

1 Het technisch potentieel voor de wereld-

veevoer en andere toepassingen

Kees van Diepen, Christiaan Bolck, Niek Koning, Huub Löffler en Johan Sanders

1.1 Inleiding en vraagstelling

De stijging van de voedselprijzen in 2007-2008 heeft wereldwijd tot onrust geleid. In een aantal arme landen veroorzaakte ze rellen en demonstraties. Inmiddels zijn de internationale voedselprijzen teruggekeerd naar het niveau van begin 2007. Was de 'voedselcrisis' van tijdelijke aard of is er voor de wat langere termijn toch reden om ons ongerust te maken over de beschikbaarheid van voldoende voedsel tegen een redelijke prijs?

Deze notitie gaat over de vraag of er vanuit technologisch oogpunt reden is om bezorgd te zijn over de toekomstige beschikbaarheid van voldoende plantaardig materiaal voor voedsel, diervoeding en niet-voedseltoepassingen (zie kaders). Met andere woorden: hoe kunnen we technisch gezien zorgen voor een duurzame landbouw, waarbij mineralen worden gerecycled, waar we de bodemgesteldheid ten minste op peil houden, waar we zuinig met schaars water omgaan, de biodiversiteit in stand houden en waar de plaatselijke bevolking verbetering van welvaart en welzijn ondervindt?

Om een antwoord te geven op de vraag of we in staat zijn voldoende plantaardig materiaal te produceren, is in deze notitie een analyse gemaakt van de volgende drie oplossingsrichtingen:

1. Uitbreiding van het landbouwareaal;
2. Verhoging van de productie;
3. Verhoging van de efficiëntie van het gebruik van plantaardige grondstoffen en van schaarse inputfactoren als water, mineralen en grond.

Bij deze benadering zijn echter twee kanttekeningen vooraf op hun plaats. Op de eerste plaats garandeert voldoende voedselproductie op zichzelf niet het uitbannen van honger. In de afgelopen eeuw - en ook nu nog - is honger voornamelijk veroorzaakt door armoede. Maar dat maakt de vraag naar de toekomstige beschikbaarheid van voedsel niet minder belangrijk. Als voedsel schaarser

wordt, zal het aantal armen dat honger lijdt groter worden doordat de voedselprijzen stijgen.

Op de tweede plaats betekent een technisch potentieel voor de productie van biomassa niet dat die productie feitelijk gerealiseerd kan worden. Omdat technische input-outputrelaties gekenmerkt worden door afnemende meeropbrengsten, ligt het economische optimum onder het technische maximum. Bovendien leiden de prijsverhoudingen tussen inputs en outputs ertoe dat winstmaximaliserende investeerders bepaalde technische mogelijkheden niet zullen ontwikkelen en dat winstmaximaliserende producenten reeds ontwikkelde mogelijkheden niet altijd gebruiken. Het economische plafond ligt daarom altijd ver onder het technische plafond. Een goed beleid kan de afstand tussen beide verminderen, maar niet wegnemen.

Toenemende vraag naar voedsel en diervoeder

Als we uitgaan van een groei van de wereldbevolking van 6,5 naar 9 miljard in 2050, een veranderend eetpatroon en een calorisch rijker dieet voor mensen uit ontwikkelingslanden, dan hebben we in 2050 mondiaal de dubbele hoeveelheid biomassa voor voedsel en veevoer nodig ten opzichte van nu. Ook de FAO hanteert dat getal. Deze dubbele hoeveelheid voedsel moet allemaal geteeld kunnen worden, terwijl er ook een groeiende behoefte bestaat aan biomassa voor andere levensbehoeften, zoals energie (warmte en brandstof), kleding, hout voor huizen, papier, medicijnen en chemicaliën.

De omvang van de wereldproductie van voedingsgewassen in het jaar 2000 was volgens de *FAOSTAT Food Balance Sheets* ongeveer 3.220 miljoen tonne aan graanequivalenten. Hiervan wordt de helft gebruikt voor directe consumptie door mensen. De totale plantaardige productie van voedselgewassen wordt gerealiseerd op ongeveer 1.500 miljoen ha. Behalve land is water vaak een beperkende factor. Volgens de FAO wordt wereldwijd 18% (270 miljoen ha) van het landbouwareaal geïrrigeerd; het geïrrigeerde land levert 40% van de wereldvoedselproductie.

