

syscope

extra

- ▶ Technologie in systeeminnovaties
- ▶ Teelt de grond uit
- ▶ Mestscheiding
- ▶ Precisielandbouw
- ▶ Melkrobot in de wei
- ▶ Duurzaam bodembeheer
- ▶ Logistiek en ICT in de kas



Colofon

SYSCOPE is een kwartaalblad van Wageningen UR waarin ervaringen en resultaten van systeeminnovatieve projecten uit het Beleidsondersteunend (BO) onderzoek en de Kennisbasis (KB) worden toegelicht. Het BO- en KB-onderzoek wordt gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit.

U abonneert zich op dit gratis magazine met een e-mail naar h.vankeulen@wur.nl

Verspreiding van Syscope en overname van artikelen worden aangemoedigd, mits voorzien van deugdelijke bronvermelding.

REDACTIEADRES

Communications Services, Wageningen UR
Postbus 409, 6700 AK Wageningen

REDACTIE

José Vogelesang, Frank Wijnands,
Jessica Cornelissen

EINDREDACTIE

Ria Dubbeldam (Grafisch Atelier
Wageningen)

INTERVIEWTEKSTEN

Leonore Noorduyt (De Schrijfster)

FOTOGRAFIE

Wageningen UR, Anthura, Kempfarm

ONTWERP EN VORMGEVING

Jelle de Gruyter (GAW)

ILLUSTRATIES

JAM/visueeldenken.com

DRUK

Moderndruk b.v., Bennekom

FOTO OMSLAG

Prototype van apparaat voor onkruidherkenning en niet-chemische bestrijding in de gewasrij (Wageningen UR)

Technologie in systeeminnovaties

De agroproductie staat in de 21e eeuw voor een enorme uitdaging. Dat stelt Martin Kropf, rector magnificus van Wageningen Universiteit, in zijn dies natalis-rede van 9 maart. We staan voor de opgave om in 2050 twee keer meer te produceren met twee keer minder inputs, zegt hij, doelend op de mondiale voedselzekerheid en het behoud van natuurlijke grondstoffen. De eerste stap naar duurzame oplossingen voor deze opgave is een goede analyse van de huidige productiesystemen en het benoemen van systeemvernieuwingen die nodig zijn. Technologische uitvindingen kunnen een belangrijke motor zijn voor de benodigde systeemvernieuwingen. Het (recente) verleden heeft dat vaak genoeg aangetoond. Er zijn legio voorbeelden van nieuwe technologieën die geleid hebben tot systeemvernieuwingen op zowel technisch, sociaal-cultureel als institutioneel vlak. Denk aan de enorme impact van de introductie van de telefoon, de computer en het internet op onze maatschappij. Technologische innovaties die bijdragen aan zulke systeemvernieuwingen zijn uit te lokken en te organiseren. Om zulke innovaties tot een succes te maken, is een lange adem nodig en ruimte om te falen. De artikelen in deze Syscope getuigen van deze zoektocht. Graag delen we de geleerde lessen met u.

In dit nummer

- De bijdrage van technologie aan systeeminnovatie** Technologie speelt vaak een sleutelrol bij systeeminnovaties. Welke rol hangt af van de aard van de innovatie. Een beter begrip hiervan kan ertoe bijdragen dat technologische innovatieprocessen beter bestuurbaar worden en versneld kunnen worden. **3**
- Automatiseerder en onderzoekers inspireren elkaar** Plantengroei modellen voor onderzoeksdoeleinden waren niet goed te koppelen aan de logistieke processen op moderne potplantenbedrijven. Plant iT brengt hier verandering in. **7**
- Interview: 'Voorspelbaarheid van de teelt is het belangrijkste'** **9**
- Technologie als vliegwiel voor innovaties** Het ontwikkelingstraject, de impact en het draagvlak kan per technologische innovatie flink verschillen, bleek bij de ontwikkeling van de mobiele melkrobot en onderwaterdrainage. **10**
- Innovatieve systemen halen teelten uit de grond** Het project Teelt de grond uit ontwikkelt voor diverse gewassen in het veld en in de kas emissieloze systemen. **14**
- Mest en urine: van afval naar waardevol product** Het gescheiden houden van mest en urine belooft een hele reeks van positieve effecten, waarmee de veehouderij én de akkerbouw een duurzaamheidsprong kunnen maken. **18**
- Interview: 'Stalklimaat veel beter dankzij snel scheiden mest'** **21**
- Precisielandbouw: slim combineren van nieuwe technologieën** Door technologieën in elkaar te passen kan precisielandbouw hogere opbrengsten gaan leveren met minder input en lagere emissies. **22**
- Revolutie in duurzaam bodembeheer** De uitdaging is om ook onder extreme weersomstandigheden goed te produceren en een goede kwaliteit te leveren. **27**
- Literatuur** **30**



De bijdrage van technologie aan systeeminnovaties

Technologische vernieuwingen leveren een essentiële bijdrage aan de verduurzaming van de agrarische sector. Maar hoe is die bijdrage vanuit de techniek aan systeemverandering te karakteriseren? En hoe kunnen we met technologie het innovatieproces sturen en versnellen?

De systeeminnovatieprogramma's hebben laten zien dat nieuwe toekomstrichtingen voor de agrarische sector te "ontlocken" zijn. Het startpunt hiervoor zijn toekomstbeelden, die aangeven hoe een meer duurzame landbouw eruit kan zien. Ze zijn niet bedoeld als blauwdruk voor de toekomst, maar dienen als inspiratiebron voor het doorbreken van belemmeringen naar duurzamere landbouw-systemen. Schijnbaar onoplosbare knelpunten en tegenstellingen (transitiepunten) worden benoemd en vormen de basis voor geheel nieuwe oplossingsrichtingen. Oplossingen kunnen liggen op het terrein van hardware (technologie), orgware (nieuwe samenwerkingsvormen, regelgeving) of software (nieuwe routines) (Smits, 2000). Om de transitiepunten aan te pakken worden er innovatie-experi-

menten opgezet, om daarmee vanzelfsprekendheden te doorbreken en nieuwe principes en oplossingsrichtingen te zoeken, vaak ook met nieuwe of anders toegepaste technologie. Via workshops, creatieve sessies en stakeholdernetwerken wordt vanaf het begin gewerkt aan betrokkenheid en coalitievorming vanuit de praktijk.

Technologie als aanjager

Technologische vernieuwing is de laatste eeuwen een belangrijke aanjager gebleken voor de ontwikkeling van onze maatschappij en is dat nog steeds. Denk aan de stoommachine en aan de moderne geneeskunde met verfijnde diagnostiek en behandelingstechnieken. Het gaat bij dergelijke langjarige veranderingsprocessen om een

Maatschappelijke betekenis van technologie

Er zijn drie perspectieven om naar technologie in veranderingsprocessen te kijken (tabel 1, pag. 5). Het eerste perspectief legt de nadruk op zogenaamde sleuteltechnologieën die de motor zijn van grote veranderingen. Het tweede perspectief stelt innovatie centraal, waarbij een nieuwe technologie kan worden ontwikkeld vanuit een gewenst toekomstperspectief. Het derde perspectief maakt duidelijk hoe de praktijk altijd bezig is met technische verbeteringen aan machines, processen en producten. De drie perspectieven laten zien dat technologie geen eenduidig begrip is en dat bij elk perspectief andere manieren horen om draagvlak te creëren voor technologische veranderingen en transitieprocessen.

Technologie als sleutel

Een sleuteltechnologie is een algemene, technologische vernieuwing met een grote impact, bijvoorbeeld de benzinemotor of het internet. Dit type technologie leidt tot een breed scala aan nieuwe toepassingen en kan zorgen voor een ingrijpende verandering van de maatschappij (Roobeek, 1988). De technologie zelf is de sleutel hiertoe. Zo wordt nanotechnologie gepresenteerd als een belangrijke sleuteltechnologie van de 21^{ste} eeuw. Wetenschap, overheid en leidende bedrijven verzamelen zich rondom dergelijke sleuteltechnologieën, waarvan concrete toepassingen nog ver in de toekomst kunnen liggen. De overgang naar een *biobased economy* wordt ook gezien als een belangrijke transitieopgave voor de 21^{ste} eeuw. Waterstof- en brandstofcellen krijgen in dit veranderingsproces het label van sleuteltechnologie opgeplakt, omdat er een ruime waaier van nieuwe toepassingen mee te bedenken is. Ze zouden kunnen gaan zorgen voor energievoorziening van mobiele telefoons, voertuigen van elk formaat laten rijden en kleine en grote krachtcentrales laten draaien.

Aan dit soort generieke sleuteltechnologieën wordt een groot veranderend vermogen toegekend, ook door maatschappelijke organisaties. Het is daarom belangrijk om heel zorgvuldig naar de ethische aspecten en de maatschappelijke impact van sleuteltechnologieën te kijken en lessen te trekken uit het verleden. Zo is er veel te leren van de publieke, politieke en ook wetenschappelijke discussies over biotechnologie die opwelden bij de introductie van genetisch gemoedificeerde gewassen, en die tot op de dag van vandaag gevoerd worden. Deze discussies laten zien dat tussen landen grote verschillen kunnen bestaan in opvattingen over de waarde van sleuteltechnologieën voor onze maatschappij.

Technologie als innovatie

Een innovatie is een zichtbare vernieuwing in producten, diensten, processen of organisatievormen. De inzet van publieke middelen en het verbinden van actoren stimuleert dit soort technologische innovatieprocessen. Zo kreeg in 2003 het nationale Innovatieplatform de opdracht de Nederlandse economie om te vormen tot een kenniseconomie. Al snel ontstonden andere innovatieplatforms in regio's of rondom specifieke domeinen, zoals visserij of zorg. In dergelijke innovatieplatforms staat een intensievere samenwerking tussen bedrijfsleven, kennisinstellingen en overheden centraal. Steeds vaker nemen ook maatschappelijke partijen deel aan de innovatieplatforms (Geels, 2004). Een belangrijke opgave is om een zodanige omgeving te creëren dat partijen – die soms wantrouwend tegenover elkaar staan – zich open durven te stellen en verrassende, nieuwe verbindingen met elkaar aan durven te gaan. Via *incubators* met experimenteerruimte kan vernieuwende technologie uitkristalliseren en eventueel leiden tot latere grootschaligere veranderingen (Geels and Raven, 2006).

Technologie als praktijk

Het derde perspectief bekijkt technologie als het gebruik van kennis en kunde in een maakproces, zoals het bouwen van een kas of het behouden van bodemvruchtbaarheid. Technologie betekent dan een continu proces van problemen oplossen, en benadrukt bijvoorbeeld de kunde van boeren en het midden- en kleinbedrijf (Richards, 1993). De nadruk ligt minder sterk op de machines of instrumenten zelf. Het gaat om slim gebruik van technologie en de inzet van kunde in specifieke omstandigheden (Hard, 1994; Suchman, 1987). Hierbij wordt door *trial and error* en stapsgewijze verbeteringen steeds meer kennis en kunde vergaard (Basalla, 1988). Technologische veranderingen hebben aldus een evolutionair karakter – ze worden bijvoorbeeld van vader op zoon of van seniorvakman naar juniorvakman overgedragen – maar zijn weinig stuurbaar. Dat komt onder andere omdat bedrijven alleen selecteren uit oplossingsrichtingen die ze zelf kennen. Deze verbeteringen kunnen brede navolging krijgen, maar andere, wellicht ook goede oplossingsrichtingen niet. Op deze manier geeft de praktijk al improviserend richting aan technologische en maatschappelijke verandering en continuïteit aan de bedrijfsvoering en concurrentiepositie.

Sietze Vellema

Tabel. De relatie tussen technologie en maatschappij in transitieprocessen.

	Technologie als sleutel	Technologie als innovatie	Technologie als praktijk
Perspectief op technologie	sleuteltechnologieën leiden tot nieuwe maatschappelijke constellaties	technologische vernieuwingen ontstaan bij voldoende experimenteerterruimte	een opstapeling van technische oplossingen in praktijken op lokaal niveau
Onderzoek gammawetenschap	onderzoek naar de acceptatie van technologische oplossingsrichtingen door de samenleving	onderzoek naar nieuwe relaties tussen actoren en nieuwe arrangementen als gevolg van technologische innovatietrajecten	microanalyse van praktische “maakprocessen” en hoe door selectieprocessen technologische veranderingen bekijken

verscheidenheid aan (systeem)innovaties, die op den duur (achteraf beschouwd) te benoemen zijn als een transitie. Daarbij zijn socio-economische, culturele en technologische aspecten sterk met elkaar verweven (Jansen en Vergragt, 1993).

De Wageningse wetenschapper Sietze Vellema schetst drie manieren waarop technologie een rol speelt in veranderingsprocessen (pag. 4). Sleuteltechnologieën resulteren in een algemene vernieuwing met een grote impact. Zichtbare vernieuwing in producten en diensten is het resultaat van inzet van technologie in innovatieprocessen. En tot slot is er technologie in de vorm van een continu evolutionair proces. Met deze geformuleerde zienswijzen is de rol van technologie in systeeminnovatieprocessen beter te benoemen.

Sleuteltechnologie

Sleuteltechnologieën hebben, zo laat de geschiedenis zien, een geweldige impact en een lange doorlooptijd voordat ze in vele sectoren zijn uitgerold. Bij de ontwikkeling van precisielandbouw en duurzaam bodembeheer is te zien hoe sleuteltechnologieën uit andere sectoren de basis vormen voor een systeemsporg naar duurzamere praktijken (pag. 22 en 27). Veel aandacht is nodig om in deze nieuwe omgeving de voorziene voordelen te valideren en de technologie operationeel te maken. Dat is ook te zien in het project Plant-iT in de glastuinbouw, waar gewerkt wordt aan een nieuwe generatie logistieke besturingssystemen en waarin kennis vanuit de ICT en plantengroei (groeimodellen) bijeen worden gebracht. De innovatie ontstaat in dit geval via een nieuwe verbinding op het snijvlak van twee sectoren (pag. 7), waarbij de sleuteltechnologieën – ICT en modellering – op een nieuwe manier aan elkaar worden verbonden. Voor deze kruisbevruchting is samen-

werking tussen deskundigen uit verschillende sectoren cruciaal. Dit ontstaat pas als elke partner voldoende perspectief ziet in de nieuw te ontwikkelen producten en/of diensten.

