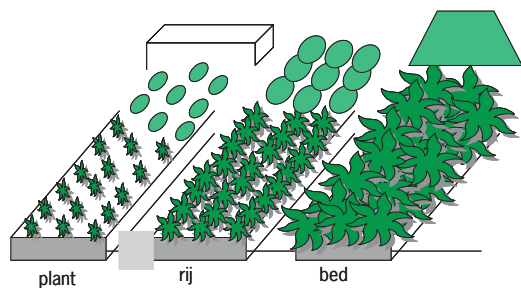


Deskstudie Robotisering De Smaak van Morgen

stelsysteem



innovatie



Deskstudie Robotisering

Deskstudie in het kader van het project De smaak van morgen

LNV-programma's systeeminnovatie open teelten (400-I en 400-III)

J.C. van de Zande (Agrotechnology and Food Innovations BV)

A.E.G. Tonneijck (Plant Research International)

D. van der Schans (Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, sector AGV)

Agrotechnology and Food Innovations BV
Plant Research International BV

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten
Februari 2005

© Agrotechnology & Food Innovations 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, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All right reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.

Dit is een vertrouwelijk document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen Wageningen UR dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.

Dit rapport is gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit vanuit de LNV-programma's 400-I en 400-III.

Projectnummers

PPO: 530175

A&F: 630.51080.01

Agrotechnology & Food Innovations B.V.

P.O. Box 17

6700 AA Wageningen

Tel: 0317 – 475 024

E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl

Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl



The quality management system of Agrotechnology & Food Innovations B.V. is certified by SGS International Certification Services EESV according to ISO 9001:2000.

Abstract

As follow-up of the introduction of integrated farming systems in practice, new farming systems are set up at an experimental farm (Broekemahoeve) to explore the boundary conditions and possibilities of advanced technology in pesticide free cropping systems and minimal pesticide cropping systems. A view is given on the technical perspectives of robotization in crop protection to realize low pesticide input farming systems at the short and long run.

Keywords: robotization, low-input, farming system, pesticide, sensors, weed control, pest control, disease control, plant stress.

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Abstract | 3 |
| Voorwoord | 7 |
| Samenvatting | 9 |
| Summary | 10 |
| 1 Inleiding | 11 |
| 2 Perspectieven robotisering en automatisering in open teelten | 13 |
| 3 Mogelijkheden automatisering en robotisering voor gewasbescherming | 17 |
| 3.1 Directe implementatie | 17 |
| 3.1.1 Beheersing van onkruid | 19 |
| 3.1.2 Beheersing van ziekten | 21 |
| 3.1.3 Beheersing van plagen | 22 |
| 3.2 Korte termijn implementatie | 22 |
| 3.2.1 Beheersing van onkruiden en gewasopslag | 23 |
| 3.2.2 Beheersing van ziekten | 24 |
| 3.2.3 Beheersing van plagen | 25 |
| 3.2.4 Sensoren | 25 |
| 3.3 Lange termijn implementatie | 27 |
| 4 Evaluatie | 31 |
| Referenties | 33 |
| Gebruikte terminologie | 37 |

Voorwoord

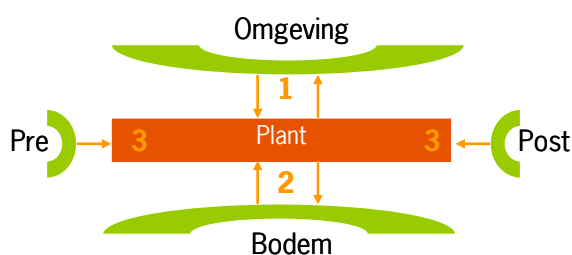
De smaak van morgen is één van de drie innovatieprojecten voor de open teelten in het systeeminnovatieprogramma voor plantaardige productie (LNV 400).

De smaak van morgen zoekt wegen om hardnekkige problemen in de gewasbescherming van de open teelten op te lossen. Hiermee wordt de basis gelegd voor een duurzame landbouw in 2030. Daarom is de landbouw in 2030 het uitgangspunt voor dit innovatieproject: productielandbouw in het landelijke gebied en belevingslandbouw in de stedelijke periferie. Het concept productielandbouw is een voortzetting van de huidige praktijk, gericht op de wereldmarkt, grote schaal en lange ketens. Productielandbouw brengt basisproducten voort voor de levensmiddelenindustrie, grondstoffen voor de verwerkende industrie en uitgangsmateriaal voor de landbouw. Het concept belevingslandbouw sluit aan bij behoeften van bewoners in urbane gebieden: verse producten, rust, ruimte en recreatie. Belevingslandbouw brengt beleving van productie, product en omgeving. Beide concepten leiden tot verschillende typen bedrijfssystemen en innovatievragen.

De innovaties krijgen vorm in nauwe samenwerking met belanghebbenden en maatschappelijke actoren.

De smaak van morgen wordt uitgevoerd op de PPO-proeflocaties prof. Broekemahoeve in Lelystad en PPO Randwijk. Op de locatie in Lelystad staan akkerbouw, groenteteelt en siergewassen centraal. Randwijk richt zich op innovatie van fruitgewassen. Op beide locaties worden bedrijfssystemen ontwikkeld die emissie- en residuloos zijn, die leiden tot marktconforme productie (voedsel veiligheid en kwaliteit), die voorzien in maatschappelijke behoeften (gezondheid, recreatie en educatie) en kunnen rekenen op een breed draagvlak. Het project sluit aan op de beleidsnotitie Duurzame gewasbescherming (beleid voor gewasbescherming tot 2010), die inzet op een sterke vermindering van het gebruik van - en milieubelasting door pesticiden.

De smaak van morgen richt zich voor de geïntegreerde bedrijfssystemen op het 'overbodig' maken van de meeste gewasbeschermingsmiddelen en voor de biologische teelt op het oplossen van hardnekkige knelpunten die de kwaliteitsproductie nadelig beïnvloeden. Voor deze uitdagingen worden nieuwe wegen gezocht. De innovatiekansen liggen op het gebied van management van omgeving, bodem en productieketen (zie figuur).



Innovatiekansen

1. Management van omgeving

- Diversificatie van gewassen
- Functionele agrobiodiversiteit
- Gewasbescherming (van biologisch tot chemisch)
- Robotisering & precisie-toepassingen
- Veranderen maatschappelijke wensen...

2. Management van bodem

- Vruchtwisseling in ruimte en tijd
- Beheer van fysische, chemische en biologische bodemcomponenten

3. Management van productketen

- Pre-plant behandeling
- Post-harvest behandeling

Op basis van deze innovatiekansen zijn de volgende thema's onderscheiden ter nadere verdieping: Functionele agrobiodiversiteit; Bodemmanagement; Robotisering & automatisering Post harvest behandeling en Maatschappelijke kaders

De eerste vier thema's zijn oplossingsgericht. De laatste scheidt het kader waarbinnen de oplossingen gezocht kunnen worden. In onderstaande tabel is de opdracht voor deze studies nader geformuleerd.

| Thema | Doel |
|--------------------------------|---|
| Functionele agrobiodiversiteit | Ontwerp voor bovengrondse inrichting systemen ten bate van maximale onderdrukking modelplagen |
| Bodemmanagement | Ontwerp voor optimaal bodembeheer ten bate van maximale onderdrukking modelplagen |
| Robotisering & automatisering | Welke bijdragen kan robotisering leveren aan beheer van belagers (met speciale aandacht voor onkruiden) |
| Post harvest | Op welke wijze kan Post harvest behandeling bijdragen aan het behoud van productkwaliteit na oogst |
| Maatschappelijke kaders | 1. Welke voorwaarden stelt de toekomstige consument aan zijn voeding t.a.v. pesticiden (vers en inhoudsstoffen) 2. Welke ruimte is er voor het concept van belevingslandbouw |

Het verdiepingsonderzoek, de deskstudies, is in 2004 uitgevoerd voorafgaande aan de start van het experimentele onderzoek op de proeflocaties. Uitgangspunt bij deze deskstudies is dat de meest actuele kennis en inzichten bijeengebracht worden om tot een optimale start van het experimenteel onderzoek te kunnen komen. De oplossingen voor de korte- en de lange termijn zijn in kaart gebracht. Daarbij is ook een inschatting gegeven van de mate waarin iedere oplossing bijdraagt aan de realisatie van de doelstellingen van De smaak van morgen. Bovendien wordt aangegeven welke ingrepen nodig zijn en welke neveneffecten worden voorzien.

In de deskstudies staat het vastleggen en benutten van de oplossingen en kansen centraal. Het is de grondslag en de uitdaging van het project. Een verdere verdieping zou in samenspraak met belendende onderzoeksprogramma's, gedurende de projectperiode van De smaak van morgen (2004-2009) gerealiseerd kunnen worden.

Dit rapport doet verslag van de deskstudie Robotisering dat uitgevoerd is door J.C. van de Zande (A&F BV), A.E.G. Tonneijck (PRI) en D. van der Schans van PPO AGV. De rapportages van de overige desk studies zijn verkrijgbaar PPO AGV in Lelystad.

Maart 2005,

Jan-Eelco Jansma

Projectleider De smaak van morgen

(Meer informatie over De smaak van morgen op: www.syscope.nl)

Samenvatting

Het uitgangspunt van De smaak van morgen is het realiseren van een pesticidenarme landbouw. Op de PPO Broekemahoeve worden hiertoe vier systemen aangelegd. Robotisering is een van de thema's die belangrijk worden geacht, voor het realiseren van een pesticidenarme landbouw. In deze rapportage zijn de meest actuele kennis en inzichten over dit thema bijeengebracht. Ingeschat zijn de technische mogelijkheden van robotisering voor de korte en langere termijn, met name gericht op de inrichting van de Broekemahoeve. Niet is gekeken naar het belang van andere randvoorwaarden als economisch perspectief, milieuregelgeving en de wensen van de consument.

