

Heeft precisielandbouw (de) toekomst?

S.R.M. Janssens
A.B. Smit

Januari 2000

Rapport 1.00.02

LEI, Den Haag

Het LEI beweegt zich op een breed terrein van onderzoek dat in diverse domeinen kan worden opgedeeld. Dit rapport valt binnen het domein:

- Bedrijfsontwikkeling en omgevingsfactoren
- Emissie- en milieuproblematiek
- Concurrentiepositie en de Nederlandse agribusiness; Industrie en handel
- Economie van het landelijk gebied
- Nationale en internationale beleidsvraagstukken
- Bedrijven-Informatienet; Statistische documentatie; Periodieke rapportages

Heeft precisielandbouw (de) toekomst?

Janssens, S.R.M. en A.B. Smit

Den Haag, LEI, 1999

Rapport 1.00.02; ISBN 90-5242-558-2; Prijs f 27,- (inclusief 6% BTW)

60 p., fig., tab., bijl.

De mogelijkheden om plaats- en tijdspecifieke metingen en behandelingen te verrichten aan akkerbouwpercelen en -gewassen zijn de laatste jaren sterk toegenomen. Deze landbouwmethode, genoemd precisielandbouw (PL), biedt de akkerbouwsector kansen om tot verbetering van opbrengst, kwaliteit en saldo van producten te komen en emissies van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar het milieu te verminderen. De opkomst van precisielandbouw verloopt echter moeizaam.

Dit rapport geeft een inventarisatie van zowel de mogelijkheden en kansen voor precisielandbouw als de belemmeringen en moeilijkheden die men in de praktijk tegen komt. Ook worden aanbevelingen gedaan om de opkomst van precisielandbouw beter te stroomlijnen.

Bestellingen:

Telefoon: 070-3358330

Telefax: 070-3615624

E-mail: publicatie@lei.wag-ur.nl

Informatie:

Telefoon: 070-3358330

Telefax: 070-3615624

E-mail: informatie@lei.wag-ur.nl

Vermenigvuldiging of overname van gegevens:

- toegestaan mits met duidelijke bronvermelding
- niet toegestaan



Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO-NL) van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Kamer van Koophandel Midden-Gelderland te Arnhem.

Inhoud

	Blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
Summary	13
1. Inleiding	17
1.1 Achtergrond van het onderzoek	17
1.2 Probleem- en doelstelling	17
1.3 Onderzoeksmethode	17
1.4 Afbakening en definities	18
1.5 Conceptueel kader	18
1.6 Leeswijzer	19
2. Stand van zaken in precisielandbouw in Nederland en elders	20
2.1 Wat is precisielandbouw?	20
2.2 Verenigde Staten van Amerika (VS)	21
2.3 Europa	25
2.3.1 Groot-Brittannië	25
2.3.2 Duitsland	25
2.3.3 Frankrijk	26
2.3.4 Nederland	26
2.4 Overige westerse landen	27
3. Mogelijkheden en belemmeringen in de praktijk	28
3.1 Definitieproblemen	28
3.2 Mogelijkheden en belemmeringen voor toepassing van het precisie-landbouwconcept op het agrarische bedrijf	28
3.3 Mogelijkheden en belemmeringen van verschillende activiteiten en aspecten van precisielandbouw	30
3.3.1 Meten	30
3.3.1.1 Plaats, coördinaten	31
3.3.1.2 Beschikbaarheid van nutriënten	31
3.3.1.3 Aanwezigheid van ziekten, plagen en onkruiden	32
3.3.1.4 Opbrengst en kwaliteit	33
3.3.2 Adviseren en beslissen	34

	Blz.
3.3.3 Toepassen	34
3.3.3.1 Kunstmest: in korrel- of vloeibare vorm	34
3.3.3.2 Organische mest	35
3.3.3.3 Gewasbeschermingsmiddelen	36
3.3.3.4 Mechanische onkruidbestrijding	36
3.3.5 Registreren en evalueren	36
3.4 Kosten en baten van precisielandbouw	37
3.5 Precisielandbouw 'leeft niet'	39
3.6 Technische, automatiserings- en organisatorische problemen	41
3.7 Ervaringen van gebruikers	43
3.7.1 Loonwerkers	43
3.7.2 Akkerbouwers	44
4. Synthese en aanbevelingen	46
4.1 De Nederlandse akkerbouw in 2020	46
4.2 Toepassingsmogelijkheden en kansen voor precisielandbouw	47
4.3 Belemmeringen voor precisielandbouw en mogelijke oplossingen	49
4.4 SWOT-analyse	51
4.5 Conclusie	53
5. Discussie en eindconclusie	54
5.1 Discussie	54
5.1.1 Onderzoeksmethode	54
5.1.2 Uitkomsten	55
5.2 Eindconclusie	55
Literatuur	57
Bijlage	
1. Lijst van mensen die geïnterviewd zijn of per telefoon c.q. per e-mail benaderd om informatie en visies	60

Woord vooraf

Precisielandbouw (PL) biedt mogelijkheden om aan de steeds strenger wordende eisen van afnemers, consumenten en overheid op het terrein van nutriënten- en gewasbeschermingsmiddelengebruik, inclusief registratie, te voldoen en tegelijkertijd kwaliteitsverbetering van landbouwproducten en grotere verwerkingsefficiëntie te komen. In deze publicatie is aandacht besteed aan de toepassing van precisielandbouw in de akkerbouw, met name in Nederland. De opkomst van precisielandbouw blijft namelijk achter vergeleken bij wat mogelijk en wellicht ook wenselijk zou zijn. Op basis van literatuurstudie, diepte-interviews, telefonische en e-mailcontacten is een beeld geschetst over de moeilijkheden en belemmeringen die bij de adoptie van precisielandbouw een rol spelen. Ook zijn aanbevelingen gedaan voor het zoveel mogelijk wegnemen of verminderen van de belemmeringen.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van LNV. Bij de voorbereiding van de diepte-interviews en ook in latere stadia is regelmatig overlegd met dhr. D. Goense van het IMAG, tevens leider van het DLO-programma 'precisielandbouw'. Daarnaast kon in dit onderzoek een schat aan inzichten, visies, kennis en verwachtingen verzameld worden dankzij de bereidwilligheid van velen om ons daarover uitgebreid in interviews te informeren; anderen deden dat telefonisch of elektronisch. Zij vertegenwoordigden de gehele keten van leveranciers van machines en kunstmest, via boeren en loonwerkers, tot en met de afnemers; hun namen staan vermeld in de bijlage van dit rapport. Een woord van dank aan hen allen is op zijn plaats, in het bijzonder voor mw. E.W.J.T. Nijhuis, TNO-STB in Delft, en dhr. W. Zonneberg, VERTIS B.V. in Veendam, die daarnaast de moeite namen om een conceptversie van het rapport met precisie te lezen en van commentaar te voorzien.

Het onderzoek is geleid en uitgevoerd door de heren S.R.M. Janssens en A.B. Smit, specialisten Plantaardige Productie en Duurzame Bedrijfssystemen van de Afdeling Landbouw.

De directeur,

Prof.dr.ir. L.C. Zachariasse

Samenvatting

Inleiding

In dit rapport staat het concept 'precisielandbouw' (PL) centraal. Toegepast op de akkerbouw is precisielandbouw nader in te vullen als 'een vorm van landbouw die zich realiseert dat er verschillen zijn binnen percelen, en die probeert iedere te onderscheiden eenheid grond op het juiste tijdstip de optimale behandeling te geven', gebruikmakend van geavanceerde technologie (high-tech landbouw; Goense, 1998a). Toepassing van precisielandbouw bij bemesting en gewasbescherming zou een middel kunnen zijn voor boeren om beter te voldoen aan milieueisen en de kostprijs van producten te verlagen.

De centrale vraag in deze publicatie is welke mogelijkheden voor en belemmeringen bij toepassing van precisielandbouw men in verschillende schakels van de akkerbouwketen en in andere betrokken organisaties ziet. Daarbij kregen de finale gebruikers van PL, de akkerbouwer en de loonwerker, de meeste aandacht.

Stand van zaken in precisielandbouw in Nederland en elders

De mate waarin precisielandbouw op praktijkbedrijven wordt toegepast, varieert per gebied, maar precisielandbouw staat in het algemeen nog in de kinderschoenen. De opkomst van precisielandbouw is sterk versneld doordat na de Golfoorlog satellieten ook voor niet-militaire doeleinden mochten worden gebruikt. Positiebepaling met behulp van GPS (global positioning system) is sindsdien wijd verbreid. Ook het vastleggen van de ruimtelijke variatie van bodem- en gewasgegevens en de uitvoering van daarbij aangepaste behandelingen door de boer is daarmee mogelijk geworden.

PL heeft zijn oorsprong in de VS en de opkomst is daar gestimuleerd door de landbouwcrisis in de tachtiger jaren. Als reactie daarop gingen kunstmest toeleverende bedrijven en coöperaties op zoek naar nieuwe kansen door extra diensten te verlenen met behulp van GPS, eventueel in combinatie met GIS (Geografische Informatiesystemen). In het PL-concept is de managementcyclus belangrijk: meten, adviseren en beslissen, toepassen en registreren. Deze cyclus is in de VS operationeel voor bemesting. Aan andere toepassingen zoals gewasbescherming wordt gewerkt. Vaak begint precisielandbouw met 'meten', namelijk met het installeren van GPS-apparatuur en opbrengstmeters op de maaidorser. Het Amerikaanse bouwplan bevat veel maaigewassen, zodat dit een goed begin blijkt te zijn voor het vaststellen van ruimtelijke variatie in percelen.

In Europa doen naar schatting ongeveer 1.000 boeren ervaring op met PL. De overheid laat opkomst van precisielandbouw in het algemeen over aan de markt, inclusief de toenemende eisen van afnemers en consumenten op milieugebied. In Groot-Brittannië, de voorloper op PL-gebied in Europa, wordt adoptie van precisielandbouw belemmerd door hoge investeringen en het ontbreken van een kosten-batenanalyse. Bodem- en opbrengstkaarten blijken moeilijk te interpreteren en vertaling naar de agronomische effecten van

maatregelen wordt niet ondersteund. In Duitsland worden naast de eerdergenoemde bezwaren het gebrek aan uitwisselbaarheid van machines van verschillende producenten en problemen rondom het gegevensbeheer als belangrijke knelpunten genoemd. In Frankrijk wordt precisielandbouw heel weinig toegepast, onder andere doordat opbrengstmeting met gammastraling daar verboden is.

In Nederland passen slechts enkele akkerbouwers en loonwerkers precisielandbouw en dan met name opbrengstmetingen met behulp van GPS en opbrengstmeters toe. ICT-toepassingen en registratie worden in de Nederlandse akkerbouw nog maar relatief weinig ingezet. Verschillende onderzoeksinstituten werken aan aspecten op landbouwtechnisch, teelttechnisch en sociaal-economisch terrein, onder andere in Wageningen UR-verband. De overheid stelt zich tamelijk passief op.

Mogelijkheden en belemmeringen in de praktijk

Op basis van interviews met boeren, loonwerkers, leveranciers van werktuigen en meststoffen, fabrikanten van werktuigen en diverse andere betrokkenen is een overzicht van mogelijkheden en belemmeringen gemaakt. Het eerste probleem is dat de term precisielandbouw vaak breder wordt gebruikt dan eigenlijk correct is. De overige aspecten zijn gerangschikt op grond van de onderdelen van de 'PL-cirkel' (meten, adviseren en beslissen, toepassen en registreren).

Over het algemeen blijkt plaatsspecifiek meten van opbrengst een stimulerend effect te hebben op het nadenken over allerlei factoren die een rol zouden kunnen spelen bij suboptimale omstandigheden. Dit en registratie in het algemeen wordt naar de mening van een aantal geïnterviewden nog veel te weinig gedaan in de akkerbouwsector. Voor loonwerkbedrijven ligt in opbrengstmeting een mogelijkheid zich te onderscheiden van concurrenten. Ook kan GPS het werken met grote machines gemakkelijker en nauwkeuriger maken.

Bij het meten van nutriënteniveaus volgens een bij precisielandbouw aangepast gridstelsel zijn de kosten van grondbemonstering een probleem. Een alternatief is om de 'groenheid' van het gewas direct te vertalen naar N-beschikbaarheid en daarbij 'on the go' een plaats specifieke stikstofgift toe te dienen. Het vaststellen van locatie en intensiteit van onkruiden, ziekten en plagen is over het algemeen vrij lastig. Bij schimmelaantasting komt de melding meestal te laat. Plagen zijn beweeglijk. Onkruiden bieden voor de nabije toekomst nog het meeste perspectief. Opbrengst- en kwaliteitmetingen van andere dan maaigewassen, zoals de in het Nederlandse bouwplan zo belangrijke hakvruchten, staan nog in hun kinderschoenen. Deze zijn echter onmisbaar voor een goede adoptie.

De vertaling van meting naar toepassing is vrij lastig, omdat de relaties tussen gemeten waarden en toepassing van nutriënten of middelen enerzijds en de effecten daarvan op opbrengst, kwaliteit, saldo en milieu op plaatsspecifiek niveau en bij verschillende weertypes onvoldoende bekend zijn.

Een vraag waarop verschillende antwoorden gegeven worden, is of vloeibare meststoffen bij precisielandbouw beter bruikbaar zijn dan korrelmeststoffen of dat een overgang naar vloeibare meststoffen misschien zelfs noodzakelijk is. Daarop is Nederland op dit moment logistiek in ieder geval nog niet ingericht. Bij organische mest is de samenstelling vaak variabel en de toediening onnauwkeurig. Bij het verspuiten van gewasbeschermingsmiddelen is met de huidige moderne apparatuur plaats specifieke dose-

ring binnen zekere grenzen goed mogelijk. Schoffelapparatuur voor herkenning en verwijdering van onkruidplanten binnen de rij is in ontwikkeling.

Registratie van allerlei gegevens over de productiewijze van gewassen zal in de komende jaren flink toenemen als gevolg van eisen van consumenten, afnemers en overheid. Het PL-concept sluit hierbij aan, omdat het vastleggen van zo veel gegevens het beste geautomatiseerd kan plaatsvinden. Toenemende registratie vergroot ook de mogelijkheden tot analyse van sterke en zwakke punten bij besluitvorming en bedrijfsvoering op bedrijven.

Een groot probleem is dat er veel onduidelijkheid is over de kosten en baten van PL. De kosten hangen onder andere af van eventuele grootschalige opgang van apparatuur en van de vraag in hoeverre bepaalde investeringen uitbesteed kunnen worden aan de loonwerker. De baten hangen sterk af van de vraag welke behandelingen geoptimaliseerd kunnen worden en welke invloed dat heeft op opbrengst, kwaliteit en saldo van het betreffende gewas en milieu-effecten, die invloed kunnen hebben op bijvoorbeeld acceptatie van producten door de afnemer en heffingen, zoals Minas. In ieder geval zullen de besparingen op kunstmest relatief klein zijn.

Precisielandbouw 'leeft niet', dat wil zeggen dat weinig akkerbouwers, loonwerkers en onderzoekers hieraan concreet werken, bijvoorbeeld in de vorm van demoprojecten. Voor biologische landbouw is de interesse veel groter, onder andere door gerichte stimulering door de overheid.

Uitwisseling van informatie van computers naar werktuigen van verschillende merken levert vaak problemen op. Er is veel versnippering in de werkzaamheden die gedaan worden om dit soort problemen op te lossen. Een duidelijke ketenaanpak ontbreekt nog. Ook op bedrijfsniveau kan organisatie een probleem zijn. De bediening van complexe apparatuur en de verwerking van data zou uitbesteed kunnen worden aan gespecialiseerde loonwerkers, landbouwsoftwarebureaus en dergelijke. In het onderwijs moet men meer aandacht besteden aan moderne ICT-ontwikkelingen en de toepassing daarvan in de agrarische praktijk (bedrijf en keten).

Synthese en aanbevelingen

Toenemende inzet van precisielandbouw sluit aan bij de ontwikkelingen in de akkerbouwsector in de komende 20 jaar. Daarbij zijn verantwoord en geregistreerd middelengebruik, efficiëntieverbetering bij benutting van steeds duurdere machines, van gunstige weersomstandigheden en van verwerkingscapaciteit en kwaliteitsverbetering en -uniformering kernwoorden. Belemmeringen op het terrein van inzicht in kosten en baten, van technische en elektronische koppelingen, van coördinatie van onderzoek, ontwikkeling en voorlichting en van onbekendheid en passiviteit van verschillende partijen moeten opgelost worden om een goede adoptie en opkomst van precisielandbouw te stimuleren.

Discussie

Introductie van precisielandbouw houdt een 'grote' innovatie in, dat wil zeggen dat het niet alleen gaat om investeringen in werktuigen, sensoren en computerapparatuur, maar veel meer om een systeemverandering, een andere manier van omgaan met gewassen, percelen, werktuigen en vooral ook met variatie en informatie. Acceptatie van precisielandbouw kan

bemoeilijkt worden door het 'high-tech imago', dat haaks lijkt te staan op de 'natuurlijke trend' in de maatschappij.

Precisielandbouw heeft grote mogelijkheden in zich, maar kan alleen door een gezamenlijke aanpak van de betrokken partijen tot de gewenste effecten leiden voor de sector zelf en voor de maatschappij als geheel.

Summary

Introduction

This report deals with the concept of 'Precision Agriculture' (PA). PA in arable farming can more closely be defined as 'a way of farming that realises that there is variation within fields, and that tries to give the optimal treatment to each of the discerned soil units', making use of advanced technology (high-tech agriculture, Goense, 1998a). Application of PA in fertilisation or crop protection could be a means for farmers to better fulfil environmental restrictions and to decrease the cost price of agricultural products.

The central question in this publication is which opportunities and hindrances different links in the arable farming chain and in other organisations involved see for application of PA. Major attention was paid to the final users of PL, the arable farmer and the contractor.

State of the art in precision agriculture in the Netherlands and elsewhere

The extent to which precision agriculture is applied, varies per area, but in general, PA is still in an early stage of adoption. The introduction of PA was strongly stimulated when after the Gulf War satellites also became available for non-military purposes. From that time on, determination of positions with GPS (global positioning system) has been widely spread. Measurement of spatial variation in soil and crop data and the application of site specific treatments by the farmer have become possible.

PA had its origin in the VS, where its introduction was stimulated by the agricultural crisis in the 1980s. In reaction, private and co-operative firms tried to find new opportunities through additional services with GPS, possibly in combination with GIS (Geographic Information Systems). In the PA concept, the management cycle is important: measuring, advising and deciding, applying and recording. In the VS, this cycle is operational for fertilising. Other applications, e.g. for crop protection, are under development. Often, PA starts with 'measuring', i.e. the installation of GPS equipment and yield sensors on the combine harvester. A large part of the American cropping plan exists of crops that can be harvested with a combine harvester, so that this action is a good starting point for assessment of spatial variation within fields.

In Europe, about 1,000 farmers work with PA. In general, the government leaves introduction of PA to the market, including the increasing environmental restrictions from buyers and consumers. In the UK, the forerunner in PA in Europe, high investments and the absence of a cost/benefit analysis hinder adoption of PA. Soil and yield maps appear difficult to interpret and translation to the agronomic effects of measures is not supported. In Germany, besides the problems listed, compatibility of machinery of different trademarks and problems with data storage and manipulation seem to be important bottlenecks.

In France, PA is not often applied, because yield monitoring with gamma rays is prohibited.

In the Netherlands, only a few arable farmers and contractors apply PA, especially yield monitoring with GPS and yield sensors. ICT applications and recording are not widely applied in Dutch arable farming. Different research organisations work on technical, agronomic and socio-economic aspects. The government is not actively involved.

