



Commissie  
Duurzaamheidsvraagstukken  
Biomassa

# Eerst kwaliteit dan kwantiteit

Advies over de bijdrage van biomassa aan de duurzame energie doelstellingen



**3 februari 2010**

***De Commissie Duurzaamheidsvraagstukken Biomassa (CDB) bestaat uit: Dorette Corbey (voorzitter), Prem Bindraban, Dominic Boot, Ewald Breunesse, Bart-Willem ten Cate, Daan Dijk, André Faaij, Wilfred Hadders, Helma Kip, Willem-Jan Laan, Karen Lagendijk, Karlijn van Lierop, Madelon Meijer, Daniëlle de Nie, Sven Sielhorst, Pier Vellinga, Arthur van Weldam, Ron Wit, Ella Lammers en Judith van der Stel (secretariaat).***

***Bij de voorbereiding van dit advies werd de CDB bijgestaan door: Willem Wiskerke, Jaco Koek, Geert Bergsma.***

## Advies 4: Welke bijdrage kan duurzame biomassa leveren?

### Adviesvraag

Eind 2008 is de Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie (RED) door het Europees Parlement en de Raad van Ministers aangenomen. In de RED is een doelstelling vastgelegd van 20% hernieuwbare energie in de EU in 2020. Binnen deze doelstelling geldt een subdoelstelling van minimaal 10% hernieuwbare energie in de transportsector. De hoofddoelstelling van 20% is onderverdeeld over de verschillende lidstaten, naar gelang de al bestaande hernieuwbare capaciteit en het potentieel van landen om dit verder uit te breiden. Voor Nederland geldt een doelstelling van 14%<sup>1</sup>. De transportdoelstelling van minimaal 10% geldt voor iedere lidstaat.

Voor de transportsector geldt bovendien de Europese brandstofkwaliteitsrichtlijn die brandstofleveranciers verplicht hun CO<sub>2</sub> uitstoot in 2020 met minimaal 6% te verminderen, bijvoorbeeld door inzet van biobrandstoffen, verbeteringen in de raffinaderijen, of door andere brandstoffen (gas, elektriciteit, of met CO<sub>2</sub> afvang geproduceerde waterstof bijvoorbeeld) te leveren. Dit percentage kan bij de herziening in 2014 – onder meer afhankelijk van de grootschalige beschikbaarheid van 'nieuwe' technieken zoals elektrisch vervoer en CCS – verhoogd worden tot 10% in 2020.

Naast deze richtlijnen geldt de algemene ambitie om 20% minder broeikasgassen uit te stoten in 2020 (eventueel 30%). Deze laatste ambitie is vertaald in nationale doelstellingen en in de richtlijn emissiehandel waar de elektriciteitssector, de staal en de raffinaderijen onder vallen. Inzet van biomassa kan ook in deze sectoren bijdragen tot vermindering van CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Een van de verplichtingen van de RED is dat iedere lidstaat uiterlijk juni 2010 een Nationaal Actieplan (NAP) indient voor de implementatie van de RED. Het ministerie van EZ is hiervoor de trekker in Nederland. Het actieplan beschrijft maatregelen om de doelstelling van 14% hernieuwbare energie te kunnen voldoen. Ook bevat dit actieplan een doelstelling voor de verplichting biobrandstoffen voor 2020 (en tussengelegen doelen). Het ministerie van VROM zal hiervoor op korte termijn een voorstel formuleren. De CDB wordt gevraagd een visie te ontwikkelen voor de doelstellingen en het instrumentarium om de doelen te bereiken. Met name is de vraag of Nederland een hogere doelstelling dan de 10% voor de transportsector zou moeten opleggen.

### Overwegingen

De CDB is van mening dat inzet van biomassa kan bijdragen om de doelstellingen voor duurzame energie in 2020 te realiseren. Ook op de langere termijn zal inzet van biomassa nodig zijn om ambitieuze reductiedoelstellingen (80% CO<sub>2</sub> reductie in 2050) te bereiken.

De CDB overweegt het volgende (zie de toelichting voor uitgebreide beschrijving):

- a) Er is in theorie mondiaal een groot technisch potentieel aan duurzame biomassa, maar er is een omvattende strategie nodig om dat potentieel op een duurzame manier in de praktijk te realiseren. Daarvoor zijn investeringen noodzakelijk. Dat vereist een duidelijk kader en een stabiel beleid.

---

<sup>1</sup> Primaire energie

- b) Geschat wordt dat minder dan de helft van de biomassa die nodig is om de beleidsdoelstellingen te halen in Nederland technisch beschikbaar is. Ook hiervoor is een strategie nodig om dit binnenlandse potentieel daadwerkelijk te realiseren.
- c) Geavanceerde technologieën voor toepassing in de transport sector zijn sterk in ontwikkeling, met name tweede generatie biobrandstoffen uit lignocellulose, en elektrische auto's. De verwachting is dat deze na 2020, maar waarschijnlijk voor 2030, een groot aandeel in de energiebehoefte voor transport kunnen leveren.
- d) Enkele technologieën op basis van reststromen (biobrandstoffen, bijvoorbeeld biodiesel uit restvetten en groen gas (biomethaan)) zijn bewezen en kunnen nu al maximaal benut worden. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met de beperkte beschikbaarheid van deze stromen en dat er ook een vraag bestaat vanuit andere sectoren.
- e) In de elektriciteitssector is bijstook van celluloserijk materiaal dat niet concurreert met voedsel een bewezen technologie, waarbij nog innovatieslagen te maken zijn om bijvoorbeeld het meestookvolume te kunnen vergroten.
- f) Op dit moment en naar verwachting tot ongeveer 2020 is de inzet van biomassa voor elektriciteit en warmte efficiënter dan voor transport (in termen van kosten per CO2 reductie).
- g) Door het pakket van overheidsinterventies wordt de inzet van biomassa in de elektriciteitssector en voor biobrandstoffen gestimuleerd, maar worden toepassingen van biomassa in de chemie onbedoeld afgeremd.
- h) De verwachting is dat tweede generatie biobrandstoffen vanaf ongeveer 2020 kunnen concurreren met fossiele brandstoffen en mogelijk zelfs eerder bij hoge CO2-prijzen en/of hoge olieprijsen. Dat geldt ook voor sommige eerste generatie biobrandstoffen, met name voor ethanol op basis van suikerriet. In de elektriciteitssector is biomassa voornamelijk goedkoper dan wind op zee en zonnepanelen en deze sector maakt al efficiënt gebruik van biomassa. De vraag naar biomassa kan daardoor snel oplopen en blijft ook na 2020 groot.
- i) Naast inzet van biomassa voor elektriciteit, warmte en transport zijn er op lange termijn ook grote mogelijkheden voor inzet van biomassa in de chemie (bijvoorbeeld via bioraffinage), de staalsector en voor constructietoepassingen. Uit analyses blijkt dat onder voorwaarden van een open, internationaal georiënteerde economie en ontwikkeling van tweede generatietechnologie biomassa in 2030 wordt ingezet in de elektriciteitssector, de diesel en in materialen (chemie en staal).
- j) Grootschalige inzet van biomassa als biobrandstof voor transport en andere energietoepassingen kan grote risico's voor duurzaamheid, biodiversiteit en voedselvoorziening met zich meebrengen als niet zeer stevig ingezet wordt op versterking van duurzaamheidscriteria en op naleving daarvan. Het tegengaan van negatieve indirecte effecten (zoals verschuivingen in landgebruik en beïnvloeding van voedselprijzen) moet deel uitmaken van een duurzaamheidskader.
- k) Extra inzet op energiebesparing verkleint de absolute hoeveelheid duurzame energie die moet worden gerealiseerd om de doelstellingen te halen aanzienlijk.
- l) Juist omdat de ontwikkeling van technologieën nog niet zeker is, kan pas omstreeks 2014 een definitieve doelstelling voor de inzet van biomassa in 2020 worden vastgelegd.

Dit brengt de CDB tot het volgende advies:

## Advies

### **Algemeen: inzet van biomassa vergt strategie en duidelijke kaders**

- 1) Zet (ook via de EU) in op de totstandkoming van een mondiaal kader voor een verplichte duurzaamheidstoets bij inzet van biomassa in energie, transportbrandstof of industrie. Een level playing field voor duurzaamheidseisen is noodzakelijk. Ook indirecte effecten (verschuivingen in landgebruik (ILUC) en beïnvloeding voedselprijzen) moeten onderdeel zijn van een duurzaamheidstoets. Zie ook het ILUC advies van de CDB<sup>2</sup>.
- 2) Investeer in een omvattende strategie die er toe leidt dat een groot deel van het potentieel aan *duurzame* biomassa gerealiseerd wordt. Dat betekent:
  - i) Ontwikkel een actieplan om het Nederlandse biomassa potentieel daadwerkelijk beschikbaar te maken.
  - ii) Bevorder investeringen in landbouwefficiëntie en duurzame landbouwpraktijken, met name in ontwikkelingslanden, in optimaal gebruik van reststromen en bijproducten, en in gewasproductie op marginale en gedegradeerde gronden.
  - iii) Doe dit op basis van afspraken met derde landen, zo nodig met behulp van ontwikkelingshulp (in lijn met het ILUC advies van de CDB, bijlage 1).
  - iv) Stimuleer de ontwikkeling van tweede generatietechnologie door gerichte subsidies en/of door subdoelstellingen en werk op dit terrein samen met leidende landen en bedrijven.
- 3) Maak aanvullend afspraken over de duurzaamheidseisen voor reststromen, met het oog op de nutriënten en de koolstof die nodig zijn om de kwaliteit van de bodem te waarborgen en ongewenste competitie met bestaande gebruikers als de chemie en de veevoersektor. Daarnaast is een goede definitie van reststromen van belang.
- 4) Faciliteer de totstandkoming van geloofwaardige certificeringskaders. Zorg voor zoveel mogelijk afstemming met andere EU-landen bij de erkenning van deze systemen en stem af met het Global Bioenergy Partnership (GBEP).
- 5) Bevorder samenwerking tussen de elektriciteitssector, de transportbrandstofsector en ook de industrie als het gaat om de ontwikkeling van criteria, standaarden, duurzame biomassaketens en infrastructuur voor duurzame biomassa en het creëren van een level playing field voor inzet van biomassa.
- 6) Zet in op energiebesparing. Dit levert een aanzienlijke bijdrage aan het realiseren van de duurzame energie doelstellingen. Dat maakt het realiseren van een hoog percentage duurzame energie ook makkelijker.
- 7) Juist omdat de ontwikkeling van technologieën nog niet zeker is, kan pas omstreeks 2014 een definitieve doelstelling voor de inzet van biomassa in 2020 worden vastgelegd. Met de 'kennis van dan' kan dan een verantwoorde keuze gemaakt worden. Tot die tijd komt het er op aan:
  - a) De ontwikkeling van technologieën en innovatie zoveel mogelijk te steunen en te bevorderen.
  - b) Te werken aan de beschikbaarheid van duurzame biomassa, in Nederland en de EU, en in een aantal exporterende landen.

---

<sup>2</sup> Maak landbouw deel van de oplossing! Advies over Indirect Land Use Change (ILUC). Commissie Duurzaamheidsvraagstukken Biomassa, December 2009. Zie ook [www.corbey.nl](http://www.corbey.nl).

