd worden met de gewas biomassa, hoeveelheid en dichtheid.

Waarnemingen van de vitaliteit en plaats specifieke afwijkingen van het gewas als gevolg van bodemomstandigheden, bemestingstoestand, onkruidconcurrentie en schimmelziekten in een tarwegewas worden beschreven door Franke & Menz (2007b). Het effect van verschillende aantastingsniveaus van meeldauw en roest op de bladmassa en de reflectie wordt aangegeven. Gemeten is met de Quickbird sensor waarmee reflectieopnamen in de golflengten 495, 560, 660, en 830 nm genomen zijn. Van de verzamelde hyperspectrale gegevens is door spectrale mixture analyse een methode bepaald voor stress detectie. Iedere stress zou een specifieke spectrale handtekening hebben. Een schimmelaantasting gaf een afname in de spectrale reflectie van 6% en 21% voor respectievelijk de 660 en 830 nm QuickBird banden. De SMA methode gaf een goede correlatie met opnamen van bekende percelen met verschillende niveaus van schimmelaantasting. Een vergelijking van de SMA methode met een NDVI bepaling gaf aan dat de NDVI op een gelijke wijze reageert op verschillen in ziekteaantasting als de SMA methode. De correlatie van de NDVI met het ziektebeeld was echter aanzienlijk lager dan van de SMA.

Een vergelijking tussen drie NDVI sensoren in een maïs gewas is gemaakt door Shaver *et al.*, 2007. Vergeleken werden een CropCircle en twee Ntech GreenSeekers, met rode en groene visuele band. De visuele banden hadden golflengten van respectievelijk 510 nm, 650 nm voor de groene en rode GreenSeeker en 590 nm (amber) voor de CropCircle. In een laboratorium proef werden maïsplanten opgekweekt met 4 hoogtes van N bemesting. De rijafstand werd gevarieerd door de planten in potten op 25, 50 en 75 cm rijafstand te zetten. Ook werd de rij snelheid veranderd tussen stilstaand, 1,7 km/h en 6,8 km/h. Bladbeweging door wind werd gesimuleerd door een ventilator. Resultaten geven aan dat alle drie de sensoren een hogere NDVI meten bij een smallere rijafstand. Bij een hogere N-gift wordt ook een hogere NDVI gemeten, behalve bij de hoogste gift van 225 kg/ha. Dit komt door oververzadiging van het gewas waardoor het gewas niet groter of groener is dan bij 150 kg/ha. Snelheid had een onvoorspelbaar effect op de metingen, geadviseerd wordt metingen daarom met één rij snelheid uit te voeren. De CropCircle lijkt een groter bereik te hebben voor wat betreft gewasplantkarakteristieken en bemestingstoestand.

Op het 2nd Precision Crop Protection Conference te Bonn (10-12 september 2007) werden enkele presentaties gehouden over detectie van ziekten in gewassen. De ruimtelijke verdeling en verspreiding van ziekten werd besproken door Gröll *et al.* (2007) voor meeldauw, pseudocercospora en septoria in tarwe en voor fusarium in tarwe door Schlang *et al.* (2007). Meeldauw werd gedetecteerd in specifieke golflengten 516-540 nm en 540-600 nm. De zieke planten gaven hierbij een hogere reflectie dan de gezonde planten. Kuckenbergh *et al.* (2007) inventariseerden de mogelijkheden van de Fritzmeier MiniVeg sensor voor het detecteren van roest, meeldauw en stikstof deficiëntie in tarwe. Met de MiniVeg wordt de fluorescentie (Laser Induced Fluorescence) en de 690/740 nm reflectieverhouding gemeten. Door de heterogeniteit van de reflecties bij de ziekten en het stikstofgebrek was er geen duidelijk onderscheid tussen ziekte en bemestingstoestand. De toename in heterogeniteit was op zich wel een maat voor het optreden van een ziekteaantasting, doorgaans trad er een sterke verandering in heterogeniteit van de meetresultaten op 10 dagen na infectie.