Technologische innovatie

In alle landbouwsectoren zijn technologische innovaties aan te wijzen die van groot belang zijn geweest voor de economische ontwikkeling. De komst van substraatteelt in de glastuinbouw, nettenteelt in de bollensector, zaai- en oogstmachines in de akkerbouwmatige teelt van vollegrondsgroenten en melkmachines in de veehouderij zijn sprekende voorbeelden. Het laat zien dat de Nederlandse landbouwsector excelleert in het toepasbaar maken van uitvindingen. Zo ontdekten onderzoekers in Denemarken de substraatteelt, maar Nederland wist er een nieuwe technologische innovatie en exportproduct van te maken (Vijverberg, 1996; Oosten, 2000).

De huidige drive voor innovatie komt niet meer alleen voort uit economische perspectieven, maar zeker ook uit de noodzaak voor verduurzaming en de daarvoor benodigde systeemsporgingen. Zo is het scheiden van mest en urine één van de kerningrepen voor een duurzaamheidsprong in de veehouderij. Het inpasbaar maken van deze technologie in de bedrijfsvoering en de keten vergt een serie vernieuwingen, waarvoor samenwerking van kennisinstellingen, overheden en bedrijfsleven hard nodig is (pag. 18). Ook bij de mobiele melkrobot (pag. 10) en teeltsystemen los van de grond voor vollegrondsgroenten (pag. 14) gaat het om technologische veranderingsprocessen, waarbij vele partijen betrokken zijn. Die nieuwe verbindingen noemt Vellema essentiële voorwaarden voor het succesvol innoveren met technologie als basis.



Onderwaterdrainage vermindert de bodemdaling in het veenweidegebied.



Onder andere voor prei worden emissieloze teeltsystemen ontwikkeld.

Evolutie

De derde lijn waarlangs technologische ontwikkelingen bijdragen aan de gewenste verduurzaming is het continue verbeteringsproces waarin kennis en kunde zich steeds verder ontwikkelen. Het leidt tot een minder zichtbare technologische innovatie, maar het levert wel veel nieuwe slimme toepassingen op. De continue uitdaging van de landbouw om meer te produceren met inzet van minder productiemiddelen is in dit perspectief te plaatsen. Het gaat erom hoe en waarvoor technologie in te zetten is voor nieuwe landbouwmethoden en hoe deze zich kan doorontwikkelen. De drijfveer voor duurzaam bodembeheer met zo min mogelijk bodemverdichting is een steeds verdere verbetering van de mechanisatie (pag. 27). De evolutionaire weg van technologie krijgt vorm vanuit de motivatie, betrokkenheid en visie van belanghebbenden. Je kunt zeggen van onderuit, vanuit de praktijk.

Faciliteren van innovatieprocessen

Inzicht in de aard van de innovatieprocessen waarin techniek een grote rol speelt, helpt om die processen beter te kunnen faciliteren en te sturen. Opkomende innovaties in de praktijk die de potentie hebben om bij te dragen aan de gewenste verduurzaming, kunnen ondersteund worden door het netwerk rondom deze innovaties te versterken. Kennisinstanties kunnen een belangrijke bijdrage leveren door behalve onderzoek ook uiteenlopende faciliterende diensten te verlenen bij de opstelling van gezamenlijke toekomstvisies en innovatieagenda's en bij het leggen van nieuwe verbindingen tussen organisaties en platforms. Dit alles draagt bij aan versterking van het innovatief vermogen van ondernemers (Elzen et al., 2009).

Bij technische innovatie via het (re)combineren van technologieën uit diverse sectoren en domeinen hangt het succes af van de mate waarin verschillende stakeholders zich met elkaar weten te verbinden. Dat betekent dat veel geïnvesteerd moet worden in de kwaliteit van de samenwerking en dat alle betrokkenen er baat bij moeten hebben. Het zoeken naar nieuwe toepassingen van sleuteltechnologieën vergt samenwerking van leidende bedrijven, wetenschap en overheid, al is daarmee succes niet bij voorbaat gegarandeerd.

Voor alle technologische vernieuwingsprocessen geldt dat via *trial and error* nieuwe combinaties en uitwerkingen van technologieën ontstaan, als basis voor een duurzame landbouw in de toekomst. Of nieuwe oplossingsrichtingen krachtig worden doorgezet, hangt van meer factoren af dan alleen de technologie, zo leren we uit de praktijk. Belangrijke factoren zijn het eigenaarschap van de gewenste verandering (wie wil deze verandering: de overheid of het bedrijfsleven?), het gevoel van urgentie (is de tijd er rijp voor?), de mogelijkheid om meer duurzame oplossingen "te verwaarden" (wordt de investering terugverdiend?), de complexiteit van de oplossingsrichting (hoe moeilijk is het om de oplossing te realiseren en wie is er allemaal bij nodig?) en de mate waarin ingegrepen moet worden in bestaande organisatiestructuren en wet- en regelgeving (welke aanpassingen zijn nodig in wetten en voorschriften en organisaties?).

De artikelen in deze Syscope laten zien dat de genoemde factoren een grote rol spelen bij vernieuwingsprocessen in de landbouw.

José Vogelesang en Frank Wijnands



Automatiseerder en onderzoekers inspireren elkaar

De glastuinbouw gebruikte tot voor kort alleen plantengroeimodellen om de gewasgroei te beschrijven. Ze waren niet goed te koppelen aan de logistieke processen op moderne bedrijven. Hier komt verandering in door het project Plant-iT. Voor het eerst werken logistieke ICT-ers en plantenfysiologen samen aan een nieuwe generatie bedrijfsoplossingen, waarin groene kennis en logistiek echt geïntegreerd worden.

De intensieve samenwerking tussen kwekers, veilingen, handel en toeleveranciers in de glastuinbouw leidt voortdurend tot nieuwe toekomstgerichte initiatieven. Zo heeft automatisering een grote vlucht genomen. Denk aan geautomatiseerde klimaatregeling om de temperatuur, de luchtvochtigheid en het CO₂-gehalte zo precies mogelijk in te stellen. Denk ook aan geautomatiseerde logistiek, die met name in de potplantenteelt een vlucht heeft genomen. Omdat potplanten in de opeenvolgende groeifasen verschillende klimaatcondities nodig hebben om optimaal te groeien, worden ze af en toe naar andere kasafdelingen gebracht. Steeds meer potplantenbedrijven zetten bij dit soort interne, logistieke processen machines en robots in.

Voorloperbedrijven proberen met ICT-tools de logistieke processen op hun bedrijf verder te automatiseren. Daarmee is de inzet van arbeid verder terug te brengen (kostenbesparing) en nog nauwkeuriger en efficiënter te produceren. Aan de optimalisering zit wel een grens. Om de bedrijfsvoering op een echt hoger plan te

krijgen, zijn systeemsprongen nodig. Logistieke modellen gecombineerd met plantengroeimodellen zijn zo'n systeemsprong naar een volledig geautomatiseerde productie. Het project Plant-iT werkt aan de integratie van die modellen voor drie uiteenlopende plantensoorten: orchidee, anthurium en ficus (zie kader).

Consortium

Plant-iT bestaat uit een consortium van onderzoekers van Wageningen UR, logistiek automatiseerder De Wilgengroep, toeleverancier Berg Product en zes voorloperbedrijven. In dit consortium zijn dus groene en logistieke kennis verenigd. Het consortium werkt aan het verbinden van plantengroeimodellen aan planningssystemen van potplantenbedrijven. Het doel is dat telers een betere controle op het teeltproces krijgen. Want door de toenemende complexiteit van potplantenbedrijven, kan het geheel behoorlijk onoverzichtelijk worden. Op de bedrijven zijn namelijk partijen van verschillende potplantensoorten tegelijkertijd aanwezig

Wat doen de modellen van Plant-iT?

De basis van Plant-iT zijn modellen die de groei van de plant en zijn uiteindelijke vorm voorspellen. De groeimodellen houden rekening met plantfysiologische basisprocessen, zoals fotosynthese en de ontwikkelingssnelheid van bladeren (Dijkshoorn-Dekker, 2002; Buwalda et al., 2004; Carvalho et al., 2006). Voor de berekeningen wordt uit een partij potplanten van tien stekjes enkele plantkenmerken gemeten en in het model van de plantensoort ingevoerd. Die kenmerken wisselen per soort. Bij ficus zijn onder meer plantlengte en het aantal internodiën belangrijk; bij orchidee het aantal bladeren en het bladoppervlak. Voor bloeiende planten zijn aanvullende gegevens nodig over de bloei. Ook worden klimaatgegevens, de hoeveelheid doorvallend licht, de plantdichtheid en de geplande momenten van wijder zetten ingevoerd. Het model berekent met deze gegevens de hoogte en de gevuldheid en daarmee de vorm van de plant. De uitkomsten geven een voorspelling van de te verwachten kwaliteit van de partij planten en ook wanneer de partij aan de criteria voldoet om te worden afgeleverd. De kweker kan tijdens de teelt bijsturen door planten wijder te zetten of de teelttemperatuur aan te passen door ze naar een andere afdeling te brengen. De kweker kan de planten tussentijds ook met camerasystemen opnieuw in groepen sorteren, bijvoorbeeld in voorlopers, gemiddelde planten en achterblijvers. Deze groepen kan hij desgewenst aparte teeltcondities geven om uiteindelijk homogener partijen te krijgen. Het model kan, uitgaande van de nieuwe situatie, een nieuwe up-to-date berekening van de plantvorm en het aflevermoment maken. Camera's kunnen de simpele parameters die de plantvorm bepalen ook aan individuele planten meten. Zo komt er feedback op de modelberekeningen. Sommige ficus- en orchideeënkwekers integreren zulke camerametingen al in hun afleversysteem. Deze groene informatie neemt de logistieke automatiseerder van Plant-iT op in de planningsmodellen.

en ook nog eens in uiteenlopende groeistadia. De modellen die Plant-iT ontwikkelt, moeten potplantentelers helpen om orders beter te plannen. Hierdoor kunnen de telers partijen potplanten gaan afleveren op het juiste tijdstip, in de gewenste hoeveelheid en met de vooraf afgesproken kwaliteit.

Samenwerking

De planningsmodellen moeten ook samenwerking tussen telers mogelijk maken, zodat ze samen grote homogene partijen kunnen gaan aanleveren. Dat kan omdat de modellen allerlei mogelijkheden bieden om tijdens de teelt veranderingen door te voeren, zoals het eerder of later wijder zetten van planten of tussentijds sorteren op kwaliteitskenmerken. Het uiteindelijke resultaat is dat ondernemers betere prognoses kunnen geven van hun eindproducten en daardoor een betrouwbaardere partij worden voor hun afnemers. Een ander groot voordeel van Plant-iT is dat de onbenutte ruimte in kassen kan afnemen. De huidige praktijk is dat tot 15 procent ongebruikt blijft om de logistieke processen zoals wijderzetten en verplaatsen van planten mogelijk te maken. Met modellen van Plant-iT moet dat percentage aanmerkelijk terug te brengen zijn. De ondernemer krijgt eerder en beter zicht op hoeveel ruimte elke partij potplanten in elke teeltfase in beslag neemt, waardoor het niet meer nodig is reserveruimte in te plannen. Die ruimte is dan te benutten voor het opzetten van nieuwe partijen. Plantengroei modellen koppelen aan technische besturingsprocessen,

zoals het wijder zetten van planten om ze groeiruimte te geven, is gemakkelijker gezegd dan gedaan. De groeimodellen zijn in eerste instantie ontwikkeld door onderzoekers om plantgroeiprocessen beter te kunnen begrijpen. Deze modellen zijn complex en hebben veel verschillende sturingsvariabelen. Ze sluiten dus niet per definitie goed aan op de ICT-architectuur die de logistieke automatiseerders gebruiken voor tuinbouwbedrijven. Onderzoeker Fokke Buwalda van Wageningen UR ontwikkelt daarom samen met collega Filip van Noort nieuwe groeimodellen. Buwalda: 'Door de samenwerking met de ICT-mannen van Berg Product worden we echt gedwongen plantmodellen volgens een vaste structuur te maken en vooral modulair te bouwen. We zijn hierdoor echt anders gaan werken.' Eerder ontwikkelde Buwalda al dynamische sturingsmodellen voor de paprikateelt (Arkesteijn, 2007) en potplantenteelt (Arkesteijn, 2009). In Plant-iT bouwt hij hierop voort. Mark Fikkers van Berg Product: 'Buwalda en ik spreken dezelfde taal. Onze ICT en zijn dynamische sturingsmodellen kunnen prima op elkaar aansluiten. Door integratie met de groeimodellen die Wageningen UR voor ons maakt, gaan we de logistieke processen op een potplantenkwekerij nu echt veel beter aanpakken.' Buwalda: 'Fikkers hoeft beslist geen plantenfysioloog te worden en ik geen logistiek automatiseerder, we moeten alleen maar open staan voor elkaars werkwijzen, de rest volgt vanzelf.'

Wouter Verkerke

Meer informatie: Wouter Verkerke, t 0317 485534, e wouter.verkerke@wur.nl



Mark van der Knaap
Technisch-directeur van Anthura

‘Voorspelbaarheid van de teelt is het belangrijkste’

Koppeling van ICT, logistiek en teelt levert het bedrijf Anthura ongetwijfeld extra winst op, is de overtuiging van anthuriumkweker Mark van der Knaap. Hij neemt deel aan het project Plant-iT.