## Voor transport

- 1) Neem voor de transportsector in het Nationale Actieplan hernieuwbare energie voorsnog geen hogere doelstelling op dan de 10% duurzame energie voor 2020 die al voorzien en verplicht is in de Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie (RED). Een hogere doelstelling is nu niet wenselijk om drie redenen:
  - a. Er bestaat nog onduidelijkheid over de manier waarop ILUC-effecten meegewogen gaan worden in de Europese duurzaamheidscriteria.
  - b. Er zijn redenen om aan te nemen dat in 2020 het volume hernieuwbare energie ook zonder hogere doelstelling groter kan zijn dan 10%. Dit is omdat sommige eerste generatie biobrandstoffen (in het bijzonder ethanol uit suikerriet) omstreeks 2020 concurrerend kunnen zijn met fossiele brandstoffen. In dat geval is actieve stimulering van eerste generatie biobrandstoffen via een hogere doelstelling niet nodig. Bovendien verplicht de Europese brandstofkwaliteitsrichtlijn tot jaarlijkse CO<sub>2</sub> reductie en is daarmee een stimulans voor de inzet van biobrandstoffen. De voorkeur zal liggen bij biobrandstoffen met een zeer gunstige CO<sub>2</sub> balans, zoals ethanol uit suikerriet. .
  - c. Preferente technologieën zoals elektrisch vervoer en tweede generatie biobrandstoffen zijn in 2020 nog niet in volle omvang beschikbaar; of de ontwikkeling sneller kan gaan dan voorzien is nu nog niet duidelijk.
- 2) Stimuleer de ontwikkeling en bevorder de inzet van preferente technologieën door subdoelstellingen op te nemen:
  - a. 2% duurzame elektriciteit in het vervoer (na toepassing van de conversiefactor 2,5 zoals opgenomen in de RED).
  - b. 3 - 5%<sup>3</sup> tweede generatie biobrandstoffen en biobrandstoffen uit reststromen, inclusief groen gas (vanwege de dubbeltelling betekent dit in de praktijk een realisatie van 1,5 - 2,5%).
- 3) De doelstellingen genoemd onder 2) betekenen dat de resterende 3% tot 5% van de duurzame energie doelstelling met eerste generatie biobrandstoffen zal worden ingevuld. Eerste generatie biobrandstoffen die aan duurzaamheidskaders voldoen (inclusief ILUC effecten) kunnen een goede bijdrage leveren aan het realiseren van duurzame energie in de transportsector. Maak werk van het voorkomen van ILUC effecten, waarbij rekening wordt gehouden met verschillende productieregio's. Zie ook het ILUC advies van de CDB.
- 4) Verhoog de bijmengverplichting in 5 stappen van de huidige 4% naar gemiddeld 8% in 2020, waarbij de eerste twee stappen kleiner zijn (maar niet nul) dan de laatste drie. Voor deze bijmengverplichting van 8% worden tweede generatie biobrandstoffen en biobrandstoffen uit reststromen dubbel geteld (zoals vastgelegd in de RED). De bijmengverplichting betreft alle biobrandstoffen; met een doelstelling van 2% elektrisch transport en een bijmengverplichting van 8% (waarvan de bovengenoemde subdoelstelling van 3-5% tweede generatie biobrandstoffen een onderdeel is) wordt de duurzame energie doelstelling van 10% gerealiseerd.
- 5) Aanvullend beleid is nodig om inzet van elektrische auto's en groen gas in het wegtransport te bevorderen. Daarbij kan gedacht worden aan infrastructuur, ketensubsidies en vergroening van autobelastingen om de aanschaf van elektrische auto's te bevorderen.
- 6) Bevorder de inzet van (tweede generatie) biobrandstoffen vooral in het vrachtvervoer over de weg en de scheepvaart, omdat in deze sectoren voorsnog geen duurzame alternatieven beschikbaar zijn.
- 7) Bevorder bovendien samenwerking met de elektriciteitssector om duurzaamheidskaders te implementeren en duurzame biomassaketens te ontwikkelen.

---

<sup>3</sup> Met ambitieus beleid kan ongeveer 14 PJ duurzame energie worden gerealiseerd met elektrisch transport, tweede generatie biobrandstoffen en biobrandstoffen uit reststromen. Afhankelijk van hoe succesvol het beleid op energiebesparing is, betekent dit 5-7% van het energiegebruik in de transportsector, waarvan 3-5% tweede generatie biobrandstoffen en biobrandstoffen uit reststromen. Zie ook de toelichting.

- 8) Evalueer het beleid mede op basis van de rapportages over drie jaar en herzie in de context van de Europese review in 2014 de doelstellingen indien:
  - a) Duurzame biomassa (inclusief een ILUC factor) op grotere schaal dan voorzien beschikbaar gemaakt is.
  - b) Tweede generatie technologie, elektrische auto's en groen gas op grotere schaal een rol spelen in de transportsector dan voorzien.
  - c) Verdere ontwikkeling van motor en aandrijftechnieken leiden tot aanmerkelijk grotere energie-efficiënte waardoor een hogere doelstelling te halen is.

### **Voor elektriciteit en warmte**

- 1) Elektriciteit en warmte uit biomassa zal ook in de toekomst een belangrijk onderdeel zijn van onze duurzame energie portfolio. Het is wel noodzakelijk dat de overheid hiervoor het juiste instrumentarium ontwikkelt, waarbij rekening wordt gehouden met een goed evenwicht tussen de drie opties biomassa, wind en zon. Bij de inzet van biomassa in de elektriciteitssector zijn op termijn in combinatie met CCS zelfs negatieve emissies haalbaar. Mogelijk zal na 2020 het aandeel van biomassa in de elektriciteitssector kleiner worden naarmate wind en zon goedkoper worden.
- 2) Bepleit duurzaamheidscriteria in Europees verband (zie advies 2), maar stel zelf criteria vast als er geen Europese verplichting komt. Voer ook voor de elektriciteit en warmte sector een rapportageplicht in (vergelijk advies 1). Indirecte effecten moeten onderdeel zijn van dit duurzaamheidskader. Werk bij het vaststellen van duurzaamheidscriteria voor vaste biomassa ten minste samen met de buurlanden, het Verenigd Koninkrijk, de Europese Commissie en Global Bio-energy Partnership (GBEP).
- 3) Bevorder samenwerking met de leveranciers van biotransportbrandstoffen. De inzet van biomassa in de elektriciteitssector betreft vooral houtige reststromen die nu niet of nauwelijks in de transportsector benut worden. Grootschalige inzet in de elektriciteitssector ontwikkelt de benodigde logistiek en infrastructuur die ook voor biobrandstoffen benut kan worden. De ervaring die wordt opgedaan met de implementatie van duurzaamheidskaders kan benut worden in meerdere sectoren.
- 4) Evalueer op basis van de rapportages het beleid en voer vanaf 2014 subdoelstellingen of plafonds in indien zorgen ontstaan omtrent de beschikbaarheid van duurzame biomassa.

### **Voor chemie, staal en producten**

- 1) Biomassa kan ook efficiënt worden gebruikt voor chemie, staal en producten. Daarbij verdient het de voorkeur dat hoogwaardige toepassingen (high value, low volume) sterker gestimuleerd worden dan laagwaardige toepassingen (high volume, low value).
- 2) Inzet van biomassa in de industrie wordt deels al gestimuleerd door het ETS systeem. Afgewogen dient te worden wat hiernaast nodig is om ook in deze sector de inzet van biomassa te bevorderen, ook gezien de concurrentie om biomassa met die sectoren waar subsidies of verplichtingen gelden. Vermijd beleid (en/of subsidies) dat biomassa eenzijdig naar elektriciteit en transport stuurt. Integraal beleid voor duurzame energie is daarom nodig, waarin de effecten op zowel de transportsector, elektriciteit en warmte, chemie en staal worden bekeken.
- 3) Betrek in de evaluaties van het duurzame energiebeleid ook de inzet van biomassa in de industrie.

### **Tot slot**

Ook zonder beleid kan de inzet van biomassa in de energiesector, voor brandstoffen en in de industrie sterk toenemen. De CDB bepleit in dit advies dat de overheid hierop anticipeert en de focus in het biomassabeleid op duurzaamheid legt. Een strategie voor duurzaamheid is noodzakelijk om risico's met betrekking tot natuur en voedselvoorziening te vermijden. Deze focus is evenzeer nodig om het potentieel aan duurzame biomassa dat er is ook daadwerkelijk te realiseren door verbeteringen in de landbouwefficiëntie en optimaal gebruik te maken van

reststromen, bijproducten en marginale gronden. Door toenemende inzet van reststromen in elektriciteit en voor tweede generatie (lignocellulose) biobrandstoffen neemt de vraag naar reststromen in de komende jaren sterk toe. De CDB is bereid om in een nader advies zich te buigen over de algemene strategie die nodig is om het beschikbare potentieel aan duurzame biomassa ook daadwerkelijk te realiseren (daarmee voortbouwend op het ILUC advies van de CDB) en hoe de duurzaamheid van reststromen kan worden gewaarborgd bij grootschalige inzet.



## TOELICHTING

Deze toelichting geeft de onderbouwing bij het voorgaande advies. De toelichting gaat achtereenvolgens in op de volgende vragen:

1. Hoeveel biomassa is er nodig voor de Nederlandse doelstellingen?
2. Hoeveel duurzame biomassa is in de praktijk beschikbaar?
3. Wat zijn de verwachtingen over de inzet van biomassa?
4. Hoe staat het met de ontwikkeling van duurzame technologieën?
5. Wat moet er gebeuren om duurzaamheid te garanderen?

*Veel discussie bestaat over de definities van eerste en tweede generatie biobrandstoffen.*

*In dit advies worden de volgende definities gehanteerd:*

- *Eerste generatie biobrandstoffen: biobrandstoffen gebaseerd op zetmeel/suiker, veelal de agrobrandstoffen.*
- *Tweede generatie biobrandstoffen: biobrandstoffen uit lignocellulose. Hierbij kunnen zowel gewassen worden ingezet (waarbij ook het lignocellulose materiaal wordt gebruikt) maar ook reststromen. Ook bij tweede generatie biobrandstoffen wordt er dus soms vruchtbaar land gebruikt er is er dus een mogelijk risico op Indirect Land Use Change.*
- *Biobrandstoffen uit reststromen, zoals groen gas (biomethaan) uit mest en biodiesel uit restvetten.*

### 1. Hoeveel biomassa is er nodig voor de Nederlandse doelstellingen?

Het energiegebruik in 2020 is bepalend voor de absolute hoeveelheid hernieuwbare energie die in 2020 nodig is. In tabel 1 wordt uitgegaan van twee verschillende scenario's wat betreft energiebesparing. Het scenario met ongewijzigd beleid is gebaseerd op de meest recente update van de referentieraming voor energie en emissies tot en met 2020 van ECN en PBL. Het scenario met een extra inzet op energiebesparing gaat uit van de realisatie van de besparingsdoelen uit het werkprogramma Schoon en Zuinig. Hieruit volgt dat de totale vraag naar duurzame energie een range bedraagt van 290 -323 PJ, afhankelijk van de inzet op energiebesparing. Energiebesparing is dus een belangrijk instrument voor het behalen van de hernieuwbare energie doelstelling.

