

Jan de Vries

## Bio-energie versus voedsel en natuur: de *trade offs* van een transitiepad

Eindrapport project:

Bio-energie: de trade offs van een transitiepad





*Jan de Vries*

Bio-energie versus voedsel en natuur:  
de *trade offs* van een transitiepad

*Eindrapport*

*Deventer, januari 2007*

## Colofon



Huenderkolkweg 12  
7427 RA Deventer  
[www.2eco.nl](http://www.2eco.nl)

tel +31 (0)570 511543  
fax +31 (0)570 511575  
mobiel +31 (0)629 432689  
email [jandevries@2eco.nl](mailto:jandevries@2eco.nl)

Projecttitel: Bio-energie: de trade offs van een transitiepad  
Projectnummer: M500116/01/IA  
Opdrachtgever: Milieu- en Natuurplanbureau (team KMD)

### 2eco – milieu-economisch beleidsadvies

**2eco** levert strategische adviezen en inspiratie voor duurzame ontwikkeling, op basis van milieu-economische inzichten. **2eco** is een onafhankelijk adviesbureau; de naam verwijst naar het dubbele motto: *to economize* – ga zuinig om met al onze hulpbronnen – en *to ecologize* – vergroen, verduurzaam onze productie en consumptie.

Jan de Vries is oprichter van **2eco**. Hij werkt sinds begin 2005 als zelfstandig adviseur, na een veeljarige carrière bij diverse milieuorganisaties. Zijn ervaring bestrijkt een breed terrein van milieu- en energievraagstukken, financieel-economische beleidsinstrumenten en duurzaam produceren en consumeren.

Vernieuwende projecten zijn de core business van **2eco**, in opdracht van NGO's, overheden en bedrijven; in Nederland en de EU. De belangrijkste aandachtsgebieden zijn duurzame consumptie en productontwikkeling, transitieprojecten en marktinstrumenten.

## Inhoud:

Samenvatting	5
1. Aanleiding en vraagstelling	7
2. Bio-energie in de context van energiescenario's	9
3. Afbakening en methodiek	11
4. <i>Trade offs</i> : ervaringen uit de praktijk	13
4.1. Casus: Houtsnippers en -pellets als bron van elektriciteit	13
4.2. Casus: Ethanol als transportbrandstof	17
4.3. Casus: Palmolie als energiebron	23
5. <i>Trade offs</i> : verwachtingen volgens modelanalyses	27
5.1. Optimaliseringsanalyses	27
5.2. Partiële evenwichtsanalyses	29
5.3. Algemeen evenwichtsanalyses	31
6. Evaluatie en conclusies	33
Bronnen	37



## Samenvatting

Gebruik van bio-energie, d.i. alle energie op basis van biomassa, geldt als een relatief goedkoop en haalbaar alternatief voor ons fossiele brandstoffengebruik.

Dit rapport richt zich op de vraag welke nadelen (*trade offs*) een toekomstig grootschalig gebruik van bio-energie met zich mee kan brengen voor de voedselproductie en voor de biodiversiteit, en hoe zwaar deze nadelen moeten wegen: is er aanleiding beleidsdoelen te heroverwegen of te ondersteunen met flankerend beleid?

De vraag is gesteld door het Milieu en Natuurplanbureau, met het oog op de tweede Duurzaamheidsverkenning die het MNP nu voorbereidt. Hij wordt in dit rapport beantwoord aan de hand van een drietal case studies en een doorlichting van economische modelanalyses.

De case studies betreffen enkele representatieve, huidige toepassingen van bio-energie: gebruik van bosbouwresiduen en wilgenteelt in Zweden/Finland, ethanolproductie uit suikerriet in Brazilië, en palmolieproductie in Indonesië/Maleisië. Ook de vooruitzichten op groei daarvan krijgen aandacht.

De conclusies ten aanzien van de Scandinavische praktijk zijn positief. Nadelige gevolgen voor voedselproductie of biodiversiteit doen zich hier niet of nauwelijks voor. Wel stuit de groei ervan (c.q. de navolging in andere EU-landen) op belemmeringen, zoals prijsfluctuaties van fossiele brandstoffen, concurrentiedruk van geïmporteerde bio-energie, en mede daardoor een onzeker lange termijn rendement van energieteelt.

Indonesische palmolie en Braziliaanse ethanol staan model voor een overwegend negatief resp. overwegend positief beoordeelde bio-energiecasus. In de Indonesische context is aantasting van de biodiversiteit groot c.q. nauwelijks vermijdbaar, en kan bovendien sprake zijn van een negatieve CO<sub>2</sub>-balans van de geproduceerde palmolie. Daarentegen lijken nadelen voor voedselvoorziening en biodiversiteit in het Braziliaanse context beperkt c.q. vermijdbaar te zijn; bij sterke exportgeoriënteerde groei veronderstelt dit intensivering van de Braziliaanse landbouw en veehouderij.

Deze bevindingen maken het wenselijk de import van bio-energie van geval tot geval (per land en per gewas) te toetsen aan duurzaamheidscriteria. Overeenkomstig de uitslag daarvan kan beter van import worden afgezien of kunnen er voorwaarden aan worden gesteld.

Uit de modelanalyses komt intensivering van de agrarische productiewijze naar voren als de belangrijkste factor die de trade off tussen bio-energie (energieteelt) en voedselproductie bepaalt. Modellen die met deze factor geen rekening houden, voorspellen tamelijk forse consequenties voor de voedselvoorziening (stijgende prijzen, productiedaling in lijn met areaalverlies) als de teelt van energiegewassen substantieel toeneemt. Andere modellen veronderstellen dat intensivering van agrarische grondgebruik zich zal voordoen, als een indirect effect van energieteelt op grote schaal. Deze modellen voorspellen als gevolg hiervan beperkte gevolgen voor voedselprijzen en -productie.

Welk modeltype zich zal bewijzen als beste voorspeller wordt in dit rapport onzeker geacht, met name omdat de gehanteerde elasticiteiten hun waarde nog moeten bewijzen in de context van een transitie naar een koolstof-arme energievoorziening. Deze onzekerheid is echter geen reden om op voorhand de ontwikkeling van bio-energie c.q. energieteelt te beperken: de trade off tussen bio-energie en voedselproductie lijkt, tenminste in de Europese context, beperkt en beheersbaar.



# 1. Aanleiding en vraagstelling

Veel energiescenario's voorzien een toenemend gebruik van biomassa ten behoeve van onze energievoorziening, als hernieuwbare grondstof voor elektriciteitsopwekking, warmteproductie en transportbrandstoffen. Deze toename wordt ook beoogd in het huidige (Nederlandse en Europese) klimaat- en energiebeleid. Een belangrijke doelstelling in dat kader is onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen, gemotiveerd door geopolitieke (energieleveringszekerheid) en milieuoverwegingen (broeikaseffect). Grootschalig gebruik van bio-energie<sup>1</sup> geldt als een strategie die hieraan bijdraagt. Tegelijk echter is veel discussie gaande over de doeltreffendheid en doelmatigheid van deze strategie, in vergelijking met andere opties.

Productie en gebruik van bio-energie op grote schaal kan helpen de emissie van broeikasgassen te verminderen en onafhankelijker te worden van olie- en gasleverende buitenlandse landen. Tegelijkertijd zal zo'n ontwikkeling allerlei andere gevolgen hebben op sociaal, economisch en ecologisch vlak; gevolgen van uiteenlopende aard (positief tot negatief) en variërend in ruimte- en tijdschaal. Dit hangt samen met het feit dat bio-energie - veel meer dan andere vernieuwbare energiebronnen - eindproduct is van een keten van activiteiten: productie en/of inzameling van biomassa, transport, conversietechnieken, etc. Hierbij komt dat onzekerheden groot zijn: de ontwikkeling staat pas aan het begin, technologische doorbraken zijn mogelijk, de markt moet zich nog vormen en de institutionele context staat amper in de steigers. Het is, gezien deze complexiteit, lastig een omvattende beoordeling op te maken van grootschalig gebruik van bio-energie, een *overall assessment* in termen van de drie duurzaamheidsdimensies - *tripleP*: *people, planet, profit*.

Het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) bereidt een tweede Duurzaamheidsverkenning (DV II) voor, als vervolg op de in 2004 uitgebrachte Duurzaamheidsverkenning I. Net als bij zijn voorganger is de ambitie dat de DV II op evenwichtige en geïntegreerde wijze aandacht geeft aan alle drie aspecten van duurzame ontwikkeling. Gehandhaafd is ook de lange termijn- en internationale optiek: het gaat om kansen en bedreigingen voor duurzame ontwikkeling élders (mondiale/Europese schaal) en láter (tijdhorizon 2030-2040) als gevolg van ons handelen hier en nu. En tenslotte zal worden voortgebouwd op het concept van vier wereldbeelden, met name bij het uitwerken van oplossingsrichtingen.

Anders dan zijn voorganger zal de DV II echter niet het hele spectrum van duurzaamheidsvraagstukken bestrijken maar inzoomen op een drietal knelpunten: biodiversiteitsbehoud, energie (klimaataantasting en voorzieningszekerheid) en bevolkingsontwikkeling/gezondheid.

Eén van de vragen in dit kader betreft de waardering van grootschalige toepassing van bio-energie. Zoals boven aangeduid is dit een veelomvattende en complexe vraag. Dit rapport beoogt (slechts) een bijdrage te leveren aan het beantwoorden ervan.

De focus in dit rapport is gericht op een subvraag, gesteld door het MNP. Het MNP vraagt eventuele *trade offs* te identificeren tussen enerzijds de voordelen van grootschalige bio-energie-toepassing uit klimaat oogpunt en anderzijds mogelijke nadelen voor twee andere mondiale doelstellingen, namelijk verbetering van de voedselvoorziening en instandhouding van de biodiversiteit. Zulke nadelen kunnen ontstaan als gevolg van competitie tussen drie functies van landgebruik: biomassa-productie (energieteelt), voedselproductie en biodiversiteitsprotectie. Het onderkennen van dergelijke *trade offs* is van belang, omdat deze de voortgang en

---

<sup>1</sup> De term 'bio-energie' wordt in dit rapport gebruikt in brede zin. Alle vormen van energie, geproduceerd op basis van biomassa, vallen eronder.

effectiviteit van de beoogde transitie direct (slechte resultaten) of indirect (aantasting draagvlak) kunnen bedreigen.

Kennishiaten ziet het MNP vooral rond het *implementeren* van een transitie naar grootschalig gebruik van bio-energie *op duurzame wijze*, d.w.z. met neutrale tot positieve scores op alle drie dimensies van duurzame ontwikkeling: hoe kan zo'n transitie zijn beslag krijgen via (micro-) economische keuzes van grondeigenaren/-gebruikers; welke institutionele context (meso/macro) is daarvoor nodig; en wat zijn de risico's van een niet-optimaal (tripleP) transitieproces?

Het gaat dus om de *trade offs* tussen energieteelt, voedselproductie en biodiversiteitsprotectie die zich in de praktijk kunnen voordoen, ook al zijn ze in theorie (mondiaal, macro) vermijdbaar.

De **vraagstelling** van het onderhavige project luidt derhalve:

- Welke *trade offs* kunnen worden geïdentificeerd en zo mogelijk gekwantificeerd tussen enerzijds reductie van broeikasgasemissies en anderzijds voedselproductie en biodiversiteitsprotectie, beide als gevolg van toekomstige grootschalige bio-energie-toepassing? Wat zijn de consequenties ervan in termen van 'people, planet, profit'?
- Hoe zwaarwegend dienen deze *trade offs* te worden beoordeeld? Is er aanleiding tot heroverweging van beleidsdoelen en/of flankerende (beleids-)maatregelen?

Gegeven de beperkte opzet en doorlooptijd van dit project, steunt het volledig op evaluatie van bestaand onderzoek.

### **Leeswijzer**

Het volgende hoofdstuk schetst in heel kort bestek de context waarbinnen genoemde vraagstelling is geformuleerd en zal worden beantwoord. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op de gehanteerde afbakening en methodiek. Hoofdstukken 4 en 5 geven de onderzoeksresultaten weer, verdeeld in ervaringen uit de bestaande (bio-energie-)praktijk en inzichten op basis van *ex ante* analyses. In hoofdstuk 6 tenslotte heb ik mijn inschatting geformuleerd van de zwaarte en mogelijke vermijdbaarheid van de geïdentificeerde *trade offs*.

### **Tenslotte**

Dit rapport bevat zeker geen uitputtende analyse van de *trade offs* tussen bio-energie en voedselproductie/biodiversiteit. Het beoogt wel een aantal van de belangrijkste inzichten in de literatuur over deze *trade offs* helder in beeld te brengen.

Behulpzaam bij het op koers houden van dit kortlopende project waren suggesties en commentaren van Bas Eickhout en Joop Oude Lohuis (MNP). Zinnige suggesties kreeg ik ook van Martin Junginger en Edward Smeets (Copernicus Instituut - RUU). De conclusies van dit rapport, evenals mogelijke omissies en fouten, zijn uiteraard voor rekening van de auteur.

## 2. Bio-energie in de context van energiescenario's

Biomassa als moderne energiebron – 'bio-energie', geconverteerd in de vorm van elektriciteit, warmte of transportbrandstof – is begonnen aan een opmars. In Nederland, in de EU en elders wordt bio-energie beschouwd als een van de meest realistische opties om onze afhankelijkheid van fossiele energiebronnen te verminderen en zo het milieuprofiel én de betrouwbaarheid van onze energievoorziening te verbeteren.

Tabel 2.1 illustreert de Europese vooruitzichten ten aanzien van hernieuwbare energiebronnen, waaronder bio-energie. In woorden: de huidige bijdrage van hernieuwbare energiebronnen aan het totale energiegebruik is nog zeer beperkt, maar daarbinnen is het aandeel van bio-energie fors. Lopende afspraken in EU-verband (CEC 2005a, b: Biomass Action Plan) mikken op een ruime verdubbeling van het gebruik rond het jaar 2010. Daarna ligt verdere verhoging in het verschiet, blijkens de voorstellen die de Europese Commissie zeer onlangs publiceerde (CEC, 2006a–d en 2007). Deze voorstellen mikken op 20% hernieuwbare energie als aandeel in de totale energievraag in 2020. Het gebruik van bio-energie zou dan moeten toenemen tot 210 à 230 Mtoe.

**Tabel 2.1 Huidig en beoogd gebruik van hernieuwbare energie in EU-25**

<i>in Mtoe resp. (% primair energiegebruik)</i>	2002*	2010*	2020**
<b>hernieuwbare energiebronnen</b>	97 (5,8)	210 (12)	325–340 (20)
– waarvan bio-energie	69 (4,1)	149 (8,3)	210–230 (13)
<b>deelmarkten bio-energie</b>			
– elektriciteit	20	55	
– warmte en koeling	48	75	
– transport	1	19	31–43

\*) Ontleend aan CEC (2004a, b): The share of renewables en CEC (2005a, b): Biomass Action Plan.

\*\*) Ontleend aan CEC (2006a, b): Renewable energy roadmap en CEC (2007): An energy package for Europe.

De Europese doelstellingen voor 2010 zijn gedifferentieerd naar deelmarkten en naar lidstaten, met het oog op het sterk uiteenlopende binnenlandse aanbod per lidstaat (zie tabel 2.1). De doelstelling voor 2020 zal volgens Commissievoorstel door de lidstaten worden gedifferentieerd naar deelmarkten (met een EU-minimum voor transportbrandstoffen van 31 Mtoe).

Nederland streeft, min of meer in de pas hiermee, naar een aandeel van 5 % energie uit hernieuwbare bronnen in 2010 (circa 150 PJ), respectievelijk 10 % in 2020 (circa 365 PJ). Bio-energie zal daaraan met 83–97 PJ in 2010 de grootste bijdrage moeten leveren (EZ, 2003a: Biomassa Actieplan). Voor de lange termijn zijn ambities geformuleerd die aanzienlijk verder reiken. Bio-energie zou in 2040 30% van de Nederlandse (primaire) energiebehoefte moeten dekken, overeenkomend met 600 – 1.100 PJ.<sup>2</sup>

Deze beleidsdoelstellingen c.q. ambities steunen op een aantal achterliggende studies en evaluaties die wijzen op zeer aanzienlijke potenties van bio-energie wereldwijd gezien, resp. aanzienlijke op Europese schaal. Tabel 2.2 geeft enkele representatieve uitkomsten voor de langere termijn.<sup>3</sup> Deze studies geven steeds prioriteit aan voedselproductie; verschillen vloeien vooral voort uit uiteenlopende schattingen van productiviteitsstijging in de landbouw en in de energieteelt.