Chong *et al.* 2002 geven aan dat vroege detectie van tabaksmozaiekvirus (TMV) aantasting in tabak mogelijk is. De cellen rondom de plaats waar de TMV lesies zitten fluoresceren zeer snel blauw na infectie in UV licht. Deze reactie wordt veroorzaakt door een afname van de concentratie scopolin en scopoletin in de cellen direct naast de TMV lesies.

5. Discussie

Op dit moment zijn er op het vlak van de toediening van gewasbeschermingsmiddelen veelbelovende ontwikkelingen gaande die op korte termijn in de praktijk ingevoerd kunnen worden. Voorbeelden hiervan zijn het SensiSpray project waarbij afhankelijk van de groenheid van het gewas het spuitvolume aangepast wordt door het kiezen van verschillende combinaties van spuitdoppen (16) in één dophouder. Ook het spuiten van individuele vrij staande planten is mogelijk met bijvoorbeeld het Weed-IT systeem. Met beide systemen kan doorontwikkeld worden om tot een SmartSpray Infectie-Detectie-Spuit (IDS) systeem te komen.

Welke sensing systemen het meest veelbelovend zijn voor het detecteren van ziekten in bolgewassen is moeilijker aan te geven. Op het gebied van real-time sensing van ziekten wordt momenteel veel onderzoek gedaan. Een kant-en-klare sensor voor direct gebruik in het SmartSpray IDS systeem is echter niet gevonden.

Wel zijn veel perspectiefvolle ontwikkelingen gevonden die mogelijk tot een vroegtijdige detectie van ziekten in gewassen kunnen leiden. Een overzicht van de detectiemethoden en de fase waarin ze in de verschillende aantastingsfasen van sporen op blad onderscheid geven is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Overzicht van detectiemethoden en de toepasbaarheid ervan in de verschillende fasen in de aantasting van schimmelsporen op blad.

Optische techniek	Gezond	Gezond + spore	Ingroei spore	Ingroeide spore	Waarneembare vlek	Afgestorven (necrotisch)
Hyperspectraal VIS/NIR ¹	+++++	—	—	+—	+++++	+++++
Fluorescentie imaging ²	+++++	—	+—	+++—	+++++	+++++
LIF laser 633 nm ³	+++++	—	++—	++++—	+++++	+++++
LIF UV-laser, 365 nm ⁴	—	—+	++++—	+++++	++—	—
TIR (8000 – 12000 nm)	—	—	—	—	++—	+++—
SWIR (1400 – 2100 of 2400 nm)	—	—	—	—	+—	+++++
MIPS (Multi Imaging Plant Stress)	+++++	—+	+—	+++++	+++++	+++++

meer + = beter geschikt

Er zijn veel mogelijkheden om zieke delen van planten te herkennen met hyperspectrale technieken. Er is bovendien een veelheid aan kengetallen ontwikkeld om een afwijking in een deel van een blad weer te geven. Deze technieken zijn (vrijwel) allemaal te herleiden tot de werking van het chlorofyl complex. Een gezond blad, zonder nutriënten- of waterstress geeft een karakteristiek reflectiepatroon. Zodra de reflectie van het blad in relatie tot het karakteristieke reflectiepatroon van chlorofyl gaat afwijken, is dit hyperspectraal te detecteren. Het is echter moeilijk om een drempelwaarde aan te geven omdat de afwijking zich zeer geleidelijk in de tijd voltrekt. Een duidelijk aangetast deel van een blad en een duidelijk gezond deel van een blad zijn te onderscheiden. Ook wanneer er nog geen duidelijk waarneembare vlek te constateren is, kan met hyperspectrale technieken het effect van de inwerking van de spore op het blad geconstateerd worden.