Ruim 150 rassen anthurium kweekt het bedrijf Anthura in Bleiswijk. Bovendien zijn in de kas van elk ras verschillende groeifasen aanwezig. Als er dan ook nog eens wereldwijd honderden klanten zijn, hoe hou je dan goed in de gaten wanneer welke partij leverbaar is en of de groei van een partij volgens planning verloopt? Dat lukt nu aardig met behulp van alle nieuwe technologie, vertelt technisch-directeur Mark van der Knaap. Sinds de nieuwbouw in 2009 staat er een kas van 12 hectare met jonge anthuriumplantjes, waarin alle moderne technieken worden toegepast. Dankzij de uitgekiende klimaatbeheersing kan het bedrijf energiekosten besparen. De teelt is volledig geautomatiseerd met planten in rolcontainers, waardoor de arbeidsomstandigheden fors zijn verbeterd. Ook weet het automatiseringssysteem precies waar welke container met planten staat, en hoeveel planten er wanneer zijn opgezet.

Gegevens koppelen

Vanwege de vergaande automatisering is zijn bedrijf bij uitstek geschikt om de nieuwe bouwen modellen van Plant-iT toe te passen, vindt Van der Knaap. Koppelen van gewasgroeimodellen aan logistieke gegevens kan immers alleen als al die gegevens voorhanden zijn. ‘Als je handmatig planten verplaatst, heb je al die gegevens niet.’ Automatisering is belangrijk voor een bedrijf als Anthura. Zo’n groot oppervlakte is niet meer beloopbaar voor een medewerker die de productie in de gaten moet houden. Probleem is dat de automatisering rekent met een gemiddelde gewasgroei. Groeit een partij harder of juist langzamer, dan is een partij eerder of juist later “rijp” om af te leveren. En dat wil Van der Knaap nu juist voorkomen. Bijsturen kan vaak nog wel, bijvoorbeeld door de temperatuur te verlagen of door planten ruimer of juist krappert te zetten. ‘Maar op het moment dat je constateert dat de groei niet klopt, loop je al een tot twee weken achter. Liever stuur ik gelijk bij.’

Algemene lijn

Van der Knaap vindt het belangrijk dat de deelnemende tuinders en onderzoekers van

Plant-iT nu samen een algemene lijn vaststellen over wat de modellen moeten kunnen berekenen. Iedere tuinder heeft namelijk eigen doelstellingen, afhankelijk van het product dat ze telen. Er zijn er die vooral willen dat de vierkante meters het beste worden benut. Anderen willen op een bepaald moment de planten meer ruimte geven voor een goede plantvorm. Bij Anthura draait het vooral om voorspelbaarheid. Het bedrijf levert de jonge plantjes aan kwekers die er het eindproduct van maken. Van der Knaap weet al lang van tevoren wanneer hij aan wie moet leveren. Het vliegtuig is bijvoorbeeld al gereserveerd. Een order wijzigen kan wel, maar dan moet hij dat minstens drie weken voor de aflevering weten, anders is dat niet meer te regelen. Plant-iT is nog niet zover. Van der Knaap zit er niet zo mee. Hij heeft geduld. ‘Ik wil vooral dat we reële stappen zetten. Dan komen we er uiteindelijk wel.’ (LN)



Technologie als vliegwiel voor innovaties

Een aantal ondernemers en waterschappen in het Westelijk Veenweidegebied zijn aan de slag gegaan met technologische innovaties. Het ontwikkelingstraject, de impact en het draagvlak kan per innovatie flink verschillen, zo werd duidelijk tijdens de ontwikkeling van de mobiele melkrobot en onderwaterdrainage.

Eind 2003 bogen ondernemers, beleidsmakers en maatschappelijke organisaties zich in een aantal workshops over hun ideaalbeeld voor de verre toekomst (2030) van het Westelijk Veenweidegebied. Het leverde toekomstbeelden op voor drie type bedrijven: een stadsgericht, productiegericht en natuurgericht bedrijf (Kommers en Hopster, 2004). Ook werd nagedacht over mogelijke technologische innovaties die bijdragen aan de nieuwe duurzame bedrijfssystemen. Daarbij kwamen onder meer een mobiele melkrobot en onderwaterdrainage als ideeën naar boven. De mobiele melkrobot past bij zowel het natuurgerichte bedrijf als het productiegerichte bedrijf; de onderwaterdrainage met name bij het productiegerichte bedrijf. Beide technologische innovaties

hebben een proces van ruw idee tot realisatie doorlopen. Deze processen vertonen grote verschillen. Dit geldt ook voor de impact van de twee technologische innovaties.

Mobiele melkrobot

Nadat in een workshop het idee van mobiel melken was geopperd, in eerste instantie voor natuurgerichte grote bedrijven in het Westelijk Veenweidegebied, is een team onderzoekers met het idee aan de slag gegaan. De onderzoekers presenteerden als technologische innovatie voor dit type bedrijf de mobiele melkrobot. Deze bestaat uit twee delen: de bekende melkrobot uit de melkstal gecombineerd met een voertuig voor de mobiliteit. In

Foto: Een loonwerker brengt de onderwaterdrainage sleufloos in de grond. De graszode wordt daarbij nauwelijks beschadigd.

dit geval een zelfrijdend rupsvoertuig met daarop een tank voor de opslag en koeling van de melk, een tank met spoelwater en een container met krachtvoer. Het grote voordeel van de robot is dat boeren die inkomen willen halen uit natuurbeheer, koeien kunnen laten grazen op natuurterreinen. Op dit soort terreinen is het ondoenlijk om dagelijks de koeien te verzamelen en naar de melkput te brengen.

Tijdens de innovatieworkshop Rigoureuus Vooruit in 2006 voor innovatieve ondernemers, beleidsmakers en maatschappelijke organisaties is het concept getoond om de partijen te “verleiden” het op te pakken (Galama et al., 2006). Dat is gelukt. Het concept werd geadopteerd door het project Koe en Cultuur, een onderdeel van het LNV-programma multifunctionele bedrijfssystemen. Het project Koe en Cultuur wilde samen met voorloperbedrijven innovaties op gang brengen die de melkveehouderij in gebieden met natuurlijke handicaps – met name het Veenweidegebied en stroomdalgebieden – nieuwe kansen geven. Mobiel melken sprak aan, omdat het de bedrijfsvoering flexibeler kan maken. Percelen op grotere afstand leveren geen grote problemen meer op en beweiding van natuurterreinen wordt een interessante optie (Galama et al., 2009).

Robotour

Melkveeproofbedrijf Zegveld van Wageningen UR is samen met een ondernemer van Koe en Cultuur aan de slag gegaan om de mobiele melkrobot te ontwerpen en te bouwen. Op 25 april 2008 was de wereldprimeur: de eerste mobiele melkrobot ter wereld deed zijn werk in de wei. In 2009 was er een “Robotour” door Nederland. De mobiele melkrobot kreeg de naam Natureluur, refererend aan de intentie om deze in te zetten in agrarisch beheerde natuurgebieden.

Maar de robot is ook inzetbaar op gangbare bedrijven met een slechte verkaveling – grote afstanden tussen weilanden en boerderij – of voor bedrijven die fors willen uitbreiden maar wel de weidegang willen behouden. Boeren die geïnteresseerd zijn in mobiel melken, hebben zich verenigd in een netwerk. Wat hen vooral in de robot aantrekt, is de brede toepasbaarheid, bijvoorbeeld in uitgestrekte uiterwaarden of aan de overzijde van een drukke weg.

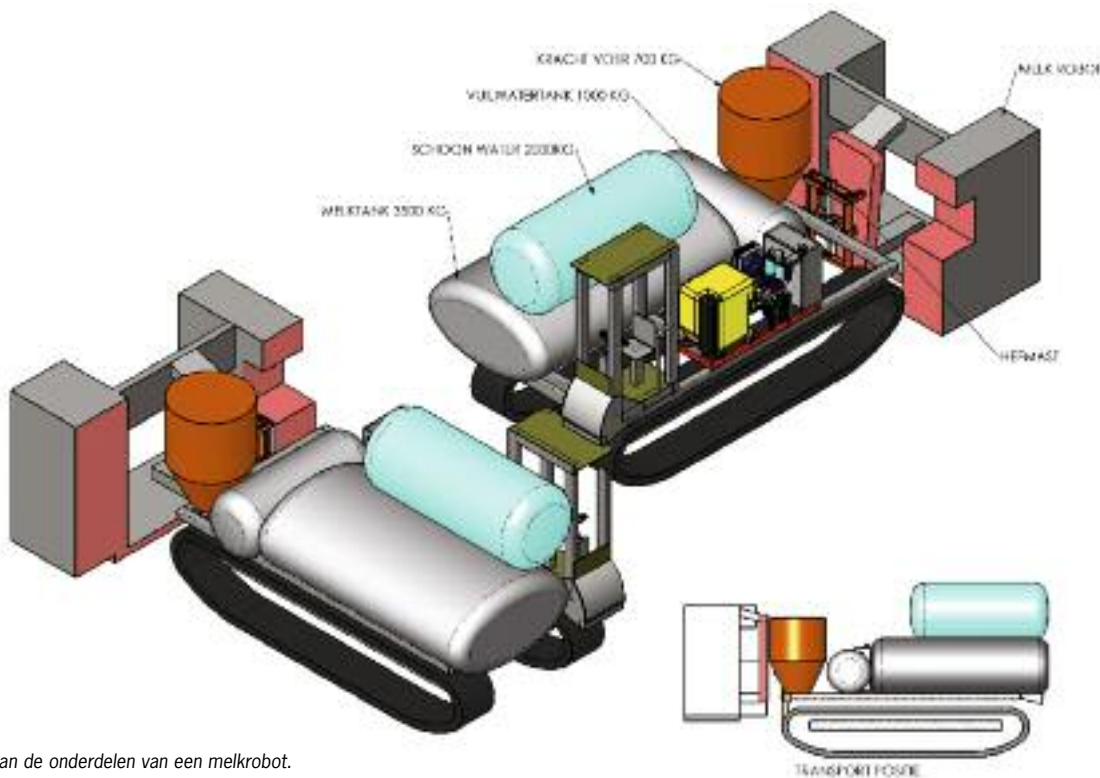
Melkproductie

Maar er waren nog wel enkele praktische hindernissen te nemen. Denk aan het afvoeren van de melk, een constante elektriciteitsvoorziening en een goed beweidingssysteem. Dat laatste is met name van belang voor een hoge melkproductie per koe. In de wei is het lastiger om de koeien ertoe te bewegen vaak genoeg naar de melkrobot te gaan. Het vergde veel creativiteit en experimenteren om deze punten op te lossen. Het systeem is meermalen aangepast en het onderzoek loopt nog steeds. De aandacht van het onderzoek gaat momenteel uit naar een optimale melkproductie. De inzet is een jaarlijkse melkproductie per koe van 8000 liter. Bij zo'n hoeveelheid komt mobiel melken in de buurt van de productie in de melkstal en wordt het een interessante optie voor grote koppels melkvee op afstand.

Het aantal ondernemers dat het systeem heeft geadopteerd, is vooralsnog klein. De verwachting is dat het nog zeker vijf jaar zal duren voordat er een groep volgers komt. Dit betekent niet dat de systeeminnovatie stil ligt: het mobiele melksysteem fungeert als interessant perspectief. De praktijkproeven en de Robotour hebben laten zien dat het systeem werkt. Ze hebben de discussie over melken in de natuur en beweiding op grootschalige melkvee-



De mobiele melkrobot in de praktijk. De robot is een oplossing voor melkveebedrijven met een slechte verkaveling, bedrijven die fors willen uitbreiden maar wel de weidegang willen behouden en voor bedrijven die koeien willen weiden in natuurgebieden.



Schets van de onderdelen van een melkrobot.

bedrijven aangezwengeld. Een vooraanstaande melkveehouder die de ontwikkelingen heeft gevolgd, gaat dit jaar een mobiele melkrobot naar eigen ontwerp realiseren. Diverse fabrikanten hebben het concept opgepakt en ontwikkelen eigen versies voor de Nederlandse, Noorse, Deense en Duitse markt. Inmiddels wordt ook de ethiek rondom mobiel melken onderzocht.

Onderwaterdrainage

Een ander project dat naar aanleiding van de workshops in 2003 is opgepakt, is vernieuwend waterbeheer. De inzet van boeren en waterschappen was om op een bedrijf een innovatieve methode te ontwikkelen die de veenafbraak in het veenweidegebied en dus bodemdaling vertraagt en die niet ten koste gaat van het bedrijfsinkomen. De Nota Ruimte stelt dat in delen van het veenweidegebied de peilen verhoogd moeten worden om de maaivelddaling te beperken. Peilverhoging vertraagt weliswaar de veenafbraak, maar hiervan ondervinden melkveehouders hinder in de bedrijfsvoering. Met steun van het ministerie van LNV kwam er een kleinschalige pilot op melkveeproefbedrijf Zegveld voor een alternatief: onderwaterdrainage. Hierbij liggen de drains onder het slootpeil en niet zoals gebruikelijk erboven, zodat slootwater in droge perioden het perceel kan infiltreren. In natte perioden voeren de drains water af.

De natuurlijke seizoensgebonden schommelingen in de grondwaterstand worden daarmee afgevlakt. De verwachting was dat onderwaterdrainage gunstig zou zijn voor de veehouderij (minder natte grond in het voor- en het najaar) en voor de maatschappij (minder maaivelddaling leidt tot lagere kosten voor waterbeheer en minder verzakkingen).

Kennisontwikkelingstraject

De resultaten van de pilot waren zo positief dat er een meerjarig kennisontwikkelingstraject is opgezet, waarbij de effectiviteit van onderwaterdrainage verder is onderzocht. Opnieuw waren de resultaten positief. Dit vormde voor diverse partijen de aanleiding verder onderzoek te doen in de praktijk. In de Noord-Hollandse polder Zeevang is het effect van onderwaterdrainage onderzocht op de zakking van veengrond en op de grasproductie (Hoving et al., 2009). Het onderzoek was een initiatief van LTO-Noord (afdeling Groot Waterland) en is gerealiseerd met financiering van het Productschap Zuivel, Dienst Landelijk Gebied, provincie Noord-Holland en het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. In Groot Wilnis-Vinkeveen is in 2009 een pilot gestart om de gevolgen van onderwaterdrainage te kwantificeren op het waterbeheer en de waterkwaliteit. Dit onderzoek is een initiatief van de

Tabel. Natuurlijke handicaps ofwel transitiepunten in het Veenweidegebied. De mobiele robot en onderwaterdrainage dragen bij aan oplossingen voor enkele transitiepunten (zie ●).

