

**'VEERKRACHTIG VOORUIT: OP WEG NAAR  
GEZONDE BIOLOGISCHE PRODUCTIESYSTEMEN'**

**'RESILIENTLY FORWARD: ON THE WAY TO  
HEALTHY ORGANIC PRODUCTION SYSTEMS'**

door Prof. Dr. Ir. Ariena H. C. van Bruggen  
by Prof. Dr. Ir. Ariena H. C. van Bruggen

*Hoogleraar Biologische Bedrijfsystemen  
Chair Organic Farming Systems*



**WAGENINGEN UNIVERSITEIT**

Inaugurele rede uitgesproken op 11 mei, 2000, in de Aula van Wageningen Universiteit en Research Centrum bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in 'Biologische Bedrijfsystemen' aan de Wageningen Universiteit  
Inaugural address delivered on May 11, 2000, in the Auditorium of Wageningen University on the occasion of acceptance of the position of Professor in 'Organic Farming Systems' at the Wageningen University

## **'VEERKRACHTIG VOORUIT: OP WEG NAAR GEZONDE BIOLOGISCHE PRODUCTIESYSTEMEN'**

Meneer de Rector, leden van de Raad van Bestuur, dames en heren,

Dank U wel dat U hierheen bent gekomen om mijn inaugurele rede mee te maken. Ik zie een inaugurele rede als een feestelijke gelegenheid om mijn visie te presenteren over het onderwijs en onderzoek dat wij gezamenlijk zullen uitvoeren in onze leerstoelgroep. In dit geval is het een extra feestelijke gelegenheid omdat het een nieuwe leerstoelgroep betreft: Biologische Bedrijfssystemen. Aan het eind van deze rede wil ik dan ook graag de leden van mijn leerstoelgroep aan U presenteren.

U zult misschien verbaasd zijn dat alle beelden in het Engels zijn. Dit heb ik met opzet gedaan om aan onze buitenlandse gasten tegemoet te komen. For the foreign guests among you, I summarized this inaugural address in English in a Powerpoint presentation. All tables and graphs will also be presented in English. I will explain them in Dutch. I hope that that is a satisfactory compromise.

De functie van een inaugurele rede is in de eerste plaats om ons te bezinnen op het raamwerk waarbinnen het onderwijs en onderzoek plaats zullen vinden, en de structuur die wij aan zullen brengen in deze activiteiten. De boodschap die ik U mee wil geven is dat mijn leerstoelgroep energiek bij zal dragen tot het ontrafelen van basisprincipes die ten grondslag liggen aan het optimaal functioneren van biologische bedrijfssystemen. Deze uitspraak doet U misschien denken aan de titel van mijn rede 'Veerkrachtig vooruit'. Dit slaat niet uitsluitend op de kracht waarmee wij onderwijs en onderzoek aan zullen pakken maar houdt ook verband met bepaalde concepten in de wetenschap. Het woord veerkrachtig roept allerlei

associaties op: met veerkrachtige tred, resoluut, opgewekt, de manier waarop sommige mensen lopen. Het heeft echter ook een andere betekenis: met veerkracht, terugstuitend, terugkerend na uit evenwicht gebracht te zijn. In die zin heeft het ook een ecologische betekenis. Daar kom ik straks nog op terug.

Behalve presentatie van wetenschappelijke ideeën heeft een inaugurele rede nog een heel andere functie, namelijk om U aan den lijve te laten ondervinden wat mijn opvattingen zijn over lesgeven. Misschien heeft U recentelijk ook het opiniestuk 'Niet slimmer maar wijzer' van Frits van Oostrom in de NRC gelezen. Van Oostrom schreef over de ontevredenheid van Nederlandse studenten over het academische onderwijs op de grote universiteiten, waar het opzuigen en uitspugen van specialistische kennis norm lijkt te zijn. Van Oostrom beschreef het algemene core curriculum voor de wetenschappelijke en maatschappelijke vorming van studenten in de V.S. om hen te leren een weloverwogen eigen oordeel te vormen. In Wageningen zijn wij op dit moment bezig om het onderwijs in dezelfde richting te veranderen. Hierbij is het persoonlijke contact van studenten met hoogleraren en wetenschappelijke staf heel belangrijk.

Voordat ik echter verder inga op mijn ideeën over onderzoek en onderwijs in biologische landbouw, zal ik U eerst een korte historische schets van landbouwkundige en maatschappelijke ontwikkelingen geven zodat U mijn verhaal in een kader kunt plaatsen.

## **Historisch perspectief**

Hoe heeft de ontwikkeling zich voltrokken van de vroege landbouw naar de huidige landbouw in de ontwikkelde

wereld? Misschien herinnert U zich van geschiedenislessen dat gewasproductie begonnen is als kap en brand landbouw, waarbij steeds nieuwe stukken bos ontgonnen werden. De as zorgde voor een tijdelijke toename in anorganische nutriënten. We zijn misschien geneigd om te denken dat traditionele landbouwkundige praktijken biologisch zijn, maar is dit waar voor zogenaamde kap en brand landbouw? Deze praktijk heeft bijvoorbeeld tot veel erosie geleid. Toen de bossen allemaal gekapt waren in West Europa, werden er andere wegen gevonden om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden, bijvoorbeeld door het verbouwen van vlinderbloemigen en door heideplaggen en mest naar landbouwvelden te brengen (zoals de Eng net buiten Wageningen). Dit soort landbouw lijkt meer op biologische landbouw, maar de vroegere landbouw was gebaseerd op intuïtie en ervaring, niet op wetenschappelijke kennis. Omschakeling naar biologische landbouw betekent daarom niet een teruggang in de tijd.

De gangbare landbouw van vandaag begon met de introductie van Chili salpeter als meststof. De ontwikkeling van de analytische wetenschap in de achttiende en negentiende eeuw en de algemeen geaccepteerde realistisch positivistische opvattingen hebben geleid tot allerlei technologische ontwikkelingen zowel in de landbouw als daarbuiten. Een reductionistische aanpak, waarbij deelaspecten van een probleem apart geanalyseerd worden, heeft geleid tot enorme vooruitgang in kennis en techniek. Successen in anorganische chemie hebben geleid tot het gebruik van kunstmest; genetica en veredeling hebben ons verbeterde planten- en dierenrassen gegeven; toegepaste natuurkunde heeft geresulteerd in mechanisatie en later de informatietechnologie; en organische chemie heeft

bijgedragen aan de ontwikkeling van bestrijdingsmiddelen. Deze technologische ontwikkelingen hebben de toename in landbouwproductie sinds de veertiger jaren mogelijk gemaakt. Toch nemen de opbrengsten van bepaalde gewassen de laatste tijd weer af, bijvoorbeeld van rijst. Deze achteruitgang is voornamelijk te wijten aan een achteruitgang in de kwaliteit van de grond (Cassman et al., 1997). Hoewel de resultaten van het reductionistische onderzoek over het algemeen tot een enorme vooruitgang in de landbouw hebben geleid, hebben de huidige landbouwkundige methoden allerlei nadelige effecten gehad, met name voor het milieu. In de eerste plaats is de landbouw gedeeltelijk verantwoordelijk geweest voor de wereldwijde achteruitgang in bodemkwaliteit (Mannion, 1998). Productieve grond gaat wereldwijd verloren als gevolg van erosie, structuurverlies, en nutriëntenverlies. Bodemstructuur en nutriëntenleverend vermogen hangen voor een groot deel af van het organische materiaal en de micro- en macro-organismen (bacteriën, schimmels en allerlei beestjes). Die bodemkwaliteiten kunnen alleen bewaard blijven door voldoende organisch materiaal terug te geven aan de bodem.

Ten tweede heeft de landbouw de kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater negatief beïnvloed door bovenmatig gebruik van stikstof en fosfor in kunstmest en dierlijke mest, en ook door het gebruik van moeilijk afbreekbare pesticiden met een breed werkingsspectrum. Het gebruik van deze chemische stoffen heeft waarschijnlijk geleid tot een vermindering van de biodiversiteit in de bodem en het oppervlaktewater.

Ten derde heeft er een toenemende specialisatie plaatsgevonden in de landbouw, zowel in de gewasteelt als in de veeteelt, zodat er op grote gebieden nu maar één of enkele

gewassen verbouwd worden en dieren in min of meer industriële complexen gefokt worden. Deze specialisatie heeft enorme consequenties gehad voor een verschraling van het landschap, zowel in esthetische als ecologische zin (Mannion, 1998). Denkt U maar even aan het Nederlandse landschap van vijftig jaar geleden vergeleken met nu. In Californië had ik het gedicht 'Herinnering aan Holland' van H. Marsman aan de muur hangen om mij te herinneren aan het landschap in Nederland.

'Denkend aan Holland  
zie ik brede rivieren  
traag door oneindig  
laagland gaan,  
rijen ondenkbaar  
ijle populieren  
als hoge pluimen  
aan den einder staan;  
en in de geweldige  
ruimte verzonken  
de boerderijen  
verspreid door het land,  
boomgroepen, dorpen,  
geknotte torens,  
kerken en olmen  
in een groots verband.' Enzovoort (Aarts en van Erten,  
1999).

Toen ik na 19 jaar terugkwam in Nederland was het landschap veranderd van het vertrouwde beeld met kleine huisjes rond een hooguitstekende kerk temidden van weilanden, landerijen, en hier en daar een bosje, tot een beeld van uitgestrekte industrieterreinen en huizenblokken

die oude dorpen vaak volledig opslokken. Het onderscheid tussen stad en platteland is vervaagd (Mak, 1998). Niet zo heel erg anders dan in the Los Angeles basin. Tegen deze veranderingen in het landschap komt steeds meer verzet vanuit de burgerij vertegenwoordigd door verschillende natuur- en milieuorganisaties. Dit heeft aanleiding gegeven tot een nieuw overheidsbeleid ten aanzien van plattelandsontwikkeling waarbij natuurontwikkeling actief bevorderd wordt.