Opportunities and hindrances in practice

Based on interviews with farmers, contractors, suppliers of machinery and nutrients, constructors of machinery and various other involved organisations, an overview of opportunities and hindrances has been developed. The first problem is that the term PA is often used more widely than officially correct. The other aspects have been listed on the basis of parts of the 'PA cycle' (measuring, advising and deciding, applying and recording).

In general, site specific yield monitoring appears to have a stimulating effect on analysis of various factors that could play a role in sub-optimal conditions. This and recording in general is far too little applied in arable farming, according to some interrogated persons. For contractors, yield monitoring gives opportunities to discern from competitors. GPS also makes working with large machinery easier and more accurate.

When nutrient levels are monitored according to a grid system adapted to PL, the costs are a problem. Alternatively, the 'greenness' of the crop could be directly translated to N availability and a site-specific N dose could be applied on the go. In general, the assessment of location and intensity of weeds, diseases and plagues is rather hard. Plagues are mobile. Weeds offer most perspectives for a PA approach in the near future. Monitoring of yield and quality of other crops than combine harvested ones, e.g. of onion, potato and sugar beet, which are of great importance in the cropping plan of the Dutch arable farming sector, are in an early stage of development. However, they are essential for a successful adoption process.

The translation of measurement data to application data is rather hard, because the relationships between parameter values measured and application of nutrients or biocides on the one hand and their site-specific effects on yield, quality, profit and environment with different weather types are insufficiently known.

A question that is differently answered by different organisations, is if liquid nutrients are better adapted to PA than solid ones or that a change to liquid nutrients may become necessary. The conditions in the Netherlands are logistically not yet adapted to such a change. The composition of manure is often variable and its application not precise. Site-specific application of biocides is feasible within certain limits, making use of modern spraying equipment. Hoeing equipment for the recognition and removal of weed plants within the row is under development.

In the coming years, recording of various data on the way of crop production will significantly increase as a consequence of requirements from consumers, retailers and government. The PA concept fits to this development, since recording of large numbers of data can best be carried out automatically. Increasing availability of data recorded also increases the opportunities to analyse strong and weak aspects of the decision making and management of farmers.

A great problem is the lack of insight into costs and benefits of PA. The costs depend among other things on a possible large-scale introduction of equipment and the question to which extent (part of the) investments will be overtaken by contractors. The benefits strongly depend on the question which treatments can be optimised and its effects on yield, quality and profit of the crop involved and on environmental quality, possibly affecting for example the acceptance of products by the retailer or the level of penalties on nutrient excesses. The savings on fertiliser costs will be relatively small.

Precision agriculture receives little attention. Only few arable farmers, contractors and researchers practically work on this subject, for example in demonstration projects. There is much more interest in organic farming, partly as a consequence of subsidies by the government.

Exchange of information from computers to equipment of different trademarks often gives problems. A clear co-ordination to solve such problems and a strong chain involvement are absent. Organisation on farm level can also be a problem. Specialised contractors, agricultural software houses, etc. could handle the complex equipment and collect and analyse the data involved. Agricultural schools should pay more attention to modern ICT developments and their application to the agricultural practice (farm and chain).

Synthesis and recommendations

Increasing application of PA fits into the developments in the arable farming sector in the coming 20 years. Central items will be acceptable and recorded application of nutrients and biocides, efficiency improvement in utilisation of increasingly expensive machinery, of favourable weather conditions and of processing capacity, and quality improvements. Several hindrances in the area of insight in costs and benefits, development and extension, of ignorance and passive attitudes of different organisations have to be solved to stimulate a successful adoption and introduction of PA.

Discussion

Introduction of PA includes a major innovation, i.e. it does not only deal with investments in machinery, sensors and computer equipment, but rather with system changes, a new way of handling crops, fields, machinery and especially variation and information. Acceptance of PA may be hindered by its high-tech image, which seems to conflict with the 'natural trend' in society.

Precision agriculture has great opportunities, but can only lead to the effects for the arable sector itself and for the society as a whole when the organisations involved work together as much as possible.

1. Inleiding

1.1 Achtergrond van het onderzoek

In november 1997 werd in de agrarische media aandacht geschonken aan precisielandbouw: 'Wageningse professor Rabbinge ziet een grote toekomst voor precisielandbouw' (Agrarisch Dagblad, 15-11-1997). Door exact te bemesten en bestrijdingsmiddelen toe te dienen zouden boeren beter kunnen voldoen aan milieueisen. Ook zou precisielandbouw de arbeidsproductiviteit verhogen en daarmee de kostprijs verlagen.

Ruim een week later was te lezen dat een van 's werelds grootste werktuigenfabrikanten (John Deere) de Nederlandse spuitmachinefabriek Douven over zou nemen, onder andere vanwege het satelliettijdperk.

Precisielandbouw (PL), een innovatieve ontwikkeling, roept vragen op. Wat betekent precisielandbouw voor de Nederlandse landbouw? Staat een nieuw, veelbelovend tijdperk voor de deur? Wat gebeurt elders? Hoe staan boeren tegenover precisielandbouw? Wat zijn de kansen en belemmeringen van deze vorm van high-tech landbouw? Voor het LEI vormden dergelijke vragen voldoende aanleiding om de perspectieven van precisielandbouw voor de Nederlandse boer, ketenpartijen en andere belanghebbenden verder uit te zoeken.

1.2 Probleem- en doelstelling

Inzicht in de sociaal-economische perspectieven van precisielandbouw in Nederland ontbreekt. Het doel van dit onderzoek was na te gaan wat de kansen en belemmeringen zijn van precisielandbouw in Nederland ofwel inzichtelijk te maken hoe verschillende ketenpartijen tegenover deze nieuwe ontwikkeling staan. De resultaten van het onderzoek kunnen door verschillende partijen gebruikt worden om de ontwikkeling van precisielandbouw verder te stroomlijnen.

1.3 Onderzoeksmethode

Het eerste deel van het onderzoek bestond uit een bureaustudie. Via literatuurstudie is inzicht verkregen in de technische en sociaal-economische achtergronden en ontwikkelingen op het gebied van precisielandbouw, zowel nationaal als internationaal. Ook zijn in deze fase van het onderzoek een aantal van belang zijnde sites op internet bestudeerd, via e-mailcontacten gelegd met buitenlandse onderzoekers en specialisten op het terrein van precisielandbouw en enkele studiedagen bezocht (KLV, Wageningen, 18-06-1998; Beveren, België, 12-11-1998).

Het tweede deel van het onderzoek bestond uit diepte-interviews met boeren en loonwerkers in Nederland die precisielandbouw toepassen. Voor het afnemen van deze in-

interviews is vooraf een gestructureerde vragenlijst opgesteld. In de meeste gesprekken is deze lijst niet puntsgewijs afgewerkt, maar functioneerde deze als geheugensteuntje voor de gewenste informatie. Deze bestond naast visie op precisielandbouw en de toekomstige ontwikkelingen op dit terrein ook uit kenmerken van de ondernemer en zijn bedrijf, inclusief opleiding, computergebruik en houding ten opzichte van nieuwe ontwikkelingen, en zijn ervaringen met PL. Als voorbereiding op de interviews heeft een gesprek plaatsgevonden met de leider van het DLO-programma 'precisielandbouw' en is de voorlopige vragenlijst aangevuld en verbeterd.

Vervolgens zijn vraaggesprekken gevoerd met leveranciers van werktuigen en meststoffen, fabrikanten van werktuigen, een medewerker van LNV, een regionaal LTO-voorzitter (Akkerbouw) en de projectleider van een PL-project in Westerwolde. Tenslotte is aan enkele afnemers gevraagd wat zij van precisielandbouw verwachten en is een gesprek gevoerd met een onderzoeker van TNO. In totaal hebben 33 vraaggesprekken plaatsgevonden. De betrokkenen staan vermeld in bijlage 1.

Het onderzoek is kwalitatief van aard en heeft door zijn opzet een verkennend karakter, maar is bedoeld om mede richting te geven aan de verdere ontwikkeling van precisielandbouw in Nederland.

1.4 Afbakening en definities

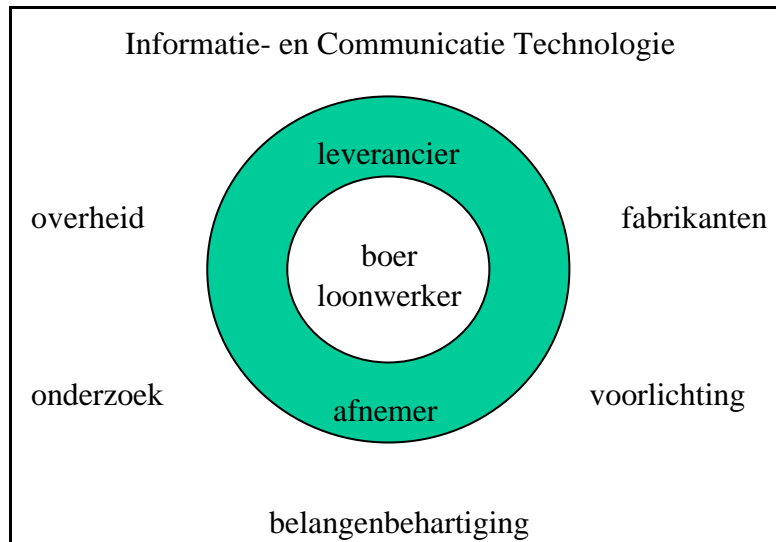
Precisielandbouw is 'een vorm van landbouw die zich realiseert dat er verschillen zijn binnen percelen, en die probeert iedere te onderscheiden eenheid grond op het juiste tijdstip de optimale behandeling te geven', gebruikmakend van geavanceerde technologie (high-tech landbouw; Goense, 1998a).

In veel sectoren worden high-tech toepassingen steeds meer gemeengoed: individuele koeherkenning, de melkrobot en diverse computertoepassingen (robotisering). Het gebruik van satellietsignalen binnen de landbouw is internationaal gezien het verst gevorderd in de akkerbouw. Dat zegt al wat over een eventueel perspectief en is voor deze studie de reden om de akkerbouw als onderzoeksobject te nemen.

1.5 Conceptueel kader

In figuur 1.1 is het conceptuele kader van het onderzoek weergegeven. Het conceptuele kader vormt de basis voor realisatie van de doelstellingen van het onderzoek. Het kader is gebaseerd op de vereenvoudigde keten: leverancier - boer - afnemer.

Centraal in figuur 1.1 en in dit onderzoek staan de finale gebruikers van PL-toepassingen: de akkerbouwer en de loonwerker. Als eerste stap zijn hun inzichten en opvattingen over precisielandbouw geïnventariseerd. Vanuit het centrum in de figuur is vervolgens naar buiten gewerkt zodat een beeld ontstond welke mogelijkheden voor PL-partijen in de meer of minder directe omgeving van de agrarische bedrijven (zoals voedselproducenten en dienstverlenende bedrijven) zien. Hun visie is mede bepalend voor de ontwikkeling van dergelijke innovaties. Gepoogd is in het onderzoek niet de techniek maar de boer centraal te stellen.



Figuur 1.1 Schematische weergave van het spelersveld bij precisielandbouw

1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 is een overzicht van de stand van zaken van precisielandbouw, zowel nationaal als internationaal. Hoofdstuk 3 handelt over de resultaten van de diepte-interviews waarbij het agrarische bedrijf en de overige ketenpartijen zijn onderscheiden. In hoofdstuk 4 worden de resultaten in een breder perspectief beoordeeld zodat de kansen en belemmeringen voor precisielandbouw in Nederland duidelijk worden. Ook worden suggesties voor het opheffen van belemmeringen aangereikt en besproken. In het laatste hoofdstuk worden de conclusies gepresenteerd en wordt teruggekeken op de werkwijze en uitkomsten van het onderzoek.

Dit hoofdstuk eindigt met een uit het Engels vertaald citaat, waarvan uit dit rapport moet blijken of het de werkelijkheid goed weergeeft:

'Precisielandbouw lijkt op het glimmendtractorsyndroom. Je hebt het niet écht nodig maar je wilt je burens laten zien dat je vooruit wilt.'

Farmers Weekly.

2. Stand van zaken in precisielandbouw in Nederland en elders

Precisielandbouw is een geavanceerde methode van landbouw die gebruikmaakt van satellieten en informatietechnologie (ICT) en dit combineert met de ruimtelijke variabiliteit van de bodem en tijdigheid. De mate waarin precisielandbouw op praktijkbedrijven wordt toegepast, varieert per gebied en staat over het algemeen nog in de kinderschoenen. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van ontwikkelingen tot nu toe.

2.1 Wat is precisielandbouw?

Strikt genomen kan het begrip 'precisielandbouw' betrekking hebben op allerlei teeltsystemen met planten- en veeteelt in zowel westerse als niet-westerse samenlevingen. In de praktijk wordt precisielandbouw beperkt tot een high-tech benadering in westerse akkerbouwsystemen, waarbij diverse technologieën een belangrijke rol spelen (Blackmore, 1998; Nijhuis, 1999). Figuur 2.1 geeft hiervan een overzicht.

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">- Global positioning system (GPS; met behulp van satellieten)- Differential global positioning system (DGPS; met een referentiesignaal)- Opbrengstmeting (met sensoren)- Variable Rate technology (VRT; variabele doseringen met kunstmeststrooiers)- Remote sensing (sensoropnames van gebieden)- Geographic Information System (GIS; gedigitaliseerde kaartbewerking)- Management Information System (MIS; gecomputeriseerde beslissingsondersteuning)- Expert Systeem (landbouwkundige kennis/(groei)modellen)- Robotics en mechatronics a) |
|--|

Figuur 2.1 Overzicht van diverse technologieën die gebruikt worden voor precisielandbouw

a) Een combinatie van elektronica en mechanica.

Naar: Nijhuis (1999).

Precisielandbouw is in een stroomversnelling gekomen nadat na de Golfoorlog in 1991 satellieten ook toegankelijk werden voor niet-militaire doeleinden. Met behulp van satellieten kan op ieder willekeurig gekozen moment de positie bepaald worden van een object dat met GPS is uitgerust. GPS-toepassingen zijn inmiddels wijd verbreid, onder andere in het wegtransport (vrachtverkeer en personenauto's) en de beroeps- en plezierscheepvaart. Indien een oogstmachine naast GPS ook voorzien is van een opbrengstmeter is het mogelijk de opbrengstvariatie binnen een perceel nauwkeurig in kaart te brengen.

Differentiaal GPS (DGPS) is een variant op GPS waarbij naast satellieten ook gebruik wordt gemaakt van een zogenaamde 'land-based reference signal', een vast referentiepunt op aarde, zoals een zendmast of een (kust)baken dat signalen ontvangt en uitzendt. Een voordeel van DGPS is dat de plaatsbepaling veel nauwkeuriger is. De nauwkeurigheid

van GPS lag enkele jaren geleden op honderd meter, die van DGPS op drie tot vijf meter. Door de voortdurende technologische ontwikkelingen is de nauwkeurigheid in snel tempo toegenomen tot minder dan 1 meter.

Systemen voor nauwkeurige plaatsbepaling (GPS, DGPS) zijn van essentieel belang voor het vastleggen van ruimtelijke variatie van bodem- en gewasgegevens op akkers en de uitvoering van daarbij aangepaste handelingen door de boer. Blackmore (1998) benadrukt het belang van voortdurende locatiespecifieke registratie van allerlei variabelen. Inmiddels zijn er wereldwijd diverse toepassingen ontwikkeld of in ontwikkeling waarvan de belangrijkste zijn weergegeven in figuur 2.2.

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Field Mapping (het in kaart brengen van percelen)- Soil Mapping (het in kaart brengen van bodemkundige variabelen van percelen)- Monitoring (waarneming van allerlei variabelen)- Yield Mapping (opbrengstkartering)- Bemestingskaarten (kaarten voor de uitvoering van plaats specifieke bemesting)- Spuitkaarten (kaarten voor de uitvoering van plaats specifieke bespuiting)- Fertigatie a) |
|---|

Figuur 2.2 Diverse toepassingen van precisielandbouw

a) Momenteel wordt op beperkte schaal in Nederland gewerkt met fertigatie, waarbij water met nutriënten via druppelirrigatie aan het gewas wordt toegediend. Dit is een grensgeval wat betreft toepassing van de definitie van PL.

Plaats specifieke registratie van bodemeigenschappen, inclusief textuur, organische stof en vochtgehalten, moet het mogelijk maken om de ploegdiepte (bewerkingsdiepte) aan te passen aan de plaatselijke bodemomstandigheden, zodat de zaaibedbereiding, de onkruidbeheersing en het brandstofverbruik in de toekomst verbeterd kunnen worden. Ook de zaaidichtheid kan beter aansluiten bij de bodemvariatie. Dit geldt ook voor de toepassing van kunstmeststrooiers en veldspuiten. De apparatuur kan ook nauwkeuriger bediend worden, wat speciaal bij bemestings- en spuitvrije zones een grotere zekerheid geeft dat de doelstellingen ook daadwerkelijk gehaald zullen worden.

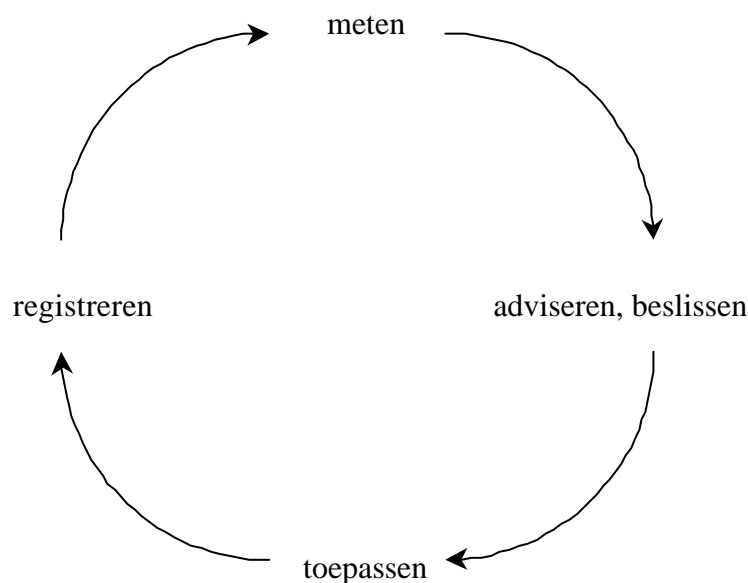
In de Nederlandse akkerbouw zijn bovengenoemde toepassingen nauwelijks bekend. De ontwikkelingen in het buitenland geven echter een goede indruk van de mogelijkheden die precisielandbouw biedt. Daarom wordt in de volgende paragrafen aandacht besteed aan respectievelijk de VS en Europa.

2.2 Verenigde Staten van Amerika (VS)

Precisielandbouw heeft zijn oorsprong in de Verenigde Staten, waar militaire ontwikkeling van global positioning systemen (GPS) nauwkeurige plaatsbepaling mogelijk heeft gemaakt. Toch ging de opkomst van GPS niet vanzelf. De landbouwcrisis in het midden van de tachtiger jaren noopte diverse toeleveringsbedrijven van onder andere meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen om actie te ondernemen zodat hun bedrijf de crisis kon overleven. Verschillende bedrijven zagen perspectief in de mogelijkheden van precisielandbouw en paktten deze innovatie op. Tegenwoordig bieden toeleverende bedrijven inclusief

grotere coöperaties naast meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen ook PL-diensten (consultancy) aan. Deze commerciële diensten zijn gebaseerd op GPS al dan niet in combinatie met GIS. Voor deze dienstverlening worden met individuele boeren (meerjarige) contracten afgesloten voor opbrengstkartering, grondbemonstering en variabele bemesting tegen een vast tarief per hectare (Keller, 1997). Aan de levering en het uitrijden van meststoffen wordt ondersteuning van precisielandbouw als extra dienstverlening toegevoegd. Deze leveranciers profileren zich in toenemende mate als 'providers' (van kennis) door middel van service en opleiding.