Toenemende vraag naar niet-voedseltoepassingen

Een aantal niet-voedselgewassen heeft ook grond nodig. Op dit moment wordt ruim 2% van het landbouwareaal gebruikt voor energiegewassen. Uitgaande van een gemiddelde energieopbrengst van 100 GJ/ha dekt dit circa 0,5% van de wereldbehoefte aan energie. Dit extrapolierend zou het totale landbouwareaal maximaal 25% van de wereldenergiebehoefte kunnen dekken onder de huidige technologische randvoorwaarden. Ter vergelijking: een klassiek *non-food* gewas als katoen beslaat 2,35% van het totale landbouwareaal op de wereld. Dit is een totaal andere orde van grootte dan de areaalbehoefte voor energiegewassen wanneer deze in een aanzienlijk deel van de totale energiebehoeften zouden moeten voorzien.

Het toekomstige ruimtebeslag voor energiegewassen is omgeven met veel onzekerheden in de aannames over gewastype, teeltsystemen, gebruik van restproducten, energietechnologie, beschikbaar land en water, het aandeel van biomassa-import en de realiteitswaarde van scenario's over energieconsumptie. De Europese Commissie en de EU-lidstaten hebben afgesproken dat in 2020 10% van alle transportbrandstof uit biomassa moet worden gehaald. Als al de daarvoor benodigde biomassa binnen Europa wordt geteeld en de huidige 1e-generatietechnologie wordt toegepast, is daarvoor 20 tot 30 miljoen ha nodig ofwel 20-30% van het huidige akkerland in de EU27. Op wereldschaal betekent de Europese bijmengingspolitiek een beslag op 19% van de mondiale productie van plantaardige oliën ter vervanging van 10% diesel en op 2,5% van de wereldgraanproductie ter vervanging van 10% benzine (De Santi et al., 2008). Deze berekeningen laten zien dat bijmenging zeer forse gevolgen kan hebben voor het landgebruik.

Brehmer (2008) kiest een andere benadering. Hij gaat uit van een concept waarbij volgens het *biorefinery*-concept gewassen voor meer dan één doel worden gebruikt. De energiewinst wordt in dat geval bepaald door enerzijds de directe energieopbrengst uit restanten van gewassen en anderzijds door besparingen die behaald worden door het gebruik van de biomassa als leverancier van chemische grondstoffen. Uitgaande van opbrengsten onder *best practice* teelttechnieken, met gewasopbrengsten die ruwweg 60% boven het gemiddelde liggen en het gebruik van de hele plant, komt Brehmer voor een reeks van 16 gewassen uit op een energiewinst tussen de 125 en 721 GJ/ha. Dat is aanzienlijk hoger dan het huidige gemiddelde (100 GJ/ha) en toont aan dat *biorefinery*-concepten perspectief bieden.

Tenzij er een versnelde areaaluitbreiding van landbouwgrond gaat optreden, zal een sterke toename van het areaal dat specifiek geteeld wordt voor eerste of 2e-generatie-energiegewassen grotendeels ten koste gaan van het areaal voor de bestaande landbouwproductie. De groei in ruimtebeslag kan beperkt blijven door het inzetten van reststromen voor energieopwekking. Overigens geldt ook hier dat realisatie van het technische potentieel en de mogelijke omvang van de toepassingen specifiek beleid en grote investeringen vergen.

1.2 Uitbreiding van het landbouwareaal

De vraag is hoeveel grond de wereld nog extra beschikbaar heeft boven de huidige 1.500 miljoen ha om in te zetten voor de productie van gewassen.

Over de periode 1970-2000 is het akkerbouwareaal toegenomen met gemiddeld 5 miljoen ha per jaar. Dat is een groei van 0,33% per jaar, dus ongeveer 10% in 30 jaar. Tegenover de uitbreiding van het landbouwareaal staat de ontbossing, die wordt geschat op 9 miljoen ha per jaar. Dat is dus bijna twee keer zo veel als de landbouwexpansie. De overige 4 miljoen ha komt voor rekening van de omzetting van bos in stedelijk gebied en in extensief grasland.

Het areaal dat de wereld nog in reserve heeft om de landbouwproductie uit te breiden, kan worden geschat op basis van klimaat- en bodemomstandigheden. Dit was onderdeel van de eerste Wageningse studie naar de maximale wereldvoedselproductie (Buringh et al., 1975). Zij schatten in die tijd de omvang van alle geschikte grond op 3.419 miljoen ha. Het gehanteerde potentiële gebruik had grotendeels betrekking op regenafhankelijke landbouw (2.950 miljoen ha), naast 470 miljoen ha geïrrigeerde landbouw. Beide areaalschattingen waren aanzienlijk hoger dan de toen gebruikte arealen (1.200 miljoen ha zonder en 200 miljoen ha met irrigatie).