Tenslotte hebben hoge dichtheden van genetisch uniforme planten en dieren geresulteerd in enorme epidemieën, zowel onder planten als onder dieren. Het meest beruchte voorbeeld is het recente uitbreken van de varkenspest. Ook ondoordachte bezuinigingen op het voer hebben tot grote problemen geleid, bijvoorbeeld de gekke-koeienziekte en dioxineverontreiniging van kippen. Deze internationale problemen hebben niet alleen schade berokkend aan boeren, maar hebben economische schade veroorzaakt voor de hele maatschappij. Een nog schadelijker en langer blijvend effect van deze problemen in de fokkerij is het verlies aan vertrouwen in onze voedselproductieketen. De mensen zijn over het algemeen zeer bezorgd over voedselkwaliteit en -gezondheid.

### **Wat is gezondheid?**

Gezondheid, dat is eigenlijk een moeilijk begrip. Ik denk aan twee verbanden waarin dit woord gebruikt wordt:

(1) de toestand van een goed functionerend organisme. Als het gaat om een mens, kan gezondheid ook gedefinieerd worden als een samenspel tussen geestelijk, sociaal, en lichamelijk welbevinden.

(2) een kwaliteitsaanduiding voor een omgeving die het

welzijn van een organisme bepaalt, zoals bijvoorbeeld een gezond klimaat, gezond voedsel of een gezonde bodem. Maar wat is deze staat van welbevinden? Een mogelijke definitie is een toestand van efficiënt functioneren van een organisme of een systeem met minimale energieverliezen; met andere woorden met zo veel mogelijk gesloten energie- en nutriëntencycli. Een van de meest sprekende voorbeelden van een ongezond systeem is wel een organisme met een darminfectie door verontreinigd voedsel. U weet dit waarschijnlijk allemaal door ervaring. Het is moeilijk om de gezondheid van voedsel te meten omdat voedsel in dit opzicht uit tenminste drie soorten componenten bestaat (Jongen, 1995). Sommige interne componenten leveren een positieve bijdrage tot de gezondheid van de consument (zoals mineralen en vitaminen), andere hebben een negatieve invloed (bijvoorbeeld hoge nitraatgehaltes in groenten of alkaloiden in aardappelen). Ten derde, voedsel is in het algemeen niet steriel maar bevat allerlei micro-organismen, die niet automatisch slecht voor de gezondheid zijn. Het effect op de gezondheid van de consument hangt af van de samenstelling van de microbiële gemeenschap. Sommige schimmels produceren giftige stoffen, zogenaamde mycotoxinen die heel gevaarlijk kunnen zijn. Sommige bacteriën zoals Salmonella produceren ook toxinen die ziekte in mensen veroorzaken. Aan de andere kant dragen Lactobacillus bacteriën bij tot het goed functioneren van de darmen, en een diverse microbiële gemeenschap kan bijdragen tot een verhoogde immuniteit.

Het is ook moeilijk om de gezondheid van de bodem of het ecosysteem te bepalen. O'Neill et al. (1986) hebben een gezond ecosysteem gedefinieerd als 'een systeem met integriteit van nutriëntencycli en energiestromen, stabili-



teit, en veerkracht tegen een verstoring'. Dat klinkt net als de definitie die ik eerder gaf van een gezond organisme. Het betekent dat er minimale verliezen van nutriënten optreden, bij voorbeeld door uitspoeling van nitraat naar het grondwater, emissie van ammoniak naar de lucht vanuit mest aangebracht op het veld, of emissie van methaan-gas uit koeien en schapen dat bijdraagt tot het broeikas-effect. Een stabiel ecosysteem houdt in dat de gemeenschap van verschillende organismen in het systeem weerstand kan bieden tegen een verstoring, zodat de amplitudo's van de populatiefluctuaties die volgen op een verstoring relatief klein zijn. Dit is analoog aan het terugschieten van een uitgetrokken veer. De reactie wordt steeds kleiner totdat de veer tot stilstand komt. Op dezelfde manier worden de fluctuaties in populaties gedempt, totdat het systeem zich hersteld heeft van de verstoring. De tijd die nodig is voor dit herstel is omgekeerd evenredig aan de veerkracht van het systeem. Hoe korter de tijd tot het herstel intreedt, des te groter is de veerkracht. Zo hebben wij pas in een artikel gesuggereerd om bodemgezondheid te meten door de reactie van de microbiële gemeenschap op een verstoring te bepalen (van Bruggen en Semenov, 1999 en 2000). We hebben enkele voorlopige gegevens die suggereren dat de veerkracht van grond uit een biologisch bedrijf groter zou zijn dan die uit een gangbaar bedrijf.

### **Biologische landbouw op dit moment**

De eerdergenoemde problemen in de gangbare landbouw met betrekking tot het milieu, het verlies van biodiversiteit en het vertrouwde landschap, en de bezorgdheid over voedselveiligheid zijn aanleiding geweest voor allerlei wettelijke maatregelen en vrijwillige veranderingen op land-

bouwbedrijven. De huidige landbouw verandert in twee richtingen, de zogenaamde (1) 'geïntegreerde landbouw' waar het gebruik van bestrijdingsmiddelen en kunstmest verminderd wordt, en (2) de 'biologische landbouw' waar op een zo natuurlijk mogelijke wijze landbouw bedreven wordt.

De meeste onder U zijn misschien al wel bekend met biologische landbouw, in het bijzonder met de consumptie van haar producten. Velen van U hebben echter waarschijnlijk nog nooit een voet gezet op biologische bodem of met een biologische boer gepraat. Daarom zal ik een korte beschrijving geven van de eigenschappen van biologische productiesystemen, en de manier waarop deze verschillen van gangbare productieketens.

Ten eerste, wat is een productiesysteem, en hoe verschilt dit van een productieketen, een term die je overal hoort tegenwoordig? Het woord keten wordt gebruikt om aan te geven dat landbouw meer betekent dan wat er op de boerderij gebeurt. De keten omvat het hele proces van planten- en dierenveredeling, via zaaizaadproductie of inseminatie, gewas- en veeteelt, oogst, bewerking van de primaire producten, helemaal tot aan de verpakking en verkoop van de uiteindelijke producten. In mijn ogen bestaat een keten uit lineaire economische activiteiten zonder opzij of achterom te kijken naar dingen die niet gemakkelijk in economische termen uitgedrukt kunnen worden, zoals neveneffecten op het milieu, handhaving van biodiversiteit en welzijn van mens en dier. Ik denk dat de term productieketen niet past in de biologische landbouw. Daarom heb ik de terminologie 'biologische productiesystemen' gebruikt in de titel van deze rede. Een systeem is een netwerk van samenhangende componenten en processen, waarbij het functioneren van het systeem

bepaald wordt door die samenhang. Dit netwerk is vergelijkbaar met een voedselweb, niet een voedselketen. Wat zijn de componenten en processen die karakteristiek zijn voor de biologische landbouw? Ten eerste proberen biologische boeren de bodemvruchtbaarheid te handhaven met behulp van uitgebalanceerde gewasrotaties, inclusief stikstofbindende gewassen, toevoeging van dierlijke mest en compost, en minder diepe grondbewerkingen. Kunstmest wordt niet gebruikt en natuurlijke meststoffen zoals fosfaatsteen worden zo min mogelijk aangewend. In plaats van synthetische gewasbeschermingsmiddelen worden gewasrotaties aangepast om ziekten en plagen te voorkomen. Verder wordt natuurlijke ziekten- en plagenbestrijding bevorderd door het planten van menggewassen, bomen, struiken, en wilde grassen en bloeiende planten om parasitoïden en predatoren aan te trekken. Biologische boeren zijn zorgzaam voor de omgeving en het welzijn van mens en dier. Landbouwdieren krijgen genoeg ruimte om zich te bewegen en te rusten, bij voorkeur op stro. Desondanks kan de winstmarge na een overgangperiode voor biologische boeren even goed of beter zijn dan voor gangbare boeren, gedeeltelijk vanwege de hogere prijs voor biologische producten. Bewaring en verwerking van deze producten is ook anders dan van gangbare producten omdat synthetische conserveermiddelen en verwerkingschemicaliën niet gebruikt mogen worden. Tenslotte verloopt zelfs de vermarkting van biologische producten anders doordat consumenten behalve kwaliteit en prijs ook andere beweegredenen hebben om biologische producten te kopen. Ondanks de voordelen die verbonden zijn aan biologische productie, is op dit moment minder dan 2% van het landbouwareaal in Europa gewijd aan deze vorm van landbouw

(<http://europa.eu.int>). Iets meer dan 1% van alle bedrijven zijn gecertificeerd biologisch. De biologische productie breidt zich echter snel uit, met gemiddeld 28% per jaar. In Nederland, zijn er ongeveer 1300 biologische bedrijven met een totaal oppervlakte van ruim 24.000 ha (Platform Biologica). Bijna de helft van dit areaal is grasland, een kwart tuinbouw, en een kwart andere landbouwgewassen. We zitten in een opwindende tijd voor de biologische landbouw, want de Nederlandse regering streeft ernaar dat 10% van de agrarische productie biologisch is in het jaar 2010. In sommige Europese landen, zoals Zweden en Oostenrijk, is dit percentage al bereikt. De snelle uitbreiding van de biologische landbouw vindt niet alleen plaats in de ontwikkelde landen maar ook in ontwikkelingslanden.