<sup>2</sup> Zie Visiedocument Biomassa-transitie (EZ, 2003b). Deze ambities hebben overigens geen formele status als beleidsdoelstelling.

<sup>3</sup> Ter vergelijking: de Europese bio-energie doelstelling voor 2020 van 210–230 Mtoe (zie tabel 2.1) komt overeen met 8,8 – 9,6 EJ.

**Tabel 2.2 Schattingen bio-energie potentieel op basis van energieteelt in 2050 (in EJ).**

	mondiaal	Europa
Hoogwijk et al., 2003	988	
Wolf et al., 2003	577	
Hoogwijk et al., 2005 (Image scenario's)	311-657	21-25
Smeets et al., 2007	215-1272	8-56
VIEWLS, 2005*		5-12
EEA, 2006*		5,9

\*) schattingen voor het jaar 2030; de Viewls studie betreft alleen Oost-Europa.

Uit deze verkenningen kunnen de volgende hoofdlijnen worden gedestilleerd:

1. Bio-energie kan de concurrentie aan met andere hernieuwbare energiebronnen c.q. opties om de nadelen van fossiele energie te ondervangen. Bio-energie speelt op grond hiervan een hoofdrol in vele, zo niet alle 'low-carbon' energiescenario's voor de lange termijn, naast energiebesparing, zon- en windenergie, CO<sub>2</sub>-opslag etc.
2. Bio-energie is en blijft veelal duurder dan fossiele energie. Standaardveronderstelling is dat dit kostenverschil door overheden wordt overbrugd, middels subsidie, feed in-tariffs, quotumverplichtingen of anderszins. Zonder deze overbrugging maakt bio-energie weinig kans, uitgezonderd het benutten van bepaalde afvalcategorieën.
3. Op korte termijn zal vooral secundaire biomassa (reststromen en afval uit bosbouw, houtverwerking, landbouw en voedingsindustrie, huishoudens; deze zijn niet meegenomen in tabel 2.2) worden ingezet en bewerkt middels bewezen conversietechnieken (zoals WKK, elektriciteitsopwekking). Hieraan vast zit het risico dat andere, 'nuttiger' vormen van hergebruik worden verdrongen.
4. Op langere termijn zal primaire biomassa (energieteelt van vooral houtige gewassen) gaan domineren, in combinatie met nieuwe conversietechnieken die houtige biomassa kunnen converteren.<sup>4</sup> Dit gaat gepaard met een substantieel beslag op natuurlijke en 'man-made' hulpbronnen zoals grond, water, arbeid en fysiek kapitaal, met het risico van verdringing van andere functies hiervan.
5. Diverse scenario's houden op voorhand rekening met de onder 3. en 4. genoemde risico's door beperkende randvoorwaarden in acht te nemen, zoals het ontzien van afvalstromen die al worden hergebruikt, voorrang geven aan voedselproductie of uitsluiten van ecologisch waardevolle arealen. Deze scenario's concluderen niettemin dat het bio-energiepotentieel groot is in Europa en zeer groot in bepaalde andere werelddelen, zoals Zuid-Amerika.

Randvoorwaarden als de onder 5. genoemde worden meestal exogeen ingevoerd in modelberekeningen e.d. Hierdoor bieden deze verkenningen inzicht in potentiële op macroniveau, als zulke randvoorwaarden worden gerespecteerd. Ze geven echter weinig inzicht in de vraag óf en hoe zulke randvoorwaarden (c.q. de achterliggende wens om bepaalde nadelen en risico's te vermijden) zullen doorwerken in afwegingen op microniveau.

In dit rapport staat deze doorwerking op microniveau juist centraal. De onderzoeksvraag is gericht op het identificeren en waarden van *trade offs* tussen met name klimaatprotectie, voedselproductie en biodiversiteitsprotectie, die zich *in de praktijk* kunnen voordoen. Om daarop zicht te krijgen zullen (in hoofdstuk 4) enkele huidige, min of meer grootschalige toepassingen van bio-energie worden geanalyseerd. Vervolgens zullen we (in hoofdstuk 5) verschillende *ex ante* analyses van grootschalig gebruik van bio-energie tegen het licht houden.

<sup>4</sup> De huidige productiemethoden van "1<sup>e</sup> generatie" transportbrandstoffen (ethanol en biodiesel uit zetmeel-, suiker- en oliehoudende gewassen en vruchten/zaden) nemen een tussenpositie in ten opzichte van de op korte en lange termijn dominante opties. Zie Faaij (2006) voor een overzicht van toekomstige technieken.

### 3. Afbakening en methodiek

Onderwerp van dit rapport is het identificeren en beoordelen van de *trade offs* tussen bepaalde voor- en nadelen van grootschalig gebruik van bio-energie, met name samenhangend met het gebruik van grond voor energieteelt. Dit hoofdstuk gaat in op de gevolgde methodiek. Allereerst omschrijf ik hoe het sleutelbegrip *trade off* is geïnterpreteerd. Vervolgens geef ik aan op welke manier *trade offs* zijn geïdentificeerd. Tenslotte is er de meer praktische vraag welke literatuur en andere bronnen in het korte bestek van dit project zijn geanalyseerd.

#### *Trade offs*

In de economische theorie is *trade off* een basaal concept dat verwijst naar het alledaagse gegeven dat een consument niet in al zijn behoeften kan voorzien. Hij is – door beperktheid van middelen – gedwongen keuzes te maken, d.i. (wat meer) bevrediging van de ene behoefte ‘af te ruilen’ tegen (wat minder) bevrediging van een andere. *Trade offs* in deze zin zijn alom tegenwoordig. Ze zijn het mechanisme met behulp waarvan een consument een voor hem optimale uitkomst kan bereiken, gegeven een bepaald niveau van beschikbare middelen en op voorwaarde dat er echt geruild kan worden, oftewel dat ‘de markt’ adequaat werkt. Elk handboek micro-economie analyseert hoe en onder welke voorwaarden de optelsom van deze individuele *trade offs* kan resulteren in een voor ieder optimaal resultaat, een efficiënte allocatie van productiefactoren kan genereren, etc.

Het alledaagse begrip *trade off* is in het kader van dit rapport te algemeen. Hier is een meer specifieke betekenis gehanteerd (zie Opschoor, 1994). Deze sluit aan bij het (nauwelijks minder alledaagse) gegeven van markten die níet goed werken (marktfalen), consumenten met ‘onverstandige’ voorkeuren (voorkeursfalen) en overheden die de oorzaken of gevolgen van markt- en voorkeursfalen proberen weg te nemen maar daarin tekortschieten (overheidsfalen). Markt- en voorkeursfalen kan allerlei oorzaken en (dus) verschijningsvormen hebben, van scheve inkomensverhoudingen en conjunctuurschommelingen, via prisoner dilemma’s, tot ongewenste externe effecten en afwenteling van maatschappelijke kosten. Overheidsinterventies ter correctie hiervan zijn eveneens veelvormig, zowel qua instrumenten als qua doelstellingen. Zulke interventies sorteren al dan niet het beoogde effect. Overheidsfalen ligt steeds op de loer, als gevolg van onderling strijdige of niet-haalbare doelstellingen, gebrekkige instrumentatie, dan wel bijkomende gevolgen die nadeliger zijn dan het oorspronkelijke probleem.

In deze context verwijst het begrip *trade off* naar een overheid die zich meerdere *streefdoelen* stelt. Als zulke indicatieve, ‘bewegende’ doelen onderling conflicteren, ontstaat een afwegings- c.q. optimaliseringsvraagstuk: welke uitruil tussen de mate waarin de ene dan wel de andere doelstelling wordt gerealiseerd, krijgt *de facto* politieke support?<sup>5</sup>

Laatstgenoemde betekenis van het begrip *trade off* is relevant in dit rapport: de uitruil van onderling conflicterende maatschappelijke doelstellingen, *in casu* klimaatbescherming, verbetering van de voedselvoorziening en biodiversiteitsbehoud. In het verlengde ervan wordt onderscheid gemaakt tussen *onvermijdbare trade offs* – als de betreffende doelstellingen nu eenmaal niet samen gaan –, en *vermijdbare trade offs*. Vermijdbare *trade offs* doen zich voor als achter oegenschijnlijk conflicterende doelstellingen, vormen van overheidsfalen c.q. markt- /voorkeursfalen schuil gaan. Als die worden opgeheven, ontstaat meer ruimte om verschillende doelen tegelijk te realiseren.

---

<sup>5</sup> Dergelijke vraagstukken kunnen de politieke arena langdurig beheersen. Vergelijk het klassieke voorbeeld van de ‘big *trade off* tussen *equity* en *efficiency*.’

### **Identificatie**

*Trade offs* zijn geïdentificeerd aan de hand van ervaringen en verwachtingen.

*Ervaringen* zijn ontleend aan een drietal case studies (zie hoofdstuk 4). Samen representeren deze de huidige praktijk van bio-energie:

- gebruik van bosbouwresiduen en wilgenteelt in Zweden (c.q. Scandinavië), tevens exemplarisch voor mogelijkheden in bosrijke Europese landen en voor toekomstige Europese energieteelt.
- ethanolproductie uit suikerriet in Brazilië, exemplarisch voor exportlanden met rijke biodiversiteit en overvloedig landbouwareaal.
- palmolieproductie in Indonesië/Maleisië, exemplarisch voor exportlanden met rijke biodiversiteit, maar beperkt landbouwareaal.

Laatstgenoemde case studie is overigens beperkter van opzet dan de andere twee; de mogelijke *trade off* met voedselproductie is hier niet onderzocht.

*Verwachtingen* zijn enerzijds in kaart gebracht in de genoemde case studies (zie paragrafen 'voortuitblik' in hoofdstuk 4) en anderzijds ontleend aan economische modelstudies (zie hoofdstuk 5). Het accent ligt hierbij op de *trade off* tussen bio-energie (op basis van energieteelt) en de voedselproductie c.q. de productie van traditionele landbouwproducten (incl. veevoer e.d.). Modelanalyses van verschillende snit – optimaliseringsanalyse, partiële evenwichtsanalyse, algemeen evenwichtsanalyse – zijn op hun eigen merites bekeken en onderling vergeleken.

De inzichten die zijn verkregen uit case studies en modelanalyses zijn samengebracht in het concluderende hoofdstuk 6. Daarbij is aandacht gegeven aan de vraag of de geïdentificeerde *trade offs* al dan niet vermijdbaar zijn.

### **Bronnen**

Gegeven de beperkte omvang en looptijd van dit project is een pragmatische werkwijze gevolgd. Als eerste zijn de belangrijkste beleidsdocumenten (Nederland en EU) geraadpleegd, inclusief onderbouwende studies, de recente jaargangen van de belangrijkste tijdschriften in het bio-energie domein (Biomass & Bioenergy; Energy for Sustainable Development), en documenten van diverse IEA-Bioenergy taakgroepen. Op basis hiervan zijn relevante casussen en modelstudies geselecteerd.

Analyse daarvan, aangevuld met suggesties van B. Eickhout (MNP), M. Junginger en E. Smeets (Copernicus Instituut), leidde tot het gericht opsporen van additionele literatuur- en internetbronnen.

## 4. *Trade offs*: ervaringen uit de praktijk

Het huidige gebruik van bio-energie – wereldwijd gezien – is beperkt, vergeleken met de potentiële mogelijkheden ervan. Dat geldt temeer als we ‘traditioneel’ gebruik van biomassa (d.i. directe verbranding) buiten beschouwing laten. Slechts in enkele landen heeft ‘moderne’ benutting van bio-energie (d.i. biomassa geconverteerd tot elektriciteit, transportbrandstof of gas) een substantiële omvang. Enkele voorbeelden daarvan komen in dit hoofdstuk aan de orde, met als doel het identificeren van *trade offs* die zich *in de praktijk* van bio-energiebenutting voordoen.

De voorbeelden betreffen het gebruik van hout (in de vorm van snippers en pellets) voor elektriciteitsopwekking, bio-ethanol als transportbrandstof, en oliehoudende vruchten (van de oliepalm) voor beide toepassingen. Samen geven ze een representatief beeld van de huidige, ‘1<sup>e</sup> generatie’ conversietechnieken van biomassa in bruikbare energiedragers.

### 4.1 *Casus: Houtsnippers en -pellets als bron van elektriciteit*<sup>6</sup>

#### **Praktijkervaringen**

Finland en Zweden zijn de EU-lidstaten met het hoogste aandeel bio-energie, in 2002 resp. 20% en 16% van het totale primaire energiegebruik (Kaltschmitt en Weber, 2006). Het overgrote deel hiervan is direct of indirect afkomstig van houtige biomassa.

Beide landen hebben een lange traditie in het benutten van hout (traditioneel brandhout), bosbouwresiduen (bast) en afval van de hout- en papierindustrie (black liquor, nu in Finland ongeveer de helft van genoemde 20%). Het belang ervan voor de nationale energievoorziening nam echter voortdurend af, tot circa dertig jaar geleden. Sindsdien is, met succes, geprobeerd de dalende tendens te doorbreken. Dit beleid was in eerste instantie een reactie op de oliecrises van de jaren '70, later werden vooral klimaatoverwegingen (vervanging fossiele brandstoffen) van belang. Vergroting van het aandeel van bio-energie is zo al 25–30 jaar een vast onderdeel van de Finse en Zweedse energiepolitiek, zij het met wisselende motieven.

Beide landen hebben vooral het benutten van reststromen uit de bosbouw geïntensiveerd, met behulp van nieuwe technologieën voor het ‘oogsten’ van snoeihout, boomkruinen en stronken, het verwerken (voornamelijk tot houtsnippers, daarnaast pellets/briketten) en verbranden (wervelbedverbranding) ervan. Geschikte afzetmogelijkheden zijn ontwikkeld in de vorm van elektriciteitsproductie op regionale schaal, vaak in combinatie met stadsverwarming middels WKK-installaties. Zweden heeft bovendien, vanaf circa 1990, ingezet op teelt van houtige energiegewassen op vrijkomende landbouwgrond in de vorm van wilgenplantages (‘short rotation willow coppice’, nu ca. 15.000 ha groot). De 3–4 jaarlijkse oogst van dit wilgenhakhout wordt eveneens verwerkt tot houtsnippers, bestemd voor elektriciteitsopwekking (stand alone en WKK-installaties).

Instrumenteel in deze ontwikkeling waren forse technologiesubsidies (bosbouwresiduen), investeringssteun (aanleg wilgenplantages) en de vrijstelling die bio-energie geniet in het kader van de Zweedse en Finse energie- en CO<sub>2</sub>-belastingen. Het effect daarvan komt tot uiting in sterk gedaalde kostprijzen van bio-energie (vgl. fig. 4.1). In 2000 – dus nog vóór de olieprijsstijging van de laatste jaren – was het gebruik van houtsnippers voor elektriciteitsopwekking iets goedkoper dan inzet van olie, iets duurder dan steenkolen (beide

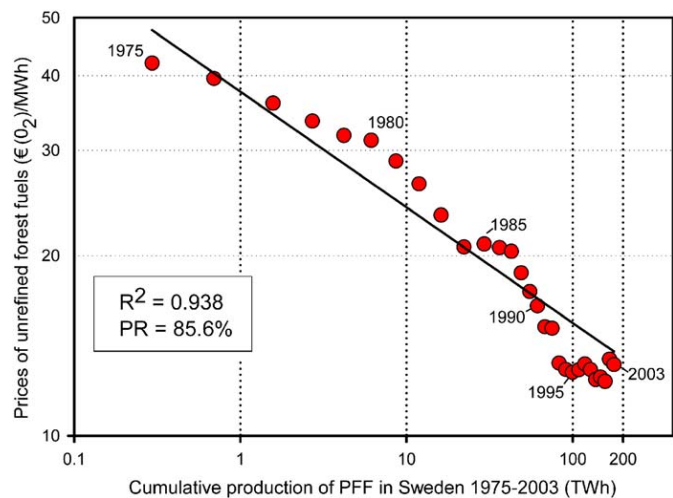
---

<sup>6</sup> *Bronnen*: Naast specifieke bronnen (zie tekst) is voor deze paragraaf gebruik gemaakt van Kaltschmitt en Weber (2006), Hakkila (2006), Björheden (2006), Hansson et al. (2006).

exclusief CO<sub>2</sub>-tax). *Inclusief* de CO<sub>2</sub>-tax was houtige biomassa duidelijk (ruim 50%) goedkoper dan beide fossiele brandstoffen (Björheden, 2006).