Fluorescentie Imaging, door het chlorofyl complex te verzadigen en daarna de sterkte van de chlorofyl fluorescentie te meten, vervroegt de detectie mogelijkheid na infectie, omdat deze methode gericht is op het kwantificeren van de efficiency van de werking van het chlorofyl complex. Omdat slechts eenmalig (in de tijd) gemeten wordt, beïnvloeden

¹ 450 – 900 nm, gebaseerd op NDVI of een andere verhouding die de absorptie van licht door chlorofyl beschrijft.

² Met Xenon lamp verzadiging van het chlorofyl complex, meting van de fluorescentie.

³ Meting van de fluorescentie na verzadiging van het chlorofyl complex met laser.

⁴ Met 365 nm belichten en de blauw fluorescentie meten op submillimeter niveau rondom de ingegroeide spore.

de natuurlijke variaties in de aanwezigheid van chlorofyl rechtstreeks de meting en daardoor wordt de betrouwbaarheid van de detectie verlaagd.

De LIF-methode, met gebruik van een laser van 633 nm, is niet wezenlijk anders dan Fluorescentie Imaging. Het niveau van het licht waarmee het blad(deel) aangestraald wordt, is echter beter regelbaar. Verwacht wordt dat de kwantitatieve meting van de fluorescentie (en dus de meting van de efficiency van het chlorofyl complex) iets nauwkeuriger wordt dan bij gebruik van een Xenon lamp.

Bij de meting in het TIR kwantificeert men de uitstraling van een blad(deel). Als een blad water verdampt (en dat gebeurt als het chlorofyl complex normaal werkt), dan koelt dit blad(deel) daardoor af. Onder laboratorium omstandigheden kan men aan de hand van de temperatuurverdeling op een plant of blad zien waar de verdamping wel en waar de verdamping niet plaatsvindt. Het gaat hierbij echter om tienden van graden. Zo'n klein verschil in temperatuur wordt in de praktijk echter versluierd door de vele natuurlijke variaties in het veld. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de invloed van de wind op individuele bladeren van planten.

Meting in het SWIR gebied richt zich vooral op meting van de waterinhoud. Een afgestorven blad droogt uit en geeft daardoor in het SWIR gebied hogere reflecties. Daarnaast zijn in het SWIR gebied hogere harmonische (vaak derde en vierde) golflengten aanwezig van organische verbindingen (C-H, C=H, O-H, C-O, etc.; kortom meting van inhoudsstoffen) met specifieke absorberende golflengten. In het kader van vroege ziekte detectie speelt dit echter geen rol. Met de MIPS kan nog het meest nauwkeurig en vroegtijdig de invloed van een ingegroeide spore gemeten worden. Door in de tijd hetzelfde blad meermalen te meten wordt de natuurlijke variatie in de verdeling van het chlorofyl over het blad geëlimineerd. Toch meet men ook met MIPS aan het chlorofyl complex.

Eén methode lijkt interessant: UV geïndiceerde fluorescentie. Als een spore ingroeit, sterft een cel af en de omringende cellen proberen zich tegen een dergelijke infectie te verdedigen. Daardoor vindt rond de infectie ophoping van scopolin en scopoletin plaats. Vermoed wordt dat dit de belangrijkste stoffen zijn die bijdragen aan de blauw fluorescentie die waargenomen kan worden onder UV-licht. Dit is waarschijnlijk het vroegste symptoom van een infectie die waarschijnlijk ook meetbaar is. Dit fenomeen is voor het eerst in 2002 gerapporteerd en biedt wellicht nieuwe mogelijkheden voor een vroegtijdige detectie van de inwerking van een spore. Het effect moet op sub-millimeterschaal gemeten worden.