## **Ideale biologische landbouw**

Het tweede deel van de titel van deze rede is 'Op weg naar gezonde biologische productiesystemen'. Dus, ons doel is 'gezonde biologische productiesystemen'. Maar wat zijn de eigenschappen van gezonde productiesystemen? In de eerste plaats natuurlijk economisch rendabele systemen, anders zouden ze niet lang blijven bestaan. Maar op dit moment wil ik het graag hebben over ecologische aspecten. Zoals ik eerder al zei, een gezond ecosysteem verliest geen of weinig nutriënten en energie; er kan zelfs accumulatie van organische stof plaatsvinden. Dit gebeurt in systemen met een grote biodiversiteit, ingewikkelde voedselwebben, en lage concentraties van gemakkelijk opneembare nutriënten, bijvoorbeeld in een bodem met een hoog humusgehalte. De biomassa en omzettingen van deze nutriënten kunnen zo groot zijn dat gemakkelijk opneembare voedingsstoffen schaars zijn ondanks een hoog totaal

organische stofgehalte dat dient als een reservoir waaruit voedingsstoffen vrij kunnen komen. Ik denk dan ook dat de bodem van een biologisch bedrijf 'oligotroof' genoemd zou kunnen worden. Dit zou ik graag willen onderzoeken. In oligotrofe systemen zijn de nutriënten en energicycli zo gesloten mogelijk. Dit betekent dat biologische productiesystemen idealiter op zichzelf zouden moeten staan of onderling zouden moeten samenwerken om onafhankelijk te zijn van input van buiten. De realiteit ligt echter nog ver af van dit ideaal (Hendriks en Oomen, 1999).

De eigenschappen die ik net genoemd heb zijn typisch voor climax ecosystemen. Als we ervoor zouden zorgen de bodem zo veel mogelijk bedekt te houden, beginnen biologische systemen op natuurlijke ecosystemen te lijken. Idealiter hebben biologische bedrijven ook beplante vluchtstroken voor natuurlijke vijanden van insectenplagen. Deze gebieden zouden ook dienst kunnen doen als bufferstroken om natuurreservaten met elkaar te verbinden. Het hangt natuurlijk af van de soorten die men wil beschermen of deze stroken in dit opzicht effectief zouden kunnen zijn. In ieder geval kunnen biologische bedrijven veel functies hebben behalve die van voedselproductie. De vraag voor biologische boeren is echter: hoeveel van mijn areaal kan ik opofferen aan natuurontwikkeling zonder te veel inkomen te derven en toch profijt te hebben van de biodiversiteit om plagen in mijn landbouwgewassen beter te beheersen?

### **Overbruggen van de afstand tussen huidige en ideale biologische productiesystemen**

De biologische landbouw lijkt dus ideaal om bij te dragen tot de verfraaiing van het landschap, allerlei milieu-

problemen op te lossen, voedselveiligheid te garanderen, en voldoende inkomen aan biologische boeren te verschaffen. Dan vraagt U zich misschien af: waarom zijn al niet veel meer boeren omgeschakeld tot biologisch produceren? Er zijn een aantal commissies geweest die zich over diezelfde vraag hebben gebogen en de knelpunten voor uitbreiding van biologische landbouw in Nederland aangegeven hebben, bij voorbeeld de Advies Commissie voor de Minister van Landbouw voorgezeten door Mevrouw Ria Beckers. Eén van de belangrijkste knelpunten is het gebrek aan geïnstitutionaliseerde kennis over biologische landbouwmethoden, aangezien de huidige kennis vooral gestoeld is op boerenervaring. Er zijn echter nog vele problemen die niet gemakkelijk op te lossen zijn uit ervaring, zoals technische problemen met optimale nutriëntenvoorziening, onkruiden, ziekten en plagen, en sociaal-economische problemen met betrekking tot de afzetmarkt en prijsfluctuaties. De potentiële variatie in kosten, productieniveaus en inkomsten geven aanleiding tot grote onzekerheid onder gangbare boeren of omschakeling tot biologische landbouw economisch rendabel zal zijn.

Ik zie het als de taak van de leerstoelgroep Biologische Bedrijfssystemen om die onzekerheid te verminderen door de basisprocessen die zich afspelen op biologische bedrijven beter te leren begrijpen. Gelet op de behoeften aan onderzoek en de deskundigheid in mijn leerstoelgroep, gaan wij ons op vier onderzoeksthema's richten: (1) het ontwikkelen van methodes om optimale biologische bedrijfssystemen te ontwerpen, (2) optimalisatie van nutriëntencycli op biologische bedrijven, (3) optimalisatie van de gezondheid van bodem, plant en dier op biologische bedrijven, en (4) doelmatige integratie van landbouw en natuur. Ik zal U nu het verband tussen deze thema's

laten zien en voorbeelden geven van onderzoeksprojecten in deze thema's.

Herinnert U zich dat we het hadden over de reactie van componenten en processen in een systeem na een verstoring? De overgang van gangbare naar biologische landbouw is een superverstoring van een systeem dat al niet erg gezond was in ecologische zin. Voordat een nieuw evenwicht zich instelt, kunnen we fluctuaties verwachten in de beschikbaarheid van nutriënten, plantenziekten en plagen, diergezondheid, productieniveaus, en vaardigheden om het bedrijf te beheren. Hoeveel jaren die fluctuaties zullen duren is niet precies bekend, maar voor de bodem zijn er indicaties dat het omschakelingsproces drie tot vijf jaar duurt voordat er een stabiele nutriëntenvoorziening is (Liebhardt et al., 1989). De drempel voor omschakeling wordt daarmee hoog. Deze kan natuurlijk verlaagd worden door een tijdelijke subsidie. Maar het lijkt mij ook belangrijk om de te verwachten fluctuaties en risico's tijdens de omschakelingsperiode te kunnen schatten en uiteindelijk ook te verminderen, zodat boeren een berekend risico in hun overweging om om te schakelen kunnen meenemen.

In de afgelopen 20 jaar zijn er een groot aantal prototypes van geïntegreerde en biologische bedrijven opgezet in Europa, ook in Nederland. Deze prototypes hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan de ecologisering van de landbouw. Het ontwerp van deze bedrijven is gebaseerd op de deskundige ervaring van experts die, in samenwerking met boeren, de ontwerpen systematisch hebben bijgeschaafd (Wijnands, 2000). Het zou echter onmogelijk zijn om alle mogelijke combinaties van bedrijfsmaatregelen in prototypes uit te testen. Om toch allerlei combinaties te kunnen vergelijken, heeft een van mijn wetenschappelijke

stafleden bedrijfsmodellen gebruikt van theoretische prototypes, na een grondige analyse van huidige bedrijfstypen en na het opstellen van uiteenlopende doelstellingen in samenwerking met verschillende belangengroepen. Met hulp van lineaire programmeringstechnieken zijn er optimale bedrijfssystemen ontwikkeld waarbij de verschillende doelstellingen in ogenschouw zijn genomen. Op deze manier heeft een team van onderzoekers, boeren, en vertegenwoordigers van milieuorganisaties geïntegreerde bloembollenbedrijven ontwikkeld (Rossing et al., 1997). De volgende stap zal de ontwikkeling van biologische bollenbedrijven en ander bedrijfssystemen zijn. Het zou interessant zijn om te zien of we er doelstellingen bij zouden kunnen betrekken die onze inzichten in het functioneren van gezonde ecosystemen verwoorden. Als een gezond ecosysteem een oligotroof systeem zou zijn, zou de omschakeling van gangbare naar biologische bedrijven vergelijkbaar zijn met de overgang van een eutroof naar een oligotroof ecosysteem. Een van de doelstellingen zou dan kunnen zijn de oligotrofificatie van het systeem op zo kort mogelijke termijn, niet door het systeem uit te mergelen maar door biomassa en diversiteit op te bouwen, bijvoorbeeld door winterbodembedekkers te gebruiken en de grond zo min mogelijk te bewerken. We moeten met de boeren praten om hun doelstellingen helder voor ogen te krijgen, dan kunnen we misschien helpen met het opzetten van bedrijfssystemen in een proces van ontwerpen, testen, toetsen en bijschaven (Wijnands, 2000). Het ontwerpen van bedrijfssystemen is geen lineair proces, maar een heen en weer gaan, en toch veerkrachtig vooruit! In de prototype bedrijven die ik eerder noemde, hebben onderzoekers allerlei metingen verricht tijdens de overgangsfase. Dit waren gewoonlijk samengestelde grootheden



zoals opbrengsten, bestrijdingsmiddelengebruik, minerale stikstof in de bodem, eiwit- en ureumgehalte in de melk, mestproductie en -samenstelling, en nitraatgehalte in het slootwater. Deze hebben bijgedragen tot verbetering van de prototypes, maar om processen op bedrijfsniveau te kunnen verklaren zouden meer gedetailleerde gegevens nodig zijn.

Wageningen UR heeft een aantal experimentele prototype bedrijven. Er is echter maar één experimenteel gemengd bedrijf, namelijk de A.P. Minderhoudhoeve in Swifterbant in de Flevopolder. Er zijn daar twee verschillende bedrijfs-systemen, een biologisch en een geïntegreerd systeem.

Deze systemen zijn vijf jaar geleden ontworpen op basis van de deskundige ervaring van twee van mijn stafleden in samenwerking met een onderzoeker van het Departement Dierwetenschappen en de bedrijfsleiding van de Minderhoudhoeve (Lantinga en Oomen, 1998). Leden van mijn groep zullen de Minderhoudhoeve als gezamenlijk proefobject gebruiken om de bedrijfssystemen in detail te analyseren.

Het geïntegreerde bedrijf was ontwikkeld om de stikstof-emissie te verminderen door het dieet van het melkvee te veranderen, namelijk met meer vezels en minder eiwit door stro en bietenpulp aan het dieet toe te voegen. Het kunstmestverbruik is drastisch verminderd door vrijwel al het grasland in de gewasrotatie op te nemen en stikstofbindende klavers met het gras te mengen, zodat volggewassen kunnen profiteren van stikstofmineralisatie na het omploegen. De resultaten zijn opmerkelijk met betrekking tot efficiëntie van het stikstofverbruik, verminderde nitraatuitspoeling, en de kwaliteit van de mest. En toch zijn de koeien gezond en is de melkproductie hoger dan tevoren.