	Mobiele melkrobot	Onderwaterdrainage
Slechte toegankelijkheid en bereikbaarheid	●	
Ongelijkmatige grondwaterstanden		●
Hoge mate van afspoeling van mineralen		●
Doorgaande bodemdaling		●
Slechte kwaliteit van ruwvoer bij hoge peilen		●
Lage draagkracht van de bodem door hoge grondwaterstanden		●
Slechte organisatie van samenwerking tussen agrarische ondernemers onderling en tussen gebiedspartijen		
Slechte verkaveling	●	
Mineralenkringlopen zijn niet te sluiten op gebiedsniveau		

provincie Utrecht, Waternet (waterschap Amstel, Gooi en Vecht, het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden en LTO Noord en wordt begeleid door Alterra Wageningen UR. Eenzelfde pilot start in 2010 in de Utrechtse polder Keulevaart. Voor Zuid-Holland zijn plannen in de maak voor een pilot in het hart van de Krimpenerwaard. Het aantal ondernemers dat de innovatie volgt is nog bescheiden. Ondernemers willen wel, maar productschappen en waterschappen zijn terughoudend en willen technische resultaten afwachten alvorens de technologie te omarmen. Dan gaat het met name om de effecten van het inlaten en uitpompen van water voor de onderwaterdrainage op de waterkwaliteit en de veenafbraak. Voor ondernemers in Noord-Holland valt onderwaterdrainage als aanpak voor structuurverbetering in de agrarische sector inmiddels onder de subsidieregeling Groene Uitweg. Voor collega-ondernemers in het Utrechtse deel van het veenweidegebied en in Zuid-Holland is dit vooralsnog niet het geval.

Privaat versus publiek netwerk

Als we de mobiele melkrobot en onderwaterdrainage naast elkaar leggen zien we twee technologische innovaties die invulling geven aan de realisatie van meerdere innovatieopgaven (zie kader). Beide innovaties zijn enthousiast ontvangen, maar ontmoeten ook de nodige scepsis. De eerste door ondernemers en de tweede door met name waterschappen. Dit is te verklaren door de verschillen in de ontstane netwerken rondom de innovaties. Bij de ontwikkeling van de mobiele melkrobot bestond het netwerk vooral uit private deelnemers. Mede door voortgaand onderzoek gericht op een hoge melkproductie per koe in combinatie met een lage arbeids-

inzet en een hoge bedrijfszekerheid, raakten fabrikanten overtuigd en gingen zij de mobiele melkrobot doorontwikkelen voor de (inter)nationale markt. Zij zien de mobiele melkrobot niet zozeer als een manier om het veenweidegebied te redden, maar vooral als groeimarkt voor andere toepassingen. Bijvoorbeeld behouden van weidegang bij grote koppels melkvee op afstand van de stal. Deze belofte was voor Productschap Zuivel de voornaamste reden om onderzoeksgelden beschikbaar te stellen. Of het systeem groot-schalige navolging krijgt, hangt nu af van de mate waarin melkveehouders overtuigd raken.

Rondom onderwaterdrainage is daarentegen een publiek netwerk opgebouwd, waarbij waterschappen en de provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht, LTO Noord, LNV en Productschap Zuivel een rol speelden. Ondernemers waren al snel enthousiast en wilden op grote schaal aan de slag. Zeker wanneer onderwaterdrainage voor subsidie in aanmerking komt. De waterschappen zagen nog hindernissen met betrekking tot de watervraag en de waterkwaliteit, de gevolgen bij kwel en de mate waarin het daadwerkelijk bijdraagt aan het terugdringen van de bodemdaling. Het onderzoek heeft dan ook nadrukkelijk een ander karakter gekregen: duidelijk krijgen of de techniek werkt en of er geen bijwerkingen aan kleven. De sleutel tot doorbraak ligt bij waterschappen en de provincies. Pas als zij erkennen dat toepassing van onderwaterdrainage een oplossing voor het veenweidegebied vormt, kan de innovatie op grote schaal navolging krijgen.

Gerard Migchels, Paul Galama, Idse Hoving en Frank Lenssinck

Innovatieve systemen halen teelten uit de grond

In de open teelten, met name op zandgronden, is het zeer moeilijk om een rendabele, emissieloze grondgebonden landbouw te verwezenlijken. Het project "Teelt de grond uit" werkt daarom aan een radicale omslag. Met technologie uit de glastuinbouw worden nieuwe teeltsystemen voor vollegrondsteelten ontwikkeld en geïmplementeerd. Ook wordt er gekeken naar emissieloze teeltsystemen voor de nog grondgebonden tuinbouwgewassen in de glastuinbouw.

Om in de vollegrondsteelten doorbraken naar een duurzamere landbouw te forceren is in 2004 en 2005 een aantal innovatieprojecten opgezet. De uitdaging was om nieuwe wegen te vinden om uitspoeling van voedingsstoffen (stikstof en fosfaat) en gewasbeschermingsmiddelen naar het milieu drastisch terug te dringen. Eén van die projecten was Nutriënten Waterproof, waarin is geprobeerd de nutriëntverliezen in de open teelten op zandgrond terug te dringen tot onder de Europees vastgestelde normen. Na vier jaar onderzoek, waarbij alle mogelijke oplossingsrichtingen zijn gecombineerd, bleek dit niet haalbaar te zijn. Een grondgebonden teelt op zandgrond die voldoet aan de Europese normen, is niet te verwezenlijken zonder dat de opbrengsten en dus de inkomsten daaronder leiden (Haan, 2009; Haan, 2010). Ook in de glastuinbouw werd geconcludeerd dat in grondgebonden teelten altijd een risico zal bestaan voor ongewenste emissies naar het grond- en oppervlaktewater (Voogt et al., 2008).

Doorgaan met het verfijnen van het bestaande teeltsysteem blijkt onvoldoende perspectief te bieden. Het komt aan op radicale veranderingen. Een oplossingsrichting is teeltsystemen los van de grond. Hiermee is de emissie wel sterk te beperken. Deze oplossingsrichting biedt vooral kansen voor de glastuinbouw en de intensieve vollegrondstuinbouw, omdat hier de hogere investeringen voor het productiesysteem terug te verdienen zijn.

Technologie uit de glastuinbouw

Teelt los van de grond gaat uit van technologie uit de glastuinbouw die een nieuwe toepassing krijgt. Denk bijvoorbeeld aan recirculerende teeltsystemen op goten, in potten of in bakken. In dit soort gesloten systemen kan water gecontroleerd geloosd en eventueel eerst gezuiverd worden. Hierdoor komen er aanzienlijk minder mineralen in het milieu terecht dan bij teelt in de volle grond. Voor telers zijn systemen voor teelt uit de grond interessant, omdat het



ook hun marktpositie kan verbeteren.

De systemen hebben immers ook teeltkundige en logistieke voordelen. De productie is beter stuurbaar, waardoor een constantere en hogere productkwaliteit kan ontstaan. De systemen besparen arbeid en verbeteren de arbeidsomstandigheden. Punten die nog aandacht verdienen bij invoering van teelt de grond uit zijn de landschappelijke inpassing, de afvalproductie en het materiaalgebruik.

Ontwerpen van systemen

In het project Teelt de grond uit worden emissievrije teeltsystemen ontworpen, getest en gedemonstreerd. Dit gebeurt in een intensieve samenwerking van onderzoekers van Wageningen UR met innovatieve ondernemers die deels op eigen initiatief al experimenterden met teelt de grond uit. In het project wordt hun opgedane kennis gebundeld, doorontwikkeld en verbreed naar andere gewassen en sectoren.

In het najaar van 2009 is het project gestart met negen innovatiegroepen rondom de gewassen: bloembollen, boomkwekerijproducten, fruit (appel en zwarte bes), aardbei, bladgewassen, bloemkool/broccoli, prei, zomerbloemen en vaste planten. Een project om de grondgebonden chrysantenteelt in glastuinbouw los van de grond te krijgen, is hieraan toegevoegd. In enkele innovatiegroepen, zoals bladgewassen en prei, liepen in 2008 al pilots. Deze zijn in het project opgenomen.

Als eerste stap zijn voor elk gewas de belangrijkste knelpunten in de grondteelt benoemd en potentiële oplossingen aangedragen. Vervolgens is er een lijst van eisen opgesteld waaraan een nieuw teeltsysteem zou moeten voldoen. Deze lijst omvat eisen voor de plant (bijvoorbeeld de juiste lucht/waterverhouding rond de wortel),

benodigde investeringen en eisen voor de omgeving (geen emissies uit het systeem). Na dit voorwerk werd een brainstormsessie gehouden om voor elk gewas meerdere, ruwe ontwerpen van nieuwe systemen te kunnen gaan maken.

Experimentele fase

Begin 2010 is besloten welke ontwerpen de komende vier jaar getoetst zullen worden. Zijn er nog veel onzekerheden rondom een ontwerp, dan wordt de experimentele ontwikkeling breed opgepakt en zullen meerdere ontwerpen en/of varianten getest worden. Breed experimenteren moet voorkomen dat er kansen gemist worden. Wanneer een ontwerp al bijna voldoet aan alle systeemeisen en er kennis is over het uit de grond telen van een gewas, kan de experimentele fase zich beperken tot één of enkele uitgewerkte ontwerpen en varianten.

Hoe verschillend de ontwerpen uiteindelijk ook zijn, ze gaan alle uit van dezelfde drie basisprincipes: het teeltsysteem geeft de plant houvast zodat deze niet omvalt, heeft een watertoevoer- en voedingssysteem (bijvoorbeeld beregening of een eb- en vloedsysteem) en een logistiek element (planten staan op een tafel, in een goot, een rij, een pot of een veld).

In het kader staan twee voorbeelden van hoe de ontwerptrajecten voor prei en chrysanten worden opgepakt. Beide trajecten staan nog aan het begin van de ontwikkeling. Voor prei is al definitief gekozen voor teelt op water om een schoon product zonder emissies te krijgen. Voor de grondgebonden chrysantenteelt in de glastuinbouw wordt gekeken naar substraatsystemen die inpasbaar zijn in de kas.

De experimentele ontwikkeling vergt een aantal jaren. In het



Teelt de grond uit voor prei

Bij prei is in 2008 op kleine schaal begonnen met het breed testen van zes systemen rondom enkele principes: substraat in potten of in bedden, goten met diverse watergeefsystemen en drijvende teelt. In 2009 zijn de drie systemen die als beste naar voren kwamen – drijvend systeem met buisjes, systeem met hoge substraatpotten en systeem met prikbakken en een afschermd folie – verder ontwikkeld en zijn er twee teelten mee uitgevoerd. De resultaten overtroffen de verwachtingen. Het bleek dat er drie tot vier teelten per jaar mogelijk zijn met een relatief hoge plantdichtheid, leidend tot een vijf keer hogere opbrengst per hectare dan in de vollegrond. Wel is de hoeveelheid wit van de stengel en af en toe de rechtheid onvoldoende (Os et al., 2010).

Teelt de grond uit voor chrysanten

Bij chrysant is eerst getest of er een eb- en vloedsysteem is aan te brengen in een zandbed. Een kleinschalige proef met een zandbed bevestigde dat dit kon. In 2009 zijn vervolgens vier teeltsystemen op een proefschaal geïnstalleerd. Twee systemen zijn naar verwachting op relatief korte termijn te realiseren in de praktijk: een grondbed (diep ingegraven plastic met een drainagesysteem) en een zandbed (een zandlaag met een drainagesysteem). Het derde systeem is een veenbed (volvelds 15 centimeter veenlaag op eb- en vloedsysteem) en het vierde is een cassettebed (3 centimeter breed en een substraathoogte van 15 centimeter). De beperktere substraatvolume van het cassettebed maakt een betere sturing mogelijk en heeft daardoor meer potentie voor opbrengstverhoging en productverbetering (Vermeulen en Blok, 2009). Het grondbed zal 5 procent meeropbrengst moeten leveren om rendabel te zijn, het zandbed 10 procent en het cassettebed 30 à 40 procent.



Overzicht van vier veelbelovende teelt-de-grond-uit-systemen voor chrysantenteelt. Met de klok mee: zandbed, grondbed, cassettebed en veenbed.

proces van testen en verbeteren worden knelpunten opgelost en wordt er ingezoomd op de meest perspectiefvolle systemen. De innovatiegroepen volgen de resultaten en beoordelen de ontwerpen op hun haalbaarheid in de praktijk. De verwachting is dat na enkele jaren een opschaling kan plaatsvinden naar een (semi-)praktijksituatie. Dit gebeurt bij voorkeur bij één van de deelnemende telers.

Technisch haalbaar

Het blijkt technisch en plantkundig goed mogelijk om gewassen uit de grond te telen. De technologieën zijn beschikbaar en grote knelpunten zijn er eigenlijk niet. Het gaat vooral om het vinden van de juiste combinaties tussen technologie en gewas en om de verdere optimalisatie van het systeem. Optimalisatie is nodig om uiteindelijk economisch rendabele systemen te krijgen. Daarvoor moet nog wel veel kennis verworven worden over bijvoorbeeld de groei van de gewassen in deze nieuwe systemen. Daarnaast is het de vraag of de goede resultaten die nu geboekt worden, in de loop van de jaren gehandhaafd blijven. Uit de glastuinbouw is bekend dat in nieuwe teeltsystemen ziekten en plagen soms pas na enkele jaren kunnen gaan optreden. Bij de ontwikkeling van de systemen zal naast emissiebeperking van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen ook gelet worden op andere duurzaamheidsthema's zoals energiegebruik en broeikasgasemissies.

Acceptatie

Nog onbekend is of telers, ketenpartijen, consumenten en de maatschappij de nieuwe teeltsystemen zullen accepteren. Ondernemers moeten de teeltkundige voordelen ervan inzien en deze voldoende kunnen benutten. De producten zullen echter ook hun weg moeten vinden in de markt. Zijn ketenpartijen in staat de duurzame kwaliteitsproducten meerwaarde te geven? En zijn consumenten bereid er meer voor te betalen?

