

Grenzen aan de groei van een duurzame voedselproductie

Kader

De laatste 40 jaren is de voedselproductie sterker toegenomen dan de explosieve groei van de wereldbevolking, die steeg van ca. 2 naar ruim 6 miljard mensen. Jaarlijks neemt de bevolking nog toe met ca. 80 miljoen. Hoewel de voedselvoorziening, met name in Azië sterk verbeterd is, bedraagt het aantal mensen met een chronisch tekort aan voedsel, kwantitatief en/of kwalitatief, mondiaal nog ruim 800 miljoen. Dit is veelal het gevolg van armoede en calamiteiten, zoals oorlogen, droogte, overstromingen en ziekten. De voedselvoorziening in landen met structurele tekorten is sterk verbeterd door de toename van de wereldhandel en de relatief lage prijzen in de voorbije decennia. De afhankelijkheid van structurele importen maakt de voedselzekerheid van arme landen kwetsbaar bij sterk stijgende prijzen op de wereldmarkt, hetgeen nu actueel is. De vraag naar granen (met name maïs en tarwe) is de laatste twee jaren sterk gestegen en de voorraden zijn geslonken tot een historisch dieptepunt. Het gevolg is een forse prijsstijging.

De vraag nam de laatste jaren sterk toe als gevolg van drie oorzaken:

- een nog steeds sterk groeiende wereldbevolking;
- een toenemende consumptie van vlees en zuivel in landen met snel ontwikkelende economieën, zoals China, Vietnam en India;
- een explosief groeiende vraag naar granen voor de productie van bio-ethanol (biofuel) en bioplastics.

Als hypothese wordt gesteld, dat een verdubbeling van de plantaardige productie in de komende 20 jaren nodig is om een duurzame voedselproductie te combineren met de politieke ambities om biobrandstoffen een groter aandeel te geven in de energievoorziening. In welke mate we aan de vraag naar meer groene grondstoffen kunnen voldoen, hangt af van factoren die de grenzen van de primaire plantaardige productie bepalen. Dit zijn ondermeer:

1. de afnemende beschikbaarheid van voor landbouw geschikte grond door urbane en industriële ontwikkelingen en het behoud van ecologisch-strategische voorraden aan bos- en natuurgebieden;
2. de toenemende schaarste aan irrigatiewater van goede kwaliteit, mede door een grotere vraag voor urbaan en industrieel gebruik;
3. de schade aan gewassen door grotere weersextremen (droogte, hitte, zware neerslag), die samenhangen met de effecten van een veranderend klimaat (*'global warming'*);
4. de schaarste aan vakbekwame boeren (*'groene ondernemers'*) als gevolg van het leeglopen van het platteland door slechte basisvoorzieningen (huisvesting, onderwijs, gezondheidszorg, etc.) en het niet kunnen concurreren tegen de lage prijzen op de wereldmarkt;
5. de beperkte beschikbaarheid van innovatieve technologieën om de productiviteit per ha op mondiale schaal te verhogen. Dit betreft o.m. gentechnologie (*'genomics'*), sensortechnologie (infrarood, chlorofylfluorescentie), informatietechnologie (IT) en *'decision support systems'* (DSS) voor precisie-management.

Sociaaleconomische krachten en regelgeving door overheden zijn sterk bepalend voor de mate waarin innovaties en transities gerealiseerd worden. Een aantal historische trends zal toegelicht worden met daaraan gekoppeld een blik op de toekomst.

Historische trends in Nederland en Europa

De illustraties in de Getijdenboeken van de gebroeders Van Limburg en de schilderijen van Vincent van Gogh uit zijn Drentse en Brabantse periode getuigen van de kloof tussen stad en platteland in vroegere eeuwen. Stedelingen en politici waren zich terdege bewust van de risico's van voedseltekorten door misoogsten en de daarmee verbonden sociale onrust bij een tekort aan graan en brood (Braudel, 1987). In de *Christmas Special 2005* van het blad 'The Economist', getiteld 'Ears of plenty', wordt een hommage gebracht aan de belangrijke rol die tarwe in de voedselvoorziening voor een groeiende wereldbevolking heeft gespeeld. De uitspraak 'To a first approximation wheat is the staple food of mankind, and its history is that of humanity' is illustratief voor de rol van granen voor voedselzekerheid en welzijn van de bevolking. Tarwe was voor Europa eeuwenlang het gewas dat geassocieerd werd met kwalitatief goed voedsel en een hoge welvaart; hetzelfde gold ook

Mondiale voedselvoorziening 2004

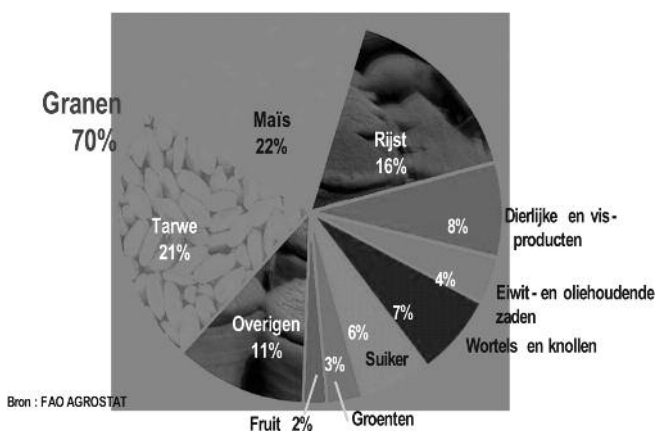


Fig.1: Bijdragen van diverse voedselproducten aan de mondiale voedselvoorziening in 2004, gebaseerd op de relatieve energie-inhoud.

voor rijst in Zuidoost-Azië en maïs in Mexico en een aantal Afrikaanse landen. Tot op de dag van vandaag leveren de drie belangrijkste graangewassen – tarwe, rijst en maïs – 70 procent van de energie in het voedsel van de wereldbevolking (Fig.1; FAO, 2005).

Vele jaren was het EU-beleid gericht op het produceren van voldoende voedsel en een stabiel inkomen voor de boeren. Dit beleid, mede vorm gegeven door de Nederlander Sicco Mansholt, werd slachtoffer van het eigen succes. Na het optreden van overschotten aan het eind van de zeventiger jaren is het beleid drastisch gewijzigd. Subsidies op de productie en export voor belangrijke producten, zoals graan en zuivel, werden afgebouwd en geleidelijk vervangen door productiebeperkingen (braakregeling, quota, etc.) en beperkte directe inkomstenstoelagen; dit beleid is de laatste vijf jaren verder omgebogen (EU, 2003). Om voldoende inkomen te genereren bij dalende prijzen werden boeren gedwongen de kostprijs te verlagen en de output per eenheid voor de productiefactoren arbeid, land en kapitaal te vergroten. Dit heeft gedurende de laatste dertig jaren in Nederland, evenals elders in de Westerse wereld, geleid tot een sterke schaalvergroting en intensivering van de productie (Zimmerer, 2007).

