



Goed gebruik van biomassa

Rapport
Delft, april 2010

Opgesteld door:
G.C. (Geert) Bergsma
B.E. (Bettina) Kampman
H.J. (Harry) Croezen



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

G.C. (Geert) Bergsma, B. E. (Bettina) Kampman, H.J. (Harry) Croezen

Goed gebruik van biomassa

Delft, CE Delft, april 2010

Overheidsbeleid / Biomassa / Gebruik / Duurzaam produceren / Grondstoffen / Normstelling / Technologie / Analyse

Publicatienummer: 10.8179.26

Opdrachtgever: Platform Groene Grondstoffen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl.

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Geert Bergsma.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.



Voorwoord

Biomassa kan in verschillende sectoren worden ingezet. Regelmatig komt de vraag op in welke sector dat het beste kan. In dit rapport wordt deze kwestie verkend en worden er op hoofdlijnen conclusies getrokken. Met name voor overheidsbeleid dat zich meer op goed gebruik van biomassa zou kunnen richten.

Bij het opstellen van dit rapport zijn wij sterk uitgedaagd en geholpen door een actieve begeleidingscommissie. Wij zijn met name dank verschuldigd aan:

- Harry Droog, (Voorzitter Platform Duurzame Elektriciteit);
- Johan Sanders, (lid Platform Groene Grondstoffen);
- Ton Runneboom (Voorzitter Platform Groene Grondstoffen);
- Willem Wiskerke (Stichting Natuur en Milieu);
- Kees Kwant (Agentschap NL).





Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Probleemstelling	11
1.2 Drie zichtjaren: 2010, 2020 en 2030/2040	12
1.3 Huidig biomassagebruik	12
1.4 Goed gebruik gaat over de hele keten	12
1.5 Biomassa beschikbaarheid	13
1.6 Nederlandse biomassa	15
1.7 Opzet rapport	16
2 Criteria voor goed gebruik van biomassa	17
2.1 Wat is goed gebruik?	17
2.2 Goed gebruik op de korte versus lange termijn	19
2.3 Conclusie criteria voor goed gebruik van biomassa	19
3 Biomassatechniekcombinaties getoetst aan de criteria	21
3.1 Biomassa toepasbaar in verschillende markten	21
3.2 Biomassa beste toepassing 2010	24
3.3 Biomassa beste toepassing 2020/2030	26
3.4 Competitie om houtige biomassa in 2020-2030	28
3.5 Doorkijk 2040	29
3.6 Macro economische waarde	30
3.7 Conclusies goed gebruik	31
4 ‘Goed’ biomassabeleid	33
4.1 Inleiding	33
4.2 Overheidsbeleid biomassa	33
4.3 Verschillen goed gebruik en beleid	34
4.4 Cultuurverschillen in biomassa gebruikende sectoren	35
4.5 Sector verschillen en level playing field	37
5 Adviezen voor beleid ten behoeve van goed gebruik biomassa	41
5.1 Conclusies	41
5.2 Aanbevelingen goed gebruik	42
6 Cases groen gas en hout	43
6.1 De afwegingen in de praktijk	43
Literatuur	47
Bijlage A Eerdere analyses van goed gebruik biomassa	55



Bijlage B	SDE omgerekend naar €/ton CO₂	61
Bijlage C	€/ton CO₂ en ha inschatting 2020-2040	65
C.1	Toelichting bij resultaten	68
C.2	Gehanteerde uitgangspunten	70



Samenvatting

Biomassa kan gebruikt worden in veel verschillende toepassingen en sectoren. Nu steeds duidelijker wordt dat het aanbod van duurzaam geproduceerde biomassa beperkt is, komt de vraag naar voren wat de beste plekken in economie zijn om biomassa in te zetten. Kort gezegd is de vraag: Wat is goed gebruik van biomassa?

Op dit moment wordt wereldwijd 13% van het energieverbruik geleverd door duurzame bronnen. Biomassa vult hiervan meer dan $\frac{3}{4}$ in. Daarvan is weer bijna 90% houtige biomassa. Verbranden van biomassa voor productie van warmte en/of elektriciteit is daarbij de dominante techniek. In een beperkte maar toenemende hoeveelheid worden daarnaast vloeibare biobrandstoffen voor transport geproduceerd uit landbouwgewassen. Ook wordt biomassa ingezet in de chemie (bijvoorbeeld voor het maken van zeep) en als product (bijvoorbeeld als constructiemateriaal in de bouw).

Wereldwijd wijzen analyses op een duurzaam te ontwikkelen biomassapotentieel uit residuen van landbouw en bosbouw van 100 EJ op de lange termijn. Dit is 20% van het huidige mondiale energieverbruik. Als de landbouwintensivering sneller gaat dan de toename van de voedselvraag is het ook mogelijk om hier bovenop beperkt speciaal geteelde gewassen te gebruiken. Nederland kan zelf in 2020 naar verwachting ca. 0,15 EJ aan biomassa produceren. Het gaat dan vooral om houtige reststromen, mest en het biodeel in gemengde afvalstromen. Nederland zal daarnaast een importeur van biomassa blijven.

Criteria voor goed gebruik van biomassa

Voor een analyse van goed gebruik is het cruciaal vast te stellen wat we verstaan onder goed. Op basis van eerdere analyses en discussies met het Platform Groene Grondstoffen kwamen we tot de volgende criteria:

- een hoge CO₂-reductie per Euro meerkosten¹;
- een hoge CO₂-reductie per ha landgebruik per jaar;
- een zo groot mogelijke bijdrage aan de Nederlandse economie;
- een bijdrage aan de energievoorzieningszekerheid;
- een minimaal verlies van nutriënten.

In deze eerste analyses is vooral een toetsing op de eerste twee criteria uitgevoerd en een beperkte op het derde criterium.

Analyse op hoofdlijnen

Benadrukt moet worden dat de hier gepresenteerde analyse op hoofdlijnen is en dat er nog veel verdere verfijning mogelijk is. Toch geeft deze analyse al een duidelijk onderscheid tussen biomassaopties.

Conclusies 2010

Op de gehanteerde criteria scoren de volgende opties zeer goed:

1. Vergisting van mest (met weinig co-vergistingmateriaal).
2. Inzet van biomassa in de staalsector.
3. Een aantal specifieke biochemie routes (bijvoorbeeld 1,3 PDO en etheen uit suikerriet).

¹ De CO₂-reductie dient hierbij berekend te worden inclusief de (indirecte) effecten van landgebruiksverandering (ILUC). Omdat hier nog volop onderzoek naar wordt gedaan is dit aspect in dit rapport nu slechts beperkt meegenomen.



Redelijk scoren:

4. Bijstoken van biomassa bij kolencentrales.
5. Bio-WKK.
6. Een aantal biochemieopties.
7. Bio-ethanol uit suikerriet (daarbij aangenomen dat er geen groot effect optreedt van indirecte landgebruiksverandering).
8. Co-vergisting van mest.

Matig tot slecht scoren:

9. Biodiesel uit koolzaad, palmolie en soja-olie.
10. Bio-ethanol uit tarwe of maïs.

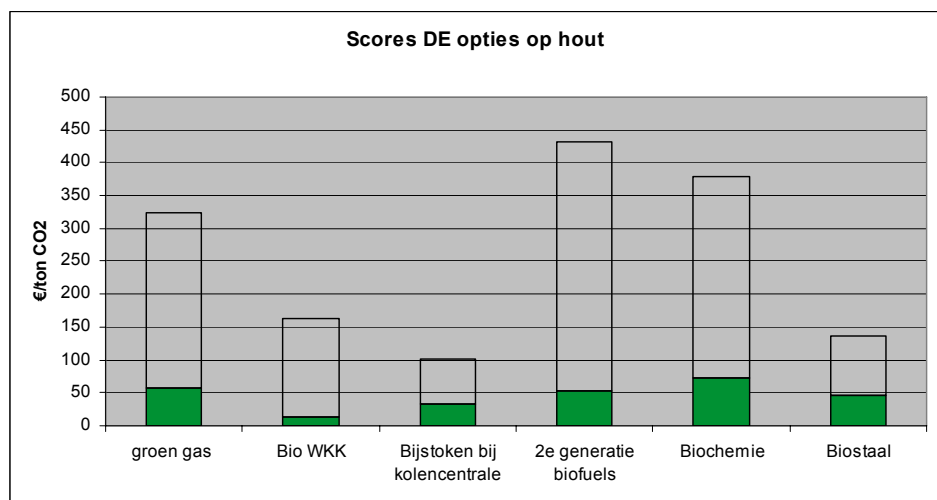
2020-2030

Op basis van een brede set van bestaande literatuur zijn er inschattingen gemaakt voor technieken voor 2020-2030. De voorspelling daarbij is dat er vooral veel houtige biomassa gebruikt zal worden (bijproducten en reststromen). Deze stromen kunnen dan ingezet worden als bron voor:

- elektriciteit en warmte;
- transportbrandstof;
- chemie;
- staal;
- producten.

Op voorhand is niet te zeggen welke toepassingen de voorkeur hebben, met uitzondering van bio-WKK (dat zeer goed scoort). In Figuur 1 is af te lezen dat de kostenranges van deze opties elkaar overlappen. Er is dus een stevige competitie om biomassa te verwachten. Met zoveel verschillende biomassagebruikers wordt het steeds belangrijker om het biomassabeleid voor deze sectoren op elkaar af te stemmen. Met name voor de elektriciteitssector is het ook zaak om te vergelijken met andere opties als bijvoorbeeld windenergie. De prijs daarvan ligt in dezelfde orde als die van de gunstige bioenergie-inschatting (lage houtprijs). Deze vergelijking is in deze analyse verder niet uitgevoerd.

Figuur 1 Competitie om houtige biomassa tussen verschillende sectoren (meerkosten t.o.v. fossiel per ton CO₂-emissiereductie inclusief onzekerheidsrange (laag is beter))



Advies t.a.v. goed gebruik

Op basis van deze analyses is een goed gebruiksadvies op hoofdlijnen opgesteld.

Advies goed gebruik korte termijn (tot 2020)

Gebruik: Vooral bio-elektriciteit, biowarmte, biostaal, vergisting van mest en een deel biochemie.

R&D: Duurzame grondstoffen productie (=vooral beschikbaar krijgen reststromen), biochemie, biobrandstoffen uit reststromen of houtachtige biomassa, bioraffinage, vergassing van biomassa tot groen gas.

Advies goed gebruik middellange termijn (2020-2030)

Gebruik: Bio-elektriciteit, biowarmte, biochemie, biostaal, groen gas op basis van vergisting en vergassing en biobrandstoffen uit reststromen of houtachtige biomassa.

R&D: Bioraffinage.

Advies goed gebruik lange termijn (na 2030), bij stringent klimaatbeleid

Waarschijnlijk een verschuiving via de markt van opties waar veel alternatieve duurzame opties voorhanden zijn (elektriciteit) naar andere opties (bijv. hoge temperatuur warmte, lucht- en zeescheepvaart), en een steeds grotere rol voor bioraffinage.

Scores van opties op €/ton CO₂

Opvallend is dat er een aantal chemische opties economisch rendabel gaat worden en dat toepassing voor warmte en elektriciteit relatief goedkoop zou kunnen worden. De werkelijke inzet in sectoren zal echter ook zeer sterk afhangen van enerzijds het overheidsbeleid en anderzijds de beschikbaarheid en kosten van alternatieve opties in de sector. Zo resulteert het verplichte aandeel biobrandstoffen in transport nu al in een hogere prijs voor de biomassastromen die in deze sector worden ingezet.

Scores van opties op CO₂/ha/jaar

Voor het criterium ton CO₂/ha/jaar scoren vooral opties die kolen vervangen door hout (biostaal en meestoken bij kolencentrale) zeer goed. Ook mest en andere reststromen scoren zeer goed op dit criterium omdat deze geen of weinig hectares gebruiken. Eerste generatie biobrandstoffen uit een gematigd klimaat scoren niet goed op dit criterium.

Goed biomassabeleid

De keuzes voor toepassing van biomassa worden zeer sterk gestuurd door overheidsbeleid. De huidige verplichte toepassing van biomassa in de transportsector en de subsidies voor toepassing in de elektriciteits- en gasector zijn bepalend en verstoren het level playing field voor goed gebruik. Om dit te corrigeren zou de Nederlandse overheid meer aandacht moeten hebben voor:

1. Inzet van biomassa in staalindustrie (interessante optie op korte en langere termijn maar nu nog volkomen buiten beeld).
2. Inzet van biomassa in de chemie (in kleinere markten nu al een interessante optie en op lange termijn belangrijk).
3. Efficiëntere productie en verwerking van biomassa (bijvoorbeeld middels bioraffinage).



Daarnaast zou de overheid minder moeten focussen op:

4. Inzet van eerste generatie biobrandstoffen op basis van landbouwgewassen².

Wat betreft de vorm van het beleid zouden de regelingen meer gericht moeten worden op zoveel mogelijk CO₂-reductie en weinig vruchtbaar landgebruik in plaats van de huidige stimulansen per liter, Nm³ of kWh_e omdat verschillende opties sterk verschillen in prestaties per hoeveelheid.

Naar een beleid dat een level playing field creëert

Het subsidie-instrument lijkt minder geschikt om te komen tot een echt level playing field in de beleidsondersteuning voor biomassa in alle sectoren (energie, transport, chemie en grondstoffen). Een algemene CO₂-tax is een interessante optie om in de hele economie klimaatmissies te beperken, maar is slechts beperkt bio- of DE-gericht. In principe lijken er drie instrumenten geschikt voor de verschillende sectoren om op termijn te komen tot een level playing field voor biomassaopties in de Nederlandse economie:

1. Een verplicht aandeel bio in alle relevante sectoren.
2. Een verplicht aandeel duurzaam in alle relevante sectoren.
3. Een CO₂-norm per product voor alle relevante sectoren.

Naast deze hoofdstimulansen is het waarschijnlijk nuttig om een aantal deeloptyes tijdelijk extra te stimuleren middels subsidies. De precieze fine tuning van deze opties valt buiten het kader van dit project

Aanbeveling voor vervolgonderzoek

Aanbevolen wordt om biomassaopties in de chemie beter in kaart te brengen aan de hand van de gehanteerde criteria. Daarnaast is het zinvol om de beleidsvarianten voor goed gebruik van biomassa verder uit te werken en af te wegen.

² Hierbij is aangenomen dat de indirecte broeikasgasemissies door indirect landgebruik-verandering nog niet worden beperkt. Zodra hier goed beleid voor is ingevoerd wordt wellicht een beperkte hoeveelheid eerste generatie biobrandstoffen die aan de EU duurzaamheidscriteria voldoen, interessant.



1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Biomassa kan gebruikt worden in veel verschillende toepassingen en sectoren. Al deze toepassingen verschillen in milieueffecten, kosten, landgebruik en effecten op de energievoorzieningszekerheid. Daarnaast zijn er ook substantiële verschillen tussen de sectoren op gebied van milieudoelstellingen, overheidsbeleid en de mogelijkheden om op andere manieren te verduurzamen.

Alhoewel er discussie is over de absolute hoeveelheid beschikbare duurzame biomassa, is er consensus dat de hoeveelheid duurzame biomassa beperkt is. Het lijkt dus verstandig om biomassa daar in te zetten waar een zo groot mogelijke bijdrage aan maatschappelijke doelstellingen wordt gerealiseerd.