Het biologische systeem werd zo ontwikkeld dat de producten het gemiddelde consumptiepatroon van Europeanen weerspiegelen om de situatie van een gesloten systeem op regioniveau te simuleren. Het biologische bedrijf is gesitueerd op de plaats waar vroeger permanente graslandpercelen lagen. Het omploegen van het gras resulteerde eerst in grote hoeveelheden minerale stikstof die niet efficiënt benut konden worden. Een moeilijke overgangsfase volgde met betrekking tot de stikstofbalans, ziekten en plagen, gewasopbrengsten en melkproductie. Sinds de afgelopen twee jaar zijn de opbrengsten en melkproductie echter vooruitgegaan, en is de situatie gestabiliseerd. Het stikstofcyclus model N-DICEA is gebruikt om minerale stikstofconcentraties in de boven- en ondergrond te voorspellen (Bokhorst en Oomen, 1998). Hoewel de voorspellingen over het algemeen goed zijn, worden de stikstofgehalten soms onderschat vergeleken met gemeten waarden, vooral in the ondergrond. De verschillen tussen de resultaten van modellen en observaties in de biologische landbouw zijn misschien te wijten aan het feit dat bepaalde processen belangrijker zijn in de biologische landbouw dan in de gangbare landbouw, terwijl die processen niet in de modellen zijn opgenomen. Een voorbeeld is stikstofbinding door vrijlevende bacteriën, die belangrijker zou kunnen zijn in de biologische landbouw. Voor de complexere biologische systemen, zouden de modellen dus aangepast moeten worden. Hoewel koolstof- en stikstofbalansen berekend zijn in vele onderzoeksprojecten, worden er vaak schattingen gebruikt in de berekeningen, doordat de metingen incompleet zijn; zo worden stikstofbinding en denitrificatie zelden gemeten. De tijd is rijp om de koolstof, stikstof, en fosforcycli in detail te analyseren in gemengde bedrijfssystemen. Onze leerstoelgroep is van

plan dat te doen in samenwerking met onderzoekers van het Praktijk Onderzoek PR. Bovendien zijn we aan een samenwerkingsproject met Cuba begonnen om gemengde bedrijfssystemen daar te analyseren en te verbeteren. We willen ook graag onderzoeken of er een wetenschappelijke basis is voor de algemeen aanvaarde stelling dat biologische bedrijfssystemen, hun ecosystemen, en producten gezonder zijn dan hun tegenhangers in de gangbare landbouw. Inderdaad, bodemgebonden pathogenen die wortelziekten veroorzaken worden vaak onderdrukt in biologische bedrijven (van Bruggen, 1995). Aangezien de gezondheid van plant en dier gerelateerd kunnen zijn aan de activiteit en samenstelling van microbiële gemeenschappen, stel ik voor om naar de eigenschappen te gaan kijken van die gemeenschappen om mogelijke verschillen tussen biologische en gangbare bedrijven te kunnen begrijpen. Mijn hypothese is dat er een cyclus is van microbiële gemeenschappen, te beginnen met een zeer ingewikkelde gemeenschap in de bodem, waaruit een kleinere gemeenschap geselecteerd wordt op plantoppervlakten, en weer een kleinere gemeenschap in de pens en darmen van dieren, en vandaar een gemeenschap in de mest die vervolgens weer terugkeert naar de bodem. Is de microbiële diversiteit groter op biologische producten dan op gangbare producten? Worden pathogenen op het oppervlak, inclusief mycotoxinen-producerende schimmels, gedeeltelijk geremd door de rest van de microbiële gemeenschap? Is bodemgezondheid een essentieel onderdeel van een goed-functionerend biologisch bedrijfssysteem, zoals vaak wordt aangenomen door biologische boeren? Hoe kunnen we bodemgezondheid meten? Zoals ik eerder al gezegd heb, stel ik voor om naar de veerkracht van microbiële gemeenschappen te kijken na een verstoring.

Als een onderdeel van ons onderzoek naar gezondheid van het ecosysteem, zullen we ook onderzoeken waarom sommige gronden en compostpartijen wortelziekten onderdrukken (Termorshuizen en Blok, 2000). We willen dat namelijk graag kunnen voorspellen. De redenen kunnen liggen in de samenstelling van de voedingsstoffen voor schimmels en bacteriën in de grond of compost en in de samenstelling en diversiteit van de organismen in de bodem en compost. We zijn van plan om met de leerstoelgroep Bodemkunde en Plantenvoeding samen te werken aan dit project. Het voedselweb in de bodem is verbonden met het bovengrondse voedselweb. Het bovengrondse web wordt ook bestudeerd in onze leerstoelgroep (Smeding en Joenje, 1999). Een interessante uitkomst is al dat de top predatoren in het web, de vogels, talrijker zijn in de natuurstroken op biologische bedrijven. De samenstelling van het voedselweb hangt af van de natuurlijke infrastructuur op en rondom de bedrijven. Biologische bedrijven proberen die infrastructuur te verbeteren om de natuurlijke bestrijding van ziekten en plagen te bevorderen. Op deze manier kunnen boeren ook bijdragen aan de nationale infrastructuur. Hoe belangrijk is deze functie van biologische bedrijven voor het behoud van biodiversiteit en de esthetische waarde van het landschap? Ik denk dat we in samenwerking met Alterra onderzoek zouden kunnen doen naar het belang van de verhouding tussen de omtrek en de oppervlakte van natuurstroken in relatie tot de doelstelling, namelijk de bescherming van soorten aan de ene kant en beoogde interactie met landbouwproductievelden aan de ander kant.

Over diversiteit gesproken... In de loop van de eeuwen is er een grote diversiteit aan cultuurplanten en landbouwhuisdieren geselecteerd. In de afgelopen decennia is die

diversiteit echter enorm achteruitgegaan door het groot-schalige gebruik van een relatief klein aantal rassen. Bovendien neemt het areaal dat bebouwd wordt met inheemse landrassen wereldwijd steeds verder af. In de biologische landbouw wordt variatie echter gekoesterd. Samen met de leerstoelgroepen Entomologie en Gewas- en Onkruid Ecologie hebben wij een project over effecten van biodiversiteit op ziekten, plagen, en voedselwebben. Verder willen wij graag samenwerken met het Louis Bolk Instituut aan de selectie van oude en nieuwe rassen, speciaal voor de biologische landbouw.

Binnen de biologische landbouw zijn er zo veel vragen die op een antwoord wachten! De vragen lijken divers, maar ik zie een duidelijke lijn die al deze vragen samenbindt. De lijn is niet recht maar fluctuerend; hij gaat op en neer door alle integratieniveaus van bedrijfssystemen naar microbiële gemeenschappen, en dan weer omhoog naar bedrijfssystemen en de maatschappij. De centrale vraag is: wat is gezondheid? Van een gezonde boerengemeenschap, een gezond landbouwecosysteem, via een gezonde grond, naar gezonde biologische producten, en uiteindelijk gezonde planten, dieren, en mensen. Wat is er voor nodig om terug te keren naar een dynamisch evenwicht na een verstoring, na omschakeling van het bedrijfssysteem? Wat kunnen we doen om deze tijdsperiode te verkorten?

Ik heb vrij veel fundamentele vragen aan U voorgelegd, maar zolang het onderzoek gedaan wordt op biologische bedrijven of biologische proefbedrijven, met biologische grond, en in samenwerking met biologische boeren, loopt zelfs fundamenteel onderzoek vaak uit op praktische toepassingen. En omgekeerd kun je zeer praktisch onderzoek doen, maar het hangt van de interpretatie van de gegevens af of er fundamentele wijsheden uit voort-

komen; een mooi voorbeeld is het praktische onderzoek dat wij in Californië gedaan hebben aan de bestrijding van valse meeldauw op sla, dat geleid heeft tot een theoretische verhandeling over het broeikas-effect (Scherm en van Bruggen, 1994).

## **Onderwijs in Biologische Landbouw**

Zoals U al begrepen zult hebben, zal er veel nieuwe kennis nodig zijn op velerlei terreinen in biologische productiesystemen. Er zal hierdoor een groeiende vraag zijn naar onderzoekers op universiteiten en in de industrie, voorlichters, beleidsmakers, en leraren die goed getraind zijn in specifieke kennis en begrip van de productieprocessen op biologische boerenbedrijven en in de verwerkende industrie. Zelfs het marktwezen op het gebied van biologische landbouw is anders omdat producenten en consumenten geassocieerd met de biologische landbouw niet louter op economische gronden handelen maar ook op ethische gronden en uit milieuoverwegingen. Dit betekent dat er nieuwe opleidingen moeten komen waarin aandacht geschonken wordt aan de specifieke eigenschappen van biologische productie. Deze opleidingen schieten als paddestoelen uit de grond op veel Europese universiteiten. Wageningen wil graag aan deze ontwikkeling deelnemen, en wil zelfs in het middelpunt staan van de Europese opleidingen. Mijn leerstoelgroep zal daar enthousiast aan meewerken.

Dankzij toegezegde steun van de minister van LNV, minister Brinkhorst, zullen wij met een aantal leerstoelgroepen een nieuwe opleiding Biologische Productiesystemen ontwikkelen, mits daar behoefte aan is in de maatschappij. Deze opleiding zal op vijf peilers rusten:

plantenwetenschappen (inclusief ziekten en plagen), dierwetenschappen, bodembioïogie en nutriëntencycli, microbiologische levensmiddelentechnologie, en maatschappijwetenschappen (inclusief sociologie, ethiek, en economie). Mijn leerstoelgroep wil graag bijdragen door het opzetten van cursussen waarin bestaande biologische bedrijven en hun landbouwecosystemen worden geanalyseerd en waarin nieuwe bedrijfstypen worden ontworpen. In deze cursussen gaan observaties buiten hand-in-hand met laboratoriumanalyses en computeroefeningen. In de beoogde opleiding zullen bèta en gamma elementen geïntegreerd worden zodat onze afgestudeerden een effectieve bijdrage kunnen leveren aan optimaal functionerende biologische productiesystemen.