**Tabel 1: Raming van het energiegebruik in Nederland in 2020 ten opzichte van 2008, bij ongewijzigd beleid<sup>4</sup> en bij het realiseren van Schoon en Zuinig<sup>5</sup>.**

Parameter (PJ)	Verbruik 2008 <sup>6</sup>	Scenario 1:	Scenario 2:
		Ongewijzigd beleid 2020	Extra energiebesparing 2020
Bruto eindverbruik	2187	2305	2075
Elektriciteitsverbruik	429	565	509
Energiegebruik weg- en spoorverkeer	491	577	398 - 445
14% hernieuwbaar	-	323	290
10% hernieuwbaar verkeer	-	58	40 - 45

<sup>4</sup> ECN/PBL, Actualisatie referentieramingen Energie en Emissies 2008-2020, augustus 2009

<sup>5</sup> ECN/PBL, Verkenning Schoon en Zuinig, April 2009

<sup>6</sup> Bron: CBS

### Transport

Om de 10% doelstelling voor de transportsector te halen is 40 tot 58 PJ duurzame energie nodig, afhankelijk van de inzet op energiebesparing. Dit zal vooral ingevuld worden met biotransportbrandstoffen, naast elektrisch transport. In tabel 2 worden schattingen gegeven in hoeverre de nieuwe technologieën (elektrisch transport, biobrandstoffen uit reststromen, lignocellulose biobrandstoffen en groen gas) kunnen worden ingezet om de 10% doelstelling te realiseren. Afhankelijk van de inzet op energiebesparing kan in 2020 4,8 – 6,5 % hernieuwbare energie worden ingevuld met de nieuwe technologieën. Voor een verdere onderbouwing van deze inschatting, zie paragraaf 4 'Technologie ontwikkeling en leercurves'.

**Tabel 2: Raming voor invulling van de transportdoelstelling van 10% hernieuwbare energie in 2020 met elektrisch transport en biobrandstoffen uit reststromen, voor verschillende scenario's.**

Middel	Hernieuwbare energie in 2020 (PJ)	Administratieve dubbeltelling in RED	% punten transportdoelstelling 10% hernieuwbare energie	
			Scenario 1: Ongewijzigd beleid	Scenario 2: Energiebesparing <sup>7</sup>
160.000 elektrische auto's en 500.000 plug-in-hybrides <sup>8</sup>	1,7 <sup>9</sup>	2,5	0,8%	1,0%
Trein-tramverkeer	2,0	-	0,4%	0,5%
Biodiesel uit restvetten <sup>10</sup>	5,7	2	2,0%	2,7%
Groen gas <sup>10</sup>	2,6	2	0,9%	1,2%
Lignocellulose biobrandstoffen <sup>11</sup>	2,2	2	0,8%	1,1%
<b>TOTAAL</b>	<b>14,2</b>		<b>4,8%</b>	<b>6,5%</b>

### Elektriciteit

De benodigde inzet van biomassa voor elektriciteit en warmte is afhankelijk van de inzet van andere duurzame energie opties. Indien de nationale doelstellingen voor windenergie worden gerealiseerd, is voor 2020 nog 104 -119 PJ te realiseren, vooral met bio-energie<sup>12</sup>. Dit betekent dat ook grootschalige inzet van biomassa in WKK eenheden en/of bij- en meestookcentrales nodig is.

<sup>7</sup> Uitgaande van een energiegebruik van 398 PJ in het weg- en spoorverkeer in 2020

<sup>8</sup> Uitgaande van een scenario zoals beschreven in CE Delft *New roads for transport, September 2009*

<sup>9</sup> Uitgaande van 35% hernieuwbare elektriciteit in 2020 en een geschat aandeel van 60% elektrisch in het totale verbruik van plug-in-hybrides. Dit is gebaseerd op de doelstelling in Schoon en Zuinig dat de broeikasgasuitstoot in de verkeer- en vervoersector in 2020 gelijk is aan de uitstoot in 1990.

<sup>10</sup> Koppejan et al., *Beschikbaarheid biomassa in 2020*, 2009. Wat betreft groen gas is aangenomen dat 20% van het binnenlands potentieel voor de productie van groen gas benut zal worden in het wegverkeer.

<sup>11</sup> Fraunhofer, EEG, Ecofys, Rütter+Partner, LEI, Seureco, EmployRES; The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union; Final Report, april 2009.

<sup>12</sup> Uitgaande van geïnstalleerd vermogen van 6000 MW wind op zee, 6000 MW wind op land, 680 MW zon-PV en 251 MW waterkracht. Zie: ECN/PBL, Verkenning Schoon en Zuinig; Effecten op energiebesparing, hernieuwbare energie en uitstoot van broeikasgassen, april 2009.

## 2. Hoeveel duurzame biomassa is in de praktijk beschikbaar?

### *Mondiale beschikbaarheid duurzame biomassa*

Verschillende studies wijzen uit dat mondiaal theoretisch voldoende duurzame biomassa beschikbaar gemaakt kan worden om te voldoen aan de vraag vanuit de energie- en chemiesectoren. In Bijlage 1 wordt een overzicht gegeven, gebaseerd op Dornburg et al. (2008). Uit dit overzicht volgt dat in 2050 het aanbod van duurzame biomassa – reststromen, residuen uit landbouw en bosbouw, en teelt op gedegradeerde gronden – 200 tot 500 EJ<sup>13</sup> per jaar kan bedragen. Dit is voldoende om aan de vraag naar biomassa voor brandstoffen en chemie te kunnen voldoen. Als de mondiale energiemarkt zich inderdaad ontwikkelt tot ca. 400 EJ per jaar, betekent dit dat ca. 1 miljard ha. land wereldwijd betrokken zal zijn bij de productie van biomassa, waarvan ca. de helft marginale en gedegradeerde gronden. Dit is 8% van het totale landoppervlak en 20% van de huidige landbouwgrond (en 10% als de helft van de productie wordt gerealiseerd op marginale en gedegradeerde gronden). Actief beleid is noodzakelijk om te waarborgen dat wordt voldaan aan randvoorwaarden om de duurzaamheid van de biomassa te garanderen:

- efficiencyverbetering in de landbouw, ook in de voedselsector
- optimale inzet van reststromen en residuen
- in gebruik nemen van marginale en gedegradeerde gronden
- voldoen aan duurzaamheidscriteria om niet te conflicteren met water- en landgebruik, beschermde natuurgebieden, biodiversiteit, bodemkwaliteit en sociaal-economische belangen.

In Bijlage 2 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste factoren die van invloed zijn op de beschikbaarheid van biomassa.

Het grootste potentieel voor moderne bio-energie productie en -export ligt in ontwikkelingslanden, evenals de behoefte aan ontwikkeling van plattelandsgebieden. Europese lignocellulose feedstocks uit vooral Oost Europa kunnen een wezenlijke rol spelen, maar dit vereist een gerichte land- en bosbouwstrategie. Invoer vanuit derde landen blijft waarschijnlijk deels goedkoper, zeker voor de landen met geschikte zeehavens zoals Nederland.

Ook voor 2020 geldt dat de mondiale beschikbaarheid van duurzame biomassa in principe voldoende kan zijn, mits voldoende wordt geïnvesteerd in duurzame gewasproductie en logistieke capaciteit. Een belangrijk aspect hierbij zijn de indirecte effecten van mogelijke verschuivingen in landgebruik. Gericht beleid en toepassing van een ILUC factor bij de berekening van broeikasgasemissies, zijn noodzakelijk om duurzaamheid te waarborgen.

### *Beschikbaarheid biomassa in Nederland*

Geschat wordt dat minder dan de helft van de vraag naar biomassa in Nederland beschikbaar zal zijn. Uitgaande van bestaande technologieën en grondstofstromen, is volgens Koppejan (2009) op dit moment ruim 10 Mton ds biomassa beschikbaar voor energieopwekking. Daarmee kan 45 PJ aan finale energie worden opgewekt. Afhankelijk van het gekozen economische scenario stijgt de beschikbaarheid van binnenlandse biomassa naar 14 -16 Mton ds in 2020, waarmee ca. 53-94 PJ aan finale energie kan worden opgewekt. Om deze beschikbaarheid ook daadwerkelijk te realiseren is het nodig om significante maatregelen te nemen. Zo helpt het aanzienlijk als digestaat als kunstmestvervanger mag worden aangemerkt. Ook dient technologie te worden ontwikkeld om primaire bijproducten kosteneffectief te oogsten en voor te bewerken.

Om beleidsdoelstellingen te halen is Nederland ook in de toekomst in sterke mate afhankelijk van import. Dit betekent dat naast de opbouw van het potentieel voor biomassaproductie ook de

---

<sup>13</sup> Met een mean value van ca 300 EJ

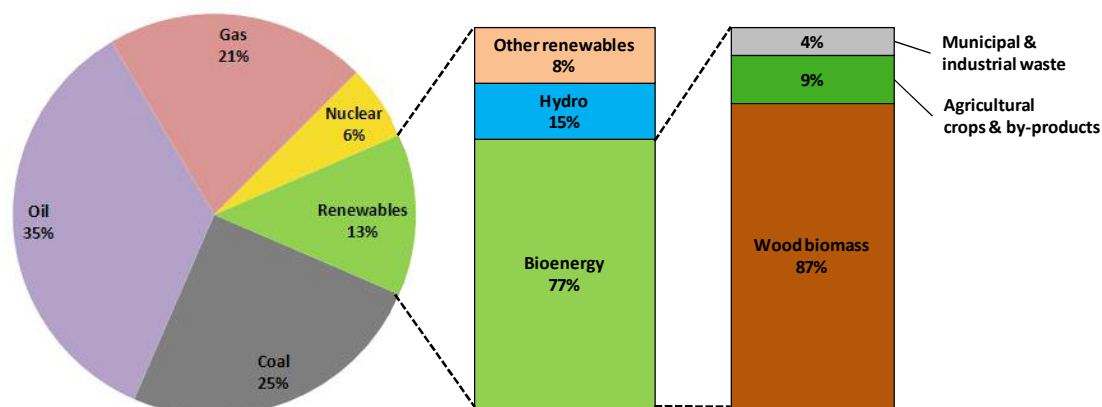
infrastructuur voor handel en transport van belang is. Temeer omdat ook de vraag naar biomassa stijgt in andere landen (inclusief de producerende landen). De ontwikkeling van tweede generatie biobrandstoffen kan hierbij profiteren van de biomassaketens die nu al worden opgebouwd in de elektriciteitssector.

### Conclusie

De voorlopige conclusie is dat duurzame biomassa die niet concurreert met voedselvoorziening en voldoet aan duurzaamheidscriteria (inclusief criteria voor ILUC) in principe in 2020 voldoende beschikbaar gemaakt kan worden. Hiervoor is actief beleid nodig om de productie van deze duurzame biomassastromen verder te ontwikkelen. Ook is er voldoende landbouwgrond beschikbaar, bijvoorbeeld in Oost Europa. Wel is mogelijk een verschuiving nodig in productieregio's, omdat deze sterk kunnen verschillen in mogelijke indirecte verschuivingen in landgebruik. Uitgangspunt dient hierbij te zijn dat de productie van bio-energie onderdeel wordt van een efficiënt landbouwsysteem, waarbinnen voedsel en/of veevoer wordt geproduceerd en de kringloop van nutriënten wordt gesloten. Geschat wordt dat minder dan de helft in Nederland zelf beschikbaar is om de beleidsdoelstellingen te halen. Wereldwijd lijkt voldoende duurzame biomassa beschikbaar te kunnen worden gemaakt (bijvoorbeeld reststromen, teelt op gedegradeerde gronden), maar duidelijk is dat hiervoor efficiencyverbetering in de landbouw (ook voor voedselproductie), ontwikkeling van tweede generatietechnologie en een effectief beleid om ILUC te voorkomen noodzakelijke voorwaarden zijn. Om grootschalige duurzame productie te realiseren is in ieder geval tijd en technologische ontwikkeling nodig.