Op een aantal plekken is er eerder gewerkt aan adviezen voor 'Goed gebruik van biomassa'. Zo heeft Ecofys voor het Platform Groene Grondstoffen een methodiek omschreven. Deze heeft veel overeenkomst met de methodiek en uitwerking die CE Delft, Öko-Institut, Clingendael en AidEnvironment hebben vastgesteld in het draft rapport 'Better Use of Biomass for Energy' (BUBE) voor twee commissies van de IEA (IEA RETD en IEA Bioenergy). Ook het Groenboek van Platform Groene Grondstoffen is interessante input voor deze discussie omdat ook daar al een beeld wordt geschetst wat het Platform ziet als optimale inzet van biomassa. Daarnaast heeft Procede BV samen met de WUR recent een potentieelstudie voor biomassa in 2020 gepubliceerd waarnaast een potentieelanalyse ook een scenarioanalyse is uitgevoerd voor elektriciteit, warmte en gastoevoering. Al deze adviezen lopen nog behoorlijk uiteen.

De komende maanden zullen de ministeries van EZ en VROM het actieplan Duurzame Energie opstellen waarin zij bepalen hoe de duurzame energiedoelstellingen voor 2020 eruit zullen zien. Idealiter wordt in dit actieplan ook rekening gehouden met een efficiënte inzet van biomassa.

Dit rapport van CE Delft geschreven in opdracht van Het Platform Groene Grondstoffen en het Platform Nieuw Gas heeft tot doel om een heldere afgewogen boodschap af te geven over efficiënte inzet van biomassa waarmee de ministeries concreet uit de voeten kunnen.

Door de oogcharen, geen complete modelbenadering

Voor dit rapport is geen compleet nieuw model opgesteld waarmee de mondiale, Europese of Nederlandse energievoorziening wordt gemodelleerd. Op basis van bestaande kennis en modellen is in interactie met de opdrachtgevers dit advies over goed gebruik van biomassa opgesteld.



1.2 Drie zichtjaren: 2010, 2020 en 2030/2040

In dit rapport hanteren we nadrukkelijk drie zichtjaren. Allereerst is er de vraag hoe biomassa nu het best kan worden ingezet (2010). Dat is goed te berekenen en te analyseren. Een aantal wetenschappelijke rapporten melden dat op de lange termijn (2030/2040) in een wereld waarin veel minder CO₂ uitgestoten mag worden dan nu (-50 à -80%) en met nieuwe technische opties (bioraffinage, tweede generatie biobrandstoffen) de preferente inzet van biomassa heel anders zou kunnen liggen.

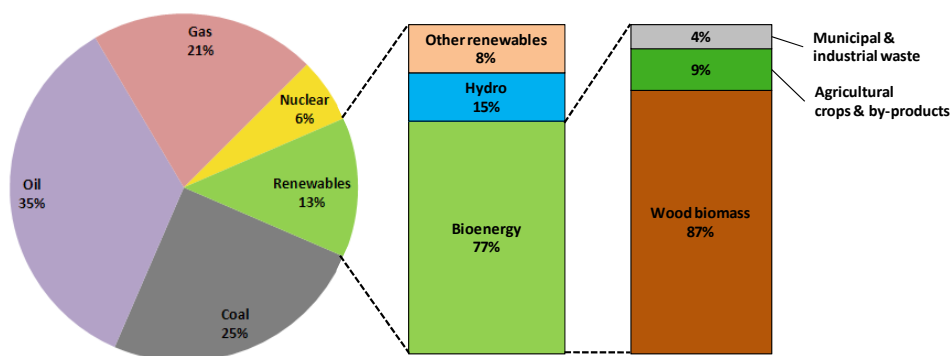
Het jaar 2020 waar veel beleidsdoelstellingen voor worden gemaakt ligt tussen nu en deze vergezichten in. Bij het formuleren van goede 'goed gebruik'-doelstellingen moet een evenwicht gevonden worden tussen het inspelen op de lange termijn verwachtingen, het stimuleren van goede ontwikkelingen en het op efficiënte wijze nu resultaat boeken.

In dit rapport wordt daarom gewerkt met gegevens van nu. Dit levert het goed gebruiksperspectief voor de korte termijn op. Daarnaast wordt met behulp van prognoses voor 2020-2040 een goed gebruiksperspectief gemaakt voor de langere termijn.

1.3 Huidig biomassagebruik

Op dit moment wordt mondiaal 13% van het energiegebruik geleverd door duurzame bronnen. Biomassa vult hiervan meer dan $\frac{3}{4}$ in. Daarvan is weer bijna 90% houtige biomassa. Verbranden van biomassa voor productie van warmte en of elektriciteit is daarbij de dominante techniek. In een beperkte hoeveelheid worden daarnaast vloeibare biobrandstoffen voor transport geproduceerd uit landbouwgewassen.

Figuur 2 Huidig mondiaal biomassagebruik voor elektriciteit en warmte en transport



Bron: Bioenergy - a Sustainable and Reliable Energy Source. IEA Bioenergy ExCo:2009:05 (gegevens van IEA 2006 en IPCC 2007).

1.4 Goed gebruik gaat over de hele keten

Biomassa is een ketenoptie. Biomassa heeft naast zonlicht bemesting, vruchtbare grond, water, etc. nodig. Daarna dient deze biomassa nog geconverteerd te worden in bruikbare energiedragers. Vanwege dit ketenaspect van biomassa wordt goed gebruik in dit rapport breed beschouwd. De kwalificatie 'goed' gaat daarom over de hele keten van productie via conversie tot gebruik.

1.5 Biomassa beschikbaarheid

Er is een stevige discussie gaande over de mondiale beschikbaarheid van biomassa in 2020-2030. Dit potentieel is sterk afhankelijk van de ontwikkeling van productiviteit van de landbouw. Bij een sterke intensivering van de landbouw is het duurzame potentieel van biomassa mondiaal behoorlijk groot in de orde van 100 à 200 EJ. De huidige mondiale energievraag is 500 EJ. Als deze intensivering van de landbouw niet gaat plaats vinden dan is het potentieel van biomassa kleiner en ligt in de orde van 33 EJ (Hoogwijk, 2003). Bindraban (2009) komt tot de conclusie dat biomassagebruik beperkt zou moeten worden tot restproducten uit de landbouw omdat de toename van de voedselvraag al moeilijk bijgehouden kan worden zonder natuur om te zetten in landbouwgrond.

Verschillende bronnen komen tot een zeer groot mondiaal potentieel aan biomassa op de lange termijn:

- Faaij, Hoogwijk e.a.: RUU: 33-1130 EJ/jr. (Hoogwijk, 2003, 2004);
- Hall e.a.: 'Available biomass' 2900 EJ/jr., waarvan 270 EJ/jr. 'sustainable use, at competitive prices';
- Royal Institute of Technology i.o. IEA: Afrika alleen al 400 EJ/jr. (Assefa, 2006);
- IPCC: 'Global technical potential' 200-400 EJ/jr., bij 'Competitive costs in 2050'.

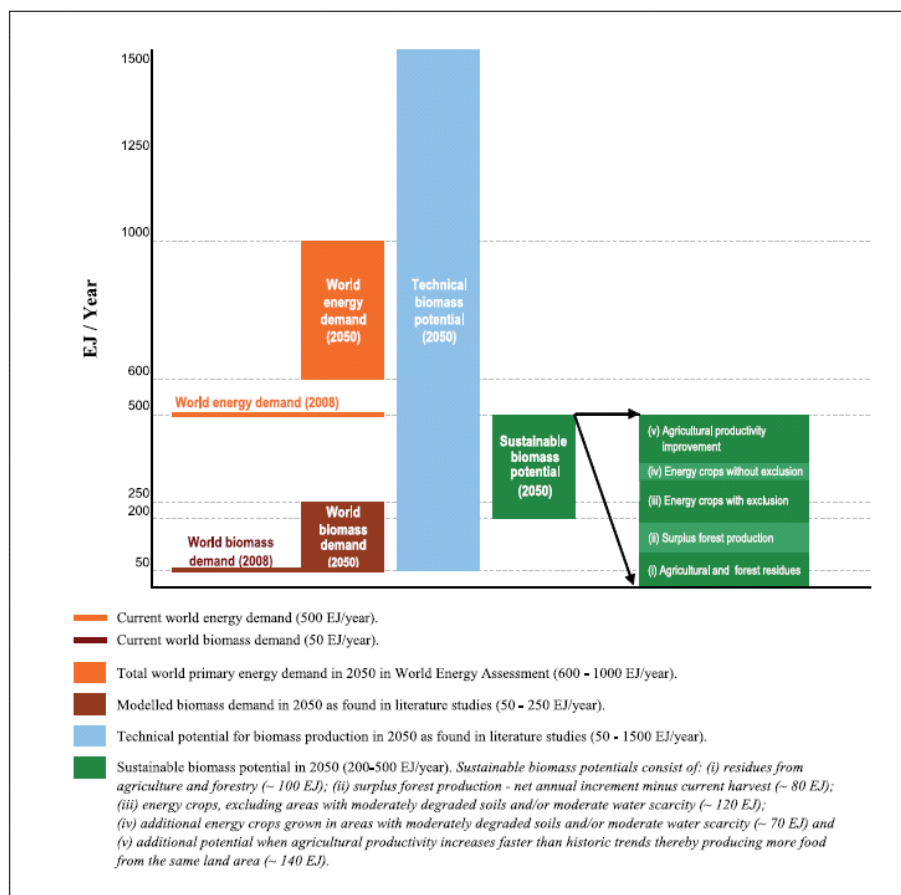
Aan de andere kant wordt vanuit de landbouwsector gewaarschuwd dat de toenemende vraag naar voedsel maakt dat al het vruchtbare land nodig is voor voedsel.

- Bindraban (2009): een beperkt potentieel voor biotransportbrandstoffen tot 2020 omdat de groeiende voedselvraag al moeilijk opgevangen kan worden door productieverhoging op bestaande landbouwgrond.
- FAO (2009); In 'How to feed the World in 2050' voorspelt ook de FAO dat alle productiviteitsgroei in de landbouw nodig is voor de stijgende voedselvraag.

Deze landbouwkundige analyses beperken het biomassapotentieel tot mondiaal 100 EJ aan residuen van land- en bosbouw. Deze 100 EJ is geïnventariseerd in de recente Bio-energy review van de IEA (zie Figuur 3).



Figuur 3 Biomassapotentieel



Bron: IEA bioenergy, 2009.

De verschillen in potentieelschattingen zijn te verklaren uit een aantal verschillen in aannames (AER, 2007):

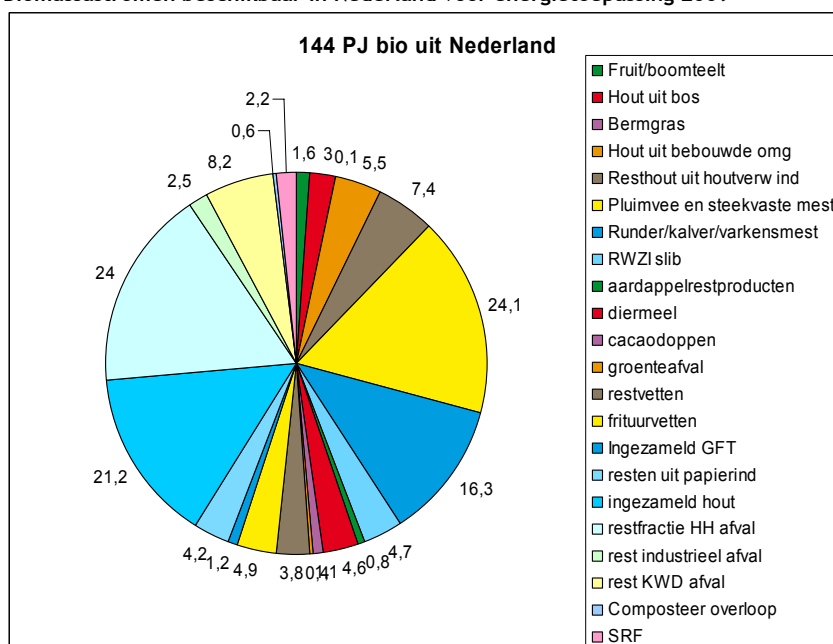
- De groei van de landbouwproductiviteit. Deze blijkt in verschillende studies op een factor 5 (tot 2050) te worden geschat (of gepostuleerd), terwijl anderen een mix van productiviteitsgroei en achteruitgang verwachten die net voldoende zal zijn om de voedselvraag te volgen.
- De logistieke beperkingen. Meestal wordt ervan uitgegaan dat de logistiek géén limiterende factor is, er zijn of komen voldoende wegen, vaarwegen, havens, etc.
- Het voedselpakket. Aannahme is veelal continuering van het mondiale voedselpakket zoals het nu is, of zelfs vermindering van vleesconsumptie. De ontwikkeling is evenwel dat met een toenemend inkomen het vleesgebruik meer dan evenredig stijgt.

Voor deze studie in het kader van de Nederlandse discussie (energievraag 3,3 EJ per jaar (CBS, 2008)) gaan we er van uit dat de Nederlandse vraag in het kader van het mondiaal potentieel relatief beperkt is. Wel is het zeer waarschijnlijk dat biomassa een marktprijs krijgt als meer landen dan Nederland biomassa willen importeren. Er is vanuit dit perspectief verder gerekend met een lange termijn marktprijs voor biomassa van 4,5 à 7,5 €/GJ (zie Bijlage C voor verantwoording van deze marktprijs).

1.6 Nederlandse biomassa

Koppejan et al. (2009) hebben recent onderzoek gedaan naar de beschikbaarheid van biomassa voor energietoepassing in Nederland. Deze studie concludeert dat vooral houtige reststromen, mest en gemengd afval biomassa-bronnen in Nederland zijn. De studie concentreert zich op de toepassing van deze grondstoffen voor energie maar in dit rapport gaan wij er verder van uit dat deze biomassa in principe ook ingezet zou kunnen worden voor bijvoorbeeld de chemie of de staalindustrie.

Figuur 4 Biomassastromen beschikbaar in Nederland voor energietoepassing 2009



Bron: Koppejan, 2009.

In Koppejan e.a. is met behulp van een scenario analyse ingeschat dat deze beschikbaarheid van biomassa voor energie 28% a 49% hoger zou kunnen zijn in 2020 (184 a 214PJ).

In deze analyse is uitgegaan van bestaand overheidsbeleid en geen verdere technologieontwikkeling (bijvoorbeeld geen bioraffinage).

Deze beschikbaarheid in Nederland wil echter niet zeggen dat deze biomassa zeker in Nederland verwerkt zal worden. Transport naar buurlanden als daar een ruimer subsidiesysteem wordt gehanteerd (Duitsland) of een duurzame energieverplichting is (België) is zeker niet ondenkbaar. Aan de andere kant is import uit buurlanden ook mogelijk.

De verwachting is derhalve dat biomassa in behoorlijke hoeveelheden op zowel de lokale als de mondiale markt beschikbaar zal zijn maar dat hier zeker een prijs voor betaald zal moeten worden. Het is derhalve des te belangrijker om de beperkt beschikbare duurzame biomassa zo goed mogelijk te gebruiken. Daarover handelt dit rapport verder.