In de laatste fasen van het onderwijs zullen MSc studenten begeleid worden in het ontwerpen, uitvoeren en analyseren van onderzoeksprojecten volgens internationaal geaccepteerde methodes. Wij hebben al nieuwe regels opgesteld om te bevorderen dat de resultaten van studentenonderzoeken gepubliceerd kunnen worden waarbij ernaar gestreefd zal worden om de studenten eerste auteur te laten zijn, zoals dat gebruikelijk is voor andere MSc opleidingen. De eventuele nieuwe opleiding Biologische Productiesystemen zal ook aantrekkelijk worden voor studenten uit ontwikkelingslanden, aangezien kennis van landbouwkundige technieken zonder gebruik van kunstmest en pesticiden in vele gebieden nuttiger kan zijn dan meer kennis van kapitaal-intensieve teelttechnieken. Voor het aantrekken van internationale studenten zullen er wel fondsen beschikbaar moeten komen om met andere Europese universiteiten te kunnen concurreren.

## **Positie van BIOB binnen WUR en in de wereld**

Dit is een selectie uit de onderzoeks- en onderwijsactiviteiten die mijn groep zal entameren. Deze activiteiten passen bij uitstek binnen het verkozen werkerterrein van Wageningen UR dat soms weergegeven wordt als de ruimte tussen twee hoofdassen: een as voor agropductie en de tweede as voor de kwaliteit van de groene ruimte, het landelijk gebied met zijn vele functies. Ik hoop dat ik U overtuigd heb dat we basisonderzoek kunnen doen op een hoog abstractieniveau, en dat dit onderzoek kan leiden tot het vinden van praktische oplossingen voor praktische problemen. Ik ben blij dat ik zo veel verschillende deskundigen in mijn leerstoelgroep heb. Dit is een grote kracht voor een groep mensen die samenwerken aan zo'n complex systeem. Wij zullen echter ook samenwerken met de praktische onderzoeksinstituten verbonden aan het DLO en het Praktijk Onderzoek om onze resultaten te testen en te implementeren. We hebben al afspraken gemaakt met onderzoekers van Plant Research International, het Praktijk Onderzoek Dier, en het Louis Bolk Instituut om samen te werken aan een aantal projecten. Verder werken we natuurlijk samen met andere leerstoelgroepen binnen Wageningen UR zoals dierlijke productiesystemen, de teeltgroepen, bodemkunde, fytopathologie, en entomologie. Ook zullen we samenwerken met andere universiteiten in Nederland en het buitenland. Met name wil ik Moscow State University en de Russische Academie van Wetenschappen noemen, waar ik al vijf jaar mee heb samengewerkt op het gebied van de bodemmicrobiologie. Samen zullen we veerkrachtig vooruit gaan, op weg naar gezonde biologische productiesystemen.



## Woorden van dank

Geachte leden van de Raad van Bestuur, Professor Veerman, ik wil U graag danken voor het in mij gestelde vertrouwen om wetenschappelijke kennis over biologische landbouw te ontwikkelen en over te dragen, een belangrijke taak in een wereld die hunkert naar duidelijkheid omtrent de gezondheid van ons voedsel en het systeem waarin het geproduceerd wordt. Ook de leden van de Benoemings Advies Commissie, in het bijzonder de voorzitter Johan Bouma, en de directeur van het Departement Plantenwetenschappen Evert Jacobsen wil ik hiervoor danken. Ook wil ik graag Ria Beckers bedanken die mij geïntroduceerd heeft onder veel beleidsmensen op het gebied van de biologische landbouw, en die mij heeft aangemoedigd als een vriendin.

Professor Zadoks, Jan-Carel, mijn begeleider tijdens mijn ingenieursstudie in Wageningen, ik heb altijd grenzeloze bewondering gehad voor je heldere geest en brede belangstelling, kenmerken van een echte professor. Jij hebt me op het goede academische pad geholpen door mij aan te moedigen een PhD op Cornell University te gaan halen. Ik ben ook Phil Arneson, mijn vroegere begeleider voor mijn PhD op Cornell, dankbaar, omdat hij mij meer bewust heeft gemaakt van allerlei milieuproblemen.

Er zijn vele collega's en vrienden aan wie ik dank verschuldigd ben. Mijn collega-hoogleraren en wetenschappelijk medewerkers hebben constructief bijgedragen aan mijn gedachtevorming over de invulling van mijn opdracht om een nieuwe leerstoelgroep Biologische Bedrijfssystemen op te zetten. Nu wil ik graag de wetenschappelijke staf en het ondersteunend personeel van deze nieuwe groep aan U voorstellen. Ten eerste de UHD die al een poos creatief

heeft gewerkt aan non-lineaire relaties en golfbewegingen maar die ook stevig met zijn voeten in het grasland en de koeienvlaaien staat, dames en heren, Egbert Lantinga. Ten tweede, de UD die N-DICEA heeft geschreven, het model dat wijd en zijd gebruikt wordt door biologische en gangbare boeren en adviseurs, en die mij bij de biologische boerengemeenschap in Nederland heeft geïntroduceerd, dames en heren, Gerard Oomen. Ten derde, de UD die een briljante modelbouwer is, en toch uitstekende contacten heeft met boeren, dames en heren, Walter Rossing. Ten vierde, de UD die een uitstekende experimenteerder, modelbouwer, plantenziektkundige en schimmeldeskundige is, dames en heren Aad Termorshuizen. En dan, de UD die een geweldige kennis van wilde planten, vogels, en insecten heeft, en die ook allerlei artistieke gaven heeft, dames en heren, Frans Smeding. Verder hebben wij drie fantastische analisten die een chemisch, microbiologisch, en plantenziektkundig lab beheren, dames en heren, Hennie Halm, Oscar de Vos, en Dine Volker. Tenslotte, hebben wij twee geweldige secretaresses die mij steeds tot steun zijn geweest, ook bij de organisatie van dit evenement, dames en heren, Lien Uithol en Wampie van Schouwenburg. Dank jullie allemaal voor jullie enthousiasme om een team te maken van onze leerstoelgroep. Van mijn vrienden wil ik graag Marina en Martien Cohen Stuart noemen die mij hebben aangemoedigd terug te keren naar Wageningen als hoogleraar, en mij een tijdelijk thuis hebben gegeven toen ik inderdaad terugkeerde. Een van mijn collega's wil ik nog met name noemen vanwege de stimulerende wetenschappelijke discussies over de afgelopen vijf jaar. Alexandre Semenov, thank you very much for your excellent collaboration.

Mijn familieleden zijn mij altijd tot steun geweest. In het

bijzonder wil ik mijn vader en moeder bedanken die mij van kinds-af-aan belangstelling hebben bijgebracht voor al wat leeft en groeit en ons altijd weer boeit, en mij aangemoedigd hebben om mijn eigen grenzen te verleggen. Van al mijn zussen en broers wil ik graag mijn oudste zus Gaia noemen die mij er vaak op gewezen heeft dat er meer is in dit leven dan de exacte wetenschappen, en die mij geholpen heeft met de literaire kanten van deze rede.

Tenslotte, dames en heren, nodig ik U uit voor de receptie met biologische hapjes en drankjes waar U hopelijk met al Uw zintuigen van kunt genieten.

Meneer de Rector, leden van de Raad van Bestuur, dames en heren,

Ik dank U voor Uw aandacht.

## **'RESILIENTLY FORWARD: ON THE WAY TO HEALTHY ORGANIC PRODUCTION SYSTEMS'**

Rector magnificus, members of the Executive Board, ladies and gentlemen,

Thank you very much for coming to Wageningen to attend my inaugural address. I consider an inaugural address a festive opportunity to present my vision on teaching and research to be carried out by all members of our group. In this case, it is an extra festive occasion because it concerns a new research and teaching group: Biological Farming Systems. At the end of this address I like to present to you the individual members of my group.

For the foreign guests among you, I summarized this inaugural address in English in a PowerPoint presentation. All tables and graphs will also be presented in English. I will explain them in Dutch. I hope that that is a satisfactory compromise.

The function of an inaugural address is in the first place to contemplate the framework in which our educational and research efforts will take place, and the structure we will give to these activities. The message I like to give you is that the organic farming systems group will contribute energetically to the discovery of principles underlying the optimal functioning of organic farming systems. This reminds you perhaps of the title of this address 'Resiliently Forward'. The Dutch word resilient has a double meaning. It is associated with a springy step, positive and resolute, the way in which some people walk. However, it also has a different meaning: with elasticity, bouncing back after being pushed out of equilibrium. In that sense it also has an ecological meaning. I will come back to that later. Besides presentation of scientific ideas, an inaugural address has yet another function, namely to let you

experience physically what my views are about teaching. These views have been strongly influenced by my experiences during a 19-year long stay in the United States. Perhaps you recently read the article 'Not smarter but wiser' by Frits van Oostrom in the NRC. Van Oostrom wrote about the discontent of Dutch students about the academic education at large universities where soaking in and spitting out of specialist knowledge seems to be the norm. According to van Oostrom, a core curriculum provides the general scientific and social education of students in the U.S. to teach them to develop a sound own judgement about societal issues. We are setting up a similar program at Wageningen at the moment. For this kind of education personal contact of students with professors and scientific staff is essential. However, before I go into the details of my ideas about research and teaching in organic agriculture, I will first give you a brief overview of agricultural and societal developments so that you can place these ideas in a context.