Systemen die ziekten kunnen detecteren voordat ze met het blote oog waarneembaar zijn zijn het meest perspectiefvol voor de ontwikkeling van een IDS systeem maar kunnen nog niet direct aangegeven worden. Verder onderzoek naar bijvoorbeeld de ontwikkeling van een ziekte detectiesysteem naar *Botrytis ssp.* in bollen (tulp, lelie) wordt dan ook aanbevolen. Vooral de mogelijkheden van spectrale reflectie en laser geïnduceerde fluorescentie lijken hierin perspectiefvol. Mogelijk is daarmee zelfs de detectie van individuele sporen op het blad mogelijk, specifiek hiernaar is nog weinig onderzoek gedaan. Vervolgvragen die hierbij ontstaan zijn:

- Onderzoek naar de overdrachtseffecten ten gevolge van een fysisch contact (STRESS) tussen sporen en bladoppervlak (dus nog geen indringing in het blad van de spore).
- Onderzoek naar gevoelige detectiemogelijkheid van specifieke chemische componenten in de spore die worden geactiveerd als de spore actief wordt en de plant wil gaan infecteren.
- Onderzoek naar gevoelige detectiemogelijkheden van specifieke chemische componenten die generiek in schimmeldraden voorkomen (bv chitine).

Literatuur

- Achten, V.T.J.M., R.P. van Zuydam, J.C. van de Zande & P.G. Andersen, 2003.
Development of a canopy density adjusted segmented cross-flow orchard sprayer equipped with a canopy contour guidance system (PreciSpray). In: Werner A & Jarfe A (eds). Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 2003. 343-344.
- Anoniem, 2002.
Mibiton jaarverslag 2002. BioPartner Facilities Support, Leidschendam. 2002.
- Bergervoet, J., H. Jalink, R. van der schoor, A. Schapendonk, J. Snel & J. van der Wolf, 2007.
Geautomatiseerde niet-invasieve methoden om de kwaliteit van aangevoerde rozen te meten. Een onderzoek met beeldvormend chlorofylfluorescentie (MIPS) en flowcytometrie (GreenFlow). Wageningen UR, Plant Reserach International, WUR-PRI Rapport 143, Wageningen. 2007. 16 p.
- Bjerre, K.D., L.N. Jorgensen & J.E. Olsen, 2006.
Site-specific management of crop diseases. In: A. Srinivasan (ed). Handbook of Precision Agriculture. Principles and Applications. Food Product Press, Haworth, New York. 2006. 207-252.
- Bravo, C., 2006.
Automatic foliar disease detection in winter wheat. Doctoraalproefschrift nr. 685 aan de Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen van de K.U. Leuven, Leuven. 2006. 257 p.
- Bravo, C., R. Oberti, D. Moshou, L. Bodria & H. Ramon, 2008.
Detection and spraying strategy against fungal foliar diseases in winter wheat. Aspects of Applied Biology 84, International advances in Pesticide Application, 2008. p. 255-264.
- 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.
- Bui, Q.D., 2005.
VariTarget – A new nozzle with variable flow rate and droplet optimization. ASAE Paper 051125, paper presented at 2005 ASAE Annual International Meeting, Tampa, Florida, 17-20 July 2005. 6 p.
- CBS, 2008.
Cijfers over het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen (gewasbeschermingsmiddelen) in land- en tuinbouwgewassen. Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen. www.statline.cbs.nl.
- Chen, M., B. Glaz, R.A. Gilbert, S.H. Daroub, F.E. Barton & Y. Wan, 2002.
Near infrared reflectance spectroscopy analysis of phosphorus in sugarcane leaves. Agronomy Journal 94(2002): 1324-1331.
- Chong, J., R. Baltz, C. Schmitt, R. Belfa, B. Fritig & P. Saindrenan, 2002.
Downregulation of a pathogen-responsive tobacco UDP-Glc: Phenylpropanoid Glucosyltransferase reduces scopoletin glucoside accumulation, enhances oxidative stress, and weakens virus resistance. The Plant Cell 14(2002): 1093-1107.
- Dammer, K.H. & D. Ehlert, 2006.
Variable-rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. Precision Agriculture 7(2006): 137-148.