Een enkele leverancier is al ruim een decennium bezig met de ontwikkeling en integratie van mechanisatie, software en GPS. Hun ideeën zijn gebaseerd op de managementcyclus: meten, adviseren en beslissen, toepassen en registreren (figuur 2.3). Het startpunt ligt bij 'meten'. Per perceel worden diverse gegevens (onder andere grenzen, hoekpunten en ligging van obstakels (putten, masten, sloten, enzovoort) met de draagbare computer en GPS vastgelegd. Dit inmeten wordt in principe eenmalig gedaan. Vervolgens worden voor het betreffende perceel grondmonsters genomen op plaatsen die met behulp van de computer worden geadviseerd (grid). Bij elke oogst wordt van een perceel een opbrengst- of oogstkaart gemaakt. Op basis van de oogstkaart wordt de plaatselijke onttrekking van mineralen berekend (onttrekkingskaartje). Met alle verzamelde gegevens (onder andere grondsoort, bemonstering, gewasonttrekking) en adviesmodules wordt een geadviseerde bemestingskaart gegenereerd. Met deze advieskaart wordt de GPS-gestuurde kunstmeststrooier aangestuurd en worden plaatsspecifieke giften toegediend. Tijdens het strooien op basis van het plaatsspecifieke advies wordt ook geregistreerd op welke locatie welke hoeveelheid daadwerkelijk is toegediend.



Figuur 2.3 Ontwikkelingsconcept voor precisielandbouw

Voor meststoffen is bovengenoemd concept te koop (ook in Europa) en het wordt al in de praktijk toegepast. Hiervoor worden dikwijls zelfrijdende machines ingezet die onder andere zijn voorzien van een GPS-ontvanger en een personal computer met pentiumprocessor (onder andere bij het bedrijf Ag-Chem). Aan toepassingsmogelijkheden op andere terreinen zoals gewasbescherming wordt gewerkt. In de praktijk worden oogstkaarten soms ook gebruikt om plekken met bodemverdichtingen of ziektehaarden (sojacystealtje) te traceren.

In Amerika en Canada is ruim 80% van de boeren met grotere bedrijven bekend met GPS. Volgens Hekkert (1999a) maakt in deze landen 20% van de boeren daadwerkelijk gebruik van deze techniek. Uit diverse Amerikaanse onderzoeken naar innovatie, gebruik en adoptie van precisielandbouw blijkt dat de acceptatie van precisielandbouw zich nog in het beginstadium bevindt. Circa 10% van de gespecialiseerde graanbedrijven (korrelmaïs) paste in 1996 een of meerdere PL-technologieën toe.

Uit adoptieonderzoek van Khanna et al. (1998) onder ruim 750 Amerikaanse boeren blijkt dat bijna 20% één of meer componenten van de PL-technologie toepast. Het merendeel past GPS toe en gemiddeld pas ruim twee jaar. Ruim 10% van de ondervraagden heeft een opbrengstmeter op de maaidorser; twee derde van hen maakt daadwerkelijk opbrengstkaartjes. Circa 14% maakt bij grondbemonsteringen gebruik van GPS-technieken (bijvoorbeeld op een gespecialiseerde terreinwagen); eenzelfde percentage laat bodemkaarten genereren met gebruikmaking van de computer. Circa driekwart van de respondenten die in staat waren de waarde van precisielandbouw voor zichzelf vast te stellen, vonden precisielandbouw minstens even waardevol als de prijs die ze ervoor betaald hadden (Finck, 1996). Verwacht wordt dat 51% van de Amerikaanse boeren binnen drie jaar GPS gaan gebruiken en 90% binnen vijf jaar. Men denkt plaatsbepaling vooral te gaan gebruiken bij stikstofbemesting, fosfaat- en kaliumtoediening en onkruidbestrijding en in mindere mate bij bekalking. Toch neemt 40% van de ondervraagden momenteel nog geen gedetailleerde (dat wil zeggen op grid gebaseerde) bodemmonsters in het veld (minimaal gedurende vier jaar), maar laat alleen gemiddelde gegevens per veld bepalen (Finck, 1996). In feite gaat het dan ook niet alleen om adoptie van nieuwe technieken, maar ook om andere manieren van management van (variatie binnen) percelen, gewassen en gegevens. Oogst- en bemestingskaarten geven nieuwe inzichten en kennis die leiden tot meer specifieke managementbeslissingen. Deze kaarten brengen problemen met ziektes, drainage en bodemgesteldheid aan het licht.

Overigens vertoont de acceptatiegraad van precisielandbouw regionale verschillen. Sommige marktonderzoeken komen op percentages van bijna 20 (Davis, 1996). Opvallend is dat als men eenmaal een GPS-toepassing gebruikt, andere toepassingen snel volgen.

De zogenaamde 'early adopters' (voorlopers in het adoptieproces van nieuwe technieken) telen over het algemeen een grotere oppervlakte graan en hebben meer inkomsten uit het bedrijf en hogere hectareopbrengsten dan hun collega's. Boeren die precisietechnologie toepassen zijn doorgaans relatief jong, niet vreemd van computergebruik en laten zich over precisielandbouw adviseren door gewasconsulenten. Tussen gebruikers en nietgebruikers van precisielandbouwtechnieken is geen significant verschil in risicohouding waargenomen (Daberkow en McBride, 1998). Men veronderstelde dat de adoptie van PL-technologie schaalafhankelijk zou zijn. Dit blijkt niet uit de waargenomen adoptie: grotere bedrijven passen sneller precisielandbouw toe dan kleinere.

Een van de beste mogelijkheden om met precisielandbouw te starten, is het installeren van GPS-apparatuur en opbrengstmeters op de maaidorser. Meerjarige (drie of meer jaren) opbrengstmetingen brengen de zwakke (opbrengst)plekken in het veld aan het licht. Tevens wordt een databank gecreëerd van variaties in percelen en gewassen in verschillende seizoenen. Opbrengstmeters op maaidorsers worden vooral aangeschaft op het moment dat de maaidorser wordt vervangen. Bij aanschaf van nieuwe werktuigen is de prijs van deze extra's niet eenvoudig te doorgronden. Ook worden leaseconstructies aangeboden zodat men eerst enkele jaren ervaring met precisielandbouw op kan doen. Figuur 2.4 geeft een indicatie van PL-investeringen in precisielandbouw in de VS. Naast deze investeringsbedragen kunnen de kosten voor begeleiding door voorlichters c.q. providers afhankelijk van de dienstverlening oplopen tot enkele dollars per hectare. Voor veel, met name kleinere bedrijven blijken de hoge investeringsbedragen een belemmering te vormen. Dit duidt erop dat de bedrijfsomvang van invloed is (schaalvoordeel). Klaarblijkelijk bepalen niet zozeer de technische maar vooral de bedrijfseconomische mogelijkheden of akkerbouwbedrijven met PL-activiteiten starten. Met name de investeringen in VRT-technologie (voor uitleg: zie figuur 2.1) zijn zelfs voor grotere Amerikaanse akkerbouwbedrijven hoog. Men laat VRT-toepassingen dan ook door de leverancier van meststoffen uitvoeren (loonwerk). De kosten variëren tussen f 5,-/ha/jaar en f 25,-/ha/jaar, afhankelijk van het aantal werkgangen en het type mestverspreider (gemiddeld voor consumptieaardappelen f 18,-/ha/jaar).

Uitrusten maaidorser met GPS + opbrengstmonitor	14.000 - 20.000
Aanschaf complete truck, geschikt voor meerdere kunstmestsoorten uitgerust met VRT	600.000
Aanpassen bestaande truck, geschikt voor een kunstmestsoort met VRT	40.000

Figuur 2.4 Indicatie van investeringsbedragen voor een opbrengstmeter en zelfrijdende bemestingsvoertuigen (VS, in gld.)

Bron: Casady en Massey (1998).

Kenmerkend voor de Amerikaanse werktuigenmarkt is dat de meeste boeren slechts een merk voor de totale mechanisatielijns op hun bedrijf kiezen wat voordelen geeft wat betreft de compatibiliteit van machines en werktuigen onderling (elektronische, hydraulische en mechanische koppelingen). Op dit punt wijken de Amerikaanse landbouwbedrijven duidelijk af van de Europese waar binnen één bedrijf diverse merken machines en werktuigen gebruikt worden. Dit heeft onder andere te maken met het afwijkende Europese bouwplan (met name rooivruchten) waarvoor soms zeer specifieke mechanisatie nodig is en de vele, overwegend kleine Europese mechanisatiebedrijven die vaak gespecialiseerd zijn in een beperkt aantal werktuigen van een specifiek merk of type. Wat betreft werkbreedte, hydraulische en mechanische koppelingen is sprake van vergaande uniformering maar op het terrein van elektronica en informatietechnologie worden diverse systemen toegepast die niet of slechts gedeeltelijk koppelbaar zijn.

2.3 Europa

In Europa doet een relatief klein aantal boeren (naar schatting circa 1.000) ervaring op met precisielandbouw. In Groot-Brittannië, Duitsland, Frankrijk en Denemarken lijken de ontwikkelingen het verst gevorderd. Hekkert (1999a) schat het aantal boeren dat ervaring opdoet in de drie eerstgenoemde landen op 700.

2.3.1 Groot-Brittannië

In Engeland is GPS sinds 1992 commercieel op de markt. In 1998 waren circa 350 systemen operationeel ¹ voor het produceren van oogstkaarten. In Engels onderzoek (Fountas, 1998) bleek circa 15% van de respondenten PL-technieken te gebruiken. Een karterbedrijf heeft naar schatting 1 miljoen hectare voor boeren gekarteerd met satellieten. Daarnaast heeft een bemonsteringsinstantie circa 120.000 ha bemonsterd waarvan ongeveer 73.000 ha tevens door dit bedrijf is bemest. De adoptie van precisielandbouw wordt belemmerd door de hoge investeringen en het ontbreken van een kosten-batenanalyse. De lastige interpretatie van bodem- en opbrengstkaarten en gebrekkige (agronomische) ondersteuning zijn de belangrijkste knelpunten voor toepassers van precisielandbouw. De apparatuur is verkrijgbaar maar dealers hebben onvoldoende kennis van de mogelijkheden. Een ander zwak punt is dat de agronomische effecten van maatregelen lastig te doorgronden zijn (oorzaak en effect). Het Centre for Precision Farming (Cranfield University, Silsoe) heeft voor precisielandbouw een vijfjarig onderzoeksproject naar 'best management practice guidelines' in uitvoering.

De overheid stelt zich afzijdig op en laat ontwikkelingen op het terrein van precisielandbouw aan de markt over. Verwacht wordt dat supermarkten een impuls geven aan precisielandbouw omdat zij steeds meer waarde hechten aan milieuvriendelijk geproduceerd voedsel tegen lage kostprijzen.

2.3.2 Duitsland

Volgens voorzichtige schattingen zijn in Duitsland bijna 500 boeren met precisielandbouw actief. Het aantal maaidorsers uitgerust met GPS is niet exact bekend maar zal de 500 zeker niet overtreffen. Als belangrijkste knelpunten voor adoptie van precisielandbouw worden genoemd de hoge investeringen, de onbewezen economische voordelen, het gebrek aan uitwisselbaarheid van machines van verschillende producenten en problemen rondom het gegevensbeheer.

In Duitsland is in 1998 een omvangrijk vierjarig PL-project gestart, gesponsord door het Duitse ministerie van onderwijs en wetenschappen. In dit project participeren 17 instituten en 15 agrarische bedrijven. Verdere ondersteuning van precisielandbouw door middel van bijvoorbeeld stimulerings- of fiscale maatregelen of onderzoek vanuit de overheid ontbreekt, zoals ook geconstateerd is in andere Europese landen.

¹ Fabrikanten in volgorde van grootste aantal: Massey Ferguson, RDS, John Deere, Claas LH Agro.

2.3.3 Frankrijk

Bij het Franse ITCF zijn geen telers bekend die PL-technieken toepassen. Het ITCF maakt op haar proefbedrijf te Boigneville van PL-technieken gebruik en heeft verkenningen uitgevoerd naar de mogelijkheden van precisielandbouw (ITCF, persoonlijke mededeling, 1999). De grote landbouwcoöperaties en graanhandelaren praten wel veel over GPS, maar toepassingen zoals opbrengstmetingen zijn niet bekend (Van Esch, AgChem, persoonlijke mededeling, 1999).

De adoptie van precisielandbouw wordt in Frankrijk afgeremd doordat bepaalde merken opbrengstmeters werken met een minimale hoeveelheid straling uit een gamma-stralingbron. Het apparaat is daar verboden. Daarom wordt er aan andere systemen gewerkt, onder andere aan een systeem met volumemeting. Een probleem hierbij is dat het volumegewicht niet constant is maar varieert over het perceel. Een alternatief dat in ontwikkeling is maakt gebruik van micro-/geluidsgolven.

2.3.4 Nederland

In Nederland staat precisielandbouw zoals in de meeste Europese landen nog in de kinderschoenen. Er lijkt zelfs sprake van een kleine achterstand ten opzichte van Engeland, Duitsland en Frankrijk. Desondanks hebben vanaf begin jaren negentig enkele bedrijven PL-technieken (met name GPS) in hun bedrijfsvoering doorgevoerd. Het gaat dan hoofdzakelijk om plaatsspecifieke opbrengstmetingen in granen. Het volgende overzicht laat zien dat het aantal bedrijven dat precisielandbouw toepast of aanbiedt gering is:

- 10-20 akkerbouwbedrijven, inclusief bedrijven waar graanoogst in loonwerk plaatsvindt;
- enkele loonwerkers;
- enkele dealers.

Slechts een akkerbouwbedrijf beschikt zelf al enige jaren over de benodigde technologie op de maaidorser en op enkele andere werktuigen (Gebroeders Van Bergeijk, Zuidland). In de Westerwolde wordt door diverse partijen een meerjarig project Precisielandbouw uitgevoerd (Bedrijf Jansema, Sellingen). Dit project richt zich niet op de technische toepassing van precisielandbouw (GPS en dergelijke) maar vooral op agronomische aspecten (onder andere op variaties in grondsoort, bemestingstoestand en opbrengst van met name fabrieksaardappel en suikerbiet). Enkele loonwerkers beschikken inmiddels over GPS-toepassingen op hun maaidorser en opbrengstmeters. Op die manier beschikt een zeer klein aantal Nederlandse akkerbouwbedrijven inmiddels over een afdruk van opbrengstkaartjes (yield maps) van enkele graanpercelen.

Verschillende wetenschappelijke onderzoeksinstellingen (onder andere in Wageningen UR-verband ¹; Smit en Janssens, 2000a) hebben aspecten van precisielandbouw (in ruime zin) in onderzoek. Binnen het praktijkgerichte onderzoek wordt geen GPS toegepast maar wel onderzocht of precisielandbouw bruikbaar is als bijdrage aan realisatie van duurzame bedrijfssystemen (Dekking en Visser, 2000). Een wetenschappelijk en tevens

¹ Wageningen UR = Wageningen Universiteit en Researchcentrum.

praktijkgericht centrum voor precisielandbouw, zoals dat bijvoorbeeld in de VS en in Engeland gevonden wordt, ontbreekt in Nederland en op het Europese vasteland, hetgeen versnippering van activiteiten op PL-terrein in de hand werkt.

De Nederlandse overheid speelt wat betreft precisielandbouw - net als andere Europese overheden - een bescheiden rol en laat de ontwikkelingen over aan de markt. Fiscale instrumenten om precisielandbouw te stimuleren ontbreken (bijvoorbeeld via de VAMIL-regeling ¹) mede omdat de voor deelname vereiste milieuvoordelen niet direct maar indirect zijn. Andere belemmeringen voor opkomst van precisielandbouw in de akkerbouw zijn de hoge investeringen, het veelzijdige bouwplan met relatief weinig granen, de relatief kleine bedrijfsoppervlakte, onduidelijkheid wat betreft kosten en baten, onbekendheid en de fase waarin de informatie- en communicatietechnologie (ICT) zich momenteel bevindt. Roosenschoon (1999) signaleert dat in de melkveehouderij vele ICT-toepassingen nog onvoldoende worden toegepast wat veroorzaakt wordt doordat:

- systemen niet volledig zijn uitontwikkeld;
- potentiële gebruikers van kennisintensieve programma's onvoldoende achtergrondkennis hebben.

Er is geen reden aan te nemen dat de situatie voor de akkerbouw sterk afwijkt van de melkveehouderij ofwel, de situatie weerhoudt veel ondernemers om te investeren in complexe computertoepassingen met satellietnavigatie. Enkele tijdens dit onderzoek geïnterviewde boeren signaleerden dat diverse akkerbouwers nu al niet of onvoldoende registreren (zelfs handmatig; zie ook hoofdstuk 3) ². Dit rechtvaardigt de vraag of deze ondernemers toe zijn aan een nieuwe generatie high-tech toepassingen. Vermoedelijk spelen minder goede ervaringen met ICT in het verleden of drempelvrees voor automatisering hierbij een rol.

Uit een enquête onder 40 consumptieaardappeltelers bleek dat zij zich weinig zorgen maakten over de eisen van afnemers (Smit en Janssens, 2000b). Een natuurlijke stimulans om te registreren welke behandelingen men op hun gewassen toepaste, ontbrak. Slechts 15% van de deelnemende akkerbouwers bleek gebruik te maken van adviessystemen op de computer. Het aandeel computergestuurde veldspuiten bleek 35% te zijn.

Uit het Bedrijven-Informatienet van het LEI (het Informatienet) blijkt dat in 1997 40% van de akkerbouwers met hakvruchten over een personal computer beschikte; 15% had software voor de akkerbouw en/of voor boekhouding.

2.4 Overige westerse landen

In andere West-Europese landen komen GPS-toepassingen sporadisch voor. Enkele grotere landbouwbedrijven in Oost-Europa beschikken inmiddels over GPS-toepassingen voor opbrengstmeting en bemesting.

Whelan et al. (1998) melden dat er in Australië tweehonderd graanopbrengstmonitoren gebruikt worden.

¹ Regeling Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen.

² Registreren vanwege regelgeving wekt tegenzin; registreren om te leren zal stimuleren.

3. Mogelijkheden en belemmeringen in de praktijk

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de mogelijkheden en belemmeringen die men in de praktijk ziet of ervaart ten aanzien van PL. De gepresenteerde inzichten zijn gebaseerd op interviews met boeren, loonwerkers, leveranciers van werktuigen en meststoffen, fabrikanten van werktuigen en diverse andere betrokkenen.

3.1 Definitieproblemen

In de praktijk blijkt dat de term 'precisielandbouw' vaak onbekend is of niet in zuivere vorm gehanteerd wordt. De akkerbouwers die tijdens het onderzoek geïnterviewd zijn, hadden allemaal van precisielandbouw gehoord zonder een nauwkeurige definitie te kunnen geven. De meesten van hen waren echter al op een of andere wijze bij precisielandbouw betrokken. Voor de akkerbouwsector als geheel zijn zowel de term als het concept echter tamelijk onbekend. Dit wordt door verschillende geïnterviewde boeren en loonwerkers aangegeven. Hetzelfde geldt voor ketenpartijen, met name afnemers. Als men niet weet wat precisielandbouw is, heeft men ook geen idee wat men er mee zou kunnen doen; ideeënontwikkeling komt dan ook niet op gang. Voorlichting door verschillende betrokken partijen en toegespitst op diverse potentiële deelnemers in de keten lijkt noodzakelijk.