## **Historical perspective**

How did early agriculture develop into the mainstream agriculture we see in the developed world today? Perhaps you remember from history classes that crop production started as slash and burn agriculture, regularly moving on to new areas of forest. The ashes functioned to temporarily increase inorganic nutrients. We may be inclined to think that traditional agricultural practices are organic, but is this true for slash and burn agriculture? This practice has led to severe erosion for example. When the forests were exhausted in Western Europe, other means were developed

to maintain soil fertility, for example by growing legumes, or moving heather sod and manure onto production fields (such as the Eng outside Wageningen). This kind of agriculture looks more like organic farming, but it was based on intuition and experience, not on scientific knowledge. Conversion to organic farming today does not mean a return in time.

Conventional agriculture, as we see it today, started with the introduction of chilli saltpeter as fertilizer. The development of analytical science in the eighteenth and nineteenth centuries and the pervasive presence of realistic positivistic ideas led to tremendous technological advances. A reductionist approach, where a problem is dissected into separate parts, led to an enormous expansion of our knowledge base and increases in agricultural yields. Successes in inorganic chemistry resulted in the use of synthetic fertilisers; genetics and breeding gave us improved plants and animals; applied physics resulted in mechanization and later information technology; and organic chemistry gave rise to pesticides. These technological advances are responsible for the increases in agricultural production since the 1940's. Yet, the yields of several crops have gone down recently, for example that of rice. This yield decrease is primarily due to a decline in soil quality, despite the continued use of fertilisers (Cassman et al., 1997).

Despite the advances made in agricultural production, conventional farming practices have had major environmental impacts. First and foremost, agriculture has contributed in a major way to a degradation of soil quality (Mannion, 1998). Worldwide, productive soil is being lost due to erosion, loss of structure and innate fertility. These qualities depend to a large extent on soil organic matter and associated micro- and macro-organisms (bacteria,

fungi, and various animals), and can only be maintained by returning sufficient organic matter to the soil.

Second, agriculture has had a major impact on the quality of surface and ground water due to excess nitrogen and phosphorus applied as fertilizers and/or manure and due to use of pesticides some of which are toxic to a wide array of organisms and are not broken down easily. These practices have also led to a reduction in biodiversity, especially in soil and surface waters.

Third, the increasing specialisation in crop and animal production, whereby large areas are devoted to single crops, and animals have been raised in industrial settings, have transformed the landscape both in aesthetic and ecological sense (Mannion, 1998). Think for example of the Dutch landscape of fifty years ago. In California, I had the poem 'Memory of Holland' by H. Marsman on the wall of my office to remind me of the landscape in Holland.

#### 'Thinking of Holland

I see wide rivers  
slowly flowing  
through endless lowland,  
rows of inconceivably  
open poplars stand  
as high feathers  
on the horizon;  
and sunken in the  
enormous space  
the farm buildings  
spread through the land,  
trees, towns,  
knotted towers,

churches and elms

in one majestic whole' Etc. (Aarts and van Etten, 1999)

When I returned to the Netherlands the landscape had changed from the familiar view with small houses and a tall church surrounded by meadows, agricultural fields, and now and then some bushes to a view of extensive business parks and housing blocks often engulfing the old villages and cities. The distinction between countryside and city has become diffuse (Mak, 1998). Very similar to the Los Angeles basin. This is giving rise to opposition from Dutch citizens as evidenced by the activities of many environmental and nature-conservation organisations. This led to a change in government policy with respect to rural development and nature conservation.

Last but not least, high densities of genetically uniform crop plants and animals have given rise to major disease outbreaks. The best known example is the recent outbreak of swine fever. Further, economising on animal feed led to enormous problems such as mad cow disease and dioxin contamination of chickens. These international problems have not only been damaging to farmers, but have also placed an enormous financial burden on society. A more damaging and lasting effect of these disease outbreaks is a loss of confidence in the safety of our food production system. People are generally very concerned about food quality and health.

### **What is 'health'?**

"Health" is a difficult concept. I can think of two meanings of this word:

(1) a state of well-being of an organism; in case of a



- human being it is an interplay between mental, physical, and social well-being, and
- (2) the quality of an environment so that the well-being of an organism is promoted. This meaning of health is meant in the expressions a 'healthy' climate, 'healthy' food, or a 'healthy' soil.

But what is this state of well-being? A possible definition is a state of orderly functioning of an organism with minimal loss of unutilised energy, or as much as possible closed cycles of energy and nutrients. One of the most graphic examples of an unhealthy system is an organism with an intestinal infection from contaminated food. All of you probably know this from experience.

It is difficult to measure the wholesomeness of food because it consists of at least three components (Jongen, 1995). Some components provide a positive contribution to the health of the consumer (such as minerals and vitamins), other components detract from his/her health (for example high nitrate concentrations in vegetables or alkaloids in potatoes). Moreover, food is generally not sterile but contains micro-organisms on its surface, which is not automatically bad. The effect on the consumer's health depends on the composition of the microbial community; some fungi produce toxic compounds called mycotoxins that can be extremely dangerous; some bacteria such as *Salmonella* also produce toxins that cause disease in humans. On the other hand, *Lactobacillus* bacteria contribute to the proper functioning of the intestines, and a diverse microbial community on food has been associated with a better functioning immune system. Similarly, it is difficult to measure soil or ecosystem health. O'Neill et al. (1986) defined a healthy ecosystem as 'a system with integrity of nutrient cycles and energy flows,

stability, and resilience to disturbance or stress'. That sounds like the definition we gave of a healthy person. It means that there is minimal loss of nutrients for example by leaching of nitrate to the ground water, emission of ammonia from manure applied to a field, or emission of the greenhouse gas methane from cows or sheep. Stability implies resistance of the biological community in the ecosystem to a disturbance resulting in relatively small amplitudes of a wave-like reaction to this disturbance. This is analogous to an extended spring shooting back; the reaction is dampened until the spring is in its resting position. In the same way, fluctuations in populations will dampen, until the system is restored from a disturbance. The time it takes for this restoration is inversely related to what we call resilience. The shorter the time span, the greater the resilience is. We suggested that we could measure soil health by determining the response of a microbial community over time to a disturbance or stress (van Bruggen and Semenov, 1999 and 2000). We have preliminary data indicating that the resilience of an organically managed field may be greater than that of a conventionally managed field.

## **Current Organic Agriculture**

The concerns about conventional agriculture mentioned earlier, like environmental degradation, loss of biodiversity and the familiar landscape, and food quality and safety, have led to several legal measures and also voluntary changes in agricultural practices. Agriculture is changing in two directions: 'integrated farming' with reductions in the use of pesticides and fertilisers, and (2) 'organic farming' with biological methods of fertilisation and pest control.

Most of you may already be familiar with organic agriculture, in particular with the consumption of its products. However, many of you may never have set foot on organically managed soil or talked with organic growers. Therefore, I will give a brief description of the characteristics of organic production systems and how they differ from conventional systems.

First of all, what is a 'production system', and how does it differ from a 'production chain', a term that you hear everywhere these days. The word chain is used to indicate that there is more to agriculture than what happens on the farm. The chain encompasses the whole process from crop or animal breeding, through seed production or artificial insemination, crop- and animal production, harvest, processing of the primary products, all the way until packing and marketing of the final products. In my view, a chain consists of linear economic activities without looking side- or backwards to things that cannot be expressed easily in economic terms, such as side-effects on the environment, maintenance of biodiversity, and well-being of humans and animals. I think that the term production chain is not appropriate for organic agriculture. That is why I used 'Organic Production Systems' in the title of this address. A system is a network of coherent elements and processes where the functioning of this system is dependent on the interactions among its components. This network is comparable to an ecological food web, not a food chain.

What are the characteristic elements of organic production systems? First of all, organic farmers try to maintain soil fertility by balanced crop rotations, including nitrogen-fixing crops, additions of manure and compost, and reductions in soil tillage. The use of synthetic fertilizers is

avoided and mined fertilizers are minimized. Synthetic pesticides are also not used. Instead, crop rotations are adjusted and natural pest and disease control is enhanced by mixed cropping and planting of trees, shrubs, and wild grasses and flowering plants. Organic farmers are very concerned about the environment and the well-being of farm animals and humans. Farm animals get sufficient space to move about and rest, preferably on straw. Yet, the economic performance of organic farms is equal to or better than that of conventional farms, partially due to the higher price obtained for organic products. Storage and processing of these products is also different because synthetic food preservatives and processing chemicals can not be used. Finally, even the marketing of organic products has its own characteristics, because consumers have other motives to buy organic products besides general quality and price.

Despite the advantages of organic production, a little less than 2% of all agriculture area and about 1% of all farms is devoted to organic farming in Europe (<http://europa.eu.int>). However, organic agriculture is expanding rapidly at this time, on average with 28% per year. In the Netherlands, there are about 1300 organic farms with a total area of more than 24,000 ha (Platform Biologica). Almost half of this area is occupied by dairy, one quarter by horticulture, and one quarter by field crops. The Dutch government wants to reach 10% organic agriculture by the year 2010. In some other European countries like Austria and Sweden this level has been reached already. Organic farming not only expands this rapidly in developed countries but also in the developing world where organic commodities are primarily produced for the export market.

## **Desirable organic agriculture**

The second part of the title of my address is 'On the Way to Healthy Organic Production Systems'. So, our aim is 'Healthy Organic Production Systems'. But what are the characteristics of healthy production systems? In the first place of course economically sound systems; otherwise they would not last very long. But at this moment I like to focus on ecological aspects. As I mentioned earlier, a healthy ecosystem does not lose excessive nutrients or energy; it may even accumulate organic matter. This happens in systems with high biodiversity, complex food webs, and low levels of easily utilizable nutrients, for example in a soil with a high humus content. Turnover rates in soil may be so high that easily utilizable nutrients are in low supply even though the total organic matter content is usually relatively high. I think, therefore, that an organically managed soil could be 'oligotrophic'. I would love to study this. In these systems, the nutrient and energy cycles are generally closed. This means that organic farming systems should ideally be self sufficient in terms of inputs. However, reality is still quite far from this ideal (Hendriks and Oomen, 1999).