Binnen robotisering worden de volgende deelgebieden onderscheiden: precisieplaatsbepaling en –navigatie, sensing (waarneming), actuatie (de feitelijke handeling die moet worden verricht), automatisering (incl. autolocomotie), en de integratie van twee of meer componenten. In elk van deze deelgebieden zijn ontwikkelingen gaande die op zichzelf of in combinatie met ontwikkelingen op andere deelgebieden leiden tot landbouwsystemen met een verminderd gebruik van pesticiden.

De belangrijkste resultaten van deze studie zijn vermeld in onderstaande tabel. De resultaten zijn uitgesplitst naar tijdpad, algemene ontwikkelingen en de verwachte acties voor de Broekemahoeve.

| Tijdpad (jaar) | Algemeen | Verwachte actie |
|----------------|--|--|
| 0-2 | Introductie gebruik cm-precisie; Opstarten met gebruik veldrobot | Opzetten bedrijf met RTK-DGPS Introductie data management systeem AutoMaatje |
| 2-5 | Introductie gewasherkenning (soort en structuur) | Gebruik sensoren |
| >5 | Introductie van de herkenning van ziekten plagen en stress, en koppeling met precisie toediening | Aanpassing werktuigen |

Ontwikkelingen spelen zich met name af binnen de onkruidbestrijding en worden gevolgd door die in ziekten en plagen. In eerste instantie zal de introductie van robotisering dan ook gericht zijn op de onkruidbestrijding. Binnen nu en twee jaar wordt de introductie van precisiebesturing verwacht. Een eerste vorm van een wiedrobot kan geïntroduceerd worden.

Binnen twee tot vijf jaar komen verschillende typen sensoren beschikbaar voor het meten van gewasparameters. Gewasafhankelijke gewasbescherming kan dan geïntroduceerd worden naast bemesting. Canopy Density Spraying is zo'n eerste stap. Vervolgens kan verfijnd worden naar plaats- en tijdsspecifiek handelen indien goede datamanagementsystemen worden ontwikkeld.

Naar verwachting zal robotisering voor beheersing van bepaalde ziekten- (Phytophthora, bladvlekken) en plagen (luizen) en waarneming van plantstress tussen vijf en tien jaar ingezet worden.

Summary

The objective of the project De smaak van morgen (Taste of tomorrow) is to realize low pesticide input agriculture. At the experimental farm Broekemahoeve, therefore four farming systems will be realized. Robotization is one of the themes thought to be important for the realization of low pesticide input agriculture. In this report, state-of-the-art knowledge and views on this theme have been presented. The perspectives for implementation of robotization at the Broekemahoeve on the short (< 5 years) and long (> 5 years) term have been described. No attention has been paid to economic perspectives, environmental regulation and consumer preferences.

Robotization can be subdivided into the following areas: precision positioning and precision navigation, sensing, actuation, automatization (including auto locomotion), and the integration of components. Developments are taking place in each area that might contribute, alone or in combination with developments in other areas, to a reduced use of pesticides.

The most important results with respect to time from now that certain automation tools can be implemented, general developments and expected actions at the Broekemahoeve are presented in the following table.

| Time (year) | Development | Action |
|-------------|---|--|
| 0-2 | Introduction of the use of cm-precision Start-up of the use of field robots | Set-up of RTK-dGPS Autonomous vehicles Introduction of GIS + data management systems |
| 2-5 | Introduction of crop recognition, type and construction | Use of sensors |
| > 5 | Introduction of recognition of diseases, pests, stress; link to precision application | Adapt implements |

Developments are within weed control mainly and to a lesser extent in pest and disease control. At first instance the introduction of robotization will be focussed on weed control. Within two years, the introduction of precision navigation is to be expected and a weed robot might be introduced.

Within a time frame of two to five years, sensors will become available to measure specific crop parameters. Crop-adapted crop protection will be introduced next to precision fertilization. Canopy Density Spraying is such a development. Further refinements will take place to be able to perform site- and time-specific actions when proper data management systems have been implemented. Within a time frame of five to ten years, robotization can likely be introduced to control diseases (late blight, leaf spot) and pests (lice) and to sense plant stress.

1 Inleiding

Het uitgangspunt van De smaak van morgen is het realiseren van een pesticidenarme landbouw in hetzij stedelijke hetzij landelijke context.

In deze rapportage zijn de meest actuele kennis en inzichten bijeengebracht voor het thema robotisering (zie voorwoord). Voorziene oplossingen voor de korte en de lange termijn worden in kaart gebracht, onderscheiden naar de toepassingsvelden onkruid-, schimmel- en insectenbestrijding. Er is gekeken naar mogelijke robottoepassingen in het gehele productietraject, van uitgangsmateriaal tot en met de na-oogstfase.

De mogelijkheden voor automatisering en robotisering in de gewasbescherming hangen nauw samen met de overige technische ontwikkelingen in de open teelten. In Hoofdstuk 2 wordt vanuit de huidige stand van zaken het perspectief geschetst van automatisering en robotisering in de open teelten. In Hoofdstuk 3 wordt specifiek ingegaan op de automatisering en de robotisering binnen de gewasbescherming. Een inventarisatie is gemaakt van literatuur, documenten en meningen die een toekomstgerichte beschrijving geven voor Nederland. In de verwerking en presentatie van de verkregen informatie is er een onderscheid gemaakt tussen de toepassingsvelden onkruid-, schimmel- en insectenbestrijding en de periode van mogelijke implementatie:

- direct implementeerbare toepassingen;
- op de korte termijn te implementeren toepassingen (5-10 jaar) welke nu bijna gerealiseerd zijn in bijvoorbeeld onderzoek of in gedachten zijn bij het bedrijfsleven;
- op de langere termijn te implementeren toepassingen (10-30 jaar), wat nu nog ideeën of mogelijke en wenselijke ontwikkelingen zijn.

Onder robotisering wordt in deze studie verstaan: automatisering van iedere actie in het veld. Robotisering kan ingrijpen in elk van de volgende deelgebieden:

- precisieplaatsbepaling en -navigatie
- sensing, waarnemen
- actuatie, de handeling die moet worden verricht
- automatisering (incl. autolocomotie)
- integratie van twee of meer componenten.

2 Perspectieven robotisering en automatisering in open teelten

Plaatsbepalingstechnieken met behulp van satelliet signalen (GPS) maken het mogelijk perceelsinformatie gedetailleerd vast te leggen en pleksgewijs teeltmaatregelen te nemen. De standaard GPS heeft een nauwkeurigheid van enkele meters. Door gebruik te maken van referentiestationen kan een nauwkeurigheid van 10 cm bereikt worden. RTK (real time kinematic) DGPS maakt gebruik van een dichtbij gelegen station en maakt plaatsbepaling met een nauwkeurigheid tot 1-2 cm mogelijk. Toepassingen van GPS liggen nu nog vooral op het gebied van kunstmeststrooien, grondmonsters nemen, yield mapping en tractor + werktuignavigatie. Zonder de rijpaden uit te hoeven zetten kunnen tractor en werktuig recht rijden, parallel rijden en volgens een vast sporenpatroon rijden. Daarnaast worden gedetailleerde kaarten gemaakt van bodemvariabelen en gewasopbrengsten.

De ontwikkeling van sensortechnieken voor ziekten, plagen, onkruiden en stress door bijvoorbeeld nutriënten- of vochtgebrek zal het de komende 10 – 20 jaar mogelijk maken beperkende factoren op te sporen en pleksgewijs beperkingen weg te nemen. Naast het vaststellen van variaties in gewasopbrengsten wordt ook de variatie in productkwaliteit bepaald. Plaatsspecifieke informatie van binnen het perceel wordt in databases opgeslagen (GIS=Geografische Informatie Systemen) en combinaties van variabelen worden gebruikt om een plaatsspecifiek advies te geven.

Een gevolg van de intrede van GPS technieken en GIS software is de ontwikkeling van geavanceerde toepassingen van sensing technologie.

Management van teeltsystemen, bedrijfssystemen en het registreren van teeltmaatregelen maken het productieproces transparant en vergemakkelijken controle t.b.v. certificering, subsidies en wettelijke bepalingen. Dit zal de landbouwpraktijk de komende 30 jaar ingrijpend veranderen. Precisie management van agrarische productiesystemen is een manier om inputs efficiënter aan te wenden, opbrengsten te verhogen en de productkwaliteit te verbeteren. Ook levert het een bijdrage aan het reduceren van de milieubelasting. Concrete ontwikkelingen zijn er op het gebied van de detectie van plantstress. Dit betreft het ontwerp van nieuwe en betere sensoren, verbeterde detectie van stress, ook onder omstandigheden buiten, en de ontwikkeling van informatiesystemen die op basis van de waarnemingen tot actie kunnen overgaan. De verwachting is dat deze technieken de komende jaren beschikbaar komen voor toepassing in de open teelten.