**Fig. 4.1** Leercurve van Zweedse 'primary forest fuel' 1975–2003.

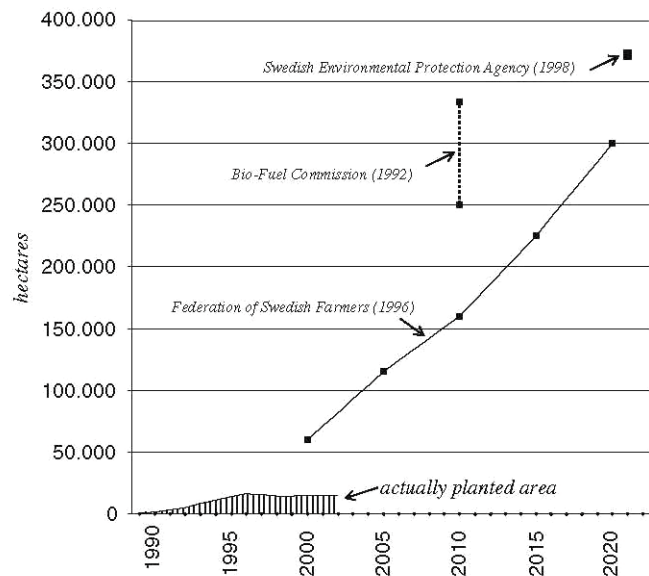
Prijzen omgerekend in Euro (2002), volgens wisselkoers 1€ / 9,16 SEK. *Bron:* Björheden (2006), op basis van Junginger et al., 2005.



Al met al vertoont het gebruik van 'forest residues' een stijgende tendens. De toenemende vraag wordt de laatste jaren niet meer volledig gedekt door binnenlandse bio-energie. Import van houtsnippers en pellets ten behoeve van de energievoorziening komt op gang, vooral uit Canada en de Baltische staten (in 2004 5–10% van het gebruik). Daarentegen is het areaal voor energieteelt al jarenlang stabiel. De eerder verwachte onstuimige groei is uitgebleven (vgl. fig. 4.2).

**Fig. 4.2** Wilgenteelt in Zweden: scenario's versus realiteit.

*Bron:* Helby et al., 2006.



Zweedse onderzoekers verklaren het opvallende verschil in ontwikkeling van bosbouwresiduen en geteelde bio-energie uit de kostenstructuur van beide biomassastromen (Björheden, 2006; Helby et al., 2006).

Bepalend voor het kostenprofiel van bosbouwresiduen zijn de inzamel('oogst')- en verwerkingskosten. Gebruikelijk is dat de bosexploitant nauwelijks of geen vergoeding ontvangt voor de ingezamelde biomassa; zijn 'beloning' bestaat uit het beschikbaar komen van opgeschoond, voor herplant geschikt areaal. Bosbouwresiduen als zodanig zijn dus (vrijwel)

gratis. Dit maakt ze aantrekkelijk als bron van bio-energie, ondanks relatief hoge inzamel- en verwerkingskosten. Bosbouwresiduen van binnenlandse herkomst hebben zodoende een stevige marktpositie veroverd, waarbij import van bio-energie (eveneens bosbouwresiduen) de voornaamste concurrentiefactor vormt.

Houtsnippers, afkomstig van energieteelt, hebben een normaal kostenprofiel. Aanleg- en onderhoudskosten (gespreid over 20-25 jaar), oogst- en verwerkingskosten, beloning van grondgebruik moeten worden gedekt uit de opbrengst van de 3 à 4-jaarlijkse oogst. Teelt van energiegewassen zoals wilg concurreert hierbij enerzijds met andere gewassen, anderzijds met (binnenlandse of geïmporteerde) bosbouwresiduen. Tot dusver komt energieteelt uit deze tweezijdige competitie niet als winnaar tevoorschijn.

Met name twee factoren lijken verantwoordelijk voor de stagnatie in de Zweedse energieteelt:

- de teelt is – landbouwkundig gezien – weinig professioneel aangepakt, met lage opbrengsten en hoge kosten als resultaat.<sup>7</sup>
- energieteelt heeft als lange-termijnactiviteit baat bij stabiele marktomstandigheden en overheidsbeleid. Onzekerheid daarover is gevoed door frequente wijzigingen, vooral in het overheidsbeleid (nationaal en EU), en ondergraaft de investeringsbereidheid van boeren.

### ***Grondbeslag en grondcompetitie***

Het gebruik van *bosbouwresiduen* betreft biomassa die voorheen 'onbenut' op en in de grond van productiebossen achterbleef (ca. 25 % van de totale houtopstand). Extra landgebruik in directe zin is derhalve niet aan de orde, dus ook geen daarmee samenhangende grondcompetitie.

Denkbaar is dat in indirecte zin toch sprake is van extra landgebruik, namelijk als het gebruik van hout als energiebron het gebruik ervan door de hout- en papierindustrie zou verdringen. De grondstofbehoefte van deze sector zou vervolgens kunnen leiden tot extra areaal productiebos, ten koste van – bijvoorbeeld – natuurlijk bos. Er zijn geen aanwijzingen gevonden voor zo'n indirect effect<sup>8</sup>, wel aanwijzingen die ertegen pleiten: hout dat verkocht wordt als grondstof, brengt aanzienlijk meer op dan hout voor bio-energie en blijft zodoende het hoofdproduct bij de exploitatie van bos. Bio-energie is voor boseigenaren niet minder, maar ook niet méér dan een nuttig bijproduct.

Evaluaties van het gebruik van bosbouwresiduen als bron van bio-energie signaleren wel twee andere *trade offs*, namelijk:

- verminderde biodiversiteit van productiebossen, als gevolg van het verdwijnen van resthout en stronken als biotoop van insecten, schimmels etc. Deze *trade off* lijkt een onvermijdelijk gevolg van de intensivering van de bosbouwpraktijk die hier aan de orde is.
- aantasting van de bodemvruchtbaarheid, als gevolg van mineralenverlies. Dit wordt gezien als een lange termijn risico, dat in principe te vermijden is door de as van bio-energieverbranding terug te brengen als meststof.

*Energieteelt* leidt per definitie tot grondbeslag. De Zweedse wilgenteelt vindt vrijwel geheel plaats op 'set aside'-percelen, tot 1995 in het kader van Zweedse braakligregelingen, daarna in het kader van het EU-CAP regime, en concurreert zodoende niet met voedselproductie.

---

<sup>7</sup> Wilgenplantages zijn meestal aangelegd op percelen, aangewezen voor braakligregelingen, d.w.z. veelal slechtere landbouwgrond. Volgens Helby et al. (2006) staat 30% van de plantages zelfs op voor wilg ongeschikte zandgrond. Onvoldoende bemesting en hoge kosten van onkruidbestrijding zijn andere opbrengstdrukkende factoren.

<sup>8</sup> Een uitzondering is wellicht de productie van spaanplaat, MDF-plaat e.d. waarbij zowel residuen uit de houtindustrie als uit de bosbouw worden verwerkt.

De relatie tussen energieteelt en biodiversiteit is er eerder één van synergie dan van competitie. Wilgenplantages zijn te zien als een vorm van halfnatuur, die – meer dan bouwland – leefruimte biedt aan natuurlijke organismen (Londo et al., 2005).

### **Vooruitblik**

Anno 2006 zijn houtsnippers, toegepast als energiedrager, een belangrijk nevenproduct geworden van de Zweedse en Finse bosbouw. En in de schaduw daarvan heeft de Zweedse wilgenteelt zich ontwikkeld tot één van de eerste systemen van energieteelt in Europa die (zij het marginaal) economisch levensvatbaar lijkt.

Voor beide vormen van bio-energie bestaat een groeipotentieel, zowel kwalitatief (upgrading in de vorm van pellets en in de toekomst nieuwe conversietechnieken) als kwantitatief (toenemende omvang). Recente schattingen geven voor Zweden een binnenlands potentieel aan van 480 PJ/jaar economisch winbare bosbouwresiduen, resp. 570 PJ/jaar als de bemesting van Zweedse productiebossen wordt geoptimaliseerd (Hansson et al., 2006). Dit komt overeen met 55 – 85% groei ten opzichte van het gebruik in 2004 (310 PJ).

Het groeipotentieel van energieteelt is veel groter, gegeven de verwachting dat 13 – 27% (400.000 – 800.000 ha) van de Zweedse akkerbouwgrond in de toekomst zal vrijvallen.<sup>9</sup> In principe kan zo een veelvoud van het huidige areaal beschikbaar komen voor energieteelt, zónder concurrentie met voedselproductie of biodiversiteit. Hansson et al. (2006) concluderen dan ook dat:

*“In the coming decades, it is unlikely that physical restrictions on domestic feedstock availability will constrain increased use of biofuels in Sweden.”*

Het is echter ronduit onzeker of het potentiële areaal zal worden benut. Dit hangt samen met vooral de volgende belemmerende factoren:

1. de onzekerheid op microniveau (telers) over het lange termijnrendement van energieteelt, als gevolg van wisselingen in het overheidsbeleid (EU-CAP, subsidieregelingen etc.).
2. prijsfluctuaties van fossiele brandstoffen, met onvoldoende compensatie (subsidie e.d.) of correctie (energiebelasting, quoterings e.d.) door de overheid.
3. concurrentiedruk van geïmporteerde bio-energie (houtsnippers, pellets), leidend tot prijsdruk en ev. marktverdringing. Er zijn anderzijds ook exportkansen voor de Zweedse/Finse pelletproducenten naar vooral West-Europa.

Voor verschillende van deze belemmeringen worden oplossingen gezocht, zoals het aangaan van langlopende leveringscontracten waardoor prijsrisico's worden gespreid tussen teler en afnemer. Of door het aanboren van andere inkomstenbronnen op basis van multifunctioneel gebruik van wilgenplantages: naast energieteelt bijvoorbeeld waterzuivering, ontgifting van vervuilde bodems, of natuur'productie' (Börjesson en Berndes, 2006; Mirck et al., 2005). De oriëntatie van energieteelt op bouwland dat niet meer nodig is voor voedselproductie lijkt bij dit alles een blijvend gegeven. Geen enkele analyse voorziet een rentabiliteitsniveau waarbij energieteelt voedselproductie zou kunnen verdringen van daarvoor bestemde arealen.

---

<sup>9</sup> Volgens Hansson et al. (2006). Alternatieve schattingen zijn lager, maar nog steeds een veelvoud van het huidige areaal. Bijv. EEA (2006) berekent voor Zweden 168.000 ha. beschikbaar energieteelt areaal in 2020, rekening houdend met prioriteit voor voedsel-/voederproductie en een reeks milieu- en natuurrestricties. Deze EEA-studie schat het beschikbare areaal voor energieteelt in de gehele EU-25, onder dezelfde voorwaarden, op 16,2 Mha (2020) resp. 19,3 Mha (2030).

## 4.2 Casus: Ethanol als transportbrandstof<sup>10</sup>

### Praktijkervaringen

Brazilië is hét voorbeeld van een opkomend ontwikkelingsland dat een hoog aandeel bio-energie in zijn energiemix heeft gehandhaafd (circa 30 % in 2004), ondanks een sterk afnemende betekenis van het traditionele gebruik van brandhout. Dit nog steeds hoge aandeel is hoofdzakelijk te danken aan de populariteit van bio-ethanol, toegepast als bijmenging in benzine ('gasohol', met 15–25 % ethanolaandeel) dan wel als vervanger ervan (pure bio-ethanol).<sup>11</sup>

Ethanolproductie uit suikerriet is in Brazilië vanaf midden jaren '70 op gang gekomen, gestimuleerd door het toenmalige militaire regime. Hoofdmotief was de afhankelijkheid van buitenlandse olie te verminderen, bijkomende motieven waren het onderontwikkelde noordoosten van het land perspectief te bieden en alternatieve afzetkansen te creëren voor de (door lage wereldmarktprijzen geplaagde) suikerindustrie. Via het programma 'Proalcool' zorgde de overheid voor protectie in de vorm van omvangrijke subsidies en regulering van afzetprijzen. Dit programma had wisselend succes. *In de tijd* gezien beleefde de ethanolproductie perioden van groei én krimp, afhankelijk van het niveau van de suikerprijs (producenten bleken flexibel in het produceren van ethanol óf suiker) en van de olieprijs (overheidsprotectie bleek bij lage prijzen te kostbaar). *Regionaal* gezien heeft vooral het zuiden van Brazilië geprofiteerd – de staat Sao Paulo en enkele buurstaten –, ethanolproductie in het noordoosten bleef marginaal. Het programma Proalcool is vanaf 1997 afgebouwd. Braziliaanse bio-ethanol wordt sindsdien geproduceerd en afgezet zónder directe overheidssubsidiëring of prijsregulering. Wel geniet bio-ethanol nog steeds impliciete staatssteun in de vorm van bepaalde belastingvrijstellingen en de verplichte bijmenging in benzine (gasohol).

Het totale effect van deze wisselende prijsverhoudingen en veranderingen in protectieregiem is dat het land is uitgegroeid tot de – mondiaal gezien – belangrijkste bio-ethanolproducent. In 2004 leverde Brazilië circa 40% van de wereldproductie. Het overgrote deel daarvan werd binnenlands gebruikt, het restant geëxporteerd (vgl. tabel 4.1, cijfers 2004/05). De binnenlandse afzet voorziet in ongeveer de helft van de brandstofbehoefte van het Braziliaanse wagenpark (personen- en bestelauto's: circa 18 miljoen auto's).

**Tabel 4.1 Huidige en toekomstige suiker/ethanolsector in Brazilië**

Productie en markt	1975/76	2004/05	2010	2015
Suikerriet areaal (Mha)	2	5,5	7,2	9,0
Suikerrietproductie (Mt)	91,5	400	560	696
Suiker (Mt)		28	32,7	36,9
w.v. – binnenlandse afzet		10,9	12,1	13,3
– export		17,1	20,6	23,6
Ethanol (GJ)		16,8	26,0	34,7
w.v. – binnenlandse afzet		14,3	21,0	28,7
– export		2,5	5,0	6,0

Bron: Walter et al., 2006

Er is een omvangrijke agro-industriële sector ontstaan. Deze drijft op twee economische kurken – suiker en ethanol –, omvat ca. 5,5 Mha suikerrietplantages en 300 tot 400 suiker- en

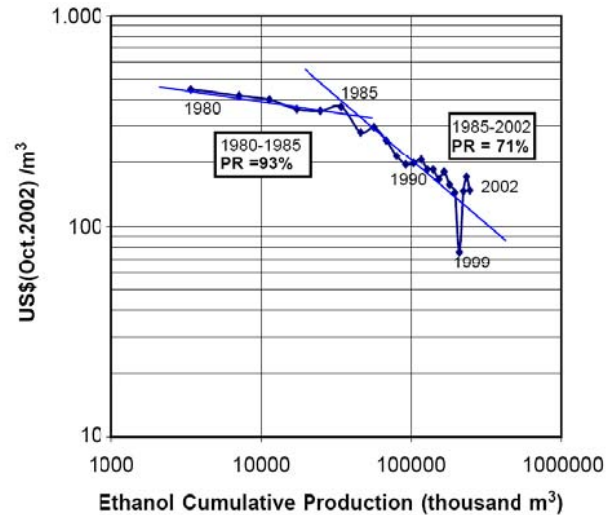
<sup>10</sup> *Bronnen*: Naast specifieke bronnen (zie tekst) is voor deze paragraaf gebruik gemaakt van Coelho et al., (2006), Kojima en Johnson (2005), Walter et al. (2006).

<sup>11</sup> Een tweede belangrijke factor is de productie van houtskool op basis van geteeld hout (Eucalyptus plantages), als grondstof voor de ijzer- en staalindustrie.

ethanolfabrieken, en verschaft werk aan ca. 750.000 boeren en werknemers.<sup>12</sup> De productiekosten van ethanol zijn sterk gedaald, dankzij productiviteitsgroei in de suikerrietcultuur en bij de conversie tot ethanol (vgl. fig. 4.2). Braziliaanse ethanol kan intussen de concurrentie aan met benzine, mits de prijs van ruwe olie voldoende hoog is en de Braziliaanse munt niet te sterk wordt.<sup>13</sup>

**Fig. 4.2 Leercurve van de Braziliaanse ethanolproductie 1980–2002**, op basis van producentenprijzen uitgedrukt in US\$ (wisselkoers okt. 2002).