### 3. Wat zijn de verwachtingen van biomassa als groene grondstof?

Tot aan het eind van de jaren negentig werd biomassa vooral gezien als een regionale energiebron. In geïndustrialiseerde landen is het aandeel bio-energie in de totale energiemix slechts 3%, terwijl in ontwikkelingslanden het aandeel 22% is. Daar is bio-energie vooral energiebron voor verwarming en koken.



**Figuur 1.** Aandeel bio-energie in het mondiale energiegebruik. Gebaseerd op IEA (2008) en IPCC (2007).

Er is veel veranderd sindsdien en de verwachtingen van biomassa zijn groot nu. Deskundigen schatten dat de hoeveelheden biomassa en biobrandstoffen die wereldwijd verhandeld worden, ieder jaar zullen verdubbelen. Er zijn onderzoeksprogramma's om de productie van biomassa te verhogen via plantenveredeling of via relatief nieuwe routes zoals aquatische biomassa. Er zijn

initiatieven in de chemie en in de staalsector om biomassa te benutten. Er is al een grote inzet van biomassa in de elektriciteitssector.

Het IEA analyseert de economische en technische aspecten voor toepassing van biomassa in de energiesector. Hieruit blijkt dat er een grote toekomst is voorzien voor groene grondstoffen.

#### *Kosten*

ETP-analyses van de IEA voorspellen dat wereldwijd tot 2020 olie een goedkopere brandstof is dan biobrandstof. En in de elektriciteitscentrales zijn kolen goedkoper dan biomassa. Deze situatie kan echter nog voor 2020 veranderen als CO<sub>2</sub>-uitstoot een hoge prijs krijgt of bij een (eventueel impliciete) verplichting van CCS. In de elektriciteitssector is de inzet van biomassa nu een iets goedkopere manier om aan de duurzaamheidsdoelstellingen te voldoen dan wind op zee en zon. Op lange termijn wordt voorspeld dat wind en zon goedkoper worden.

Kortom, biomassa kan nu meestal niet direct concurreren met fossiel, ook al zijn er uitzonderingen (bijvoorbeeld warmte/kracht toepassingen en het gebruik van goedkopere rest- en afvalstromen) en is de situatie anders voor ethanol uit suikerriet. Indien de uitstoot van CO<sub>2</sub> een hogere prijs krijgt, en/of indien de omschakeling op duurzame elektriciteit wordt gestimuleerd, ligt grootschalige inzet van biomassa ook nog voor 2020 voor de hand.

#### *Kosten na 2020*

Van belang is globaal te verkennen wat er na 2020 gebeurt. Waar en onder welke voorwaarden is grootschalige inzet van biomassa te verwachten? Bij een olieprijs van 75 \$ wordt de inzet van biomassa in de elektriciteitssector, in benzine en in de chemie min of meer concurrerend, zelfs indien er geen CO<sub>2</sub> prijs betaald hoeft te worden. De inzet van biomassa in de dieselsector wordt ook bij een prijs van 75 \$ betaalbaar. Een redelijke prijs voor CO<sub>2</sub> kan biodiesel relatief nog goedkoper maken. Daarentegen is het ook mogelijk dat bij een grote vraag naar biobrandstoffen niet de productiekosten van de biomassa leidend zullen zijn, maar dat de prijs van biobrandstoffen die van olie zal gaan volgen.

#### *Efficiëntie*

De verwachting is dat marktwerking en de CO<sub>2</sub> prijs tot een efficiënte inzet van biomassa zullen leiden. In Bijlage 3 is een overzicht opgenomen van de efficiëntie van de verschillende biomassatoepassingen, in termen van kosten per ton vermeden CO<sub>2</sub> en per hectare vermeden CO<sub>2</sub> per jaar. Door technologie- en kostenontwikkeling zullen verschuivingen plaatsvinden in wat de meest efficiënte inzet is. Inzet in de dieselsector en in de chemie sector leidt op lange termijn tot de meeste vermeden fossiele energie. Op korte termijn wordt efficiëntie het meest gediend door biomassa in te zetten in de elektriciteits- (en warmte/kracht) centrales (vermijdt per ton biomassa het meeste CO<sub>2</sub>), in de staalindustrie, in niches in de chemie en door inzet van bio-ethanol uit suikerriet. Netto vermeden CO<sub>2</sub>-emissies hangen echter af van het referentiesysteem en de efficiëntie van de productie en het gebruik van biomassa. Uit analyses<sup>14</sup> blijkt dat onder voorwaarden van een open, internationaal georiënteerde economie en ontwikkeling van tweede generatietechnologie biomassa in 2030 wordt ingezet in de elektriciteitssector, de diesel en in materialen (chemie en staal). Het gebruik van biomassa voor elektriciteit wordt op langere termijn echter minder aantrekkelijk, omdat belangrijke alternatieven (zoals windenergie, CO<sub>2</sub> afvang, zonne-energie) steeds competitiever worden.

---

14 Bijvoorbeeld Hoefnagels et al. Analysis of the economic impact of large scale deployment of biomass resources, synthesis report. April 2009; IPCC, 2007: Mitigation contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.), Cambridge University Press, Cambridge United Kingdom and New York, USA, 2007. Pp. 619-690.

### *Overige aspecten*

Ook in Nederland zijn de verwachtingen groot voor de inzet van biomassa: er is een rol voorzien voor de Rotterdamse haven, Nederlandse bedrijven, universiteiten en bestaande infrastructuur zoals pijpleidingen. Dat brengt naar verwachting nieuwe werkgelegenheid (SER brengt advies uit medio 2010).

Aangezien niet-duurzame biomassa overvloedig aanwezig is en qua prijs binnen afzienbare tijd (2020 of wat later) in sommige regio's kan gaan concurreren met olie is wereldwijd beleid nodig dat voorkomt dat de inzet van biomassa ten koste gaat van de voedselvoorziening en van de natuur. De ontwikkeling van nieuwe tweede generatie technologie, duurzame teeltsystemen en logistieke capaciteit zijn hierbij cruciale randvoorwaarden.

### *Conclusie*

Op dit moment en naar verwachting tot ongeveer 2020 is de inzet van biomassa voor elektriciteit en warmte efficiënter dan voor transport (in termen van kosten per CO<sub>2</sub> reductie). Uit analyses blijkt dat onder voorwaarden van een open, internationaal georiënteerde economie en ontwikkeling van tweede generatietechnologie biomassa in 2030 wordt ingezet voor diesel, materialen (de chemie, staal) en de elektriciteitssector.

## **4. Technologie ontwikkeling en leercurves**

Op dit moment bestaan al enkele belangrijke bio-energiesystemen, voor zowel de transport- als de elektriciteitssector. Het gaat dan vooral om de productie van ethanol uit suikerriet en warmte- en krachtgeneratie uit residuen en afvalstromen.

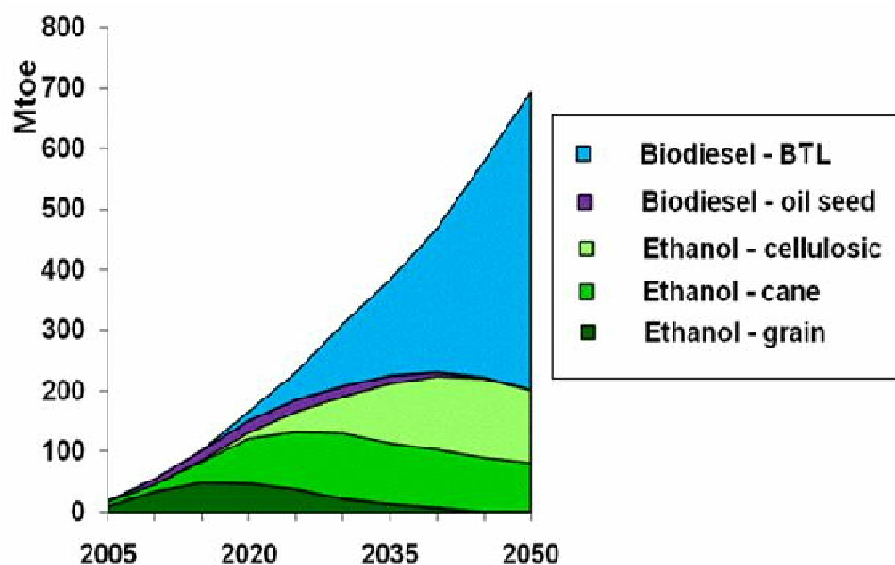
In de transportsector is de inzet van de weinig efficiënte eerste generatie agrobrandstoffen (bijvoorbeeld die uit de EU en de VS, maar ook de meeste eenjarige voedselgewassen) niet gewenst. Een snelle ontwikkeling van tweede generatie brandstoffen en technologieën is essentieel om op een duurzame wijze de duurzame energiedoelstelling in de transportsector te realiseren. Deze paragraaf gaat in op de ontwikkeling en leercurves van de verschillende technologieën. In Bijlage 4 is een overzicht opgenomen van de verschillende technologieën in de elektriciteits- en transportsector.

### *Tweede generatie biobrandstoffen*

Na 2020 wordt door de IEA een snelle stijging van de productie van tweede generatie biobrandstoffen verwacht en onder voorwaarden zullen deze concurreren met fossiel (olieprijzen van 60-70 USD/vat). Dit is wel afhankelijk van de schaal waarop de technologie ingang doet (er moet voldoende omvang zijn). Daarnaast zijn er voor sommige technologieën hoge aanloopkosten (vooral synthetische brandstoffen geproduceerd via vergassing zoals FT-diesel). Dat betekent dat voor de markt zekerheid moet bestaan dat langdurig committent bestaat voor ontwikkeling van deze technologie. Daarom adviseert de CDB subdoelstellingen voor tweede generatie biobrandstoffen op te nemen in beleid.

De IEA laat in haar Energy Technology Perspectives zien dat op langere termijn (2030) eerste generatie feedstocks aanzienlijk duurder zijn dan tweede generatie (gras, hout). Figuur 2 laat zien dat naar verwachting de inzet van tweede generatie biobrandstoffen in 2050 vele malen groter zal zijn dan van eerste generatie. Vooral na 2020 wordt een snelle toename in de productie van tweede generatie biobrandstoffen verwacht, die leidt tot een bijna complete verdringing van eerste generatie biobrandstoffen behalve ethanol gebaseerd op rietsuiker. Uit Bijlage 4 kan geconcludeerd

worden dat de kosten van deze (niet suikerrietgebaseerde) eerste generatie brandstoffen ook op de lange termijn niet zullen dalen.



**Figuur 2:** IEA – ETP (2008) projecties van de implementatie van verschillende biobrandstoffen onder voorwaarden van een scenario met 50% CO<sub>2</sub> reductie in 2050.

De conclusie uit de ETP analyses is dat tweede generatie biobrandstoffen na 2020 concurrerend worden met olie, zelfs als de CO<sub>2</sub>-uitstoot min of meer gratis blijft. Hiervoor zijn twee kanttekeningen op zijn plaats:

1. De technologie moet nog wel verder ontwikkeld worden en op grote schaal worden gerealiseerd. Lange termijn garanties zijn nodig. Hiervoor is het investeringsklimaat in de komende tien jaar cruciaal.
2. Ethanol eerste generatie (suikerriet) blijft ook op lange termijn goedkoper dan tweede generatie. Dat geldt ook in sommige regio's voor eerste generatie biodiesel. Deze verwachting is overigens afhankelijk van de prijs voor eetbare oliën: als deze sterk stijgt, zal ook de prijs van eerste generatie brandstoffen stijgen. Dit geeft de noodzaak aan voor actief beleid om negatieve indirecte effecten te voorkomen (ILUC factor).