De vraag naar granen is wereldwijd in de laatste jaren sterk toegenomen en voorraden zijn afgenomen (FAO, 2007; Makki *et al.*, 2001). Dientengevolge zijn de prijzen van maïs, tarwe en rijst en de daaraan gerelateerde producten (vlees en zuivel) sterk gestegen; voor tarwe is de prijs op de wereldmarkt in één jaar zelfs verdubbeld. Een welkome trendbreuk voor boeren na decennialang geconfronteerd te zijn met dalende prijzen. Deze stijging van prijzen van plantaardige grondstoffen zal voor de bestedingen van de Nederlandse consument slechts beperkte effecten hebben; de kosten van ‘groene’ grondstoffen bedragen immers niet meer dan 10-15 procent van de verkoopprijs van het product. In ontwikkelingslanden zullen hogere voedselprijzen

de problemen wel vergroten; volgens een recente schatting van Runge & Senauer (2007) neemt het aantal mensen met honger met 16 miljoen per jaar toe voor iedere procent prijsverhoging van basisvoedsel. In 2025 zou het aantal mensen met een chronisch voedseltekort dan stijgen van de huidige 800 miljoen naar ca. 1,2 miljard in plaats van dalen naar 400 miljoen, zoals voorzien in de Millennium Ontwikkelingsdoelen (UN-MDGs, 2007). Een doemscenario!

De consument in de Westerse wereld geeft voor het dagelijks voedsel gemiddeld minder dan 12 procent van het inkomen uit. In Nederland wordt thans ca. 51 miljard euro per jaar besteed aan 'food services', waarvan 2/3 voor consumptie thuis en 1/3 buitenshuis (pers. med.: Arjan de Boer, *Shoot my Food*, 2007). De reële kosten van producten, op een ecologisch verantwoorde wijze geproduceerd, worden niet door de 'retailers' en consument vergoed. De overheid in Nederland en de EU subsidiëren direct of indirect de productie van voedsel en de afzet van overschotten op de wereldmarkt. Waarom zou de Westerse consument niet meer geld aan voedsel kunnen besteden en de intrinsieke kwaliteit van het product, dus ook de aan productie gelieerde publieke diensten ('ecological services'), vergoeden? In plaats daarvan stunten de grootwinkelbedrijven de afgelopen jaren met het verlagen van prijzen voor basisvoedsel. Gaat de opdracht tot maatschappelijk verantwoord ondernemen voorbij aan de ondernemers in de voedselketen? Ook consumentenorganisaties schenken relatief weinig aandacht aan duurzaamheid. Het financiële voordeel voor de consument op de korte termijn is doorslaggevend.

Burgers in Nederland hebben idyllische opvattingen over de wijze waarop voedsel geproduceerd wordt; de voorkeur gaat uit naar kleinschaligheid, natuurlijkheid, ambachtelijkheid en regionale identiteit. Dit is haalbaar voor producten met een hoge prijs in nichemarkten, maar zelfs in het rijke Nederland niet voor de voedselvoorziening van het grootste deel van de bevolking. Grootschalige

productie, waarbij boeren voedsel van hoge en constante kwaliteit tegen (te) lage prijzen moeten produceren staat onder maatschappelijke druk. Nederland maakt echter in toenemende mate deel uit van een *'Global Village'*. Sinds 1994 gelden er voor landbouwproducten bindende afspraken in het kader van de wereldhandelsovereenkomsten (*'WTO-Agreements'*). Bescherming van eigen markten wordt nu vooral gezocht in antidumping maatregelen en het waarborgen van de voedselveiligheid (*'non-tariff barriers'*); daarnaast speelt de subsidiëring van publieke diensten (*'ecological services'*) een rol in de concurrentiekracht van de agrarische sector.

Groene Revolutie en bevolkingsgroei

De explosieve toename van de wereldbevolking in de tweede helft van de laatste eeuw was alleen mogelijk door innovatie bij de veredeling en de teelt van de drie belangrijkste voedselgewassen: tarwe, rijst en maïs. Bij deze trendbreuk in gewasproductiviteit heeft vooral het landbouwkundig onderzoek een doorslaggevende rol gespeeld (Spiertz, 1986; Swaminathan, 2007). Met de introductie van hybride rassen vanaf ca. 1930 in de Verenigde Staten werden al forse opbrengstverhogingen bij maïs verkregen. De term 'groene revolutie' is echter blijvend verbonden aan de hogere opbrengsten verkregen door de introductie van kortstrorassen (*'dwarfism'*) en de intensivering van teelttechnologieën (irrigatie, kunstmest en beheersing van ziekten, plagen en onkruiden) bij tarwe en rijst vanaf de jaren zestig. Deze technologische intensivering vond vooral plaats in gebieden, waar toen hongersnood heerste (o.a.: India).

Van 1970 tot 1990 gaf tarwe bij niet watergelimiteerde productie, een gemiddelde opbrengststijging van ca. 2 procent per jaar. Dit gold zowel voor de intensieve landbouw (Nederland, Verenigd Koninkrijk, etc.) als voor de laag-

productieve landbouw in ontwikkelingslanden (India, Mexico, etc.). Dit is zeer uitzonderlijk, omdat gedurende honderden jaren graanopbrengsten met niet meer dan 0.5-1 procent per jaar stegen (Evans, 1999). Het introduceren van moderne tarwerassen en teeltmethoden leidde ook in niet-geïrrigeerde gebieden, zoals in Noordwest Europa, tot sterke productieverhogingen (Spiertz *et al.*, 1992). In Nederland bedroeg de opbrengststijging bij wintertarwe in de periode 1970-1990 zelfs 3 procent per jaar, waarvan ca. 60 procent was toe te rekenen aan beter management – precisie in de ‘*timing*’ en dosering van kunstmeststikstof en een effectievere onkruid-, ziekten- en plaagbeheersing – en ca. 40 procent aan verbeterde genetische eigenschappen (grotere halmstevigheid, hogere oogstindex, etc.). Wat lag er aan deze doorbraak ten grondslag?

Op de eerste plaats de politieke urgentie om aan de toenemende vraag, hier en elders, naar meer voedsel te voldoen. De ervaringen met een stagnerende voedselvoorziening in de Tweede Wereldoorlog in Europa (o.m. de hongervinter van 1944 in Nederland), en de structurele voedseltekorten in China en India beginjaren '60 gaven een hoge prioriteit aan het vergroten van de voedselproductie. Technologisch bleek het ook mogelijk de productiviteit per ha te vergroten door de introductie van kortstrorassen met een hogere opbrengstpotentie en oogstzekerheid bij de toediening van kunstmeststikstof en irrigatie.