Bron: Goldemberg et al. (2004).



Tabel 4.2 geeft inzicht in de prijsstructuur van Braziliaanse transportbrandstoffen, peildatum midden 2005. Er blijkt uit dat de producentenprijs van ethanol *per liter* 35% lager was dan

**Tabel 4.2 Prijsstructuur gasohol en ethanol in de staat Sao Paulo, situatie midden 2005**  
(in US\$/1000 liter; ruilvoet 2,4R\$/US\$)

	Gasohol (25% ethanol)		Ethanol
	<i>benzinefractie</i>	<i>ethanolfractie</i>	
Producentenprijs	366	270	237
belastingen op productie*	555	–	42
transportkosten	1	8	12
inkoopprijs distributeur	761		291
handelsmarges distributie en retail	129		86
belastingen op distributie/retail	6		44
retailprijs (excl. BTW)	887		421
<i>w.v. belastingen</i>	<i>423</i>		<i>86</i>
retailprijs (excl. BTW), gecorrigeerd**	931		547

\*) Deze belastingen worden in het geval van gasohol om redenen van uitvoerbaarheid volledig geïnd via de benzinefractie.

\*\*) vergeleken met normale benzine (in Brazilië niet verkrijgbaar) levert gasohol max. 5% en ethanol max. 30% minder vervoerprestatie/liter. Hiervoor is gecorrigeerd.

Bron: eigen bewerking van gegevens Kojima en Johnson (2005).

<sup>12</sup> De arbeidsintensiteit van ethanolproductie daalt geleidelijk, vooral als gevolg van voortschrijdende mechanisatie in de suikerrietcultuur.

<sup>13</sup> Ter illustratie: een minimum olieprijsniveau van 25 US\$/vat wordt genoemd in connectie met de wisselkoers (eind 2001) van 2,5 R\$/US\$ (Macedo, 2002); een minimumprijs van 36 US\$/vat bij de koers (eind 2005) van ca. 2,25 R\$/US\$ (Walter et al., 2006). Intussen is de waarde van de Braziliaanse Real verder gestegen, tot 2,14 R\$/US\$ in december 2006.

die van benzine; als we rekening houden met de extra transportkosten en een 30% lagere vervoersprestatie<sup>14</sup> van ethanol, resteert een klein prijsverschil. Vervolgens zijn er aanzienlijke verschillen in belastingregime. Deze creëren een fors prijsvoordeel ‘aan de pomp’ voor ethanol. De marktpenetratie van ethanol groeit dan ook snel, vooral sinds er in 2003 ‘flex-fuel-vehicles’ op de markt kwamen. Deze FFV’s stellen automobilisten in staat terug te vallen op benzine (gasohol) als de prijsverhouding wijzigt of het ethanolaanbod tekortschiet. FFV’s veroveren de Braziliaanse automarkt in hoog tempo.

### ***Grondbeslag en grondcompetitie***

Vermeld is al dat de Braziliaanse suiker/ethanolsector voornamelijk geconcentreerd is in de zuidelijke staat Sao Paulo (60–65% van de suikerrietproductie, ruim 50% van het areaal) en enkele buurstaten (nog eens 20–25%). In de staat Sao Paulo is nu circa 1/3 deel van alle bouwland (arable land) in gebruik voor de teelt van suikerriet (overeenkomend met 13% van het totale landoppervlak excl. infrastructuur). De groei van de suikerrietteelt is *binnen deze regio* ten koste gegaan van het areaal voor andere gewassen (mais, rijst, citrus) en veehouderij (grasland). De drijvende kracht hierachter op microniveau is de hoge netto hectareopbrengst van suikerriet, vergeleken met andere gewassen en veeteelt: voor boeren en landeigenaren met geschikte grond (vruchtbaar, voldoende regenval, voldoende vlak, ligging bij suiker/ethanolfabriek) is suikerriet een heel profijtelijk gewas (Smeets et al., 2006).

**Tabel 4.3 Ontwikkelingen landbouwareaal Brazilië** (in miljoen hectare)

	1961	2000
totale landoppervlak	855	855
agrarisch grondgebruik	ca. 150	265
w.v. – pasture	122	195
– permanent crops	ca. 6	12
– arable land	22	58
w.v. . soja	0,2	16,5
. graan	6	12
. suikerriet	1,5	5,5
. overig	14	24

*Bron:* Smeets et al. (2005) en eigen inschatting (beide ‘ca.’ getallen)

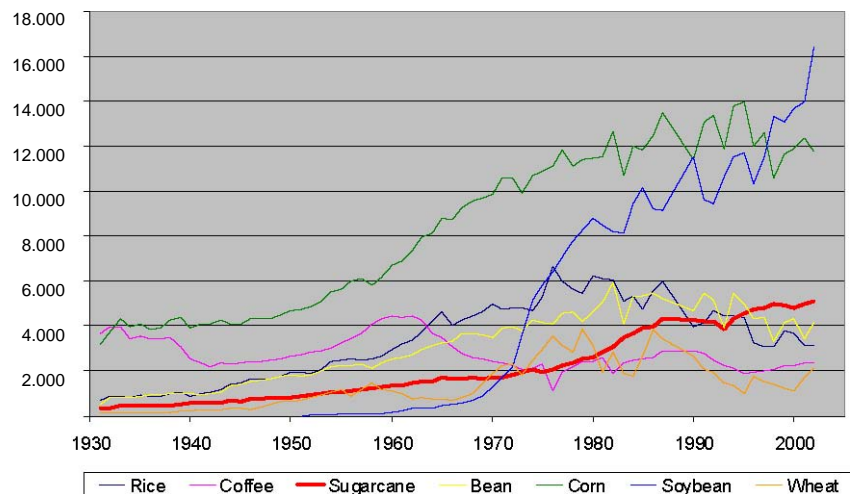
De groei van het suikerrietareaal is, *nationaal* gezien, onderdeel van veel omvangrijker verschuivingen (vgl. tabel 4.3). Op dit schaalniveau springt allereerst de absolute toename van de arealen grasland (permanent pasture) en bouwland (arable land) in het oog. Binnen de laatste categorie valt de sterke groei op van handelsgewassen zoals soja en graan (zie ook fig. 4.3). In totaal is het agrarische grondgebruik in 40 jaar bijna verdubbeld, van 17,5 tot 31% van het land. De verdubbeling van agrarisch grondgebruik is ten koste gegaan van natuurlijke biomen, met name tropisch regenwoud en ‘cerrados’, het savanne-achtige ecosysteem rond het Braziliaanse regenwoud. Hetzelfde geldt voor bepaalde verschuivingen – zoals uitbreiding van de teelt van handelsgewassen op de betere gronden en verdringing van extensieve veehouderij naar nieuw opengelegde gebieden – die achter de nationale groeicijfers schuil gaan.

Deze cijfers en trends weerspiegelen de betekenis van exportgedreven groei als verklarende factor achter het veranderende Braziliaanse landgebruik. Geplaatst in deze nationale context, is de groei van het suikerrietareaal zeer bescheiden. De autonome groei van handelsgewassen en veehouderij is veel groter. Dit impliceert dat het directe effect van toenemende suikerrietteelt en

<sup>14</sup> Conform Kojima en Johnson (2005).

ook mogelijke indirecte effecten ervan (verdringing van teelten naar andere regio's) hooguit van beperkte betekenis kan/kunnen zijn. Concluderend: de Braziliaanse suikerrieteteelt c.q. ethanolproductie is tot dusver geen significante factor in de nationale *trade off* tussen agrarische productie en biodiversiteit.<sup>15</sup>

**Fig. 4.3 Belangrijkste gewasarealen in Brazilië, 1930 – 2000 (in 1.000 ha).**  
Bron: Macedo et al., 2005



Een vergelijkbare, zo niet scherpere conclusie betreft de *trade off* tussen ethanolproductie en voedselvoorziening. Het belangrijkste gegeven is dat de veranderingen in agrarisch grondgebruik – opnieuw nationaal gezien – niet hebben geleid tot lagere voedselproductie voor de binnenlandse markt, c.q. tot voedselschaarste. Zowel uitbreiding van akkerbouw in andere regio's als intensivering zijn hier debet aan. Walter et al. (2006) concluderen:

*"It is well accepted that large-scale sugarcane plantation in Brazil has not affected food production and even a substantial enlargement of the alcohol production would be possible without meaningful constraints."*

Brazilië kent honger (in de jaren 1998–2000 was 10% van de bevolking structureel ondervoed (UNEP, 2003), vooral in noordoost Brazilië), maar die hangt samen met armoede, niet met voedselschaarste. Braziliaanse auteurs benadrukken in dit verband het positieve effect van ethanolproductie, als verschaffer van arbeidsplaatsen en daarmee koopkrachtige vraag (Moreira, 2000).

#### **Vooruitblik**

Tenminste twee scenario's zijn denkbaar voor de toekomstige ontwikkeling van de Braziliaanse ethanolproductie.

Het ene scenario (zie tabel 4.1, prognose 2010–2015) weerspiegelt Braziliaanse verwachtingen omtrent ethanolproductie onder 'business as usual' omstandigheden (BAU). Voorzien wordt een verdubbeling van de binnenlandse afzet in de komende 10 jaar, gegeven de aantrekkelijkheid van bio-ethanol voor automobilisten bij blijvend hoge olieprijsen en de groeiende welvaart. Deze vraagtoename is aanzienlijk, maar wordt tegelijkertijd begrensd door de (toekomstige)

<sup>15</sup> Deze conclusie neemt niet weg dat op regionaal niveau, in concentratiegebieden van suikerrieteteelt zoals de staat Sao Paulo, wel degelijk afwegingen aan de orde zijn tussen biodiversiteit en suikerriet-/ethanolproductie. Hier kan niet worden nagegaan hoe deze afwegingen uitvallen, formeel (er zijn wettelijke voorschriften om natuurencaves in stand te houden, rivierdalen te ontzien, etc), noch in de praktijk (naleving). Waarnemers beoordelen de naleving van milieu- en natuurvoorschriften uiteenlopend, van 'a general problem is the weak law enforcement in Brazil' (Smeets et al., 2006) tot '(environmental) legislation has been improved and enforced, especially in the state of Sao Paulo' (Coelho et al., 2006).

omvang van het Braziliaanse wagenpark en de penetratiegraad van ethanolgebruikende voertuigen. De export neemt procentueel nog sterker toe, maar blijft niettemin een ondergeschikte rol spelen. Verondersteld is in dit scenario dat de VS en de EU hun handelsbelemmeringen (met name importlimieten en -tarieven) handhaven, wat maakt dat alleen de meest efficiënte producenten kunnen exporteren.

Een alternatief scenario komt in beeld als we opheffing of afzwakking van de huidige handelsbelemmeringen veronderstellen. In dit geval liggen enorme exportkansen in het verschiet. Zo voorziet de EU dat de Europese bio-ethanolproductie (uit suikerbiet en graan) weliswaar efficiënter zal worden, maar nooit het kostenniveau van Brazilië en andere subtropische landen zal halen. De EU concludeert dat zónder handelsbelemmeringen: “there would be no domestic bio-ethanol industry” (CEC, 2005a)<sup>16</sup>. Openen van de EU-grenzen kan in 2010 ca. 10 GJ extra ethanolimport uitlokken, in de jaren daarna verder oplopend, afhankelijk van de Europese klimaat- en handelspolitiek. Vergelijkbare marktperspectieven en afhankelijkheden van handelsbarrières zijn uitgetekend voor landen USA, Japan en zelfs China (Fulton, 2004; IEA, 2004).

Het wegnemen van handelsbelemmeringen zal dus extra groei uitlokken.<sup>17</sup> Brazilië heeft, als marktleider qua prijs en productiecapaciteit, uitstekende kansen om een groot aandeel te verwerven van een vrijere wereldmarkt voor ethanol. In dit scenario zal zodoende exportgedreven groei gaan domineren.

Beide scenario's verschillen wezenlijk als het gaat om de *trade offs* met biodiversiteit en voedselvoorziening. Het op de binnenlandse markt georiënteerde BAU-perspectief vraagt om 65% extra areaal voor suikerrieteelt in 2015 vergeleken met 2005 (geen verdubbeling, dankzij verdere productiviteitsstijging en achterblijvende groei van het nevenproduct suiker). Deze groei is beperkt, vergeleken met de groei van andere agrarische sectoren en hoeft volgens alle geraadpleegde auteurs niet strijdig te zijn met ambities ten aanzien van biodiversiteit en voedselvoorziening (zie o.m. Kojima en Johnson, 2005, Walter et al, 2006, Coelho et al., 2006). Het exportgeoriënteerde scenario daarentegen leidt tot aanzienlijk grotere areaaltoename, tot het niveau van de arealen voor handelsgewassen zoals soja en graan, of meer: zolang de olieprijs voldoende hoog is, Brazilië zijn efficiëntievoorsprong behoudt en ontwikkelde landen klimaatdoelstellingen nastreven, is de vraag vrijwel onbeperkt. Fulton (2004) bijvoorbeeld voorziet een toename van de Braziliaanse ethanolproductie tot ruim 60 GJ in 2020 (bijna het dubbele van de BAU-verwachting voor 2015, zie tabel 4.1) en ruim 120 GJ in 2030.

Het is onvermijdelijk dat de concurrentie om grond in het exportgeoriënteerde scenario verscherpt. Er zijn dan in principe vier uitwegen:

- a extra toename van agrarisch areaal ten koste van regenwoud, cerrados of andere biodiversiteitsreserves,
- b areaalverlies van andere gewassen/veehouderij, bestemd voor de binnenlandse markt,

---

<sup>16</sup> De prijs van Braziliaanse ethanol (inclusief transportkosten naar de EU, exclusief invoerrecht) is nu al 25 % lager dan de voor 2010 verwachte Europese ethanolcostprijs. Inclusief invoerrecht (huidig tarief: ca. 45% ad valorem) is Braziliaanse ethanol 17% duurder (CEC, 2005a, 2006a).

<sup>17</sup> Dit kan gepaard gaan met forse fluctuaties. Als bijvoorbeeld naast ethanol ook suiker vrijer kan worden verhandeld, zal in eerste instantie de wereldmarktprijs voor suiker stijgen. Producenten in Brazilië en elders zullen dan voorrang geven aan het product met de hoogste winstmarge (waarschijnlijk suiker), totdat het areaal voldoende is uitgebreid (Kojima en Johnson, 2005). Een vergelijkbare situatie deed zich begin 2006 voor. De suikerprijs op de wereldmarkt steeg tot een 'all time high', Braziliaanse producenten verkleinden hun ethanolproductie ten gunste van suiker, de ethanolprijs steeg tot ver boven die van benzine (producentenprijzen). De Braziliaanse overheid moest het ethanolpercentage in gasohol verlagen tot 20% om schaarste te voorkomen (Kojima en Johnson, 2006).

- c areaalverlies van andere gewassen/veehouderij, bestemd voor export,
- d productiviteitsverhoging, door intensivering van agrarisch grondgebruik.

De eerste twee routes impliceren een *trade off* tussen productie van bio-ethanol en biodiversiteit (uitweg a), resp. voedselvoorziening (uitweg b). Route c vermijdt deze *trade offs*, maar introduceert wellicht<sup>18</sup> een andere, namelijk tussen bio-ethanolproductie en (het saldo van) de handelsbalans. Route d vermijdt ook deze mogelijke *trade off*.

Het lijkt geen twijfel dat het volgen van route d, landbouwkundig gezien, tot de mogelijkheden behoort. De Braziliaanse akkerbouw en veeteelt kunnen per hectare veel grotere opbrengsten genereren dan nu gangbaar zijn (tenminste een factor 2; zie o.m. Smeets et al., 2005, 2007). Hierbij komt dat scherpere concurrentie om grond zelf een prikkel creëert ten gunste van intensivering: hogere grondprijzen stimuleren landbouwers hun land productiever te gebruiken. Tegelijkertijd echter versterkt toegenomen grondconcurrentie de prikkel om 'gratis' natuurgebied om te zetten in agrarisch gebied, dus ook het volgen van route a wordt aantrekkelijker. Grondconcurrentie als zodanig biedt met andere woorden zeker geen garantie dat Brazilië *de facto* route d inslaat. Om dit te bereiken zijn tevens adequate overheidsmaatregelen (protectie van gebieden met hoge diversiteitswaarde, alternatieve perspectieven voor landloze boeren etc.) vereist die route a effectief afsluiten. De invulling hiervan, c.q. de kansen en bedreigingen van zo'n strategie kunnen in het bestek van dit rapport niet worden geanalyseerd.<sup>19</sup>

De conclusie luidt al met al dat forse uitbreiding van de Braziliaanse ethanolproductie, ook ten behoeve van export, mogelijk is zónder *trade offs* met biodiversiteit of voedselproductie. Onzeker is echter of deze *trade offs* in de praktijk van een exportgerichte groeistrategie zullen worden vermeden.