- Dammer, K.H. & J. Wollny, 2005.
Sensor technology for weed control with variable herbicide rates. Proceedings of the ewrs-sswm workshop "Spatial and dynamic weed measurements and innovative weeding technologies". Bygholm Denmark, 2005.
- Downey, D., T.G. Crowe, D.K. Giles & D.C. Slaughter, 2006.
Direct nozzle injection of pesticide concentration into continuous flow for intermittent spray applications. Transactions of the ASAE 49(2006)4: 865-873.
- Ehlert, D., R. Adamek & H.-J. Horn, 2007.
Assessment of laser rangefinder principles for measuring crop biomass. In: Stafford, J.V.. Precision Agriculture '07. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2007. 317-324.
- Fitzgerald, G.J., D. Rodriguez, L.K. Christensen, R. Belford, V.O. Sadras & T.R. Clarke, 2006.
Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status and irrigated wheat environments. Precision Agriculture 7(2006): 233-248.
- Franke, J. & G. Menz, 2007a.
Multi-temporal wheat disease detection by Multi-spectral remote sensing. Precision Agriculture 8(2007): 161-172.
- Franke, J. & G. Menz, 2007b.
Identification of site-specific anomalies of crop vigour using simulated endmembers for spectral mixture analyses. In: Stafford, J.V.. Precision Agriculture '07. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2007. 157-164.
- Fridgen, J.L. & J.J. Varco, 2004.
Dependency of cotton leaf nitrogen chlorophyll, and reflectance on nitrogen and potassium availability. Agronomy Journal 96(2004): 63-69.
- Ganzelmeier, H., 2005.
GIS-based application of plant protection products – examples from research and application. Annual Review of Agricultural Engineering 4(2005)1: 245-255.
- Giles, D.K. & T.K. Brock, 2008.
Using air injection nozzles for direct injection of agrochemicals: a feasibility study. Aspects of Applied Biology 86, International advances in Pesticide Application, 2008 (forthcoming).
- Gillis, K.P., D.K. Giles, D.C. Slaughter & D. Downey, 2003.
Injection mixing system for boomless target-activated herbicide spraying. Transactions of the ASAE 46(2003)4: 997-1008.
- Gröll, K., S. Graeff & W. Claupein, 2007.
Spatial dispersal of plant diseases. Program and Abstracts Book of the 2nd Conference on Precision Crop Protection, Bonn 10-12 October 2007.
- Halgerson, J.L., C.C. Sheaffer, N.P. Martion, P.R. Peterson & S.J. Weston, 2004.
Near-infrared reflectance spectroscopy prediction of leaf and mineral concentrations in alfalfa. Agronomy Journal 96(2004): 344-351.
- Kempenaar, C., R.M.W. Groeneveld & A.J.M. Uffing, 2006.
Evaluation of Weed It model 2006 MKII: spray volume and dose response tests. Wageningen UR, Plant Research International, WUR-PRI Nota 418, Wageningen. 2006. 20pp.