Op de tweede plaats een trendbreuk in het gewaskundig onderzoek. Niet langer vormde het op empirie gebaseerde teeltonderzoek de basis voor verbeteringen van graanopbrengsten, maar werd op basis van nieuwe concepten (*'plant ideotype'*) en kwantitatieve onderzoeksmethoden (*'gewasgroeimodellering'*) het inzicht in biologisch maximale gewasopbrengsten vergroot. Het verkleinen van het verschil tussen actueel en potentieel haalbare opbrengsten werd een nieuw onderzoeksparadigma.

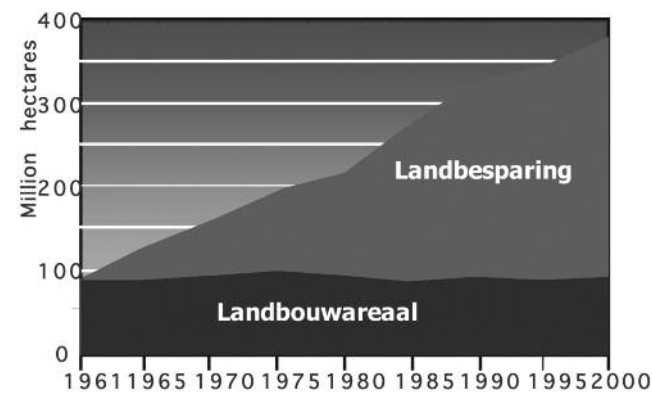
Vooral in Nederland heeft ook een goede vakopleiding van boeren en tuinders en het gebruik van nieuwe metho-

den van kennisoverdracht (o.m.: vakbladen, radio en tv) bijgedragen aan een snelle introductie van nieuwe inzichten en methoden. Voor de ontwikkelingslanden is een stelsel van internationale onderzoeksinstituten (o.m.: IRRI (Filippijnen), CIMMYT (Mexico), CIAT (Bolivia), CIP (Peru), etc.) opgericht om nieuwe veredelingsproducten en teelttechnologieën beschikbaar te maken.

De groei van de wereldbevolking van ca. 6,5 miljard nu naar ca. 9 miljard in 2050 leidt mede door het gewijzigde consumptiepatroon tot een verdere toename van de vraag naar voedsel. Om aan de toenemende vraag op een duurzame wijze te voldoen, zal er voorrang geven moeten worden aan het verhogen van de voedselproductie per ha op voor akkerbouw geschikt land en niet aan een verdere uitbreiding van arealen in voor erosie en droogte kwetsbare gebieden (Cassman, 1999; Tilman *et al.*, 2002). Voor een duurzame voedselproductie zal op basis van de IFPRI Vision 2020 een trendmatige stijging van graanopbrengsten met minimaal 1.0 procent per jaar nodig zijn. De snel groeiende vraag naar bio-energie uit maïs blijkt in de VS nu vooral tot stand te komen door verdringing van andere gewassen, met name sojaboon en tarwe; dus door het vergroten van het areaal. Als areaaluitbreiding stagneert zal de oplossing gevonden moeten worden in een hogere productiviteit per ha; een extra stijging van ca. 1.5 procent boven de trend vergt grote systeeminnovaties op gewasniveau en in de productieketen. Door de groeiende vraag naar groene grondstoffen voor bio-energie zal de productiviteitsstijging in een aanzienlijk korter tijdsbestek gerealiseerd moeten worden dan blijkt uit trendmatige ontwikkelingen. De benodigde toename van gewasproductiviteit komt dan in dezelfde orde van grootte als geëffectueerd bij tarwe en rijst tijdens de groene revolutie. Er zijn echter nog geen genetische doorbraken of technologische concepten, die een dergelijke grote productiviteitsstijging kunnen garanderen.

Actuele trends in landgebruik op nationaal en mondiaal niveau

Veranderingen in landgebruik zijn lang beschouwd als een regionaal en nationaal onderwerp; dit is zeker het geval in een klein land als Nederland waar veel functies concurreren om schaarse ruimte. De consequenties van veranderend landgebruik worden echter steeds meer zichtbaar op mondiale schaal (Foley *et al.*, 2005). Er dreigt een conflict tussen een toenemend grondgebruik voor de productie van groene grondstoffen (voedsel, industrie en bio-energie) en het behoud van natuur, bossen en landschappen. Ecologische functies van natuurlijke ecosystemen – functionele biodiversiteit, CO₂-vastlegging, waterberging – worden steeds belangrijker. In geïndustrialiseerde landen bedraagt het beslag op grond voor intensieve voedselproductie reeds gemiddeld 40 procent; daarentegen is het aandeel in Zuid-Amerika (Brazilië en Argentinië) nog slechts ca. 10 procent. Veel groter is het areaal natuur en bos, dat indirect door de intensieve voedselproductie wordt beïn-



* In rijstequivalenten
Bron FAO AGROSTAT, 2001

Fig. 2: Besparing op landbouwareaal door de productiviteitstijging van granen in de periode 1960-2000. Voorbeeld: China

vloed via emissies van nutriënten via de lucht en water. Door de verhoging van de productiviteit van voedselgewassen gedurende de laatste 40 jaren is de expansie van het landbouwareaal relatief gering gebleven. Deze productiviteitstoename heeft dus geleid tot een ‘besparing’ op het benodigde areaal landbouwgrond.

Mede door de liberalisering van de wereldhandel treden er grote verschuivingen op in de productie van landbouwproducten. De lokale kleinschalige productie, aangepast aan de agro-ecologische diversiteit in gebieden met sterke variaties in neerslag, zoals in het Middellandse zeegebied wordt verdrongen door de grootschalige sterk gemechaniseerde productie in Australië, Verenigde Staten, Canada, Oekraïne en Zuid-Amerika. Zo is de import van granen in Egypte ongeveer gelijk aan de totale productie van de staat Nebraska in de Verenigde Staten. Er wordt primair geconcurrereerd op prijs en pas in tweede instantie op de kwaliteit en duurzaamheid van productieketens. Dit leidt bij bodemgebonden activiteiten tot uitputting van strategische voorraden (*‘natural resources’*), zoals zoet water, organische stof, fosfaat, etc. (Pingali, 2006).