#### *Algentechnologie*

Algen als grondstof voor brandstoffen hebben de afgelopen jaren veel aandacht gekregen. Toch constateert de CDB dat er nauwelijks harde data beschikbaar zijn die aantonen dat algen op korte termijn een commercieel interessante biomassaproductie route voor energie zijn. Er bestaan op dit moment geen commerciële productieschema's voor brandstof (of andere energie) uit algen. Wel zijn er projecten waar algen geteeld worden voor nichemarkten in de chemie en de voedselsector waar het energierendement geen rol speelt. Hoewel deze optie absoluut wezenlijke R&D inspanningen verdient is op dit moment onduidelijk hoe algen een rol van betekenis kunnen spelen in de komende decennia. In dit advies wordt daarom geen verdere invulling gegeven voor een te verwachten aandeel van algen in de energie- en materiaalvoorziening in Nederland.

#### *Elektrisch transport*

In de transportsector gaat de ontwikkeling van elektrisch transport snel (elektrische auto's en zgn. plug-in hybride auto's of range-extender hybrides die zowel op elektriciteit als op brandstoffen kunnen rijden). Hierbij is de verwachting dat er pas na 2020 een significant marktaandeel elektrische auto's kan zijn.

Het is in principe efficiënt biomassa eerst om te zetten in elektriciteit en vervolgens elektrische auto's te gebruiken. Rechtstreekse inzet van biobrandstoffen in benzine of dieselmotoren is minder efficiënt. Elektrische auto's zijn in principe ook efficiënter dan tweede generatie biobrandstoffen. Zowel de accutechnologie als de tweede generatie biobrandstoffen zullen zich de komende jaren snel ontwikkelen; niet duidelijk is welke technologie zich sneller ontwikkelt. Elektrisch transport heeft daarnaast ook grote voordelen voor de lokale luchtkwaliteit. Daar staat tegenover dat auto's op een verbrandingsmotor de komende jaren ook beduidend efficiënter zullen worden en veel schoner.

Belangrijk om te realiseren is dat elektriciteit niet alle energievraag in transport kan dekken: elektriciteit is voorlopig geen optie voor vrachtwagens, vliegtuigen en boten. Deze drie vertegenwoordigen een groot deel van de huidige en toekomstige vraag naar transportbrandstof (in ieder geval meer dan de helft). Tevens is duidelijk dat ook in het resterende personenvervoer de inzet van elektriciteit is begrensd. Schattingen in beschikbare literatuur lopen uiteen, maar in ieder geval de helft van het toekomstige energiegebruik van personenauto's zal ook op langere termijn uit vloeibare energiedragers moeten komen. Dit pleit dus voor de ontwikkeling van tweede generatie brandstoffen en toepassing in hybride auto-aandrijvingen.

De inzet van biomassa voor elektrische auto's is efficiënt, omdat het gemiddelde rendement van een auto met verbrandingsmotor veel lager is dan dat van een elektriciteitscentrale. Maar er zijn twee belangrijke kanttekeningen.

- 1) De emissievoordelen van elektrische auto's ten opzichte van conventionele diesel en benzine auto's is afhankelijk van de wijze waarop de elektriciteit is opgewekt: emissievoordelen zijn het grootst bij de inzet van duurzame elektriciteit (d.w.z. uit hernieuwbare bronnen en/of met inzet van CO<sub>2</sub> afvang en opslag), en beperkter bij gascentrales. Bij inzet van alleen kolenstroom nemen emissies per gereden kilometer fors toe, tenzij door bijvoorbeeld het Europese emissiehandelssysteem (ETS) een forse CO<sub>2</sub> emissiereductie wordt gestimuleerd. Toerekening van alleen duurzame elektriciteitsproductie aan elektrisch vervoer zal het aandeel duurzame elektriciteit voor andere sectoren en gebruikers (bv. groene stroommarkt) verminderen, of de productie van duurzame elektriciteit moet sneller toenemen dan waar nu op wordt ingezet.
- 2) Elektrische voertuigen zijn vooralsnog aanmerkelijk duurder dan conventionele voertuigen. Hoewel kostenreducties mogelijk zijn (wat ook geldt voor hybride aandrijvingen), is niet evident dat elektrische auto's per gereden kilometer goedkoper zullen worden vergeleken met belangrijke referentietechnologieën. Bestaande studies naar elektrisch vervoer schatten de CO<sub>2</sub> vermijdingskosten vanuit maatschappelijk perspectief als hoog (zonder accijnzen: ECN/PBL 300 euro per ton CO<sub>2</sub>) en vanuit consumenten perspectief (met accijnzen) als behoorlijk hoog. De kosteneffectiviteit van GHG emissiereductie van elektrisch vervoer is daarmee echter nu nog vrij onzeker.

#### *Rijden op groen gas*

Groen gas (vergisting van organische reststromen of vergassing van lignocellulose materiaal) kan als brandstof voor verbrandingsmotoren worden gebruikt. De mate waarin groen gas kan concurreren met andere brandstoffen is sterk afhankelijk van de gebruikte biomassa: vergisting van reststromen is economisch aantrekkelijker dan de teelt van biomassa (bijv. energiemais). De potentie van vergisting van organische reststromen alleen is niet voldoende om de grote volumes te produceren die nodig zijn voor de transportsector; de energetische waarde van deze reststromen is beperkt, en ook de efficiency van de conversie in groen gas. Op de lange termijn is vergassing van biomassa een optie, waarbij gebruik wordt gemaakt van dezelfde biomassastromen als voor tweede generatie biobrandstoffen.



De productie van biogas via vergisting van natte reststromen lijkt in Nederland maximaal 10-15 PJ te kunnen bedragen. De productie van SNG via vergassing van lignocellulose biomassa lijkt technisch sterk op productie van vloeibare tweede generatiebiobrandstoffen. De feedstock is gelijk. De economische vooruitzichten van de SNG route zijn niet evident beter dan die van vloeibare brandstoffen, hoewel opschaling en technologisch leren de kosten van SNG omlaag kunnen brengen. Productie en gebruik van gas is qua distributie en opslag (vooral in voertuigen) altijd lastiger dan gebruik van vloeibare dragers. De inzet van biogas (SNG) in de transportsector is daarmee niet evident.

De inzet van biogas uit natte biomassa reststromen voor elektriciteit en warmte is ook een interessante en nu nog goedkopere optie. Omdat op dit moment biotoepassing in transport meer waard is door de verplichting van biobrandstoffen en door de accijnzen op import van bio-ethanol uit Brazilië, is er wel een beleidsmatige druk om biogas in de transportsector in te zetten. Dit is een extra argument om een beter level playing field te creëren in de markt voor de verschillende biomassa toepassingen.

## **5. Wat is nodig om duurzaamheid te garanderen?**

In de Europese Richtlijn Hernieuwbare Energie en de Europese Brandstofkwaliteitsrichtlijn worden duurzaamheidseisen verplicht gesteld. Ook indirecte effecten (verschuivingen in landgebruik (ILUC) en beïnvloeding voedselprijzen) moeten onderdeel zijn van een duurzaamheidstoets. De Europese Commissie zal in de komende jaren hiervoor beleid uitwerken. Echter, de inzet van biomassa voor energie en transport zal rond 2020 mogelijk gaan concurreren met fossiele energie. Het afdwingen van duurzaamheidseisen in een stimuleringsbeleid voor biobrandstoffen is dan niet meer vanzelfsprekend. Daarom maakt de CDB de inschatting dat de duurzaamheid van biomassaketens onder druk kan blijven staan. Omdat biobrandstoffen concurrerend lijken te gaan worden met fossiele brandstoffen, zullen deze op termijn zelfs zonder verplichting worden ingezet. De landbouwsector zal zijn producten verkopen aan de hoogste bidder en het is zeker voorstelbaar dat dit de brandstofsector is. Voor de Europese brandstofsector en de Amerikaanse oliemaatschappijen gelden vergelijkbare duurzaamheidsverplichtingen bij bijmengen van biobrandstoffen. Die gelden vooralsnog niet in andere delen van de wereld, waardoor er op termijn een verdringingseffect kan optreden: de duurzaam geproduceerde biomassa gaat naar de VS of de EU, de rest gaat (vanaf het moment dat de prijs concurrerend is met olie) naar de brandstofsector in andere delen van de wereld of naar de voedselsector. Door concurrentie tussen voedsel en brandstof kunnen de prijzen van voedsel en vruchtbaar land stijgen; de gebalanceerde ontwikkeling van biomassaproductie voor energie en meer efficiënte landbouw en veeteelt zijn daarom cruciaal (zie ook het ILUC advies van de CDB).

De grootschalige inzet van reststromen in de toekomst (zowel in de elektriciteitssector als de transportsector) vraagt eveneens om een evaluatie van het duurzaamheidskader. De duurzaamheidscriteria voor reststromen zijn nog niet goed uitgewerkt. Vooral grootschalige inzet van agrarische reststromen, of reststromen uit de bosbouw, kunnen mogelijk leiden tot verarming van de bodem. Ook kan verdringing optreden van huidige toepassingen van deze reststromen.

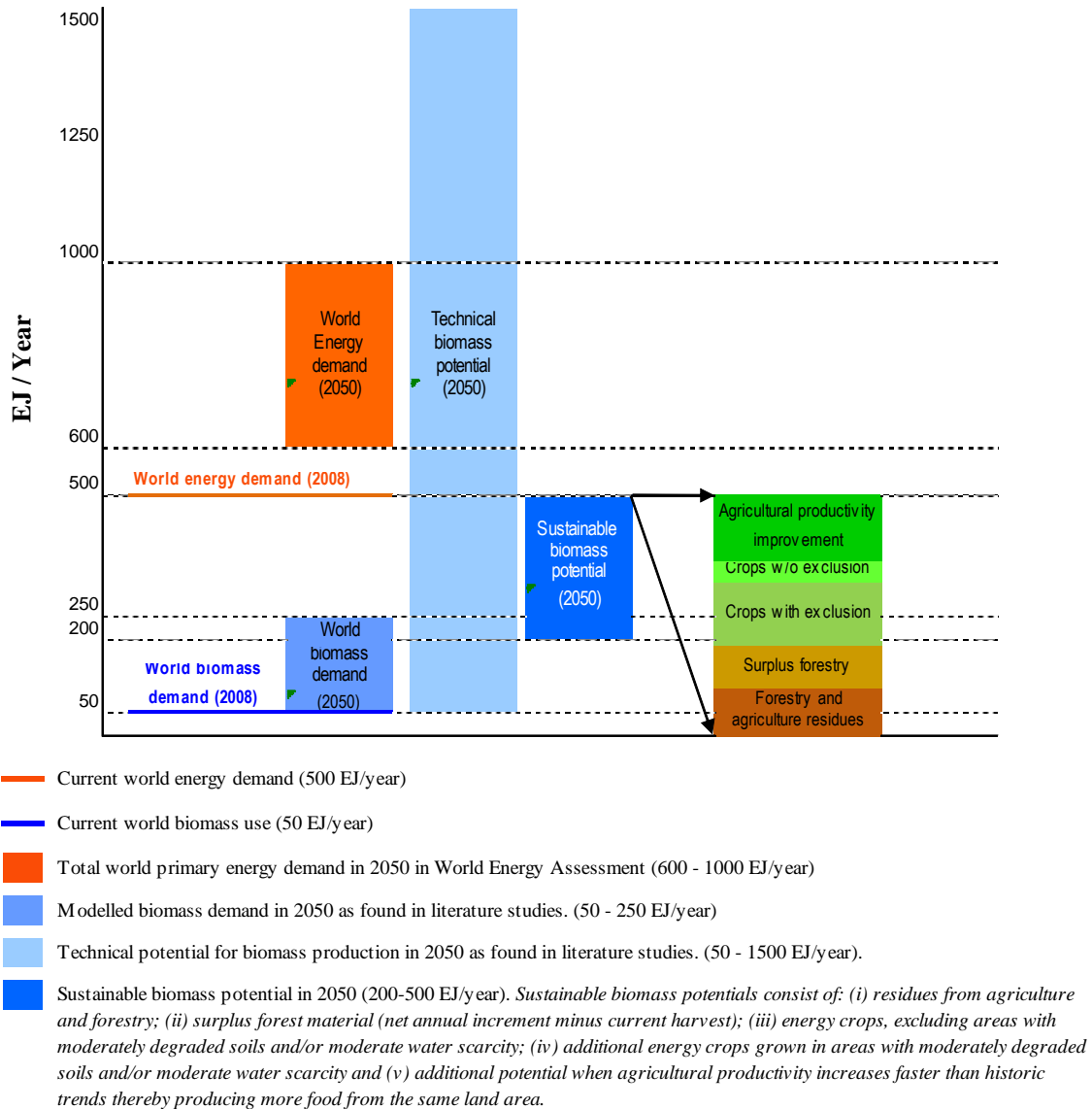
De CDB is van mening dat volop gewerkt moet worden aan een adequaat duurzaamheidskader. Er zijn meerdere wegen om dit te doen:

1. Aanvullend wettelijk kader dat duurzaamheidscriteria voor alle bijmenging van biobrandstoffen en alle gebruik van biomassa verplicht stelt, en inspanning om dit wettelijke kader tot wereldwijde norm te maken. Nederland moet een pro-actieve en

- leidende rol spelen, bv. in alliantie met andere koplopers als Duitsland en het Verenigd Koninkrijk, richting de EC, GBEP en diverse roundtable initiatieven omdat te stimuleren.
2. Ontwerp een strategie die duurzaamheid bevordert en garandeert. Een strategie is nodig die grootschalige productie van duurzame biomassa realiseert. Indirecte effecten (veranderingen in landverschuivingen, voedselprijzen) moeten deel uit maken van eisen aan duurzaamheid. Duurzame ketens van biomassa moeten worden ontwikkeld.
  3. Neem de ILUC-factor serieus en investeer in maatregelen die ILUC voorkomen: tweede generatiebiobrandstoffen die optimaal gebruik maken van biomassastromen (met de nadruk op reststromen), in gebruikname van marginale en gedegradeerde gronden voor meerjarige gewassen, en investeren in efficiëntie van de landbouw en veeteelt die geleidelijk gronden vrij kan spelen voor (duurzame) co-productie van meerjarige teelten. Vermijd stimulering van eerste generatiebiobrandstoffen die niet aan een ILUC-factor voldoen.
  4. Ontwikkel technologieën gebaseerd op elektriciteit als reële alternatieven in de transportsector. Dit vermindert de vraag naar olie en daarmee naar biomassa als alternatief voor olie. Ook energiebesparing is daarvoor een erg belangrijke optie.
  5. Op de langere termijn is een mondiaal systeem dat natuur en bossen beschermt vanuit de klimaatonderhandelingen (REDD) en of uit de Biodiversiteitsconventie cruciaal om verdere aantasting vanuit landbouw, veeteelt, houtsector, papiersector en energie/transportsector te voorkomen. Gezien de ontwikkeling in deze verschillende markten (meer vraag naar vlees, meer vraag naar biomassa vanuit energie en transportsector etc.) is een stevige beleidsinspanning vanuit Nederland en de EU gerechtvaardigd met als doel om in 2020/2025 een situatie te hebben waarin mondiaal bossen en natuur beschermd worden (via normering of via het economisch waarderen).

## Bijlage 1. Biomass supply potentials and biomass demand

The following figure shows the technical biomass supply potentials, the sustainable biomass potential, expected demand for biomass (primary energy) based on global energy models and expected total world primary energy demand in 2050.



**Figure B 1.1:** Technical biomass supply potentials, sustainable biomass potential, expected demand for biomass (primary energy) based on global energy models and expected total world primary energy demand in 2050. Adapted from Dornburg et al. (2008) based on several review studies.

The sustainable biomass potentials in figure 1.1 consist of: (i) Residues: Agricultural and forestry residues; (ii) Forestry: surplus forest material (net annual increment minus current harvest); (iii) Exclusion of areas: potential from energy crops, leaving out areas with moderately degraded soils and/or moderate water scarcity; (iv) No exclusion: additional potential from energy crops in areas with moderately degraded soils and/or moderate water scarcity; (v) Learning in agricultural technology: additional potential when agricultural productivity increases faster than historic trend.

The following ranges are found for the different main biomass resource categories:

- Residues from forestry and agriculture and organic waste, which in total represent between 40 - 170 EJ/yr, with a mean estimate of around 100 EJ/yr. This part of the potential biomass supplies is relatively certain, although competing applications may push the net availability for energy applications to the lower end of the range.
- Surplus forestry, i.e. apart from forestry residues an additional amount about 60-100 EJ/yr of surplus forest growth is likely to be available.
- Biomass produced via cropping systems:
  - A lower estimate for energy crop production *on possible surplus good quality agricultural and pasture lands*, including far reaching corrections for water scarcity, land degradation and new land claims for nature reserves represents an estimated 120 EJ/yr ("*with exclusion of areas*" in figure 2.1)
  - The potential contribution of *water scarce, marginal and degraded lands* for energy crop production, could amount up to an additional 70 EJ/yr. This would comprise a large area where water scarcity provides limitations and soil degradation is more severe and excludes current nature protection areas from biomass production ("*no exclusion*" in figure 2.1).
  - Learning in agricultural technology assumes that improvements in agricultural and livestock management or more optimistic than in the baseline projection (i.e. comparable to conditions sketched in the SRES A1 and B1 scenario's) would add some 140 EJ/yr to the above mentioned potentials of energy cropping.

The three categories added together lead to a biomass supply *potential* of up to about 500 EJ. Energy demand models calculating the amount of biomass used if energy demands are supplied cost-efficiently at different carbon tax regimes, estimate that in 2050 about 50-250 EJ/yr of biomass are used. This is roughly in line with the projections given by the IPCC and displayed in figure 2.1. At the same time, scenario analyses predict a global primary energy use of about 600 – 1040 EJ/yr in 2050. Thus, up to 2050, biomass has the potential to meet a substantial share of the worlds energy demand; the average of the range given in figure 2.8.4 results in a contribution bioenergy of some 30% to total primary energy demand.

However, if the sketched conditions are not met, the biomass resource base may be largely constrained to a share of the biomass residues and organic wastes, some cultivation of bioenergy crops on marginal and degraded lands and some regions where biomass is evidently a cheaper energy supply option compared to the main reference options (which is the case for sugar cane based ethanol production). Biomass supplies may then remain limited to an estimated 100 EJ in 2050. Also this is discussed in van Vuuren et al., 2009 and confirmed by the scenario review in chapter 10 of the SRREN.

A more problematic situation arises when the development of biomass resources (both residues and cultivated biomass) may fail to keep up with demand. Although the higher end of biomass supply estimates (2050) further than the maximum projected biomass demand, the net availability of biomass *can* also be considerably lower than the 2050 estimates. If biomass supplies fall short, this is likely to lead to significant price increases of raw material, thereby directly affecting the economic feasibility of various biomass applications. Generally, biomass feedstock costs can cover 30-50% of the production costs of secondary energy carriers, so increasing feedstock prices will quickly slow down growth of biomass demand (but simultaneously stimulate investments in biomass production). To date, very limited research on such interactions, especially on global scale, is available.

## Bijlage 2. Key factors influencing bioenergy potentials

Table B 2.1 provides an overview (derived from an assessment reported in Dornburg et al., 2008) of global biomass resource potentials and factors that determine their availability for energy.

**Table B 2.1:** Key factors influencing bioenergy potentials, their respective weight and key recommendations on how potentials could be developed and uncertainties reduced.

Importance of the issues on the range of estimated biomass potentials:

\*\*\*- large, \*\* - medium, \* – small

Issue/ effect	Impor tance	Recommended activities to reduce uncertainties
<i>Supply potential of biomass</i>		
Improvement agricultural management	***	Insight in development pathways in how efficiency of agriculture and livestock can be increased in a sustainable manner and for different settings and feasible rates of improvement need to be integrated in modelling frameworks.
Choice of crops	***	Importance of lignocellulosic biomass production systems for different settings. Under certain conditions, sugar cane and palm oil could still be feasible options on longer term as well. Much more market experience with such production systems needed in different settings, including degraded and marginal lands, intercropping schemes (e.g. agro-forestry) and management of grasslands. The latter is an important land-use category on which current understanding and data needs improvement.
Food demand	***	Increases in food demand beyond the base scenarios (e.g. up to 9 billion people in 2050) that were the focus in this study will strongly affect possibilities for bio-energy.
Use of degraded land	***	Represents a significant share of possible biomass resource supplies. Experiences with recultivation and knowledge on these lands (that represent a wide diversity of settings) are limited so far. More research is required to assess the cause of marginality and degradation and the perspectives for taking the land into cultivation.
Competition for water	***	Energy crop production potentials may be constrained by water availability in different regions, which is significant already in some regions and will increase in the future. Constraints in water supplies and sustainable management need ultimately to be studied at water basins scale.
Use of agricultural /forestry by-products	**	Their net availability can be improved by better infrastructure and logistics. Key areas for research and sustainable management are maintaining sound organic matter levels in soils and nutrient balances.
Protected area expansion	**	Increased ambition levels for nature reserves on global scale can have a significant impact on net land availability for biomass production. Land exclusion assumptions in the available studies, however, seem to overlap with the potential future land claims for nature and further modelling work and improved databases are desired. Furthermore, more insights are desired in how land use planning including new bio-energy crops can maximize biodiversity benefits. Evaluating biodiversity impacts on regional level is still a field under scientific development and more fundamental work is needed in this arena.
Water use	**	An important factor in the equation is improvement of water use

efficiency		efficiency in both current agriculture (and of biomass production itself). This suggests that for various areas water management is prime design parameter for sustainable biomass production and land-use management.
Climate change	**	<p>The impact of climate change on agricultural production and productivity of lands could be significant, but exact effects are also uncertain.</p> <p>Although agriculture may face serious barriers due to climate change, this may also enhance the need for alternative adaptation measures to avoid soil losses and maintain vegetation covers. Biomass production (again especially via perennial systems) may than play a role as adaptation measure.</p>
Alternative protein chains	**	Possible but very uncertain reversal of current diet trends, i.e. introduction of more novel plant protein products (as alternative for meat) could on the longer term strongly reduce land and water demand for food.
Demand for biomaterials	*	Demand for biomass to produce biomaterials (both conventional as building material as new ones as bulk bio-based chemicals and plastics) can be a significant factor, but is limited due to market size (compared to demand for energy carriers). Furthermore, biomaterials will also end up as (organic) waste material later in their lifecycle, indirectly adding to increased availability of organic wastes. In many cases this 'cascaded use' of biomass increases the net mitigation effect of biomass use. For some biomaterial markets specific cropping and plantation systems may be required due to demands of the biomass composition. Biomaterials are so far poorly integrated as a factor in energy models and as mitigation option. This can be improved in further work to understand the interactions between different flows and markets better (also in macro-economic terms).
GHG balances of biomass chains	*	The net GHG performance of biomass production systems is not identified as a limiting factor for the potential provided perennial cropping systems are considered. Also, striving for biomass production that is similar or better than previous land use (e.g. grasslands that remain grasslands or trees that replace annual crops) generally improves the overall carbon balance. This can also be true for replanting of degraded lands. The key factor in the net carbon balance is leakage. Avoiding leakage is directly related to increased efficiency in agriculture and livestock and net carbon impacts of biomass production should include this dimension. Such dynamics should ideally also be incorporated in future modelling exercises.