- Kempenaar, C., J.C. van de Zande, V.T.J.M. Achten, D. van der Schans & A.J. Olijve, 5 juli 2007.
SensiSpray: Plekgerichte precisiedosering van bestrijdingsmiddelen door on-line sensing. Poster gepresenteerd op de Praktijkdag Precisielandbouw Precies 2007 bij PPO-AGV te Lelystad.
- Kuckenberg, J., I. Tartachnyk, M. Schmitz-Eiberger & G. Noga, 2007.
Early detection of leaf rust and powdery mildew infections on wheat leaves by PAM fluorescence imaging. In: Stafford, J.V.. Precision Agriculture '07. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2007. 515-521.
- Kuckenberg, J., I. Tartachnyk, M. Schmitz-Eiberger & G. Noga, 2007.
Monitoring nitrogen deficiency, Puccinia recondita and Blumeria graminis infections at leaf and canopy levels in wheat by laser-induced fluorescence. Program and Abstracts Book of the 2nd Conference on Precision Crop Protection, Bonn 10-12 October 2007.
- Larsolle, A. & H. Hamid Muhammed, 2005.
Measuring crop status using multivariate analysis of hyperspectral field reflectance with application to disease severity and plant density. In: Stafford, J.V.. Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2005. 217-225.
- Larsolle, A. & H. Hamid Muhammed, 2007.
Measuring crop status using multivariate analysis of hyperspectral field reflectance with application to disease severity and plant density. Precision Agriculture 8(2007): 37-47.
- Lenthe, J.-H., E.-C. Oerke & H.-W. Dehne, 2007.
Digital infrared thermography for monitoring canopy health of wheat. In: Stafford, J.V.. Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2005. 281-288.
- Lenthe, J.-H., E.-C. Oerke & H.-W. Dehne, 2007.
Digital infrared thermography for monitoring canopy health of wheat. Precision Agriculture 8(2007): 15-26.
- Matthews, G., 2005.
Plant protection technique – Successes and failures of the past century and challenges for the coming decades. Annual Review of Agricultural Engineering 4(2005)1: 21-28.
- McGrath, S.P. & F.J. Zhao, 1996.
Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (Brassica napus). Journal of Agricultural /sciences 126(1996)1: 53-62.
- Meuleman, J. & G.J. Molema, 2004.
Quickscan naar de mogelijkheden van het on-line meten van gewassenmerken voor gewasafhankelijke toediening van gewasbeschermingsmiddelen. Wageningen UR, Agrotechnology & Food Innovations, WUR-A&F Rapport 593. Wageningen. 47 p.
- Meuleman, J., A.G.T. Schut & M.C.J. Smits, 2006.
Measuring the yield gap. Technische mogelijkheden voor verbetering van graslandproductiviteit. Wageningen UR, Plant Research International, WUR-PRI Nota 416. 2006. 36 p.
- Michielsen, J.M.G.P., V.T.J.M. Achten & J.C. van de Zande, 2007.
Gewasmetingen met Greenseeker 2006. Wageningen UR, Plant Research International, WUR-PRI Nota , Wageningen. 2007. (in voorbereiding).
- Molema, G.J., A.T.J. Koster, B.R. Verwijs, L.J. van der Meer & J.C. van de Zande, 2005a.
Potentiële reductie in gewasbeschermingsmiddelgebruik door gewasafhankelijk toedienen; Gladiolen.

Wageningen UR, Agrotechnology & Food Innovations / Praktijkonderzoek Plant en Omgeving – Lisse, WUR-A&F Report 582; vertrouwelijk; december 2005; 37 pp.

Molema, G.J., A.T.J. Koster, B.R. Verwijs, L.J. van der Meer & J.C. van de Zande, 2005b.

Potentiële reductie in gewasbeschermingsmiddelgebruik door gewasafhankelijk toedienen; Lelies. Wageningen UR, Agrotechnology & Food Innovations / Praktijkonderzoek Plant en Omgeving – Lisse, WUR-A&F Report 583; vertrouwelijk; december 2005; 47 pp.

Molema, G.J., A.T.J. Koster, B.R. Verwijs, L.J. van der Meer & J.C. van de Zande, 2005c.

Potentiële reductie in gewasbeschermingsmiddelgebruik door gewasafhankelijk toedienen; Tulpen. Wageningen UR, Agrotechnology & Food Innovations / Praktijkonderzoek Plant en Omgeving – Lisse, WUR-A&F Report 584; vertrouwelijk; december 2005; 47 pp.

Moshou, D., C. Bravo, S. Wahlen, J. West, A. McCartney, J. DeBaerdemaeker & H. Ramon, 2003.

Simultaneous identification of plant stresses and diseases in arable crops based on a proximal sensing system and Self Organising Neural Networks. In: J. Stafford & A. Werner, 2003. Precision Agriculture. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. p. 425-431.

Moshou, D., C. Bravo, J. West, S. Wahlen, A. McCartney & H. Ramon, 2004.

Automatic detection of 'yellow rust' in wheat using reflectance measurements and neural networks. Computers and Electronics in agriculture 44(2004): 173-188.