Als gevolg van de lage prijzen en de intensivering van de regelgeving door de overheid in Europa, wordt de primaire voedselproductie verplaatst naar landen met goedkope grond en arbeid en een minder strikte regelgeving, maar een meer kwetsbaar milieu. Een verdere inkrimping van het areaal vruchtbare gronden is het gevolg van de huidige snelle urbane en industriële ontwikkelingen. Het beschikbare akkerareaal is in sommige provincies van China al gedaald tot minder dan 0.10 ha per hoofd van de bevolking; mondiaal is er gemiddeld 0.25 ha beschikbaar. Het totale landareaal bedraagt mondiaal nu 2,6 ha per persoon, waarvan ca. 1.5 ha voor voedsel, natuur, etc. benut wordt (Knip, 2007). Een energie- en eiwitrijk voedselpakket leidt tot een groter beslag op de landbouwgrond. Peters

et al.(2007) berekende voor voedselpatronen, waarbij het aandeel vetten (dierlijk of plantaardig) 20 tot 45 procent van de energiebehoefte dekte, dat het areaal nodig om één persoon te voeden toenam van 0.2 tot 0.9 ha. De toename was niet alleen het gevolg van de consumptie van meer dierlijke producten, maar ook van eiwit- en oliehoudende plantaardige producten.

Om het leven op aarde duurzaam in stand te houden is er meer biologische capaciteit nodig dan alleen voor voedselproductie. Deze visie vormt de basis van het concept ecologische voetafdruk (*'ecological footprint'*), welke wordt gedefinieerd als het areaal biologisch productief land en water benodigd om de grondstoffen te produceren voor humaan gebruik (*'capturing human demand on nature'*) en om het afval te verwerken (Wackernagel et al., 2006). De 'ecologische voetafdruk', inclusief het gebruik van fossiele brandstoffen, bedraagt mondiaal gemiddeld 2.2 ha en voor Nederland 4.5 ha per persoon (Juffermans, 2006). Op basis van dergelijke berekeningen kan geschat worden dat er binnen een halve eeuw serieuze problemen ontstaan bij het doorzetten van de huidige trends in de groei van de wereldbevolking en van de behoeften aan voedsel, groene grondstoffen en bio-energie. De optimistische visie van Rabbinge (1993), dat de aarde 80 miljard mensen zou kunnen voeden wordt door de huidige ontwikkelingen geloofstraft. Wereldwijd is het menu minder vegetarisch dan 15 jaar geleden en de behoefte aan 'non-food' landgebruik is veel groter dan de veronderstelde 1500 m² per persoon.

In Europa is per inwoner relatief veel geschikte landbouwgrond aanwezig. Voor iedere hectare goede landbouwgrond die in Europa uit productie wordt genomen moeten elders in de wereld onder vaak meer marginale productieomstandigheden 3-5 ha ontgonnen worden. Het grootschalig exploiteren van gronden in kwetsbare gebieden verhoogt het risico op misoogsten door droogtes en op toename van erosie door wind en water. Eerder dan een protest tegen ontbossing in Latijns-Amerika en Zuidoost-

Azië, zouden NGO's met een sterke basis in de Westerse landen moeten pleiten voor het behoud van een rendabele en ecologisch duurzame landbouw in Europa en het verminderen van voerimporten. Westerse landen profiteren dus in twee opzichten van arme landen; enerzijds van de zeer lage prijzen en anderzijds door het afwentelen van milieulasten op de lange termijn. In Europa zouden we om ecologische redenen een grotere verantwoordelijkheid moeten nemen om de groeiende wereldbevolking op een adequate wijze te voeden en te voorzien van hernieuwbare grondstoffen voor zowel industriële producten (vezels, zetmeel, oliën, farmaceutische producten, etc.) als bio-brandstoffen. Om onze ecologische doelen *hier en nu* te realiseren moeten we voorkomen dat de neveneffecten afgewenteld worden op *elders en later*.

Energie, voedselproductie en gezondheid

De sterke toename in de productie van voedsel zou niet mogelijk zijn geweest zonder de beschikbaarheid van fossiele brandstoffen (Smil, 2000). Dit betreft niet alleen de productie van kunstmeststikstof, maar ook het energieverbruik door machines en voor mondiale transporten van voedsel, veevoer en industriële grondstoffen. In het algemeen is het energieverbruik voor de primaire plantaardige productie relatief laag, in Nederland minder dan 5 procent van het totaal. Echter transport, *processing*, koeling en bereiding van maaltijden vragen meer energie. Beschikbaarheid van energie is een voorwaarde om de kwaliteit en veiligheid van voedsel te waarborgen. De arme bevolking in Afrika en Azië is veelal nog afhankelijk van schaarse voorraden biobrandstoffen (sprokkelhout, gedroogde mest, etc.). Ook de beschikbaarheid van schoon drinkwater is afhankelijk van een stabiele energievoorziening.

Om de afhankelijkheid van de olievoorziening uit politiek instabiele landen te verkleinen heeft de ontwikkeling

van biobrandstoffen (biodiesel en bio-ethanol) een grote vlucht genomen (Cassman & Liska, 2007). Zoals bekend is het verbruik niet evenredig verdeeld; in de USA bedraagt dit een veelvoud van de consumptie in andere landen. Per burger zijn de extremen nog groter; als voorbeeld: de energiewaarde van één tankinhoud diesel voor een 'SUV' is gelijk aan de energie-inhoud van het voedselpakket om één persoon één jaar te voeden. Dit kan opgevat worden als een dwaze vergelijking, maar als biodiesel of bio-ethanol uit dezelfde plantaardige grondstoffen geproduceerd gaan worden als voedsel is er wel degelijk een trade-off te maken.

In 2001 bedroeg het mondiale energieverbruik 10,2 Giga-ton olie-equivalenten, met een gemiddeld verbruik per persoon van 1,67 ton olie-equivalent. Het rendement van het fossiele energiegebruik, gemeten bij de eindgebruiker is zeer laag (ca. 2 procent); er is dus veel te winnen door de benuttingefficiëntie te verbeteren. Het energiegebruik, uitgesplitst over olie, kolen, gas, biomassa (houtafval, GFT, etc.), nucleaire brandstof, hydrodynamische energieopwekking, 'moderne' groene biomassa (energiegewassen) en andere hernieuwbare energiebronnen (o.a. windmolens, zonnecollectoren, etc.) bedroeg respectievelijk: 35, 23, 22, 9, 7, ruim 1 en minder dan 1 procent (Wilkinson *et al.*, 2007). Deze verhoudingen liggen per land verschillend, maar het is duidelijk dat we slechts aan het begin staan van de winning van energie uit hernieuwbare, duurzame bronnen. De hernieuwbare energie is zeer diffuus aanwezig. De ingestraalde hoeveelheid energie in zonlicht bedraagt 5.450.000 EJ (Exa (10^{18}) Joule) per jaar. Ter vergelijking: in 2005 bedroeg het mondiale energieverbruik 'slechts' 480 EJ. Een klein deel van de zonne-energie wordt onderschept en via fotosyntheseprocessen benut in de primaire productie (3.150 EJ) van gewassen, vegetaties en bossen. De meeste zonne-energie zorgt voor opwarming van de aarde en atmosferische processen (verdamping, wind, etc.). Het fysisch aftappen van zonne-energie vergt grote investeringen. De investeringen in zonnecollectoren en wind-

molens leveren thans nog geen substantiële bijdrage aan de snel groeiende vraag naar energie.