---

<sup>18</sup> 'Wellicht', omdat export van bio-ethanol in dit scenario exportbaten oplevert. Het netto effect is onzeker.

<sup>19</sup> De Braziliaanse praktijk tot nu toe stemt niet optimistisch. Productietoename van exportgewassen zoals soja gaat nog steeds ten koste van natuurareaal.

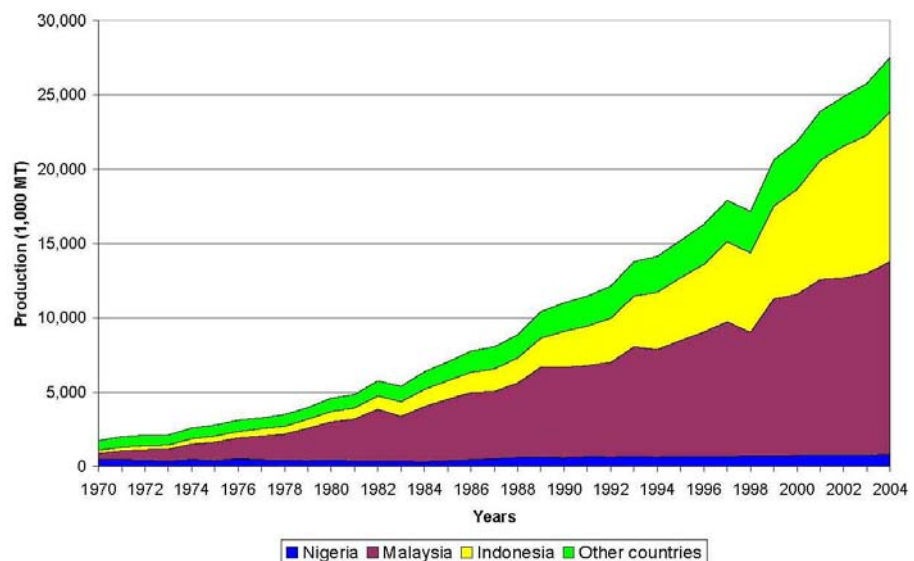
### 4.3 Casus: palmolie als energiebron<sup>20</sup>

#### Praktijkervaringen

De oliepalm staat te boek als de meest productieve leverancier van plantaardige olie ter wereld, met jaarlijkse opbrengsten in de orde van 2 tot 7 ton ruwe olie per hectare. Het is een tropische, uit West-Afrika afkomstige boom met pruimachtige vruchten, groeiend in trossen van 1.000 – 5.000 stuks. De olie wordt gewonnen uit het vruchtvlees (CPO: crude palm oil) en – na het kraken ervan – uit de kern van de pit (PKO: palm kernel oil). CPO en PKO verschillen van samenstelling, maar zijn beide zeer gewild als grondstof voor allerlei levensmiddelen, zeep en wasmiddelen, cosmetica, en fijnchemicaliën. Samen voorzien ze in 25% van de mondiale vraag naar plantaardige en dierlijke oliën. De rest van de pitkern levert nog een derde product: PKM (palm kernel meal) dat vooral in Europa aftrek vindt als bestanddeel van veevoer.

Maleisië en Indonesië domineren de palmolieproductie, met een gezamenlijk aandeel in de wereldmarkt van meer dan 80% (vgl. fig. 4.4). Andere productiegebieden zijn in opkomst, maar dragen voorsnog weinig bij aan de mondiale productie. Wij beperken ons daarom tot de twee genoemde landen. De oliepalm wordt hier geteeld in een 20–25 jarige productiecycclus, meestal op grootschalige plantages van 4.000 ha of meer. Beide landen kennen ook kleinschalige teelt, op percelen van 2–5 ha, met een behoorlijk marktaandeel (in Maleisië bijvoorbeeld 20% van de totale productie).

**Figuur 4.4**  
**Mondiale productie van palmolie, 1970–2004.**  
(in 1.000 metric ton).  
Bron: Van Gelder, 2004.



Relatief nieuw is de toepassing van diverse producten van de oliepalm als bron van hernieuwbare energie. Het gaat hierbij om twee, te onderscheiden opties:

- *benutten van residuen*, zoals palmpitschalen, trosstelen en ander afval. Dit is van oudsher een gangbare praktijk in de palmolie-industrie, voor de eigen behoefte aan elektriciteit en stoom. Zo wordt in Maleisië ca. 20% van de energie-inhoud van residuen nuttig gebruikt (Damen en Faay, 2003). Recentelijk is op beperkte schaal export van palmpitschalen op gang gekomen, ten behoeve van productie van bio-elektriciteit in Europa (onder meer naar Nederland).
- *gebruik van palmolie* als grondstof voor biodiesel of bio-elektriciteit. Deze optie staat op de drempel van een doorbraak naar grootschalige toepassing, zowel in de productielanden

<sup>20</sup> Naast specifieke bronnen (zie tekst) is voor deze paragraaf gebruik gemaakt van Wakker (2005) en Van Gelder (2004).

(biodiesel) als in Europa (biodiesel en bio-elektriciteit), maar is tegelijk heftig omstreden. In de productielanden is biodiesel bij de huidige prijzen concurrerend met diesel uit aardolie, en wordt tevens gezien als alternatief voor olie-import. In Europa is biodiesel goedkoper te produceren op basis van geïmporteerde palmolie dan uit 'eigen' koolzaadolie (CEC, 2005a), en kan daardoor in principe een fors aandeel verwerven in de groeiende, door EU-beleid gecreëerde markt voor hernieuwbare transportbrandstoffen (hetzelfde geldt voor geïmporteerde soja-olie). Bio-elektriciteit uit palmolie wordt (resp. werd) al geproduceerd, in Nederland m.n. door Essent.<sup>21</sup>

### **Grondbeslag en grondcompetitie**

Oliepalmteelt is mogelijk in tropisch laagland met voldoende bodemvruchtbaarheid, regenval, een goede toegankelijkheid etc. In Maleisië en Indonesië wordt deels geteeld op gronden die eerder in gebruik waren als rubber-, cacao- en kokosnootplantages, dus ten koste van andere, economisch minder interessant geworden exportgewassen. Voor een ander deel is bos gekapt, van allerlei aard: primair en secundair oerwoud, moeras- en veenbossen, productiebossen etc.<sup>22</sup> Het totale plantageareaal omvatte in 2002 circa 7 Mha, waarvan ongeveer de helft is gerealiseerd ten koste van bosgebied (vgl. tabel 4.4)<sup>23</sup>.

De conversie van bosgebied ten behoeve van oliepalmteelt vindt in overwegende mate plaats conform overheidsbeleid, al is er vooral in Indonesië ook veel illegale activiteit gedocumenteerd

**Tabel 4.4 Bosareaal en oliepalmteelt in Maleisië en Indonesië (in Mha).**

	bosareaal			areaal oliepalmteelt	
	omvang	verlies	w.v. door	2002	beoogde groei*
	1990	1990 – 2000	oliepalm		
Maleisië	20	2,4	1,2	3,7	0,07
Indonesië	130	14,1	2,1	3,2	6,1

\*) totaal uitbreidingsareaal volgens vigerend overheidsbeleid.

Bron: Wakker (2005).

(aanleg plantages in natuureservaten, bosbranden; zie Wakker, 2005). In feite loopt de groei van het areaal achter ten opzichte van overheidsdoelstellingen. Zo werden in de periode 1992 – 2002 vergunningen verleend voor 7,2 Mha areaaluitbreiding; in 2002 was slechts een klein deel hiervan (0,5 Mha, d.i. 7,5%) gerealiseerd. Twee oorzaken zijn debet hieraan, namelijk (tijdelijke) economische tegenspoed als gevolg van de Aziatische financiële crisis in de jaren 1997-'98, en desinteresse van veel vergunninghouders in oliepalmteelt: velen bleken alleen geïnteresseerd in de houtopstand en vertrokken na het kappen ervan. In het laatste geval is dus niet palmolie maar houtkap de directe bedreigende factor van bosgebied. Dit sluit overigens niet uit dat opengelegde gronden later alsnog kunnen worden benut voor plantageaanleg.

*Samenvattend:* de palmolieproductie in Maleisië en Indonesië heeft substantieel bijgedragen aan de afname van bosareaal sinds 1990 in Zuidoost-Azië. Directe verdringing van areaal voor voedselproductie lijkt minder aan de orde. Eventuele indirecte concurrentie (opengelegd bosgebied zou ook voor voedselgewassen kunnen worden gebruikt) is hier niet in kaart gebracht, maar is wel mogelijk gezien de algemene schaarste aan landbouwgrond in deze dichtbevolkte landen.

<sup>21</sup> Essent heeft deze productie voorlopig stopgezet vanwege onzekerheid over het duurzame karakter van de teelt ervan.

<sup>22</sup> Nader inzicht in categorieën bosgebied kon in het kader van dit project niet worden verkregen.

<sup>23</sup> Dit zijn ruwe cijfers, gebaseerd op Wakker (2005). Wakker maakt een voorbehoud bij de betrouwbaarheid van zijn bronnen (voornamelijk statistieken van de palmoliesector en van overheidsdiensten).

### *Vooruitzichten*

Maleisië voorziet beperkte groeimogelijkheden voor het oliepalmareaal: nauwelijks op het Maleisisch schiereiland, meer op Sabah en Sarawak. Indonesië daarentegen wil sterk uitbreiden, waarbij ambities op nationaal niveau (in de orde van 6 Mha) nog ruimschoots overtroffen worden door die op regionaal/provinciaal niveau (tellen op tot 18 à 20 Mha).

Het oog is hierbij enerzijds gericht op een toenemende mondiale vraag vanuit de traditionele toepassingen van palmolie (CPO en PKO). Anderzijds wordt een substantiële nieuwe markt verwacht voor biodiesel op basis van CPO.<sup>24</sup> *Binnenlandse* afzetperspectieven vloeien voort uit de streefdoelen die Indonesië zich heeft gesteld voor het gebruik van biodiesel, n.l. 2% van de dieselconsumptie in 2009 resp. 5% in 2025. Geschat wordt dat een oliepalmareaal van 0,2 Mha resp. 1,4 Mha nodig is om hierin te voorzien.<sup>25</sup> De *exportvraag* naar biodiesel c.q. naar CPO ten behoeve van biodieselproductie wordt vooral verwacht vanuit Europa, gezien de EU-doelstellingen terzake en het concurrerende prijsniveau van Indonesische palmolie ten opzichte van Europese grondstoffen voor biodiesel, zoals koolzaadolie.

De potentiële biodieselmarkt kan al met al leiden tot een substantiële groeiimpuls voor de oliepalnteelt in Indonesië. Verwacht moet worden – in lijn met de ontwikkeling tot nu toe – dat deze extra groei ten koste zal gaan van bosgebied (c.q. biodiversiteit). Wellicht (hier niet in kaart gebracht) is er direct of indirect ook concurrentie met voedselproductie.

Behalve deze *trade offs* is er nog een kritisch punt, samenhangend met de motieven voor biodieselgebruik. Motieven voor het binnenlands gebruik zijn tweërlei, namelijk imports substitutie (Indonesië is netto-importeur van gewone diesel; biodiesel is bij de huidige olieprijs een rendabel alternatief) en beperking van CO<sub>2</sub>-emissies. De exportvraag vanuit Europa vloeit hoofdzakelijk voort uit het laatstgenoemde motief.

Het CO<sub>2</sub>-reductiemotief wordt uiteraard alleen bediend als de integrale CO<sub>2</sub>-balans van biodiesel op basis van palmolie positief is, hetgeen op zijn beurt vereist dat oliepalnteelt niet gepaard gaat met vrijmaking van CO<sub>2</sub> uit 'sinks', i.c. houtopstanden en bodems.<sup>26</sup> Deze eis maakt het gebruik van biodiesel, geproduceerd uit Indonesische palmolie, uit klimaat oogpunt op zijn minst zeer discutabel: een positieve CO<sub>2</sub>-balans lijkt immers in de Indonesische context een welhaast prohibitieve voorwaarde.<sup>27</sup>

Mutatis mutandis geldt dezelfde conclusie voor elektriciteitsopwekking met behulp van Indonesische palmolie. De conclusie geldt echter niet voor elektriciteitsopwekking uit residuen van de palmolieproductie zoals palmpitschalen (althans zolang residugebruik geen drijvende kracht vormt achter de palmolieteelt). Evenmin mag de conclusie zonder nader onderzoek worden verbreed naar andere productiegebieden van palmolie. Hij is immers afhankelijk van een locatiespecifieke analyse van de CO<sub>2</sub>-balans.

---

<sup>24</sup> Biodiesel op basis van CPO moet worden bewerkt dan wel gemengd met andere (bio)diesel om te voldoen aan de technische eisen voor transportbrandstof.

<sup>25</sup> Volgens presidentiële decreten van januari 2006 en berekeningen door het Indonesian Biodiesel Forum; *Bron*: Down to Earth bulletin, nr. 69 (mei 2006).

<sup>26</sup> Bijvoorbeeld het kappen van veenbossen en irrigeren van de bodem ervan ten behoeve van oliepalnteelt maakt een hoeveelheid CO<sub>2</sub> vrij die in geen honderden jaren wordt goedgemaakt door de geproduceerde bio-energie (Hoiyer et al., 2006; Eucar et al., 2006). De Europese Commissie staat om deze reden kritisch tegenover palmolie als bron van bio-energie (CEC, 2006c en d).

<sup>27</sup> Soms is arbitrair of houtkap moet worden toegeschreven aan oliepalnteelt, bijvoorbeeld in het geval van productiebossen.

## 5. *Trade offs*: verwachtingen volgens modelstudies

Het huidige gebruik van bio-energie is naar verwachting het begin van een veel grootschaliger toepassing, aangenomen dat klimaatoverwegingen in toenemende mate invloed zullen uitoefenen op onze energievoorziening. Diverse auteurs hebben *ex ante* analyses gepresenteerd van de competitie die bij grootschalig gebruik van bio-energie kan ontstaan tussen landgebruik voor bio-energie, voedsel, natuur (biodiversiteit) en andere functies. De uitkomsten van zulke analyses blijken uiteen te lopen, onder meer afhankelijk van het gehanteerde schaalniveau (ruimte en tijd), van het verwachte niveau van bio-energieproductie en -gebruik, en van de gebruikte analysemethodiek. Dit hoofdstuk evalueert enkele recente en toonaangevende studies. Ze zijn gerubriceerd naar analysemethodiek (modeltype); schaalkarakteristieken komen bij de bespreking ervan aan de orde.

Onderscheiden zijn<sup>28</sup>:

1. *statische en dynamische optimaliseringsmodellen*. Centraal staat hier de efficiëntie van klimaatstrategieën, efficiënte allocatie van landgebruik etc. De factorinzet (kapitaal, arbeid, land, energie) van productieprocessen wordt in dit type modellen constant gehouden. Prijsveranderingen kunnen daardoor niet leiden tot bijvoorbeeld intensivering van de landbouw, wel tot gewijzigde allocatie van landbouwgrond. Representatief voor deze methodiek zijn de te bespreken analyses van Azar en van Walsh et al. (zie onder 5.1).
2. *partiële evenwichtsmodellen*. Deze modellen simuleren de marktontwikkeling van de sectoren die voor bio-energie het meest relevant zijn, inclusief terugkoppelingen binnen en tussen deze sectoren zoals veranderingen in factorinzet; interactie met de rest van de economie wordt constant verondersteld. Zie onder 5.2 de analyses van Schneider en McCarl en die van Ignaciuk et al. (2006).
3. *algemeen evenwichtsmodellen*. Deze modellen analyseren veranderingen in de meest relevante sectoren, in samenhang met gevolgen voor de overige economie, zij het op sterk geaggregeerd niveau. Zie onder 5.3 de analyse van Ignaciuk (2006).