Voorzover de term precisielandbouw wel wordt gebruikt, komt het regelmatig voor, ook in het onderzoek, dat men het begrip verbreedt tot 'precisietoepassingen', zoals precisiezaai, rijen- en precisiebemesting en rijenbespuiting. Feitelijk gaat het hierbij om verbeterde toepassing van de gekozen dosis, die evenwel over tijd en plaats uniform is. Druppelirrigatie en fertigatie worden ook wel eens precisielandbouw genoemd, maar zijn het in feite niet zolang er qua dosis en toepassingstijdstip geen onderscheid wordt gemaakt tussen bodemeenheden die qua gewasproductie en -kwaliteit en verliezen naar het milieu onderling verschillend reageren op verschillende (met name extreme) beschikbaarheidsniveaus van water, nutriënten en andere groeibepalende, -limiterende of -reducerende factoren (Rabbinge et al., 1994; Van Alphen en Stoorvogel, 1999). Technisch zou dit wel kunnen mits plaatsspecifieke dosering mogelijk is bijvoorbeeld met computergestuurde installaties, wat erg kostbaar is.

3.2 Mogelijkheden en belemmeringen voor toepassing van het precisielandbouwconcept op het agrarische bedrijf

PL gaat uit van een complete cirkel van meten - advisering en besluitvorming (zaai-, bemestings- en bestrijdingskaarten maken) - (plaats- en eventueel tijdsspecifieke) toepassing - evaluatie, die steeds herhaald wordt zodat de plaatsspecifieke kennis van bodem- en ge-

wasreacties steeds toeneemt en de toepassingen per bodemeenheid en per gewas steeds meer verfijnd kunnen worden, liefst ook nog in afhankelijkheid van het weer (figuur 2.3).

Op geen van de bezochte akkerbouwbedrijven wordt de gehele cirkel van 'meten - advisering en besluitvorming - toepassing - evaluatie' volledig toegepast ter ondersteuning van plaats- en eventueel tijdsspecifieke bewerkingen. Dit wordt alleen gedaan op een aantal percelen van het bedrijf Van Bergeijk, waarbij verschillende onderzoeksgroepen uit Wageningen University and Research Centre (Wageningen UR) betrokken zijn. Toch hebben de ondernemers van alle bezochte bedrijven een duidelijke visie om deze cirkel compleet te maken en daarmee optimaal in te spelen op (vooral) de ruimtelijke variatie op het bedrijf. Zij zien of verwachten daarbij mogelijkheden om met name bemestings- en gewasbeschermingsactiviteiten en mogelijk ook vochtvoorziening (resultierend in onder andere een betere nutriëntenvoorziening) gericht uit te voeren. Daardoor zouden de toegepaste doseringen verfijnd kunnen worden en de totale hoeveelheden wellicht beperkt. Op die manier kan precisielandbouw een middel zijn om (beter) aan Minas-eisen te voldoen. Inzet van precisielandbouw wordt door geïnterviewde boeren en loonwerkers als een signaal gezien naar de overheid toe dat de sector serieus probeert de inzet van chemische gewasbeschermingsmiddelen terug te dringen. Mocht er ooit een quotum op het gebruik van laatstgenoemde middelen ingesteld worden, dan is het zaak de middelen daar in te zetten waar zij het meeste effect scoren.

Door beter aan te sluiten bij variatie binnen percelen moet het mogelijk zijn om naast milieuwinst ook verbetering van de fysieke opbrengst en de kwaliteit van akkerbouwproducten te realiseren. Ook al is de gemiddeld toegepaste stikstofgift (N) bij bijvoorbeeld wintertarwe optimaal, op een deel van het perceel kan toch het vrijkomen van N uit de grond hoger dan gemiddeld zijn, zodat op die plekken de kans op legering en dus op opbrengst- en kwaliteitsverlies groter is. Op deze plekken zou dus met een lagere N-gift volstaan kunnen worden, terwijl op andere plekken juist een iets hogere gift nodig is om de optimale productie ter plekke te bereiken. Voor gewassen als brouwergerst, aardappel en suikerbiet is deze gevoeligheid nog groter, omdat er een sterkere relatie is tussen (uniformiteit van) kwaliteit en uitbetaling. Bij brouwergerst is een eiwitgehalte van 11% vereist. Voor een goede brouwkwaliteit moet dit gehalte niet alleen gemiddeld gehaald worden, maar moet ook de spreiding rond dit percentage klein zijn, zodat de partij een uniforme kwaliteit heeft. Bij aardappel geldt iets soortgelijks voor het onderwatergewicht (o.w.g.) in relatie tot de blancheer temperatuur in de fritesindustrie. Bij suikerbiet zouden de gemiddelde suikergehalte en winbaarheidsindex met precisielandbouw kunnen worden verhoogd. In het geval van de brouwergerst- en aardappelketens kan de industrie tot nauwere kwaliteitsspecificaties overgaan.

In genoemde voorbeelden gaat het vooral om N-bemesting; de relatie tussen P- en K-bemesting enerzijds en opbrengst en kwaliteit anderzijds is veel geringer. Precisielandbouw zou hier ingezet kunnen worden om een voldoende voorraad van beide elementen te realiseren, dus zonder tekorten of overschotten. In het geval van weggewerkte tekorten zou hierdoor een opbrengststijging kunnen plaatsvinden; op Nederlandse akkers komt dit momenteel echter zelden voor. Een beperking van overschotten zou goed zijn voor het milieu, al is de relatie veel minder sterk dan bij stikstof.

In het vervolg van dit hoofdstuk worden verschillende aspecten van de verschillende onderdelen van de 'PL-cirkel' besproken. Het gaat hierbij om de volgende activiteiten en aspecten, waarbij per punt mogelijkheden en belemmeringen worden besproken:

1. meten:
 - plaats, coördinaten;
 - beschikbaarheid van nutriënten;
 - aanwezigheid van ziekten, plagen en onkruiden;
 - opbrengst en kwaliteit;
2. adviseren en beslissen:
 - plaats- en eventueel perceelsspecifieke dosering van nutriënten;
 - plaats- en eventueel perceelsspecifieke dosering van gewasbeschermingsmiddelen en mechanische bestrijding;
3. toepassen:
 - kunstmest: in korrelvorm of vloeibaar;
 - organische mest;
 - gewasbeschermingsmiddelen;
 - onkruidbestrijding;
4. registreren en evalueren.

In paragraaf 3.4 wordt ingegaan op de kosten/batenanalyse van precisielandbouw en in 3.5 en 3.6 op factoren buiten het akkerbouwbedrijf zelf die van invloed (kunnen) zijn op de opkomst van PL.

3.3 Mogelijkheden en belemmeringen van verschillende activiteiten en aspecten van precisielandbouw

3.3.1 Meten

Hoewel geïnterviewden relatief weinig ruimtelijke variatie in de kleinschalige, Nederlandse akkerbouw verwachten, blijkt in de praktijk een eenvoudige oogstkaart van een graanperceel vaak een enorme 'eye-opener'; de variatie in opbrengst blijkt dan dikwijls veel groter en de verdeling van hogere en lagere opbrengsten over de percelen heel anders dan men vooraf heeft aangegeven.

Voor boeren die oog hebben gekregen voor variaties in opbrengst, is de volgende vraag waardoor deze veroorzaakt worden. De antwoorden kunnen liggen in onder andere verschillen in bodemeigenschappen, nutriëntengehaltes en vochtvoorziening, maar ook door plaatselijke ziekte-aantastingen (inclusief aaltjes), onkruidproblemen, toepassingsfouten (bijvoorbeeld een verkeerde afstelling van machines), slecht functionerende drainbuizen of plaatselijke wildschade. Een centraal aspect van precisielandbouw is daarom meten, waarnemen (ook met het blote oog!) en registreren. Veel akkerbouwers schijnen zich hier volgens hun geïnterviewde collega's niet of nauwelijks mee bezig te houden. Bij precisielandbouw is het zaak om bodem- en oogstkaarten en zoveel en gedetailleerd mogelijk andere gegevens vast te leggen. Opvallend is dat akkerbouwers en loonwerkers met positieve verwachtingen voor de opkomst van precisielandbouw zich deze gegevensbehoefte

realiseren en daar nu al op anticiperen door zoveel mogelijk data vast te leggen, bij voorkeur in elektronische vorm.

De concurrentie binnen de loonwerksector wordt als hevig ervaren. Veel loonwerkers zijn sceptisch over de mogelijkheden van PL. Er zijn echter ook loonwerkers die wel enthousiast zijn over het concept, het toepassen (tot heden vooral in de vorm van opbrengstmeting en oogstkaarten) en daarin een mogelijkheid zien om zich te profileren; dit geeft een concurrentievoordeel. Voorlopig levert hun dienstverlening financieel nog niets op, maar de toepassing kan geïnteresseerde boeren als klant trekken. Daarnaast bouwt men in de loop van de jaren een databestand van percelen van klanten op, waar mee men later de (betaalde) dienstverlening kan uitbouwen, bijvoorbeeld in de vorm van bemestings- of andere kaarten. Wel verwacht men op basis van ervaringen in de VS dat hier voor specifieke know-how nodig zal zijn. In deze rol worden loonwerkers dus steeds meer 'service providers'. Overigens vinden veel loonwerkers de vertaalslag van meten naar bemestingskaarten een verantwoordelijkheid van de boer zelf. Ze zouden hierbij wellicht wel een adviserende rol kunnen spelen.

3.3.1.1 Plaats, coördinaten

De mogelijkheden om karakteristieken automatisch aan ruimtelijke coördinaten te koppelen zijn de afgelopen decennia fors toegenomen door de opgang van GPS (hoofdstuk 2). GPS-systemen kunnen op bijvoorbeeld tractoren en maaidorsers worden geplaatst, zodat met sensoren variabelen 'on the go' kunnen worden gemeten en vastgelegd. Het is daarnaast ook mogelijk om met draagbare GPS-systemen door het veld te lopen en waarnemingen met het oog of met handapparatuur aan coördinaten te koppelen.

Voor met name loonwerkers liggen er ook mogelijkheden om door het gebruik van GPS de navigatie van werktuigen te verbeteren. Te denken valt dan aan exacte aansluiting van werkgangen (onderling maar ook bij akkerranden, teeltvrije zones en dergelijke) bij met name zaaien, spuiten en kunstmest strooien, aan zelfregulerende besturing bij mechanische schoffelwerkzaamheden en aan het optimaliseren van de oogstroute op grond van de zaaikaart van bijvoorbeeld suikerbiet. Dit kan tot verbetering van effectiviteit en efficiëntie leiden, mede doordat het mogelijk wordt 's nachts met grote nauwkeurigheid te werken (onder andere spuiten bij windstil weer) en sneller te rijden (bij bijvoorbeeld schoffelen). De benutting van arbeid en machinecapaciteit neemt hiermee toe. Op grotere loonbedrijven kan GPS om nog een andere reden interessant zijn, omdat men hiermee de positie van werktuigen vanuit het kantoor kan traceren en de planning verbeteren.

De nauwkeurigheid van GPS-systemen is weliswaar nog voor verbetering vatbaar, maar gebruik in de landbouw hoeft geen grote problemen op te leveren zolang metingen op het niveau van enkele vierkante meters als voldoende wordt beschouwd en men niet naar bijvoorbeeld plantniveau wenst te verfijnen.

3.3.1.2 Beschikbaarheid van nutriënten

De indruk bestaat dat er in de akkerbouw minder grondbemonstering (minder intensief, minder frequent) verricht wordt dan volgens de regels van goede landbouwpraktijk (GLP) wenselijk zou zijn (Smit en Janssens, 2000b). Als dit zo is, dan zegt dat iets over het ma-

nagement van akkerbouwers. Om de variatie in nutriëntengehaltes in de bodem goed in kaart te brengen zal men bij precisielandbouw meer grondmonsters per oppervlakte-eenheid willen nemen dan normaal gebruikelijk is. Belangrijker is nog de keuze van de locaties van de boorpunten voor grondanalyse, waarbij oogstkaarten (3.3.1.4) behulpzaam kunnen zijn. De vraag is hoe fijn het grid moet zijn om te vermijden dat variaties in gehalten binnen een gridcel groter zijn dan tussen cellen.

Bemonstering heeft een prijskaartje. Een alternatieve manier om de N-bemesting te sturen is meting van de groenheid van een gewas met een chlorofylmeter en koppeling van de optimale stikstofgift daaraan via specifieke ijklijnen, die rasspecifiek blijken te zijn. Dit is dan in één werkgang te doen en blijkt vooral in granen en suikerbiet goed te voldoen; in aardappel wordt hieraan nog gewerkt. In feite gaat het hierbij om een zeer 'korte' cirkel meten - vertalen - toepassen. 'Kort' heeft hier betrekking op tijd en methodologie, namelijk snel en direct, doordat de N-toestand van het gewas gemeten wordt zonder vertragende chemische analyse en niet de N-gehalten van de bodem. Daarbij is het mogelijk met tussenpozen relatief kleine N-giften te geven, niet alleen in granen maar ook in suikerbiet. Het gewas krijgt op die manier nooit een overdosis N, wat zowel goed is voor het gewas als voor het milieu. Het nadeel van een dergelijke methode is dat deze weinig kennis toevoegt aan het integrale kennissysteem over bodem-gewas-weer-management, maar niet iedere gebruiker zal dat betreuren. Aan de andere kant is men niet afhankelijk van de (altijd betrekkelijke) betrouwbaarheid van groeimodellen bij wisselende weersomstandigheden, waar boeren (terecht) kritisch over zijn. Daarnaast is de toepassing eenduidig qua benodigde investeringen en zijn de besparingen op N uit onderzoek vrij goed in te schatten. Bij toepassing in alleen granen is desondanks een oppervlakte van 500 à 1.000 ha nodig om de investering rendabel te maken, zo werd in een interview gemeld.

3.3.1.3 Aanwezigheid van ziekten, plagen en onkruiden

Meting van gewasbeschermingsproblemen is veel lastiger dan van nutriënten, waaruit een bemestingsadvies kan voortvloeien. Ook is de waarde ervan geringer in PL-opzicht.

Bij veel schimmelziekten betekent waarneming van symptomen dat men al te laat is om schade volledig uit te sluiten. Preventieve maatregelen zijn dan immers al niet meer mogelijk. De verspreiding van dergelijke ziektes over het betreffende perceel door de wind gaat zo snel, dat een besluit om afgaande op zichtbare verschijnselen locatiespecifiek wel of niet te bespuiten grote risico's met zich mee lijkt te brengen. Waarschuwingssystemen met weerpalen en elektronische voorspelling van ziekte-ontwikkeling lijken in dit opzicht meer perspectief te hebben. In (Deens) onderzoek werd de dosis van het middel afhankelijk gemaakt van de mate van ziekte-aantasting, de lengte van het gewas (wintertarwe) en de hoeveelheid blad, die binnen het perceel varieerden (Secher, 1997). De dosis kan ook gekoppeld worden aan verschillen in gevoeligheid van perceelsgedeelten door verschillen in vochtigheid, hoogte en dergelijke (Bailey, 1997).

Bij plagen is de beweeglijkheid van de schadelijke insecten een probleem. Als men al gemakkelijk ruimtelijk inzicht in de bezetting van planten zou kunnen krijgen, dan nog kan deze heel gemakkelijk wijzigen en zit er weinig anders op dan een uniforme bestrijding toe te passen. 'On the go'-meting en aangepaste dosering ligt hier ook minder voor de

hand dan bij het voorbeeld van chlorofylmetingen in de vorige paragraaf. Bladhoeveelheid zou echter als plaats specifieke factor meegenomen kunnen worden.

Bij aaltjes is de beweeglijkheid een stuk minder. Plaats specifieke bemonstering op populaties van aardappelcysteaaltjes en de vertaling daarvan naar gedifferentieerde rassenkeuze en plaats specifieke grondontsmetting is in de Veenkoloniën en het Centraal Kleigebied essentieel geweest bij het terugdringen van het gebruik van grondontsmettingsmiddelen. In feite is bij deze problematiek dus precisielandbouw toegepast, al is daarbij GPS niet gebruikt. GPS zou hierbij wel een goed hulpmiddel kunnen zijn door zowel de bodemanalyses als de daaruit afgeleide oplossingen aan coördinaten te koppelen (Janssens et al., 1997). Ook de coördinaten van herhalingsbemonsteringen (na enige jaren, eventueel gecorrigeerd met verspreidingsmodellen voor aaltjes) kunnen hiermee optimaal gekozen worden. Dit is met name van belang bij jonge (dat wil zeggen: niet-egale) besmettingen.

Onkruidpatronen bieden meer aanknopingspunten dan de meeste ziekten en plagen, hoewel ze (net als aaltjes) de neiging hebben uit te waaiëren in de (met name grond)bewerkingsrichting. De Wageningse hoogleraar Kropff wil de komende tijd serieus werk van plaats specifieke onkruidbestrijding maken (Noorduyn, 1999). Volgens Wallinga (1998) kan indien de behandeling beperkt blijft tot die plaatsen waar het onkruid staat, dat wil zeggen in een zone van 50 cm rond het onkruid, volstaan worden met een kwart van de normale hoeveelheid herbiciden. In de interviews werd gesteld dat handmatige registratie van onkruidplekken met een draagbare GPS-installatie te veel tijd kost en dat vliegtuigopnamen te grof zijn. Beeldverwerking van chlorofylbeelden is nog onvoldoende uitgewerkt op het punt van onderscheiding van gewassen en onkruiden. In Duitsland en België wordt aan dit soort sensoren gewerkt.

3.3.1.4 Opbrengst en kwaliteit

Omdat precisielandbouw vooral Amerikaanse wortels heeft, is het systeem tot dusverre vooral geschikt voor het Amerikaanse bouwplan, waarin maaivruchten een grote rol spelen. Van deze gewassen (granen, maïs, soja) is de opbrengst vrij eenvoudig plaats specifiek vast te stellen en op een monitor weer te geven. Voor hakvruchten, met hun variabele vorm en aanhangende grond, is dit veel moeilijker, terwijl men eigenlijk ook wel graag kwaliteitsaspecten zoals suikergehalte (bij suikerbiet) of zetmeelgehalte (bij aardappel) plaats specifiek zou willen meten. Deze in Nederland zo belangrijke gewassen zijn echter mondiaal van minder groot belang, zodat er bij de betreffende constructeurs van oogstmachines tot nu toe veel minder oog voor opbrengstmeting is geweest. Het gaat dan ook om veel kleinere, vaak gespecialiseerde bedrijven dan de grote fabrikanten van machines en werktuigen, waaronder maaidorsers. Er wordt wel aan dit onderwerp gewerkt, maar goed werkende systemen (en dan alleen nog maar voor opbrengstmetingen) kunnen nog niet breed worden ingezet. Dit is een duidelijk probleem voor de Nederlandse akkerbouw, waar het inkomen voor een groot deel uit de hakvruchten gehaald wordt.

Voor een goede opkomst van precisielandbouw in Nederland lijken betrouwbare opbrengstmetingen van aardappel en suikerbiet minimaal noodzakelijk en zo mogelijk ook kwaliteitsmetingen. Voor een effectieve inzet van PL-technieken is het noodzakelijk om de 'managementcirkel' (figuur 2.3) zo compleet mogelijk in te vullen, dat wil zeggen voor het gehele bouwplan.

3.3.2 Adviseren en beslissen

In deze fase gaat het om de vertaling van wat gemeten is naar toepassingskaarten. Deze toepassingskaarten sturen vervolgens werktuigen aan, met name de kunstmeststrooier en de spuitmachine. In de praktijk blijkt die vertaalslag nog vaak een groot probleem. Daarbij is namelijk kwantitatieve kennis vereist over de relaties tussen input en output (zowel opbrengst als kwaliteit) voor verschillende bodemeenheden en weertypen. In het algemeen wordt op agronomisch onderzoek in Nederland bezuinigd, zodat de Nederlandse akkerbouwer op dit terrein niet al te veel hoeft te verwachten.