Bij de maatschappelijke acceptatie speelt mee dat de nieuwe systemen zichtbaar zijn in het landschap en daarmee de ruimtelijke kwaliteit beïnvloeden. De systemen zullen een minder natuurlijk beeld geven van de teelt. Hier tegenover staat dat door een grote productiestijging per hectare het teeltareaal fors is te beperken, waardoor grond voor andere functies beschikbaar komt. Via een omgevingsanalyse en interviews zullen de onderzoekers verkennen waar mogelijke knelpunten zitten in de maatschappelijke acceptatie. Deze inzichten zullen worden meegenomen in het ontwerp- en implementatieproces. Daarnaast worden ketenpartijen en maatschappelijke actoren bij het proces betrokken om gezamenlijk de uitdaging op te pakken om van



deze nieuwe teeltsystemen een succes te maken. En daarmee een toekomstperspectief te creëren voor intensieve vollegrondstuinbouw in zandgebieden en voor de nu nog grondgebonden gewassen in de glastuinbouw.

Janjo de Haan en Tycho Vermeulen

Mest en urine: van afval naar waardevol product

Het gescheiden houden van mest en urine in de veehouderij belooft een reeks positieve effecten te geven, waarmee de veehouderij én de akkerbouw een duurzaamheidsprong kunnen maken. Maar dat lukt alleen als er veel praktijken tegelijkertijd veranderen.

Mest. Het is al decennia een hoofdpijndossier voor de rijksoverheid en een last voor de veehouder. Voormalig minister Cees Veerman vatte de problematiek pakkend samen: 'We importeren voer, we exporteren varkens en de rommel houden we hier.' Met die "rommel" doelde hij op mestkelders vol drijfmest – een mengsel van vaste mest en urine – waar veehouders alleen vanaf komen door voor de afvoer te betalen. Veermans samenvatting lijkt op het eerste gezicht de oorzaak van het probleem te bevatten: de mineralen die we importeren via het voer gaan niet terug naar het land van herkomst en dus zitten we hier met een overschot. Simpel toch? Bij nadere beschouwing blijkt het niet zo eenvoudig. Want ook binnen de landsgrenzen houden we kringlopen niet gesloten. Mest en urine bevatten voedingsstoffen voor planten, maar die worden niet altijd optimaal aangewend voor plantaardige productie. In plaats daarvan wordt kunstmest gebruikt: stikstofkunstmest, gebonden uit de lucht via een energievretend procédé, en fosfaatkunstmest, gedolven uit oprakende voorraden. De akkerbouwer geeft via kunstmest geld uit aan mineralen, terwijl die in grote hoeveelheden in de "rommel" zitten van de veehouderij. En die drijfmest kan de akkerbouwer met geld toe krijgen!

Akkerbouwers kiezen kunstmest

Hoe zijn mest en urine dan toch tot afval verworden? Voornamelijk omdat kunstmest voor akkerbouwers voordelen heeft boven drijfmest. Aan de ene kant was kunstmest goedkoop, heeft het een kleiner volume en een constante en exact bekende samenstelling en werking op het gewas. Doordat er verschillende typen kunstmest zijn, kan de bemesting precies gestuurd worden. En dat is belangrijk in de bemestingsschema's van akkerbouwers. Aan de andere kant is de aanwending van drijfmest aan strenge milieuregels gebonden en past het minder goed in bemestingsschema's. In urine zitten hoge gehalten stikstof; in vaste mest vooral hoge gehalten fosfaat. Echter, door urine en mest te mengen tot drijfmest, gaat die unieke samenstelling van de afzonderlijke stromen verloren, waardoor nauwkeurig bemesten lastiger

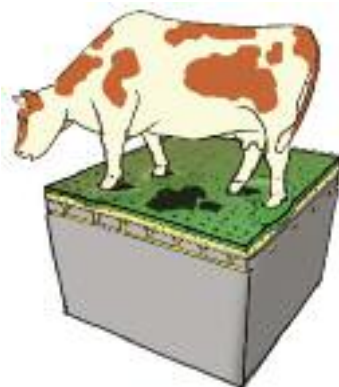
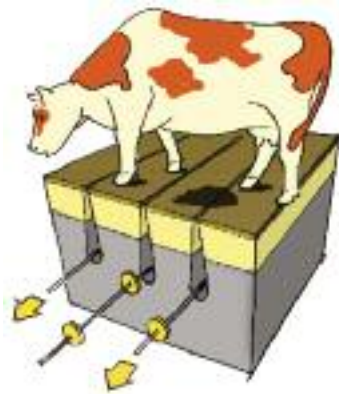
wordt. Drijfmest bewerken tot bruikbare producten kost veel energie en dus geld. En dan nog is nog steeds de kwaliteit minder dan de stromen je had vóór menging. Daar komt bij dat er bij het mengen en opslaan van mest en urine ammoniak en methaan vrijkomen. Zolang er geen schaarste is aan fossiele energie (voor de productie van stikstofkunstmest) en fosfaatvoorraden, neemt de akkerbouwer liever kunstmest dan drijfmest.

Nieuwe voorwaarden

Drijfmest is een product van de schaalvergroting en arbeidsefficiëntie die in de jaren zestig van de vorige eeuw opkwamen. Door mest en urine gelijktijdig door roostervloeren naar een kelder te laten zakken, werd het wegwerken van mest uit de stal een peulenschil. Gaandeweg zijn nieuwe veehouderijsystemen ontwikkeld met drijfmest als uitgangspunt, terwijl de akkerbouwpraktijk zich toesneed op kunstmest. Deze co-evolutie gaat steeds meer klemmen. Zo moet lokaal ammoniakemissie en nitraat- en fosfaatuitspoeling worden teruggedrongen en globaal de uitstoot van de broeikasgassen. Kunstmest zal minder vanzelfsprekend worden, omdat de prijs van fossiele energie onherroepelijk zal stijgen, de wereldvoorraad fosfaat oprakt en de wereldwijde vraag naar nutriënten door de groeiende wereldbevolking en toenemende welvaart zal toenemen. Daarnaast groeit het wereldwijde besef van het belang van een milieukundig duurzame productie en het sluiten van kringlopen.

Technologie

De voorgaande uiteenzetting brengt de meest ideale oplossingsrichting aan het licht: het gescheiden houden van mest en urine (Eijk et al., 2010; Bos et al., 2009). Daarmee slaan we meerdere vliegen in één klap. Een gescheiden en snelle afvoer van urine leidt tot een forse vermindering van de ammoniakemissie. De gescheiden mest- en urinestromen zijn afzonderlijk beter benutbaar en bewerkbaar tot kunstmestvervangers. De vaste mest is bovendien veel geschikter voor vergisting dan drijfmest: covergisting is niet nodig en het te vergisten volume is kleiner.



Door de lagere ammoniakemissie wordt een reeks aan emissiebeperkende maatregelen overbodig. Dieren krijgen weer de ruimte en er hoeft minder kritisch gestuurd te worden op de nutriënten in het rantsoen van de beesten, wat beter is voor het dierenwelzijn en de diergezondheid. Daarnaast is de noodzaak om de stallen potdicht te maken en er dure, energievretende luchtwassers op te zetten kleiner. Kortom: door mest en urine gescheiden te houden ontstaat een reeks van positieve effecten op het milieu, het dier, het klimaat en de portemonnee van de veehouder. Het lijkt daarmee een belangrijke technologie in de verduurzaming van de veehouderij.

Naast het ontwikkelen van stalvloeren die mest en urine gescheiden houden, moeten er ook andere nieuwe technieken komen om de concurrentie met kunstmest aan te kunnen. Bijvoorbeeld machines voor de akkerbouw om de mineralen te kunnen toedienen. Of vergisters die van vaste mest uitgaan. Veel kennis moet worden vergaard, bijvoorbeeld over de beste manier van aanwenden van vaste mest en geconcentreerde urine. Bovendien weten we niet wat het effect is op het bodemleven als vaste mest eerst wordt vergist en dan toegediend.

Omslag

Maar er is meer nodig dan technieken en kennis. Het gescheiden houden van mest en urine, het snel afvoeren, opslaan en verwerken en het specifiek aanwenden daarvan druist in tegen de huidige dominante praktijk. Het vraagt een wezenlijke omslag in regelgeving, economie en cultuur. Een echte systeeminnovatie dus. Regelgeving gaat uit van drijfmest. Het is daarom bijvoorbeeld onduidelijk of een geconcentreerde urinefractie als dierlijke mest of als kunstmestvervanger wordt gezien en aan welke voorwaarden voldaan moet worden en welke restricties er gelden. Op het economische vlak zal er anders naar kosten en baten gekeken moeten worden, in ieder geval in de veehouderij. De investeringen in de vloer zijn hoger. Ook bewerking van mest zal hogere kosten met zich mee brengen. Mogelijk zijn die kosten terug te verdienen door lagere kosten elders – bijvoorbeeld goedkopere infrastructuur dan mestkelders onder de vloer, geen kosten voor mestafzet, geen dure luchtwassers – en nieuwe inkomsten uit bijvoorbeeld mineralen of een hogere productiviteit door een verbeterd dierenwelzijn en toegenomen diergezondheid. Dat is echter niet de standaardmanier waarop veehouders en aannemers rekenen. Er is een andere kijk nodig om de status van mest en urine te veranderen van afval naar waardevol product. Bovendien zal het perspectief op de technologie moeten veran-

deren: men zal afmoeten van het idee dat verpompbare drijfmest de standaard is en dat alleen met luchtwassers de ammoniakemissie binnen de perken is te houden.

Tijd was nog niet rijp

Dat een systeeminnovatie als deze van meer afhangt dan een veelbelovende technologie, bewijst het project Hercules van ongeveer tien jaar geleden. Het project werd getrokken door een consortium van bedrijven en Wageningen UR. Er is een stalconcept ontworpen voor de vleesvarkenshouderij, waarbij via een bolle band mest en urine gescheiden werden afgevoerd. Het project liep stuk op een reeks van belemmeringen (Bos and Grin, 2008): onvoldoende perspectief op afzet van de compost en urine in de akkerbouw, weerstand van varkenshouders tegen techniek onder de roostervloeren en het ingewikkelde proces om via een consortium van zeer verschillende bedrijven een complex en nieuw product te ontwikkelen en in de markt te zetten. Hercules kwam bovendien te vroeg. De urgentie was nog onvoldoende en het geloof dat technologie alleen kan leiden tot doorbraken was te groot.

Vereende krachten

Maar de tijden zijn veranderd. De al genoemde argumenten voor het gescheiden houden van mest en urine zijn door recente ontwikkelingen in de maatschappij en het beleid sterker geworden. Dit geeft voldoende aanleiding het spoor van gescheiden meststromen tóch te bewandelen. De sleutel tot succes voor de hernieuwde aandacht is dat er nu tegelijkertijd op verschillende plekken aan de systeeminnovatie wordt gewerkt: bij veehouders, in de R&D van de industrie, bij Wageningen UR en op de burelen van de ministeries van VROM en LNV. Een aantal projecten is al gestart. Een privaat consortium in Brabant van onder meer een betonfabrikant en een mestverwijderingsbedrijf wil mede op basis van het project Kracht van Koeien van Wageningen UR een nieuw houderijsysteem neerzetten bij een melkveehouder die nu al mest en urine gescheiden houdt vanwege de eisen van de grondverpachter Natuurmonumenten (Bos et al., 2009). Het systeeminnovatieproject Varkansen van Wageningen UR heeft een initiatief opgeleverd om het varkenstoilet in de praktijk te testen (Eijk et al., 2010). Een varkenstoilet is een specifieke plek in de stal waar (zindelijke) varkens hun behoefte kunnen doen en waar de mest en urine gescheiden worden opgevangen. In het Groene Hart is ook een plan voor mestscheiding, maar dan met een zachtere vloer dan beton. Het InnovatieNetwerk gaat met ondersteuning van de



Mest en urine van varkens (en koeien) hebben een verschillende samenstelling. Door ze gescheiden te houden en apart te verwerken, ontstaan verschillende mineralenstromen, die beter en gericht aan te wenden zijn in gewassen (Eijk et al., 2010).

provincie Gelderland bij een melkveehouder een kunststofvloer testen die de urine doorlaat maar de mest laat liggen. De mest wordt vervolgens afgeschoven. Een fabrikant van vergisters wil een speciale vergister ontwikkelen voor vaste varkensmest zonder co-producten. Zo staan nog meer experimenten op stapel. Ook de kennis en technologie heeft niet stilgestaan: inmiddels is er vijf jaar ervaring met mestbanden onder roosters in een praktijkstal van een vooruitstrevende varkenshouder (zie pag. 21). Een consortium van bedrijven wil een verbeterd systeem voor mestbanden onder de roosters bij vleesvarkens combineren met verstrekken van wroetmateriaal in het hok, en dit samen vergisten.

Akkerbouwers betrekken

In de veehouderij broeit het dus volop rondom het gescheiden houden van mest en urine. Het lijkt een kansrijke technologie om een reeks duurzaamheidsdoelen te realiseren. Wat echter nog meer moet gebeuren is de akkerbouwers erbij halen. Zij zullen de kunstmest moeten laten staan en voor de mestproducten uit de veehouderij moeten kiezen. Hier ligt ook een taak voor de boerenorganisaties (die akkerbouwers en veehouders verenigen) en voor de overheden (EU en Rijk) om via regelgeving kunstmest minder aantrekkelijk te maken. Zodat we het nooit meer over "rommel" hebben, maar over een halffabriekaat.

Bram Bos, Jessica Cornelissen en Peter Groot Koerkamp

Meer informatie: Bram Bos, t 0320 238597, e bram.bos@wur.nl

Meer informatie over Kracht van Koeien en Varkansen is te vinden op de website van Ontwerpen voor Systeeminnovatie:

www.duurzameveehouderij.wur.nl



Martien van Kempen
veehouder

‘Stalklimaat veel beter dankzij snel scheiden mest’

Bij de bron scheiden van varkensmest levert flinke winst op voor milieu en dierenwelzijn, is de stellige overtuiging van Martien van Kempen van pluimvee- en varkensbedrijf Kempfarm in Leunen.