De 'EC Biofuels Directive' uit 2005 stelt als doel een 5,75 procent marktaandeel voor bio-brandstoffen in 2010 en 10 procent in 2020. Aanvankelijk lag het accent op biodiesel geproduceerd uit koolzaad en zonnebloemolie. Nu wordt er ook gelobbyd om ethanol te produceren uit suikerbieten en tarwe. De sterke expansie van de ethanolproductie vindt echter in de vs plaats, waar in 2008 ca. 12 miljoen 'gallon' uit maïs geproduceerd wordt. In de laatste 'State of the Union' heeft President Bush aangekondigd dat het doel van de vs is om over 10 jaar (in 2017) 35 miljoen 'gallon' biobrandstof te produceren. Zonder een zeer sterke productieverhoging worden dan sommige staten, zoals Iowa, een importeur in plaats van exporteur van maïs. In Europa zijn organisch afval en houtafval onvoldoende beschikbaar om een substantiële bijdrage te realiseren. Een veel groter potentieel komt er beschikbaar als energiegewassen (wilg, *Miscanthus*, etc.) op grote schaal geteeld worden. Van Dam *et al.* (2007) analyseerden recent verschillende scenario's en concludeerden, dat alleen al in Centraal en Oost-Europa 44 miljoen ha landbouwgrond beschikbaar zou kunnen komen voor het produceren van biomassa met een energieopbrengst van ca. 12 EJ (ExaJoules = 10^{18} J), wanneer er gekozen wordt voor intensieve, hoogtechnologische teeltsystemen voor de productie van voedsel en biobrandstoffen. In welke mate deze potenties benut worden zal afhangen van de vraag naar voedsel en naar biobrandstoffen. Voor een duurzame voorziening met groene grondstoffen in een 'bio-based economy' is een geïntegreerde ketenbenadering gewenst voor voedsel en *non-food* productstromen (Van Dam *et al.*, 2005).

Door de groeiende vraag naar plantaardige grondstoffen voor voedsel (China, West-Azië en Noord-Afrika (WANAREGIO)) en energie (vs, Azië en Europa) treden er grote verschuivingen op in arealen en productie-intensiteit tus-

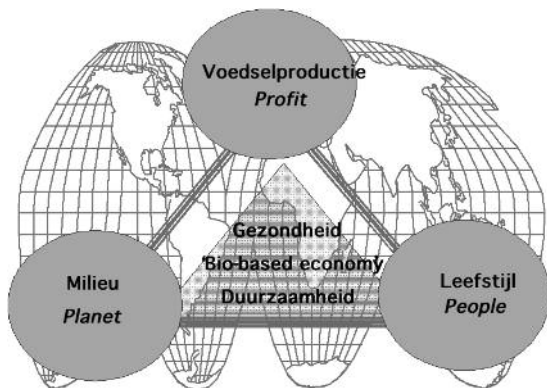


Fig. 3: Schema voor het afwegen van doelen voor voedselproductie, leefstijl en milieu. Speerpunten zijn: gezondheid, 'biobased-economy' en duurzaamheid.

sen continenten. De expansieve uitbreiding in Argentinië en Brazilië met miljoenen hectares voor de teelt van genetisch gemodificeerde sojarassen (gepatenteerde naam: Roundup-Ready^R Soy), voorziet in de groeiende behoefte aan eiwitrijk veevoer; met name voor de sterk toegenomen productie van vlees in China. De sojateelt met minimale grondbewerking (*zero-tillage*) gaat gepaard met een sterke uitbreiding van herbicidegebruik. Een ontwikkeling die vraagt om een zorgvuldige duurzaamheidsanalyse op nationale en mondiale schaal. Voor het evalueren van duurzaamheid biedt het 'People-Planet-Profit' (3P) concept een bruikbaar kader. Doelen zullen afhankelijk van de maatschappelijke dynamiek periodiek bijgesteld moeten worden. De mate van onduurzaamheid wordt dan ook vooral bepaald door afwegingen in het politieke krachtenveld.

Wat bepaalt de duurzaamheid van de voedselproductie?

Duurzaamheid van gewas- en bedrijfssystemen

De ecologische duurzaamheid van een traditioneel gemengd landbouwbedrijf was gebaseerd op het minimali-

seren van verliezen in de koolstof- en nutriëntenstromen van bodem naar gewas, van ruwvoer naar vee, van stal-mest naar akker. Er was in de jaren 50 in de vorige eeuw nog geen door de overheid verplichte mineralenboekhou-dingen met boetes voor overschrijdingen van toegestane hoeveelheden fosfor en stikstof. Ook bij het landbouw-kundig onderzoek was er meer belangstelling voor het op-heffen van tekorten in de bodemvruchtbaarheid dan voor het verhogen van de efficiëntie van nutriëntenkringlopen. De grote verscheidenheid in grondgebruik in vele delen van Nederland, als gevolg van de afhankelijkheid van een natuurlijke variatie in bodemkwaliteit (bodemvruchtbaar-hed, waterhuishouding, etc.) en de ‘gesloten’ nutriënten-kringloop binnen het landbouwbedrijf, hebben tot ca. 50 ja-ren geleden stand gehouden. Daarna heeft de invloed van ruilverkavelingen zich doen gelden, waarbij de ontwatering en de infrastructuur grootschalig op de productiefunctie werd afgestemd. De ultieme droom van landinrichters, agronomen, en ook boeren was natuurlijk het droogleggen en ontginnen van nieuwe polders om deze te ontwikkelen tot toonaangevende productiegebieden. De Flevo-polders zijn daar een goed voorbeeld van. Nu kennen we een tegen-beweging, waarbij waterafvoeren weer *meanderend* ge-maakt worden om gebieden te vernatten en polders wor-den onder water gezet ten behoeve van natuur en recreatie. Andere landgebruikfuncties dan voedselproductie zijn in Nederland maatschappelijk belangrijker geworden. Dank zij de inzet van veel overheids-geld vindt er een snelle tran-sitie plaats van cultuur naar semi-natuurlijke landschap-pen. De waarde van landbouwgrond is in Nederland geen afspiegeling meer van een hoogwaardige productie van voedsel- en grondstoffen, maar wordt bepaald door de vraag naar grond voor wonen, werken en welzijn. De over-heid speelt als regisseur en marktpartij een belangrijke rol; alleen al voor de realisering van de Ecologische Hoofd-structuur (EHS) wordt er meer dan 30 miljard euro aan overheids-geld besteed (persoonlijke mededeling van prof. dr. ir. A.J. Oskam, WUR).