### 5.1 *Optimaliseringsanalyses*.

Diverse studies zijn gepubliceerd door Azar, uiteenlopend van regionale schaal (noordoost Brazilië: Azar en Larson, 2000), via nationale (VS: Johansson en Azar, 2004) tot mondiale schaal (Azar, 2003). Ook qua tijdhorizon lopen zijn analyses uiteen, van betrekkelijk korte termijn (casus noordoost Brazilië) tot de zeer lange termijn van de mondiale analyse. Voor de VS hebben ook Walsh et al. (2003) onderzoek gepresenteerd, gebaseerd op een gedetailleerd optimaliseringsmodel. Hier worden de eerst- en laatstgenoemde publicaties van Azar bekeken, en die van Walsh.<sup>29</sup>

*Azar en Larson (2000)* onderzoeken de *trade off* tussen grootschalige energieteelt (Eucalyptus) en voedselproductie in noordoost Brazilië. Zij laten zien dat energieteelt in deze streek beter – d.i. met lagere kostprijs – mogelijk is op hoogproductieve, goed beregende gronden dan op

---

<sup>28</sup> Analysemethoden 2 en 3 zijn geënt op de neoklassieke economische theorie en veronderstellen convergerende, evenwichtszoekende mechanismen. Als vierde categorie zouden *transitiemodellen* kunnen worden onderscheiden, geënt op de evolutionaire economische theorie (Van den Bergh et al., 2005). Deze theorie heeft juist oog voor divergenties, onevenwicht, padafhankelijkheid etc. Evolutionair-economische analyses van de competitie om landgebruik zijn echter niet aangetroffen.

<sup>29</sup> De VS-studie van Johansson en Azar kwam niet tijdig beschikbaar.

laagproductieve met minder regenval: de hogere prijs van de eerste categorie land wordt meer dan goedgemaakt door de hogere houtopbrengst.

Zij veronderstellen vervolgens dat het CO<sub>2</sub>-voordeel van bio-energie kan worden verzilverd, bijvoorbeeld door introductie van een Braziliaanse CO<sub>2</sub>-belasting of door middel van het Clean Development Mechanism (CDM), waardoor gebruik van Eucalyptushout een rendabele optie wordt voor de Braziliaanse elektriciteitssector. Te voorzien is dan dat energieteelt juist op de betere landbouwgronden aantrekkelijk wordt en voedselproductie aldaar kan verdringen. Azar en Larson concluderen dat:

*“agricultural land prices in Northeast Brazil are not high enough to discourage forestry companies establishing plantations on good quality lands with high levels of precipitation.”<sup>30</sup>*

Azar (2003) presenteert een vergelijkbare analyse op mondiaal schaalniveau en in lange termijnperspectief (21<sup>e</sup> eeuw). Vertrekpunt is dat bio-energie een relatief goedkope bron van vernieuwbare energie is die substantieel kan bijdragen aan een toekomstige C-arme energievoorziening, maar niet onbeperkt beschikbaar is. Azar schat de maximale bijdrage van energieteelt en residuen samen op 200 EJ/jaar, te bereiken omstreeks 2060 en corresponderend met ca. 500 Mha energieteelt wereldwijd. Hij stelt daarbij dat een aanzienlijk grotere of kleinere bijdrage zijn analyse niet aantast.

Naast bio-energie is derhalve op termijn ook inzet van duurdere opties nodig, zoals CO<sub>2</sub>-opslag en zon/wind. Azar neemt aan dat overheidsinterventie, gemodelleerd als een gestaag stijgende CO<sub>2</sub>-belasting, zorgt voor een CO<sub>2</sub>-prijs die afgestemd is op de kostprijs van genoemde duurdere opties. De hoge CO<sub>2</sub>-prijs fungeert vervolgens als ijkpunt voor de verkoopprijs van bio-energie – de ‘willingness to pay’ voor bio-energie is aanzienlijk hoger dan de kostprijs ervan. Hun extra winst zal zich volgens Azar rechtstreeks vertalen in hogere grondprijzen, en die weer in hogere prijzen van landbouwproducten:

*“when, or if, governments intervene and raise the price of CO<sub>2</sub>, the value of bioenergy and land can be expected to increase, and this may lead to grain price increases by a factor of two to three during this century.”*

Walsh et al. (2003) analyseren de toekomstige allocatie van landbouwgrond in de VS, gebruikmakend van een gedetailleerd optimaliseringsmodel – ruim 300 agrarische districten met eigen productiekarakteristiek, tien akkerbouwgewassen, grasland, bosbouw, drie bio-energiegewassen (switchgrass, wilg, populier), etc. – voor de Amerikaanse landbouw. Zij veronderstellen een energiebeleid dat producenten van geteelde biomassa een opbrengstprijis garandeert van 1,83 US\$/GJ, dan wel 2,44 US\$/GJ.<sup>31</sup>

De modelexercitie met deze prijsscenario's voor de periode 1999–2008 laat zien dat het areaal voor energieteelt in de VS aanzienlijk zou toenemen (met 7,9 resp. 17 Mha, op een huidig totaal van 135 Mha bouwland). De opbrengst ervan, indien ingezet voor elektriciteitsopwekking, zou 3,8 resp. 7,3% van de elektriciteitsbehoefte in het basisjaar kunnen dekken. De teelt van energiegewassen gaat deels ten koste van het areaal traditionele landbouwproducten<sup>32</sup> en beperkt in dezelfde mate de productie ervan – in Walsh' model kunnen landbouwers wel hun gewaskeuze aanpassen, maar niet hun productiewijze. Dit leidt vervolgens tot een prijsstijging van traditionele landbouwproducten met 4–9% resp. 9–14%, afhankelijk van het gewas.

---

<sup>30</sup> Terzijde merken Azar en Larson op dat vestiging van energieplantages in natuurgebied (mits voldoende productief) eveneens economisch aantrekkelijk zal worden.

<sup>31</sup> Deze prijzen zijn vergelijkbaar met de prijs van gas resp. olie in het basisjaar, maar twee resp. drie keer hoger dan de steenkoolprijs in dat jaar.

<sup>32</sup> Voor ongeveer 50%. De andere helft wordt gecompenseerd door omzetting van grasland in bouwland en in gebruik name van braakliggend land.

## 5.2 Partiele evenwichtsanalyses

Ex ante analyses van toenemend bio-energiegebruik in het kader van een partieel evenwichtsraamwerk zijn o.m. gepubliceerd door Schneider en McCarl (2003) en recentelijk door Ignaciuk et al. (2006). Beide studies worden hier bekeken.

*Schneider en McCarl (2003)* presenteren een analyse van de potentiële bijdrage die de Amerikaanse landbouw kan leveren aan reductie van broeikasgasemissies. Zij maken gebruik van een bestaand partieel evenwichtsmodel van de Amerikaanse landbouwsector (inclusief bosbouw). Energieteelt (switchgrass, wilg, populier) ten behoeve van elektriciteitsopwekking is één van de opties; naast andere, zoals C-vastlegging in de bodem, bosaanplant, reductie van niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen. Verondersteld is een klimaatbeleid, uitmondend in een CO<sub>2</sub>-prijs die naar rato van emissiereductie ten goede komt aan elke emissiereducerende maatregel.<sup>33</sup> Schneider en McCarl berekenen met behulp van hun model voor elke CO<sub>2</sub>-prijs een evenwichtsuitkomst, met productie- en prijsniveaus, rendabele emissiereductie, grondallocatie etc.

Energieteelt blijkt rendabel te worden vanaf een CO<sub>2</sub>-prijs van US\$40/tC. Bij een prijs van US\$70/tC of hoger overvleugelt energieteelt qua effect alle andere reductiemaatregelen binnen de landbouw. Het areaal voor energieteelt verdringt andere teelten, waardoor de productie van traditionele landbouwproducten daalt en de prijs ervan stijgt. De modeluitkomsten signaleren zodoende een *trade off* tussen energieteelt (c.q. bio-energie) en voedselproductie. De areaal- en productievermindering van traditionele landbouwproducten verlopen vrijwel evenredig. Dit wijst erop dat intensivering van landbouwproductie in deze modelanalyse geen rol van betekenis speelt. Ter illustratie presenteert tabel 5.1 enkele modeluitkomsten bij CO<sub>2</sub>-prijzen van 50 en 100 US\$/tC.<sup>34</sup>

**Tabel 5.1: Energieteelt in de VS – modeluitkomsten partiële analyse**

CO <sub>2</sub> -prijs (US\$/tC)	prijs energiegewas incl. CO <sub>2</sub> -toeslag (US\$/GJ)	areaal energieteelt (Mha)	prijsstijging traditionele landbouwproducten (%)
50	1,76	4	5
100	2,69	17,5	30

*Bron:* Eigen berekening op basis van Schneider en McCarl (2003).

*Ignaciuk et al.* analyseren de gevolgen van energieteelt in Polen. Hun casus is de Poolse beleidsdoelstelling om in 2010 7,5% van de elektriciteitsbehoefte te dekken uit hernieuwbare bronnen.<sup>35</sup> Veronderstellingen zijn dat bio-energie de meest in aanmerking komende hernieuwbare energiebron is (gegeven de ruimschoots aanwezige landbouwgrond), dat het totale elektriciteitsgebruik niet zal toenemen<sup>36</sup> en dat de Poolse overheid haar doelstelling op

<sup>33</sup> De CO<sub>2</sub>-prijs wordt uitgedrukt in US\$/tC, d.i. dollar per (metrische) ton koolstof. Vgl. tabel 5.1.

<sup>34</sup> Deze CO<sub>2</sub>-prijzen corresponderen met een CO<sub>2</sub>-toeslag van \$0,93 resp. \$1,86 per GJ energiegewas. Opgeteld bij de basisprijs (producentenprijs) van energiegewassen die Schneider en McCarl hanteren (\$0,83/GJ), levert dit prijzen inclusief CO<sub>2</sub>-toeslag op die goed vergelijkbaar zijn met de opbrengstprijzen, gehanteerd door Walsh et al. (zie par. 5.1)

<sup>35</sup> Deze studie van Ignaciuk vormt de prelude van een reeks analyses op basis van een algemeen evenwichtsmodel, zie onder 5.3.

<sup>36</sup> Het Poolse elektriciteitsgebruik was stabiel in de jaren 1990–2000. Ignaciuk et al. hanteren dit niveau als benchmark. Voor de periode 2000–2020 wordt een flinke groei voorzien: ca. 50%, tot gemiddeld EU-verbruik/hoofd (Pools ministerie van Economische Zaken, aangehaald door Ignaciuk, 2006, p. 20). De studie

verschillende wijze kan instrumenteren. Er is een model ontworpen met (CES-)productiefuncties voor de meest relevante sectoren (enkele traditionele landbouwproducten, energieteelt, conventionele elektriciteit, bio-elektriciteit), een (CES-)consumptiefunctie en de nodige evenwichtsvoorwaarden. Prijsmutaties zullen zodoende doorwerken in wijziging van productie (wijze en omvang) en consumptie (patroon en omvang), afhankelijk van de gehanteerde substitutie-elasticiteiten.

De analyse met behulp van dit model toont een combinatie van twee instrumenten als de meest doeltreffende: een heffing op conventionele elektriciteit plus een kostprijsverlagende subsidie voor bio-elektriciteit.<sup>37</sup> Een interessante uitkomst is dat de productie en consumptie van landbouwgewassen hierbij niet afneemt, maar licht groeit.<sup>38</sup> Dit is het resultaat van terugkoppelingen in het model. De gestegen prijs (inclusief heffing) van elektriciteit en de behoefte aan grond voor energieteelt (tot ca. 65.000 ha) zet landbouwers aan tot inputsubstitutie: meer arbeid, kapitaal, brandstoffen, minder land en elektriciteit als specifieke vorm van intensivering. Alleen de totale elektriciteitsproductie en -consumptie (conventioneel + bio-elektriciteit) neemt af. De afgenomen elektriciteitsconsumptie geeft consumenten voldoende bestedingsruimte om de iets duurder geworden landbouwproducten te blijven kopen. Per saldo is er volgens deze modelanalyse dus géén *trade off* tussen bio-energie en voedselproductie.

Ignaciuk et al. analyseren ook een tweede set van drie varianten. Daarin is de elektriciteitsheffing vervangen door een CO<sub>2</sub>-heffing op fossiele brandstoffen, die op dezelfde wijze als hierboven wordt gecombineerd met een subsidie op bio-elektriciteit, een subsidie op energieteelt, of geen subsidie. De netto belastingopbrengst is steeds gelijk gehouden (ook met de vorige set). Deze varianten blijken over de hele linie iets minder effectief in het bereiken van de bio-elektriciteitsdoelstelling; bijvoorbeeld 6,8% i.p.v. 7,5% in de variant met subsidie op bio-elektriciteit. Tegelijk presteren ze aanzienlijk beter uit het oogpunt van CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Dit is een te verwachten resultaat: de CO<sub>2</sub>-heffing raakt immers alle sectoren, maar drukt tegelijkertijd minder hard op de elektriciteitssector. In feite mikt deze set varianten op een dubbele doelstelling, namelijk enerzijds het realiseren van een bepaald aandeel bio-energie in de elektriciteitsvoorziening, anderzijds het stimuleren van CO<sub>2</sub>-emissiereductie, ook los van de bio-energieoptie.

In deze varianten blijkt er wel sprake te zijn van iets afnemende voedselproductie en -consumptie. Drie factoren werken hier samen:

- de CO<sub>2</sub>-heffing verhoogt de productiekosten in de landbouw,
- de bestedingsmogelijkheden van consumenten nemen af (wat te zien is als de 'prijs' van de aanzienlijk grotere CO<sub>2</sub>-reductie), en
- landbouwers kunnen het verlies van grond aan energieteelt (tot ca. 55.000 ha in deze varianten) moeilijker compenseren via intensivering (de prijs van extra in te zetten kapitaal en arbeid stijgt doordat elektriciteitsproducenten eenzelfde inputsubstitutie uitvoeren).

Ignaciuk et al. analyseren niet welke factor de belangrijkste rol speelt. Daardoor is niet duidelijk in hoeverre in deze varianten een *trade off* tussen bio-energie en voedselproductie (verbonden met laatstgenoemde factor) aan de orde is.

---

houdt hiermee geen rekening. Dit lijkt een inconsistentie, tenzij men de studie interpreteert als een analyse van 7,5% bio-energie aandeel in het *basisjaar*-elektriciteitsgebruik.

<sup>37</sup> Veel minder doeltreffend (3,1% bio-elektriciteit i.p.v. 7,5%, bij dezelfde netto belastingopbrengst) is een variant waarbij de subsidie niet wordt verleend voor productie van bio-elektriciteit maar voor energieteelt (wilg en hennep); bijna ineffectief (1,4% bio-elektriciteit) is een variant waarin alleen de elektriciteitsheffing het werk moet doen.

<sup>38</sup> Ook in de andere varianten is dit het geval.

### 5.3 Algemeen evenwichtsanalyses.

In haar proefschrift heeft Ignaciuk bovenstaande partiële evenwichtsanalyse aangevuld met een viertal analyses in het kader van een algemeen evenwichtsmodel (Ignaciuk, 2006). Daarin is opnieuw het Poolse streven naar 7,5% bio-elektriciteit in 2010 gehanteerd als casus, maar wordt ook uitzicht geboden op verdere toename, tot 14% in 2020 (overeenkomstig de Poolse beleidsdoelstelling voor dat jaar) of meer.

Een AGE- (Applied General Equilibrium-)model is geconstrueerd, waarin een aantal sectoren<sup>39</sup> is onderscheiden die samen de gehele economie dekken. Binnen deze sectoren en ertussen is substitutie mogelijk van inputs, intermediaire producten en eindproducten. De substitutie-elasticiteiten in de betreffende (CES-)productie- en consumptiefuncties zijn ontleend aan de literatuur. Evenwichtsvoorwaarden zorgen ervoor dat alle markten na een beleidsingreep naar een nieuw evenwicht evolueren.

In elk van de vier analyses worden enkele varianten onderling vergeleken. Deze verschillen in de wijze waarop de beleidsdoelstelling is geïnstrumenteerd en/of welke productiemogelijkheden voor energiegewassen en bio-elektriciteit zijn onderscheiden. Daarbij is er steeds een basisvariant, waarin een combinatie wordt toegepast van verhandelbare emissierechten ("permits"), als instrument gericht op CO<sub>2</sub>-emissiereductie, en een kostprijsverlagende subsidie voor producenten van bio-elektriciteit. Varianten behelzen vervolgens:

- permits in combinatie met subsidie op energieteelt (wilg, hennep, bos) i.p.v. bio-elektriciteit, of géén subsidie;
- wel of niet gebruik maken van landbouw-/bosbouwresiduen ("multiproduct crops");
- wel of niet gebruik maken van vervuilde/verwaarloosde gronden ("multifunctioneel grondgebruik");
- wel of niet introduceren van teelt van biograndstoffen en materiaal cascades ("material substitution and resource cascading").