De veehouder wilde voor zijn varkens net zo'n goed stalklimaat als voor zijn pluimvee. Dan kom je onherroepelijk uit op het gescheiden houden van de mest en urine. In de pluimveehouderij is het al dertig jaar gebruikelijk de mest onmiddellijk via mestbanden af te voeren. Daardoor blijft de geuren ammoniakemissie in de stal uiterst laag. In de varkenshouderij kreeg dit systeem geen voet aan de grond, wat te maken heeft met de stallenbouw. De roosters waar de varkens op leven, liggen aan de zijkant op stenen muren. Mestbanden onder de roosters komen op deze muren te liggen, waardoor ze na installatie onbereikbaar zijn. Niemand durfde het aan een systeem aan te leggen waar je niet bij kunt als er een storing is.

Compleet nieuw systeem

Dan maar een compleet nieuw stalsysteem, vond Van Kempen en hij keek nog eens goed

naar de constructie in de pluimveehouderij. Hier hangen de kooien aan een stalen constructie. Tussen de hoekpunten van de stalen balken kun je heel gemakkelijk bij de mestbanden als er iets mis is. Zo moest dat ook bij de varkens.

Eind jaren negentig van de vorige eeuw experimenteerden proefbedrijven ook al met mestbanden en scheiding onder de roosters, maar de technische uitvoering was niet ideaal. Van Kempen kwam samen met een broer in Amerika uit op een V-vormige band, die het altijd doet. De urine loopt naar het midden en wordt door de hellende band langzaam afgevoerd. Vervolgens gaat de urine naar een verwerkingsstelsel, dat Van Kempen samen met TNO heeft ontwikkeld. Er ontstaan zouten en hoogwaardige ammoniumkunstmest. De dikke fractie wordt vergist.

Hoge reductie

In 2003 bouwde Van Kempen de eerste praktijkstal met mestscheiding voor 4000 varkens. De stal deed precies wat Van Kempen ervan verwacht had, en zelfs meer. Metingen van Wageningen UR in 2006 lieten een 70 procent

lagere geuremissie zien. ‘Dat is beter dan de beste luchtwasser.’ Helemaal bijzonder is dat de stal de methaanuitstoot met 80 procent vermindert. Dat doet geen enkele andere stal. Ook de reductie van de ammoniakemissie is met 70 procent goed, al zijn de beste luchtwassers nog beter. Dat er toch emissie is, komt omdat er altijd mest boven de roosters of op de dichte betonvloer blijft liggen.

Voor Van Kempen wint zijn systeem het ruimschoots van de traditionele systemen. Het stalklimaat, waar het hem om te doen was, is stukken beter. Bovendien zijn de investeringskosten lager en draagt het bij aan het welzijn van de dieren. Waar in een traditioneel systeem stro en afleidingsmateriaal nogal eens de mestput verstopt, voeren in het Kempfarmstelsel de mestbanden het stro keurig af.

Het enige dat nu nog moet gebeuren, zijn extra geurmetingen. De stal krijgt pas een erkenning als een stal met een lage emissiewaarde als de reductie bij meer stallen is gemeten. Wageningen UR gaat dit jaar die metingen doen op Varkensproefbedrijf Sterksel. (LN)

Precisielandbouw: slim combineren van nieuwe technologieën

GPS, sensortechnologie, ICT en robotisering zijn allemaal essentiële ingrediënten voor de ontwikkeling van precisielandbouw. Een innovatie die gaat bijdragen aan de welhaast onmogelijke opgave om meer te produceren met minder input en lagere emissies. Dit artikel beschrijft hoe de essentiële technologische puzzelstukjes in elkaar passen en welke bijdrage precisielandbouw kan leveren aan de toekomst van de open teelten.

De toekomstige agrarische sector moet meer kunnen produceren met minder milieubelasting, zo luidde één van de uitkomsten van het toekomstbeeldenproject van de systeem-innovatieprogramma's in 2003. Dit streefbeeld heeft sindsdien alleen maar aan belang toegenomen in het licht van de eindigheid van diverse grondstoffen en het garanderen van voldoende voedsel voor de wereldbevolking. Meer produceren met een grotere duurzaamheid is echter niet te bereiken via een verdere optimalisatie van de huidige landbouwpraktijk. Nieuwe technologieën en nieuwe benaderingen zijn nodig om de koppeling tussen productieverhoging en milieubelasting te doorbreken. Denk bijvoorbeeld aan teelt de grond uit (pag. 14), het functioneel inzetten van agrobiodiversiteit of moderne veredelings technieken voor het ontwikkelen van rassen die efficiënter omgaan met energie, water en nutriënten en die toe kunnen met minder gewasbeschermingsmiddelen.

Precisielandbouw in opkomst

Vernieuwingen komen vaak tot stand als technologieën en benaderingen uit andere domeinen een nieuwe toepassing krijgen en worden doorontwikkeld. Dit geldt heel sterk voor de precisielandbouw, waar de mechanisatie uit de landbouw gekoppeld wordt aan de sensortechnologie uit de ruimtevaart, technieken uit de bodemkunde, GPS-systemen uit de defensie-industrie, toepassingen uit de ICT-branche en robotisering uit de industrie (kader pag. 22-23).

Wetenschappers zagen eind jaren tachtig al de potenties van precisielandbouw. De meerwaarde ligt op het vlak van besparingen op input (meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen), hogere opbrengsten door maatwerk, minder kans op emissies naar het milieu en residuen in het gewas, verlaging van arbeidsbehoefte en meer gemak en kwaliteit bij de uitvoering van teeltmaatregelen. Door het recent beschikbaar komen van technologieën uit andere domeinen, kan het concept nu pas goed worden uitgewerkt. Het

Innovaties uit andere domeinen

Positiebepaling. Nauwkeurige positiebepaling is essentieel voor precisielandbouw. GPS was het eerste systeem dat hiervoor beschikbaar kwam vanuit de Amerikaanse defensie-industrie. Er zijn echter ook andere systemen, zoals het Europese Galileo, het Russische Glonass en het Chinese Beidou. De overkoepelende term voor deze systemen is GNSS (Global Navigation Satellite System). Met deze systemen kunnen plaatsbepalingen binnen een perceel of gewas gedaan worden tot op enkele centimeters nauwkeurig, afhankelijk van de hulpmiddelen en diensten die de toepasser daarbij betreft.

Sensoren. Plaatsspecifieke verschillen binnen een perceel of gewas waarnemen en vastleggen is ook een belangrijk element in de preci-

sielandbouw. Daarbij zijn sensoren nodig. Sensoren fungeren als oog, neus of oor (zintuig) en nemen veranderingen waar. In de landbouw gaat het om het waarnemen van verschillen in bijvoorbeeld bodem- en gewaseigenschappen, gewasmicroklimaat en dichtheden van onkruiden, ziekten en plagen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen *near by* sensoren die op rijdende voertuigen gemonteerd zijn, en dus dicht bij de grond of het gewas meten, en *remote* sensoren die waarnemen vanuit satellieten of vliegtuigen.

Met *near by* sensoren, afkomstig uit de bodemkunde, kunnen van percelen de verschillen in natuurlijke radioactiviteit of elektrische geleidbaarheid in kaart worden gebracht. De scans zijn vooral geschikt om binnen percelen relatieve verschillen in textuur, vocht en zoutgehaltes te bepalen. Voor bepaling van specifieke bodemeigenschappen zoals hoeveelheid beschikbare stikstof, pH, organi-

zijn nu vooral de landbouwers zelf en de dienstensector eromheen die de ontwikkeling van technologieën voor precisielandbouw aanjagen. Ze krijgen daarbij ondersteuning van kennisinstellingen. De kern van precisielandbouw is dat planten een zo nauwkeurig mogelijke behandeling krijgen, leidend tot optimale opbrengsten en productkwaliteit. Tot op de vierkante meter of op een nog kleinere schaal worden beslissingen genomen over bijvoorbeeld bemesting, onkruidbestrijding, gewasbescherming en oogst van het gewas. Hierbij draait het achtereenvolgens om vier acties: waarnemen, diagnosticeren, beslissen en in actie komen. Waarnemen van gewassen en/of de bodem en vervolgens vaststellen van de toestand ervan, diagnosticeren van eventuele gebreken of behoeftes, beslissen of plaatsspecifiek behandelen nodig is en dat dan zo nodig uitvoeren, liefst op een zo klein mogelijk schaal.

Trends en eerste successen

Voor de akkerbouw liggen de kansen de komende tien jaar vooral op een wat groter schaalniveau van enkele vierkante meters. Alleen bij hoogsalderende gewassen en enkele specifieke situaties kan precisie op plantniveau al uit. Plantspecifiek behandelen zal pas echt doorbreken als robotisering zijn intrede doet.

De eerste successen met precisielandbouw zijn er al (Kempenaar et al., 2008, 2009). Vaste rijpaden- en rechtrijsystemen hebben hun intrede gedaan bij akkerbouw- en groenteteeltbedrijven, voornamelijk om teeltmaatregelen zoals ploegen gemakkelijker te maken. Op spuitmachines is sectiecontrole mogelijk, waardoor doublures in bespuitingen te verminderen zijn. Met meetapparatuur op oogst-

sche stof, et cetera zijn aanvullende bodemanalyses nodig. Bodemvocht- en microklimaatsensoren waren al langer voorhanden. *Near by* sensoren werken vaak online; de meetwaarde wordt dan direct gebruikt worden voor aansturen van een actie te velde. Met *remote sensing*, afkomstig uit de ruimtevaartindustrie, worden vanuit satellieten of vliegtuigen bepaalde gewas- en bodemeigenschappen gemeten. Dat gebeurt op basis van het meten van de reflectie van bodem- en/of gewas bij specifieke golflengtes.

ICT. Vanuit de ICT-industrie komen ontwikkelingen die precisielandbouw verder helpen. Denk aan internet en draadloze netwerken. Informatie kan daardoor gemakkelijk uitgewisseld worden, bijvoorbeeld van satelliet naar het boerenbedrijf. ICT helpt ook om geoinformatie via de bedrijfsmanagementsystemen om te zetten naar plaatsspecifieke advisering van teeltmaatregelen.

machines zijn opbrengstkaarten te maken, waarmee de plaatspecifieke variatie in de opbrengst geschat en in beeld gebracht kan worden. Met gewasreflectiemetingen via *remote* en *near by sensing* kunnen ook kaarten met opbrengstvoorspellingen gemaakt worden. Deze metingen zijn weer te gebruiken als input voor plaatsspecifieke bemesting en gewasbescherming.

Ontwikkelopgaven

Om precisielandbouw gemeengoed te laten worden, zijn er nog diverse verbeteringen en nieuwe ontwikkelingen nodig. Het gebruiksgemak, de nauwkeurigheid, de robuustheid en de bedrijfsvoordelen zijn nog (te) beperkt. Ook moeten er nog doorbraken komen op het terrein van sensortechnologie, ICT-hulpmiddelen, software met beslisregels en modellen, en mechanisatie/robotisering.

- **Sensortechnologie.** Voor een gerichte plaatsspecifieke behandeling is het belangrijk dat sensoren “waarnemen” wat er aan planten scheelt of dat ze onkruidsoorten kunnen onderscheiden van gewasplanten. Sensoren die de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem kunnen waarnemen en ziekten, plagen en onkruiden kunnen detecteren, zijn nog niet praktijkrijp of nog helemaal niet beschikbaar. Tot nu toe is detectie van ziekten en plagen in gewassen alleen maar mogelijk onder laboratoriumomstandigheden. Er wordt gewerkt aan sensorsystemen die op basis van beeld of erfelijk materiaal ziekten en plagen detecteren. Onkruidherkenning met sensoren is in enkele specifieke situaties al wel mogelijk (Evert et al., 2009; Kempenaar et al., 2008, 2009).

Mechanisatie en robotisering. Nauwkeurige aansturing van werktuigen is het sluitstuk van een precisielandbouwtoepassing. Het werktuig/apparaat dient zodanig afgestemd te zijn, dat ze op een bepaalde plaats en schaal een bepaalde teeltmaatregel kan uitvoeren, zoals plaatsspecifiek bemesten, grond bewerken of ziekten, plagen en onkruiden bestrijden. De landbouwmechanisatiesector heeft hier zelf al diverse oplossingen voor ontwikkeld zoals injectiespuitssystemen, onkruidbranders en specifieke schoffels voor in de gewasrij. Vanuit werktuigbouwkunde zullen op termijn meer toepassingen en verbeteringen komen, denk bijvoorbeeld aan waterstraalsnijden.

Mogelijk dat in de toekomst ook robotisering zijn intrede gaat doen in de (precisie)landbouw. In de glastuinbouw worden al robots ingezet, bijvoorbeeld in de weefselweek.



Biomassa-afhankelijk doseren van gewasbeschermingsmiddelen en meststoffen

De bovenste vier foto's tonen de SensiSpray-machine met specifieke onderdelen daarvan: Greenseeker sensoren gemonteerd op de spuitboom, het sturingsprogramma met beslisregels en het VarioSelect doppensysteem per sectie van de spuitboom. De onderste twee foto's tonen de Yara N-Sensor op de trekkercabine en de sensor in combinatie met kunstmeststrooier of injectie-spuit. Met deze twee machines kunnen gewasbeschermingsmiddelen en meststoffen plaats specifiek gedoseerd worden op een schaal van 10-30 m².

• *ICT-hulpmiddelen*. Standaardisatie is een belangrijke ICT-opgave. Bij precisielandbouw is namelijk veel data-uitwisseling nodig tussen machines, bedrijfsmanagementsystemen en aanbieders van diensten. De data-uitwisseling is nog onvoldoende vereenvoudigd en/of geautomatiseerd.