### Bijlage 3. Efficiënte inzet van biomassa

Efficiëntie van biomassa inzet kan het beste worden geïllustreerd aan de hand van de parameters €/ton vermeden CO<sub>2</sub> en ton vermeden CO<sub>2</sub>/ha/a. Een indicatie van de efficiëntie van de verschillende beschouwde biomassa toepassingen op deze parameters zijn geschat aan de hand van (JEC, 2009)/(JEC, 2007)<sup>15</sup>, waar nodig aangevuld met andere bronnen. Hierbij is een vergelijking gemaakt met de fossiele referenties zoals beschouwd in (JEC, 2009)/(JEC, 2007). Voor alle routes is uitgegaan van geteelde biomassa, vanwege de – uiteindelijk – beperkte beschikbaarheid van reststromen. De vergelijking is uitgevoerd vanuit een Nederlands perspectief: toepassing van lokaal geproduceerde en geïmporteerde biomassa in Nederland. Het is bij biobrandstoffen en andere producten in principe ook mogelijk en misschien ook goedkoper eindproducten te importeren. Een goede vergelijking met warmteproductie en in mindere mate ook met elektriciteit, groen gas en biostaal routes is dan echter niet te maken.

Vergeleken met de nu in de EU geproduceerde eerste generatie biobrandstoffen bieden biobrandstoffen uit tropische gewassen (palmolie, rietsuiker ethanol) een duidelijk efficiënter alternatief in vermijdingskosten, landgebruik en GHG emissiereductie – zolang er geen sprake is van ILUC.

De tweede generatie biobrandstoffen zijn in vergelijking met in de EU geproduceerde eerste generatie biobrandstoffen waarschijnlijk efficiënter wat betreft landgebruik en GHG emissiereductie en op termijn ook wat betreft vermijdingskosten.

Voor productie van chemische grondstoffen kunnen vergelijkbare conclusies worden getrokken, zoals geïllustreerd middels het voorbeeld voor nafta uit biomassa. De route is iets minder kosteffectief vanwege de lagere marktprijs voor de referentie, fossiele nafta.

Bioplastics direct uit biomassa (vooral uit voedselgewassen) zijn op dit moment geen efficiënte manier van biomassa toepassing. Wel worden ze in westerse landen steeds meer ingezet voor verpakkingen vanuit imago redenen.

Bij groen gas is van groot belang wat wordt beschouwd en waarmee het wordt vergeleken. Bij grootschalige vergistinginstallaties, zoals gepland in Zweden (tot 25 MW<sub>biogas</sub>) zouden de productiekosten op het niveau van de huidige gasprijs voor kleingebruikers (€ 16/GJ) kunnen komen te liggen. Het zou voor kleingebruikers die groen gas certificaten kopen een kosteneffectieve en dus economisch gezien efficiënte maatregel zijn. Dit voordeel verdamt echter wanneer wordt vergeleken met de commodityprijs. Biogas is efficiënter dan de referentie wat betreft landgebruik en is vergelijkbaar wat betreft reductie van broeikasgasemissies.

Gebruik van biomassa voor elektriciteit, industriële warmte en voor ruimteverwarming in de bebouwde omgeving is in vergelijking met de nu in de EU geproduceerde eerste generatie biobrandstoffen efficiënter wat betreft landgebruik en GHG emissiereductie. Gebruik van biomassa voor elektriciteit en warmte kunnen ook economisch gezien efficiëntere routes zijn wanneer goedkope houtchips kunnen worden toegepast. Voor ruimteverwarming is overigens vergeleken met de kleingebruiker aardgasprijs, omdat de houtchips rechtstreeks door de consument zullen worden gebruikt.

Overigens is bij industriële warmte en bij ruimteverwarming steeds uitgegaan van realisatie van een nieuwe houtgestookte boiler als vervanging van een aardgasgestookte ketel. Maar in de praktijk blijkt het vaak ook goed mogelijk – tegen aanzienlijk lagere investeringen - bestaande industriële ketels om te bouwen voor houtpoederstook of dual fuel stook van aardgas en houtpoeder (zie Ingenia, 2005). Deze route zou in dat geval economisch zeer aantrekkelijk kunnen zijn en negatieve vermijdingskosten voor broeikasgassen kunnen geven.

---

<sup>15</sup> De rapporten van Edwards et al (JEC, 2009)/(JEC, 2007) vormen de onderbouwing voor de Europese Renewable Energy Directive en mogen als gezaghebbend worden beschouwd.

Voor bioproducten is het vanwege het vrijwel compleet ontbreken van informatie moeilijk een conclusie met betrekking tot effectiviteit te geven. In het algemeen zijn bioproducten als smeermiddelen, oplosmiddelen, verduurzamingmiddelen, weekmakers, verven en inktten nog aanzienlijk duurder dan de fossiele referentie producten (zie ook Croezen, 2006<sup>b</sup>) – zoals in de tabel geïllustreerd voor smeermiddelen – en daarmee vanuit kosteneffectiviteit oogpunt minder aantrekkelijk. Bioproducten kunnen echter additionele voordelen hebben, met name een veel lagere toxiciteit bij gebruik, waardoor ze wel aantrekkelijk zouden kunnen zijn. Dit aspect wordt in deze globale analyse echter niet beschouwd.

Bij 'biostaal' is uitgegaan van vervanging van injectiekolen door getorreficeerd hout in het hoogovenproces. Er is aangenomen dat het getorreficeerde materiaal steenkool in een verhouding van 1 MJ ÷ 1 MJ kan vervangen.



**Tabel 3.4: Geschatte score van biomassa techniek combinaties op efficiëntie parameters bij een olieprijs van € 50/bbl**

(Gebaseerd op bronnen opgenomen in de literatuurlijst).

Toepassings-mogelijkheden biomassa in Nederland	GJ/ha	€/ton vermeden CO2	ton CO2-eq/ha/a	Reductie GHG emissies	GHG balans (kg CO2-eq/GJ)	Kostprijs (€/GJ)
Bio-elektriciteit, USC CFBC (zie Lagisza) op SRC hout (GJe)	71 - 119	152 - 4	6,3 - 14,1	68% - 91%	41,1 - 12,0	29,3 - 16,3
Bio-warmte uit chips						
- bebouwde omgeving (GJth)	159 - 239	88 - 6	7,8 - 14,6	73% - 91%	18,3 - 6,0	20,3 - 16,3
- industrieel (GJth)	150 - 226	77 - -3	7,7 - 14,5	73% - 91%	19,4 - 6,3	11,3 - 7,1
Biotransportbrandstof (GJtransport)						
1e generatie suikerriet ethanol - FOB EU prijs, ex heffing	134	61	9	1	13	16
1e generatie in de EU						
- tarwe met gasgestookte WKK	41	102	1	0	49	16
- koolzaad biodiesel	48	100	2	1	42	17
- NExBtL palmolie (conservatieve olie-opbrengst)	148	83	10	1	25	17
2e generatie biofuel						
- bio-ethanol uit SRC hout	61 - 133	382 - 36	3,8 - 8,2	74% - 74%	22,0 - 22,0	35,5 - 14,1
- FT diesel uit SRC hout	75 - 146	273 - 45	6,3 - 12,3	93% - 93%	6,3 - 6,3	34,9 - 15,7
Groen Gas - twee teelten per jaar (maïs, wintergerst)	142 - 142	461 - 216	5,7 - 5,7	63% - 63%	23,5 - 23,5	25,8 - 16,0
Bio plastics: - kentallen per ton						
- PLA (Nature Works)	-	n.v.t.	-	10% - -10%	3,3 - 3,3	3,3 - 3,3
- Zetmeelpolymeer	-	875 - 875	-	67% - 67%	1,0 - 1,0	2,8 - 2,8
Biochemie - FT nafta uit SCR hout	75 - 146	308 - 61	5,8 - 11,3	92% - 92%	6,3 - 6,3	34,9 - 15,7
Bioproduct (voorbeeld: smeerolie)	48 - 48	333 - 333	0,1 - 0,1	77% - 77%	0,5 - 0,5	1,5 - 1,5
Biostaal - SRC hout pellets	168 - 252	90 - 46	15,6 - 27,7	84% - 100%	17,3 -	10,8 - 7,6

#### Bijlage 4. Key technologies and development perspectives

Table B 4.1: Performance projections for different biomass options to produce heat and power.

Short term is 5 years; longer term is >20 years. Based on: Hamelinck and Faaij, 2006; Faaij 2006; Bauen et al., 2009b, IEA Bioenergy, 2007.

Biomass feedstock category	Heat		Electricity	
	Short term; roughly stabilizing market	Longer term	Short term; strong growth market worldwide	Longer term; growth may stabilize due to competition of alternative options
Organic wastes (i.e. MSW etc.)	Undesirable for domestic purposes (emissions); industrial use attractive; in general competitive.	Especially attractive in industrial setting and CHP. (advanced combustion and gasification for fuel gas)	<3 – 5 U\$ct for state-of-the art waste incineration and co-combustion. Economics strongly affected by tipping fees and emission standards.	Similar range; improvements in efficiency and environmental performance, in particular through IG/CC technology at large scale.
Residues: - Forestry - Agriculture	Major market in developing countries (<1-5 U\$/kWhth); stabilizing market in industrialized countries.	Especially attractive in industrial setting and CHP. Advanced heating systems (domestic) possible but not on global scale	4-12 U\$ct/kWh (see below; major variable is supply costs of biomass); lower costs also in CHP operation and industrial setting depending on heat demand.	2-8 U\$ct/kWh (see below; major variable is supply costs of biomass)
Energy crops: (perennials)	N.A.	Unlikely market due to high costs feedstock for lower value energy carrier; possible niches for pellet or charcoal production in specific contexts	6-15 U\$ct/kWh High costs for small scale power generation with high quality feedstock (wood) lower costs for large scale (i.e. >100 MWth) state-of-the art combustion (wood, grasses) and co-combustion.	3-9 U\$ct/kWh Low costs especially possible with advanced co-firing schemes and BIG/CC technology over 100-200 MWe.

Table B 4.2: Projected performance data for main conversion routes of biomass to fuels. Short term is 5 years; longer term is >20 years. O&M = Operation & Maintenance costs. Based on: Hamelinck and Faaij, 2006; Faaij 2006; Bauen et al., 2009b, IEA Bioenergy, 2007.