Onderscheiden naar de verschillende onderdelen van robotisering is binnen de onkruidbestrijding de stand van zaken als volgt:

1. Precisienavigatie maakt dat een groter bodemoppervlak mechanisch kan worden bewerkt, dus het niet bewerkte oppervlak in de rij wordt verder teruggedrongen (voorbeeld in de praktijk gebruikte gewasgeleide schoffels). Door koppeling aan precisiebepaling (DGPS/RTK) in het

rijpadenproject (WUR co-innovatieproject met enkele biologische boeren) kunnen mogelijkheden hiertoe nog verder worden uitgebreid (in onderzoek).

2. Ten aanzien van sensing wordt gewerkt aan twee vormen van waarnemingen: gebaseerd op gewasstructuur en op basis van fotosynthese. Er is reeds veel ervaring in detectie van levend plantaardig materiaal zonder onderscheid tussen gewas en onkruid. Dit type sensing werkt uitstekend gekoppeld aan precisiebespuiting (patch-spraying) bij het bestrijden van onkruid in braak (bijvoorbeeld in Australie) en op verhardingen (Nederland). Technieken voor sensing met onderscheid tussen gewas en onkruid zijn beschikbaar op basis van hoogteverschil tussen gewas en onkruid (Sarl Radis schoffel), regelmaat in afstand tussen gewasplanten (intrarijwieder Inventicon) en op basis van bladvorm (in onderzoek Danish Institute of Agricultural Sciences). Sensing van fotosynthese gerelateerde processen bestaat reeds waardoor in een vroeg stadium voorspellingen gedaan kunnen worden over bestrijdingseffectiviteit van bepaalde groepen herbiciden. Dit type sensing wordt gebruikt in het DSS Minimum Letale Herbicide-dosering (MLHD) om het risico van onvoldoende onkruidbestrijding bij verlaging van doseringen sterk in te perken.
3. Momenteel is in onderzoek welk nieuw type actuator er nodig is om naar aanleiding van precisiebepaling of sensing gericht een onkruidplant te bestrijden. Duidelijk is dat het type actuator aangepast zal moeten worden in een ontwikkeling naar een robot (m.a.w. gangbare type schoffel is niet te gebruiken). Goede en langdurige werking van een dergelijke actuator is mogelijk een knelpunt in de ontwikkeling naar een robot (vergelijk werking van de actuator in de Inventicon-schoffel). Slijtage blijkt een probleem.
4. Er zijn momenteel nog geen pilots waar autolocomotie werkelijk gebruikt wordt in onkruidbeheersing. Met de fabrikant van het AutoMaatje zijn de perspectieven hiertoe besproken. Er werden nog te veel praktische bezwaren gezien, bijvoorbeeld inzake aansprakelijkheidsaspecten.
5. Integratie van componenten vindt nog niet plaats en is een aandachtspunt voor toekomstig onderzoek.

Het tempo waarmee de ontwikkeling van geautomatiseerde systemen en robotisering zal plaatsvinden is afhankelijk van hoe snel rendabele toepassingen voor onderstaande technieken gevonden worden:

- Systemen voor plaatsbepaling gekoppeld aan tractoren en werktuigen.
- Aan GPS gekoppelde systemen en sensoren om variaties in:
 - Gewas opbrengst en kwaliteit te bepalen
 - Bodemtoestand. Structuur textuur en vruchtbaarheid.
 - Ziekten, plagen in bodem en gewassen op te sporen
- Geografische informatie systemen om de variabelen vast te leggen en grafisch weer te geven
- Systemen om data te interpreteren en de teler te adviseren op basis van gedetailleerde informatie

- Nauwkeurig aansturen van tractoren en machines om de gedifferentieerde teeltmaatregelen uit te voeren.

In haar algemeenheid is robotisering in relatie tot bestrijding van ziekten en plagen in het veld, in tegenstelling tot de onkruidbestrijding geen key issue in de wetenschappelijke wereld. Door onder andere de hoge arbeidsbehoefte en het hoge gebruik van herbiciden kwam de prioriteit voor robotisering in met name de mechanische onkruidbestrijding. Robotisering van de onkruidbestrijding in open teelten kan waarschijnlijk eerder winstgevend worden indien ook bepaalde activiteiten rond bestrijding van ziekten en plagen worden geautomatiseerd. Dit betreft vooral de uitvoering van eenvoudige en terugkerende handelingen waarvoor nu menskracht wordt ingezet. Binnen de systeeminnovatieprogramma's wordt gezocht naar introductie van meerdere toepassingen van automatisering en robotisering gelijktijdig, zodat deze introductie sneller kan plaatsvinden.

3 Mogelijkheden automatisering en robotisering voor gewasbescherming

3.1 Directe implementatie

Binnen het Kennis op de Akker (KODA) project wordt een verkennende studie verricht naar de bestaande kennis en mogelijkheden die de bedrijfsvoering van het akkerbouwbedrijf kunnen ondersteunen (Achten et al., 2004). Het bedrijfsproces wordt ingedeeld in de volgende groepen:

1. planning; hier worden tools geplaatst waarmee doelen gesteld kunnen worden en plannen geformuleerd kunnen worden om deze doelen te bereiken;
2. uitvoering; dit behelst een groep van tools die gebruikt kunnen worden bij het uitvoeren van activiteiten om de in de planning gestelde doelen te bereiken;
3. monitoring; om de beoogde doelen te kunnen bereiken moet worden gecontroleerd of de uitgevoerde activiteiten voldoende zijn om de doelen te bereiken. Het doel van tools in deze groep is om objectief prestaties te monitoren;
4. analyse; hierin wordt in feite de monitoring met de uitvoering vergeleken. Tools die in staat zijn om de resultaten van monitoring te interpreteren en dit te vertalen naar kengetallen. Het resultaat van de analyse leidt veelal tot een (aangepaste) planning;
5. data opslag; bij elk van de stappen vindt data uitwisseling plaats; deze groep omvat tools die ervoor zorgen dat de informatie op een gestructureerde wijze opgeslagen wordt;
6. informatie uitwisseling; vanuit de data opslag is gegevensverkeer noodzakelijk met de omgeving (keten, overheid, etc.). Tools die de uitwisseling van informatie vergemakkelijken vallen onder deze categorie.

Met deze indeling is de bestaande kennis naar bovengenoemde groepen van activiteiten ingedeeld (Achten *et al.*, 2004). Voor de verschillende gebieden van de gewasbescherming is de informatie overgenomen in tabel 1.

Tabel 1. Overzicht beschikbare tools voor de bedrijfsproces-activiteitengroepen planning, uitvoering, monitoring en analyse voor de gewasbescherming (naar Achten *et al.*, 2004)

| Activiteitengroep | Deelgebied | Tool *) | Niveau |
|--|--------------------------------------|--|--------|
| Planning Gewasbescherming | Dosis/tijdstip | Epipre, Gabi, Tripsvoorspeller in prei, ruimtelijke modellering infectiebronnen van plagen, aaltjes module NemaMod, Phytophthora module, Dacom, Opticrop modules, Botrytus/aardbei BOS, DigiAal, DONCast, MHLD | Teelt |
| | Plaats specifieke onkruidbestrijding | Sensor gebaseerde onkruidbestrijding: Unkrautsensor Bornim, Bonn/Kverneland, Potsdam | Teelt |
| | Drift | IMAG Drift Calculator, Idedics | Teelt |
| | Plaats specifieke bespuiting | FieldStar Patch Spraying, Vicon ProFaS, CDS | Teelt |
| Uitvoering (mechanische) Onkruidbestrijding | Optische gewasrijherkenning | Camerasystemen: EcoDAN, Garford RoboCrop | Teelt |
| | Mechanische onkruidherkenning | gewasgeleide schoffels, Mutsears QI-systeem | Teelt |
| | Onkruidverwijdering in de rij | Querhacker, intrarijwieder | Teelt |
| | Vastleggen positie zaden | Royal Danish Veterinary and Agricultural University | Teelt |
| Uitvoering (chemische) Gewasbescherming | Windafhankelijk spuiten | VarioWindSelect | Teelt |
| | Plaatsspecifiek spuiten | Patch Spraying | Teelt |
| | Gewas-dichtheid afhankelijk spuiten | PreciSpray (A&F) | Teelt |
| | Onkruidspecifiek spuiten | Universiteit Bonn, MLHD | Teelt |
| Monitoring Onkruid | Effect herbicide | MLHD | Teelt |
| Monitoring Ziekten/plagen | Dichtheid aaltjes | Sample IV | Teelt |
| | Herkenning ziekten/plagen | Expertsysteem Ziek en Zeer | Teelt |
| Analyse Ziekten | Bespuiting | OptiCrop, Dacom, PreciSpray | Teelt |

*) beschikbaarheid, wil niet zeggen noodzakelijk gebruikt

Achten *et al.* (2004) concluderen dat er op het gebied van de uitvoering een grote hoeveelheid tools geïdentificeerd is. De tools bestaan veelal uit (computer)systemen die taken voor de uitvoerder vergemakkelijken (recht rijden, kopakkermanagement) of optimaliseren (plaats specifieke bewerkingen). De meeste tools zijn gericht op één enkele applicatie (recht rijden, bemesting etc.). Er zijn weliswaar systemen die meerdere taken kunnen vervullen (bijvoorbeeld multi-purpose boordcomputers van tractoren), maar de uitbreidbaarheid en standaardisatie van systemen is door de slechte uitwisselbaarheid nog vaak problematisch. Op internationaal niveau (ISO) vindt standaardisatie (ISO11783) plaats van datacommunicatie tussen onder meer trekkers en werktuigen en de data uitwisseling met management systemen. Achten *et al.* (2004) concluderen ook dat tools voor het meten en detecteren van ziekten en plagen interessant zijn voor kwaliteitsbewaking en –beheersing, maar dat deze nog niet of nauwelijks beschikbaar zijn.