Ignaciuk's modeloefeningen (zie tabel 5.2) laten opnieuw zien dat subsidiëring van bio-elektriciteit, in combinatie met emissiereductie de meest effectieve instrumentcombinatie is. De doelstelling wordt in dit geval bereikt bij 10% emissiereductie (kolom 2) en ver overschreden bij 40% emissiereductie (kolom 3). Een combinatie van permits en subsidiëring van energieteelt is minder effectief; nu is 40% emissiereductie nodig om het gestelde doel te halen (vgl. kolommen 4 en 5). Inzet van alléén het permit-instrument is niet doelmatig: pas bij 50% emissiereductie wordt een aandeel van 7,5% bio-elektriciteit gerealiseerd (deze variant is hier buiten beschouwing gelaten). Deze uitkomsten liggen voor de hand. Ze komen overeen met de conclusie van de partiële analyse van een vergelijkbare variantenset (met een CO<sub>2</sub>-tax in plaats van permits, zie par. 5.2).

Belangwekkender zijn de implicaties van diverse varianten voor landgebruik, productieomvang en prijzen. Verschuivingen in landgebruik zijn – procentueel gezien – het meest pregnant voor de energiegewassen wilg en hennep, al gaat het – absoluut gezien – maar om zeer bescheiden arealen: max. circa 30 ha voor wilg en hennep samen (tabel 5.1, kolom 3). Absoluut gezien domineert de uitbreiding van bosbouw: tot 500.000 ha groei bij gesubsidieerde bio-elektriciteit (kolom 3; in deze variant neemt ook het koolzaadareaal behoorlijk toe); meer dan 1 Mha bij gesubsidieerde energieteelt (kolommen 4 en 5).

De groei van energieteelt blijkt ten koste te gaan van het areaal voor traditionele landbouwgewassen, maar veel minder ten koste van de productie van die gewassen. Het omgekeerde is te zien bij de bosbouwproductie: deze neemt meer toe dan het bosbouwareaal.

---

<sup>39</sup> Het aggregatieniveau verschilt. In drie van de vier analyses zijn 14–16 sectoren onderscheiden, in één 35 sectoren; steeds zijn er 7 of 8 agrarische/bosbouw sectoren.

**Tabel 5.1 Bio–elektriciteit (bereikt aandeel) en veranderingen (% t.o.v uitgangssituatie) in gewasareaal (A), –productie (Q), –prijzen, incl. subsidie (P) in vier modelscenario’s (landgebruik in uitgangssituatie in 1000 ha).**

	benchmark landgebruik (x1000 ha)	<i>(basisvariant)</i>											
		gesubsidieerde bio–elektriciteit						gesubsidieerde energieteelt					
		emissie –10%			emissie –40%			emissie –10%			emissie –40%		
		A	Q	P	A	Q	P	A	Q	P	A	Q	P
<b>Energiegewassen</b>	<b>9.226,5</b>	<b>3</b>			<b>10</b>			<b>11</b>			<b>14</b>		
. koolzaad	436,7	26	29	0	102	112	-1	-6	-1	0	3	2	-1
. wilg	0,5	1200	1138	-1	4960	4869	-3	380	360	-20	2120	2055	-22
. hennep	0,1	1400	1010	0	3700	3519	1	300	324	-20	1600	1486	-19
. bosbouw	8.789,2	1	4	0	5	12	0	12	19	-20	15	20	-21
<b>traditionele gewassen</b>	<b>11.962,7</b>	<b>-2</b>			<b>-8</b>			<b>-9</b>			<b>-11</b>		
. tarwe	2.555,1	-4	-2	0	-15	-10	2	-9	-2	0	-11	-10	2
. ov. graan	6.414,1	0	3	1	-2	4	3	-9	-2	1	-10	-9	3
. ov. landbouw	2.993,5	-4	-1	2	-15	-12	9	-9	-3	2	-14	-15	9
<b>Totaal</b>	<b>21.189,4</b>	<b>0</b>			<b>0</b>			<b>0</b>			<b>0</b>		
<b>Bioelectriciteit (aandeel in %)</b>		<b>8</b>			<b>28</b>			<b>2</b>			<b>7,5</b>		

Bron: Eigen berekening op basis van Ignaciuk (2006)

Deze uitkomsten illustreren de *intensivering van de landbouw- en bosbouwproductie* die als meest saillant resultaat uit deze modelanalyse naar voren komt en die op zijn beurt de prijseffecten van de veranderingen in areaal en productie beperkt houden. Ignaciuk concludeert:

*“Due to the positive impact of emission reduction policies on biomass production, and due to higher prices for fossil fuels, the prices of agricultural goods increase. Our results show, however, much smaller price increases than some other studies, because of a reallocation of labor and capital that allows for an intensification of agricultural production (a feature of an AGE framework).*

Deze conclusie blijft overeind nadat Ignaciuk in haar volgende analyses diverse verfijningen introduceert (steeds met het ‘basisscenario’ cf. tabel 15.1, kolom 2 als uitgangspunt):

- *multi-product crops*: het benutten van residuen uit landbouw (vooral stro) en bosbouw verbetert de effectiviteit. Het resultaat – bij overigens gelijke omstandigheden, subsidieregime e.d. – volgens de modelanalyse is 2 à 3% extra bio–elektriciteit, met geringe implicaties voor land- en bosbouwarealen, productieniveaus en prijzen.
- *multifunctioneel grondgebruik*: energieteelt op vervuilde bodems (met wilgenrassen die tegelijk de bodemkwaliteit herstellen; mits niet teveel vervuild – “phytoremediation”) en op verwaarloosde gronden (mits geschikt voor wilg/populier) is potentieel mogelijk op 36.000 resp. 70.000 ha. Ignaciuk rekent met daadwerkelijke benutting van de helft hiervan. Dat levert iets minder verdringing op van traditionele gewassen. Het effect is echter te klein om impact te hebben op prijzen of productieniveaus.
- *material substitution and resource cascading*: nieuwe bioraffinagetechnologieën, zoals het Refiner–proces, kunnen leiden tot vervanging van olie door biomassa als grondstof van plastics en synthetische vezels. Grootschalige toepassing hiervan impliceert een nieuwe claim op grondgebruik. Ignaciuk rekent met 2,2 – 2,7 Mha extra grasland; 90% daarvan gaat ten koste van het areaal voor traditionele gewassen, de rest ten koste van areaal voor energiegewassen. Volgens de modeluitkomsten blijft de productie van traditionele gewassen opnieuw op peil, dankzij intensivering; de productie van energiegewassen daalt. Daarmee daalt ook de productie van bio–elektriciteit, tenzij bioplastics en –vezels uiteindelijk – als afval – weer worden aangewend voor productie daarvan (cascadering).

## 6. Evaluatie en conclusies

De case studies in dit rapport laten iets zien van de *trade offs* die zich *in de praktijk* van bio-energie manifesteren. Deze *trade offs* zijn verschillend van aard, de zwaarte ervan varieert, en ze zijn niet altijd onvermijdelijk. De belangrijkste leringen uit deze case studies zijn hier samengebracht.

- 1 Het gebruik van bosbouwresiduen, zoals geïmplementeerd in Zweden en Finland en potentieel mogelijk in andere bosrijke landen, impliceert geen extra areaalclaim, dus geen *trade off* met voedselproductie of biodiversiteit die uit extra landgebruik kunnen voortvloeien.
- 2 Energetisch gebruik van bosbouwresiduen kan wel leiden tot verminderde biodiversiteit in productiebossen, als gevolg van biotoopverlies (verdwijnen resthout) en op lange termijn bodemverarming door mineralenverlies. Het laatste lijkt te ondervangen door bemesting en terugbrengen van verbrandingsresten (as).
- 3 Energieteelt, bedreven binnen EU-CAP braakligregelingen, concurreert niet met voedselproductie en kan een positief neveneffect hebben op de biodiversiteit.
- 4 Areaalgebrek is in de komende decennia geen beperkende factor voor de Zweedse c.q. Europese energieteelt, gelet op het huidige en voorzienbare, EU-brede overschot aan landbouwgrond. Beperkende factoren zijn wel:
  - onzekerheid over het lange termijnrendement van energieteelt voor de teler, als gevolg van wisselingen in overheidsbeleid (EU-CAP, subsidieregelingen, fiscale regimes e.d.);
  - prijsfluctuaties van fossiele brandstoffen, met onvoldoende compensatie of correctie door de overheid;
  - concurrentiedruk van geïmporteerde bio-energie, leidend tot prijsdruk en eventueel marktverdringing.
- 5 Bio-ethanol op basis van suikerriet is in Brazilië op grote schaal ontwikkeld voor binnenlands gebruik, zónder substantiële *trade off* met voedselproductie en biodiversiteit. Ook verdere groei ervan voor de binnenlandse markt (groter marktaandeel, groeiend wagenpark) lijkt mogelijk zonder zulke nadelige gevolgen.
- 6 Een exportgericht groeiscenario voor Braziliaanse ethanol is kansrijk als (o.m.) de EU zijn importbeperkingen verzacht of opheft. Zo'n scenario hoeft niet te leiden tot substantiële *trade offs* met voedselproductie of biodiversiteit, *mits* Brazilië een effectieve strategie van agrarische intensivering weet te implementeren. De kansen en bedreigingen van zo'n strategie zijn in dit rapport niet geanalyseerd.
- 7 Productie van palmolie voor niet-energetische doeleinden is in Indonesië en Maleisië tot grootschalige ontwikkeling gebracht, met belangrijke negatieve consequenties voor de biodiversiteit (verlies bosareaal). Het is te verwachten dat deze *trade off* zich ook zal manifesteren bij verdere productiegroei ten behoeve van energetische toepassingen (biodiesel en bio-elektriciteit). NB: een *trade off* met voedselproductie is hier niet onderzocht, maar wel mogelijk, gelet op de bevolkingsdichtheid van beide landen.
- 8 Energetisch gebruik van palmolie, voorzover gemotiveerd door klimaatoverwegingen, kan alleen zinvol zijn als de productie ervan níet gepaard gaat met vrijmaking van CO<sub>2</sub> uit 'sinks' (houtopstanden en bodems). Deze eis lijkt voor Indonesische palmolie prohibitief. Elders geproduceerde palmolie kan er mogelijk wel aan voldoen. Het energetisch gebruik van residuen van de palmolieproductie wordt door deze eis evenmin uitgesloten.

De economische modelstudies, bekeken in dit rapport, analyseren de *trade offs* tussen bio-energie (c.q. energieteelt) en voedselproductie. Ze doen dat in termen van veranderde arealen, productieniveaus en prijzen. Verondersteld is steeds een beleidsgedreven vraag naar bio-energie (c.q. energiegewas). De uitkomsten van modelanalyses lopen uiteen, afhankelijk van

onder meer het modeltype en het niveau van beleidsambities. De belangrijkste lessen uit deze modelexercities zijn hier samengebracht.

- 9 Forse prijseffecten (bijvoorbeeld Azar: verdubbeling of verdrievoudiging van voedselprijzen) resulteren uit studies die radicale beleidsambities ten aanzien van bio-energie analyseren met behulp van een eenvoudig, sterk geaggregeerd modeltype. Zulke modellen houden geen rekening met gedragsreacties van producenten en consumenten (anders dan gewaskeuzes door producenten). De voorspelkwaliteit ervan is daardoor beperkt – vooral bij radicaal beleid en op lange termijn.
- 10 Studies die betrekkelijk gematigde beleidsambities<sup>40</sup> analyseren met behulp van beter gespecificeerde modellen voorspellen prijsstijgingen van landbouwproducten in de orde van enkele tientallen procenten (bijvoorbeeld Walsh: 9–14%, Schneider en McCarl: 30%), dan wel enkele procenten (bijvoorbeeld Ignaciuk's partiële analyse). Het productieniveau van de landbouw zal volgens deze voorspellingen dalen conform areaalverlies, dan wel nauwelijks veranderen. Daling wordt voorspeld door modellen die geen of weinig rekening houden met intensivering van de landbouwproductiewijze en met terugkoppelingen tussen agrarische sectoren en de overige economie; een gering positief of negatief effect door modellen die dat wel doen.
- 11 Ook de analyses met behulp van algemeen evenwichtsmodellen voorspellen dat intensivering van de agrarische productiewijze een belangrijk neveneffect is van energieteelt. Dit beperkt de gevolgen voor het productieniveau en de prijzen van landbouwproducten: die zijn aanzienlijk kleiner dan het areaalverlies voor traditionele teelten suggereert.
- 12 De hier bekeken partiële en algemeen evenwichtsmodellen veronderstellen een soepel verlopend aanpassingsproces van productiewijzen en consumptiepatronen aan nieuwe prijsverhoudingen. Ze gaan voorbij aan korte termijn fluctuaties (schoksgewijze aanpassingen, misoogsten etc.) en mogelijke barrières (zoals niet toegankelijke afzetmarkten voor bio-energie).  
Een tweede kanttekening betreft de elasticiteiten die dit aanpassingsproces bepalen. Deze zijn ontleend aan historische ervaringen, maar dit garandeert niet dat ze stand houden in de transitie naar een koolstofarme, deels op bio-energie gebaseerde energievoorziening.
- 13 De bekeken modelstudies bieden tenslotte weinig inzicht in *trade offs* tussen bio-energie en biodiversiteit, omdat areaalverandering van de natuur niet of nauwelijks in de analyses is meegenomen.

Ter afsluiting van dit rapport volgt hier een overall inschatting van de *trade offs* tussen klimaatprotectie enerzijds en voedselproductie en biodiversiteitsprotectie anderzijds, beide als gevolg van grootschalige toepassing van bio-energie. Hoe zwaarwegend zijn deze *trade offs*? Kan flankerend beleid ze afzwakken of ondervangen. Is er aanleiding beleidsdoelen inzake bio-energie te heroverwegen? Ik kijk hierbij 'door de oogharen' naar bovenstaande bevindingen uit case studies en modelanalyses.

Vertrekpunt is de algemeen onderschreven inschatting dat bio-energie behoort tot de redelijk goedkope mogelijkheden om CO<sub>2</sub>-emissies (c.q. GHG-emissies) te reduceren – veelal duurder

---

<sup>40</sup> Beleidsinzet en -resultaten zijn ruwweg vergelijkbaar bij Walsh et al. (7,3% bio-elektriciteit, energieteelt areaal circa 13% van VS-bouwland), Schneider en McCarl (zelfde areaal energieteelt, zelfde prijs energiegewassen als bij Walsh) en Ignaciuk (7,5% bio-elektriciteit). Ignaciuk heeft echter veel minder areaal nodig voor energieteelt (< 1% van het Poolse bouwland), als gevolg van het lagere elektriciteitsverbruik per hoofd in Polen.

dan energiebesparing en benutting van biomassa-residuen, maar veelal goedkoper dan andere vernieuwbare bronnen (zon, wind), CO<sub>2</sub>-opslag e.d. Bio-energie is zodoende aantrekkelijk voor landen met een lange termijn klimaatcommitment (Kyoto en post-Kyoto), als een intermediaire optie: volgend op goedkopere maar tekortschietende emissiereducerende maatregelen en voorafgaand aan duurdere, nog niet noodzakelijke opties.

Bio-energie op basis van energieteelt is *in deze context* een beleidsgedreven ontwikkeling; zie bijvoorbeeld de praktijk in Zweden en de voornemens in EU-verband. Dit brengt allereerst met zich mee dat *trade offs* met voedselproductie en biodiversiteit worden gewogen tijdens het proces van beleidsvoorbereiding en besluitvorming. Toegespitst op Europa (EU): hier is de uitkomst van deze afweging tot dusver dat prioriteit wordt gegeven aan voedselproductie en biodiversiteit. Oogmerk is dat energieteelt geen afbreuk doet aan deze doeleinden, maar eerder synergie oplevert in de vorm van een nieuwe functie voor plattelandsgebieden en positieve natuureffecten.

Hier komt bij dat beleidsgedreven ontwikkelingen (in- of expliciet) worden gefinancierd met publiek geld. Dit leidt al snel, vooral op lidstaatsniveau – tot een systematiek met ‘checks and balances’, die een ‘teveel’ aan energieteelt voorkomen: een markt voor energiegewassen en daarop gebaseerde bio-energie die bestaat dankzij overheidssteun, wordt daardoor ook gelimiteerd. Het risico dat uitbreiding van energieteelt in meer dan voorziene mate ten koste gaat van (areaal voor) voedselproductie en/of natuur lijkt derhalve niet groot.