Een andere gedetailleerde studie naar het potentiële landbouwareaal is de GAEZ-studie van IIASA en FAO (Fischer et al., 2001). Die studie toont aan dat slechts 470 miljoen ha land zonder beperkingen geschikt is voor regenafhankelijke landbouw. Maar landbouw kan ook plaatsvinden op gronden met geringe of matige beperkingen. Daarvan heeft de wereld 2.460 miljoen ha ter beschikking, waarvan een flink deel nog niet in cultuur is genomen. In totaal zou het potentiële bebouwbare areaal bijna 3.000 miljoen ha zijn, tweemaal zo veel als het huidige areaal. Dat komt in grote lijnen overeen met de schattingen van Buringh. De geschiktheid van gronden voor landbouw hangt verder nog af van gewaskeuze en inputniveau. Slechts 2.000 miljoen ha grond van redelijk goede kwaliteit is geschikt voor intensief gebruik. Als we daarvan bestaand bos plus de bekende natuurgebieden aftrekken en rekening houden met het huidige stedelijk ruimtebeslag, dan is er ongeveer 1.500 miljoen ha vrij goede grond voor landbouw zonder irrigatie. Dit laatste ligt in de buurt van het huidige wereldareaal. Hierop kunnen afhankelijk van het klimaat een tot drie gewassen per jaar worden verbouwd. Het areaal en het opbrengstniveau kunnen verder worden verhoogd met irrigatie. De GAEZ-studie schat dat door uitbreiding van irrigatie ongeveer 200 miljoen ha extra in cultuur genomen kan worden. De invoering van supplementaire irrigatie op het regenafhankelijke areaal wordt in de GAEZ-studie niet verder uitgewerkt.

Als we onze bossen en natuurgebieden willen ontzien betekent bovenstaande dat areaaluitbreiding over het algemeen zal plaatsvinden op gronden met beperkingen, waarop het meer moeite kost om hoge producties te realiseren en die kwetsbaarder zijn voor degradatie. Maar er zijn grote verschillen tussen de wereldregio's. Volgens de GAEZ-studie liggen de grootste expansiemogelijkheden voor regenafhankelijke landbouw in Zuid-Amerika en Afrika, terwijl in Azië de mogelijkheden beperkt zijn (de rol van irrigatie blijft hier buiten beschouwing). In de gematigde klimaatzone (Europa, Noord-Amerika en Rusland) zou er geen ruimte meer zijn voor expansie voor intensieve landbouw, maar nog wel voor minder intensieve landbouw - met uiteraard minder opbrengst. De GAEZ-studie toont verder aan dat in de droge gebieden van met name Centraal en West-Azië, Zuidelijk Afrika, Noord-Afrika en Australië irrigatie tot fors hogere producties kan leiden. De realisatie daarvan hangt echter sterk af van de hoeveelheid beschikbaar water per stroomgebied. De GAEZ-studie besteedt daar geen aandacht aan. Dit is wel in een eerdere studie van Luyten (1995) aan de orde gekomen. Volgens Luyten omvat de wereld 4.818 miljoen ha grond die geschikt is voor akkerbouw en nog eens 2.990 miljoen ha die gebruikt kan worden voor extensieve beweiding. Dit is veel hoger dan de bovenstaande schattingen van Buringh en Fischer. Luyten gaat dan ook uit van het in gebruik nemen van al het geschikte land dat nu nog bebost is en extensieve veeteelt op het overige land waar het maar kan.

De studie van Luyten houdt expliciet rekening met de beschikbaarheid van irrigatiewater per stroomgebied en de efficiency van de waterbenutting in kilo's bijgroei per eenheid water. De gehanteerde modellen gaan uit van een maximale (potentiële) productie en een vertienvoudiging van het geïrrigeerde areaal. Het scenario houdt in dat de bodems een voldoende voorraad fosfaat moeten bevatten om de gewenste hoge productieniveaus blijvend te kunnen realiseren. De schattingen van Luyten zijn (te) hoog. Zo schatten Penning de Vries et al. (1995) dat ongeveer de hele bekende wereldvoorraad van winbaar rotsfosfaat (rond 8 miljard tonne) nodig is om aan de fosfaatbehoefte zoals geformuleerd door Luyten te voldoen. Daarnaast krijgt landbouw voorrang op bossen en sneuvelen er daarom in het scenario van Luyten veel bossen voor de uitbreiding van landbouwgronden. Ook is niet duidelijk rekening gehouden met de beperking aan het akkerbouwareaal als gevolg van bebouwing en infrastructuur, die in totaal wel 10% van het geschikte landbouwareaal kunnen beslaan. Al met al overschat de studie de omvang van het geschikte areaal.