Met de huidige kennis beoordelen we de klassieke gemengde bedrijfssystemen als een vorm van multifunctioneel landgebruik, die vooral gericht was op productie van voedsel en groene grondstoffen. Tegenwoordig kennen we een grotere verscheidenheid in doelen, waarbij 'ecological services', zoals natuur, recreatie, rust, humane zorg, etc. een belangrijke plaats innemen (Spiertz en van der Kolk, 2002). Het is de vraag welke doelen ook op een economische wijze zijn te combineren. Bij het klassieke gemengde bedrijf vormde de grote arbeidsbehoefte met seizoenspieken de zwakste schakel. Schaarste aan goedkope arbeid, een voortschrijdende mechanisatie, een verbeterde infrastructuur en een betere beschikbaarheid van kunstmest en bestrijdingsmiddelen hebben geleid tot een ingrijpende transitie van het gemengde bedrijf naar sectoraal gespecialiseerde productiebedrijven. Specialisatie en schaalvergroting waren noodzakelijk voor die productietakken, die op de internationale markt willen concurreren. Goede voorbeelden vormen de zuivelketen en verschillende tuinbouwproductieketens (bloembollen, sierteelt, etc.).

Verbetering van de duurzaamheid van bedrijfssystemen

Kwantitatieve analyses van gewas- en bedrijfssystemen zijn onmisbaar voor een goede beoordeling van de ecologische en economische duurzaamheid. Vroeger stelden de boeren de mate van duurzaamheid vast aan de hand van de opbrengsten van gewassen, het behoud van bodemvruchtbaarheid en het optreden van onkruiden, ziekten en plagen. Sinds kort is het door zeer forse inspanningen van grote onderzoekteams in Nederland en Europa mogelijk met geavanceerde bodem-, gewas- en bedrijfsmodellen (van Ittersum *et al.*, 2003) de biofysische en ecologische processen redelijk nauwkeurig te kwantificeren. Met de huidige kwantitatieve analysemethoden kunnen we de biofysische aspecten van ecologische duurzaamheid relatief

nauwkeurig bepalen (Schröder et al., 2003). Sinds eind jaren '80 is er in Nederland een grote vooruitgang geboekt met het realiseren van schonere productiesystemen in de plantaardige en dierlijke sectoren. Echter de toegenomen kosten en dalende prijzen maakten het voor boeren steeds moeilijker tegemoet te komen aan de wensen van burger en consument. De maatschappelijk druk om productiesystemen te laten voldoen aan strenge milieumaatregelen en normen voor biodiversiteit en natuurwaarden in cultuurlandschappen heeft geleid tot hogere kosten per eenheid product. De spanning tussen een ethisch (*people*) en ecologisch (*planet*) verantwoorde productie en de economische continuïteit (*profit*) is in der loop der jaren toegenomen.

Het opschalen van processen op gewas- en bedrijfsniveau (micro) naar gevolgen op het hogere schaalniveau (macro), zoals een cultuurlandschap, een regio of een land vormt nog steeds een moeilijke uitdaging voor het onderzoek. De laatste jaren zijn er echter grote vorderingen gemaakt op het gebied van landgebruik- en klimaatmodellen (Ewert *et al.*, 2005; Rounsevell *et al.*, 2005). Echter naast modelonderzoek is er nog steeds meerjarig experimenteel onderzoek en/of *monitoring* van milieu- natuur- en landschapswaarden noodzakelijk om de gewenste duurzaamheid van productiesystemen te kunnen evalueren en zonodig bij te sturen. De economische duurzaamheid op de langere termijn is echter meer ongewis en nog moeilijker te bepalen dan in het verleden door de liberalisering van de wereldhandel.

Voedselproductie, water en stikstof

Het gebruik van water is onvermijdelijk verbonden aan de primaire plantaardige productie (gewassen, grasland, bossen). Planten onderscheppen licht, dat in het blad omgezet wordt in suikers die de energiebron zijn voor de groei. Gelijktijdig met de opname van CO_2 verdampt de plant via

de huidmondjes water. Fotosynthese en transpiratie zijn dus onlosmakelijk met elkaar verbonden. De watergebruik-efficiëntie verschilt tussen gewassen en rassen; sommige gewassen gebruiken slechts 600-700 L water per kg graan, terwijl in de natte rijstverbouw 1.500 tot 3.000 liter per kg rijst nodig is. In Azië wordt er voor de geïrrigeerde laagland rijst meer dan 40 procent van alle zoetwater gebruikt (Bouman *et al.*, 2007). Gemiddeld wordt er in de landbouw ca. 70 procent van het beschikbare zoetwater gebruikt (Tabel 1). In Europa en de VS wordt relatief veel water gebruikt in de industrie (incl. voedingsindustrie) en is het gebruik voor landbouwactiviteiten relatief laag. Door het toegenomen gebruik van water voor de urbane bevolking en industrie en de afname van zoetwaterreserves in Azië zal in 2025 ca. 15 van de 75 miljoen ha geïrrigeerde laagland rijst een tekort aan water hebben.

Tabel 1: Zoetwatergebruik in wereldregio's voor verschillende sectoren (Referentiejaar 2001)

Regio	Voorraad (km ³ . jaar)	Gebruik (km ³ . jaar)	Landbouw procent	Industrie procent	Urbaan procent	Fractie gebruik
Wereld	43.659	3.830	70	20	10	0,09
Azië	11.594	2.378	81	11	7	0,21
Noord-Amerika	6.253	525	39	48	13	0,08
Latijns-Amerika	13.477	252	71	10	19	0,02
Europa	6.603	418	32	53	15	0,06
Afrika	3.936	217	86	4	10	0,06

Bron: FAO, 2006

Er wordt thans veel onderzoek verricht naar waterbesparing bij de teelt van rijst. Twee waterbesparende systemen voor rijstteelt zijn veelbelovend: *alternative wetting and drying* (AWD) en *aerobic rice systems* (Bouman *et al.*, 2006). In het eerste systeem wisselen natte (*'flooding'*) en droge

perioden elkaar af, maar blijft door de hoge vochtspanning de bodem anaeroob; in het tweede geval wordt alleen aanvullend geïrrigeerd en is de bodem niet verzadigd met water (aeroob).