Mogelijk kunnen zogenaamde zelflerende computersystemen een deel van dit vertaalprobleem oplossen. In een zelflerend computersysteem worden relaties zo goed mogelijk geschat en in een volgend stadium aangepast als nieuwe meetgegevens aan het systeem worden toegevoegd. Dit idee sluit aan bij de in 3.2 beschreven cirkel van meten - adviseren - toepassen - evaluatie. Het is echter de vraag of hiermee voldoende inzicht in de potentiële opbrengst en kwaliteit van ieder relevant gewas op ieder perceel bij verschillende (vooraf onbekende) weersomstandigheden kan worden verkregen. Mogelijk kan het onderzoek dat door afnemers van aardappelen en bieten in studieclubverband en/of in samenwerking met studieclubs gedaan wordt een deel van de kennisleemte opvullen. De (deel)oplossing van zelflerende systemen c.q. neurale netwerken is een braakliggend terrein, omdat werktuigenfabrikanten en softwareontwikkelaars zelf weinig inzicht in deze relaties hebben. Er zal dus samengewerkt moeten worden met agronomen om deze techniek te ontwikkelen en toepasbaar te maken.

In de VS en in Duitsland is een systeem in gebruik of in ontwikkeling waarbij opbrengstkaarten vertaald worden naar afvoer van nutriënten. In het volgende seizoen wordt de bemesting hier plaats specifiek op afgestemd. Dit is een eenvoudige methode die vooral werkbaar lijkt bij nutriënten die weinig beweeglijk zijn. De fosfaatbalans heeft duidelijk veel minder onverwachte en onvoorspelbare posten dan de stikstofbalans.

3.3.3 Toepassen

3.3.3.1 Kunstmest: in korrel- of vloeibare vorm

Voor plaats specifieke toepassing van kunstmeststoffen is een homogene korrel nodig qua samenstelling en grootte (die evenredig is met gewicht). Grotere korrels worden door breedwerpige schotelstrooiers verder weggegooid dan kleinere korrels, waardoor het strooipatroon wijzigt bij veranderende korrelgrootte (onder andere bij ontmenging tijdens het strooien). Dit stelt hoge eisen aan de productie, de opslag, het transport en het uitrijden van kunstmest.

Een alternatief voor korrelkunstmest zou vloeibare kunstmest zijn. Deze is namelijk met een spuitmachine toe te dienen, waarbij regeling per sectie of per spuitdop een grotere mate van verfijning in de breedte mogelijk maakt dan bij een kunstmeststrooier, waarbij alleen per halve werkbreedte (een schotel) gevarieerd kan worden. Die halve werkbreedte is tegenwoordig al snel 15 m, omdat boeren graag (alleen) de spuitsporen willen gebruiken bij het kunstmest strooien; de werkbreedte van de moderne spuitmachines gaat inmiddels al richting 40 m en nog breder. Mocht het mogelijk worden om alle meststoffen per veld-

spruit toe te dienen, dan wordt deze machine beter benut en kan aanschaf of vervanging van een kunstmeststrooier achterwege blijven. Overigens nemen de pneumatische strooiers qua plaatsspecifieke dosering een tussenpositie in; per pijp kan nauwkeurig gedoseerd worden, maar de dosering is wel uniform voor alle pijpen aan de linker- of aan de rechterkant.

Logistiek is Nederland echter nog niet of onvoldoende ingericht op vloeibare kunstmesttoediening. Stikstoftoediening in de vorm van urean is mogelijk maar is minder efficiënt dan van het meest gebruikte Kalkammonsalpeter (KAS). Dit heeft te maken met verliezen in de vorm van ammoniak, wat wellicht beheersbaar is door toediening van denitrificatie-remmers. Andere nutriënten worden in het buitenland en in de Nederlandse tuinbouw ook in vloeibare vorm toegediend, maar zijn vrij duur vergeleken met de korrelvorm. Die hoge prijs heeft onder andere te maken met de hoge veiligheidseisen die de Nederlandse overheid stelt aan opslag en transport van vloeibare meststoffen. De Nederlandse kunstmestindustrie heeft flink geïnvesteerd in korrelinstallaties en zit waarschijnlijk niet te wachten op een massale overgang naar vloeibare meststoffen voor de open grondeelten. Verschillende geïnterviewden uit de industrie hebben dan ook verschillende verwachtingen of wensen of deze overgang daadwerkelijk gemaakt zal worden in de komende jaren. Volgens de een zijn de logistieke en toepassingsproblemen te groot, ook bij de boer zelf (kristallisatie van meststoffen in de opslagtank, risico's op bladverbranding, lastig uit te voeren homogene verdeling van meststoffen met (zeer) lage dosering, zoals micro-elementen). Volgens de ander zijn de voordelen van verbeterde toepassing zo groot dat de telers zonder twijfel over zullen gaan naar vloeibare toepassingen en dat de kunstmestindustrie zal volgen omdat de markt er om gaat vragen. Kasper et al. (1999) komen tot de conclusie dat argumenten waarbij precisielandbouw als trekkende kracht fungeert voor het gebruik van vloeibare kunstmest momenteel (nog) onvoldoende aanwezig zijn.

3.3.3.2 Organische mest

In de Nederlandse akkerbouw speelt naast kunstmest de toediening van organische mest op akkers een belangrijke rol. Vergeleken met een correcte toepassing van kunstmeststoffen (dus onder de voorwaarden van homogene korrelgrootte en -samenstelling, correcte strooi-beelden en correcte besturing) is de toepassing van organische mest (injecteren of breedwerpig verspreiden met direct onderwerken) vaak erg grof. Akkerbouwers klagen erover, dat het vrijwel onmogelijk is om meerdere vrachten met exact dezelfde nutriëntensamenstelling aangevoerd te krijgen. Dat kan dus betekenen dat er op verschillende delen van een bepaald perceel verschillende doses van verschillende nutriënten (mogelijk ook nog met verschillende onderlinge verhoudingen) zijn toegediend, zelfs als de totale hoeveelheid mest per hectare overal gelijk is. Dit laatste is overigens ook niet altijd het geval.

Eigenlijk zou bij het uitrijden van dierlijke mest een toepassingskaart (gebaseerd op GPS) gemaakt moeten worden, zodat de akkerbouwer weet waar welke hoeveelheid mest is toegediend met welke gehalten. Dan kan men later bij de aanvullende kunstmestgiften hiervoor corrigeren. Overigens denkt de praktijk ook in deze richting (Anoniem, 1999). Waarschijnlijk moet de machine hiervoor wel geschikt gemaakt worden bijvoorbeeld door aansturing op segmenten (vergelijkbaar met de secties op een spuitmachines). Bovendien

moeten de nutriëntengehaltes in de mest dan wel min of meer continu gemeten worden bij toediening en niet eenmalig per vracht.

Nog beter zou zijn als de akkerbouwer vooraf al aan zou kunnen geven hoe de toepassingskaart voor fosfaat of stikstof zou moeten zijn en dat de loonwerker die de mest uitrijdt deze als uitgangspunt hanteert (bij voorkeur met een werkelijke toepassingskaart ter controle en ter verdere verwerking bij volgbeslissingen). Men zou de volledige vraag van het relatief weinig mobiele fosfaat volledig organisch kunnen invullen en de overige nutriënten kunnen aanvullen met kunstmest. Omdat de nutriëntenverhoudingen in mest variëren, zou het dan toch nog nodig kunnen zijn om op verschillende plaatsen nutriënten in verschillende verhoudingen aan te bieden. In dat geval wordt toepassing van vloeibare meststoffen met de spuitmachine weer interessant, omdat de moderne apparatuur is uitgerust om meerdere stoffen in verschillende verhoudingen te mengen.

3.3.3.3 Gewasbeschermingsmiddelen

Bij verstandig omgaan met moderne spuitapparatuur (toepassing van de (verplichte) keuring en van een spuitcomputer, uitbalanceren van spuitbomen, luchtondersteuning, kantdoppen, optimalisering van het toepassingstijdstip bij gegeven weersomstandigheden met behulp van een computerprogramma en dergelijke) is plaats specifieke dosering binnen zekere grenzen goed mogelijk. Er kunnen eventueel wat randafwijkingen ontstaan omdat spuitkegels van naburige doppen een gedeeltelijke overlap vertonen; als secties of individuele doppen verschillend aangestuurd worden ('aan/uit' of verschillen in dosering in geval van een injectiesysteem), zal de grens tussen verschillende bodemeenheden niet scherp zijn. Dit lijkt geen probleem, omdat overgangen in de natuur ook altijd geleidelijk zijn.

3.3.3.4 Mechanische onkruidbestrijding

Momenteel wordt gewerkt aan schoffelapparatuur die ook binnen rijen onkruidplanten van cultuurplanten zou moeten kunnen onderscheiden en verwijderen. Dit is vooral belangrijk voor de biologische landbouw waarin men geen herbiciden kan inzetten, terwijl de mogelijkheden om arbeid van buiten het bedrijf te benutten afnemen en de kosten toenemen. Dit probleem kan overigens ook in de gangbare landbouw gaan spelen, gezien de tendens bij afnemers om steeds minder chemische middelen toe te laten bij de teelt van akkerbouwgewassen. Een van 's lands grootste supermarktketens wil zelfs op termijn garanties dat geen herbiciden bij de teelt van hun producten zijn gebruikt (Noorduyn, 1999). Vervanging van zeer plaats specifieke handmatige onkruidbestrijding door technische oplossingen is dus urgent.

3.3.5 Registreren en evalueren

Registratie van alle mogelijke gegevens zal in de komende jaren flink op gang (moeten) komen door regelgeving van zowel de overheid als de afnemers. Akkerbouwers doen dit nog heel weinig uit eigen beweging; als registratie van bovenaf opgelegd wordt, kan antipathie ontstaan. Producten die in de supermarkt verkrijgbaar zijn moeten volgens de afnemers op korte termijn (binnen enkele jaren) een soort 'paspoort' meekrijgen, waarin ver-

meld staat welke stoffen in welke dosis zijn toegepast en eventueel ook welke concentraties van die stoffen in het drainwater zijn gemeten. Dit laatste gaat natuurlijk wel erg ver en behelst veel (ook methodische) haken en ogen. Maar het geeft wel de richting aan waarin gedacht wordt.

Als registratie dus onvermijdelijk is, en met name in de aardappelteelt is de opkomst er van in volle gang, is het zinvol om dit proces zoveel mogelijk te stroomlijnen, bijvoorbeeld door automatisering, en de toegevoegde waarde zo groot mogelijk te maken, bijvoorbeeld door (voorbereiding van) PL-toepassingen. Registratie is dus een 'natuurlijke' ingang voor PL-toepassingen en een aantal geïnterviewden speelt daar ook op in.

De waarde van de extra informatie die de akkerbouwer zelf door de registratie verkrijgt, is moeilijk in geld uit te drukken. Deze hangt sterk af van de toename in inzicht en de verbeteringen die men er mee kan aanbrengen en is dus ook niet eenduidig. Een belangrijk hulpmiddel om de toename van kennis en inzicht zo groot mogelijk te maken is het terugkoppelen en bespreken van de aangeleverde gegevens naar de deelnemende boeren, bijvoorbeeld in studieclubverband; dit laatste kan tegenwoordig zelfs in elektronische vorm, namelijk via e-mail of Internet. Daarbij kan vergelijking met gemiddelde gegevens van andere bedrijven en/of eigen gegevens uit andere jaren sterke en vooral zwakke punten van de besluitvorming en bedrijfsvoering aan het licht brengen. Voor afnemers liggen in deze vorm van bedrijfsbegeleiding kansen om deelname aan registratie en klantenbinding te stimuleren. Voor de deelnemende akkerbouwers staan tegenover de door hen geleverde diensten in de vorm van gegevens en de bijbehorende inspanning gerichte informatie en adviezen, zodat halen en brengen met elkaar in evenwicht zijn (Renkema, 1998).

3.4 Kosten en baten van precisielandbouw

Welke winst precisielandbouw ook op kan leveren wat betreft fysieke opbrengst, kwaliteit en milieubelasting, voor de akkerbouwer is de doorslaggevende vraag hoe de kosten-batenanalyse uitpakt. Wat opvalt is dat niemand een duidelijk overzicht van kosten en opbrengsten heeft. Er is wel een compleet Amerikaans bemestingssysteem dat ook in (Oost-)Europa wordt ingezet en waarvan alle kostenposten achterhaald zouden kunnen worden, maar dit systeem lijkt niet aan te sluiten bij de kleinschalige Nederlandse akkerbouwstructuur met zijn typische bouwplannen (met name door de grote aandelen van aardappel en suikerbiet). Berekeningen die wel op de Nederlandse situatie zijn afgestemd, bevatten een grote mate van onzekerheid, omdat (1) een aantal technieken (behorend bij delen van de 'cirkel') nog in ontwikkeling is, zodat commerciële prijzen daarvan moeilijk te geven zijn; (2) deze prijzen nog kunnen dalen bij grootschalige toepassing; (3) de prijzen voor een abonnement op differentiële GPS-signalen (DGPS) regioafhankelijk zijn. Voorlopige berekeningen leiden al snel tot een bedrag van f 300,- per hectare (Goense, 1998a) en algemeen leeft dan ook de gedachte dat PL-systemen duur zijn.

Aan de batenkant is helemaal weinig gerekend; bijna niemand durft met een bedrag van bijvoorbeeld f 400,- per hectare te komen. Van Kraalingen (1997) noemt voor een aantal gewassen concrete bedragen (tabel 3.1). Zijn rapport is echter door geen van de geïnterviewden aangehaald. Het is waarschijnlijk onbekend buiten Wageningen UR-kringen, mede doordat het in het Engels geschreven is. Ook over de uitgangspunten van de bereke-

ningen is wel discussie mogelijk. Van Kraalingen gaat er namelijk van uit dat bij een normale verdeling van gewasopbrengsten op een perceel een gemiddelde opbrengststijging van 40% van de standaardafwijking kan worden gehaald. Die opbrengstverbetering zou dan vooral plaats moeten vinden in het onderste deel van de curve. Het is echter niet bij voorbaat duidelijk dat de oorzaken van minder dan gemiddelde productie gemakkelijk weg te nemen zijn, bijvoorbeeld door bemesting. Als de oorzaken structureler van aard zijn door bijvoorbeeld bodemstructuur of -samenstelling, zal een hogere bemesting geen opbrengstverhoging geven. Een lagere bemesting lijkt dan zelfs beter op de betreffende perceelsdelen ten behoeve van kwaliteits- en milieu- en mogelijk zelfs opbrengstwinst.

Hekkert (1999b) noemt mogelijke opbrengsten in een bouwplan met graan, bieten en aardappelen in het gunstigste geval van f 90,- per hectare dankzij hogere opbrengsten en f 50,- per hectare aan besparingen op kunstmest. Daar tegenover staan f 180,- kosten per hectare (prijspeil 1998) bij een graanareaal van 80 ha. Dit bedrag is van een begininvestering van f 150.000,- afgeleid, opgebouwd uit een DGPS-opbrengstmeetsysteem op de maaidorser (f 8.000,-), een GIS-systeem en CD-recorder (f 2.800,-), een weegstrooicomputer (f 8.500,-) en bodemkundige kartering (f 16.000,- per hectare).

Waarschijnlijk zijn de baten van precisielandbouw in Nederland geringer dan elders (bijvoorbeeld in Oost-Europa), omdat in ons land vrij hoge opbrengsten gerealiseerd worden; daardoor zijn de meeropbrengsten bij toepassing van precisielandbouw relatief gering omdat in het traject van afnemende meeropbrengsten gewerkt wordt. De marges om tot opbrengstverhoging te komen zijn elders vermoedelijk groter dan in Nederland.

Zolang de boeren geen duidelijk inzicht hebben in de kosten en baten van precisielandbouw én de kosten-batenanalyse niet overtuigend positief uitpakt, zal slechts een enkele akkerbouwer of loonwerker over het concept enthousiast kunnen zijn. Die kosten en baten zullen afhankelijk zijn van bedrijfsgrootte, bouwplan en bodemeigenschappen en de variatie daarin. Daarnaast speelt een rol of bepaalde investeringen 'uitbesteed' kunnen worden aan een loonwerker of een werktuigenvereniging. Een algemeen opgezette kosten/baten-analyse is niet genoeg, want een akkerbouwer zal altijd redenen zien waarom bij hem de berekening anders moet uitpakken dan bij anderen. Wat nodig is, is een helder overzicht van wat op concrete percelen aan opbrengst-, kwaliteits- en eventueel milieuwinst (ook in financiële zin) gehaald kan worden tegen welke kosten. De eventuele milieuwinst is vooral van toepassing bij eventuele heffingen op gebruik of verliezen van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen of bij eisen die in toenemende mate vanuit de afnemers worden gesteld.

Tabel 3.1 Financiële meeropbrengsten bij toepassing van precisielandbouw in een aantal Nederlandse akkerbouwgewassen volgens Van Kraalingen (1997). De kosten van precisielandbouw zijn hierbij niet in rekening gebracht

Gewas	Meeropbrengst (gld. per hectare)
Wintertarwe	280
Consumptieaardappelen	274-584
Pootaardappel	842
Suikerbiet	572
Snijmaïs	194

Wat betreft de baten, men stuit daarbij onmiddellijk op een volgend probleem, wat ook door verschillende geïnterviewden wordt aangegeven: het gebrek aan agronomische kennis op verfijnd niveau. Het gaat dan zowel om inzicht in de werkelijke als in de potentiële niveaus van opbrengst en kwaliteit als om de maatregelen die genomen moeten worden om de potentiële niveaus te bereiken.

De meeste akkerbouwers (en onderzoekers?) hebben geen flauw benul van de mogelijke effecten van precisielandbouw op de opbrengst en de kwaliteit en daarmee op de geldopbrengsten van hun gewassen, op de effecten op het gebruik van nutriënten en middelen, dus op de variabele kosten, en op verliezen naar het milieu, en dus op mogelijke consequenties voor acceptatie door afnemers of op de hoogte van eventuele toekomstige heffingen, bijvoorbeeld in het kader van Minas. Men heeft vaak alleen grote bedragen voor de vaste kosten van precisielandbouw gehoord, zodat het niet verwonderlijk is dat al snel wordt gezegd dat precisielandbouw in Nederland te weinig oplevert. Men ziet meer mogelijkheden voor landen waarin de akkerbouw grootschalig is en naar verwachting de variatie in bodemeigenschappen en gewasopbrengsten groter, mede door grotere hoogteverschillen binnen percelen. Mocht precisielandbouw ook mogelijkheden geven tot arbeidsbesparing, dan neemt de interesse van de Nederlandse boer naar verwachting sterk toe. De 'eerste' geluiden wijzen echter meer in de richting van meer computerwerk en van vaker kleine hoeveelheden meststof of gewasbeschermingsmiddel toepassen.

Investerings in meststofbesparende technieken scoren niet hoog, omdat de beschikbare meststoffen relatief goedkoop zijn; organische mest wordt tegenwoordig zelfs gratis of met geld toe aan akkerbouwers geleverd. Bij gewasbescherming zijn de mogelijke besparingen groter maar tegelijkertijd moeilijker te realiseren.

Zoals in paragraaf 3.3.4 is aangegeven is het moeilijk om de waarde van de extra informatie die door extra meet- en registratieactiviteiten bij precisielandbouw verkregen wordt, in geld uit te drukken. Als deze extra informatie echter goed benut wordt, zou die waarde wel eens ver boven kleine verbeteringen uit kunnen gaan, omdat verbetering van management en innovatie er door gestimuleerd wordt. In de tuinbouw- en varkenshouderijsectoren wordt veel meer gemeten en geregistreerd dan in de open teelten. In die sectoren ziet men ook meer kansen om die informatie om te zetten in verbeteringen op grotere schaal. Nu valt er in de akkerbouw veel minder te meten dan in genoemde sectoren, vooral door de lengte van de productiecycli. Bovendien maakt de invloed van het weer het trekken van eenduidige conclusies moeilijker dan onder gecontroleerde omstandigheden (kassen, stallen). Voor innovatie is bovendien geld nodig. In de akkerbouw zijn de bedrijfswinsten veelal mager vergeleken bij de succesvolle tuinbouwsectoren en is men minder vaak in staat verder te springen dan een strategie van kostenverlaging.