Koning et al. (2008) hebben Luytens schatting van de beschikbare arealen bijgesteld door uit te gaan van een iets kleiner beschikbaar areaal (7.600 miljoen ha voor akkerbouw en weidegebieden) en rekening te houden met een

groei van het geïrrigeerde areaal met 50%, van 200 tot 300 miljoen ha. Ook wordt rekening gehouden met de toekomstige ruimtebehoefte voor steden, bos en natuur, en voor niet-voedselgewassen. Dit ruimtebeslag concurreert met de verbouw van voedselgewassen en vermindert derhalve de grond die ingezet kan worden voor voedselproductie. De auteurs nemen aan dat het beschikbare areaal voor voedselproductie daardoor met 20 tot 43% afneemt. Het areaal dat overblijft voor voedselproductie ligt dan tussen de 1.500 en 2.800 miljoen ha voor akkerbouw en tussen de 2.800 en 3.300 miljoen ha voor begrazing (zie tabel 1.1).

Tabel 1.1		Schatting van het huidige en potentiële mondiale landbouw- areaal (in giga-ha)			
	Buringh (1975)	Luyten (1994)	Fisher et al.(2001)	Koning et al.(2008)	
<i>Huidige grondgebruik</i>					
Akkerbouw	1,4	1,5	1,5	1,5	
Regenafhankelijk areaal	1,2	1,3	1,3	1,3	
Geïrrigeerd areaal	0,2	0,2	0,2	0,2	
Areaal voor extensieve begrazing				2,8	
<i>Potentieel grondgebruik</i>					
Akkerbouw	3,4	4,8	2,9	1,5-2,8 a)	
Regenafhankelijk areaal	2,9	2,3	2,7	1,2-2,5	
Geïrrigeerd areaal	0,47	2,4	0,2	0,3	
Areaal voor extensieve begrazing		3,0		2,8-3,3	
a) De minima en maxima zijn de geschatte onder- en bovengrenzen op basis van verwachte claims op grond voor niet-productiegerichte doeleinden.					

De bovenstaande schattingen van de beschikbare areaalreserve suggereren in eerste instantie een enorm groeipotentieel voor de wereldlandbouwproductie. Zodra echter rekening gehouden wordt met een aantal negatieve effecten (verlies van bos, geen leefruimte, geen ruimte voor herbeplanting van bos voor het Kyoto-klimaatverdrag, geen ruimte voor energiegewassen) of met inherente beperkingen (waterverdeling, beschikbare hoeveelheid water, fosforvoorraad, nutriëntenefficiëntie) wordt het onwaarschijnlijk dat de meest optimistische areaaluitbreidingen uit de geschetste scenario's gerealiseerd kunnen worden. Daar komt nog bij dat door degradatie ook landbouwgrond aan de productie onttrokken wordt. Het meest realistische scenario lijkt een stabilisering of hooguit lichte groei van de beschikbare gronden, conform de ontwikkelingen van de afgelopen decennia. Maar zelfs als er onder druk van een stijging van de vraag een ver-

snelde expansie van het landbouwareaal plaatsvindt, dan nog zal de groei van de productie vooral moeten komen uit intensivering, waarbij wellicht wel het aandeel van irrigatie nog verder kan toenemen.

1.3 Verhoging van de landbouwproductie

Om bij een gelijkblijvend landbouwareaal meer te produceren zal de productie per hectare omhoog moeten. Het verleden heeft spectaculaire stijgingen in die productie laten zien, maar uiteraard is dat geen garantie voor de toekomst. De agro-ecologische principes helpen ons een beeld van de mogelijkheden te krijgen. Die principes gaan uit van een theoretisch maximaal haalbare productie, uitgaande van zonlicht, temperatuur, CO₂ en planteigenschappen. De theoretisch maximale productie wordt vervolgens begrensd door beperkende factoren zoals water en meststoffen, en verder gereduceerd door factoren als ziektes, plagen en (ozon)vervuiling.