Medema (2004) beschrijft diverse projecten (Wieringermeer Precies, Ruimbaan, Precisietechnologie in Zeeland, Spinof in Friesland) die op dit moment lopen waarin elementen van beginnende robotisering ingevoerd worden. Onderwerpen die nu in de praktijk ingevoerd worden zijn: rechtgeleiding, precisie besturing en toediening, automatisch sturen, parallel tracking en AutoMaatje.

3.1.1 Beheersing van onkruid

In de biologische teelt vraagt de (niet-chemische) onkruidbestrijding nog steeds veel arbeid, ondanks dat geavanceerde onkruidbestrijdingssystemen al veel handwerk vervangen hebben. Tussen de rijen is mechanische onkruidbestrijding bedrijfszeker. In de rij is er nog steeds een probleem. Doordat bemande geavanceerde systemen doorgaans een lage werksnelheid hebben ontstaat er een tendens naar de ontwikkeling van goedwerkende autonome voertuigen (robots) om met name in de rij het onkruid te bestrijden (Bakker, 2003). Ondanks de hoge kosten en lage capaciteit kan deze ontwikkeling naar verwachting rendabel zijn, doordat in principe dag en nacht gewerkt kan worden. De ontwikkeling naar autonome voertuigen kent nu reeds enkele stadia die in de praktijk geïmplementeerd worden. Rechtgeleiding, automatische besturing, het gebruik van plaatsbepaling en satellietnavigatie worden steeds meer op bestaande trekkers en werktuigen gebruikt maar lopen nog tegen praktische problemen op (Zevenbergen, 2003). Het voordeel van deze technieken is dat met bestaande mechanisatie preciezer, langer en sneller gewerkt kan worden.

Gerhards & Christensen (2003) constateren dat de technologie voor plaats specifieke onkruidbestrijding ontwikkeld is en getest onder veldomstandigheden. De introductie van deze techniek in de praktijk heeft nog niet plaats gevonden. Onkruidmonitoringsystemen zijn een kritische component in het gebruik van de ideeën en kennis ontwikkeld in onderzoeksprojecten op het gebied van plaats specifieke onkruidbestrijding. De nieuwe systemen moeten nog verder ontwikkeld worden. Het gebruik van deze techniek houdt sterk verband met de beschikbare kennis over de verspreiding van onkruiden in het perceel. Ook het onderzoek naar pleksgewijs en soortenspecifiek voorkomen van onkruid afhankelijk van gewassituatie, grondsoort, bestrijdingstechniek en teeltmanagement zal het begrip over onkruidbeheer verbeteren zodat de onkruidbestrijding nog effectiever pleksgewijs uitgevoerd kan worden. Gerhards & Christensen (2003) geven ook aan dat opbrengstkaarting, bodemkaarten, onkruidverspreidingskaarten op perceelsniveau b.v. via Geografische Informatie Systemen (GIS) gecombineerd en geanalyseerd kunnen worden om de betrouwbaarheid van Decision Support Systemen (DSS) voor de onkruidbestrijding te verbeteren. Gerhards & Christensen (2003) geven aan dat de ontwikkeling van injectiesystemen voor het toedienen van verschillende soorten herbiciden noodzakelijk is om tot een goed realtime onkruidbestrijdingssysteem te komen. Injectie vlak voor de verdeelunit (spuitdop) is wenselijk in plaats van boven in de spuitleiding, zoals nu vooral gebeurd (MSR Agroinject, Dosatron, Öko-Lok, Biotronic, MidTech, Dos-Intro; Audenaert, 2001).

Voor onkruidherkenning wordt aan verschillende detectiesystemen gewerkt. Beeldverwerking is er één van. Onkruidherkenning op basis van beeldverwerking heeft als limiterende factor dat alleen de zichtbare onkruiden kunnen worden herkend. Na herkenning kan bijvoorbeeld met herbiciden gericht worden gespoten. Met de MLHD (minimum lethal herbicide dosage)-methode kan efficiënt onkruid worden bestreden. De MLHD methode heeft ook zijn beperkingen. Inzet is voornamelijk alleen mogelijk bij toepassing van herbiciden die ingrijpen op de fotosynthese (Booij *et al.*, 2004; Medema, 2003). Voor de herkenning van onkruid in het veld zijn op dit moment alleen systemen in de handel die het onderscheid tussen levende, groene planten en dode materialen kunnen maken en niet tussen verschillende plantensoorten (Westphal and Göhlich, 1998; Biller, 1998; Hemming, 2000). Veelal worden deze systemen opgebouwd op een landbouwspruit. Een aantal commerciële detectiesystemen zijn (bijlage 1): Detectspray, Select Spray, WeedSeeker, Spray vision en Weed It (Vermeulen & Hemming, 2000).

Implementatie van navigatiesystemen voor tractor en werktuig met een nauwkeurigheid van 1-2 centimeter is mogelijk (Zevenbergen, 2003; Anoniem, 2004c). Met een dergelijk systeem wordt tijdens de teelt op vaste rijpaden gereden zodat de bodem niet door tractorbanden wordt verdicht. De onkruiddruk blijkt aanzienlijk lager te zijn (Groeneveld & Vermeulen, 2003) en het systeem voorkomt structuurbederf, levert hogere opbrengsten en meer werkbare dagen (kleigronden) op. Op korte en middenlange termijn wordt ook veel verwacht van verbeterde automatisering, als tussenstap op weg naar volledige robotisering (Wynia, 2004). Naast het wetenschappelijk onderzoek naar robots die exacter werken dan de huidige machines of de handmatige werkzaamheden overbodig maken, dient er volgens de praktijk aandacht te zijn voor het toevoegen van intelligentie aan mechanische oplossingen die nu al goed werken, zoals het toevoegen van sensoren aan de vingervieder. Dergelijke hulpmiddelen zijn direct bruikbaar in de praktijk en kunnen stapsgewijs verder worden verbeterd (Wynia, 2004).

De ontwikkeling van een zelfrijdend met behulp van GPS gestuurd (onbemand) voertuig (Zuydam & Achten, 2002) heeft geleid tot een kleine werktuigendrager, die kan worden ingezet voor onder andere bollenkopen en mechanische onkruidbestrijding. Met een dergelijk autonoom voertuig kunnen andere toepassingen op korte termijn worden ontwikkeld (Griepentrog *et al.*, 2003, Griepentrog & Søgaard 2003). Als het AutoMaatje wordt uitgerust met sensoren en bemonsteringsapparatuur, kunnen pleksgewijs bemonsteringen worden uitgevoerd, (wortel)onkruiden worden bestreden en kan eventueel pleksgewijs worden bespoten en bemest. De eerste gewassensensoren worden nu al op bescheiden schaal toegepast en gebruikt om gedifferentieerd te bemesten, bijv. Hydro N sensor in granen. Ook worden bodemkaarten en opbrengstkaarten gebruikt om een gedetailleerd bemestingsadvies te geven en strooikaarten te genereren. Aan GPS gekoppelde strooiers verspreiden de meststoffen volgens het bemestingsadvies.

3.1.2 Beheersing van ziekten

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. 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 capaciteit 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; hier wordt echter op diverse fronten aan gewerkt. De sensoren, waaronder de Cropscan (meet gewasreflectie in bepaalde golf lengtes) zijn mogelijk ook inzetbaar bij de herkenning van ziekten en plagen (Booij et al., 2004; Meuleman & Molema, 2004).

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 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 pilotstudies in het veld. In tabel 2 staan 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 2. 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

plantenziekte-gewas 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 aan een gerichte bestrijdingsactie en vormen daarmee een essentieel onderdeel van eventuele robotisering op dit terrein.

3.1.3 Beheersing van plagen

Wat voor ziektenbestrijding geldt, geldt *mutatis mutandis* ook voor plaagbestrijding. Er wordt op dit moment geen gerichte sensortechnologie ontwikkeld om aantastingen in het gewas waar te nemen. Beslissingsondersteunende systemen zijn voor de praktijk ontwikkeld zoals de tripsvoorspeller in prei en NemaMod. Deze systemen zijn meestal gebaseerd op waarneming en modellering van de plaag. Bij plaagbestrijding zijn acties met name gericht op bestrijding van het veroorzakende insect. Plaagbestrijding verschilt op onderdelen van ziektebestrijding. Bij deze laatste staat vooral de waarneming van de infectie centraal en deze waarneming is perceelsgebonden. Plaaginsecten kunnen zich op grote schaal verspreiden en de schaal waarop gegevens worden verzameld over het voorkomen van plaaginsecten, kan dus een andere zijn dan de schaal waarop acties van bestrijding worden ondernomen. In principe kan robotisering een rol spelen bij de monsternamen en de verwerking van aantallen en soorten insecten, en bij de (plaatsspecifieke) bestrijding voorzover deze acties geautomatiseerd kunnen worden. Eventuele robotisering van plaagbestrijding zal rekening moeten houden met schaalaspecten.