• *Beslisregels en modellen*. Er is specifieke software nodig met beslisregels en modellen die sensorwaarden doorvertalen in de noodzaak en intensiteit van teeltmaatregelen. Veelal schort het nog aan gevalideerde beslisregels of modellen voor plaatsspecifiek management. Voor plaatsspecifieke loofdoding van aardappelen zijn sinds kort al wel beslisregels beschikbaar. Deze regels vertalen gewasreflectiemetingen in zo laag mogelijke effectieve doseringen van loofdodingsmiddelen.

De schaal van de precisietoepassing is sturend voor hoe beslisregels en modellen opgezet moeten worden om een werking met zo min mogelijk inputs te krijgen. De grotere schaal geeft een grotere complexiteit van mee te wegen factoren. Daarvoor zijn complexere modellen nodig, zeker als met schadedrempels gewerkt gaat worden die aangeven op welk moment bestrijding van een ziekte, plaag of onkruid nodig is. En er is ook visie en kennis nodig om meerwaarde te geven aan combinaties van bodem-, gewas- en opbrengstkaarten van percelen.

• *Mechanisatie*. Veel is er ook nog te verbeteren op het vlak van actuatie: de machine die gericht, op de gewenste schaal de teeltmaatregel uitvoert. Aan de benodigde technische aanpassingen om de dosering van gewasbeschermingsmiddelen per sectie of per dop mogelijk te maken, wordt al gewerkt. Voor de toediening van meststoffen ligt er dezelfde uitdaging. Mogelijk dat nieuwe actuatieconcepten hun intrede zullen doen, bijvoorbeeld waterstraal-technieken of lasers om onkruid te doden.

In principe kunnen alle teeltmaatregelen voor precisielandbouw autonoom gemaakt worden, dat wil zeggen dat er geen mensenhanden meer nodig zijn bij de uitvoering in het veld. Om dit mogelijk te maken is er nog veel te doen. Op beperkte schaal wordt onderzoek gedaan aan autonome voertuigen voor gebruik in open teelten. Als deze voertuigen robuust en betaalbaar worden, zal dat een grote invloed hebben op de invoering van precisielandbouw. Grootschalig plantgericht behandelen komt dan een stuk dichterbij.

Verduurzaming van de landbouw

In hoeverre dragen precisietechnieken nu echt bij aan verduurzaming van de landbouw? Dat is nog niet exact te zeggen. Kwantitatieve gegevens over het effect van rechtrijsystemen en GPS-technologie op duurzaamheid ontbreken vooralsnog, voornamelijk omdat de innovaties daarvoor nog te kort in de praktijk zijn. Overigens schaffen steeds meer agrariërs dit soort systemen in

eerste instantie vooral aan om teeltmaatregelen zoals ploegen gemakkelijker uit te kunnen voeren.

Over de impact van precisielandbouw op reducties in het gebruik van stikstof en gewasbeschermingsmiddelen is meer bekend. Experts schatten dat binnen tien jaar het stikstof- en gewasbeschermingsmiddelengebruik met respectievelijk 20 en 35 procent kunnen dalen. Praktijkervaringen met plaatsspecifiek doseren van loofdodingsmiddelen via Yara N-Sensor MLHD-PHK systeem of SensiSpray tonen dit al aan (kader pag. 24) (Kempenaar et al., 2010; Michielsen et al., 2010; van de Zande et al., 2009). Precisieloofdoding kan nu al leiden tot bijna 50 procent besparing op het middelverbruik ten opzichte van de gangbare praktijk. Precisieloofdoding is echter nog zo duur dat het enkel rendabel is voor bedrijven met minimaal 200 hectare grond. Om het Yara N-Sensor MLHD-PHK systeem en SensiSpray ook interessant te maken voor bedrijven met minder dan 200 hectare, moeten er meer toepassingen voor de twee systemen ontwikkeld worden. De eerste ervaringen met biomassa-afhankelijk doseren van fungiciden zijn perspectiefvol (zie kader pag. 24). Ook naar plaatsspecifiek doseren van bodemherbiciden en plaats-specifiek bemesten met bladmeststoffen wordt onderzoek gedaan. Zodra deze technieken praktijkrijp zijn, dan zijn Yara N-Sensor en SensiSpray rendabel te maken vanaf een bedrijfsomvang van 60 hectare.

Er zijn nog grotere reducties te halen als er technieken komen voor plantspecifiek behandelen met een nog fijnere precisie. Enkele prototypen voor plaatsspecifiek bestrijden van aardappelopslag in akkerbouwgewassen of zuring in grasland laten zien dat tot 90 procent reductie van gewasbeschermingsmiddelen haalbaar is (kader pag. 26).

Samenwerking

Privaat-publieke samenwerking is de weg naar het ontwikkelen en het in elkaar laten passen van de vele technologische puzzelstukjes in de precisielandbouw. De stakeholders van precisielandbouw – telers, landbouwmechanisatiebedrijven, toeleverende bedrijven, kennisinstellingen en adviesbureaus – hebben elkaar vorig jaar gevonden. De overheid faciliteert deze privaat-publieke samenwerking. Inmiddels zijn de eerste praktijkprojecten van start gegaan. SensiSpray, die recent de KIZ-innovatieprijs heeft ontvangen, is een geslaagd voorbeeld van hoe samenwerking tussen twee toeleverende bedrijven en Wageningen UR heeft geresulteerd in een toepassing voor de praktijk. (KIZ staat voor Keuringsinstituut Zaaizaad, een provinciale voorloper van de NAK; de vereniging stimuleert met de prijs praktische innovaties in de akkerbouw.). Om alle, nu nog vooral theoretische voordelen van

Prototypes voor plantspecifiek bestrijden van onkruid

De bovenste rij foto's tonen ontwikkelingen op het gebied van plantgerichte bestrijding van aardappelopslag. Op de linkerfoto: detectie van aardappelplanten via een geavanceerd plantherkenningssysteem. Op de rechterfoto: detectie via sensoren, die ook gebruikt worden bij onkruidbestrijding op verhardingen. De sensoren herkennen de aardappelopslagplanten en sturen de spuitdoppen zodanig aan dat de herbicide alleen op de doelwitplanten terecht komt.

De foto linksonder is een prototype van een robot die zuring in grasland kan detecteren en op niet-chemische wijze kan bestrijden. De foto rechtsonder laat een prototype zien van onkruidherkenning en niet-chemische bestrijding in de gewasrij (de sensoren zitten onder de rode kappen (omgekeerde trechters)).



precisielandbouw te kunnen verzilveren, zijn zeker nog een aantal diepte-investeringen nodig om de benoemde sleuteltechnologieën praktisch toepasbaar te maken. Denk daarbij aan een universele plantgezondheidsensor, een bodemstikstofsensor, beslisregels voor bemesting, irrigatie, gewasbescherming en onkruidbestrijding en autonome voertuigen. Nieuwe coalities tussen partners op het

snijvlak van verschillende sectoren kunnen hier fors aan bijdragen. Waardoor het toekomstbeeld van een economisch sterke landbouwsector met minder input en lagere emissies binnen handbereik komt.

Corné Kempenaar

Meer informatie: Corné Kempenaar, t 0317 480498, e corne.kempenaar@wur.nl

Zie ook websites als: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Precisielandbouw>

www.geo-logisch.nl, www.mlhd.nl, www.knpv.org/nl/menu/Precisielandbouw



Revolutie in duurzaam bodembeheer

Door een serie technologische innovaties komt duurzaam bodembeheer dichterbij. Een goede zorg voor de bodem is altijd al belangrijk geweest voor de landbouw, maar met de verwachte gevolgen van de klimaatverandering neemt dit belang toe. De uitdaging is om via een goede bodemkwaliteit onder extreme weersomstandigheden – korte hevige buien, drogere periodes et cetera – toch goed te produceren en een goede kwaliteit te leveren.

De bodem is de belangrijkste productiefactor in de grondgebonden landbouw. Volgens de FAO en United Nations Environment Programme (UNEP) wordt wereldwijd de kwaliteit van landbouwgrond ernstig bedreigd (www.isric.org). De oorzaken zijn per regio verschillend, maar de belangrijkste factoren zijn erosie, uitmijning, verzilting, verdichting, afname van het organische stofgehalte en afname van bodembiodiversiteit. Deze factoren zijn gerelateerd aan het bodemmanagement zoals grondbewerking, organische stofbeheer en nutriëntenbeheer. Een goed landbouwkundig bodemmanagement is niet alleen belang-

rijk voor de productie van voedsel, voer en grondstoffen, maar ook voor de kwaliteit van ecosystemen wereldwijd. Want bodem speelt een grote rol in wateropslag en biodiversiteit, in de emissies van bijvoorbeeld broeikasgassen en ammoniak naar de lucht en nitraat naar het water, en in de weerbaarheid van gewassen tegen fysische, chemische en biotische stress. Voor Nederland is dit laatste een belangrijk punt. De verwachting is dat door klimaatverandering het neerslagpatroon zal veranderen. In toenemende mate kunnen we rekenen op korte perioden van hevige neerslag en langere perioden van droogte. De bodem krijgt zware buien te

verwerken, maar moet ook langer water kunnen leveren in droge perioden. De landbouwproductie moet tegelijkertijd op peil blijven en geborgd zijn. Met de manier waarop de landbouw nu met de bodem omgaat, lukt dat op den duur niet meer. Nieuwe benaderingen zijn nodig.

Nederlandse situatie

Ook zonder klimaatverandering kennen we in Nederland al problemen met de bodemkwaliteit en opbrengstzekerheid. Bekend is de erosie in het Limburgse heuvelland, vooral veroorzaakt door het ploegen als hoofdgrondbewerking. Op dalgronden veroorzaakt wind soms erosie. In de landbouw is het de algemene trend om steeds zwaardere machines in te zetten en onder slechte weersomstandigheden toch te oogsten. Dit verdicht de bodem, met een slechtere bodemstructuur tot gevolg.

Een afname van het organische stofgehalte lijkt gemiddeld over Nederland nog niet aantoonbaar, maar in experimenten en lokaal is wel vastgesteld dat bij het gangbare bodemmanagement gehalten afnemen. Nu kan nog steeds goedkoop organische stof worden aangevoerd door het overschot aan mest uit de intensieve veehouderij. Maar de steeds strengere restricties voor het gebruik van mest beperken in de toekomst mogelijk de aanvoer van organische stof uit deze bron. Ook uitputting van bepaalde voedingsstoffen in de bodem treedt nog niet aantoonbaar op, maar door de eenzijdige nadruk op stikstof, fosfaat en kalium in de bemesting kunnen er in de toekomst mogelijk wel tekorten aan micronutriënten ontstaan.

Niet-kerende grondbewerking

Zijn er oplossingen voor de bedreigingen van de bodemkwaliteit? Jazeker, maar ze hebben ook allemaal nadelen die aandacht en (technische) oplossingen verdienen. Een van de meest beproefde oplossingsrichting wereldwijd is een minder intensieve en andere manier van grondbewerking. Vaak gaat het om het achterwege laten van kerende grondbewerkingen. De voordelen van niet-ploegen zijn evident en ruimschoots aangetoond: een verbeterd bodemleven, een toename of verminderde afname van organische stofgehalten in de bodem, meer watervasthoudend en ook meer waterdoorlatend vermogen, minder erosie en lagere kosten (Dumanski et al., 2006). Er zijn ook nadelen: meer onkruiddruk, een minder fijn en vlak zaaibed voor fijnzadige gewassen, minder gemakkelijk wegwerken van gewasresten et cetera. In teeltsystemen met vooral maaivruchtgewassen (bijvoorbeeld granen, graszaad, koolzaad, blauwmaanzaad en vlas) zien we wereldwijd een toename van *conservation agriculture*. In dit landbouwsysteem is sprake van minimale grondbewerking en een

continue bedekking van de bodem met bijvoorbeeld gewasresten of groenbemesters. Voor systemen met veel rooivruchten zoals in Nederland (aardappelen, bieten) komt er nog een technische uitdaging bij. De oogst van dit soort gewassen heeft door de zware machines en oogst onder vaak slechte omstandigheden een verdichting van de grond tot gevolg. De kunst is de grond voldoende te laten herstellen zonder te ploegen.

Extra handicap

Voor de biologische landbouw is er een extra handicap bij niet-kerende teeltsystemen. Onkruiden en gewasresten worden niet ondergeploegd en ze zijn ook niet chemisch te bestrijden (Sukkel, 2008). Toch zijn het in Nederland vooral de biologische ondernemers – naast gangbare ondernemers in het Limburgse heuvelland en graantelers op de zware zeelei in het Oldambt – die momenteel experimenteren met ploegloze landbouw. In de biologische landbouw is traditioneel veel aandacht voor de bodem. Biologische boeren zien de bodem als basis van landbouwproductie.

Een groeiende groep biologische ondernemers ontwikkelt, vanuit de zorg voor een betere bodemkwaliteit, systemen met vaste rijpaden. De kern van dit soort systemen is dat de bewerkingen altijd over dezelfde trekkersporen worden uitgevoerd, zodat de bodem tussen deze rijsporen zo min mogelijk wordt belast en samengedrukt. Aangetoonde voordelen zijn een betere bodemstructuur waardoor er meer werkbare dagen zijn voor bewerkingen zoals zaaien en onkruidbestrijding, een hogere stikstofbenutting en een lagere lachgasemissie (Vermeulen et al., 2008 en 2010). Vooralsnog worden in de meeste rijpadensystemen niet vanaf de rijpaden geoogst en wordt in het najaar nog steeds de ploeg ingezet vanwege de genoemde nadelen van niet-kerende grondbewerking. Een volgende stap naar een volledige toepassing van vaste rijpaden en het achterwege laten van een kerende grondbewerking hangt af van technologische innovaties in de zaai- en oogsttechniek.

Innovaties

De innovaties liggen op het terrein van precisiebesturing, sensortechniek, mechanisatie en robotisering uit de precisielandbouw (zie kader pag. 22). Deze kunnen zowel rijpadensystemen en *conservation agriculture* verbeteren en de genoemde nadelen van de systemen aanpakken. Hier ligt een grote uitdaging voor zowel het onderzoek als het bedrijfsleven.