The characteristics that I just mentioned are typical of climax ecosystems. If we strive to keep the soil of organic farming systems covered as much as possible, they would approach natural ecosystems. Ideally, organic farms would also have refuge areas for natural enemies of insect pests, in the form of strips with natural vegetation. These areas could serve as buffer strips connecting nature reservations. Of course, it depends on the species one would want to protect whether these strips could be effective in this respect. In any case, organic farms could have many func-

tions besides food production. For the farmers, the question is however: how much of my acreage can I devote to natural habitat without losing too much income while benefiting from the enhanced biodiversity to control agricultural pests?

### **Bridging the gap between current and desirable organic production systems**

Organic farming seems ideally suited to embellishing the landscape, solving environmental problems, providing food safety, and a healthy income to the farmers. You will probably wonder: why have not all farmers switched over to organic methods? Several committees have asked the same question, and have listed the bottlenecks for the expansion of organic farming systems, for example an advisory committee to the Minister of Agriculture headed by Mrs. Ria Beckers. One of the main bottlenecks is a lack of institutionalised knowledge, since the current knowledge is mainly based on farmers' experience. However, there are many problems that cannot be solved easily based on experience, such as technical problems with optimal nutrient supplies, weeds, pests and diseases, and socio-economic problems in relation to the market and price fluctuations. Potential variations in costs, production levels, and benefits are responsible for the insecurity among conventional farmers whether conversion to organic farming would be economically feasible.

I consider it the task of our research group to reduce this insecurity by trying to understand the basic processes that underlie organic production. In view of the knowledge gaps that need to be filled and the expertise in my group, we will focus on four research themes: (1) development of

methods to design optimal organic farming systems, (2) optimisation of nutrient cycles on organic farms, (3) optimisation of soil-, plant-, and animal health on organic farms, and (4) functional integration of agriculture and nature.

Remember that we talked about the response of components and processes in a system after a disturbance or stress? Transition from a conventional to an organic farming system is a super-stress imposed on a system that was probably not very healthy to start out with. We can expect fluctuations in nutrient availability, plant pests and diseases, health of farm animals, production levels, and management skills for the first few years after transition. How many years is not exactly known, but for soil ecosystems, there are some data indicating that it may take three to five years before a stable nutrient supply sets in (Liebhardt et al., 1989). For this reason, the barrier to switch over to organic farming is quite high. This barrier could of course be lowered by a temporary subsidy. But it seems at least as important to investigate the expected fluctuations and risks by interdisciplinary research during the transition period, so that farmers could include a calculated risk value in their deliberations about conversion to organic agriculture.

In the past 20 years, many prototypes of low-input and organic farms have been built in Europe, including the Netherlands. These prototypes have contributed significantly to making agriculture more environment-friendly. The design of these prototypes was based upon the best available knowledge of experts who modified the designs systematically in collaboration with the farmers (Wijnands, 2000). However, it would be impossible to test all possible management combinations in prototype farms. To enable

us to evaluate all kinds of management options, one of the staff members of my group has used explorative models of theoretical prototypes, after analysing current production systems and determining the objectives by various interest groups. With the help of linear programming methods, optimal farming systems were designed taking various objectives into account. In this way, low-input flower bulb production systems were designed in close collaboration with farmers and representatives of environmental organisations (Rossing et al., 1997). The next step will be to design organic bulb production and other farming systems. It would be interesting to investigate if we could include some objectives in the design that reflect our new view of a healthy ecosystem, as being an oligotrophic system. Transition from conventional to organic systems is then comparable to transition from a eutrophic to an oligotrophic ecosystem. One of the objectives might then be oligotrophication of the system in as short a period as possible, not by exhausting the system but by building up biomass and diversity, for example by using winter cover crops and no-till practices. We need to interact with growers to clarify their objectives, design a farming system, test the system, and redesign it (Wijnands, 2000). Designing organic farming systems does not look like a linear process, but going back and forth, resiliently forward!

In the prototype farms mentioned earlier, researchers monitored certain variables during the transition phase. Mostly aggregate variables were measured, such as yield, pesticide use, mineral nitrogen in soil, milk protein and -urea content, manure production and -composition, and nitrate content in drainage water; these measurements contributed to improvements in the prototypes, but more



detailed measurements would be needed to explain processes at the farming systems level. Wageningen UR has several prototype experimental farms. However, there is only one experimental mixed farm, namely the A.P. Minderhoudhoeve at Swifterbant in the Flevopolder. There are two farming systems on this farm: integrated and organic. These systems were designed five years ago, based on expert experience of two of the faculty in our group, in collaboration with a researcher of the Department of Animal Sciences, and the management team of the Minderhoudhoeve (Lantinga and Oomen, 1998). The members of my group will use the Minderhoudhoeve as their main common project to analyse the farming systems in detail.

The integrated farm was developed to reduce nitrogen emission by changing the cow's ration to more fibre and less protein by adding straw and beet pulp. Fertiliser use was reduced by including all grassland into the rotation and mixing clover in with the grasses, so that subsequent crops can take advantage of nitrogen mineralisation after turning under the grass-clover mix. The results are stunning in terms of nitrogen use efficiency, nitrate reduction in the drain water and the quality of the manure produced. Yet, the cows are healthy and milk production is even higher than before.

The organic farm was designed so that the products reflect the average consumption pattern of Europeans to simulate a situation of a closed system. The ecological farm was established on a former permanent pasture; turning under the grass resulted in large amounts of mineral nitrogen that could not be utilized efficiently. A difficult transition period followed in terms of nitrogen balance, pest and diseases, yield, and milk production. Since the last two

years, yields and milk production have improved, and the situation seems stabilized. The nitrogen cycling model N-DICEA has been used to predict mineral nitrogen concentrations in soil and subsoil. Although the predictions are generally good, the model sometimes underestimates the amount of mineral nitrogen, especially in the subsoil (Bokhorst and Oomen, 1998). The reasons for these discrepancies between model predictions and observations may be that certain processes are more prevalent in organic or integrated farming systems than in conventional farming systems, for example N fixation by non-symbiotic N fixing bacteria. Thus, we would need to adapt the models for the more complex organic farming systems. Moreover, although carbon and nitrogen balances have been calculated in various research projects, the measurements are often incomplete, not including N fixation and denitrification. It is now time to analyse the carbon, nitrogen and phosphorous cycles in mixed farming systems in detail. Our research group is planning to do so in collaboration with researchers of the Practical Research Organization PR. Moreover, we started a collaborative project with a research group in Cuba to analyse and improve mixed farming systems.

We also like to determine if there is a basis for the generally accepted wisdom that organic farming systems, their ecosystems, and products would be healthier than their conventional counterparts. Indeed, soil-borne pathogens are often suppressed in organic farms (van Bruggen, 1995). Since animal and plant health have sometimes been associated with microbial communities competing with pathogens or enhancing immunity or systemic resistance, I suggest that we look for the characteristics of those microbial communities to understand potential differences

between organic and conventional farming systems. My hypothesis is that there is a cycle of microbial communities, starting with a very complex community in soil, from which a smaller community is selected on plant surfaces, and again a smaller community in the rumen of animals, and from there a community in manure, which ends up in soil again. Is the microbial diversity greater on organic products? Are pathogens on the surface including those producing mycotoxins suppressed by the rest of the microbial community? Is soil health indeed an essential part of a well-functioning organic farming system, as is often believed by organic growers? How can we measure soil health? As mentioned previously, I suggest to look at the resilience of soil after a disturbance.

As part of our investigations into ecosystem health, we will also investigate why some soils and composts suppress root diseases (Termorshuizen and Blok, 2000). We would like to be able to predict root disease suppression. Some of the reasons may lie in the composition of nutrients in soil or compost or in the composition and diversity of organisms in soil or compost. We plan to collaborate with the Soil Science and Plant Nutrition group to investigate this aspect. The soil food web is not completely separated from the above-ground food web which will also be studied in our group (Smeding and Joenje, 1999). An interesting result is already that top predators like birds are more numerous in the nature strips on organic farms. The complexity of this food web depends on the natural infrastructure on and around the farm. Organic farmers try to improve this infrastructure to enhance natural pest and disease control. In this way, organic farmers could contribute to the overall natural infrastructure. How important is this function of organic farming systems to preserve

biodiversity and aesthetic value of the landscape? I think that we could investigate, together with Alterra, the importance of the area to border ratio in relation to the objectives, namely protection of species on the one hand and the intended interaction with agricultural production fields on the other.

Speaking about diversity.... In the course of centuries a great diversity of crop plants and farm animals has been selected. In the past decennia this diversity has declined by the large-scale use of a few cultivars and races. The area with traditional landraces is also declining world-wide. In organic agriculture diversity is cherished. Together with the research groups Entomology and Crop and Weed Ecology we have a project on the effects of field-scale diversity on diseases, pests, weeds, and food webs. Furthermore, we plan to collaborate with the Louis Bolk Institute on the *selection of old and new races specifically for organic agriculture.*

There are so many questions in organic agriculture waiting for an answer! The questions seem diverse, but I see a clear line connecting all these questions. The line is not straight but wavy, it goes up and down all levels of integration from farming systems to microbial communities, back up to farming systems and society. The central question is: what is health? From a healthy farming community, a healthy farm ecosystem, a healthy soil, healthy organic produce, to healthy plants, animals and people. What does it take to return to a dynamic equilibrium after a disturbance, after conversion of a farming system? What can we do to minimise this time period?

I have mostly presented you with fundamental questions, but I am convinced that even fundamental research will result in practical applications as long as the research is

conducted on organic farms or organic experimental farms, with organic soil, and in collaboration with organic farmers. And conversely, you can do very practical research, but it depends on the interpretation of the data if fundamental understanding will emerge; look for example at the practical research we did in California on control of downy mildew of lettuce which resulted in a fundamental publication on global climate change (Scherin and van Bruggen, 1994).