Moshou, D., C. Bravo, R. Oberti, J. West, L. Bodria, A. McCartney & H. Ramon, 2005.

Plant disease detection based on data fusion of hyper-spectral and multi-spectral fluorescence imaging using Kohonen maps. Real-Time Imaging 11(2005): 75-83.

Moshou, D., C. Bravo, S. Wahlen, J. West, A. McCartney, J. De Baerdemaeker & H. Ramon, 2006.

Simultaneous identification of plant stresses and diseases in arable crops using proximal optical sensing and self-organising maps. Precision Agriculture 7(2006): 149-164.

Nicolas, H., 2005.

Use of remote sensing within the optical and thermal spectral ranges in order to detect *Septoria tritici* on winter wheat. Stafford, J.V.. Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2005. 81-89.

Nordmeyer, 2005.

Site specific weed control and changes of weed seed bank. Proceedings of the ewrs-sswm workshop "Spatial and dynamic weed measurements and innovative weeding technologies. Byholm Denmark, 2005.

Ntech, 2007.

GreenSeeker informatie. Website <http://www.ntechindustries.com>.

Oerke, E.-C., M. Lindenthal, P. Fröhling & U. Steiner, 2005.

Digital infrared thermography for the assessment of leaf pathogens. In: Stafford, J.V.. Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2005. 91-98.

Os, E. van, J. Hemming, J.C. van de Zande & J. Snel, 2007.

Met nieuwe detectietechnieken minder middelen spuiten. Onder Glas (2007)3: 60-61.

Osborne, S.L., J.S. Schepers, D.D. Francis & M.R. Schlemmer, 2002.

Detection of phosphorus and nitrogen deficiencies in corn using spectral radiance measurements. Agronomy Journal 94 (2002): 1215-1221.

- Petterson, C.-G., M. Söderström & H. Eckersten, 2006.
Canopy reflectance, thermal status, and apparent soil electrical conductivity as predictors of within-field variability in grain yield and grain protein of malting barley. *Precision Agriculture* 7(2006): 343-359.
- Polder, G., G.W.A.M. van der Heijden, H. Jalink & J.F.H. Snel, 2007.
Correcting and matching time sequence images of plant leaves using penalized likelihood warping and robust point matching. *Computers and Electronics in Agriculture* 55(2007)1: 1-15.
- Polder, G., G.W.A.M. van der Heijden, C. Waalwijk & I.T. Young, 2005.
Detection of Fusarium in single wheat kernels using spectral imaging. *Seed Science & Technology* 33(2005): 655-668.
- Schans, D. van der, C. Kempenaar & V. Achten, 2005.
Precies doseren bij loofdoding aardappelen. *Landbouwmecanisatie* 57(2006)1: 14-15.
- Schlang, N., U. Steiner, H.-W. Dehne & E.-C. Oerke, 2007.
Spatial distribution of fusarium head blight in wheat fields. Program and Abstracts Book of the 2nd Conference on Precision Crop Protection, Bonn 10-12 October 2007.
- Schut, T., 2003. Imaging spectroscopy for characterization of grass swards. PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands. 2003. 264 p.
- Scotford, I.M. & P.C.H. Miller, 2005.
Vehicle mounted sensors for estimating tiller density and leaf area index (LAI) of winter wheat. In: Stafford, ed. *Precision Agriculture '05*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2005. 201-208.
- Shaver, T.M., D.G. Westphal & R. Khosla, 2007.
Comparison of three hand-held NDVI (normalized difference vegetation indices) remote sensors for nitrogen management in corn. In: Stafford, J.V.. *Precision Agriculture '07*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2007. 373-379.
- Smit, A.L., R.E.E. Jongschaap, G.J. Molema & P. van Velde, 1999.
Potentiële monitoring systemen op het gebied van teeltmaatregelen, ziekten en plagen. Een bureaustudie in het kader van het programma Precisielandbouw. AB-DLO/IMAG-DLO, Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Nota 188, Wageningen. 1999. 62 p.
- Stafford, J.V., 2005.
Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2005. 1005 p.
- Stafford, J.V., 2007.
Precision Agriculture '07. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2005. 873 p.
- Stenzel, I., U. Steiner, H.-W. Dehne & E.-C. Oerke, 2007.
Occurrence of fungal leaf pathogens in sugar beet fields monitored with digital infrared thermography. In: Stafford, J.V.. *Precision Agriculture '07*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2007. 529-535.
- Steward, B.L. & D.S. Humburg, 2000.
Modeling the Raven SCS-700 chemical injection system with carrier control with sprayer simulation. *Transactions of the ASAE* 43(2000)2: 231-245.
- Tartachnyk, I., I. Rademacher & W. Kühbauch, 2006.
Distinguishing nitrogen deficiency and fungal infection of winter wheat by laser-induced fluorescence. *Precision Agriculture* 7(2006): 281-293.