1.7 Opzet rapport

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

- a Allereerst staan we stil bij de vraag welke criteria gesteld moeten worden voor 'goed gebruik'. Hierbij wordt geput uit een drietal workshops en uit eerdere analyses van goed gebruik zoals beschreven in Bijlage A.
- b Biomassatechniekcombinaties zijn daarna getoetst aan de belangrijkste criteria (combinaties van technieken en verschillende soorten biomassa).
- c Naast de techniek zijn er vervolgens duidelijke verschillen tussen de sectoren waar biomassa wordt toegepast. Dit speelt nadrukkelijk mee bij de ontwikkeling van het biomassabeleid tot nu toe.
- d Voor de verschillende zichtjaren kan daarna een 'goed gebruik'-advies worden vastgesteld.
- e Relevant is daarna of economische en beleidsfactoren ook sturen richting dit 'goed gebruik'-advies.
- f De verschillen tussen de trend volgens de huidige economische orde en het beleid en goed gebruik zouden tot slot verkleind kunnen worden door het beleid bij te stellen. Dit is tot slot het 'goed gebruik'-beleidsadvies.



2 Criteria voor goed gebruik van biomassa

2.1 Wat is goed gebruik?

Zoals ook al uit de analyse van eerdere studies naar goed gebruik van biomassa blijkt zijn er verschillende criteria denkbaar die worden verstaan onder het begrip 'goed'.

In onderstaande lijst hebben we de criteria gezet in de volgorde van voorkomen in eerdere rapporten over goed gebruik van biomassa (zie Bijlage A). Daarnaast is aangesloten bij de volgorde bepaald in workshops tijdens het project 'Brede inzet van biomassa' (Ecofys, 2009).

Criteria 'goed gebruik biomassa' op volgorde van importantie:

1. Maximale CO₂-emissiereductie per Euro meerkosten.
2. Minimaal vruchtbaar landgebruik (vaak uitgedrukt in CO₂ red/ha/jr.).
3. Macro-economische waarde.
4. Energievoorzieningszekerheid (soms als vooral olie vervangen).
5. Minimaal nutriëntengebruik.
6. Vooral in sectoren met weinig alternatieve klimaatopties.
7. Geen ongewenste concurrentie met voedsel.
8. Minimaal watergebruik.
9. Minimale overige emissies.
10. Minimale negatieve impact op biodiversiteit.
11. Vooral EU-grondstoffen.
12. Geen onnodig biomassatransport.
13. Level playing field.

Algemene duurzaamheidscriteria

Vrijwel alle eerdere studies gaan er van uit dat er sowieso een aantal duurzaamheidscriteria gaan gelden waar alle biomassa aan zou moeten voldoen bijvoorbeeld op het gebied van gebruik van bestrijdingsmiddelen, arbeidsomstandigheden en goed gebruik van grond. We gaan er van uit dat deze basisset van duurzaamheidscriteria ook gesteld wordt in deze analyse.



Waarom kan biomassa niet toe met Euro/ton CO₂ zoals een windmolen?

In beleidsstukken komt tot nu toe het eerste criterium het meeste voor, minimale CO₂-kosten per Euro. Dit criterium wordt vaak gebruikt om allerlei milieuopecties als windenergie, zonne-energie, energiebesparing, etc. met elkaar te vergelijken. De discussie over met name biotransportbrandstoffen uit voedselgewassen hebben ons echter geleerd dat bij biomassa-aspecten de landbouwkundige inputs water, nutriënten en vruchtbaar land ook cruciaal zijn en geoptimaliseerd moeten worden.

Steeds meer rapporten over goed gebruik van biomassa en het potentieel voor biomassa (Faay, Bube, AER, JPVs, CE Delft) leggen bij de ontwikkeling van biomassaopties de nadruk op het optimaliseren van landbouw en grondstofbeschikbaarheid voor biomassa in plaats van bij de conversietechnologie.

Omdat gebruik van vruchtbaar land, water en nutriënten ook gecorreleerd zijn kunnen de criteria ook samengevat worden met:

- maximale CO₂-emissiereductie per Euro meerkosten;
- maximale CO₂-emissiereductie per ha landbouwgrond.

Criteria om opties te vergelijken

In de studies die in Bijlage A zijn aangehaald lijkt er wel enige consensus te bestaan dat de eerste twee criteria de meest belangrijke zijn voor de Nederlandse situatie, terwijl energievoorzieningszekerheid ook een rol speelt.

Deze prioritering in criteria werd bevestigd tijdens een workshop met deskundigen van de Platformen Groene Grondstoffen en Nieuw Gas, op 12 januari 2010. De uitkomsten van een korte enquête onder de deelnemers zijn gegeven in Tabel 1. Opvallend is dat energievoorzieningszekerheid minder belangrijk gevonden wordt en er enige verdeeldheid is ten aanzien van het criterium 'vooral in sectoren met weinig andere klimaatopties'. Verder wordt het creëren van zoveel mogelijk macro-economische waarde ook belangrijk gevonden, een factor die in de literatuur niet vaak wordt genoemd.

Tabel 1 Peiling relevantie criteria onder Platform Groene Grondstoffen en Platform Nieuw Gas en Platform duurzame Elektriciteit

	Ze er bel ang rijk	Bel ang rijk	Be et je bel ang rijk	Niet bel ang rijk
CO ₂ -red/Euro	3	6		
Macro-economische waarde		5	3	
Minimaal vruchtbaar land	5	2	2	
E-voorzieningszekerheid		1	7	
Vooral in sectoren met weinig alternatieve klimaatopties		3	3	1
Geen ongewenste conc. met voedsel	2	4	1	1
Minimaal nutriëntengebruik	2	5	3	
Minimaal watergebruik	1	7	2	
Minimale overige emissies		4	4	
Vooral EU-grondstoffen	1	3	3	
Geen onnodig biomassatransport	3			1
Level playing field	1	2		



2.2 Goed gebruik op de korte versus lange termijn

Een ander belangrijk punt om in de overwegingen mee te nemen is dat 'goed gebruik van biomassa' niet een statisch gegeven is, maar over de tijd kan veranderen. Zo kan de score van verschillende biomassatoepassingen en grondstoffen op de verschillende criteria de komende decennia veranderen (door bijv. kostenreducties, efficiencyverbeteringen of andere technische innovaties), en ook de waarde die aan de verschillende criteria wordt gehecht zal niet hetzelfde blijven.

Voor de discussie over goed gebruik hebben we in dit project de criteria vooral getoetst op de door deskundigen verwachte scores van opties in 2020 en 2030. Daarnaast is er gekeken naar de conclusies voor nu. Dat levert een toekomstbeeld met suggesties voor R&D en demoprojecten plus een advies over implementatie nu.

2.3 Conclusie criteria voor goed gebruik van biomassa

Samenvattend kunnen we concluderen dat we met zo min mogelijk gebruik van vruchtbaar land, nutriënten en water zoveel mogelijk CO₂-emissies willen besparen terwijl dit ook niet veel geld mag kosten en liefst een bijdrage aan de economie oplevert. Hierbij dienen ook indirecte effecten in mee te worden gewogen. Daarnaast dienen biomassaketens te voldoen aan algemene duurzaamheidscriteria zoals bijvoorbeeld zijn voorgesteld door de Commissie Cramer.

Het is daarbij zinvol om niet alleen naar de prestaties op de korte termijn te kijken, maar ook een toekomstvisie in het achterhoofd te hebben.

Concreet vertalen we de hoofdlijn van de definitie van goed gebruik in:

- een hoge CO₂-reductie per Euro meerkosten;
- een hoge CO₂-reductie per ha landgebruik (incl. water en nutriënten);
- zo groot mogelijke bijdrage aan de economie;
- bijdrage aan de energievoorzieningszekerheid;
- minimaal verlies van nutriënten.

Bij deze uitgangspunten voor goed gebruik hoort een evenwichtig overheidsbeleid dat de biomassatoepassingen in verschillende sectoren gelijkelijk toetst aan deze criteria (level playing field). Daarvoor toetsen we in het volgende hoofdstuk concrete biomassatechniekcombinaties aan deze criteria en kijken we vervolgens hoe het beleid hier concreet mee om gaat.





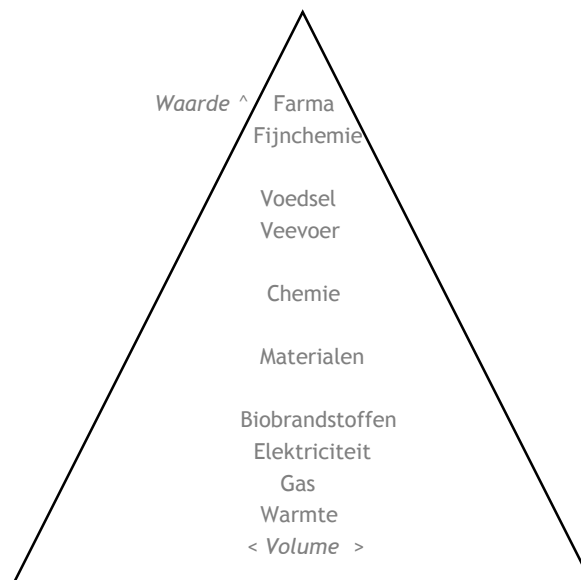
3 Biomassatechniekcombinaties getoetst aan de criteria

3.1 Biomassa toepasbaar in verschillende markten

Biologisch materiaal wordt traditioneel gebruikt als voedsel, veevoer en constructiemateriaal (hout). Daarnaast wordt hout in veel ontwikkelingslanden gebruikt voor verwarming en koken. In Europa zijn we de laatste twintig jaar tot de conclusie gekomen dat we biologisch materiaal ook goed kunnen gaan gebruiken voor toepassingen waar we nu fossiele brandstoffen voor gebruiken als olie, kolen en gas.

Biomassa is toepasbaar in verschillende markten voor warmte, elektriciteit, transport, chemie, gas of warmte. Als we een piramide van de maatschappelijke waarde van al die verschillende toepassingen maken, dan krijgen we een piramide zoals getekend in Figuur 5. Voedsel³ heeft maatschappelijk de hoogste waarde en dient voorrang te krijgen op andere toepassing als er concurrentie is. Lage temperatuurwarmteproductie aan de andere kant is een relatief laagwaardige toepassing van biomassa. Deze lage temperatuur-warmtevraag (volume) is in Nederland echter wel heel groot. Toepassingen als gas, elektriciteit, transportbrandstoffen, materialen, chemie en veevoer liggen tussen deze uitersten.

Figuur 5 Biomassavolumes van klein en waardevol naar veel en goedkoop

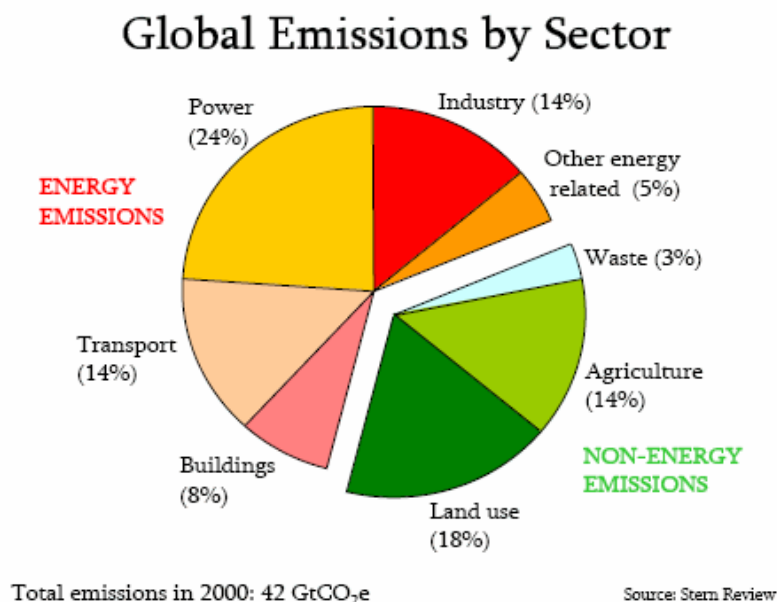


³ Theoretisch is een uitzondering te maken voor ongezond of dieronvriendelijk voedsel. In de praktijk is dit onderscheid echter lastig te maken.

Bovenaan in de biomassawaardepiramide (10x) staan de gezondheids- en lifestyleproducten Fragrance, Farma en Fine chemicals. Een klein volume, maar een hoge toegevoegde waarde. Het productieproces van dergelijke producten vraagt veel land, geeft weinig (energie)opbrengst, maar heeft een heel hoge economische waarde. Daarna volgen voeding voor mens en dier (Food en Feed). Dat heeft een iets lagere maar nog steeds hoge toegevoegde waarde en een groter volume. Dan volgen de chemie (Fermentatie, Fertilizers en Fibers) en tenslotte de energietoepassingen (Fuel en Fire). Energie zit onder in deze piramide qua toegevoegde waarde, maar heeft nogal wat volume nodig. Dat moeten we bij voorkeur halen uit de productieketens van de producten die hoger in de piramide zitten.

Het schetsmatige waarde- en volumebeeld kan de indruk geven dat biomassa vooral ingezet zou moeten worden in toepassingen met groot volume als warmte en gas. Dat moet echter genuanceerd worden. Het volume van chemische producten (in kg of GJ) is een stuk kleiner dan dat van warmteproducten in Nederland maar de economische waarde per GJ van chemische producten is een stuk hoger. Ook de CO₂-emissie die samenhangt met 1 GJ chemische producten is veel groter dan die van 1 GJ warmte. In de Stern Review (Stern, 2006) is voor de hele wereld de verdeling qua CO₂ gegeven. Daarin is te zien dat industrie (14%), transport (14%), landbouw (14% voor voedsel) allemaal een ongeveer gelijk aandeel aan CO₂-emissies hebben. Alleen elektriciteit (power 24%) heeft een hoger aandeel maar daarvan kan volgens Rabou (2006) een behoorlijk deel toegerekend worden aan de industrie, landbouw en transport waardoor eigenlijk het elektriciteitsverbruik voor eindverbruik qua CO₂-emissie vergelijkbaar is met dit voor de andere sectoren.

Figuur 6 Mondiale verdeling CO₂-emissies naar sectoren



Is voedsel en veevoer ook biomassa?

Misschien komt het gek over om voedsel en veevoer ook in de biomassapiramide op te nemen. Dit wordt meestal niet meegenomen in de definitie van biomassa. Toch zijn er sterke argumenten om voedsel en veevoer wel mee te nemen in de biomassadiscussie. Allereerst komt er steeds meer discussie over de vraag voor welke toepassing vruchtbaar land gebruikt moet worden. Daarnaast komt er ook steeds meer aandacht voor de klimaateffecten van voedselproductie, ontbossing voor veevoer, etc. Ook is de voedselsector leverancier van biomassa aan de energiesector. Met name de techniek van bioraffinage integreert productie voor voedsel, materialen en energie.

Tot slot hangt het potentieel van biomassa voor niet-voedsel toepassingen ook sterk samen met de mate van intensivering van voedselproductie mondiaal.

Vergeleken met de 3.000 PJ fossiele energievraag is de eindvraag van 60 PJ[#] aan verteerbare energie (2%) voedsel voor alle Nederlanders relatief klein. Sanders (2007) en Wirsenius (2003) hebben berekend dat voor deze voedsel vraag er 600 PJ fossiele energie en 600 PJ biomassa wordt gebruikt in Nederland.

2.400kcal/p/dag= 10.000 kJ /p/dag = 3,65GJ/p/jaar = 60 mln. GJ /NL jaar = 60 PJ/jaar.