3.2 Korte termijn implementatie

Joergensen et al. (2003) voorzien voor de nabije toekomst dat een combinatie van kleine robots en grote machines gezamenlijk het veld respectievelijk scouten en bewerken. Hierdoor ontstaat een optimalisatie van de juiste actie op het juiste moment en de juiste plek. Naast de technologische ontwikkeling voor in het veld wordt de informatievoorziening voor de boer dan steeds kritischer. Met name sensorontwikkeling gaat dan belangrijk worden, alsook de beschikbaarheid van beslissingsondersteunende toepassingen voor het managementsysteem. Booij *et al* (2004) geven aan dat op korte termijn de behoefte bestaat om zogenaamde "routine werkzaamheden" geautomatiseerd te kunnen uitvoeren. Voorlopers hiervan zijn de rechtgeleiding op werktuigen en de stuurhulp op tractoren. De grove bijsturing vindt veelal plaats op het voertuig, de fijnbesturing (side-shift) op het werktuig. Met deze technologie kan al op ca. 1.5 cm nauwkeurig worden bestuurd wat vooral perspectief biedt voor de mechanische onkruidbestrijding.

Wiedrobots

Voor de onkruidbestrijding is de ontwikkeling van een robot al in een vergevorderd stadium (Hague & Tillett, 1996; Madsen & Jacobsen, 2001; Blackmoore et al., 2002; Lokhorst et al, 2003).

Zuydam & Achten (2002) beschrijven het AutoMaatje, een 4 wielige werktuigdrager die autonoom door het veld kan rijden op basis van RTK-DGPS plaatsbepaling. Centimeter precisie schoffelen in uien werd gedemonstreerd. De machine is commercieel beschikbaar. Het AutoMaatje kan fungeren als werktuigdrager. Dit autonome voertuig kan een van tevoren bepaalde route in het veld afleggen. Deze handeling kan met grote nauwkeurigheid gereproduceerd worden. In de toekomst kan een dergelijk voertuig multifunctioneel worden ingezet. Deze ontwikkeling heeft verschillende voordelen t.o.v. de inzet van door mensen bestuurde voertuigen (Booij *et al.*, 2004). Enkele hiervan zijn:

- arbeidsverlichting;
- arbeidsreductie;
- continu proces;
- hoge nauwkeurigheid;
- route goed reproduceerbaar.

Hieraan kunnen nog toegevoegd worden:

- verminderd volume inzet middelen;
- optimale inzet van middelen.

Booij *et al.* (2004) maken hierbij de kanttekening dat nog niet goed kan worden overzien in hoeverre menselijke controle, m.n. in relatie tot veiligheid, hierbij een rol blijft spelen. Voorlopig vereisen deze systemen toezicht. Verder kan geconstateerd worden dat nagenoeg alle trekkerfabrikanten bezig zijn met de ontwikkeling van autonome trekkers, of het verder verzelfstandigen van functies op de trekkers.

3.2.1 *Beheersing van onkruiden en gewasopslag*

Aardappelopslag zorgt er als waardplant voor dat er een constante druk is van *Phytophthora infestans*. Bij onvoldoende bestrijding van aardappelopslag treden grote verliezen in de aardappelproductie op. In het project 'Plaatsspecifiek verwijderen van aardappelopslag' ontwikkelen ATF + A&F een systeem dat individuele opslagplanten kan detecteren door gebruik te maken van geavanceerde optische- en sensortechnieken. Vervolgens kunnen de opslagplanten precies en effectief geëlimineerd worden door een geoptimaliseerde bestrijdingstechniek. Door de bestrijding van opslagplanten zal door de lagere infectiedruk naar verwachting het gebruik van fungiciden ook af kunnen nemen.

Ontwikkeling van autonome voertuigen voor onkruidbestrijding (Bakker, 2003; Joergensen *et al.*, 2003; Griepentrog, & Søgaard, 2003) zijn in gang gezet. Gekoppeld aan de specifieke problematiek van de onkruidbeheersing in de gewasrij wordt gezocht naar nieuwe technieken, intrarijwieders en trajecten voor de introductie van reeds bestaande technieken in de praktijk (Vermeulen *et al.*, 2004).

3.2.2 *Beheersing van ziekten*

Mogelijkheden op korte termijn liggen bij de beheersing van ziekten op het gebied van de sanitatie, de verwijdering van (mogelijke) bronnen van besmetting:

1. Verwijdering van afgevallen blad en gewasresten als bron van ziekten. Imaging technieken zijn beschikbaar om plant- en bladmateriaal te onderscheiden van de bodem. Bij positieve waarneming moet dan een actie worden ingezet om dit materiaal te verwijderen. De techniek voor deze actie moet ontwikkeld worden.
2. Verwijdering van aangetaste niet-gewasplanten (aangetaste onkruiden) en opslag. Deze verwijdering loopt parallel aan de al of niet gerobotiseerde verwijdering van onkruiden. Als bij onkruidbestrijding het materiaal indien nodig volledig van het veld kan worden verwijderd, is een dubbelslag mogelijk.
3. Verwijdering van haarden (aangetaste gewasplanten). Hier speelt vooral het probleem van de detectie van de haard. Er wordt niet concreet gewerkt aan de ontwikkeling van sensorische technieken om specifieke plantenziekten in open teelten te detecteren. Mogelijkheden liggen bij een koppeling met stress detectie, zoals MIPS. Als pleksgewijs optredende stress in het gewas kan worden gedetecteerd, kan de teler vaak gerichte actie ondernemen vanwege zijn historische kennis over gewas en teeltomstandigheden. Eveneens kan de teler monitoren of deze actie succesvol is geweest.

De prijs van nauwkeurige plaatsbepalingssystemen zal naar verwachting sterk dalen, waardoor de toegankelijkheid groter wordt. Hoewel nog veel onderzoek gaande is, komt software beschikbaar voor dataopslag, sensortechnieken om bodemomstandigheden in kaart te brengen, detectie van ziekten en plagen en adviessystemen om plaatsgericht teeltmaatregelen uit te voeren. Standaardisatie van controllers die machines, strooiers en spuitmachines aansturen maken het makkelijker teeltmaatregelen nauwkeurig uit te voeren en vergroot de inzetbaarheid van de componenten voor meerdere bewerkingen. Optimalisatie van input van bestrijdingsmiddelen en meststoffen op bedrijfsniveau zorgen voor een hoger rendement en minimaliseren verliezen.

Het principe van bladmassa afhankelijk spuiten (Canopy Density Spraying) zoals ontwikkeld in het Precispray project voor de fruitteelt (Achten *et al.*, 2003; Zande *et al.*, 2003) wordt verder doorontwikkeld voor toepassing in akkerbouwmatig geteelde gewassen. Als met sensoren de gewasontwikkeling vastgelegd kan worden (Fieldwatcher, Meuleman *et al.*, 2004; Meuleman, 2004) dan kan de hoeveelheid spuitvloeistof aangepast worden aan de groeistadia van de plant. Individuele planten worden gespoten bij opkomst, sluiten de planten in de rij dan wordt overgegaan op rijenbespuiting van de planten en ontstaat een gesloten bladerdek (ook raken tussen rijen) dan wordt de dosering aangepast aan de hoogte van het gewas (Zande, 2004). De hoogte van het gewas kan dan een eenvoudige maat zijn voor de hoeveelheid bladmassa en de aanpassing van het spuitvolume.

Bepaalde handelingen leiden mogelijk tot het optreden van ziekten. Dit betreft bijvoorbeeld de inzet van bladplukmachines. In geval van robotisering is het wenselijk om de wonden die bij pluk ontstaan, automatisch te behandelen ter voorkoming van ziekten.

Algemeen concluderend kunnen we stellen dat de geautomatiseerde uitvoering van bepaalde handelingen rond ziektebestrijding een verminderde afhankelijkheid kan geven van chemische middelen, het gebruik ervan kan verminderen en een economische meerwaarde kan geven aan robotisering.

3.2.3 *Beheersing van plagen*

Hoewel er in het verleden acties zijn geweest die gericht waren op herkenning van plagen en toepassing van precisiesprays, wordt hier niets meer van vernomen. Mogelijkheden van automatisering betreffen de uitvoering van eenvoudige en steeds terugkerende handelingen:

1. Aanbrengen van feromoonstripjes
2. Uitzetten van natuurlijke vijanden
3. Sampling van bodemonsters voor analyse van nematoden (Nb: ook voor analyses van nutriënten e.d. een optie)

De geautomatiseerde uitvoering van bepaalde handelingen rond plaagbestrijding kan een economische meerwaarde geven aan robotisering.

3.2.4 *Sensoren*

Lokhorst *et al.* (2002) onderscheiden in relatie tot het meten van gewaskenmerken vier typen sensoren: laboratorium sensoren, contact sensoren, close sensoren en remote sensoren. Met laboratorium sensoren kunnen verschillende eigenschappen van gewas en grond op 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 karakteriseert 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 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). Ook een aantasting met *Botrytis* kan met het 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. Een praktische toepassing in het veld is de Minimale Lethale Herbicide Dosering (MLHD) methode.

Door Booij *et al.* (2004) is een inschatting gemaakt van de effecten van nieuwe technologie op het milieu en de kwaliteit van de productie (tabel 3). Ook maakten zij een inschatting van de financiële haalbaarheid en de termijn waarop de technologie mogelijk kan worden ingezet. Hierbij werd ervan uitgegaan dat er voldoende aan onderzoek en ontwikkeling wordt gedaan om het mogelijk te maken.