Inherent aan deze context zijn wel twee andere risico's:

- energieteelt als matig renderende activiteit kan uitmonden in een marginaal type bedrijvigheid met weinig professionaliteit, innovatie- en groeipotentieel en ondermaats sociaal en milieuprofiel. De stagnerende Zweedse energieteelt branche lijkt sommige van deze trekken te vertonen.
- de beoogde synergie, ofwel combinatie van oogmerken, kan leiden tot suboptimale keuzes uit het oogpunt van kosteneffectieve emissiereductie. Een voorbeeld hiervan is de productie van bio-ethanol uit Europese energiegewassen, in plaats van ethanolimport.

Zulke risico's zijn in principe vermijdbaar resp. beheersbaar binnen een weloverwogen en goed geïnstrumenteerd beleid. Ze impliceren m.i. niet dat heroverweging van de doelstellingen van het beleid inzake bio-energie wenselijk zou zijn, wel dat de instrumentatie en uitvoering van dit beleid alle aandacht verdient.

*Kortom:* het Europese beleid beoogt een forse uitbreiding van energieteelt ten behoeve van bio-energieproductie te realiseren, zónder *trade offs* met voedselproductie of biodiversiteit. Ik zie binnen de context van een beleidsgedreven ontwikkeling geen omstandigheden of mechanismen die de uitvoerbaarheid van dit oogmerk op voorhand in de weg staan.

De context verandert zodra energieteelt en daarop gebaseerde productie van bio-energie een marktconform, in plaats van een beleidsgedreven ontwikkelingspad betreden. Twee factoren (of een combinatie daarvan) kunnen dit bewerkstelligen, namelijk prijsstijging van fossiele brandstoffen en afstemming van de CO<sub>2</sub>-prijs op duurdere emissiereducerende maatregelen dan bio-energie. Deze context lokt autonome groei van energieteelt uit, uiteraard op voorwaarde dat de rentabiliteitsverwachting voldoende stabiel is (dit veronderstelt onder meer dat de afzetmogelijkheden voor bio-energie zich parallel ontwikkelen). Hiermee ontstaat een autonome extra vraag naar landbouwgrond en/of natuurareaal. Of en in welke mate deze druk op de grondmarkt zal leiden tot *trade offs* met voedselproductie of biodiversiteit, hangt onder meer af van de economische doorwerking ervan.

Diverse partiële modelanalyses voorspellen een vrij forse stijging van voedselprijzen (ordegrootte tientallen procenten) als de landbouw ca. 10% areaal (ordegrootte) afstaat aan

energieteelt; en een productievermindering in dezelfde orde grootte als het areaalverlies. Dit lijkt een maximale inschatting van de *trade off* met voedselproductie, die geen rekening houdt met indirecte economische doorwerkingen zoals wijzigingen (intensivering) in de productiewijze van de landbouw. Als zulke doorwerkingen wel plaatsvinden, zoals aangenomen wordt in algemeen evenwichtsanalyses en sommige partiële analyses, dan resteert een lichte *trade off* (enkele procenten prijsstijging en productievermindering) of zelfs een klein positief effect op het voedselproductieniveau.

Pas op lange termijn zal duidelijk worden welke modellen het meest adequaat hebben voorspeld. Deze onzekerheid is m.i. geen reden tot heroverweging van de doelstellingen van het beleid inzake bio-energie, om twee redenen. Ten eerste behoren hogere grondprijzen en de implicaties daarvan tot de 'prijs' van klimaatprotectie. En ten tweede zijn er remedies voorhanden – zoals stimulering van intensiever agrarisch grondgebruik of versnelde introductie van andere emissiereducerende maatregelen – als in de toekomst mocht blijken dat grootschalige energieteelt té hoge grondprijzen c.q. te zware implicaties met zich meebrengt. Uitbreiding van energieteelt als economisch rendabele activiteit kan ook effect hebben op de *trade off* met biodiversiteit. Hogere grondprijzen impliceren een hogere *opportunity cost* van bestaande natuur en mogelijk hogere feitelijke kosten (grondverwerving) van nieuwe natuur. Dit kan de vraag naar natuurareaal negatief beïnvloeden, maar zeker is dit niet: het is een beleidskeuze deze consequentie van autonome groei van energieteelt al dan niet te compenseren.

*Kortom:* Autonoom groeiende energieteelt, in een context van marktconforme, renderende productie van bio-energie kan *trade offs* met voedselproductie en biodiversiteit met zich brengen. Deze *trade offs* lijken beperkt (voedselproductie), resp. vermijdbaar (biodiversiteit) en in ieder geval beheersbaar. Ze vormen derhalve geen reden om de ontwikkeling van energieteelt op voorhand te beperken.

Tenslotte is er een derde context, namelijk energieteelt in landen zónder klimaatcommitment (in de zin van eigen emissiereductie targets). Voor zulke landen is de teelt van energiegewassen voor eigen gebruik primair aantrekkelijk uit andere hoofde dan klimaatoverwegingen (energiezekerheid, handelsbalans, sectorbelangen etc.), terwijl de productie voor export eenzelfde dynamiek volgt als die van andere exportgewassen. Dit impliceert (a) dat de CO<sub>2</sub>-balans van energieteelt in deze landen positief óf negatief kan zijn, en (b) dat *trade offs* tussen energieteelt enerzijds en voedselproductie/biodiversiteit anderzijds het patroon zullen volgen dat gangbaar is het producerende land c.q. regio. Er bestaat met andere woorden een reëel risico dat bio-energie aangeboden wordt aan importlanden, waarvan de productie gepaard gaat met een negatieve CO<sub>2</sub>-balans en/of substantiële schade voor voedselvoorziening of biodiversiteit.

Toetsing van te importeren bio-energie (energiegewas of energiedragers op basis daarvan) aan duurzaamheidscriteria – CO<sub>2</sub>-balans, biodiversiteitsprotectie, voedselvoorziening, sociale implicaties – kan hierdoor zowel positief als negatief uitvallen. En een negatieve score kan al of niet vermijdbaar zijn. De onderzochte casussen van Braziliaanse ethanol en Indonesische palmolie kunnen model staan voor een overwegend positief resp. overwegend negatief toetsresultaat (met in het laatste geval weinig mogelijkheid tot verbetering).

*Kortom:* Import van bio-energie veroorzaakt in sommige exportlanden – onvermijdelijk dan wel te vermijden – *trade offs* met voedselproductie en/of biodiversiteit; tevens voldoet geïmporteerde bio-energie niet altijd aan de eis van een positieve CO<sub>2</sub>-balans. Deze *trade offs* en CO<sub>2</sub>-balanseis maken het wenselijk de import van bio-energie van geval tot geval (per land en per gewas) te toetsen aan duurzaamheidscriteria en overeenkomstig de uitslag daarvan deze import aan voorwaarden te binden of ervan af te zien.

## Bronnen:

- Azar, C., 2003. Emerging scarcities – Bioenergy–food competition in a carbon constrained world. In: D. Simpson, M. Toman en R. Ayres (Ed), *Scarcity and growth in the new millennium*. Resources for the future Inc. John Hopkins University Press.
- Azar, C. en E.D. Larson, 2000. Bioenergy and land–use competition in Northeast Brazil. *Energy for sustainable development*, 4(3):51–58.
- Bergh, J.C.J.M. v.d., A. Faber, A.M. Idenburg, F.H. Oosterhuis, 2005. Survival of the Greenest; Evolutionaire economie als inspiratie voor energie– en transitiebeleid. Bilthoven, RIVM–rapport 550006002.
- Berndes, G., M. Hoogwijk and R. v.d. Broek, 2003. The contribution of biomass in the future global energy supply: A review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25: 1–28.
- Björheden, R., 2006. Drivers behind the development of forest energy in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, 30: 289–295.
- Börjesson, P. en G. Berndes, 2006. The prospects for willow plantations for wastewater treatment in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, 30:428–438.
- CEC, 2004a. The share of renewable energy in the EU. Brussel, COM(2004) 366 final.
- CEC, 2004b. Annex to The share of renewable energy in the EU. Brussel, SEC(2004) 547.
- CEC, 2005a. Biomass Action Plan. Brussel, COM(2005) 628 final.
- CEC, 2005b. Annex to the Biomass Action Plan: Impact Assessment. Brussel, SEC(2005) 1537.
- CEC, 2006a. Renewable Energy Road Map. Brussel, COM(2006) 848.
- CEC, 2006b. Annex to the Renewable Energy Road Map: Impact Assessment. Brussel, SEC(2006) 1719.
- CEC, 2006c. Biofuels Progress Report. Brussel, COM(2006) 845.
- CEC, 2006d. Annex to the Biofuels Progress Report. Brussel, SEC(2006) 1721.
- CEC, 2007. An energy policy for Europe. COM(2007) 1.
- Coelho, S.T., J. Goldemberg, O. Lucon en P. Guardabassi, 2006. Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned. *Energy for sustainable development*, X(2):26–39.
- Damen, K. en A. Faaij, 2003. A life cycle inventory of existing biomass import chains for 'green' electricity production. Utrecht, NWS–E report 2003/01, RUU.
- Down to Earth, 2006. Biodiesel and the expansion of oil palm plantations. Down to Earth bulletin no. 69 ([www.dte.gn.apc.org](http://www.dte.gn.apc.org)).
- EUCAR, Concawe en EC–JRC, 2006. Well–to–wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, versie 2b.
- Economische Zaken, Ministerie van, 2003a. Biomassa Actieplan. Den Haag.
- Economische Zaken, Ministerie van, 2003b. Visie op biomassa; De rol van biomassa in de Nederlandse energievoorziening 2040. Den Haag.
- European Environmental Agency (EEA), 2006. How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? Kopenhagen, EEA Report 7/2006.
- Faaij, A.P.C., 2006. Bio–energy in Europe: changing technology choices. *Energy Policy*, 34:322–342.
- Fulton, L., 2004. Recent biofuels assessments and two new scenarios. Paper IEA Seminar assessing the biofuels option (aangehaald in Rosillo–Calle en Walter, 2006).
- Gelder, J.W. van, 2004. Greasy palms: European buyers of Indonesian palm oil (report on behalf of FOE–UK). Castricum, Profundo.
- Goldemberg, J., S.T. Coelho, P.M. Nastari, en O. Lucon, 2004. Ethanol learning curve – the Brazilian experience. *Biomass and Bioenergy*, 26:301–304.
- Hakkila, P., 2006. Factors driving the development of forest energy in Finland. *Biomass and Bioenergy*, 30: 281–288.

- Hansson, J., G. Berndes en P. Börjesson, 2006. The prospects for large-scale import of biomass and biofuels into Sweden – a review of critical issues. *Energy for Sustainable Development*, X(1):82–94.
- Hoogwijk, M., A. Faaij, R. v.d. Broek, G. Berndes, D. Gielen, W. Turkenburg, 2003. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy*, 25:119–133.
- Hoogwijk, M., A. Faaij, B. Eickhout, B. de Vries, W. Turkenburg, 2005. Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. *Biomass and Bioenergy*, 29:225–257.
- Helby, P., H. Rosenqvist, A. Roos, 2006. Retreat from Salix – Swedish experience with energy crops in the 1990s. *Biomass and Bioenergy*, 30:422–427.
- Hoijer, A., M. Silvius, H. Wüsten, S. Page, 2006. PEAT-CO<sub>2</sub>; assessment of CO<sub>2</sub>-emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft, WL-rapport Q3943.
- Ignaciuk, A., F. Vöhringer, A. Ruys en E.C. van Ierland, 2006. Competition between biomass and food production in the presence of energy policies: a partial equilibrium analysis. *Energy Policy*, 34(10): 1127–1138.
- Ignaciuk, A. 2006. Economics of multifunctional biomass systems. *Proefschrift WUR*, Wageningen.
- International Energy Agency (IEA), 2004: Biofuels for transport: An international perspective. Parijs, IEA.
- Johansson, D.J.A. en C. Azar, 2003. Analysis of land competition between food and bioenergy. *World Resource Review*, 15:165–175.
- Junginger, M., A. Faaij, R. Björheden, W.C. Turkenburg, 2005. Technological learning and cost reduction in wood fuel supply chains in Sweden. *Biomass & Bioenergy*, 29:399–418.
- Junginger, M., M. de Wit en A. Faaij, 2006. Country report for the Netherlands; update 2006. IEA Bioenergy task 40. Copernicus Instituut, Univ. Utrecht.
- Kaltschmitt, M. en M. Weber, 2006. Markets for solid biofuels within the EU-15. *Biomass & Bioenergy*, 30:897–907.
- Kojima, M. en T. Johnson, 2005. Potential for biofuels for transport in developing countries. ESMAP-Report, World Bank Energy and Water Department.
- Kojima, M. en T. Johnson, 2006. Potential for biofuels for transport in developing countries. World Bank-ESMAP, Knowledge Exchange Series no.4.
- Londo, M., J. Dekker en W. ter Keurs, 2005. Willow short-rotation coppice for energy and breeding birds: an exploration of potentials in relation to management. *Biomass & Bioenergy*, 28:281–293.
- Macedo, I.C., 2002. Energy from sugarcane in Brazil. Paper workshop Sustainability at the generation and energy-use in Brazil – the next 20 years. University Campinas (aangehaald in Walter et al, 2006).
- Macedo, I.C. et al, 2005. Sugarcane's energy. Twelve studies on Brazilian sugar cane agribusiness and its sustainability. Unica (aangehaald in Smeets et al, 2006).
- Milieu- en Natuurplanbureau, 2004. Kwaliteit en toekomst – Verkenning van duurzaamheid. Bilthoven.
- Mirck, J., J.G. Isebrands, T. Verwijst en S. Ledin, 2005. Development of short-rotation willow coppice systems for environmental purposes in Sweden. *Biomass & Bioenergy*, 28:219–228.
- Moreira, J.R., 2000. Sugarcane for energy – recent results and progress in Brazil. *Energy for Sustainable Development*, IV(3):43–54.
- Opschoor, H., 1994. Economische politiek, milieubeleid en beleidsinstrumenten. In: *Dietz, Hafkamp, van der Straaten (red): Basisboek Milieueconomie*. Amsterdam, Boom.

- Projectgroep Duurzame productie van biomassa (Commissie Cramer), 2006. Criteria voor duurzame biomassa productie. Den Haag, Task Force Energietransitie.
- Rosillo-Calle, F. en A. Walter, 2006. Global market for bio-ethanol: historical trends and future prospects. *Energy for Sustainable Development*, X(1):20-32.
- Schneider, U.A. en B.A. McCarl, 2003. Economic potential of biomass based fuels for greenhouse gas emission mitigation. *Environmental & Resource Economics*, 24(4):291-312.
- Smeets, E., A. Faaij, I. Lewandowski, 2005. The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production. Utrecht, NWS-E report 2005-6, RUU.
- Smeets, E., M. Junginger, A.P.C. Faaij, A. Walter, P. Dolzan, 2006. Sustainability of Brazilian bio-ethanol. Utrecht, Copernicus Instituut, NWS-E report 2006-110, RUU.
- Smeets, E., A.P.C. Faaij, I.M. Lewandowski, W.C. Turkenburg, 2007. A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33:56-106.
- UNEP, 2003. Millennium indicators database (aangehaald in Smeets et al., 2005).
- VIEWLS, 2005. Shift gear to biofuels (Work package 3 - Biomass production potential in Central and Eastern Europe under different scenarios, door J. van Dam et al.). Final report of the VIEWLS project. Utrecht, SenterNovem.
- Wakker, E., 2005. Greasy palms; The social and ecological impacts of large-scale oil palm plantation development in Southeast Asia (report on behalf of FOE-UK). Amsterdam, AidEnvironment.
- Walsh, M.E., D.G. de la Torre Ugarte, H. Shapouri en S.P. Slinsky, 2003. Bioenergy crop production in the United States: Potential quantities, land use changes and economic impacts on the agricultural sector. *Environmental & Resource Economics*, 24(4):313-333.
- Walter, A., P. Dolzan en E. Piacente, 2006. Biomass energy and bio-energy trade: historic developments in Brazil and current opportunities. *Country report IEA Bioenergy Task 40*.
- Wolf, J., P.S. Bindraban, J.C. Luyten, L.M. Vleeshouwers, 2003. Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. *Agricultural Systems*, 76(3):851-861.