Sanders (2007) heeft op basis van Rabou (2006) aangetoond dat integraal gerekend naar het aandeel in het totale energiegebruik voor Nederland een flink aantal sectoren (waar biomassa ingezet kan worden) ongeveer even groot zijn. Dit lijkt in tegenstelling met niet-integrale statistieken die aangeven dat het energiegebruik voor warmte groter zou zijn dan de input voor de chemie. Het punt is echter dat de chemie naast olie als input meer energie als hulpmiddel (warmte, elektriciteit) gebruikt waardoor het netto beslag op fossiele bronnen van de netto-sectoren op het energiegebruik en op CO₂-emissieruimte eigenlijk ongeveer gelijk is.

Tabel 2 Aandeel van sectoren in de Nederlandse energievraag

	Aandeel in vraag (CBS, 2007)	Kostprijs (€/GJ eindproduct)	Keten aandeel van 3.000 PJ Nederland (Sanders, 2007)	Ketenaandeel in 2030 in Nederland (Rabou, 2006)
Warmte HT	25%	4	Ca. 20%	32%
LT	15%			
Transportbrandstof	16%	10	Ca. 20%	19%
Elektriciteit	29%	22	Ca. 20%	23%
Bulkchemie	15%	75	Ca. 20%	26%
Andere industrie (waaronder staal)			Ca. 20%	

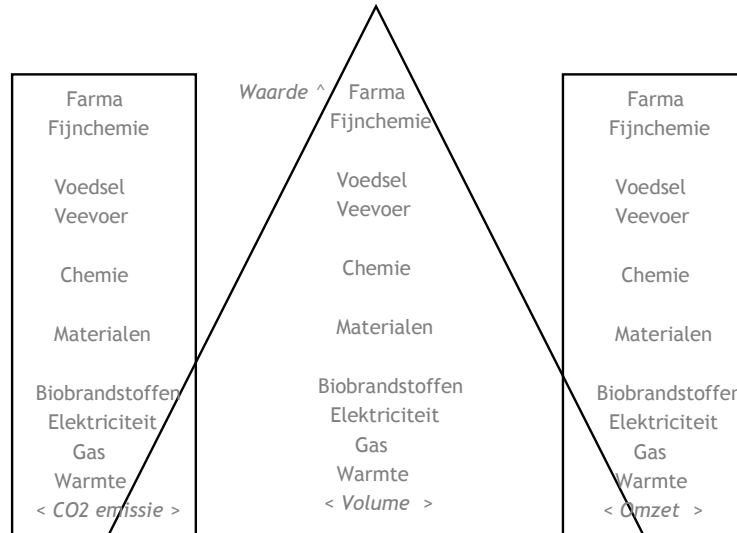
Bron: CBS, 2010; Sanders, 2007; Rabou 2006.

Met name voor de chemie is het belangrijk om te kijken naar de complete footprint (energie in producten plus hulpenergie) omdat gefunctionaliseerde chemische producten ook kunnen zorgen voor een sterke daling in de vraag naar hulpenergie (Sanders, 2007). Het volumeargument dat regelmatig gebruikt wordt om voor biomassa in Nederland vooral naar warmte, elektriciteit en transport te kijken is dus niet sterk. Chemie en in iets mindere mate ook de staalsector zijn ook interessante sectoren voor biomassa-inzet.



In Figuur 7 is geïllustreerd dat de verschillende sectoren qua economische betekenis en qua CO₂-emissie veel minder van elkaar verschillen dan de volumepiramide aangeeft. Het is daarom zaak om bij biomassaoptimalisatie naar al deze sectoren te kijken.

Figuur 7 Omzet en CO₂-emissie van sectoren, volumes verschillen enorm, omzetten en CO₂-emissies veel minder



3.2 Biomassa beste toepassing 2010

In Tabel 3 is samengevat hoe verschillende biomassaopties op dit moment scoren op de te hanteren criteria voor goed gebruik. In Bijlage C zijn de berekeningen voor de kentallen in de tabel toegelicht.

Tabel 3 Scores 2010 biomassaopties (referentie olieprijs circa 50€/bbl)

Sector	Optie	€/ton CO ₂	Reductie ton CO ₂ /ha/jaar	Bron
E	Bijstoken bij kolencentrales	105	Ca. 25	MEP, 2008 Bijlage B
E/W	Bio-WKK op hout	135	Ca. 12	SDE, 2010 Bijlage B
Tr	Bio-ethanol uit suikerriet (Brazilië)	Ca. 100	8	CE, 2008
Tr	Biodiesel uit koolzaad	> 400 [#]	1 à 2	CE, 2008
Tr	Bio-ethanol uit tarwe/maïs	> 400 [#]	1 à 2	OECD, 2007 & 2008
G	Groen gas 50% mest/50% maïs	230	9	SDE, 2010 Bijlage
G	Groen gas 100% mest	54	> 100	SDE, 2010
Ch	Biochemie	- 28-1.343 diverse producten		Bijlage C
St	Biostaal	Ca. 100	Ca. 25	Vergelijkbaar met bijstook bij kolencentrale
Ter referentie paar andere opties				
E	Windenergie	50 à 85	> 100	CE, 2008
Tr	Elektrische toeristenbussen	200		CE, 2008
E	Concentrated solar power (Spanje/Marokko)	130 à 300	> 100	CE, 2008

Dit getal is gevoelig voor indirecte landgebruiksveranderingen (ILUC). Als deze sterk optreden bestaat het risico dat er geen broeikasgasreductie plaats vindt.

Opmerkingen bij de tabel:

Voor de opties die op dit moment gesubsidieerd worden is uitgegaan van de subsidiebedragen die daadwerkelijk uitgekeerd worden. Dat is aangegeven door de referentie SDE of MEP. De daadwerkelijke kosten van deze opties zijn waarschijnlijk iets lager omdat in de subsidie altijd een extra bedrag ingevoegd moet zijn om partijen te overtuigen om aan deze opties te beginnen. Ter illustratie zijn ook de kosten van een paar andere opties meegenomen.

Conclusie 2010

Op de gehanteerde criteria (€/ton CO₂ en ton CO₂/ha/jr.) scoren de volgende opties **zeer goed** (circa < 70 €/ton CO₂):

1. Vergisting van mest (100%) (hoge score per ha en lage kosten/ton CO₂).
2. Inzet van biomassa in de staalsector als kolenvervanger.
3. Een aantal specifieke biochemie routes (bijvoorbeeld 1,3 PDO en etheen uit suikerriet).

Redelijk scoren:

4. Bijstoken van biomassa bij kolencentrales.
5. Bio-WKK.
6. Een aantal biochemieopties.
7. Bio-ethanol uit suikerriet (daarbij aangenomen dat er geen groot effect optreedt van indirect landgebruiksverandering).
8. Co-vergisting van mest als digestaatbeleid aangepast wordt.

Matig tot slecht scoren:

9. Biodiesel uit koolzaad, palmolie en soja-olie.
10. Bio-ethanol uit tarwe/maïs (vooral van ethanol productie in de VS op basis van maïs en kolen).



Waarom groeien de opties onderaan dit lijstje nu toch snel in Nederland?

Bij dit lijstje komt gelijk de vraag naar voren waarom de minder scorende opties 9 en 10 op dit moment sterk groeien in Nederland en een betere optie 2 niet wordt toegepast. Het antwoord op deze vraag ligt geheel in het huidige overheidsbeleid. Voor biodiesel en bio-ethanol geldt op dit moment een verplichte toepassing in de transportsector. Deze verplichting zorgt ervoor dat ondanks de relatieve hoge kosten, beperkte CO₂-winst en de relatief lage hectare benutting deze opties toch moeten groeien. Voor optie 2 (staal) bestaat er geen overheidsbeleid waardoor deze optie niet kan opboksen tegen de wel gesubsidieerde sectoren in de concurrentie om grondstoffen.

In de chemie zijn veel verschillende mogelijkheden. Omdat het hier veelal gaat om interne R&D-programma's binnen de sector is daar veel minder informatie qua kosten beschikbaar. De industrie rapporteert dat er een aantal opties net niet rendabel zijn. Dit geeft aan dat de meerkosten per ton CO₂ waarschijnlijk vrij laag zijn. In Bijlage C zijn een aantal opties doorgerekend. Aanbevolen wordt om meer opties in de chemie in beeld te brengen waardoor de mogelijkheden in de chemie meer vergelijkbaar worden met die in de traditionele bio-energiesectoren.

3.3 Biomassa beste toepassing 2020/2030

Zoals eerder geconcludeerd is een combinatie van een hoge CO₂-emissie-reductie, een laag vruchtbaar landgebruik en lage kosten de korte termijn mix voor goed gebruik van biomassa. Op langere termijn komt daar de bijdrage aan de economie bij.

Voor de prestatie van biomassaopties op de wat langere termijn is een hele reeks verkenningen uitgevoerd. Voor een aantal technieken (bijvoorbeeld bijstoken bij kolencentrales en bio-WKK) liggen de inschattingen dicht bij elkaar. Voor meer opties zijn de inschattingen echter behoorlijk verschillend (zoals bijvoorbeeld voor tweede generatie biobrandstoffen). Voor deze laatste opties hebben we bredere ranges opgenomen. Een belangrijk prijsbepalend aspect is de prijs van houtige biomassa. Voor deze verkenning zijn we uitgegaan van een prijsrange van € 4 à 7,5/GJ. Alle bronnen en opties en prestaties zijn opgenomen in Bijlage C.

In Tabel 4 zijn voor een groot aantal biomassatechniekcombinaties de kentallen €/ton CO₂ en ton CO₂/ha/a ingeschat voor 2020. In Bijlage C zijn de gepresenteerde kentallen verantwoord. Onzekerheden komen tot uiting in ranges.

Conclusies uit tabel 2020

Biostaal, bijstoken en mestvergisting scoren het beste in ton CO₂/ha/jaar en hebben ook relatief lage kosten per ton CO₂-reductie. Etheen/PE uit ethanol uit suikerriet zou heel goed een rendabele optie kunnen zijn in 2020. Dat vereist echter wel dat de huidige sterke voorkeur van de overheid van inzetten van ethanol in het transport wordt bijgesteld.

Met name de 2^e generatie biofueltechnieken en de SNG uit hout hebben brede ranges van onzekerheid. Ook valt op dat de verschillen tussen de chemie-opties groot zijn. Mestvergisting zonder co-vergistingmateriaal scoort beter dan co-vergisting omdat de CO₂-reductie dan veel hoger is (-400% versus -100%). In de praktijk wordt echter wel co-vergist omdat de stimulans gericht is op kWhe of Nm³ gas en niet op CO₂-reductie.



Tabel 4 Geschatte scores van biomassaopties (2020 olieprijs van € 50/bbl. en houtprijs 4,5 à 7,5 €/GJ)

Sector	Optie	€/ton CO ₂	Reductie ton CO ₂ /ha/jaar	% Reductie t.o.v. fossiel
E	Bio-elektriciteit	14 - 150	6 - 14	70 - 90%
E	Bijstoken bij kolencentrale	33 - 68	17 - 28 ###	85 - 95%
W	Bio-warmte gebouwde omgeving	15 à 87	8-15	73 - 91%
W	Bio-warmte industrieel	1 à 76	8-14	73 -91%
T	Ethanol uit suikerriet	61#	9,5#	84%#
T	Ethanol uit tarwe (+gas WKK)	102#	3,2 ##	42% #
T	Koolzaad biodiesel	100#	5,6 ##	54% #
T	NextBTL op palmolie	83#	9,7#	73%#
T	Bio-ethanol uit SRC hout	52 à 379	3,8 - 8,2	74%
T	FT diesel uit SRC hout	56 à 271	6,3 -12,3	93%
G	Groen gas uit co-vergisting (mest/maïs)	237 à 471#	8,4#	83%#
G	Groen gas uit mestvergisting	29 à 47	>100	433%
G	Groen gas uit vergassing van hout	57 à 267	10	90%
Ch	Etheen/PE uit suikerriet	-28 à -26#	10,3 à 14,6#	92%#
Ch	Zetmeelpolymeer	875#		67%#
Ch	1,3 PDO/Sorona	-1343 à 615	12	23%
Ch	FT nafta uit SRC hout	73 à 306	5,8 à 11,3	92%
Pr	Biosmeerolie	333	0,2	77%
St	Biostaal uit hout pellets	46 à 89	16 à 28 ####	84% à 100%

Bij CO₂-reductiepercentage alleen directe effecten, met name bij landbouwgewassen is er zeker ook een nadeel van deze indirecte effecten.

Bij eerste generatie biobrandstoffen op basis van tarwe en koolzaad wordt er ook veevoer geproduceerd. Dit is meegerekend in de ha benadering. Ongeveer de helft van de hectares voor teelt wordt toegerekend aan de bijproducten.

Bij de opties waar kolen worden vervangen (bijstoken bij kolencentrales en biostaal) is de goede CO₂-score sterk bepaald door deze vervanging.

Houtige reststromen gewonnen als bijproduct kunnen beter scoren per ha.

>> Zie voor verdere toelichting Bijlage C.

Biomassa en CCS (CO₂-opslag en -afvang)

Van verschillende kanten is de vraag gesteld of de scores voor kolenvervangende technieken (bijstoken bij kolencentrales of inzet in de staalindustrie) sterk zouden veranderen als in deze installaties CO₂-afvang en -opslag zou worden toegepast (CCS). Deze installaties worden dan immers CO₂-neutraal/of CO₂-arm en dan is de vraag of biomassa toepassen daar dan nog zin heeft.

Onze conclusie is dat de analyse voor het biodeel bij CCS vrijwel gelijk is. Zodra biomassa bij een kolencentrale met CCS wordt bijgestookt dan gaat deze installatie werken als een CO₂-sink. De biomassa heeft bij de groei CO₂ opgenomen. Bij de verbranding wordt deze weer afgestaan en in een CCS-installatie wordt ook deze bio-CO₂ opgevangen en opgeslagen. Het klimaatvoordeel wordt dan niet bepaald door CO₂-factor gekoppeld aan kolen (94kg/GJ) maar door de CO₂-factor van biomassa. Volgens SenterNovem (2009) is de emissiefactor van hout (109,6kg/GJ) zelfs hoger dan die van kolen waardoor het CO₂-voordeel zelfs nog iets groter kan zijn. (biogas 91 à 100 en palmolie 71).

Conclusie is dat CCS en biomassa heel goed samen gaan en dat de getallen in de tabel niet wezenlijk veranderen door CCS.

Van de grondstoffen scoren vooral mest en houtige biomassa goed.



De **interessante opties** zijn als volgt te kwalificeren:

- groen gas uit mest;
- etheen/PE op basis van suikerriet;
- bio-WKK, meestoken bij kolen, biowarmte en biostaal uit houtige biomassa.

Misschien interessant zijn:

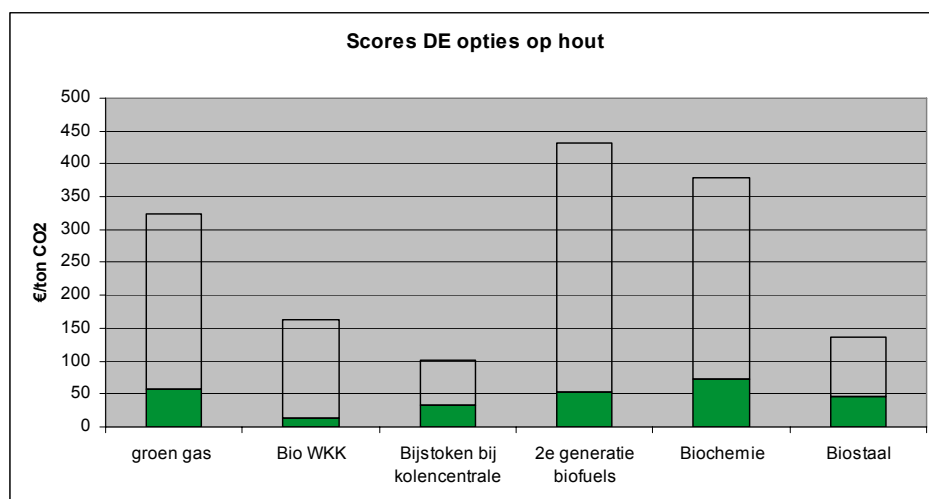
- groen gas en tweede generatie biobrandstoffen uit houtige biomassa.