Tabel 3. Mogelijkheden voor toepassing van hoogwaardige technologie op het akkerbouwbedrijf, beoordeeld op basis van de prestatie-indicatoren milieu, kwaliteit van productie en financiële haalbaarheid. Ook is een inschatting gemaakt van het tijdstip waarop de techniek beschikbaar kan zijn (naar Booij *et al.*, 2004).

| | Prestatie-indicator | | | Tijdhorizon |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------|
| | Milieu | Kwaliteit productie | Financiële haalbaarheid | |
| Teelt | | | | |
| Autonoom voertuig | 0 | + | + | 5-10 jaar |
| Scouten | + | + | + | Beschikbaar |
| Onkruidbeheersing | | | | |
| Met roterende schoffels | + | + | + | 0-5 jaar |
| Optimalisatie instelling machines | + | + | + | 0-5 jaar |
| Mechanisch met precisiesturing | + | + | + | 0-5 jaar |
| Thermisch | 0 | + | +/- | 0-5 jaar |
| MLHD | + | + | + | Beschikbaar |
| Met beeldverwerkingstechnieken | + | + | + | 0-5 jaar |
| Toedieningstechnologie | | | | |
| Plaatsspecifiek spuiten | ++ | + | + | 0-5 jaar |
| Gewasvolumeafhankelijk spuiten | ++ | + | + | 0-5 jaar |
| Monitoren gewaseigenschappen | | | | |
| SPAD meter | + | + | + | Beschikbaar |
| N-tester | + | + | + | Beschikbaar |
| Cropscan | + | + | +/- | 0-5 jaar |
| N-sensor | + | + | + | 0-5 jaar |
| Greenseeker | + | + | + | 0-5 jaar |
| Imspector | + | ++ | - | 0-5 jaar |
| Pandora systeem | + | + | + | 0-5 jaar |

3.3 Lange termijn implementatie

Booij et al (2004) stellen dat in de toekomst de toepassing van nieuwe technologie de nauwkeurigheid en efficiency van de bewerkingen verhoogt en zal leiden tot een meer duurzame en milieuvriendelijke landbouw. Steeds vaker zal een perceel niet meer als een ruimtelijk identiek object worden gezien, maar zal meer worden ingespeeld op de ruimtelijke variatie. De mogelijkheden tot het inzetten van een autonoom voertuig bij het bestrijden van onkruid lijkt binnen handbereik. Autonome voertuigtechnologie biedt op middellange termijn perspectieven om andere bewerkingen en/of teeltmaatregelen geheel of gedeeltelijk geautomatiseerd uit te voeren.

Door met name de inzet van GPS is het mogelijk om verschillende bewerkingen op nagenoeg steeds dezelfde positie uit te voeren. Hiervan kan vooral gebruik worden gemaakt bij de twee bewerkingen die nodig zijn om aardappelen te poten en vervolgens de rug op te bouwen (Achten, 2003). Hierdoor komen de knollen meer gecentreerd in de rug wat het uit de rug groeien tegengaat en betere mogelijkheden biedt voor bijvoorbeeld mechanische loofverwijdering. Deze technologie is ook van belang voor het herhaald uitvoeren van onkruidbestrijdingsmethoden, hetzij door mechanisch te schoffelen, hetzij door plaatsspecifiek gewasbeschermingsmiddelen toe

te dienen. De belangrijkste voordelen hiervan zijn een hoge nauwkeurigheid van opeenvolgende bewerkingen in de keten en een geringere fysieke arbeidsbelasting (Booij et al, 2004).

Platforms ontwikkelen zich verder in miniaturisering; nu reeds wordt deze ontwikkeling in gang gezet door evenementen als het Robot-event (Anoniem, 2004; Straten, 2004). Van Straten (2004) evalueert de eerste field robot event gehouden op 5-6 juni 2003 waarin een omslag in het groter denken zijn weerslag vindt in miniatuur voertuigen die tussen de gewasrijen kunnen rijden. De achterliggende gedachte hierbij is dat de ontwikkeling in de micro-elektronica, reken capaciteit en sensoren het mogelijk maakt op plant niveau ziekte en voedingstoestand te monitoren en behandelen (Claessens et al., 2002). Duidelijk werd dat de kleine autonome voertuigen bijna realiteit zijn. Enkele problemen zoals vuile sensoren door modder of stof, keren op de kopakker, aandrijfvermogen of overbrenging door onvoldoende grip moeten nog overwonnen worden. In de 2004 uitvoering van het robot event waren veel van deze problemen echter al bijna opgelost. Concrete toepassingen moeten nog verder uitontwikkeld worden.

Landbouwkundige toepassingen betreffen drie fasen in de gewasteelt: uitgangsmateriaal en kwaliteit, stressdetectie tijdens de teelt en kwaliteit van het product in de na-oogstfase. Zo is er apparatuur beschikbaar die grote partijen zaad opsplijst in kleinere partijen van verschillende kwaliteit. Meting van de kwaliteit van het product na oogst wordt in de praktijk toegepast.

Een ontwikkeling is reeds in gang gezet om voor volvelds-situaties sensoren en detectiesystemen voor metingen van plant stress te ontwikkelen. De verwachting is dat binnen 5 jaar een werkend exemplaar beschikbaar is voor pilot studies in het veld. Dit apparaat is in staat vroegtijdig stress te detecteren in grote partijen planten. Voor open teelten moet nog een slag worden gemaakt vooral vanwege de variabele omstandigheden gedurende welke geautomatiseerde systemen moeten functioneren. De ervaring leert dat vroegtijdige waarneming van stress vaak belangrijker is dan het vraagstuk van causaliteit. Telers weten vaak wat de oorzaak is van het verminderd functioneren van hun gewas en kunnen op basis van waarnemingen van stress gerichte actie ondernemen. Dat de detectie van plant stress door ziekte versluierd kan worden stress als gevolg van de voedingstoestand wordt onderkend en is onderwerp van onderzoek (Moshou *et al*, 2003) Registratie van teeltmaatregelen mbv GPS verhogen de transparantie van het productieproces. Onkruidbestrijding kan volledig mechanisch geschieden dankzij nauwkeurige GPS aangevuld met camera en beeldverwerkingapparatuur op mechanische wiedeapparatuur. De eerste sensoren waarmee ziekten kunnen worden opgespoord zijn ontwikkeld. Beslissingsondersteunende systemen voor bemesting en bestrijding van ziekten en plagen zijn gekoppeld aan strooi en spuitmachines. Spuitmachines en strooimachines zijn in staat de gift te variëren op delen van hun werkbreedte.

Op de zeer lange termijn (30 jaar) kunnen veldbewerking zijn geautomatiseerd. Ze zijn uitgerust met sensoren die de omgevingsomstandigheden bodem, weer, vegetatie, plaagorganismen en

ziekteaantasting en conditie van het gewas nauwkeurig registreren. Per perceel en gewas zijn gedetailleerde rekenregels ontwikkeld op basis waarvan bemest, bewerkt of bestreden wordt. De tractoren rijden over vaste rijbanen en hebben zowel bemestingsapparatuur, wiedeapparatuur als precisiespuitapparatuur. Registreren zij iets onbekends dan wordt dat direct gerapporteerd. De boer stapt op een voertuig en wordt GPS gestuurd naar de plek gereden om eventueel ter plaatse een diagnose te stellen.

Oogstmachines schonen en sorteren met sensortechniek op kwaliteit die niet zichtbaar is en verpakken kwaliteitsproducten op het land. Producten gaan meteen naar de distributie centra en liggen binnen 24 uur op de schappen in de supermarkt.

4 Evaluatie

Iedere vorm van automatisering en robotisering vraagt precisie van de bewerkingen, of het nu gaat om de nauwkeurigheid van de bewerking (cm precisie), rechtgeleiding of reproduceerbaarheid van de plaats in de tijd om een specifieke actie uit te voeren. Het is daarom van essentieel belang dat begonnen wordt met de inrichting van voorzieningen die dit mogelijk maken zoals RTK-DGPS. Binnen de gewasbescherming kunnen op dit moment vormen van beginnende robotisering ingevoerd worden in het bedrijfsproces. Voorbeelden hiervan zijn rechtgeleiding van trekkers en machines, plaatsspecifiek toedienen van gewasbeschermingsmiddelen, monitoring van gewas en omgevingsomstandigheden om het bedrijfsproces te sturen.

Robotisering binnen de gewasbescherming zal een steeds groter beroep doen op informatie over de toestand van het gewas en gewasbelager. Sensoren zijn hierbij onmisbaar maar nog weinig beschikbaar. De ontwikkeling van sensoren voor het waarnemen van onkruiden, ziekten, plagen en uiteindelijk de gewasgezondheidstoestand zal naast die van kennissystemen met de benodigde beslisregels het implementatietijdpad van robotisering bepalen.

Beginnende vormen van autonome voertuigen zijn beschikbaar. De invoering is afhankelijk van de betrouwbaarheid en aanvullende eisen zoals de beveiliging die nog niet voldoende uitgewerkt zijn. In de naaste toekomst zullen autonome voertuigen ingevoerd kunnen worden. De eerste toepassingen ervan voor de verschillende werkvelden kunnen variëren van gewasmonitoring voor de kleinere voertuigen tot zelfstandige schoffelwerkzaamheden, bollenkoppen of plaatsspecifiek verwijderen van aardappelopslag.

De implementatie van vormen van robotisering in de gewasbescherming zullen zoals ook voor andere toepassingen geldt niet alleen bepaald worden door de technische mogelijkheden maar ook bepaald worden door het economisch perspectief, de beschikbaarheid van arbeid, milieuregelgeving en de wensen van de consument. Een door de samenleving geaccepteerde bedrijfsvoering zal meer bepalend zijn voor de invoering van robotisering dan de technische mogelijkheden, het teeltsysteem of de aantasting die erin voorkomt. Een uitdaging voor de ontwikkeling van nieuwe vormen van gewasbescherming blijft bestaan. Een maatschappelijk acceptatietraject kan met aanvullend onderzoek bevorderd worden (Lokhorst et al., 2003).