3.5 Precisielandbouw 'leeft niet'

Behalve bij enige 'hobbyisten' onder de akkerbouwers, loonwerkers en onderzoekers 'leeft precisielandbouw niet' in de sector of slechts zeer beperkt. De landbouwkundige publieke opinie is er niet mee bezig, hoewel er toch met enige regelmaat over geschreven wordt. Trouwens, ook van Internet is veel informatie op te halen, maar slechts een deel van de akkerbouwers/loonwerkers (of hun kinderen!) zal dit medium daadwerkelijk gebruiken in

hun informatievoorziening. Behalve dat duidelijke economische perspectieven ontbreken, mist men ook praktijkvoorbeelden. De huidige PL-projecten op het bedrijf Van Bergeijk (Voorne-Putten), de Oostwaardhoeve (Wieringermeerpolder) en het bedrijf Jansema (Westerwolde) zijn voornamelijk onderzoeksprojecten waar weinig demonstraties plaatsvinden. Volgens de betrokkenen zelf is er ook weinig te zien, omdat er voornamelijk naar bodemkundige/agronomische relaties wordt gezocht. Praktische toepassing van PL-technieken, zoals oogstmetingen op de maaidorser, krijgt daar weinig aandacht, met name op het bedrijf Jansema. Demoprojecten (eventueel in internationaal verband) zouden volgens sommige geïnterviewden een goede ingang kunnen zijn om het concept van en de technieken bij precisielandbouw dichterbij de boer te brengen. Bij een dergelijk project moet dan wel de praktische en bedrijfseconomische haalbaarheid aangetoond kunnen worden.

Omschakeling naar biologische landbouw (BL) staat momenteel veel meer in de belangstelling dan PL. Het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV) heeft een duidelijk stimuleringsbeleid voor BL, inclusief duidelijke financiële prikkels. Een dergelijk duidelijk beleid ontbreekt wat betreft PL. De term lijkt op het Ministerie zelfs relatief onbekend te zijn. Voor zover over het concept nagedacht is, wordt het oppakken van precisielandbouw of van innovaties op ICT-terrein in het algemeen aan de markt overgelaten. De VAMIL-regeling, die het mogelijk maakt om milieuvriendelijke investeringen sneller dan gebruikelijk af te schrijven, is tot dusverre niet toegankelijk gebleken. Aanschaf van GPS-apparatuur of opbrengstmeters heeft geen direct effect op het milieu, maar ze zijn onmisbaar binnen het gehele PL-concept, dat wel effect zal hebben. 'De praktijk' vindt het logisch als de VAMIL-regeling verbreed zou worden om 'deze eerste stappen op het PL-pad' te stimuleren met het oog op het langere termijn doel van registratie en duurzaamheid. Een dergelijke verbreding moet niet bij voorbaat kansloos geacht worden, omdat momenteel ook (bepaalde) tractoren in de VAMIL-regeling worden opgenomen. Daarnaast doen zich mogelijkheden voor in het Stimuleringskader Innovatieve Projecten (Commissie Van der Zwan). LNV ziet liever dat de praktijk zelf gemotiveerd is en de mogelijkheden van milieuverbetering en kostenbesparing bij (mogelijke) opbrengststijging omzet in actie. Het verleden heeft geleerd dat een financiële impuls geen garantie is voor het succes van gestimuleerde projecten. Als negatief voorbeeld (geen succes ondanks grote financiële bijdrage) wordt agrificatie genoemd, als positief voorbeeld (succes zonder financiële impuls) nettenteelt bij bollen.

Eén van de geïnterviewden zei dat 'BL momenteel warme politieke belangstelling geniet.' Of de akkerbouwsector daar als geheel blij mee is, is maar de vraag. Een van haar vertegenwoordigers bracht de weerstanden in de sector als volgt onder woorden: 'Veel akkerbouwers zullen ondanks financiële ondersteuning van overheidswege niet overschakelen op BL omdat ze: (1) op termijn geen economisch voordeel van deze omschakeling zien; (2) vinden dat de gangbare landbouw zich al in die richting beweegt; en (3) in veel gevallen liever werken met techniek dan met relatief grote groepen mensen en de beschikbaarheid van arbeidskrachten steeds geringer wordt.' Ook uit ander LEI-onderzoek blijkt dat de animo voor BL gering is, terwijl precisielandbouw in principe voor alle boeren voordelen kan hebben. In ieder geval is handhaving van het opbrengstpotentieel een duidelijk voordeel ten opzichte van BL, wat de overheid in haar lange termijnbeschouwingen over wereldvoedselvoorziening toch aan zou moeten spreken. Er is immers een wereldwij-

de ontwikkeling naar steeds minder productieve landbouwgrond, terwijl de vraag naar (steeds hoogwaardiger) voedsel toeneemt.

3.6 Technische, automatiserings- en organisatorische problemen

Door boeren en loonwerkers die al wel met (voorbereidingen op) precisielandbouw bezig zijn, wordt een aantal technische en automatiseringsproblemen aangegeven die adoptie van PL-technieken niet bevorderen. In de Amerikaanse landbouw is een beperkt aantal leveranciers van trekkers en werktuigen actief. De boer koopt daar vaak een pakket werktuigen van 'dezelfde kleur'. Koppeling van elektrische en computersystemen op de diverse tractoren, werktuigen, sensoren, maaidorsers en dergelijke op het bedrijf vormt daar zelden een probleem. Daarentegen is in Europa een groot aantal gespecialiseerde aanbieders van landbouwmachines actief. Uitwisseling van trekkers en werktuigen van verschillende merken op het gebied van aftakassen en hydraulica is al heel lang geen enkel probleem meer, maar op het gebied van de elektronica is de standaardisatie nog onvoldoende voortgeschreden. Dit is een belangrijke belemmering voor de opkomst van precisielandbouw binnen Europa.

De Europese boer laat zich niet een dictaat opleggen wat betreft merkgebondenheid en dus zal men toe moeten naar volkomen uitwisselbaarheid. Een poging hiertoe is ondernomen in de vorm van het LBS-systeem, het landwirtschaftlicher Bussystem. Hierbij is 90% van de mogelijkheden protocollair vastgelegd, terwijl de laatste 10% door het bedrijfsleven naar eigen inzicht ingevuld kan worden, ter onderscheid van concurrenten. De uitwisselbaarheid is daardoor niet volkomen, hetgeen toch nog praktische problemen kan geven bij datatransport tijdens meet- en aansturingsprocessen. Naast het LBS-systeem wordt nog aan andere oplossingen gewerkt, met name aan een internationaal ISO-standaard. De ontwikkeling van de verschillende systemen blijft tot op heden doorgaan (Goense, 1998b).

Eenzelfde probleem doet zich voor bij de beschikbare software, waarbij uitwisseling van data tussen pakketten dikwijls een onmogelijke opgave is. Er is dus behoefte aan een geïntegreerd softwarepakket (of verschillende pakketten die voldoen aan afgesproken protocollen) waarbij de gegevensuitwisseling, dat wil zeggen meten en registreren, ordenen en analyseren, vertalen en aansturen, probleemloos verloopt. In de praktijk is wel een dergelijk pakket van Amerikaanse oorsprong beschikbaar, maar de indruk bestaat dat verschillende onderzoeks- en ontwikkelingsgroepen in Europa toch opnieuw het wiel proberen uit te vinden. Als redenen daarvoor worden aangedragen dat (1) Amerikaanse pakketten te weinig aansluiten bij de wensen van Nederlandse akkerbouwers en in technologisch opzicht al weer verouderd zijn; en (2) inzet van buitenlandse pakketten wel mogelijk is, maar veel nadelen met zich mee brengt, onder andere op het gebied van syntax, taalgebruik, standaarden, protocollen en conversie.

Gebrek aan coördinatie, waardoor de aanpak van in principe universele problemen versnipperd is, wordt in het landbouwbedrijfsleven als knelpunt gesignaleerd en funktioneert naar de praktijk toe als een drempel. Vermoedelijk is concurrentie een belangrijke oorzaak. Mogelijk is het zo, dat precisielandbouw door deze versnippering niet echt van de grond komt, terwijl bij een gezamenlijke aanpak de kans op doorbraak en daardoor op winst voor vele partijen groter wordt. De meeste 'hobbyisten' laten zich er niet door weer-

houden om toekomstgericht bezig te zijn; voor nieuwe toetreders kan de drempel gemakkelijk te hoog zijn, vooral ook als enige 'toetsenvrees' en 'black box-angst' een rol spelen¹. Eenduidigheid is ook in dit opzicht vereist. Mogelijk betekent het in oprichting zijnde 'Platform 'Precisielandbouw' onder leiding van D. Goense (IMAG) een begin van verbetering op dit vlak. Wat dat betreft is het jammer dat enige jaren geleden SIVAK (Stichting Informatievoorziening Akkerbouw) is opgeheven, dat een coördinerende rol op ICT-gebied had kunnen spelen.

In de interviews komt het beeld naar voren dat bepaalde groepen nog te weinig gecoördineerd bezig zijn met PL, terwijl andere partijen een afwachtende houding aannemen. Ook het betrekken van deze beide groepen partijen bij het ontwikkelingsproces van het PL-concept en de praktijkgerichte invulling daarvan en van ICT-ontwikkelingen in het algemeen zou een versterking kunnen betekenen. Op LNV vraagt men zich ook af welke partij een PL-doorbraak tot stand gaat brengen. Duidelijk is dat het Ministerie zich zelf niet ziet als die partij. Opvallend is dat ook het Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieuhygiëne interesse heeft voor PL. In een studie van TNO-STB voor VROM kwam precisielandbouw als één van de vier belangrijkste projecten naar voren. Dit is voor TNO-STB aanleiding geweest om ook zelf een onderzoek naar precisielandbouw te doen (Nijhuis, 1999).

Organisatie kan ook een probleem zijn op bedrijfsniveau. Akkerbouwers die zelf met precisielandbouw aan de gang gaan, moeten beschikken over meer dan gemiddelde kennis en vaardigheden van techniek en elektronica, computers en software en dergelijke. Voor ondernemers met weinig interesse op dit gebied kan deze complexiteit afschrikwekkend zijn. Hier liggen mogelijkheden voor loonwerkers en werktuigenverenigingen. Door de grotere schaal waarop zij werktuigen met PL-voorzieningen kunnen inzetten, dalen de kosten per hectare ten opzichte van aanschaf op ieder bedrijf afzonderlijk. Daarnaast kunnen zij specialisten opleiden en inzetten voor de bediening en het onderhoud van de betreffende machines en de bijbehorende elektronica. Ook zouden loonwerkbedrijven een rol kunnen spelen op het gebied van dataverwerking, zoals het maken van oogst- en bemestingskaarten.

Ook landbouwsoftwarebureaus, bemonsteringsinstanties en -laboratoria zouden een rol in centrale gegevensopslag en -bewerking kunnen spelen. Informatie wordt dan per modem of internet op een centrale computer geplaatst en daar geanalyseerd, zoals ook bij Phytophthorabestrijdingssystemen wel toegepast wordt. De informatie van individuele deelnemers is niet voor derden toegankelijk, maar wordt wel gebruikt voor het berekenen van groepsgemiddelden. Op deze manier ontstaat een soort elektronische studieclub. Door deze aanpak kunnen de bedienings- en verwerkingsdrempels flink verlaagd worden. In de praktijk zien we dat loonwerkers en softwarebureaus hiervoor open staan. Wel moet er dan duidelijk zicht ontstaan over de gewenste informatica-infrastructuur, inclusief een 'open meteorologisch netwerk' want die is nu nog onduidelijk. Deze ontwikkeling leidt wel tot de noodzaak van beter opgeleid personeel bij de loonwerkbedrijven. Hier kan een beperking

¹ Met 'toetsenvrees' wordt bedoeld het gebrek aan vrijmoedigheid om met de computer te werken, meestal veroorzaakt door gebrek aan ervaring en training op dit terrein. 'Black box-angst' heeft betrekking op processen en berekeningen die op de computer worden uitgevoerd zonder dat de gebruiker (voldoende) inzicht heeft in de werking en achtergronden hiervan.

ontstaan. De praktijk geeft aan dat het middelbaar landbouwonderwijs niet meer voldoende praktijkgericht is. Hier ligt dus een taak voor de AOC's (Agrarische Opleidingscentra).

Vermoedelijk is het niet praktisch om alle activiteiten in loonwerk te laten uitvoeren, omdat bepaalde handelingen, zoals kunstmest strooien en spuiten, erg grote pieken zouden opleveren bij de loonwerkers, wat niet strookt met de gewenste tijdigheid bij PL. Een ander nadeel van het uitbesteden van PL-toepassingen en databeheer en -verwerking is dat de akkerbouwer in sterkere mate afhankelijk wordt van derden en deels niet meer kan controleren wat er gebeurt. Niet alle ondernemers zullen dit gemakkelijk accepteren.

3.7 Ervaringen van gebruikers

Verspreid over bovenstaande paragrafen zijn de ervaringen van gebruikers, loonwerkers en akkerbouwers, terloops genoemd. In het navolgende worden ze nog wat nader uitgewerkt, waarbij uiteraard opgemerkt moet worden, dat op geen enkel bedrijf precisielandbouw volledig wordt toegepast, maar hooguit delen uit de PL-cirkel toegepast worden.

3.7.1 Loonwerkers

De geïnterviewde loonwerkers zijn enthousiast over het PL-concept. De toepassing beperkt zich op dit moment in alle gevallen tot plaats specifieke opbrengstmetingen en het maken van opbrengstkaarten voor voornamelijk granen. Zij zien echter grote mogelijkheden om de verzamelde informatie in de toekomst te gebruiken voor plaats specifieke bewerkingen en daarmee verhoging van opbrengst en kwaliteit van landbouwproducten en verlaging van emissies van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen naar het milieu te bewerkstelligen. Zij zien de opkomst van precisielandbouw dan ook als een bruikbaar instrument om aan de steeds strenger wordende eisen van consumenten, afnemers en overheid te voldoen en gelijktijdig voldoende rendement te blijven halen. Ook de hierbij vereiste registratie wordt met precisielandbouw gemakkelijker te realiseren. Zij zien voor de toekomst winstmogelijkheden, hoewel die op dit moment nog moeilijk te kwantificeren zijn, en dichten zichzelf een grotere rol toe in de akkerbouw, namelijk door enerzijds te werken met gespecialiseerde, voor precisielandbouw geschikt gemaakte werktuigen en apparatuur, en anderzijds door het vastleggen, bewerken en opslaan van plaats specifieke gegevens, het maken van oogstkaarten en eventueel van bewerkingskaarten, zoals bemestingskaarten.

De ervaring leert dat opbrengstkaarten een grote bijdrage leveren aan de bewustwording van boeren, omdat de opbrengsten veelal een grotere variatie vertonen dan zij verwachten en ook de verdeling van hogere en lagere opbrengsten over het betreffende perceel anders uitpakt dan vooraf gedacht. Deze ontdekking zet aan tot bezinning en gesprek en wellicht zelfs tot nader onderzoek over mogelijke oorzaken van de waargenomen patronen, zoals N-bemonstering op basis van de oogstkaarten in plaats van een gemiddeld monster per oppervlakte-eenheid. Loonwerkers die met precisielandbouw bezig zijn trekken actieve, kritische boeren aan, die verder willen komen met hun bedrijf. De interactie tussen enthousiaste loonwerkers en dito akkerbouwers werkt voor beide partijen stimulerend. De meerprijs voor GPS en opbrengstmeters op de maaidorser (ongeveer f 20.000,-) wordt door loonwerkers niet als problematisch ervaren en niet doorberekend naar de klant. De in-

vestering levert een concurrentievoordeel op ten opzichte van andere loonwerkers. Voor toekomstige uitwerking richting bijvoorbeeld bemestingskaarten op diskette (als invoer voor de boordcomputer op de trekker met de kunstmeststrooier) moet wel betaald gaan worden. Om dergelijke kaarten met enige betrouwbaarheid te kunnen maken verwacht men gegevens van minimaal een bouwplancyclus (meestal drie à vier jaren) nodig te hebben.

GPS is een nuttig hulpmiddel op grote percelen en bij grote machines en bij nauwkeurig zaaien, spuiten en rooien. De opkomst hiervan sluit helemaal aan bij de opkomst van ICT in het algemeen, die nieuwe mogelijkheden biedt voor efficiënter werken.

PL en GPS vereisen nieuwe vaardigheden van het personeel van de loonwerkers. Dat moet enerzijds in de praktijk geleerd worden, wat ook enig capaciteitsverlies bij het werk met zich mee kan brengen, anderzijds moet ook het agrarisch onderwijs hierop inspelen. Daarnaast moet de loonwerker of zijn personeel leren werken met computermatige verwerking en systematische opslag van gegevens.

Er kunnen problemen optreden als sensoren, boordcomputers, koppelingen en software niet goed op elkaar afgestemd zijn. Dit luistert nauw. Bij oogstmetingen is calibratie door weging van het oogstproduct op de weegbrug nodig. Originele opbrengstkaarten worden vervolgens omgezet in definitieve kaarten. Deze stap is noodzakelijk om verkeerde conclusies te vermijden en vraagt om een stuk discipline.

De verwachting is dat de ontwikkelingen verder gaan en precisielandbouw gemeengoed wordt. Meer bekendheid, demonstraties en dergelijke kunnen daarbij wel belangrijke stimulansen zijn. De aantallen loonwerkers en boeren die geïnteresseerd zijn in PL, ICT, registratie en innovatie in het algemeen, lijken betrekkelijk klein te zijn.

3.7.2 Akkerbouwers

Boeren ervaren het (laten) maken van opbrengstkaarten als een stuk bewustwording, waaruit bezinning voortkomt. Voor het verklaren van oogstverschillen is het nodig om zelf ook goed waar te nemen en vast te stellen of er bijvoorbeeld wildschade, rhizomanie of legering van graan aan de orde is en niet alles op bodemomstandigheden en daarmee op bemesting te schuiven. Naast oogstkaarten kunnen ploegweerstandskarten een nuttige rol spelen. Voor het maken van bemestingskaarten zijn opbrengstkaarten over meerdere jaren nodig. Vroegtijdig beginnen met (laten) vastleggen van gegevens zoals opbrengsten en bemosteringsresultaten is dus noodzakelijk.

Door grote concurrentie tussen loonwerkers zal het aantrekkelijk zijn om het maken van zowel oogst- als bemestingskaartjes, maar ook het plaatsspecifiek bemesten zelf aan de loonwerker over te laten. De geïnterviewde boeren zijn dus geneigd om het eigenlijke PL-werk aan de loonwerker uit te besteden en zich zelf vooral te richten op het denk- en bewustwordingsproces.

De vertaling van oogst- en andere waarnemingen naar exacte dosiskaarten wordt als een probleem ervaren. De daarvoor benodigde kennis, expertise en specialistische ondersteuning lijken niet of onvoldoende beschikbaar. Het vertrouwen van boeren in computermodellen voor gewasgroei is beperkt, omdat zelfs ingewikkelde modellen steken laten vallen. Ook de koppeling van machines en computers wordt als een probleem gezien.

PL lijkt vooral aantrekkelijk bij grote variaties in bodem en bij grotere percelen. Precisielandbouw komt er wel, maar is op dit moment nog te duur, zeker voor de 'gewone'

boer. De verwachte besparingen op bemestingskosten zijn te laag om precisielandbouw aantrekkelijk te maken. De winst moet dus komen uit opbrengst- en kwaliteitsverhoging en/of het leveren van een meer uniforme kwaliteit.

4. Synthese en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt een synthese van de mogelijkheden en belemmeringen voor precisielandbouw in de Nederlandse akkerbouw gegeven op basis van een analyse van inzichten uit literatuur en interviews. Tevens worden aanbevelingen gedaan om belemmeringen te verminderen en kansen te benutten. Begonnen wordt echter met een schets van de akkerbouw over 20 jaar. Deze is deels gebaseerd op de gehouden interviews.