### **Teaching Organic Agriculture**

As you have understood by now, a lot of new knowledge will be needed in many areas of the organic production web. Thus, there will be a growing need for researchers at universities and in industry, extension personnel, policy-makers, and teachers who are well-trained in specific knowledge and understanding of production processes in organic farming and food processing systems. Even marketing of organic produce is somewhat different because producers and consumers take their decisions not only based on economic but also on environmental and ethical considerations. This means that new educational tracks are needed in which attention is paid to the specific characteristics of organic production systems. These educational tracks emerge like mushrooms from the soil at many European Universities. Wageningen wants to be fully involved in these developments. Our research and teaching group will contribute to make Wageningen into the eminent Centre for Organic Production Research and Education in Europe.

Thanks to the support of the minister of Agriculture, minister Brinkhorst, we will develop, together with several

other research groups, a new educational track in Organic Production Systems, provided that there is a need for this in the Dutch society. This new specialisation will be built on five pillars: plant sciences (including pests and diseases), animal sciences, soil biology and nutrient cycling, food processing and marketing, and gamma sciences (including sociology, ethic, and economics). My research and teaching group likes to contribute to this track by developing courses in which existing organic farming systems and the associated ecosystems will be analysed and in which new organic farming systems will be designed. In these course observations outdoors will be combined with analyses in the lab and computer exercises. In the intended educational track beta and gamma elements will be integrated so that our graduates can contribute effectively to optimally functioning organic farming systems.

In the last phases of their education, MSc students will be guided in the design, practical work, and data analysis of research projects according to internationally accepted methods. We already instituted new rules to promote potential publication of the research results obtained by students; we will strive to have students as first authors on these publications as is generally accepted for other MSc degrees. The potential new specialization in Organic Production Systems will also be attractive for students from developing countries, because knowledge of agricultural methods without the use of pesticides and fertilisers may be more useful in many areas than more specialistic knowledge of capital-intensive farming methods. To attract international students funds will need to be generated so that Wageningen can compete with other European universities.

## **Position of BIOB within WUR and in the world**

These are some of the research and teaching activities my research group will tackle. These activities fit especially well within the sphere of activity of Wageningen UR envisioned as the space between two main axes: one axis for agro-production and the other for the quality of green space, the rural area with its many functions. I hope I convinced you that we can carry out basic research at a high level of abstraction, and that this research can also contribute to finding solutions to practical problems. I'm happy that we have such a large array of expertise within our group. This is an essential strength for a group working together on such a complex system. However, we will collaborate with practical research institutes within the DLO and Praktijk Onderzoek to test and implement our research results. We already made agreements with researchers of Plant Research International, Praktijk Onderzoek Dier, and the Louis Bolk Institute to collaborate on various projects. We will also collaborate with other research groups at Wageningen University such as Animal Production Systems, The Plant Production Groups, Soil Science, Phytopathology, and Entomology. We will also work with other universities in the Netherlands and abroad. In particular, I like to mention Moscow State University and the Russian Academy of Sciences, with whom I have already collaborated for five years in the area of soil microbiology. Together, we will move resiliently forward, on the way to healthy organic production systems.

## Words of Gratitude

Esteemed members of the Executive Board, Professor Veerman, I like to thank you for your confidence in me to promote the development and outreach of scientific knowledge on organic agriculture, an important task in a world that longs for clarity about the wholesomeness of our food and health of the system in which it is produced. I also like to thank the members of the Appointment Advisory Committee, in particular its chairman Johan Bouma, and the director of the Department of Plant Sciences Evert Jacobsen for endorsing me for this position. I also like to thank Ria Beckers who has introduced me to many government officials involved in organic agriculture, and who has encouraged me as a friend.

Professor Zadoks, Jan-Carel, my former major professor at Wageningen, I have always had a tremendous admiration for your clarity of mind and your broad interests, characteristics of a real professor. You steered me in the right academic direction by encouraging me to get a PhD degree from Cornell University. I'm also grateful to Phil Arneson, my former major professor at Cornell, who made me more aware of all kinds of environmental issues.

There are many colleagues and friends whom I owe thanks. The colleague professors and scientific co-workers contributed constructively to the conceptual framework of my task to develop a new Research and Teaching Group on Organic Farming Systems. Now I like to introduce the faculty members of this new group to you. First the UHD who has been working creatively on waves and non-linearity for quite a while but who also stands with both feet firmly in the grassland soil and cowpads, please, welcome Egbert Lantinga. Second, the UD who wrote N-DICEA,



the model that is widely used by organic and conventional farmers and farm advisors, and who introduced me to the organic farming community in the Netherlands, please welcome Gerard Oomen. Third, the UD who is a brilliant modeller, yet has excellent interaction with farmers, please welcome Walter Rossing. Fourth, the UD who is an excellent experimentalist, modeller, and naturalist, please welcome Aad Termorshuizen. And finally, the UD who has a wealth of knowledge of wild plants, birds, and insects, and all kinds of artistic talents, please welcome Frans Smeding. Further, we have three excellent technicians who manage a chemical, microbiological, and plant pathological lab, ladies and gentlemen, Hennie Halm, Oscar de Vos, and Dine Volker. Finally, we have two outstanding secretaries who have always helped me, also during the preparations for this event, ladies and gentlemen, Lien Uithol and Wampie van Schouwenburg. Thank you all for your enthusiasm to make a team of our research and teaching group.

Of my friends, I like to thank especially Marina and Martien Cohen Stuart who encouraged me to return to Wageningen as Professor, and offered me a temporary home when I did indeed return. One more colleague and friend I want to mention by name because of the stimulating scientific discussions over the past five years. Alexandre Semenov, thank you very much for your excellent collaboration.

My family members have always supported me. In particular, I like to thank my father and mother who instilled in me a profound interest in all that lives and grows. They encouraged me to break through the boundaries imagined by myself. Of my sisters and brothers I like to mention specifically my oldest sister Gaia who showed me that

there is more to life than scientific research. She helped me with the literary aspects of this address.

Finally, ladies and gentlemen, I invite you for the reception with all kinds of organic goodies and drinks, which you will hopefully enjoy with all your senses.

Rector Magnificus, members of the Executive Board, ladies and gentlemen,

Thank you for your attention.

## Referenties / References

- Aarts, C.J. en van Etten, M.C. 1999. Domweg Gelukkig in de Dapperstraat. De Bekendste Gedichten uit de Nederlandse Literatuur. Bert Bakker (publ.), Amsterdam. 296 pp.
- Bokhorst, J.G. en Oomen, G.J.M. 1998. Verfijning van de N-bemesting in de biologische landbouw met behulp van het model N-DICEA. Meststoffen 197-98:40-46.
- Cassman, K.G., Peng, S. and Dobermann, A. 1997. Nutritional physiology of the rice plants and productivity decline of irrigated rice systems in the tropics. Soil Sci. Plant Nutr. 43:1101-1106.
- Hendriks, K. en Oomen, G. 2000. Mest, stro en voer. Wetenschapswinkel158, Wageningen UR. 94 pp.
- Jongen, W.M.F. 1995. Op Functionele Wijze naar een Gezonde Toekomst. Inaugural Address. Wageningen Agricultural University. 33 pp.
- Lantinga, E.A. and Oomen, G.J.M. 1998. The Minderhoudhoeve project: Development of an integrated and ecological mixed farming system. Pages 115-118 in: APMinderhoudhoeve-reeks nr. 2 . Landbouwniversiteit, Wageningen.
- Liebhardt, W.C., Andrews, R.W., Culik, M.N., Harwood, R.R. Janke, R.R. Radke, J.K. and Rieger Schwartz, S.L. 1989. Crop production during conversion from conventional to low-input methods. Agron J. 81:150-159.

- Mak, G. 1998. Het Ontsnapte Land. Stichting CPNB, Uitgeverij Atlas, Nijmegen. 56 pp.
- Mannion, A.M. 1998. Agriculture and Environmental Change. Temporal and Spatial Dimensions. John Wiley and Sons, Chichester. 405 pp.
- O'Neill, R.V., DeAngelis, D.L., Waide, J.B. and Allen, T.F.H. 1986. A hierarchical concept of ecosystems. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 263 pp.
- Rossing, W.A.H., Meynard, J.M. and van Ittersum, M.K. 1997. Model-based explorations to support development of sustainable farming systems: case studies from France and the Netherlands. *Europ. J. Agron.* 7:271-283.
- Scherm, H. and van Bruggen, A.H.C. 1994. Global warming and nonlinear growth: How important are changes in average temperature? *Phytopathology* 84:1380-1384.
- Smeding, F.W. and Joenje, W. 1999. Farm-Nature Plan: landscape ecology based farm planning. *Landscape Urban Planning* 46:109-115.
- Termorshuizen, A.J. en Blok, W.J. 2000. Compost en ziekteverendheid. Pp. 9-10 in: *Ziekteverendheid en biologische activiteit in de bodem. Workshop 4 april 2000*, WICC, Wageningen. Louis Bolk Instituut, Driebergen en Nutriënten Management Instituut, Ede.
- Van Bruggen, A.H.C. 1995. Plant Disease severity in high-input compared to reduced-input and organic farming systems. *Plant Disease* 79:976-984.

Van Bruggen, A.H.C. and Semenov, A.M. 1999. A new approach to the search for indicators of root disease suppression. *Australasian Plant Pathology* 28:4-10.

Van Bruggen, A.H.C. and Semenov, A.M. 2000. In search of indicators for soil health and disease suppression. *Appl. Soil Ecol.* (in press).

Wijnands, F.G. 2000. A methodical way of prototyping more sustainable farming systems in interaction with pilot farms. P. 365-389 in: Härdtlein, M. et al. (eds.) *Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. Landwirtschaft im Spannungsfeld zwischen Ökologie, Ökonomie und Sozialwissenschaften.* Erich Schmidt Verlag, Berlin.