Rijpadensystemen vergen precisieplaatsbepaling en rechtrijtechnieken. GPS-stuursystemen hebben er al voor gezorgd dat het rechtrijden geen probleem meer is. Een tractor met een GPS-stuur-

systeem kan op elk moment op exact hetzelfde spoor rijden, zodat alleen daar bodemverdichting optreedt. Ook *strip tillage*, een systeem dat in veel landen sterk in opkomst is, is door GPS-toepassingen toegankelijker geworden. *Strip tillage* is een vorm van minimale grondbewerking, waarbij gewasresten aan de kant worden geschoven en alleen een kleine zaaistrook wordt bewerkt. Deze techniek is mogelijk ook toepasbaar voor fijnzadige gewassen zoals ui en peen, die een fijn zaaibed nodig hebben.

De mechanische onkruidbeheersing is door de inpassing van nieuwe technologie sterk vernieuwd. De nieuwe generatie onkruidwieders zal verder verbeteren door sensortechniek, door vertaling van detectie naar actie (bijvoorbeeld een schoffelbeweging) en door een snelle uitvoering van deze actie. Dit komt ten goede aan de efficiency en effectiviteit van mechanische onkruidbeheersing. Op den duur zal de onkruiddruk in ploegloze systemen door dit soort ontwikkelingen beter aan te pakken zijn.

Naast de komst van steeds grotere en zwaardere landbouwmachines onder druk van schaalvergroting, zijn er toch kansen voor kleinere en lichtere machines die de grond minder belasten. Een voorwaarde is dat deze automatisch te besturen zijn. Robotisering kan op deze manier ook bijdragen aan een beter bodembeheer.

Combinaties

De combinatie van *conservation agriculture*, biologische landbouw en rijpadensystemen heeft een grote potentie voor het in stand houden van de bodemkwaliteit. Wanneer de bodem niet meer samengedrukt wordt, zoals in de teeltbedden van het rijpadensysteem, is ploegen niet meer nodig. Wanneer onkruid goed mechanisch te bestrijden is, dan is een hogere onkruiddruk door het achterwege laten van ploegen geen grote belemmering meer. Wanneer de gewasresten van groenbemesters op het veld de zaaibedbereiding niet meer belemmeren, kunnen ook fijnzadige gewassen in een niet-ploegsysteem worden opgenomen. Wanneer in het rijpadensysteem ook vanaf de rijpaden geoogst kan worden, neemt de kans op bodemverdichting door zware oogstmachines verder af. Ploegen is dan echt niet meer nodig.

Systeemexperimenten

Duurzaam bodembeheer zonder ploegen wordt momenteel uitgetest in het ambitieuze systeemexperiment "Basis". Op de Broekemahoeve in Lelystad past Wageningen UR sinds 2008 een combinatie van methoden op kleigrond toe. Het gaat om een rijpadensysteem gecombineerd met een aantal vormen van minimale grondbewerking. De methoden worden toegepast in een gangbaar teeltsysteem met kunstmeststoffen en herbiciden, en in een biolo-

gisch teeltsysteem met organische stof en vlinderbloemigen als nutriëntenbronnen en mechanische onkruidbeheersing. De opbrengsten, organische stofopslag, waterinfiltratie en wateropslag, biodiversiteit en broeikasgasemissies worden nauwkeurig gemeten. Daarnaast testen en verbeteren onderzoekers nieuwe technieken. Met dit experiment is over vier tot acht jaar een uitspraak te doen over de verschillende landbouwkundige en ecologische effecten van de combinatie van methoden voor duurzaam bodembeheer.

Samenwerking

De praktische haalbaarheid van rijpadensystemen en niet-kerende grondbewerking staat of valt met de ontwikkeling van bijpassende technieken voor een aantal cruciale bewerkingen. Omdat verschillende agrarische ondernemers al nieuwe technieken en methoden op hun bedrijf testen en optimaliseren, werken landbouwkundig onderzoekers nauw met hen samen, faciliterend door kennis en ervaring bij elkaar te brengen, maar ook concreet door hulp te bieden bij de ontwikkeling van een technologie en het uitvoeren van ondersteunende metingen en waarnemingen. Ook met technici en machinebouwers wordt samengewerkt. Gezamenlijke trajecten moeten leiden tot technische doorbraken en tot inzicht in de effecten van methoden voor duurzaam bodembeheer.

De meeste ervaring met deze zoekrichtingen is er op kleigrond, op zandgrond veel minder. Duurzaam bodembeheer op zandgrond zal er in ieder geval anders uitzien dan op kleigrond, vanwege andere problemen. Nitraatuitspoeling, waterbeheer (droogte) en bodemgezondheid spelen bijvoorbeeld een veel grotere rol op zandgrond dan op kleigrond. Dit betekent dat er gezocht moet worden naar een andere combinatie van methoden voor duurzaam bodembeheer en dat er deels andere technische oplossingen noodzakelijk zijn. Experimenten voor duurzaam beheer op zandgronden zijn in voorbereiding en gaan naar verwachting september 2010 van start. Ook hier zal een nauwe samenwerking tussen de praktijk en technici noodzakelijk zijn om toepassingen praktijkrijp te maken.

Wijnand Sukkel

Literatuur

- Arkesteijn, M., 2007. Met beslissingsondersteunend model kunnen telers optimaal sturen. *Onder Glas* 1: 49-51.
- Arkesteijn, M., 2009. Potplantentelers kunnen 40-70% energie besparen met slimmer telen. *Onder Glas* 2: 23-25.
- Basalla, G., 1988. *The evolution of technology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Buwalda, F., C.J.T.J. Jilesen, P.H.J. Korsten, D. Zonnenberg and F. van Noort, 2004. External Quality and Timing of Flowering Pot Plants - Modelling Side Shoot Emergence and Biomass Partitioning to Flowers of Kalanchoe. *Acta Hort.* 654: 45-54.
- Bos, A.P. and John Grin, 2008. "Doing" Reflexive Modernization in Pig Husbandry: The Hard Work of Changing the Course of a River. *Science, Technology & Human Values* 33: 480-507.
- Bos, A.P., J.M.R. Cornelissen en P.W.G. Groot Koerkamp, 2009. *Kracht van Koeien – Ontwerpen voor systeeminnovatie*, Wageningen UR, Lelystad.
- Carvalho, S.M.P., M.J. Bakker, E. Heuvelink and B.A. Eveleens, 2006. Improving product quality and timing of Kalanchoe: model development and validation. *Acta Hort.* 718: 655-662.
- Dijkshoorn-Dekker, M.W.C., 2002. *Crop Quality Control System: a tool to control the visual quality of pot plants*. Thesis Wageningen University.
- Dumanski, J., R. Peiretti, J.R. Benites, D. McGarry and C. Pieri, 2006. The paradigm of conservation agriculture. *Proceedings of World Association of Soil and Water Conservation Paper nr P1-7: 58-64*.
- Eijk, O.N.M. van, C.C. de Lauwere, H.J.E. van Weeghel, L.M.T.E. Kaal-Lansbergen, A.M. Miedema, W.W. Ursinus, A.P.H.M. Janssen, J.M.R. Cornelissen en J.J. Zonderland, 2010. *Varkansen – Springplank naar een duurzame veehouderij*, Wageningen UR, Wageningen-Lelystad.
- Elzen, B., S. Spoelstra en G. Migchels, 2009. Hoe praktijkinitiatieven bijdragen aan duurzame innovaties. *Syscope* 22: 27-30, Wageningen UR.
- Evert, F.K. van, G. Polder, G.W.A.M. van der Heijden, C. Kempenaar en L.A.P. Lotz, 2009. Real-time vision-based detection of *Rumex obtusifolius* in grassland. *Weed Research* 49: 164-174.
- Freeman, M. and C. Perez, 1988. Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour. In: Dosi, G., C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg and L. Soete (Eds.), *Technical Change and Economic Theory: 33-36*, Pinter Publishers, London.
- Galama, P.J., 2006. *Rigoreus vooruit: bouwstenen voor nieuwe bedrijfssystemen in natte veenweidegebieden en beekdalen, een beeldboek met innovatiekaarten*. Wageningen UR, Lelystad.
- Galama, P.J., G. Holshof, I.E. Hoving, F.A.J. Lenssinck, H.A. van Schooten en J. Zijlstra, 2009. *Ondernemen in gebieden met natuurlijke beperkingen*. Wageningen UR, Wageningen.
- Geels, F.W., 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research policy* 33, 897-920.
- Geels, F.W. and R. Raven, 2006. Non-linearity and Expectations in Niche-Development, Trajectories: Ups and Downs in Dutch Biogas Development, 1973-2003, *Technology Analysis & Strategic Management Vol. 18, Nos. 3/4: 375-392*.
- Haan, J. de, 2009. Zoektocht naar nieuwe oplossingen voor toekomst open teelten. *Innoveren met nutriënten, Syscope* 22: 34-38.
- Haan, J. de en W. van Geel, 2010. *Nutriënten Waterproof. Nitraatnorm op zand verdraagt geen intensieve landbouw*. Wageningen UR, Lelystad.
- Hard, M., 1994. Technology as practice: local and global closure processes in diesel-engine design. *Social Studies of Science* 24: 549-585.
- Hoving, I.E., J.J.H. van den Akker en M. Pleijter, 2009. *Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang*. Wageningen UR, Lelystad.
- Jansen, J.L.A. en Ph. Vergragt, 1993. *Naar duurzame ontwikkeling met technologie: uitdaging in programmatisch perspectief*. Milieu 1993, nr. 5.
- Kempenaar, C., H.S. Oosterhuis, A.M. van der Lans, D.A. van der Schans, E.S.C. Stilma, V.J.C. Hendriks-Goossens, B.R. Verwijs, C.A.P. van Wijk, J.C. van de Zande en L.A.P. Lotz, 2010. *Ontwikkeling van het prototype SensiSpray in de gewassen aardappel en tulp*. Nota 667, Wageningen UR, Wageningen.
- Kempenaar, C., van der Weide, R.Y., Been, T.H., van de Zande, J.C. en L.A.P. Lotz, 2009. *Precisielandbouw en gewasbescherming: kansen, witte vlekken en kennisvragen*. Nota 588, Wageningen UR, Wageningen.
- Kempenaar, C., V.T.J. Achten, A.J. Olijve, D.A. van der Schans, R.Y. van der J.C. van de Zande, 2008. *Biomassa afhankelijk doseren van gewasbeschermingsmiddelen*. *Gewasbescherming* 39 (5): 177-182.
- Kommers, M.A.W. en G.K. Hopster, 2004. *Vernieuwing van verbreding*. Wageningen UR, Lelystad.
- Lundvall, B. A., 1992. *National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*. London, Printer Publishers.
- Michielsen, J.M.G.P., J.C. van de Zande, V.T.J.M. Achten, H.

- Stallinga, P. van Velde, B. Verwijs, C. Kempenaar, D.A. van der Schans and J. de Boer, 2010. Precision of a sensor-based variable rate sprayer. *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 99, 2010: 21-28.
- Oosten, H.J. van, 2000. Wat is de kracht van kennis? Voordracht tijdens het symposium van het 100-jarig bestaan van Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente. NLRO-rapport 2000/5, Den Haag.
- Os, E. van, M. Bruins, J. Wilms, P. van Weel en J. de Haan, 2010. Prei teeltsystemen uit de grond. Onderzoek 2009, Wageningen UR, Bleiswijk.
- Richards, P., 1993. Cultivation: knowledge or performance? In: Hobart T, M. (Ed.), *An anthropological critique of development: the growth of ignorance*. London, Routledge.
- Roobeek, A.J.M., 1988. Een race zonder finish: de rol van de overheid in de technologiewedloop, een politiek-economische analyse van het technologiebeleid in zeven industrielanden. Amsterdam, VU Uitgeverij.
- Smits, R., 2000. Innovatie in de Universiteit. Inaugurale rede mei 2000, Universiteit Utrecht.
- Stolk, G., 2008. Van industriële wasserij naar glastuinbouw. *Onder Glas* 3: 70-71.
- Suchman, L., 1987. *Plans and situated action: the problem of human-machine communication*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Sukkel, W., 2008. Organic and conservation agriculture, the best of both worlds? In: *ECOMIT: Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Sustainable Farming Systems*. Piestany, Slovakia, 5-7 November 2008, 96-99.
- Vermeulen, G.D. and W. Sukkel, 2008. Potential of low ground pressure for harvesting machinery in a controlled traffic farming system in organic agriculture. In: *Ecomit. Proceedings of the 5th Int. Sci.Conf on Sustainable Farming Systems*, 5-7 November, 2008, Piestany, Slovakia.
- Vermeulen, T. en C. Blok, 2009. Chrysantenteelt in substraatbedden. Open dag Substraatbedden n.a.v. het project Chrysantenteelt in Substraatbedden, Wageningen UR, Bleiswijk.
- Vermeulen, G.D., J.N. Tullberg and W.C.T. Chamen, 2010. Controlled traffic farming In: *Dedousis A.P. and T. Bartzanas (Eds.), Soil Engineering*. Heidelberg Dordrecht Londen New York: Springer, *Soil Biology* 20.
- Voogt, W., F. Sterk en T. Vermeulen, 2008. Teelt in kasgrond; Nederland anno 2007. Inventarisatie van teelten en arealen, een indeling naar bedrijfstypen en gebieden met het oog op uitspoeling naar oppervlakte) of grondwater en een verkenning naar mogelijkheden tot emissiereductie. Wageningen UR, Bleiswijk.
- Vijverberg, A.J., 1996. *Glastuinbouw in ontwikkeling: beschouwingen over de verwetenschappelijking van de sector*. Proefschrift Wageningen Universiteit, Wageningen.
- Zande, J.C. van de, V.T.J.M. Achten en C. Kempenaar, 2009. *SensiSpray: site-specific precise dosing of pesticides by online sensing*. Book of Abstracts JIAC congres, July 2009, Eds. C. Lokhorst, J.F.M. Huijsmans, R.P.M. de Louw. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.

system

innovatie