Omdat houtige biomassa de belangrijkste grondstof zal worden en ingezet kan worden in vele sectoren hebben we de scores daarvan naast elkaar gezet in een grafiek (zie Figuur 8).

3.4 Competitie om houtige biomassa in 2020-2030

Uit Tabel 4 is duidelijk af te lezen dat de competitie om 'houtige' biomassa rond 2020 tussen sectoren heel scherp kan worden. Het grootste deel van de beschikbare biomassa bestaat uit houtige biomassa. Dit is nu alleen nog inzetbaar voor elektriciteit en warmte (naast traditionele gebruikers als de papierindustrie, houtvezelplaatindustrie, etc.).

Figuur 8 Competitie om houtige biomassa tussen verschillende sectoren (meerkosten t.o.v. fossiel per ton CO₂-emissiereductie inclusief onzekerheidsrange)



In Figuur 8 is de inschatting op €/ton CO₂ voor 2020 voor verschillende opties die houtige biomassa kunnen gebruiken. Het transparante blok geeft per optie de range aan. In Figuur 8 is nog geen rekening gehouden met de EU ETS-CO₂-handelsprijs (waarschijnlijk 25 €/ton CO₂ bij handhaven doel -20% en 50 €/ton CO₂ bij EU doelstelling van -30% (CE, 2010).

De range in de getallen ligt aan de onzekerheid in de houtprijs (4 à 7,5 €/GJ) en ranges in verwachtingen van de rendementen en kosten van technieken (onderscheid is opgenomen in Bijlage C).

Figuur 8 geeft aan dat in de range van 50 à 150 €/ton CO₂ hout waarschijnlijk kan worden gebruikt in de elektriciteits-, warmte- en staalsector. De onzekerheid voor de gas-, chemie- en de transportsector is groter (tweede generatie technieken).

De transportsector wordt echter beleidsmatig op dit moment zwaarder naar bio gestuurd door een verplichting waardoor ondanks de relatief hoge kosten ook deze sector toch meedoet met de competitie om hout. De onzekerheid in de biochemiesector komt door het brede productenportfolio. Sommige opties zullen in 2020 ook meedoen met de competitie, anderen zijn nog te duur.

Conclusie is dat houtige biomassa in 2020 waarschijnlijk een zeer gewilde grondstof is die in vele sectoren gebruikt kan worden. De sector waar de biomassa het meeste ondersteund wordt of waar biomassa toepassing zelfs verplicht is (zoals nu voor transport) zal waarschijnlijk de biomassa-grondstofprijs gaan bepalen. Sectoren die biomassa efficiënter kunnen gebruiken maar geen verplichting of subsidie krijgen, zoals nu de chemie, zullen hierdoor lastiger biomassa kunnen toepassen.

3.5 Doorkijk 2040

In Bijlage C is ook een zeer lange termijn perspectief bekeken. Hier is uitgegaan van een gunstige biomassaprijs (biomassaproductie is uitgebreid geoptimaliseerd) en ook de optimistische techniek inschattingen zijn gekozen. Dit geeft een mogelijk beeld voor opties in 2030 à 2040. De onzekerheid in deze getallen is echter behoorlijk groot. Het geeft een indicatie van de ontwikkeling die routes zouden kunnen doormaken.

Tabel 5 Potentiële optimistische kenmerkenopties bij lage biomassaprijs en uitontwikkelde technieken 2030 à 2040

Toepassings-mogelijkheden biomassa in Nederland	€/ton vermeden CO ₂	Ton CO ₂ - eq/ha/a	Reductie GHG emissies	Kostprijs bioproduct (€/GJ of ton)	Kostprijs referentie (€/GJ of ton)
Bio-elektriciteit, USC CFBC (zie Lagisza) op SRC hout (GJ _e)	14	14,1	91%	17,4	15,8
Meestoken houtchips in kolencentrale	33	27,8	95%	5,9	2,5
Bio-warmte uit chips					
– Bebouwde omgeving (GJ _{th})	15	14,6	91%	16,9	16,0
– Industrieel (GJ _{th})	1	14,5	91%	7,4	7,3
Biotransportbrandstof (GJ _{transport})					
1 ^e Generatie suikerriet ethanol - FOB EU prijs, ex heffing	61	9,5	84%	16,2	11,9
1 ^e Generatie in de EU					
– Tarwe met gasgestookte WKK	102	3,2	42%	15,5	11,9
– Koolzaad biodiesel	100	5,6	54%	16,8	11,9
– NExBtL palmolie (conservatieve olie-opbrengst)	83	9,7	73%	17,3	11,9
2 ^e generatie biofuel					
– Bio-ethanol uit SRC hout	52	8,2	74%	15,1	11,9
– FT diesel uit SRC hout	56	12,3	93%	16,6	11,9
Groen Gas uit vergisting (GJ _{groen gas})					
– Co-vergisting	237	8,4	83%	20,6	
– Mestvergisting (50% ÷ 50% RDM - VDM)	29	n.v.t.	433%	7,9	
SNG uit hout (GJ _{groen gas})	57	10,7	90%	10,5	7,3
Bio plastics: - kentallen per ton					
– Etheen/PE uit suikerriet EtOH	-26	14,6	339%	878,0	1.000,0
– Zetmeelpolymeer	875		67%	2,8	1,0
– 1,3 PDO/Sorona	-1.343	11,9	23%	1.750,0	3.670,0
Biochemie - FT nafta uit SCR hout (GJ _{nafta})	73	11,3	92%	16,6	11,0
Bioproduct (voorbeeld: smeerolie) - per ton	333	0,2	77%	1,5	1,0
Biostaal - SRC hout pellets (GJ TOP pellet)	46	27,7	100%	7,6	2,5



€/ton CO₂

Opvallend in de lange termijn verkenning is dat er een aantal chemische opties economisch rendabel gaan worden en dat toepassing voor warmte-elektriciteit relatief goedkoop zou kunnen worden. De werkelijke inzet in sectoren zal met deze prijzen echter ook zeer sterk afhangen van het overheidsbeleid en alternatieve opties in de sector. Zo resulteert het verplichte aandeel bio in transport nu al in een hogere prijs voor biomassa in deze sector.

CO₂/ha/jaar

Voor het criterium ton CO₂/ha/jaar scoren vooral opties die kolen vervangen met hout (biostaal en meestoken bij kolencentrale) zeer goed. Eerste generatie biobrandstoffen uit gematigd klimaat scoren niet goed op dit criterium. Mest en andere reststromen scoren wel heel goed op dit criterium omdat deze geen of weinig hectares gebruiken.

Nota bene: Voor een aantal opties (met name eerste generatie biobrandstoffen) kan er ook een klimaateffect optreden door indirect landgebruik. Dat wordt op dit moment door verschillende organisaties onderzocht. Dit aspect is nu nog niet opgenomen in de analyses en dient in een eventuele preciezere analyse te worden toegevoegd.

3.6 Macro-economische waarde

Op de kortere termijn (tot 2020) geeft biomassa in veel opties nog meer-kosten. Verschillende studies geven aan dat een deel van deze meerkosten ook gezien kan worden als een investering omdat op de langere termijn biomassatoepassing ook substantieel kan bijdragen aan de economie. Op termijn kan biomassa echter ook leiden tot kostenbesparingen en een bijdrage aan de economie.

Het LEI en de Universiteit van Utrecht hebben recent een studie uitgevoerd in opdracht van het Platform Groene Grondstoffen met vier toekomstscenario's waarin geprognosticeerd (UU/LEI, 2009) is voor 2020 en 2030 hoeveel biomassa er toegepast gaat worden, wat de klimaateffecten daarvan zijn en ook wat de economische effecten zijn. Belangrijkste conclusie is dat de biobased economy zich vooral positief ontwikkelt met een snelle technologische ontwikkeling en open mondiale handelsmarkt. Onder die aannames kan biomassa in 2030 een peiler zijn voor de Nederlandse economie. (Nederland kan onder deze aannames bij een nieuwe mondiale groene revolutie, terwijl het voedselprobleem wordt opgelost, 7 miljard per jaar met biomassa verdienen) Deze economische scenariostudie ziet vooral biochemie en tweede generatie biodiesel als economisch interessant voor Nederland. Ook tweede generatie bio-ethanol en efficiënte opwekking van elektriciteit kan interessant zijn. Eerste generatie biobrandstoffen zijn voor Nederland economisch niet interessant volgens deze studie. Biostaal en groen gas worden niet apart genoemd. In de studie wordt wel aangegeven dat de prognoses wel behoorlijk onzeker zijn.



3.7 Conclusies goed gebruik

Op basis van de 'goed gebruik'-analyse kan nu eerste versie van een 'goed gebruik'-advies worden opgesteld waarbij nog geen rekening is gehouden met de meer sectorgewijze benadering die overheid meestal hanteert:

Korte termijn (tot 2020)

Gebruik: Vooral bio-elektriciteit, biowarmte, biostaal, vergisting van mest en een deel biochemie.

R&D: Duurzame grondstoffen productie (=vooral beschikbaar krijgen reststromen), biochemie, biobrandstoffen uit reststromen of houtachtige biomassa, bioraffinage, vergassing van biomassa tot groen gas.

Middel lang (2020-2030)

Gebruik: Bio-elektriciteit, biowarmte, biochemie, biostaal, groen gas op basis van vergisting en vergassing en biobrandstoffen uit reststromen of houtachtige biomassa.

R&D: Bioraffinage.

Lange termijn (na 2030) (mits stringent klimaatbeleid)

Waarschijnlijk een verschuiving van opties waar veel alternatieve duurzame opties voorhanden zijn (elektriciteit) naar andere opties en een steeds grotere rol voor bioraffinage.

Relativering

Benadrukt moet worden dat de hier gepresenteerde analyse op hoofdlijnen is en dat er voor nieuwe technieken als biochemie en bioraffinage nog een veel verdere verfijning van de analyse mogelijk is.





4 'Goed' biomassabeleid

4.1 Inleiding

Biomassatoepassing in een aantal sectoren (elektriciteit, warmte en transport) wordt in de Westerse wereld gestimuleerd door overheidsbeleid. In andere sectoren (materialen, chemie) vindt ook toepassing plaats die niet gestimuleerd wordt door overheden. Deze mix van overheidsbeleid heeft een belangrijke invloed op het gebruik van biomassa en wijkt nog behoorlijk af van het hiervoor geschetste 'goed gebruik-plaatje'. In dit hoofdstuk wordt allereerst het huidige Nederlandse overheidsbeleid kort aangestipt, wordt ingegaan op de cultuurverschillen die een verklaring kunnen zijn voor de verschillende biomassasporen in de sectoren en wordt tot slot verkend op wat voor manieren het biomassabeleid voor de verschillende sectoren meer in lijn gebracht kan worden (level playing field).

Biomassa is een bijzondere vorm van duurzame energie omdat het een sterk ketenkaracter heeft en omdat het in veel verschillende economische sectoren kan worden ingezet. De manier waarop biomassa wordt ingezet in de verschillende sectoren is niet alleen afhankelijk van hectares, kilogrammen CO₂ en Euro's maar ook van cultuur in de sector en de traditie in overheidsbeleid voor de verschillende sectoren. Deze minder kwantitatieve aspecten zijn ook belangrijk in de mogelijkheden om het bestaande overheidsbeleid bij te sturen in de richting van 'goed gebruik van biomassa'.

4.2 Overheidsbeleid biomassa

Biomassa-inzet wordt in Nederland vanuit de overheid gestimuleerd in de energiesector en in transportbrandstoffensector. In Tabel 6 zijn de kosten per ton CO₂ zoals ingeschat door ECN/PBL plus de huidige subsidie per ton CO₂ en het jaarlijkse budget gepresenteerd.

Tabel 6 Overheidsondersteuning bio-opties

Biomassaoptie	Jaarlijks steun budget 2010 (2009)	Kosteneffectiviteit volgens ECN/PBL ^{###} Euro per ton CO ₂	Subsidiebedragen in Euro per ton CO ₂
Bio-elektriciteit	651 mln. Euro (715) [#]	60 à 80	135 à 238 54 (alleen mest)
Biowarmte uit WKK		30 à 100	Afh. WKK-optie
Biowarmte solo	0	30 à 100	0
Biotransportbrandstoffen	300 mln. Euro ^{##}	190 à 800 ^{####}	Geen= verplichting
Groen Gas	214 mln. Euro (195) [#]	180	266 (mest + maïs) 60 (alleen mest)
Biomassa bijstoken bij kolencentrale	123 mln. Euro via oude MEP	40 à 60	105
Biochemie	--	??	Geen
Biostaal	--	40 à 60 ^{##}	Geen

Voor toelichting zie Bijlage B.

Vergelijkbaar met bijstoken bij kolencentrales.

Kosten die automobilisten extra maken door de verplichting van 4%.

Range ontstaat door onzekerheid over broeikasgaseffecten van indirecte land use change effecten.



De nihilbedragen bij biochemie betekenen niet dat er totaal geen aandacht bij de overheid voor deze opties is. Zo is er in de Nota Biobased Economy van het ministerie van LNV een positief oordeel uitgesproken over de inzet van biomassa in de chemie. Dit heeft echter niet geleid tot een concrete doelstelling of verplichting (zoals voor de transportsector) of een subsidie-regeling voor daadwerkelijke productie biochemieproducten (zoals wel geldt voor bio-elektriciteit). Er is voor de biochemie wel geld beschikbaar (privaat en vanuit de overheid) voor R&D maar voor het daadwerkelijk verkopen en gebruiken van deze producten is er alleen in andere sectoren steun.

Samengevat richt het overheidsbeleid zich het meest op de concrete inzet van biomassa voor elektriciteit liefst gecombineerd met warmte. Directe steun voor bijstoken bij kolencentrales wordt afgebouwd (geen SDE-subsidie nu, nog deels MEP-beschikkingen). Het is de verwachting dat die inzet ondersteund zal gaan worden met verplichte percentages. Tweede voorkeur zijn de biotransportbrandstoffen en zeer beperkt is er steun voor groen gas. Biomassa-inzet in de chemie- of staalsector wordt niet gestimuleerd.

4.3 Verschillen goed gebruik en beleid

Als je het eerder genoemde ‘goed gebruik’-advies legt naast het bestaande overheidsstimuleringspakket dan zijn er duidelijk verschillen te zien. Vanuit ‘goed gebruik’ zou je het volgende kunnen concluderen.

Overheid zou meer aandacht moeten hebben voor:

1. Inzet van biomassa in staalindustrie (interessante optie op korte en langere termijn maar nu nog volkomen buiten beeld).
2. Inzet van biomassa in de chemie (in kleinere markten nu al een interessante optie en op lange termijn belangrijk).
3. Efficiëntere productie van biomassa (bijvoorbeeld middels bioraffinage).