In Wageningen zijn in het verleden een aantal productiestudies uitgevoerd, gebaseerd op deze principes. Recent zijn de data geactualiseerd en beschreven in de notitie *Long-term global availability of food: continued abundance or new scarcity* (Koning et al., 2008). Als vertrekpunt nemen de auteurs de eerdere studie van Luyten (1995). Volgens deze zou de wereldlandbouw 72 gigatonne aan graan-equivalenten kunnen produceren als alle voor akkerbouw of veeteelt geschikte grond gebruikt werd en de theoretische maximumopbrengsten werden gehaald. Daarmee zouden 47 miljard mensen van een overvloedig dieet kunnen worden voorzien. Volgens de auteurs is dit niet realistisch. Om te beginnen zal niet al het geschikte areaal voor voedselproductie gebruikt kunnen worden (zie boven). Daarnaast zullen bovengenoemde beperkende en reducerende factoren de theoretische maximumopbrengsten onbereikbaar maken. Koning et al. (2008) gaan uit van een onvermijdelijke *yield gap* van 20%. Ook nemen ze aan dat een consumentenverlies van 20% niet is te voorkomen. Op die manier komen ze aan een bijgesteld technisch potentieel van 32 tot 47 gigatonne aan graan-equivalenten, waarmee 16 tot 24 miljard mensen rijkelijk gevoed kunnen worden.

Daarnaast waarschuwen de auteurs ervoor dat de feitelijk haalbare productie niet alleen afhangt van de biofysische mogelijkheden, maar ook van sociaal-economische wetmatigheden. Zo zullen producenten niet zozeer streven naar de maximalisatie van de productie, maar naar maximalisatie van *return-to-investment*. Afnemende meeropbrengsten zullen ertoe leiden dat uitbreiding van het irrigatieareaal ver zal achterblijven bij wat puur technisch gezien mogelijk is. De prijsverhoudingen tussen inputs en outputs leiden er toe dat sommige tech-

nieren niet ontwikkeld worden, temeer omdat de energie- en fosfaatprijzen zullen stijgen. Bovendien hebben de prijsverhoudingen tot gevolg dat boeren sommige technieken die wél ontwikkeld zijn, niet gebruiken. Dit laatste kan vooral invloed hebben in gebieden met grotere risico's of een zwakke infrastructuur. Onder dat soort omstandigheden kan het economisch efficiënt zijn om vast te houden aan simpele technieken, die echter een lagere opbrengst geven per hectare. Dit geldt voor Latijns-Amerika en Afrika ten zuiden van de Sahara, waar naar schatting de helft van de mondiale reservecapaciteit voor voedselproductie ligt. De invloed die dit soort factoren op de toekomstige voedselproductie zullen hebben is nauwelijks te kwantificeren. Om de gedachten te bepalen presenteren de auteurs een scenario waarbij het mondiale irrigatieareaal groeit met 50%, terwijl de *yield gap* in de ontwikkelde regio's en delen van Azië afneemt tot 25%, maar in de ex-Sovjet Unie, Latijns-Amerika en Afrika slechts tot respectievelijk 40%, 60% en 80%. Bij zo'n *business as usual*-scenario is de productie in 2050 slechts voldoende om 8 tot 10 miljard mensen rijkelijk te voeden.

De IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) en FAO komen tot vergelijkbare conclusies. Volgens FAO-stat wordt wereldwijd gemiddeld 3,2 tonne graan per hectare geproduceerd. Ter vergelijking: in Nederland halen we 8,1 tonne per hectare, in West-Europa en Noord-Amerika 6,5 tonne per hectare, in ontwikkelingslanden 2,9 tonne per hectare en in de minst ontwikkelde landen (*least developed countries*) 1,8 tonne per hectare. Volgens IIASA is duurzaam een gemiddelde productie van 5,4 tonne per hectare mogelijk. Daarbij gaat IIASA uit van regenafhankelijke landbouw, zonder rekening te houden met de mogelijkheden van uitbreiding van het geïrrigeerde landbouwareaal, dit in tegenstelling tot de Wageningse studie.

Beide studies suggereren dat grofweg een verdubbeling van de voedselproductie mogelijk moet zijn, maar dat dit niet vanzelf zal gaan. De productie zou verder beperkt kunnen worden door een mogelijk tekort aan fosfaat waar sommigen voor waarschuwen. Beide studies tonen ook aan dat er weinig marge is en dat ingrijpende verschuivingen van bijvoorbeeld *food*- naar *non-food*-productie grote gevolgen voor de voedselzekerheid kunnen hebben. De verwachting is dat in de toekomst een flink deel van Europa's biomassa zal worden geïmporteerd. De invoering van nieuwe op de wereldmarkt gerichte teelten in ontwikkelingslanden kan ook gemakkelijk leiden tot sociale ontwrichting, doordat buitenlandse cultuurmaatschappijen land of landgebruiksrechten opkopen.