Tabel 4 Wat is de betekenis voor implementatie/bedrijfsinrichting op de Broekemahoeve

| Tijdpad (jaar) | Algemeen | Verwachte actie |
|----------------|--|--|
| 0-2 | Introductie gebruik cm-precisie; Opstarten met gebruik veldrobot | Opzetten bedrijf met RTK-DGPS Introductie GIS + data management systeem AutoMaatje |
| 2-5 | Introductie gewasherkenning (soort en structuur) | Gebruik sensoren + |
| >5 | Introductie van de herkenning van ziekten plagen en stress, en koppeling met precisie toediening | Aanpassing werktuigen |

In eerste instantie zal de introductie van precisiebesturing gericht zijn op de onkruidbestrijding. Precisiebesturing geeft de mogelijkheid tussen de rijen grotere oppervlakken mechanisch te

behandelen en meer gericht in de rij te handelen. Een eerste vorm van een wiedrobot kan geïntroduceerd worden. Met de introductie van sensoren die verschillende gewasparameters kunnen vastleggen kan gewasafhankelijke gewasbescherming geïntroduceerd worden. Canopy Density Spraying is zo'n eerste stap. Vervolgens kan verfijnd worden naar plaats- en tijdsspecifiek handelen. Het gebruik van een goed datamanagementsysteem wordt dan essentieel. Binnen dit ontwikkeltraject gaat reeds veel aandacht naar onkruidbeheersing. Daarna zullen ontwikkelingen in de richting van ziekte- (*Phytophthora*, bladvlekken) en plaagbeheersing (luizen) en plantstress ingezet worden.

Referenties

- Achten V.T.J.M., Zuydam R.P. van, Zande J.C. van de & Andersen P.G., 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
- Achten, V.T.J.M., D.M. Jansen, C.N. Verdouw & G.J. Molema, 2004. Kennis op de Akker (KodA); Verkenning van kennis en mogelijkheden op het gebied van managementondersteuning op akkerbouwbedrijven. Agrotechnology & Food Innovations Report ???, Wageningen. 2004. (in voorbereiding)
- Anoniem, 2002. Mibiton jaarverslag 2002. BioPartner Facilities Support, Leidschendam. 2002.
- Anoniem, 2004a. Toeloop robotjes op Field Robot Event. Landbouwmecanisatie 55(2004)6:14-15
- Anoniem, 2004b. Veldrobotjes in aantocht, CropScout wint. Landbouwmecanisatie 55(2004)7/8:16-17
- Anoniem, 2004c. Schoffelen met dubbele precisie. Landbouwmecanisatie 55(2004)7/8:11
- Bakker, T., 2003. Autonomous weeding, literature review. Wageningen University, Agrotechnology and Food Sciences, Systems and Control Group, SCO Report 03-01. Wageningen. 2003. 43p.
- Bakker, T., 2004. Intra-rijwieder op Weedrobot. Landbouwmecanisatie 55(2004)7/8:17
- Biller, R. 1998. Pflanzenunterscheidung und gezielter Einsatz von Herbiziden. Forschungsreport, Zeitschrift der Bundesforschungsanstalten 1:37-37
- Blackmoore S., H.Have, B. Keller, S. Fountas, H. Nielsen & F. Thielby, 2002. Autonomous weedres for Christmas tree plantations – feasibility study. In Have, H. (ed). Danish Environmental Protection Agency.
- Booij, R.M., A. Dekking, K. Grashoff, K. Lokhorst & G.J. Molema, 2004. High-Tech oplossingen voor de akkerbouw in de veenkoloniën. Een virtueel akkerbouwbedrijf in 2013. Plant Research International, Rapport ???, Wageningen. 2004. (in voorbereiding)
- Gerhards, R. & S. Christensen, 2003. Real-time weed detection, decision making and path spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. Weed Research 43(2003):385-392
- Griepentrog, H.W., S. Blackmore & H. Nielsen, 2003. Small Autonomous Vehicles for Field Operations. Proc. of the NJF's 22nd Congress "Nordic Agriculture in Global Perspective", July 1-4, 2003, Turku, Finland
- Griepentrog, H.W. & H. Sogaard, 2003. Robotic Weeding in Sugar Beet. Proc. of the NJF's 22nd Congress "Nordic Agriculture in Global Perspective", July 1-4, 2003, Turku, Finland

- Groeneveld, R. & B. Vermeulen, 2003. Onkruid met high-tech te lijf. Voordeel rijpadensysteem in combinatie met precisiebesturing. *Ekoland* 23(2003)3: 24-25
- Hague, T. & N.D. Tillet, 1996. Navigation and control of an autonomous horticultural robot. *Mechatronics* 6(1996)2: 165-180
- Hemming, J., 2000. Computer vision for identifying weeds in crops. Ph-D Thesis, Gartenbautechnische Informationen. Heft 50. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover. Hannover. 136p.
- Hemming, J., D. Goense, C. Lokhorst & J. Bontsema, 2001. Position paper about Non-Chemical Weed Control Technology. Instituut voor Milieu- en Agritechniek, IMAG Rapport 2001-17, Wageningen. 2001. 78p.
- Joergensen, M.H., C. Gron-Sorensen & T. Bak, 2003. Autonomic systems in precision agriculture – a survey of potential design trends. Proc. of the NJF's 22nd Congress "Nordic Agriculture in Global Perspective", July 1-4, 2003, Turku, Finland.
- Lokhorst et al, 2003. Precisie landbouw in Nederland. (in voorbereiding)
- Lokhorst, K., V. Achten, T. Bakker, D. Goense & B. Vermeulen, 2003. Wieden zonder handwerk: wat mogen we van de onkruidrobot verwachten? *Ekoland* 23(2003)3: 12-13
- Lokhorst, K. en H.H.E. Oude Vrielink, 2004, Hoe is het met de mens in de gerobotiseerde open teelt?, In: CD-ROM NVTL-studiedag 9 maart 2004 'Transitie, Innovatie en Techniek'.
- Madsen, T.E. & H.L. Jacobsen, 2001. Mobile robot for weeding. Technical University Denmark, Department of Control and Engineering design. Report no 160.
- Medema, D.J., 2003. Herbicidebesparing door de MLHD-methode. *Landbouwmechanisatie* 54(2003)4:36-39
- Medema, P., 2004. Precies recht in de Wieringermeer. *Landbouwmechanisatie* 55(2004)6:18-21
- Meuleman, J., G.J. Molema, J.G. Kornet, A.Th.J. Koster & L.J. van der Meer, 2004. Gewasafhankelijke toediening van middelen in de bollenteelt. Poster gepresenteerd op de Open middag veldproeven PPO Lisse 27 mei 2004..
- Meuleman, J., 2004. Fieldwatcher meet bollenveld. *Landbouwmechanisatie* 55(2004)7/8:17
- Meuleman, J. & G.J. Molema, 2004. Quickscan naar de mogelijkheden van het on-line meten van gewassenmerken voor gewasafhankelijke toediening van gewasbeschermingsmiddelen. Rapport WUR-A&F, Wageningen. (in voorbereiding)
- 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

- 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. 1999.62p.
- Smits M.J., M. Hoorweg, H. Donkers & B Gremmen, 2003?. Een technology assessment studie naar de wiedrobot. LEI-Rapport?
- Straten, G. van, 2004. Field robot event, Wageningen, 5-6 June 2003. Computers and electronics in agriculture 42(2004):51-58
- Vermeulen, G.D & J. Hemming, 2000. Sensoren voor onkruiddetectie; een verkenning. Instituut voor Milieu- en Agritechniek, IMAG Nota P2000-33, Wageningen. 2000. 18p.
- Vermeulen, G.D., R.Y. van der Weiden & L.A.P. Lotz, 2003. Businessplan ontwikkeling en marktintroductie van niet chemische technologie voor intrarij-onkruidbestrijding. Agro-technology & Food Innovations Report 129, Wageningen. 43p.
- Westphal, O. & H. Göhlich, 1998. Sehendes Sprühgerät. Landtechnik (1998)5: 233-235
- Wynia, P., 2004. Het begin van een revolutie. Agro-Informatica 2004:19-21
- Zande J.C. van de, J.M.G.P. Michielsen, V.T.J.M. Achten, H.A.J. Porskamp, H. Stallinga, R.P. van Zuydam, M. Wenneker & B. Heijne, 2003. The PreciSpray prototype sprayer, first results of spray deposition and distribution in an apple orchard In: Werner A. & Jarfe A. (eds). Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 2003. 591-592
- Zande, J.C. van de & V.T.J.M. Achten, 2004. Precision agriculture in plant protection technique. Proceedings EFSAT Conference, Warsaw 5-9 October 2004.
- Zevenbergen, G., 2003. Biologische landbouw goed af met permanent rijpad. Landbouwmechanisatie 54(2003)2:18-19
- Zuydam, R.P. van & V.T.J.M. Achten, 2002. AutoMaatje uw beste maatje in het veld! Autonoom voertuig vult ontbrekende arbeidskracht aan. Landbouwmechanisatie (2002)1: 22-23

Gebruikte terminologie

Detectspray®

Het detect-spray® systeem is een Australisch onkruiddetectiesysteem dat groene vegetatie herkent op basis van de reflectie in het rode en infrarode gebied, zoals besproken in paragraaf 2.1.2. Het detect-spray systeem werd beproefd voor volveldstoepassing door o.a. Hanson et al. (1994), Ahrens (1994) en Blackshaw (1995), die respectievelijk een vermindering van het herbicidegebruik constateerden van respectievelijk “tot 92%”, 5 – 60% en 47 – 88%. Geconstateerde problemen waren de windgevoeligheid (missen van target) en het niet detecteren van klein onkruid, met name gras.