In semi-aride gebieden (Australië, West-Azië, Noord Afrika, Verenigde Staten) waar veel tarwe geteeld wordt, richt zich het onderzoek op het verlagen van de bodemverdamping ('evaporatie') en het vergroten van de gebruiksefficiëntie ('*water-use-efficiency*') door het gewas. Een combinatie van verbeterde fysiologische gewaseigenschappen (o.m.: droogte- en hittetolerantie; huidmondjesregulatie, herverdeling reserves, etc.) en precisie-management (gedoseerde irrigatie en stikstofbemesting afgestemd op de gewasbehoefte) kunnen de relatief lage opbrengsten in regenafhankelijke gebieden nog aanzienlijk verhogen; bv. van 2000 naar 3000 kg per ha.

Het gebruik van kunstmeststikstof op wereldschaal nam van 1960 tot 2002 toe met een factor 7, bij een toename van de graanopbrengsten met een factor 3 (FAO, 2005). De gebruiksefficiëntie van stikstof is dus sterk afgenomen. Ongeveer 60 procent van de totale hoeveelheid kunstmest wordt gebruikt voor de teelt van de drie belangrijkste graangewassen: rijst, tarwe en maïs. De mondiale arealen voor deze gewassen bedroegen in 2004 resp. 215, 150 en 145 miljoen ha (FAO, 2005). China is thans de grootste verbruiker van kunstmeststikstof met zeer hoge giften (500-600 kg per hectare per jaar) in *double-* en *triple-cropping systems*. Ter vergelijking: de stikstofverliezen in China zijn net zo groot als het totale gebruik aan kunstmeststikstof in de v.s. Dit leidt uiteraard tot grote N-emissies met negatieve gevolgen voor de kwaliteit van lucht en van grond- en oppervlaktewater. Shindo *et al.* (2006) concludeerden op basis van modelberekeningen, dat in Oost-Azië de aan de welvaart gerelateerde toename van de voedselconsumptie zal leiden tot N-emissies in 2020, die 1,3 tot 1,6 keer hoger zijn dan de huidige niveaus. Door het verhogen van de ge-

bruiksefficiëntie kunnen de stikstofverliezen afnemen, hetgeen ecologisch en economisch de gewassystemen duurzamer maakt.

Van maximalisatie ('GREEN REVOLUTION') naar optimalisatie ('CROP ADAPTATION')

Door toenemende weersextremen zullen hitte en droogte in veel gebieden, vooral in de niet-geïrrigeerde gebieden met een mediterraan klimaat, een steeds grotere invloed uitoefenen op de productiviteit en kwaliteit van granen. De veredeling en teelt van rassen, die aangepast zijn aan verschillende klimaatsomstandigheden en tolerant zijn voor biotische en abiotische stressfactoren wordt steeds belangrijker. Howden *et al.* (2007) pleiten voor meer diversificatie in productiesystemen. Door meer kennis van klimaatverandering ('*climate change*') en het gebruik van gewasgroeimodellen kan de aangepastheid van gewassystemen aan de variabiliteit in groeiomstandigheden kwantitatief beter in kaart gebracht worden (Van Ittersum *et al.*, 2003). Op basis hiervan kunnen meer effectieve managementinterventies ontwikkeld worden.

Om de expansieve toename van kennis op genniveau ten nutte te maken van een duurzame voedselproductie zal er meer geïnvesteerd moeten worden in onderzoek op het niveau van het gewas en ecosysteem. Naarmate er meer bekend is van de functionaliteit van de genetische eigenschappen voor stresstolerantie zal er beter gericht genetisch onderzoek naar en veredeling op stabiliteit en kwaliteit mogelijk zijn (Skylas *et al.*, 2005). Sinds het genoom (120 Mb) van *Arabidopsis thaliana* in kaart gebracht is, richt zich de aandacht nu op de belangrijke cultuurgewassen. Rijst is daarbij een van de eerste kandidaat-gewassen vanwege het relatief kleine genoom (420 Mb); het genoom van de hexaploïde tarwe (16.000 Mb) is echter bijna 40-maal groter dan van rijst. Veel onderzoeksgeld wordt tegen-

woordig besteed aan de collectieve ontdekkingsstocht naar genen met specifieke eigenschappen en functies. In Europa richt zich het onderzoek thans vooral op de co-existentie van gemodificeerde gewassen (GMO) en klassiek veredelde gewassen (non-GMO). Met dit soort onderzoek probeert men een doorbraak te bereiken in de huidige pinstelling in Europa, waarbij ca. 30 procent van de Europeanen tegen GMO's zijn, 30 procent staat er positief tegenover en de overigen hebben geen mening. Tegenstanders hanteren verschillende argumenten, zoals: sociaal-economische (de macht van multinationals), ecologische (irreversible effecten op ecosystemen) en ethisch-religieuze (niet morrelen aan de integriteit van planten, dieren en mensen). Erkenning van co-existentie van waarheden zou de wetenschap in Europa op het gebied van genomics en plantenveredeling weer in beweging kunnen krijgen en laten bijdragen aan oplossingen voor een duurzame voedselproductie.

De mondiale ontwikkelingen, met een toename van GMO – gewassen vanaf 1996 tot 2006 naar meer dan 80 miljoen ha, zijn niet te stoppen maar wel op duurzaamheid te certificeren. Het is van groot belang dat het 'genomics'-onderzoek niet alleen in handen is van commerciële bedrijven, maar dat ook overheidsinstellingen actief participeren. De publieke rol van overheidsinstellingen zal bijdragen aan het maatschappelijk verantwoord toepassen van moderne technologieën. In Europa zou door het versterken van de publiek-private samenwerking in het geïntegreerd genetisch en gewaskundig onderzoek meer kunnen bijdragen aan het produceren van veilig en gezond voedsel voor de nog steeds groeiende wereldbevolking bij een toenemende schaarste aan energie, water en land.

Kennisoverdracht van fundamenteel onderzoek naar toepassingen in de praktijk moet efficiënt en effectief verlopen om innovatieve ontwikkelingen in de voedsel- en groene grondstoffenketens kansrijk te maken.

Epiloog

Kan de aarde de wereld voorzien van voldoende voedsel en groene grondstoffen in de toekomst? Het antwoord op deze vraag is: ja, mits. Het mits betreft hoe de gevolgen van klimaatverandering en extreme weersituaties, van afnemende beschikbaarheid van goed irrigatiewater, van bodemdegradatie (wind- en watererosie, verzilting, bodemvruchtbaarheid, etc.) en van de onttrekking van goede landbouwgronden voor wonen, werken en recreëren beperkt worden. Veel van deze veranderingen zijn onomkeerbaar. De oplossingen zullen dan ook vooral moeten komen van genetische verbeteringen van gewassen (abiologische en biologische stresstolerantie, hogere productiviteit en kwaliteit) en systeeminnovaties (precisielandbouw, een hoge gebruiksefficiëntie van water en stikstof, nieuwe gewascombinaties en –rotaties).