- Tartachnyk, I., I. Rademacher & W. Kühbauch, 2006.
Discrimination between nitrogen deficiency and fungal infection of winter wheat by laser induced fluorescence. In: Stafford, J.V.. Precision Agriculture '05. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2005. 65-72.
- Thomsen, A. & K. Schelde, 2007.
Mobile measurement of canopy development and nitrogen status. In: Stafford, J.V.. Precision Agriculture '07. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 2007. 389-395.
- Vondricka, J., 2007.
Study on a mixing process for a real-time controlled direct nozzle injection system. Program and Abstracts Book of the 2nd Conference on Precision Crop Protection, Bonn 10-12 October 2007.
- Vrindts, E., 2000.
Automatic recognition of weeds with optical techniques as a basis for site specific spraying. Unpublished Ph.D. Thesis. Katholieke Universiteit, Leuven, Belgium, 146 pp.
- Vrindts, E. & J. de Baerdemaeker, 1997.
Optical discrimination of crop, weed and soil for on-line weed detection. In: Proceedings of the 1st European Conference on Precision Agriculture, Warwick, U.K., Vol II, 537-544.
- West, J.S., C. Bravo, R. Oberti, D. LeMaire, D. Moshou & H.A. McCartney, 2004.
The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. Annual Review Phytopathology 41(2003): 593-614.
- Zande, J.C. van de, A.E.G. Tonneijck & D.A. van der Schans, 2004.
De smaak van morgen – Deskstudie robotisering. Wageningen UR, Agrotechnology & Food Innovations, WUR-A&F Rapport 300, Wageningen. 38 p.
- Zande, J.C. van de & V.T.J.M. Achten, 2005.
Precision agriculture in plant protection technique. Annual Review of Agricultural Engineering 4(2005)1: 217-228.
- Zande, J.C. van de, V.T.J.M. Achten, M. Wenneker & B. Heijne, 2006.
Development of crop adapted spray techniques in orchard spraying. In: Doruchowski, G.(ed.). Materiały z VI Konferencji Racjonalna Technika Ochrony Roslin. Skierniewice 4-5 października 2006 r. Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa, Skierniewice, Poland, 2006. 115-127.
- Zande, J.C. van de, M. Wenneker, J. Meuleman & V.T.J.M. Achten, 2007.
Development of a Crop Health Sensor (CHS) to minimise spray applications in Apple. In: N. Bjugstad, P.G. Andersen, M. Jørgensen, S.A. Svensson, D. Servin (ed.), 2007. SuProFruit 2007 9th Workshop on Application Techniques in Fruit Growing, 12-14/9/2007. Book of abstracts, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp. 2007. p. 13,14.
- Zande, J.C. van de, V.T.J.M. Achten, J.M.G.P. Michielsen, M. Wenneker & A.Th.J. Koster, 2008.
Towards more target oriented crop protection. Aspects of Applied Biology 84, International advances in Pesticide Application, 2008. p. 245-252.