We concludeerden al dat er nauwelijks ruimte is voor uitbreiding van het wereldareaal aan landbouwgrond inclusief grasland, afgezien van de mogelijkheid het geïrrigeerde areaal te vergroten. Onder de heersende sociaaleconomische omstandigheden en trends kan de wereldlandbouwproductie in 2050 maar net

aan voldoende zijn om de verwachte 9 miljard mensen rijkelijk te voeden. Dat was immers de voedselzekerheidsdoelstelling. Hoewel het er met andere aannames op lijkt dat er veel meer biomassa beschikbaar kan komen voor andere doeleinden, waaronder biomassa voor energie, moeten we daar toch kritisch naar kijken. Deze aannames kunnen worden samengevat met simpele slogans zoals minder mensen op de wereld, eet minder vlees, verspil minder voedsel, voer de varkens minder eiwit, enzovoorts. Ook energiebesparing kan de druk op de vraag naar biomassa verminderen. En ten slotte kunnen we ook anticiperen op sociaal-economische revoluties en trendbreuken om de *yield gaps* te verkleinen. We volstaan hier met de constatering dat onder de huidige omstandigheden de gewenste productieverhoging niet bereikt zal worden. Daarvoor zijn grote veranderingen nodig op sociaaleconomisch en technologisch gebied. Bij een sterk stijgende vraag naar *non-food*producten zullen nieuwe, innovatieve wegen gezocht moeten worden om efficiënter te produceren en onze voedselproductie zeker te stellen. De realisatie hiervan vereist wel nieuw beleid en hoge investeringen in onderzoek en ontwikkeling. In de volgende paragraaf verkennen we een aantal wegen om meer biomassa te produceren, waarbij we enkel ingaan op de technologische aspecten.

1.4 Verhoging van de efficiëntie van het gebruik van plantaardige grondstoffen en van schaarse inputfactoren als water, mineralen en grond

Optimaal gebruik van schaarse inputfactoren

Optimale productie is een teeltstrategie die erop is gericht de *yield gap* te verkleinen en is gebaat bij een intensieve teelt. Intensivering bespaart niet alleen goede landbouwgrond, maar zorgt tevens voor een optimale benutting van schaarse inputfactoren zoals mineralen, water en apparatuur. Bij een optimaal landgebruik hoort een keuze van gewassen met optimale groei onder de gegeven omstandigheden. Idealiter hebben de gewassen een optimale samenstelling voor gebruik als voedsel, chemie, transportbrandstof en andere levensbehoeften zoals energie (warmte & brandstof), kleding, hout voor huizen en papier, medicijnen, en biochemicalïën. Veredeling zal daarbij een belangrijke rol spelen. De veredeling moet zich dan niet alleen richten op het gewenste voedsel, maar ook op *non-food*componenten, een betere verwerkbaarheid, een betere seizoensafhankelijkheid en betere transportmogelijkheden. Daardoor kan de duurzaamheid, maar zeker ook de economische waarde per hectare enorm toenemen.

Genetisch gemodificeerde gewassen

Biotechnologie biedt vele nieuwe mogelijkheden om nieuwe gewassen te ontwikkelen met een hoger productiepotentieel per hectare. Een krachtige, maar tegelijk omstreden techniek maakt gebruik van genetische modificatie. Genen worden direct ingebracht in het DNA van een plant, met als doel specifiek één eigenschap aan die plant toe te voegen. Die techniek heeft geleid tot vele genetisch gemodificeerde gewassen (GMO's), die zeer gevarieerde en agronomisch interessante eigenschappen erbij hebben gekregen. De kracht van de techniek is tegelijk de achilleshiel: hoe hou je deze technieken beheersbaar en voorkom je grote negatieve ecologische effecten. Deze discussie leidt tot grote maatschappelijke controverses. Desondanks zet de techniek zijn opmars voort. De jaarlijkse overzichten van Clive James (2008) tonen al jaren lang een lineaire groei van de oppervlakte die bebouwd is met GMO's. De agronomische voordelen zijn dusdanig dat de techniek in grote delen van de wereld omarmd wordt. Meer dan 10 miljoen boeren bebouwden in 2008 samen meer dan 140 miljoen ha met GMO's. De techniek is er en zal blijven. Risico's dienen echter niet gebagatelliseerd te worden. Soortgrenzen kunnen worden overbrugd en 'ontsnapte' genen kunnen grote effecten op ecosystemen hebben. Goede risicoschattingen zijn dan ook onontbeerlijk. Het is daarom noodzakelijk de ontwikkelingen goed te volgen en in de aangewezen gremia de ontwikkelingen mede te sturen. Een bot taboe op GMO's is onverstandig en contraproductief.