Het zijn niet alleen de genen die zorgen voor de gewasopbrengst, maar ook de biofysische omstandigheden (weer, water, stikstof, etc.) en het management (in het bijzonder de ‘*timing*’ van de teelthandelingen). Om de stijgende vraag naar voedsel en biobrandstoffen op het bestaande akker- en graslandareaal te realiseren zal de komende jaren een jaarlijkse productieverhoging in de orde van 2.5 procent per jaar gerealiseerd moeten worden. Dit is een zeer forse uitdaging voor beleid, onderzoek en praktijk.

REFERENTIES

- Bouman B.A.M., Barker R., Humphries E, Tuong T.P., Atlin G.N. & Bennet J., 2006. Rice – The food of half the world’s people. In: *Water for Food, Water for Life; A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture* (Ed.: D. Molden). EARTHSCAN
- Bouman B.A.M., Humphries E., Tuong T.P. & Barker R., 2007. Rice and Water. *Adv Agron.* 9 2 : 187-237.

- Braudel Ferdinand, 1987. Beschaving, Economie en Kapitalisme (15^{de}-18^{de} eeuw). Deel 1: *De Structuur van het Dagelijks Leven*, Amsterdam.
- Cassman K.G., 1999. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality and precision agriculture. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 96, 5952-5959.
- Cassman K. G. & Liska A. J., 2007. Food and fuel for all: realistic or foolish? *Biofpr* 1-6.
- Evans L.T., 2005. The changing context for agricultural sciences. *J. Agric. Sci.* 143: 7-10.
- Ewert F., Rounsevell M.D.A., Reginster I., Metzger M.J. & Leemans R., 2005. Future scenarios of European agricultural land use. I Estimating changes in crop productivity. *Agric. Ecosyst. & Env.* 107: 101-116.
- EU, 2003. CAP reform – a long-term perspective for sustainable agriculture.
Website: http://ec.europa.eu/agriculture/capreform/index_en.htm
- FAO, 2005. Statistical databases. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome.
Website: <http://www.fao.org>
- FAO, 2007. Crop prospects and Food situation; global cereal supply and demand. Report nr 5.
- Foley J. A., DeFries R. & Asner G. P. *et al.*, 2005. Global Consequences of Land Use. *Science* 309: 570-574.
- Howden, S.M., Soussana, J-F., Tubellio F.N., Chhetri N., Dunlop M. & Meinke H., 2007. Adapting agriculture to climate change. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 104 (50): 19691-19696.
- Juffermans J., 2006. Nut & Noodzaak van de Mondiale Voetafdruk, Rotterdam.
- Knip Karel, 2007. Aardevoeten. *NRC Handelsblad*, 3&4 november, p. 45.
- Makki S.S., Tweeten L.G. & Miranda M.J., 2001. Storage-trade interactions under uncertainty – Implications for food security. *J. Policy Modeling* 23 (2): 127-140.
- Peters J.C., Wilkins J.L. & Fick G.W., 2007. Testing a complete-diet model for estimating the land resource require-

ments of food consumption and agricultural carrying capacity: the New York State example. *Renew. Agric. & Food Syst.* 22 (2): 145-153.

- Pingali Prabhu, 2006. Agricultural growth and economic development: a view through the globalization lens. FAO, Rome.
- Rabbinge R, 1993. The ecological background of food production. *CIBA Foundation Symposia* 177: 2-29.
- Rounsevell M.D.A., Ewert F., Reginster I., Leemans R. & Carter T., 2005. Future scenarios of European agricultural land use. II Estimating land use changes and regional allocation. *Agric., Ecosyst. & Env.* 107: 117-135.
- Runge C. F. & Senauer B., 2007. How biofuels could starve the poor. *Foreign Affairs* 3 (May/June), 41-46.
- Schroder J. J., Aarts H. F. M., ten Berge H. F. M., van Keulen H. & Neeteson J. J., 2003. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *Europ. J. Agron.* 20: 33-44.
- Shindo J., Okamoto K. & Kawashima H., 2006. Prediction of the environmental effects of excess nitrogen caused by increasing food demand with rapid economic growth in eastern Asian countries, 1961-2020. *Ecol. Modelling* 193: 703-720.
- Skylas D. J., Van Dyk D. & Wrigley C. W., 2005. Proteomics of wheat grain. *J. Cereal Sc.* 41: 165-179.
- Smil V., 2000. Energy in the 20th century: resources, conversions, costs, uses, and consequences. *Ann. Rev. Energy Env.* 25: 21-51.
- Spiertz J. H. J., 1986. Innovatie door onderzoek. Thema-nummer: Honderd jaar experiment; de stuwende kracht van landbouwwetenschap. *Landbouwk. Tijdschrift* 98, nr. 9, 23-27.
- Spiertz J. H. J., Van Heemst H. D. J. & Van Keulen H., 1992. Field-crop systems in North-Western Europe. In: *Field-crop ecosystems of the World*. Elsevier, Amsterdam: 357-371.
- Spiertz J. H. J. & Van der Kolk J. W. H. (Eds.), 2002. Quick Scan Transitie Duurzame Landbouw. Wageningen,

- Alterra; Research Instituut voor de Groene Ruimte. *Reeks Milieuplanbureau 19/H M | 04-2002.*
- Swaminathan M.S., 2007. Can science and technology feed the world in 2025? *Field Crops Res.* 104: 3-9.
 - Tilman D., Cassman K. G., Matson P. A., Naylor R. & Polasky S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
 - UN-MDGS, 2007. Millennium Development Goals. Website: www.undp.org/mdg/
 - Van Dam J., Faaij A.P.C., Lewandowski I. & Fischer G., 2007. Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. *Biomass & Bioenergy* 31: 345-366.
 - Van Dam J.E.G., De Klerk-Engels B., Struik P.C. & Rabbinge R., 2005. Securing renewable resource supplies for changing market demands in a bio-based economy. *Industr. Crops & Products* 21: 129-144.
 - Van Ittersum M.K., Leffelaar P.A., Van Keulen H., Kropff M.J., Bastiaans L. & Goudriaan J., 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *Eur. J. Agron.* 18: 201-234.
 - Wackernagel M., Kitzes J., Moran D., Goldfinger S. & Thomas M., 2006. The Ecological Footprint of cities and regions: comparing resource availability with resource demand. *Env. & Urb.* 18(1): 103-112.
 - Wilkinson P., Smith K. R., Joffe M. & Haines A., 2007. Energy and Health 1: A global perspective on energy: health effects and injustices. *The Lancet* 370, 965-978.
 - Zimmerer K., 2007. Agriculture, livelihoods and globalization: The analyses of new trajectories of human-environment change and conservation. *Agric. & Human Values* 24(1): 9-16.