Overheid doet het vrij goed⁴ met:

4. Inzet van biomassa voor elektriciteit (alleen subsidie wisselt snel).
5. Inzet van biomassa voor groen gas (alleen subsidie wisselt snel).

Overheid zou minder moeten focussen op:

6. Eerste generatie biobrandstoffen⁵.

Vorm overheidsstimulansen

Naast de sectoren die gestimuleerd worden is de vorm van stimulans ook cruciaal bij het sturen naar goed gebruik. De ‘goed gebruik’-criteria vragen om sturen op maximale CO₂-reductie, minimaal vruchtbaar landgebruik en het voldoen aan duurzaamheidscriteria. Het beleid stuurt echter op liters biobrandstoffen en kWh elektriciteit. Omdat de CO₂-reductie per kWh en

⁴ Dit oordeel dient gezien te worden in combinatie met de constatering dat de overheid meer aandacht zou moeten hebben voor biomassa toepassing in de chemie en de staalindustrie. Als dat niet gebeurt dan is de subsidie alleen voor energie een verstoring van het level playing field.

⁵ Wegens de relatief hoge kosten per ton CO₂-reductie, de lage score per hectare (waarbij ook nog geen rekening is gehouden met het mogelijke effect van indirecte landgebruiksveranderingen). Hierbij is aangenomen dat de indirecte broeikasgasemissies door indirect landgebruikverandering nog niet worden beperkt. Zodra hier goed beleid voor is ingevoerd wordt wellicht een beperkte hoeveelheid eerste generatie biobrandstoffen die aan de EU-duurzaamheidscriteria voldoen interessant.



liters van opties sterk uiteenlopen is het zaak om de stimulansen om te bouwen van energiegebaseerd naar CO₂-en hectaregebaseerd.

Mestvergisting is daar een mooi voorbeeld van. Een stimulans op kWhe geeft co-vergisting met maïs dat concurreert met veevoer en de CO₂-emissiereductie omlaag brengt. Als gestimuleerd zou worden op CO₂ dan zou het vergisten van alleen mest eventueel met reststromen veel interessanter worden en zou maïs niet gebruikt worden als co-vergistingmateriaal.

4.4 Cultuurverschillen in biomassa gebruikende sectoren

Het verschil in beleid voor de verschillende biosectoren heeft echter niet alleen met rationele criteria te maken maar is ook sterk gevormd door verschillen in culturen tussen deze sectoren.

In veel landen wordt biomassa inzet voor elektriciteit en gestimuleerd middels subsidies en verplichtingen. Tot voor kort was de elektriciteitssector nog een nutssector die op basis van kostenberekeningen en budgettoewijzingen activiteiten ontplooid. Wensen vanuit de centrale overheid voor de productie van duurzame energie werden vertaald in budgetten. De overgang van nuts- naar marktsector heeft geen wezenlijk veranderingen in de manier van sturing gegeven. Nog steeds worden SDE-subsidies op basis van kostenberekeningen (onrendabele topberekeningen) toegekend aan de opvolgers van de eerdere nutsbedrijven waarvan de aandelen voor het grootste deel nog wel in overheidshanden. Een probleem van de subsidies is echter wel het sterk wisselende karakter hiervan geworden. Daarom zijn er steeds meer energiebedrijven die ook zelf pleiten voor het invoeren van DE-verplichting in plaats van een onzeker subsidiestelsel

Biobrandstoffen

Heel anders is de historie van de stimulering van biobrandstoffen in Nederland in de transportsector. De oliemaatschappijen zijn in Nederland van oudsher commerciële bedrijven die functioneren in een internationale markt met competitie. De overheid is absoluut geen aandeelhouder en benadert deze bedrijven veel meer als vergunningverlener en in het stellen van regels voor milieunormen. Toen er besloten moest worden over de vorm van invoering van biobrandstofstimulering is vanuit deze traditie soepel gekozen voor het invoeren van een verplicht aandeel biobrandstoffen zonder toekenning van subsidie of compensatie.

Verschillen tussen ministeries

Naast deze cultuur verschillen in de sector speelt ook de cultuur van de aansturende ministeries waarschijnlijk een rol. Het ministerie van EZ dat in Nederland duurzame elektriciteit stimuleert heeft een lange traditie van het subsidiëren van initiatieven in het bedrijfsleven. Dit ministerie kiest liever voor stimuleren dan verplichten. Ook is er een duidelijke focus op omzet voor de BV Nederland en stimulans van Rotterdam als biomassa-hub. De biobrandstoffen worden aangestuurd door het ministerie van VROM dat veel meer een cultuur van regels en normen heeft. Daarnaast worden deze producten (benzine en diesel) herkenbaar verkocht op de Nederlandse markt.

Chemie

Interessante nieuwkomer in de biomassa-arena is de chemische sector. Bioplastics, biosuccinium, bioethyleen, etc. zijn nieuwe producten die in markt gezet worden en langzaam nichemarkten veroveren. Diverse geluiden



binnen de sector geven aan dat op de lange termijn meer bioproducten rendabel kunnen worden. In de elektriciteitssector zou dit zeker een aanleiding zijn om zeer serieus met de overheid te gaan praten over een subsidieregeling. Binnen de chemie is het vragen om subsidie echter een zwaktebod. Een echte chemische ondernemer vraagt niet om subsidie zo lijkt de norm. Alleen voor R&D en voor demoplants wordt als dat mogelijk is subsidie gevraagd maar een subsidie per liter bio is ondenkbaar. Ook concurreert de chemie op de mondiale markt en zijn producten van de chemie niet heel herkenbaar te zien op de Nederlandse markt. Interessante vraag is of de chemie wel overweg zou kunnen met een bioverplichting zoals die voor de petrochemie al wel geldt. Mits voorzien van interessante handel- en competitie mogelijkheden lijkt dit een interessante optie om biomassa ook in de chemie toch sneller in te voeren.

Staal

Nog weer anders is de cultuur in de staalsector. In Nederland is er één heel groot bedrijf met een lange traditie van onderhandeling met de overheid over milieueisen. Werkend op de wereldmarkt is er een zeer sterke focus op kostenbeperking. Hoe de sector op subsidie voor bio-inzet of een verplichting zal reageren is minder bekend. Waarschijnlijk zal vooral de toetssteen zijn dat de internationale concurrentie niet geschaad wordt.

Landbouw

De cultuur in de landbouwsector is weer heel anders. Zeer veel kleine bedrijven, sterk georganiseerde brancheverenigingen met goede relaties met de politiek en een gespecialiseerd ministerie voor de sector (LNV) maken dat de sector een nadrukkelijke plek heeft in het biomassabeleid in Nederland. Ook hier heerst meer een subsidiecultuur. Eerder was er vanuit de EU een uitgebreid subsidiesysteem voor de landbouw. Interessant is dat de sector ook gewend is om te gaan met regelgeving (bijvoorbeeld mestwetgeving).

Tabel 7 Samenvatting cultuurverschillen sectoren en regelgevers

Sector	Aanstuurder	Markt	Cultuuraspecten
Elektriciteit	EZ, subsidie	NL	Ooit nuts en nu nog in overheidshanden, gewend aan subsidies.
Petrochemie (transport)	VROM, regels	NL/EU	Al eeuwen markt, subsidie bij overheid en NGO's niet gezien als logisch. Beperkt aantal producten in de markt geleverd aan eindconsumenten.
Chemie	VROM	Mondiaal	Markt, subsidie hoort niet bij succesvol ondernemen. Zeer groot aantal producten in de markt veelal geleverd aan andere industrie.
Staal	VROM	Mondiaal	Markt, zeer sterk kostengestuurd.
Landbouw	LNV	NL/EU	Sterke verwevenheid sector en ministerie. Gewend aan subsidies maar ook aan regels.



4.5 Sector verschillen en level playing field

Al sinds de start van de transitie biomassa in 2002 is herhaaldelijk gepleit voor een evenwichtige gelijke behandeling van verschillende biomassasectoren (eerder level playing field genoemd). Met de sectorverschillen in ogenschouw is het interessant om te zien wat die gelijke behandeling zou kunnen zijn.

In discussie met de energietransitieplatforms Groene Grondstoffen, Duurzame Elektriciteit en Nieuw Gas is geïnventariseerd dat er in principe vijf mogelijkheden zijn om het beleid stap voor stap om te vormen om te komen tot een beter level playing field voor de toepassing van biomassa.

1. Subsidie voor alle sectoren die biomassa inzetten met een duidelijk CO₂-voordeel (liefst subsidie gerelateerd aan CO₂-prestatie en laag gebruik vruchtbaar land).
2. Bioverplichtingen voor alle sectoren waar biomassa nuttig kan worden ingezet (zoals nu de 4% in transportbrandstof).
3. DE-verplichtingen voor alle sectoren in de economie (zoals binnenkort in de transportsector).
4. CO₂-normen op productbasis voor verschillende sectoren (zoals de Fuel Quality Directive voor transportbrandstoffen in de EU).
5. Een algemene CO₂-tax voor de hele economie naast de EU ETS-CO₂-emissiehandel (een beetje vergelijkbaar met de accijnzen op transportbrandstoffen).

Deze verschillende mogelijkheden worden hier verder besproken.

Subsidie voor iedereen (zoals de SDE voor de elektriciteitssector nu)

Het grootste deel van de huidige ondersteuning van biomassa gebeurt via subsidies (SDE 715 miljoen Euro elektriciteit en 195 miljoen Euro groen gas in 2009). Als dit dominante instrument wordt gevolgd dan zou het logisch zijn om ook voor andere sectoren een subsidiesysteem in te voeren. Voor de petrochemie is dit echter niet logisch omdat recent is gekozen voor een verplichting. De overige chemie laat verder weten niet gesubsidieerd te willen worden.

Een ander probleem van het subsidie-instrument voor biomassa is dat de onrendabele topbenadering voor het bepalen van subsidiebedragen (meest onrendabele opties krijgen meeste subsidie) botst met de wens om vooral te sturen op maximale CO₂-reductie en minimaal vruchtbaar landgebruik. Een uitbreiding van het subsidiesysteem voor alle bio-opties is gezien al deze problemen niet een logische manier om te komen tot een level playing field (bezuinigingen bij de Rijksoverheid nog niet meegerekend). Het subsidie-instrument zou echter wel heel goed gebruikt kunnen worden om bijzondere opties of vernieuwingen te stimuleren.

Bioverplichtingen voor iedereen (zoals het voor de transportsector nu is)

In de energiesector gaan steeds meer geluiden op die pleiten voor een (geleidelijke) vervanging van het subsidiesysteem door een verplichting. Dit zou goed aansluiten bij de bestaande praktijk voor de petrochemie. Voor de chemie-, staal- en landbouwsector is ook te overwegen om bioverplichtingen in te voeren om zo een level playing field te creëren voor diverse biomassa-toepassingen. Een dergelijk systeem zou aangevuld kunnen worden met (tijdelijke) subsidies voor toepassingen met sterke internationale concurrentie of voor innovatieve en zeer duurzame toepassingen. Een probleem voor de toepassing voor de chemie- en de staalsector is nog wel de administratieve



invoering. De verplichting zou (voor het voorkomen van concurrentieproblemen) moeten drukken op het een aandeel bio in de producten die verkocht worden aan consumenten in Nederland. Dat zou voor deze sectoren waarschijnlijk meer administratieve lasten opleveren. Een Europese aanpak sluit beter aan op de chemiemarkt. Verkend zou moeten worden hoe een bioverplichting voor de chemie praktisch ingevuld zou moeten worden. Het niet meenemen van de chemie zou immers jammer zijn omdat op de langere termijn dit een sector is waar biomassa belangrijk gaat worden en omdat er nu ook al interessante opties zijn.

Verplichtingen duurzaam aandeel voor iedereen (zoals het voor de transportsector gaat worden)

Het huidige verplichte aandeel bio in de transportsector wordt nu omgevormd naar een verplicht aandeel duurzaam waar ook elektrische auto's op bijvoorbeeld windenergie een plek in krijgen. Ook verschillende andere landen hebben een verplicht aandeel duurzame elektriciteit (bijv. België, UK, etc.). Voor biomassa betekent een dergelijke verplichting competitie met andere opties als wind- en zonne-energie. Voor de elektriciteitsmarkt levert dat waarschijnlijk meer dynamiek in de markt op, lagere prijzen en meer innovatie. Voor veel andere markten (groen gas, chemie) is het verschil met een bioplicht waarschijnlijk klein omdat bio de meest logische optie is in die sector. Voor de elektriciteitssector verschilt een verplicht aandeel biomassa wel sterk van een verplicht aandeel duurzaam omdat met name windenergie ook een mogelijkheid is. De flexibele competitie tussen DE-opties in de elektriciteitssector geeft ook een prijsdempend effect op de biomassa als grondstof.

CO₂-normen voor iedereen (zoals de Fuel Quality Directive voor transportbrandstoffen)

Een nog iets bredere stimuleringsoptie is het werken met CO₂-normen voor energiedragers zoals de Fuel Quality Directive voor transportbrandstoffen. Deze aanpak stimuleert niet alleen DE-opties maar ook efficiencyverbetering. Voor elektriciteit zou een dergelijk aanpak waarschijnlijk een breed pallet aan opties opleveren met ook behoorlijk veel efficiencyverbetering in de fossiele productie. Voor de gasector zou deze vorm van stimulering waarschijnlijk vooral groen gas opleveren omdat daar weinig alternatieve opties zijn. Het charmante van CO₂-normen per product is dat deze voor een heel brede set aan producten toepasbaar zijn (huizen, auto's, koelkasten, vlees, bier, etc.). Deze manier van sturen is echter veel minder biogericht dan de andere opties.



Een algemene CO₂-bonus of Carbon Tax

In theorie is het ook een optie om net als in de Scandinavische landen te werken met algemene CO₂-tax. Op die manier concurreren biomassaopties met alle andere opties in de economie. Om bio-opties te stimuleren in Nederland moet de tax echter vrij hoog zijn.

Tabel 8 Beleidsopties voor een level playing field in biomassatoepassing in sectoren

Optie	Haalbaar	Bio gericht	Voordelen	Nadelen
1. Subsidie in alle sectoren	--	++	- Vrijheid voor bedrijven	- Duur voor overheid - In praktijk sterk wisselend
2. Bioplicht	+	++	- Biogericht	- Geen competitie tussen DE-opties (tenzij sectoren onderling mogen handelen)
3. DE-plicht	++	+	- Doelgericht	
4. CO ₂ -norm	+	+/-	- Meer opties en dus goedkoper	- Aandeel DE matig te voorspellen
5. CO ₂ -tax	--	--	- Meest kostenefficiënt	- Aandeel DE niet te voorspellen

Conclusie

Het subsidie-instrument lijkt minder geschikt om te komen tot een echt level playing field in de beleidsondersteuning voor biomassa in alle sectoren (energie, transport, chemie en grondstoffen). Een algemene CO₂-tax is een interessant optie om in de hele economie klimaatmissies te beperken maar is slechts beperkt bio- of DE-gericht. In principe lijken er drie instrumenten geschikt voor de verschillende sectoren om op termijn te komen tot een level playing field voor biomassaopties in de Nederlandse economie:

1. Een verplicht aandeel bio in alle relevante sectoren.
2. Een verplicht aandeel duurzaam in alle relevante sectoren.
3. Een CO₂-norm per product voor alle relevante sectoren.