Ondanks het hoge tempo waarin deze gewassen de wereld veroveren, zijn GMO's geen panacee voor de wereldvoedselvoorziening. De wereldvoedselvoorziening hangt primair af van de mogelijkheden om te sturen op de effecten van opbrengstbepalende factoren, zoals water, ziekten, plagen en onkruiden. Dat vergt een goed management dat optimaal gebruik maakt van alle mogelijkheden. Biotechnologische inzichten en instrumenten moeten echter wel een rol kunnen spelen ten bate van de ontwikkeling van de landbouw in ontwikkelingslanden. Niet omdat ze de garantie kunnen geven dat daarmee voldoende voedsel wordt geproduceerd, wel omdat ze een nuttig en goed hulpmiddel (instrument) kunnen zijn bij het oplossen van een aantal hardnekkige problemen, zoals het verkleinen van de *yield gaps* in ontwikkelingslanden.

Bioraffinage, kaf én koren

Een verdere opbrengstverhoging ten behoeve van *food*- en *non-food*toepassingen kan bereikt worden door na de oogst niet slechts een deel, maar alle delen van de plant te benutten. Een ander woord hiervoor is bioraffinage. Dit is een verzameling van biochemische en fysische scheidingstechnologieën, waarmee allerlei verschillende planten(residuen) in zekere mate in componenten kunnen worden opge-

splitst. Deze technologieën bieden de mogelijkheid om componenten die niet nodig of zelfs nadelig zijn voor een bepaalde toepassing, in te zetten voor een geheel andere toepassing waarvoor dan geen aparte grondstof meer nodig is. Als we bijvoorbeeld plantmateriaal willen toepassen zijn we momenteel alleen geïnteresseerd in componenten zoals zetmeel en andere suikers of plantenoliën, die we gebruiken voor voedsel, voeder, cosmetica en transportbrandstof zoals bio-ethanol en biodiesel. Andere componenten van de plant zoals de stengel en het zogenaamde kaf van het koren kunnen echter ook nuttig gebruikt worden. Zo wordt veel verwacht van de suikers die in de lignocellulose van de plant zitten. Hier kunnen mogelijk binnen enkele jaren met 2e-generatietechnologie bio-brandstoffen en chemicaliën van gemaakt worden. Naast suikers of olie bevatten planten ook andere componenten, zoals eiwitten die gebruikt kunnen worden voor humane of dierlijke voeding. Deze eiwitten zijn opgebouwd uit een twintigtal aminozuren, die op hun beurt ook weer op te splitsen zijn voor voeding of veevoeder en de productie van bulkchemicaliën. Deze verdere verwerking kan gebeuren op basis van de specifieke moleculaire structuur van bepaalde aminozuren. Op deze manier kunnen we een flinke hoeveelheid energie besparen, die anders nodig was om de bijzondere bouwstenen synthetisch te fabriceren.

Er zijn veel van deze bioraffinage voorbeelden denkbaar en in ontwikkeling, waarbij *food*- en *non-food*toepassingen elkaar versterken. Zo kan de productie van voeding wezenlijk efficiënter worden door een deel van de plant tot voedsel te verwerken en een ander deel te gebruiken als *non-food crop* gericht op de productie van onder meer *chemical building blocks*. Ook gras kan beter benut worden. Gras bevat meer eiwitten dan voor de voeding van dieren nodig is. De overmaat aan eiwitten kan eruit gewonnen worden voor gebruik als *non-food*-grondstof en de rest als veevoer. Kleinschalige bioraffinage heeft als voordeel dat met name de nutriënten zonder kosten kunnen worden gerecycled, omdat de in water opgeloste nutriënten niet hoeven te worden geconcentreerd alvorens te kunnen worden getransporteerd.

Ook het gebruik van biomassa voor energieopwekking kan geoptimaliseerd worden. Een aanzienlijk gebruik van biomassa voor energiegewassen en met name de bijmenging bij transportbrandstoffen, zal extra druk op onze productiesystemen geven. Focus op reststromen voor energieopwekking vermindert die druk. Maar voor het optimale gebruik van biomassa moet verder gekeken worden dan naar het gebruik als transportbrandstof. Een hogere toegevoegde waarde van biomassa is mogelijk als de biomassa als grondstof in de industrie verwerkt wordt tot hoogwaardige producten, waaronder ook brandstof. Optimaal gebruik van biomassa betekent een hoge vervanging van fossiele brandstof, wat wordt bereikt wanneer de biomassa efficiënt is geproduceerd en

conversie van biomassa in chemische producten effectief is en toegesneden op de natuurlijke chemische functionaliteit in de biomassa. Een hoge toegevoegde waarde voor biomassa als chemische grondstof versterkt echter weer wel de competitie met voedseltoepassingen.