Concept	Energy efficiency (HHV) + energy inputs		Investment costs (Euro/kWth input capacity)		O&M (% of inv.)	Estimated production costs (Euro/GJ fuel)	
	Short term	Longer term	Short term	Longer term		Short term	Longer term
<b>Hydrogen:</b> via biomass gasification and subsequent syngas processing. Combined fuel and power production possible; for production of liquid hydrogen additional electricity use should be taken into account.	60% (fuel only) (+ 0.19 GJe/GJ H2 for liquid hydrogen)	55% (fuel) 6% (power) (+ 0.19 GJe/GJ H2 for liquid hydrogen)	480 (+ 48 for liquefying)	360 (+ 33 for liquefying)	4	9-12	4-8
<b>Methanol:</b> via biomass gasification and subsequent syngas processing. Combined fuel and power production possible	55% (fuel only)	48% (fuel) 12% (power)	690	530	4	10-15	6-8
<b>Fischer-Tropsch liquids:</b> via biomass gasification and subsequent syngas processing. Combined fuel and power production possible	45% (fuel only)	45% (fuel) 10% (power)	720	540	4	12-17	7-9
<b>Ethanol from wood:</b> production takes place via hydrolysis techniques and subsequent fermentation and includes integrated electricity production of unprocessed components.	46% (fuel) 4% (power)	53% (fuel) 8% (power)	350	180	6	12-17	5-7
<b>Ethanol from beet sugar:</b> production via fermentation; some additional energy inputs are needed for distillation.	43% (fuel only) 0.065 GJe + 0.24 GJth/GJ EtOH	43% (fuel only) 0.035 GJe + 0.18 GJth/GJ EtOH	290	170	5	25-35	20-30
<b>Ethanol from sugar cane:</b> production via cane crushing and fermentation and power generation from the bagasse. Mill size, advanced power generation and optimised energy efficiency and distillation can reduce costs further on longer term.	85 litre EtOH per tonne of wet cane, generally energy neutral with respect to power and heat	95 litre EtOH per tonne of wet cane. Electricity surpluses depend on plant lay-out and power generation technology.	100 ( range depending on scale and technology applied)	230 (higher costs due to more advanced equipment)	2	8-12	7-8
<b>Biodiesel RME:</b> takes places via extraction (pressing) and subsequent esterification. Methanol is an energy input. It is assumed that surpluses of straw are used for power production.	88%; 0.01 GJe + 0.04 GJ MeOH per GJ output Efficiency power generation on shorter term: 45%, on longer term: 55%		150 (+ 450 for power generation from straw)	110 (+ 250 for power generation from straw)	5 4	25-40	20-30

### *Closing remarks on cost trends*

Despite the complexities of determining the economic performance of bioenergy systems and regional specificities, there are several key conclusions that can be drawn from available experiences and literature:

- There are several important bioenergy systems today, most notably sugar cane based ethanol production and heat and power generation from residual and waste biomass that can be deployed competitively.
- There is clear evidence that further improvements in power generation technologies, supply systems of biomass and production of perennial cropping systems can bring the costs power (and heat) generation from biomass down to attractive cost levels in many regions, especially when competing with natural gas. In case carbon taxes of some 20-30 U\$/ton would be deployed (or when CCS would be deployed), biomass can also be competitive with coal based power generation. Nevertheless, the competitive production of bio-electricity depends also on the performance of alternatives such as wind and solar energy, CCS and nuclear energy.
- There is clear evidence that technological learning and related cost reductions do occur with comparable progress ratio's as for other renewable energy technologies. This is true for cropping systems (following progress in agricultural management when annual crops are concerned), supply systems and logistics (as clearly observed in Scandinavia, as well as international logistics) and in conversion (ethanol production, power generation, biogas and biodiesel).
- With respect to second generation biofuels, recent analyses have indicated that the improvement potential is large enough to make them compete with oil prices of 60-70 U\$/barrel. Currently available scenario analyses indicate that if R&D and market support on shorter term is strong, technological progress could allow for this around 2020 (depending on oil price developments as well as carbon pricing). Scenario's also indicate that this would mean a major shift in the deployment of biomass for energy, since competitive production would decouple deployment from policy targets (mandates) and demand from biomass would move away from food crops to biomass residues, forest biomass and perennial cropping systems. The implications of such a (rapid) shift are so far poorly studied.
- Data availability is poor with respect to production of biomaterials; cost estimations of for example production of chemicals from biomass are very rare in peer reviewed literature and future projections and learning rates even more so. This is also the case for bio-CCS concepts, which are not deployed at present and cost trends are not available in literature. Nevertheless, recent scenario analyses indicate that advanced biomaterials (and cascaded use of biomass) as well as bio-CCS may become very attractive mitigation options on medium term. It is therefore important to gain experience and more detailed analyses on those options.

## Literatuur

Asilio Bauen, Göran Berndes, Martin Junginger, Marc Londo, François Vuille, Robert Ball, Tjasa Bole, Claire Chudziak (E4tech), André Faaij, Hamid Mozaffarian, BIOENERGY – A SUSTAINABLE AND RELIABLE ENERGY SOURCE  
A review of status and prospects

Bergman, 2005  
Combined torrefaction and pelletisation, the TOP process  
P.C.A. Bergman  
ECN, Petten July 2005

D. de Boer en I. de Jong  
Biomassa-installatie Beetsterzwaag, duurzame energie uit houtsingels voor Revalidatie Friesland en School Lyndensteyn  
Dienst Landelijk Gebied regio Noord, LNV, 200@

Croezen, 2006a  
Wood pellets from Canada (IEA )  
CE Delft, 2006

Croezen, 2006b  
Is er een vruchtbare toekomst voor groene grondstoffen in Nederland?  
Een evaluatie ten behoeve van het transitie management  
H.J. Croezen, G.C. Bergsma, M.C.M. Koot  
CE Delft, 19 juni 2006

DENA, 2006  
Biomass to Liquid – BtL Realisierungsstudie, Zusammenfassung  
Anonymus  
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, Dezember 2006

Veronika Dornburg, André Faaij, Hans Langeveld, Gerrie van de Ven, Flip Wester, Herman van Keulen, Kees van Diepen, Jan Ros, Detlef van Vuuren, Gert Jan van den Born , Mark van Oorschot, Fleur Smout, Harry Aiking, Marc Londo, Hamid Mozaffarian, Koen Smekens, Marieke Meeusen, Martin Banse, Erik Lysen, Sander van Egmond, *Biomass Assessment: Assessment of global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy – Main Report*, Study performed by Copernicus Institute – Utrecht University, MNP, LEI, WUR-PPS, ECN, IVM and the Utrecht Centre for Energy Research, within the framework of the Netherlands Research Programme on Scientific Assessment and Policy Analysis for Climate Change. Reportno: WAB 500102012, January 2008. Pp. 85 + Appendices.

ECN, 2009  
Conceptadvies basisbedragen 2010, voor elektriciteit en groen gas in het kader van de SDE regeling  
S.M. Lensink et al  
ECN, Petten, juni 2009

Energiekansen Bommelerwaard  
Ecofys, Utrecht, Juni 2007

Energiebesparing met alternatieve verwarmingssystemen in de vleeskuikenhouderij  
H. Ellen, D. van Rijn, J.H. Smeets  
Alterra, Wageningen, Mei 2008

André Faaij, *Modern biomass conversion technologies*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Volume 11, No. 2, March 2006, Pages 335-367.

C. Hamelinck, A.Faaij, *Outlook for advanced biofuels*. Energy Policy, Volume 34, Issue 17, November 2006, Pages 3268-3283

Carlo N. Hamelinck, Roald A.A. Suurs, André P.C. Faaij, *Techno-economic analysis of International Bio-energy Trade Chains*. Biomass & Bioenergy, Vol. 29, Issue 2, August 2005, Pages 114-134

Carlo N. Hamelinck, Geertje van Hooijdonk, André P.C. Faaij, *Future prospects for the production of ethanol from ligno-cellulosic biomass*. Biomass & Bioenergy, Vol. 28, Issue 4, April 2005, Pages 384-410

Ric Hoefnagels, Veronika Dornburg, Martin Banse, André Faaij, *Analysis of the Economic Impact of Large-Scale Deployment of Biomass Resources for Energy and Materials in the Netherlands Macro-economics biobased - Synthesis Report*, Report prepared for PGG – Platform Green Resources by the Copernicus Institute – Utrecht University, department of Science, Technology & Society and the Agricultural Economics Institute, Published by SenterNOVEM, April 2009, Pp. 40.

IEA-ETP, 2008. Energy Technology Perspectives Report, Paris-France, 2008

IEA-WEO. 2009. World Energy Outlook 2009. International Energy Agency, Paris, France, Paris Ingenia, 2005

Conversie van Industriële Boilers op Biobrandstoffen  
W.R. van der Waall, R. Verberne, A. Hoogendoorn  
Ingenia Consultants & Engineers , Eindhoven, 17 juni 2005

IPCC, 2007: Mitigation contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.), Cambridge University Press, Cambridge United Kingdom and New York, USA, 2007. Pp. 619-690.

IPCC, 2010, [Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation \(SRREN\)](#) (First Order Draft, 2010)

JEC, 2007, R. Edwards et al., Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context , version 2c, EUCAR, CONCAWE and JRC, March 2007

JEC, 2009, R. Edwards et al., Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context , version 3, EUCAR, CONCAWE and JRC, November 2008

Giglio, 2009  
World's largest CFBC begins commercial operation  
B. Giglio  
Coalpower magazine, December 2009

Kammonen, 2008  
Neste Oil to build a NexBTL renewable diesel plant in Rotterdam

Neste Oil Corporation stock exchange release 13 June 2008

Koppejan, 2009, Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor warmte en elektriciteit in 2020  
J. Koppejan et al, Procede Biomass B.V., November 2009

BUSINESS CASE BIOMASSA BEEKBERGSE POORT

L. Kuiper et al, Projectnummer: PBIONL071163

Ecofys, Utrecht, Januari 2008

Langholtz, 2006

The economic feasibility of reclaiming phosphate mined lands with short-rotation woody crops in Florida

M. Langholtz et al

Journal of forest economics 12 (2007) 237 – 249

Londo, 2004

Willow short-rotation coppice in multiple land-use systems: evaluation of four combination options in the Dutch context

M. Londo, M. Roose, J. Dekker, H. de Graaf

Biomass and Bioenergy 27 (2004) 205 – 221, January 2004

Perlack, 1995

Biomass fuel from woody crops for electric power generation

R.D. Perlack et al

Oak Ridge National Laboratory, USA, September 1995

Pfeiffer, 2009

High percentage biomass co-firing, developments in fluid bed combustion and gasification

E. Pfeiffer, M. van de Ven

Presentatie op IEA Task 32 bijeenkomst 30 juni 2009 in Hamburg

Renew, 2008

RENEW – Renewable fuels for advanced powertrains

Cost assessment

F. Müller-Langer, A. Vogel, S. Brauer

Institute for energy and environment, Leipzig, Germany, February 2008

Welke nieuwe energiecentrale in Nederland – de vergeten kosten

M.N. Sevenster, H.J. Croezen

CE Delft, Delft, 2007

E. Smeets, A. Faaij, *The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bio-energy production applied for case studies in Brazil and Ukraine*. Biomass & Bioenergy, In Press, Corrected Proof, Available online 20 November 2009

Edward M.W. Smeets, André P.C. Faaij, Iris M. Lewandowski, Wim C. Turkenburg, *A quickscan of global bio-energy potentials to 2050*. Progress in Energy and Combustion Science, Volume 33, Issue 1, February 2007, Pages 56-106

Michiel J.A. Tijmensen, Andre P.C. Faaij, Carlo N. Hamelinck, Martijn R.M. van Hardeveld, *Exploration of the possibilities for production of Fischer Tropsch liquids via biomass gasification*, Biomass & Bioenergy, Vol 23. No. 2, pp. 129-152, 2002.

A. Uslu, A.P.C. Faaij, P.C.A. Bergman, *Pre-treatment technologies, and their effect on international bioenergy supply chain logistics. Techno-economic evaluation of torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation*. *Energy, the International Journal*, Volume 33, Issue 8, August 2008, Pages 1206-1223.

Detlef P. van Vuuren, Jasper van Vliet and Elke Stehfest, *Future bio-energy potential under various natural constraints* [Energy Policy](#), Volume 37, Issue 11, November 2009, Pages 4220-4230