Met deze drie ingrediënten kan een biomassabeleid worden gemaakt dat biomassa in meer sectoren introduceert en ook het goed gebruik van biomassa meer stimuleert. Naast deze hoofdstimulansen is het waarschijnlijk nuttig om een aantal deeloptyes extra te stimuleren middels subsidies. De precieze fine tuning van deze opties valt buiten het kader van dit project en is een uitdaging voor later.

Uitwerkingpunten biomassa 'goed gebruik'-beleid:

- Moeten alle sectoren hetzelfde beleid krijgen of is een variatie tussen sectoren wenselijk (bijvoorbeeld DE-plicht voor elektriciteit en transport, en bioplicht voor chemie)?
- Hoe hoog moeten eventuele verplichtingen in de verschillende sectoren zijn in 2015, 2020, 2025, etc.?
- In wat voor eenheid moeten de verplichting vastgelegd worden (energie, CO₂, CO₂ met zo weinig mogelijk hectares)?
- Wat is de rol van subsidies in een dergelijk beleid?





5 Adviezen voor beleid ten behoeve van goed gebruik biomassa

5.1 Conclusies

Op basis van de analyses op hoofdlijnen in het project zijn een aantal conclusies te trekken. Benadrukt moet echter worden dat op een aantal punten verdere verfijning nuttig zou zijn.

- Voor het beoordelen van biomassaopties zijn de criteria € meerkosten per ton CO₂-reductie en ton CO₂-reductie/ha vruchtbaar landgebruik/jaar bruikbare toetsstenen mits ook gekeken wordt naar toekomstige mogelijkheden en mits ook indirecte effecten van met name vruchtbaar landgebruik ook meegenomen worden.
- De macro-economische waarde, het voldoen aan duurzaamheidscriteria en het niet verspillen van nutriënten zijn ook belangrijke criteria.
- Biomassa-inzet in Nederland kan van substantiële omvang worden voor vergaand klimaatbeleid in de sectoren warmte, elektriciteit, gas, chemie en staal.
- Op dit moment scoren solovergisten van mest en inzet van houtige biomassa in de staalsector het best op de criteria terwijl deze opties niet worden toegepast.
- Op de wat langere termijn lijken groen gas uit mest, diverse chemische producten (bijvoorbeeld etheen uit suikerriet en 1,3 PDO) en een divers pallet van energieproducten uit houtige biomassa interessante opties voor Nederland.
- Naast elektriciteit worden de warmtesector, de chemie, de staalsector, de gassector en tweede generatie biobrandstoffen waarschijnlijk allemaal vrager van houtige biomassa in Nederland.
- Het huidige bio-overheidsbeleid vergeet de biochemie en de biostaal, creëert geen level playing field tussen biomassaopties en stimulansen zijn gericht op de verkeerde doelen (liters en kWhe i.p.v. van op CO₂ en hectares).
- Er zijn een aantal mogelijkheden om biomassa gelijk te maken voor verschillende sectoren waardoor er wel een level playing field ontstaat. Te denken valt aan:
 - het introduceren van verplichte aandelen duurzame energie voor alle relevante sectoren;
 - het introduceren voor een verplicht aandeel bio in de betreffende sectoren (zoals nu alleen geldt voor transport);
 - een algemene CO₂-heffing of bonus of carbonstatiegeld zoals ingevoerd in Zweden;
 - een set van CO₂-normen per product voor de betreffende sectoren (zoals de Fuel Quality Directive die geldt voor transportbrandstof).



5.2 Aanbevelingen goed gebruik

Biomassa goed gebruik 2010-2020

- Inzet biomassa 2010-2015 richten op de meest kosteneffectieve routes en hectare efficiëntie. Dit lijken op dit moment biomassatoepassing in elektriciteit, warmte, staalsector en de chemie en vergisting van mest.
- Ontwikkeling van biomassaopties waarvan ingeschat wordt dat deze op termijn goed gaan scoren op de criteria. Op dit moment lijken dat tweede generatie biobrandstoffen (mits niet geteeld op bestaande landbouwgrond), diverse biochemieroutes en bioraffinage te zijn.
- Geleidelijk verplichte aandelen hernieuwbare (bio)energie invoeren, voor elektriciteit, warmte, gas, staal en chemie. Dit biedt stabielere vooruitzichten voor de industrie dan een subsidieregeling (belangrijk voor investeringsbeslissingen), een level playing field en is in lijn met het biotransportbeleid waar al gewerkt wordt met een verplicht aandeel (nu 4%) (deze verplichtingen dienen onderling tussen bedrijven in sectoren, en misschien ook tussen sectoren, verhandelbaar te zijn).
- Onderzoek stimuleren naar biomassatoepassing chemie, vergassing voor groen gas, tweede generatie biobrandstoffen en bioraffinage.

Biomassa goed gebruik 2020-2030

- Een breed pallet aan biomassaopties is in te zetten.
- Sturen op maximaal CO₂-emissiereductie per hectare vruchtlandgebruik.

Biomassa goed gebruik na 2030

- Inzetten van bioraffinage.

Aanbevelingen vervolgonderzoek

Aanbevolen wordt om biomassaopties in de chemie beter in kaart te brengen aan de hand van de gehanteerde criteria. Daarnaast is het zinvol om de beleidsvarianten voor goed gebruik van biomassa verder uit te werken en af te wegen.

NOTA BENE, disclaimer

Alhoewel dit toekomstbeeld gebaseerd is op berekeningen en veel literatuur is het geen compleet toekomstbeeld en zijn er nog veel verder verfijningen mogelijk. Zo is het interessant om verder te duiken in de mogelijkheden in de chemie, bioraffinage en combinatie van voedsel en biomassaproductie. Dit beeld door oogbaren geeft echter wel aan dat het verstandig zou zijn om de komende jaren het biomassabeleid bij te sturen richting 'goed gebruik' en een level playing field voor biomassa in verschillende sectoren.



6 Cases groen gas en hout

6.1 De afwegingen in de praktijk

Het boven beschreven afwegingskader en de rol die overheidsbeleid hierbij speelt, illustreren we in het volgende aan de hand van twee uitgewerkte voorbeelden: co-vergisting van mest en houtpellets.

6.1.1 Voorbeeld 1: Mest → groen gas

In dit voorbeeld doorlopen we het afwegingskader uit de vorige paragrafen aan de hand van een concreet voorbeeld: vergisting van mest. Daarbij moet worden opgemerkt dat het doel hiervan niet is om tot een concreet en kwantitatief onderbouwd resultaat te komen t.a.v. wat nu precies het beste gebruik van deze biomassaroute is. Het doel is om de verschillende stappen en afwegingen te laten zien, en de invloed die bepaalde keuzen kunnen hebben.



Tabel 9 Afwegingen bij de groen gasroute, vanuit de beschikbare biomassa gezien - illustratief

Keuzemomenten/afwegingen	Globale uitkomsten en overwegingen
Mest: technisch, praktische en economische mogelijkheden?	Vergisten mogelijk, in vorm van co-ver gisting. Vergassen nog technische lastig en relatief duur. Bijproducten van vergisting: digestaat.
Biogas: mogelijke toepassingen?	<ul style="list-style-type: none"> – Lokale warmteproductie. – Opwerken en bijmengen bij aardgasnet. – Idem, vervolgens d.m.v. groen gas certificaten verkopen aan een partij in de transportsector. – Opwerken, evt. mengen met aardgas, op druk brengen en verkopen als bio-CNG (of bio-LNG) bij vulpunten voor transport. <p>NB. Verkoop aan transport via certificering telt nog niet mee bij biobrandstofdoelstelling. Op zich voldoet het groen gas wel aan de duurzaamheidsdoelstellingen voor biofuels, als het direct wordt gebruikt in transport telt het in deze sector dubbel voor de transport doelstelling, indien geproduceerd van afvalstromen.</p>
Voeldoen aan duurzaamheidsvoorwaarden?	<p>In principe: ja.</p> <p>Aandachtspunten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Vergisting van de mest zorgt voor veel broeikasgasreductie, emissies van maïs kunnen aanzienlijk zijn. – Indien mogelijk, eventuele emissies t.g.v. indirecte landgebruiksverandering door maïsteelt meenemen. Het eindproduct zal in verreweg de meeste gevallen aan duurzaamheidsvoorwaarden voldoen. <p>NB. Er is discussie over duurzaamheid van biomassastromen uit intensieve veehouderij en landbouw.</p>
Afweging verschillende toepassingen op €/ton CO ₂ -reductie	<p>Meeste CO₂-reductie per € meerkosten: groen gas bijmengen bij aardgasnet.</p> <p>Minste CO₂-reductie per €: groen gas in transport (vanwege meerkosten voor aanleg infrastructuur en voertuigen).</p> <p>Het is wellicht mogelijk om het aandeel maïs te optimaliseren op dit criterium, binnen de technische randvoorwaarden.</p> <p>NB. Hier zou nog onderscheid tussen verschillende specifieke warmte-, elektriciteits- en transport-toepassingen gemaakt kunnen worden.</p>
Afweging op CO ₂ -reductie/ha	<p>Landgebruik speelt een rol bij maïsteelt, is afhankelijk van het aandeel in de totale biomassa-input.</p> <p>NB. Optimum aandeel maïs in co-vergisting zal per geval moeten worden bepaald.</p>
Afweging op economische meerwaarde	<p>Hoogste meerwaarde voor betrokken partijen indien toegepast bij transport, indien het mag meetellen voor biobrandstofdoelstellingen. Daar staan wel relatief hoge (maatschappelijke) kosten tegenover, vanwege aanleg CNG- (of LNG-) vulpunten en aanschaf CNG- (of LNG-) voertuigen. Maatschappelijk wordt hoogste meerwaarde wellicht in andere routes behaald.</p>
Concurrentie met voedsel?	<p>Gebruik van maïs concurreert met voedsel en veevoer. Effect is (zeer) beperkt zolang biogasvolumes beperkt zijn.</p>
Relevante lange termijn overwegingen?	?

Keuzemomenten/afwegingen	Globale uitkomsten en overwegingen
Wat te doen met bijproducten?	<p>Digestaat komt vrij bij vergisting, kan worden ingezet als kunstmest indien regelgeving dit toelaat. Dit laatste levert extra CO₂-reductie op, tegen lage kosten, en is goed voor de nutriëntenbalans.</p> <p>Alternatief: verwerking als afvalstroom (geen extra CO₂-reductie, hogere kosten).</p>
Afweging t.a.v. specifiek overheidsbeleid	<p>Ten opzichte van andere biobrandstoffen scoort groen gas goed op duurzaamheid, bovendien telt het dubbel voor de RED-transportdoelstelling als het wordt ingezet in transport. Het vervangt dan biodiesel en bio-ethanol - kosten daartegen afwegen.</p> <p>NB. Toepassing in transport biedt ook voordelen t.o.v. luchtkwaliteit, afhankelijk van specifieke situatie. Inzet in transport, warmte of elektriciteit mag meetellen voor 20%-doelstelling voor hernieuwbare energie, in 2020.</p>
Overall afweging	<p>Belangrijke aandachtspunten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dilemma tussen kosteneffectieve toepassing van bijmenging in aardgasnet enerzijds en goede score groen gas als hernieuwbare transportbrandstof. - Duurzaamheid maïsteelt en evt. optimale verhouding maïs en mest. - Duurzaamheid van de mestproductie (intensieve veehouderij).

6.1.2 Voorbeeld 2: Houtpellets

Tabel 10 Afwegingen voor de houtpellets, vanuit de beschikbare biomassa gezien - illustratief

Keuzemomenten/afwegingen	Globale uitkomsten
Houtpellets: welke verwerkingsprocessen en toepassingen mogelijk?	<ul style="list-style-type: none"> – Kleinschalige warmteproductie. – Grootschalige elektriciteitsopwekking, d.m.v. bijstoken bij kolencentrales of dedicated biomassacentrale, WKK. – Staal, chemie. – Papier en pulp. In de toekomst wellicht ook: <ul style="list-style-type: none"> – Tweede generatie biobrandstoffenproductie, van bio-ethanol en/of Fischer-Tropsch-transportbrandstof (incl. vergassen). Geen nuttige bijproducten bij warmte- of elektriciteitsproductie
Voelddoen aan duurzaamheidsvoorwaarden?	In de meeste gevallen: ja. NB. Aandachtspunt: herkomst van het hout.
Afweging verschillende toepassingen op €/ton CO ₂ -reductie	Bijstoken in kolencentrale of (grootschalige) biomassa of toepassing in de staalproductie scoren nu het beste. Op langere termijn ook interessant om in te zetten voor tweede generatie biobrandstoffen en biochemie.
Afweging op CO ₂ -reductie/ha	Landgebruik speelt een rol als het geen afvalstromen betreft.
Afweging op economische meerwaarde	Voorlopig hoogste opbrengst in de elektriciteitssector maar grote kans op in toekomst betere aanbiedingen uit de tweede generatie biobrandstoffenhoek.
Concurrentie met voedsel?	Geen, zolang het afvalstromen betreft. Bij houtteelt evt. concurrentie om land.
Relevante lange termijn overwegingen?	Ontwikkeling tweede generatie transportbrandstoffen belangrijk voor lange termijn potentieel duurzame biobrandstoffen voor transport.
Wat te doen met bijproducten?	N.v.t.
Afweging t.a.v. specifiek overheidsbeleid	Inzet in warmte of elektriciteit telt mee voor 20% hernieuwbare energie doel voor 2020. Inzet in chemie of staal telt hier niet voor mee, geen specifiek overheidsbeleid voor biomassa in deze sectoren.
Overall afweging	?