Benutten van de zee

Een andere optie voor de voedsel en *non-food*productie is de *off-land*productie. Als we er in slagen in een mariene omgeving op grote schaal bijvoorbeeld algen te kweken voor *food*- of *non-food*toepassingen, wordt een enorm nieuw potentieel aangeboord zonder dat we beslag leggen op (goede) landbouwgrond. Bijkomend voordeel kan zijn dat op deze manier via *fyto-mining* een deel van de uitgespoelde fosfaten herwonnen kan worden, maar ook dat de grote hoeveelheid vocht die zich in algen ophoopt geschikt gemaakt kan worden als irrigatiewater voor bepaalde vormen van landbouw.

Beter benutten van de fotosynthese

Slechts een klein deel van het opvallend licht wordt door planten ten slotte omgezet in biomassa. Door de efficiëntie van de fotosynthese te verhogen neemt de potentiële productie per hectare toe. Daardoor kunnen productiegrenzen verder verlegd worden. Verder in de tijd ligt de mogelijkheid om op basis van de fotosyntheseprijncipes uit de natuur direct zonlicht om te zetten in transportbrandstof of elektrische stroom, zonder dat we hele planten moeten maken. Hierdoor kunnen we enorm vooruitgaan in de efficiëntie van het invangen van de energie uit zonlicht.

1.5 Conclusie

De gestaag toenemende vraag naar landbouwproducten voor voedsel en veevoer in combinatie met de verwachting dat de vraag naar non-food-gewassen nog veel sneller zal stijgen vereist een enorme productieverhoging. Deze zal grotendeels moeten worden opgevangen door productiviteitsstijging per hectare en door efficiënter gebruik van de landbouwproducten. Op wereldschaal is uitbreiding van het landbouwareaal slechts beperkt mogelijk. Wel kan met uitbreiding en vernieuwing van irrigatiesystemen nog relatief veel gewonnen worden.

Veel aandacht is nodig voor hergebruik van grondstoffen en reststromen en voor vergroting van de nutriëntenefficiëntie. De realisatie van technische verbeteringen in de landbouw vergt ook institutionele aanpassingen, maar doorgaans

is een volledige benutting van alle theoretische productiviteitsverbeteringen niet haalbaar.

1.6 Literatuur

Brehmer, B., *Chemical Biorefinery Perspectives: The valorisation of functionalised chemicals from biomass resources compared to the conventional fossil fuel production route*. Ph.D. Thesis Wageningen University, the Netherlands, 2008.

Buringh, P., H.D.J. van Heemst en G. Staring, *Computation of the absolute maximum food production of the world*. Agricultural University, Department of Tropical Soil Science, Wageningen, 1975.

De Santi, G., R. Edwards, S. Szekeres, F. Neuwahl en V. Mahieu, *Biofuels in the European context: facts and uncertainties*, Report of the JRC Biofuels Task Force. JRC44464, JRC Institute of Energy, 2008.

Fischer, G., M. Shah, H. van Velthuis en F.O. Nachtergaele, *Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century*. International Institute for Applied Systems (IIASA), Laxenburg and Food and Agriculture Organisation (FAO), Vienna, 33 pp. 2001.

James, C., *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2008*. ISAAA Brief No. 39. ISAAA: Ithaca, New York, 2008.

Koning, N.B.J., M.K. van Ittersum, G.A. Becx, M.A.J.S. van Boekel, W.A. Brandenburg, J.A. van den Broek, J. Goudriaan, G. van Hofwegen, R.A. Jongeneel, J.B. Schiere en M. Smies, Long-term global availability of food: continued abundance or new scarcity? In: *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences* 53 (2008) 3. pp. 229-292.

Luyten, J.C., *Sustainable world food production and environment*. Report No 37, Institute for Agrobiolgy and Soil Fertility (AB-DLO), Wageningen, 159 pp. 1995.

Penning De Vries, F.W.T., H. van Keulen en R. Rabbinge, 'Natural resources and limits of food production in 2040'. In: *Eco-regional Approaches for Sustainable Land Use and Food Production*, pp. 65-87. Eds.: J. Bouma, A. Kuyvenhoven,

B.A.M. Bouman, J.C. Luyten en H.G. Zandstra, Kluwer Academic Press, Dordrecht, Netherlands, 1995.