4.1 De Nederlandse akkerbouw in 2020

Uitgaande van de ontwikkelingen die zich momenteel voordoen in de landbouw en in de maatschappij als geheel, is in de onderstaande tekst een verwachting gegeven over de situatie van de Nederlandse akkerbouw in 2020. Daarbij is ook gebruikgemaakt van de visie en verwachtingen die voorlopers op PL-terrein onder woorden hebben gebracht in de media, op Internet en op gerichte gesprekken in het kader van dit onderzoek.

Over 20 jaar is het aantal akkerbouwers in Nederland nog een derde van het aantal in 2000 en de gemiddelde bedrijfsoppervlakte is verdubbeld. Het bouwplan bestaat voor een groter deel uit specialiteitgewassen, zoals bloembollen, vollegrondsgroentegewassen en kruiden. Een groot deel van het areaal bestaat echter nog steeds uit aardappel, suikerbiet en graan. Men richt zich dus enerzijds op intensieve gewassen met een hoog saldo en anderzijds op de conventionele akkerbouwgewassen, waarbij hoge fysieke opbrengsten met hoge kwaliteit tot een aanvaardbaar saldo, en gecombineerd met een groot areaal, tot een redelijk bedrijfsresultaat moeten leiden. Ter verruiming van bouwplannen is samenwerking met melkveehouders in 'gemengde regio's' regel.

In het algemeen zullen zeer hoge eisen aan kwaliteit in de ruimste zin worden gesteld. Dat betekent dat het gebruik van energie, water, nutriënten en bestrijdingsmiddelen tot een minimum beperkt is op grond van zeer strenge regels. De controle van voedingsmiddelen op residuen en van drain- en drinkwaterkwaliteit op aanwezigheid van nutriënten en bestrijdingsmiddelen zal zeer frequent zijn en gevolgen van 'overtredingen' zullen vergaand zijn; bij overschrijding van normwaarden is het gewas of product onverkoopbaar. Meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen zullen alleen op recept verkrijgbaar zijn nadat een aan LNV gelieerd orgaan de bemestings- en gewasbeschermingsplannen van de akkerbouwer per perceel heeft gecontroleerd en goedgekeurd. Elk gebruik van inputs wordt nauwkeurig geregistreerd. Watergebruik ten behoeve van landbouw zal alleen toegestaan worden bij toepassing in de vorm van druppelirrigatie.

Van het bedrijfsareaal zal 10% uit natuurelementen bestaan waarvan de ligging en samenstelling op regionaal niveau geregeld worden. Natuurelementen en fiets- en wandelpaden zullen niet-lineair op (overigens grote) percelen volgens regionale patronen aangelegd worden. Bewerking van percelen vraagt veel van de manoeuvreercapaciteiten van de chauffeur en van de (steeds grotere en breder werkende) werktuigen. Die chauffeur

is vaak de akkerbouwer zelf, maar in een groot aantal gevallen gaat het om een loonwerker, gezien de hoge prijs van veel moderne machines en werktuigen en een toename van het aantal deeltijdboeren.

Alle gewassen en producten worden tegen wereldmarktprijs afgezet. Bijdragen aan natuur- en landschapsbeheer worden als een vanzelfsprekend, niet vergoed onderdeel van de 'license to produce' beschouwd, die eens per vijf jaar in contractvorm vernieuwd moet worden.

4.2 Toepassingsmogelijkheden en kansen voor precisielandbouw

Gezien de verwachte ontwikkeling van de Nederlandse akkerbouw in de komende 20 jaar, zoals in 4.1 geschetst, lijkt grootschalige ontwikkeling, introductie en inzet van precisielandbouw noodzakelijk en onontkoombaar voor de 'blijvers'. In deze paragraaf worden de belangrijkste mogelijkheden en kansen op een rijtje gezet:

1. door precisielandbouw kunnen de dosis, het toepassingstijdstip en eventueel de vorm (of ras) van zaaizaad en pootgoed, nutriënten, gewasbeschermingsmiddelen en mechanische onkruidbestrijding beter afgestemd worden op ruimtelijke variatie binnen percelen en op tijdsvariatie binnen percelen en tussen jaren. Dit zal leiden tot een betere benutting van de middelen, in sterke mate bij een quotering van nutriënten- en bestrijdingsmiddelengebruik door overheid of afnemer, en in veel gevallen tot een lager totaalgebruik;
2. een lager totaalgebruik van middelen leidt tot directe kostenbesparing en eventueel tot lagere heffingen op nutriënten- (Minas) of bestrijdingsmiddelengebruik. Dit is gunstig voor het saldo op gewas- en bedrijfsniveau. Deze saldoverbetering is noodzakelijk gezien de tendens tot lagere productprijzen van met name EU-marktordeningsgewassen;
3. een beter afgestemd en lager totaalgebruik van middelen leidt bovendien tot lagere kansen op residuen van middelen op oogstproducten en op uitspoeling van nutriënten en bestrijdingsmiddelen naar het milieu. Dit komt de voedselveiligheid, het milieu en de natuur ten goede, zoals in toenemende mate door overheid en afnemers geëist wordt. Als gevolg hiervan dalen bovendien op termijn de maatschappelijke kosten die gemaakt moeten worden om negatieve neveneffecten van akkerbouwproductie op te heffen, met name van het verwijderen van restanten van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen uit water dat bestemd is voor drinkwaterbereiding;
4. door precisielandbouw kunnen de opbrengst, de kwaliteit en de uniformiteit van akkerbouwgewassen verbeterd worden. Aangezien de kwaliteitseisen in de toekomst nog verder zullen toenemen is verbetering van kwaliteit en uniformiteit noodzakelijk om te overleven. De productprijzen blijven gelijk, dat wil zeggen verbeteringen worden niet beloond, maar bij achterblijven komt de acceptatie van producten door afnemers en consumenten in het geding;
5. de bij precisielandbouw aanwezige GPS-instrumentaria maken het de boer en de loonwerker mogelijk door verbeterde navigatie nog nauwkeuriger met grote machines te manoeuvreren. Dit is enerzijds nodig om de zorgvuldigheid waarmee middelen worden toegepast, te versterken, onder andere doordat het spuiten van pesticiden na

- zonsondergang beter mogelijk wordt, met minder drift en mogelijk ook een lager watergebruik als gevolg van respectievelijk lagere wind- en verdampingssnelheden. Anderzijds zet de tendens naar grotere machines door en moet de bewerkingscapaciteit per werker in de akkerbouw toenemen; de grote en breedwerkende machines zijn zonder elektronische hulpmiddelen niet goed en zorgvuldig bestuur- en inzetbaar;
6. de verbeterde navigatie is ook nodig in verband met de aanwezigheid en handhaving van bewerkingsvrije zones, natuurelementen en fiets- en wandelpaden. Deze worden vooraf via GPS in de boordcomputer vastgelegd en automatisch 'ontzien' bij de verschillende bewerkingen;
 7. toepassing van precisielandbouw en van ICT-technieken in het algemeen leidt tot een beter inzicht in de processen die zich afspelen op het akkerbouwbedrijf. Dit komt het ondernemerschap ten goede en daarmee de kansen om het bedrijf voortdurend aan te passen aan de maatschappelijke, technische en economische ontwikkelingen;
 8. in het verlengde hiervan worden de mogelijkheden tot nauwkeurige registratie van de wijze waarop gewassen geteeld worden, aanzienlijk vergroot en vereenvoudigd. Voor efficiënt management van een grootschalig, modern akkerbouwbedrijf is deze ontwikkeling noodzakelijk, aangezien afnemers in toenemende mate garanties willen kunnen afgeven richting de supermarkketens en de consumenten. Daarbij wil men de verantwoordelijkheid voor eventuele afwijkingen van een deel van het aangeboden product terug leggen bij de individuele teler(s);
 9. de verwerkende industrie krijgt door precisielandbouw producten aangeleverd met nauwkeurig vastgelegde informatie over kwaliteit en teeltwijze, zodat het verwerkingsproces en het marktsegment geoptimaliseerd kunnen worden. Met precisielandbouw wordt het ook mogelijk om partijen met verschillende kwaliteit te scheiden, zodat de variatie binnen partijen kleiner wordt en de verwerking gemakkelijker en beter verloopt. Beide toepassingen zullen tot kostenverlaging en/of kwaliteitsverbetering leiden;
 10. zoals 'goede landbouwpraktijk' (GLP) op dit moment de standaard zou moeten zijn op alle akkerbouwbedrijven, zo wordt de aanvulling hiervan met precisielandbouw binnen 20 jaar de nieuwe norm. Als dit niet gehaald wordt, wijkt de afnemer uit naar producten die in gebieden met extensievere of meer zorgvuldige productiewijze geteeld worden. De Nederlandse akkerbouw kan niet om precisielandbouw heen omdat anders de concurrentiepositie in gevaar komt;
 11. in de toekomst zullen door technologische ontwikkelingen de toepassingsmogelijkheden van GPS en andere PL-technieken sterk toenemen en daarmee ook de mogelijkheden om ze te integreren in het bedrijfsmanagement en in de bedrijfsvoering;
 12. door diezelfde ontwikkelingen zullen de technische en elektronische hulpmiddelen voor precisielandbouw goedkoper worden, daardoor beter betaalbaar en vaker standaard op werktuigen worden meegeleverd. Een soortgelijk proces heeft zich met de personal computer en de zaktelefoon voorgedaan;
 13. er doen zich steeds meer mogelijkheden voor tot het in bewaring geven en desgewenst bewerken van bedrijfsgegevens in de vorm van een zogenaamde 'databankbank'. De gegevens worden per e-mail of Internet opgestuurd naar deze bank van databanken en men krijgt automatisch advisering. Ook de leden van elek-

tronische studieclubs kunnen door uitwisseling ('chatten') en bedrijfsvergelijking elkaar aanscherpen. Een voorwaarde voor het slagen van dergelijke projecten is dat er een (inter)nationale informatica-infrastructuur komt.

Samengevat: precisielandbouw draagt er aan bij om aan de steeds strenger wordende eisen van overheid, samenleving en afnemers te kunnen voldoen en om mede daardoor de gewassaldi redelijk op peil te houden bij een tendens van dalende akkerbouwprijzen, grotere arealen per werker en grotere machines. Precisielandbouw moet dus een grote vlucht nemen, maar eerst moet een aantal knelpunten opgelost worden. In de volgende paragraaf worden deze op een rij gezet en bijdragen tot mogelijke oplossingen aangedragen.

4.3 Belemmeringen voor precisielandbouw en mogelijke oplossingen

De noodzaak van precisielandbouw is in 4.1 en 4.2 beschreven; deze is zodanig groot dat iedere agrarische ondernemer er in geïnteresseerd zou moeten zijn. Er zijn echter ook verschillende belemmeringen, die grootschalige invoer in de Nederlandse akkerbouw tot op heden tegen houden. In deze paragraaf worden de belangrijkste genoemd en suggesties gedaan voor oplossing er van:

1. de kosten en baten van precisielandbouw zijn onduidelijk. Er zou eigenlijk een soort bedrijfsspecifiek rekenmodel ontworpen moeten worden voor beide posten, omdat beide erg kunnen verschillen per bedrijf, afhankelijk van bouwplan en gewaskeuze, grondsoort, bedrijfsgrootte en dergelijke en ook van de invloed van eventuele toepassing van PL-technieken door loonwerkers of werktuigenverenigingen. Hier ligt een belangrijke taak voor het onderzoek, zowel op bodemkundig, agronomisch, landbouwtechnisch als op bedrijfseconomisch gebied. De vraag is wie dit onderzoek gaat uitvoeren en wie het initiatief neemt. De vraag naar financieringsmogelijkheden speelt hierbij een belangrijke rol. Ook heeft de loonwerksector hierin verantwoordelijkheid, namelijk om zich meer en breder te verdiepen in de ontwikkelingen op PL-terrein, hun klanten voor te bereiden op de invoering van precisielandbouw en bij te dragen aan duidelijke kosten- en batenoverzichten. Projecten, zo mogelijk in internationaal verband, zouden hieraan bij kunnen dragen;
2. in het overzicht van Hekkert (1999b) in paragraaf 3.4 valt op dat de kosten van bodemkartering een vrij grote rol spelen bij de hoge kosten per hectare. Voor succesvolle adoptie lijkt het dus essentieel dat deze kosten sterk dalen. Momenteel wordt in onderzoek van het Wageningen UR nagegaan hoe met nieuwe, efficiënte, statistisch betrouwbare methoden op bedrijfseconomisch haalbare wijze continue bodemkaarten kunnen worden gemaakt, zo mogelijk ook in combinatie met toepassing van nieuwe sensortechnieken (Bouma et al., 1997);
3. de effecten van precisielandbouw moeten beter in kaart gebracht worden. Deze inzichten moeten met name gebaseerd worden op kwantitatieve relaties tussen bodemeigenschappen, bemestingsniveaus, ziekte-, plaag- en onkruiddruk en weersomstandigheden enerzijds en optimale behandeling anderzijds per gewas, per bodemeenheid en in de tijd. Daarvoor is veel bodemkundig, agronomisch en bedrijfseconomisch onderzoek nodig. Versterking van het Nederlandse PL-onderzoek

en van samenwerking op internationaal gebied is nodig, waarbij variaties in bodem- en gewaseigenschappen en de consequenties daarvan op met name bemesting en gewasbescherming centraal moeten staan. Ook de ontwikkeling en inzet van zelflerende computersystemen c.q. neurale netwerken om genoemde kwantitatieve relaties op niveau van bedrijf, perceel en bodemeenheid te specificeren zouden daarin aandacht moeten krijgen;

4. ook op technisch en ICT-gebied moet het PL-onderzoek versterkt worden om tot uniforme koppelingen en databasestructuren, uitwisselbare datasets op ketenniveau en volledige compatibiliteit te komen. Er moet een ICT-infrastructuur voor de akkerbouwsector komen die voortdurend aan de nieuwste technologische ontwikkelingen wordt aangepast en die in nauw overleg met eindgebruikers goed en goedkoop gebouwd wordt. Bestaande kennis en expertise, met name uit de VS, moeten daarbij volop benut worden. Zo moeten onder andere organische mesttoediening en de registratie ervan met behulp van GPS verbeterd worden. Ook de ontwikkeling van meetsystemen voor opbrengst en kwaliteit van hakvruchten, met name van aardappel en suikerbiet, dient met kracht voortgezet te worden. Hier ligt een taak voor technisch onderzoek en bedrijfsleven;
5. in het verlengde hiervan moet er meer aan coördinatie van onderzoek, ontwikkeling en voorlichting gedaan worden, zowel binnen Nederland als binnen Europa. Te denken valt onder andere aan platforms met een internetsite, waarop praktijkgerichte informatie beschikbaar is en links met onderzoekers, loonwerkers en mechanisatiebedrijven op PL-terrein gegeven worden. Dit zou vanuit Wageningen UR tot stand kunnen komen in samenwerking met voorlichting, landbouw- en loonwerkersorganisaties (DLV, LTO, BOVAL en andere) en de ICT- en (landbouw) mechanisatiesectoren;
6. het PL-concept en de bijbehorende technieken zijn nog tamelijk onbekend in de akkerbouw. Er zouden daarom gemakkelijk toegankelijke (laagdrempelige) demoprojecten moeten komen op verschillende plaatsen in het land waarin effecten van precisielandbouw en van de gebruikte technieken regelmatig getoond worden. Proef- en voorloperbedrijven, waaronder het Plantaardig Praktijkonderzoek, zouden hierin een voorlopersrol moeten spelen. Introductie van precisielandbouw is geen (relatief) kleine verbetering aan een bestaande machine of toepassing, waarvan de effecten eenvoudig te tonen zijn en de kosten en baten eenvoudig uit te rekenen. precisielandbouw betreft een nieuwe vorm van ondernemerschap, een systeemverandering waarbij de gehele keten betrokken is, zodat deze innovatie zowel bedrijfseconomisch als psychologisch een veel groter schokeffect met zich meebrengt dan 'traditionele' innovaties. Hier ligt een taak voor diverse organisaties voor voorlichting en onderzoek, teeltbegeleiders, vertegenwoordigers, industrie, afzet, landbouwmechanisatie, loonwerk en wellicht ook voor 'proces- en innovatiebegeleiders' met sociaal-economische expertise. Qua vorm valt te denken aan vakbladen, internet, platforms en mechanisatieshows/demonstraties. Hierbij moet aandacht besteed worden aan de vraag of de boeren zelf en hun organisaties, zoals LTO, zich wel voldoende realiseren welke ontwikkelingen er gaande zijn (zoals beschreven in 4.1);
7. de gesignaleerde onbekendheid met precisielandbouw en bewustzijn van de te verwachten ontwikkelingen in de komende 20 jaren geldt ook voor de andere partijen in

- de keten, met name bij de afnemers. Dat leidt in het algemeen tot een afwachtende houding, waarbij men hooguit vanuit een ooghoek de ontwikkelingen op PL-terrein in de gaten houdt. Blijkbaar ziet men niet duidelijk de combinatie met de toenemende registratieverplichtingen waarbij de afnemers zelf direct betrokken zijn. In de praktijk wordt elektronische data-uitwisseling tussen telers en afnemers, eventueel ook met andere organisaties, gestimuleerd. Een vrij logische vervolg- of nevenstap is dan ook om zoveel mogelijk betreffende gegevens geautomatiseerd te verzamelen, zoals in bijvoorbeeld de melkveehouderij al op grote schaal gedaan wordt;
8. PL geeft aanleiding tot een sterk toenemende vraag naar computerpakketten voor bijvoorbeeld meting en registratie, het in kaart brengen van bodem- en opbrengstvariëaties, onder ander met behulp van GIS, het vervaardigen van toepassingskaarten voor diverse activiteiten en de koppeling hiervan met boordcomputers en werktuigen. Hier ligt een grote taak voor (agrarische) softwarebureaus in samenwerking met constructeurs van werktuigen en landbouwelektronica, waarbij gezamenlijk hoge eisen gesteld moeten worden aan eenduidigheid, robuustheid en uniformiteit;
 9. LNV en LTO zouden zich veel meer moeten verdiepen in precisielandbouw en andere moderne ontwikkelingen op bijvoorbeeld ICT-gebied en hieruit een doelgerichte visie ontwikkelen waarin de mogelijkheden optimaal worden benut ten dienste van een in alle opzichten duurzame akkerbouw. Dat zou voor de overheid onder andere kunnen betekenen dat de VAMIL-regeling aangepast wordt, zodat adoptie van het PL-concept gestimuleerd wordt, ook als de betreffende aanschaf niet direct een positief effect op het milieu heeft (GPS, opbrengstmeters en dergelijke).

4.4 SWOT-analyse

In deze paragraaf wordt een aantal zaken betreffende de mogelijkheden voor adoptie van precisielandbouw samengevat in de vorm van een SWOT-analyse. 'SWOT' staat voor strengths, weaknesses, opportunities and threats ofwel sterkte en zwakke punten, kansen en bedreigingen (Porter, 1990). Gescoord is op vier adoptiecriteria voor nieuwe technologie (Wossink en Smit, 1998):

1. technisch mogelijk en praktisch uitvoerbaar?
2. milieutechnisch aantrekkelijk?
3. economisch aantrekkelijk?
4. sociaal acceptabel?