Select Spray®

In dit onkruidbestrijdingsstelsel van het Nederlandse bedrijf Douven wordt de “Detectspray” sensor toegepast. Het systeem is voornamelijk bedoeld voor onkruidbestrijding op verhardingen.

WeedSeeker®

De WeedSeeker sensor (Patchen inc., USA) kan gebruikt worden om onderscheid te maken tussen planten en achtergrond op basis van reflectie-eigenschappen. De sensor maakt gebruik van kunstmatige belichting door infrarood LEDs (Light emitting diodes). Het monochrome licht van de LEDs wordt gemoduleerd waardoor de reflectie van dit licht bij de verwerking van het signaal te onderscheiden is van de reflectie van het natuurlijke licht. Welke golflengten precies gebruikt worden is niet bekend. Door de toepassing van kunstlicht kan de sensor onder veel omstandigheden gebruikt worden, ook 's nachts. De sensor is speciaal geschikt voor het detecteren van onkruid tussen gewasrijen, waar beschaduwing door het gewas optreedt. Bij experimenten met de WeedSeeker® sensor in een kikkererwtenaanplant werden continu spuiten en plaatsspecifiek spuiten tussen de gewasrijen vergeleken (Felton & Nash, 1998). Uitgedrukt in procenten van het herbicidegebruik bij continu spuiten werd bij plaatsspecifiek spuiten 16-40 % gebruikt bij toepassing van een pre-emergence bespuiting en 23-57 % zonder pre-emergence bespuiting. De bestrijdingsresultaten waren vergelijkbaar.

Spray Vision®

De werking van het Spray Vision® systeem (Nelson, 1993) is vergelijkbaar met die van het DetectSpray® systeem, maar gebruikt de reflectie in 4 golflengtegebieden, NIR, rood, groen en blauw, om onkruid van niet-groene achtergrond te onderscheiden (Felton & Nash, 1998).

Weed-IT®

Dit systeem van het Nederlandse bedrijf Kamps de Wild is gebaseerd op detectie door fluorescentie. Het Weed-IT® systeem is voornamelijk bedoeld voor onkruidbestrijding op verhardingen.

Bij het Weed-IT systeem (Visser & Timmermans, 1996) wordt een oppervlakte van ongeveer 15 x 2 cm vanaf een hoogte van ca. 30 cm belicht met behulp van een gemoduleerde rode LED

lichtbron, een filter dat alleen het zichtbare licht doorlaat en een lens. De door chlorofyl geëmitteerde NIR straling wordt, eveneens op ca. 30 cm hoogte, gedetecteerd door een fotodiode met lens en een filter dat alleen licht van 700 nm doorlaat. Door de modulatie van de lichtbron kan de hierdoor veroorzaakte fluorescentie elektronisch onderscheiden worden van de fluorescentie als gevolg van het natuurlijke licht. De sensor kan daarom wel functioneren zonder verduistering. Gebleken is echter dat de resultaten bij verduistering verbeterden.

Twaalf onkruidsensoren en twee rijnsnelheidssensoren werden ingebouwd in een totaal systeem voor onkruidbestrijding met een werkbreedte van 120 cm. De 12 onkruidsensoren werden met behulp van een industriële PC periodiek uitgelezen met een tussentijd van 5 ms. De tijden waarbij de overgang van onkruidvrij naar onkruid en andersom plaatsvonden werden geregistreerd. Gebaseerd op deze tijden en de rijnsnelheidsinformatie werden de spuitdoppen, gebouwd op 13 cm achter de sensoren, al of niet geactiveerd. Met het systeem kan, bij een rijnsnelheid van 10 km/uur met een nauwkeurigheid van 10 cm gespoten worden. Hierbij werden onkruidplanten met een minimum bladoppervlakte van 20 mm² gedetecteerd.

GPS

Global Positioning System, systeem waarbij door middel van een sensor (bijvoorbeeld op trekkercabine) de plaats bepaald wordt ten opzichte van de positie van satellieten in de ruimte. Nauwkeurigheid van het systeem is in de orde van grootte van meters.

RTK-GPS

Real Time Kinematic- Global Positioning System, combinatie van GPS sensor systeem met een correctiesignaal waardoor de nauwkeurigheid toeneemt tot cm niveau. Hiervoor is een basisstation (zender) op locatie nodig.

MIPS

Multiple Imaging Plant Stress, sensorsysteem voor het meten van plant stress in het laboratorium. Een combinatie van twee camera's en een laser meten minieme veranderingen in bladkleur, fluorescentie en warmtestraling wat een maat is voor veranderingen in het fotosynthesesysteem. Door koppeling van de sensoren aan een robotarm kan snel, precies en continu in de tijd gemeten worden aan planten.

MLHD

MLHD[®] betekent Minimum Letale Herbicide Dosing. MLHD is een nieuw concept binnen de chemische onkruidbeheersing. Doelstelling is een goede onkruidbestrijding waarbij herbiciden worden ingezet in precies die dosering die het onkruid doet doodgaan (de letale dosering).

Grofweg bestaat de MLHD methode uit twee onderdelen:

1. Het berekenen van de benodigde dosering op basis van soort onkruiden, grootte of gewicht van de onkruiden en de werkzaamheid van het gekozen bestrijdingsmiddel.

2. Via het MLHD meetapparaat kort na de bespuiting vaststellen hoe de bespuiting heeft gewerkt. Via deze fotosynthese meting kan al vastgesteld worden of een onkruid dood gaat voordat er effect van de bespuiting waarneembaar is.

De kracht van de methode schuilt in de combinatie. In een vroeg stadium (kleine onkruiden) wordt bepaald welke dosering juist genoeg zou moeten zijn voor bestrijding. Kort na spuiten kan met de meter al bekeken worden of de bespuiting voldoende heeft gewerkt. Er kan dan snel beslist worden of een aanvullende bespuiting nodig is en met welke dosering. Zonder MLHD meter zit er een bepaald risico aan het spuiten van herbiciden in heel lage doseringen. Voordat visueel beoordeeld kan worden of de bespuiting goed heeft gewerkt, is al snel een week verstreken. Mocht het effect tegenvallen, dan betekent dit dat de onkruiden behoorlijk gegroeid zijn en moeilijker te bestrijden. Vanwege dit risico worden dus vrijwel altijd doseringen gekozen met een behoorlijke veiligheidsmarge. De mogelijkheid om met de MLHD meter vrijwel direct het resultaat te kunnen vaststellen, maakt het wél mogelijk de laagste doseringen te spuiten zonder risico's te lopen.

Onderzoek en praktijk hebben de laatste jaren aangetoond dat de MLHD methode kan leiden tot een gemiddelde besparing van 30% op het herbicide gebruik. Behalve deze directe winst in middelenkosten, kan de MLHD nog een aantal belangrijke voordelen bieden:

Het kunnen meten dat het onkruid doodgaat in plaats van afwachten tot het zichtbaar is, geeft vertrouwen en rust.

Het niet meer spuiten dan strikt nodig om het onkruid te doden beperkt zoveel mogelijk de kans op gewasschade door de herbiciden. Lagere doseringen kunnen vaak leiden tot opbrengstverhoging.

Soms is het gewas erg gevoelig voor de herbiciden (b.v. Sencor in aardappels, Actril in uien). Als een onkruidbestrijding hoognodig is, is het belangrijk te weten hoeveel het gewas kan hebben. Met de MLHD meter is vast te stellen in hoeverre het gewas is “hersteld” van een vorige bespuiting.

Het MLHD-concept is praktijkrijp voor herbiciden die ingrijpen op de fotosynthese van onkruiden (“fotosyntheseremmers”). In het onderzoek wordt getracht de methode toepasbaar te maken voor andersoortige bestrijdingsmiddelen. Uitgebreide ervaring met de MLHD methode is opgedaan in aardappelen, suikerbieten, uien en maïs. Momenteel wordt gewerkt aan verbreding naar o.a. bloembollen en diverse groentegewassen.

Een goed gebruik van de MLHD methode vereist het nodige van de teler. Allereerst is een goede inschatting van de onkruidsituatie nodig: herkenning van de onkruiden en een goede beoordeling van stadium/gewicht. Hoewel de methode daarbij assisteert, dient de teler zelf een keuze te

maken voor het middel dat gespoten gaat worden. Het uitvoeren van de metingen vergt natuurlijk ook enige tijd en zorgvuldigheid.

Belangrijke onderdelen van de MLHD methode zijn de doseringstabellen en rekenregels. Deze zijn op papier beschikbaar, waarmee de teler handmatig en met de rekenmachine de doseringen vaststelt. Om dit te vergemakkelijken en de kans op fouten te verkleinen, is door Opticrop een geautomatiseerde variant ontwikkeld. MLHD online is een module op Internet die gebruik van de MLHD methode ondersteunt. De achterliggende onkruidgevoeligheidstabellen, doseringstabellen, rekenregels etc. zijn in geautomatiseerde vorm beschikbaar.

MLHD online is te vinden op <http://www.mlhd.opticrop.nl>

Canopy Density Spraying

Een systeem voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen waarbij de dosering afgestemd wordt op de hoeveelheid aanwezige bladmassa.