Deze criteria zijn in figuur 4.1 afgekort met respectievelijk 'techniek', 'milieu', 'economie' en 'maatschappij'. Enige toelichting bij de vier adoptiecriteria wordt hierbij gegeven. Allereerst komt de vraag aan de orde of precisielandbouw technisch mogelijk en praktisch uitvoerbaar is. Gezien de snelle ontwikkeling van de techniek in het algemeen en van ICT in het bijzonder liggen er grote kansen om bestaande problemen in bijvoorbeeld koppelingen van elektronica, mechanica en hydraulica op te lossen en om meet- en registratiemogelijkheden te vergroten. Op dit moment is er nog een aantal zwakke punten dat opgelost moet worden, omdat ze anders een duidelijke bedreiging voor adoptie van precisielandbouw zullen vormen. Als daarentegen robuuste oplossingen gevonden worden sluit

precisielandbouw aan bij de voortgaande schaalvergroting in de akkerbouw waarbij met steeds grotere machines de arbeidsproductiviteit (in ieder geval uitgedrukt in areaal per man) verhoogd wordt of moet worden.

SWOT-criteria	Criteria voor adoptie a)			
	techniek	milieu	economie	maatschappij
Sterke punten	+	++	+-	+-
Zwakke punten	+	0	++	+
Kansen	++	++	+	+
Bedreigingen	+	0	+	+

Figuur 4.1 SWOT-analyse van de mogelijkheden voor adoptie van precisielandbouw. Voor nadere uitleg van deze term en van de criteria wordt verwezen naar de tekst

a) Uitleg van de scoretekens:

- 0 : voor dit criterium zijn geen sterke of zwakke punten, kansen of bedreigingen aan te wijzen;
- +
- ++ : dit is een zeer sterk of zwak punt, kans of bedreiging;
- +- : dit is een twijfelachtig sterk of zwak punt, kans of bedreiging.

Op het gebied van milieuvriendelijke teelt heeft precisielandbouw zeer sterke punten. Veel akkerbouwers lijken de voorkeur te gaan geven aan een meer technische bijdrage aan de doelstellingen op milieugebied die vanuit overheid en afnemers aan hen opgelegd worden in vergelijking met een omschakeling naar biologische teeltwijzen. Verder nemen in samenhang met precisielandbouw ook de mogelijkheden tot registratie toe die steeds meer vereist is. In het voldoen aan strenge milieueisen en de bijbehorende registratie liggen zeer sterke kansen tot adoptie van precisielandbouw in de akkerbouw.

In de economische kant van precisielandbouw liggen tot op heden zeer zwakke punten. De overzichten die tot dusverre bekend zijn, geven hoge investeringsbedragen aan en kwantificeren niet of nauwelijks de te behalen voordelen op kortere (teeltseizoen) en langere termijn (meerdere jaren). Dit is een duidelijke bedreiging voor adoptie van PL. Deze bedreiging kan omgezet worden in een kans als grondige analyses gedaan en bruikbare overzichten met duidelijke economische voordelen getoond kunnen gaan worden. Datzelfde is mogelijk als akkerbouwers kans zien PL-kosten per hectare te drukken door samenwerking, uitbesteding aan loonwerkers en dergelijke.

Het belang van maatschappelijke acceptatie groeit. Het is de vraag of de maatschappij als geheel zit te wachten op een nog meer op techniek gebaseerde landbouw; een 'natuurlijk imago' lijkt daarentegen hoge punten te scoren. Dit is een duidelijk zwak punt van PL, die zelfs een bedreiging zou kunnen vormen voor adoptie. Als men aan de andere kant in de publieke beeldvorming zou kunnen uitdragen dat de 'high tech-benadering' niet strijdig is met 'natuurlijk' maar juist een geavanceerde aanpak is om het groene aspect van landbouw te versterken, zullen ongetwijfeld veel burgers dat positief weten te duiden. Een gerichte campagne zal dan wel nodig zijn om deze bedreiging in een kans om te zetten.

4.5 Conclusie

De ontwikkeling, verbetering, introductie en toepassing van precisielandbouw zijn volgens de geïnterviewden noodzakelijk om op langere termijn de concurrentiepositie van de Nederlandse akkerbouw te handhaven. Dat vraagt een gezamenlijke inspanning van onderzoek, bedrijfsleven, voorlichting en overheid, waarbij met name een goede coördinatie van activiteiten van cruciaal belang is voor succesvolle opgang van PL. 'Succesvol' heeft dan betrekking op de levensvatbaarheid van de overblijvende akkerbouwbedrijven en van de gelieerde loonwerk-, aanleverende en afnemende bedrijven alsmede op de kwaliteit in zeer ruime zin van de gehele akkerbouwproductie inclusief neveneffecten op milieu, natuur en landschap, die noodzakelijk is voor acceptatie van de producten door de consument.

5. Discussie en eindconclusie

In dit hoofdstuk wordt het gepresenteerde onderzoek kritisch belicht en een eindconclusie getrokken.

5.1 Discussie

5.1.1 Onderzoeksmethode

Als onderzoeksmethode is gekozen voor een combinatie van: (1) een bureau- c.q. literatuurstudie aangevuld met correspondentie met vooraanstaande onderzoekers op PL-gebied in binnen- en buitenland, en (2) interviews onder boeren, loonwerkers en andere betrokkenen. Met behulp van deze methode is het gelukt om vrij veel informatie uit binnen- en buitenland over de stand van zaken rond precisielandbouw te verzamelen. Gebleken is overigens dat niet in ieder (westers) land een goed overzicht bestaat over de aantallen boeren en loonwerkers die met precisielandbouw bezig zijn. Dit gegeven maakte het moeilijk om een compleet beeld van precisielandbouw in de gehele westerse wereld te schetsen.

Voor het in kaart brengen van de Nederlandse situatie stonden oorspronkelijk naast interviews één of twee workshops op het programma. Na de diepte-interviews met de in de Bijlage genoemde betrokkenen ontstond echter de indruk dat het beeld compleet was. De laatst gehouden diepte-interviews droegen veel minder bij aan de inzichten dan de eerste; er trad met andere woorden verzadiging op. Het houden van een workshop zou wat meer interactie tussen diverse betrokkenen teweeg hebben gebracht en zou daardoor een zekere meerwaarde hebben gecreëerd. Die meerwaarde zou dan niet in de eerste plaats uit extra informatie over precisielandbouw zelf bestaan, maar uit inzicht in visies en houdingen van boeren en loonwerkers (en eventueel anderen) die in verschillende stadia van een adoptieproces van precisielandbouw verkeren. De verwachting was echter dat in een dergelijke bijeenkomst toch weer de voorlopers in precisielandbouw zouden domineren, mede omdat zij zich over het algemeen kenmerkten als gedreven ondernemers die relatief veel gelezen, nagedacht en gesproken hebben over het onderwerp in tegenstelling tot 'middelenmoters' en 'achterblijvers' (termen die nogal eens in innovatieonderzoek gehanteerd worden).

Als alternatief wordt overwogen om het rapport op een studiemiddag over precisielandbouw te presenteren, een aantal partijen een inleiding te laten verzorgen en betrokkenen met verschillende achtergrond (praktijk, onderzoek, bedrijfsleven, overheid, afnemers) met elkaar in gesprek te brengen. Een dergelijke opzet zou tevens de broodnodige publiciteit rond dit thema versterken.

Bij adoptie van precisielandbouw zijn veranderingsprocessen nodig, omdat precisielandbouw gepaard gaat met een systeemverandering en daardoor ingrijpende gevolgen heeft voor het management op landbouwbedrijven. Het is daarom aan te bevelen om indi-

viduele boeren die met precisielandbouw aan de slag willen samen te brengen in werkgroepen waarin die veranderingsprocessen begeleid worden. Spelsimulatie en interactieve ideeënvorming (Group Systems) zijn daarbij geschikte instrumenten die door het LEI ingebracht kunnen worden. Spelsimulatie houdt in dat een groep boeren op de computer gevolgen van maatregelen, bijvoorbeeld de invoer van PL, op hun eigen bedrijf kunnen doorrekenen. Daardoor ontstaat gevoeligheid voor de mogelijke effecten, kosten en baten van PL. Bij interactieve ideeënvorming leren de deelnemers van elkaar hoe zij bijvoorbeeld hun management kunnen verbeteren en daarin precisielandbouw een plaats kunnen geven. Het zal duidelijk zijn dat introductie van precisielandbouw niet een relatief passief proces is, maar deel uit maakt van een (noodgedwongen) professionalisering van de landbouw.

5.1.2 Uitkomsten

De uitkomsten van de interviews stemmen in grote lijnen overeen met wat men in de buitenlandse literatuur vindt en met de bevindingen van Nijhuis (1999). Laatstgenoemde onderzoekster van TNO bleek in dezelfde periode een soortgelijk onderzoek te doen, zij het dat haar benadering meer gericht was op de industriële kant van PL. De betreffende TNO- en LEI-onderzoekers ontdekten deze gemeenschappelijke interesse in een laat stadium van beide onderzoeken, zodat vergaande samenwerking praktisch niet meer haalbaar was. Die samenwerking zou versterking van dit PL-onderzoek hebben betekend. Een gemeenschappelijke publicatie zou een goed signaal naar verschillende partijen, onder andere naar de overheid, geweest zijn, namelijk dat precisielandbouw een onderwerp is dat zowel voor technische als sociaal-economische onderzoekers en partijen belangrijk is om op de onderzoeksagenda te plaatsen gezien zijn economische, technische en maatschappelijke relevantie.

De acceptatie van precisielandbouw kan in de landbouwsector en in nog sterkere mate door de maatschappij als geheel afgeremd worden door een zekere afkeer van 'high-tech' die bij verschillende boeren en burgers leeft (Wossink en Smit, 1998). Een benadering met gebruik van geavanceerde technische en ICT-toepassingen lijken haaks te staan op het 'natuurlijke imago' dat deze en gene graag aan de landbouw willen geven.

5.2 Eindconclusie

Precisielandbouw kan en moet in de komende jaren in sterke mate en ketenbreed gaan bijdragen aan de invulling van diverse eisen die door technische en maatschappelijke ontwikkelingen in de westerse wereld gesteld worden of zullen worden. Daarbij moet gedacht worden aan verdere schaalvergroting van bedrijven, percelen en machines, eisen tot zeer matig gebruik en minimale uitstoot van energie, meststoffen en bestrijdingsmiddelen en noodzaak tot verdere opbrengst- en kwaliteitsverbetering van land- en tuinbouwproducten. PL-toepassing bij bemesting levert sec te weinig besparingen op meststoffen op om adoptie aantrekkelijk te maken.

Op agronomisch, technisch en bedrijfseconomisch gebied liggen nog veel vragen en problemen die positief beantwoord c.q. opgelost moeten worden alvorens adoptie van pre-

cisielandbouw op grote schaal verwacht mag worden. Hiervoor is vergaande internationale samenwerking tussen verschillende partijen uit praktijk, onderzoek, onderwijs, voorlichting en bedrijfsleven inclusief afnemers noodzakelijk. Daarbij mag niet vergeten worden dat adoptie van precisielandbouw een grote innovatie is, zodat aandacht besteed moet worden aan managementveranderingen die samenhangen met een verandering van systeem en van systeendenken. Aan de andere kant zijn veel technische ontwikkelingen autonoom, zodat allerlei relatief kleinere ontwikkelingen, zoals de opkomst van kunstmeststrooiers met een doseercomputer en een weegsysteem er aan bijdragen dat de landbouw rijp wordt voor precisielandbouw (Hekkert, 1999b).

Precisielandbouw heeft dus veel mogelijkheden in zich maar kan alleen door een gezamenlijke aanpak van alle betrokken partijen tot de gewenste effecten leiden voor de sector zelf en voor de maatschappij als geheel. Dit rapport is bedoeld als een bijdrage aan de denk- en overlegprocessen die nodig zijn om onder andere die gezamenlijke aanpak te stimuleren.

Literatuur

Alphen, B.J. van en J.J. Stoorvogel, 'A methodology to define management units in support of an integrated, model-based approach to precision agriculture'. In: *European Journal of Soil Science* (Submitted), 1999.

Anoniem, 'Rendemest: gegarandeerde mest voor de akkerbouwer.' In: *Het Landbouwblad* (NLTO), 5, 16, 5, 1999.

Bailey, K.L., 'IPM practices for reducing fungicide use in field crops'. In: D. Pimentel (ed.). *Techniques for reducing pesticide use: economic and environmental benefits*. Chichester, Wiley, 1997, pp. 293-316.

Blackmore, B.S., *Precision agriculture*. Web site <http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/links/SBBook-marks.htm>. Silsoe, UK, Cranfield University, Centre for Precision Farming, 1998.

Bouma, J., H.W.G. Booltink, A.B. McBratney, B.M. Whelan, J.J. de Gruijter en P.A. Finke, *Modelling and measurement by proximal sensing of multivariate spatial and temporal distributions of soil properties at field scale for precision agriculture*. OIO-projectvoorstel, WUR, Wageningen, 1997.

Casady, W.W. en R.E. Massey, 'The growth and development of precision agriculture service providers'. Paper presented at the *Fifth International Precision Agricultural Conference*, St. Paul, Minnesota, juli 1998.

Daberkow, S.G. en W.D. McBride, 'Adoption of precision agriculture by U.S. corn producers'. Paper presented at the *Fifth International Precision Agricultural Conference*, St. Paul, Minnesota, juli 1998.

Davis, S.K., *On the market for site-specific farming*. Farm Journal, cited on web site <http://www.farmjournal.com/farmjournal/article.cfm/786>, 1996.

Dekking en Visser, *Haalbaarheidsstudie hightech landbouw*. PAV, Lelystad, (in wording), 2000.

Finck, C., 'On tap for technology'. *Farm Journal* 120, December 1996, 24, 1996.

Fountas, S., *Market research on the views and perceptions of farmers about the role of crop management within Precision Farming*. MSc-thesis, Silsoe College, Cranfield University, 1998, 84p.

Goense, D., *Op weg naar precisielandbouw. Een high-tech instrument voor ecologisering?* SPIL 155 - 156, 1998a, 35-40.

Goense, D., 'Waar gaat het om in precisielandbouw'. In: C. Doorman (Ed.) *Precisielandbouw*. Studiedag KLV. Wageningen, 18 juni 1998, 1998, pp. 7-17.

Hekkert, G., *Elektronisch paspoort naar de toekomst*. Boerderij/Akkerbouw 84, 11, 3, 1999a

Hekkert, G., *Precisieboeren start aarzelend. Amerikaans systeem moet eerst een Nederlands jasje krijgen*. Boerderij/Akkerbouw 84, 11, 4-7, 1999b.

Janssens, S.R.M., J.G. Groenwold, H. Nijboer en L.P.G. Molendijk, *Prototype Begeleidingssysteem Bodemgezondheid. Voorbeeld van een computertoepassing voor de beheersing van aardappelcysteeltjes*. PAV, Lelystad, 1997, 66 p.

Kasper, G.J., C. Lokhorst en R. Booy, *(on)Mogelijkheden van granulaire en vloeibare meststoffen bij toepassing van precisielandbouw*. IMAG-DLO, Nota P 99-58, 1999, 'niet gepubliceerd'.

Keller, D., *Precision agriculture. The practice is gaining acceptance*. Progressive Farmer, January 1997, cited on web site: <http://www.progressivefarmer.com/features/0197/precision/index.html>, 1997, 2 p.

Khanna, M., O.F. Epouhe en R. Hornbaker, *Adoption of site-specific crop management: current status and likely trends*. Urbana-Champaign, University of Illinois, 1998, 30 p.

Kraalingen, D.W.G. van, *Opportunities for Precision Agriculture*. Wageningen, AB-DLO, Nota 43, 26 p. (excl. bijlagen), 1997.

Nijhuis, E.W.J.T., *Precisie Landbouw en TNO*. Delft, TNO-rapport STB-99-13, 1999, 50 p.

Noorduyn, L., *Minder herbicidengebruik doet onkruid hardnekkiger groeien. Onkruidkundigen willen resistentie tegen gif voorkomen*. WB (Weekblad voor Wageningen UR), 15-04-1999, 8, 1999.

Porter, M.E., *The competitive advantage of nations*. Basingstoke, Macmillan, 1990, 855 p.

Rabbinge, R., W.A.H. Rossing and W. van der Werf, 'Systems approaches in pest management: The role of production ecology'. In: A. Rajan and Y. Ibrahim (Eds). *Proceedings Fourth Int. Conference on Plant Protection in the Tropics, Malaysian Plant Protection Society*, 1994, pp. 25-46.

Renkema, J.A., 'Agrarische bedrijfseconomie: een kwestie van halen en brengen'. *Rede uitgesproken op 29 oktober 1998 bij het afscheid als hoogleraar in de Agrarische Bedrijfs-economie aan de Landbouwwuniversiteit Wageningen*. LUW, Wageningen, 1998, 28 p.

Roosenschoon, P.L., 'Het belang van kennis en registratie bij efficiencyverbetering in de melkveehouderij'. In: A.J. Haverkort en H.S. Horst (eds.). *ICT en teelt: kennisoverdracht van de toekomst?* KLV, Wageningen, 1999, pp. 18-32.

Secher, B.J.M., 'Site specific control of diseases in winter wheat'. In: *Aspects of Applied Biology*, 48, 1997, 57-64.

Smit, A.B. en S.R.M. Janssens, 'Effecten van prijsdaling op inputniveaus in de Nederlandse akkerbouw'. In: *SPIL*, 2000a, (ingediend).

Smit, A.B. en S.R.M. Janssens, *Gewasbescherming in consumptieaardappelen: een kwestie van natuurlijke omgeving, houding en gedrag?* LEI, Den Haag, 2000b, (in wording).

Wallinga, J., *Dynamics of weed populations spatial pattern information and implementations for control*. WAU, Wageningen, dissertation, 1998.

Whelan, B., A. McBratney en B. Boydell, *The impact of precision agriculture*. University of Sydney, Australian Centre for Precision Agriculture, on web site <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/impact.htm>, 1998, 5 p.

Wossink, G.A.A. en A.B. Smit, Sociaal-economische facetten van precisielandbouw. In: M.C. Doorman (ed.), *Studiedag KLV Precisielandbouw 18 juni 1998*. KLV, Wageningen, 1998, pp. 59-63.

Bijlage 1 Lijst van mensen die geïnterviewd zijn of per telefoon c.q. per e-mail benaderd om informatie en visies

H.C. Antonissen,	CSM
J.A.R. Audenaert,	Gebr. Douven B.V.
C. Barendregt,	Barendregt Mechanisatie B.V.
C.D. Blaak,	Loonbedrijf Blaak
B.S. Blackmore,	Cranfield University, Bedford, UK
A.J.G. Dekking,	PAV
D. van Esch,	Ag-Chem Europa B.V.
R.D. Fonkert,	Akkerbouwbedrijf
J.C. Geluk,	Akkerbouwbedrijf/LTO
P.J. Goedbloed,	Proefbedrijf Oostwaardhoeve
D. Goense,	IMAG-DLO
J. Haanstra,	Akkerbouwbedrijf/NLTO akkerbouw
J. Hadders,	DACOM automatisering B.V.
T. Hendriks,	Ag-Chem Europa B.V.
Gebr. Janknegt,	Daily Drip/akkerbouwbedrijf
W.P. Jansema,	Akkerbouwbedrijf
S. Kiefer, Amazone,	Duitsland
F. Kloepfer,	KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft), Duitsland
D. Kottenrodt,	KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft), Duitsland
W.A.M. Kromwijk,	Hydro-Agri
J.M. Lowenberg-DeBoer,	Purdue University, West Lafayette, VS
E.W.J.T. Nijhuis,	TNO-STB
P. Oldenkamp,	Dubex
C. Rieu,	ITCF (Institut Technique des Céréales et des Fourrages), Frankrijk
T. Schiphouwer,	Suiker Unie
B.J.M. Secher,	Hardi-International, Denemarken
W.J. van Staalduinen,	Akkerbouwbedrijf
A.S.M. Tabak,	LNV-DL
F.G.J. Tijink,	IRS
A.J. Visser,	PAV
M. Vrij,	Farm Frites International V.O.F.
E. Zuidema,	Loonwerkbedrijf
W. Zunneberg,	VERTIS B.V.