Literatuur

AER, 2007

Jan Paul van Soest, Geert Bergsma (CE Delft) en Harry Croezen (CE Delft)
Biomassa: van controversie naar ontwikkelagenda, Eindrapport
Den Haag : Algemene Energieraad, 2007

Alterra, 2008

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

Chalmers, 2008

G. Berndes, J. Hansson, A. Egeskog, S. Werner, 2008

Bioenergy expansion strategies for Europe, cost effective biomass allocation and biofuel stepping stones (REFUEL WP5 final report)
Göteborg : Chalmers University of Technology, 2008

CE, 2003

B.E. (Bettina) Kampman, H.J. (Harry) Croezen, I. (Ingeborg) de Keizer, O. (Olivier) Bello
Biomassa: tanken of stoken? Een vergelijking van inzet van biomassa in transportbrandstoffen of elektriciteitscentrales tot 2010
Delft : CE Delft, 2003

CE, 2005

B.E. (Bettina) Kampman, L.C. (Eelco) den Boer, H. (Harry) Croezen
Biofuels under development : An analysis of currently available and future biofuels, and a comparison with biomass application in other sectors
Delft : CE Delft, 2005

CE, 2006a

H.J. Croezen, J.T.W. Vroonhof
Wood pellets from Canada (IEA)
Delft : CE Delft, 2006

CE, 2006b

H.J. (Harry) Croezen, G.C. (Geert) Bergsma, M.C.M. (Marjolein) Koot
Is er een vruchtbare toekomst voor groene grondstoffen in Nederland?
Een evaluatie ten behoeve van het transitie management
Delft : CE Delft, 2006

CE, 2007

M.N. (Maartje) Sevenster, H.J. (Harry) Croezen
Welke nieuwe energiecentrale in Nederland : de vergeten kosten
Delft : CE Delft, 2007

CE, 2008

Geert Bergsma, Gerdien van de Vreede en Bettina Kampman
An alternative to 5.75% biofuels in 2010 : More sustainability at lower cost?
Delft : CE Delft, 2008



CE, 2009

Uwe R. Fritsche, Bettina Kampman/Geert Bergsma
Better use of Biomass for Energy (Bube), final draft
Delft : CE Delft + Öko Institute for IEA, 2009

CE, 2010

Bettina Kampman Cor Leguijt Dorien Bennink Lonneke Wielders Xander
Rijke Ab de Buck Willem Braat
Green Power for Electric Cars, Development of policy recommendations to
harvest the potential of electric vehicles
Delft : CE Delft, 2010

DENA, 2006a

Biomass to Liquid - BtL Realiseringsstudie, Zusammenfassung
Berlin : Deutsche Energie-Agentur GmbH (DENA), 2006

DENA, 2006b

Biomass to Liquid - BtL Implementation Report
[http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/
Publikationen/mobilitaet/btl_implementation_report.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Publikationen/mobilitaet/btl_implementation_report.pdf)

ECN, 2005

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

ECN, 2006

B.W. Daniels, J.C.M., Farla
Optiedocument energie en emissies 2010/2020
Petten/Bilthoven : ECN/NMP, 2006

ECN, 2007

M. Menkveld (ECN), R.A. van den Wijngaart (PBL)(eds.)
Verkenning potentieel en kosten van klimaat en energiemaatregelen voor
Schoon en Zuinig
Petten : ECN/PBL, 2007

ECN, 2009a

S.M. Lensink (ECN), J.W. Cleijne (KEMA), M. Mozaffarian (ECN)
E.A. Pfeiffer (KEMA), S.L. Luxembourg (ECN), G.J. Stienstra (KEMA)
Conceptadvies basisbedragen 2010, voor elektriciteit en groen gas in het
kader van de SDE-regeling
Petten : ECN, 2009

ECN, 2009b

C.B. Hanschke, M.A. Uytterlinde, P. Kroon, H. Jeeninga, H.M. Londo
Duurzame innovatie in het wegverkeer : Een evaluatie van vier
transitiepaden voor het thema Duurzame Mobiliteit
Petten : ECN, 2009

Ecofys, 2007

Energiekansen Bommelerwaard
Utrecht : Ecofys, 2007



Ecofys, 2008

Leen Kuiper, Michèle Koper, Marc Vonk, Berry Meuleman
Business case biomassa Beekbergse Poort
Utrecht : Ecofys, 2008

Ecofys, 2009

Platform Groene Grondstoffen
Brede inzet biomassa, vergelijkingsmethodiek voor verschillende toepassingen
Utrecht : Ecofys, 2009

EEA, 2006

T. Wiesenthal et al.
How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?
Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006

EEA, 2008

Ayla Uslu et al.
Maximising the environmental benefits of Europe's bioenergy potential
Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008

EZ, 2002

Kansen voor een Biomassatransitie : koersbepaling na de eerste etappe
Projectgroep biomassatransitie
Den Haag : Ministerie van Economische Zaken, 2002

Giglio, 2009

B. Giglio
World's largest CFBC begins commercial operation
In: Coalpower magazine, 10 December 2009

Hamelinck, 2004

C.N. Hamelinck
Outlook for advanced biofuels
Utrecht : Utrecht University, 2004

Hoogwijk et al., 2003

Monique Hoogwijk; André Faaij, Richard van den Broek, Göran Berndes, Dolf Gielen; Wim Turkenburg
Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy
In : Biomass and Bioenergy 25 (2003) p. 199-133

Hoogwijk, 2004

M. Hoogwijk
On the global and regional potential of renewable energy sources
PhD Thesis Utrecht University
Utrecht : Utrecht University, 2004

Hornbachner et al., 2005

D. Hornbachner, G. Hutter, D. Moor
Biogas-Netzeinspeisung, Rechtliche, wirtschaftliche und technische Voraussetzungen in Österreich
In: Berichte aus Energie- und Umweltforschung
Wien : Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2005



IEA Bioenergy, 2009

IEA Bioenergy

Bioenergy : A Sustainable and Reliable Energy Source, A review of status and prospects

S.l. : ECN, E4tech, ECN, Chalmers University of Technology, Copernicus Institute, 2009

Ingenia, 2005

W.R. van der Waall, R. Verberne, A. Hoogendoorn

Conversie van Industriële Boilers op Biobrandstoffen

Eindhoven : Ingenia Consultants & Engineers, 2005

Jäkel, et al., 2003

Grundlagen der Biogasproduktion

Dresden : Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2003

http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/images_pdf/52_inh.pdf

Jong, 2009

N. de Jong

- Verslag managersmeeting Platform Zwembaden 29-09-09

- E Kwadraat advies 3 -11- 2009

JRC, 2007

R. Edwards et al.

EUCAR, CONCAWE and JRC,

Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and power trains in the European context WELL-TO-TANK Report Version 2c

S.l. : European Commission, Directorate-General Joint Research Centre, 2007

JRC, 2009

R. Edwards et al.

EUCAR, CONCAWE and JRC

Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, version 3

S.l. : European Commission, Directorate-General Joint Research Centre , 2009

Kammonen, 2008

- Neste Oil to build a NexBTL renewable diesel plant in Rotterdam

13.06.2008

- Neste Oil Corporation stock exchange release 13-6-2008

Kurian, 2005

J.V. Kurian

A New Polymer Platform for the Future : Sorona from Corn Derived

1,3-Propanediol

In : Journal of Polymers and the Environment, Vol. 13, No. 2, (2005);

p. 159-167

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2004

S. Besgen, K. Kempkens

Projekt Biogas Rheinland, Energie- und Stoffumsetzung in Biogasanlagen -

Ergebnisse messtechnischer Untersuchungen an landwirtschaftlichen

Biogasanlagen im Rheinland

Bonn : Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2004



Langholtz et al., 2006

Matthew Langholtz, Douglas R. Carter, Donald L. Rockwood and Janaki R.R. Alavalapati
The economic feasibility of reclaiming phosphate mined lands with short-rotation woody crops in Florida
In : Journal of forest economics 12 (2007) p. 237-249

LNV, 2009

D. de Boer en I. de Jong
Biomassa-installatie Beetsterzwaag, duurzame energie uit houtsingels voor Revalidatie Friesland en School Lyndensteyn
Groningen : Ministerie van LNV, Dienst Landelijk Gebied regio Noord, 2009

Londo et al., 2004

M. Londo, M. Roose, J. Dekker, H. de Graaf
Willow short-rotation coppice in multiple land-use systems: evaluation of four combination options in the Dutch context
In: Biomass and Bioenergy, 27 (2004); p. 205 - 221

OECD, 2007

Richard Doornbosch and Ronald Steenblik
OECD report Biofuels: Is the cure worse than the disease?
Paris : OECD, 2007

OECD, 2008

Economic assessment of biofuel support policies
Paris : OECD, July 2008

Patel, 2003

M. Patel
Cumulative energy demand (CED) and cumulative CO₂ emissions for products of the organic chemical industry
In : Energy 28 (2003); p. 721-740

Patel et al., 2007

B.G. Hermann, K. Blok, M.K. Patel
Producing Bio-Based Bulk Chemicals Using Industrial Biotechnology Saves Energy and Combats Climate Change
In : Environ. Sci. Technol. 41 (2007); p. 7915-7921

Patel et al., 2009

L. Shen, J. Haufe, M. K. Patel
Product overview and market projection of emerging bio-based plastics
PRO-BIP 2009, Final report
Utrecht : Universiteit Utrecht, 2009

Perlack et al., 1995

Robert D. Perlack; Lynn L. Wright, Michael A. Huston, William E. Schramm
Biomass fuel from woody crops for electric power generation
USA : Oak Ridge National Laboratory, 1995

Pfeiffer and Ven, 2009

E. Pfeiffer and M. van de Ven
High percentage biomass co-firing, developments in fluid bed combustion and gasification
Presentatie op IEA Task 32 meeting 30 June 2009 in Hamburg



Rabou et al., 2006

L.P.L.M Rabou en E.P. Deurwaarder (ECN), H.W. Elbersen en E.L. Scott (WUR, A&F)

Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030

Petten ; Wageningen : ECN ; WUR, 2006

Raden, 2008

Een prijs voor elke reis, een beleidsstrategie voor CO₂-reductie in verkeer en vervoer, Gezamenlijk advies

Den Haag : Raad voor verkeer en Waterstaat, VROM Raad en

Algemene energieraad, 2008

Ramesohl and Stucki, 2007

S. Ramesohl (Wuppertal Institut) and S. Stucki (PSI)

Biomethane as a transportation fuel - substitution potential of conventional and second generation biogas

JRC International Conference Transport and Environment: A Global Challenge, Milan, 21st March 2007

RENEW, 2008

F. Müller-Langer, A. Vogel, S. Brauer

RENEW - Renewable fuels for advanced powertrains, cost assessment

Leipzig : Institute for energy and environment, 2008

Sanders, 2007

Johan Sanders

Presentation: Biorefinery, the bridge between Agriculture and Chemistry

<http://www.demisec.nl/senternovem/Presentaties/Presentation%20Johan%20Sanders.pdf>

SenterNovem, 2007

Groenboek : Platform Groene Grondstoffen

S.i. : SenterNovem, 2007

SenterNovem, 2009

Jaap Koppejan, Procede Biomass BV, Wolter Elbersen, WUR, Marieke Meeuwse Lei, Prem Bindraban, WUR

Beschikbaarheid van Nederlandse Biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020

S.i. : SenterNovem, 2009

SenterNovem, 2009

Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂-emissiefactoren

S.l. : SenterNovem, 2009

Smeets et al., 2005

Edward Smeets, André Faaij and Iris Lewandowski

The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bio energy production : An exploration of the impact of the

implementation of sustainability criteria on the costs and potential of bioenergy production,

applied for case studies in Brazil and Ukraine

Utrecht : Copernicus Institute, Utrecht University, 2005



Smeets et al., 2007

E.M.W Smeets, André P.C. Faaij, Iris M. Lewandowski,
Wim C. Turkenburg

A quickscan of global bio-energy potentials to 2050

In: Progress in Energy and Combustion Science, Volume 33, Issue 1, (2007);
p. 56-106

Smeets, 2008

E. M. W. Smeets

Possibilities and limitations for sustainable bioenergy productionsystems,
7 mei

Utrecht : Universiteit Utrecht, 2008

SNM et al., 2008

SNM en Provinciale Milieufederaties

Heldergroene Biomassa

Utrecht : Stichting Natuur en Milieu (SNM), 2008

Uslu, 2005

A. Uslu

Pre-treatment technologies, and their effects on the international
bioenergy supply chain logistics : Techno-economic evaluation of
torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation

Utrecht : Universiteit Utrecht, 2005

UU/LEI, 2009

Biobased economy, macro economische verkenningen

Utrecht/Wageningen : UU/LEI, 2009

V&W, 2009

V&W notitie Elektrisch Rijden

http://www.verkeerenwaterstaat.nl/Images/20094571_tcm195-257213.pdf

WAB, 2009

Prem Bindraban (Wageningen UR), Erwin Bulte (Wageningen UR), Sjaak
Conijn (Wageningen UR), Bas Eickhout (PBL), Monique Hoogwijk (Ecofys)
Marc Londo (ECN)

Can Biofuels be sustainable by 2020? An assessment for an obligatory
blending target of 10% in the Netherlands

Bilthoven : Netherlands Research Programme on Scientific Assessment and
Policy Analysis for Climate Change (WAB), 2009

WUR, 2006

M.P.J. van der Voort, A. van der Klooster, J. van der Wekken, H. Kemp,
P. Dekker

Co-vergisting van gewasresten, een verkennende studie naar praktische en
economische haalbaarheid

Wageningen : WUR Alterra, 2006

WUR, 2008

M.P.J. van der Voort, R.D. Timmer, W. van Geel, W. Runia, W.J. Corré
Economie van energiegewassen

Wageningen : WUR Alterra, 2008



WUR and ECN, 2009

E. Annevelink, J. Broeze & R. van Ree, (Wageningen UR) (eds.) &
J.H. Reith & H. den Uil, (ECN) (eds)
Opportunities for Dutch Roadmap Biorefineries
Wageningen : Wageningen University, 2009

Geraadpleegde websites:

Opbrengsten biogas voor gewasresten
<http://www.biogas.nl/bijproducten-landbouw/>

Opbrengsten biogas voor VGI reststromen
<http://www.biogas.nl/biomassa-reststromen/>



Bijlage A Eerdere analyses van goed gebruik biomassa

Eerdere studies zijn interessant vanuit twee invalshoeken:

1. Wat verstaat men onder goed gebruik (wat zijn criteria)?
2. Wat concludeert men op basis van de criteria?

Start Transitie Biomassa: Kansen voor een Biomassatransitie, koersbepaling na de eerste etappe, Projectgroep biomassa-transitie, 2002

In de begindagen van de energietransitie in uitvoering bij het ministerie van EZ werden alle biomassaopties gezamenlijk behandeld. Na enige discussie werd besloten dat het logisch was dat naast de energieopties bio-elektriciteit, biowarmte, biotransportbrandstoffen en biogas ook biomassa-inzet in de chemie aandacht behoorde te krijgen. De chemie werd gezien als interessante nieuwe optie. Geconstateerd werd dat in de VS in 'The Biomass Research and Development act, 2000' ingezet werd op zowel stimulering van biofuels als bioproducten (bijvoorbeeld bioraffinage). Aanbeveling werd gedaan om alleen duurzame biomassa te stimuleren en evenwicht te brengen in het stimuleren van biomassa in verschillende economische sectoren.

Studie	Koersbepaling biomassatransitie biomassa 2002
Zichtjaar	2010-2020
Criteria	Duurzaamheid. Een level playing field voor verschillende bio-opties. Energievoorzieningszekerheid. Gebruik braak liggende gronden Europa. Werkgelegenheid. Broeikaseneffect.
Advies op basis criteria	Hanteer voor alle bio-opties in verschillende sectoren een vergelijkbaar stimuleringskader. Zet niet alleen op bio-elektriciteit.

'Biomassa: tanken of stoken 2003'

Hanteert als criterium CO₂-emissiereductie per Euro overheidsbijdrage op dat moment en komt tot de conclusie dat bijstoken van hout in een kolencentrale drie- tot achtmaal kosteneffectiever dan biodiesel op basis van koolzaad bijmengen. Op de maat van CO₂-emissiereductie per ha vruchtbaar land is het verschil drie- tot tienmaal. Voor de kleinere bio-elektriciteitseenheden is het belangrijk dat zij ook warmte afzetten.

Studie	Biomassa tanken of stoken, 2003
Zichtjaar	2010
Criteria	CO ₂ -emissie per Euro meerkosten. CO ₂ -emissie per hectare vruchtbaar landgebruik. Energie-efficiency.
Advies op basis criteria	Bio-elektriciteit is een stuk efficiënter dan eerste generatie biobrandstoffen.



Biofuels under development, 2005

Bouwt verder op de vorige studie, maar kijkt naar de periode tot 2020, waarbij enerzijds wordt aangenomen dat dan tweede generatie biobrandstoffen op de markt zijn gekomen, anderzijds zijn er ook ontwikkelingen in de elektriciteitssector meegenomen. De belangrijkste conclusies zijn dat ook in deze tijdsperiode elektriciteitsproductie uit biomassa zeer waarschijnlijk kosteneffectiever (in €/ton CO₂-reductie) is dan biobrandstoffen. Beide kosten groeien wel naar elkaar toe. Als de optimistische kostenschattingen voor tweede generatie biobrandstoffen uitkomen, kunnen deze zelfs kosteneffectiever worden dan bio-elektriciteit.

Studie	Biofuels under development, 2005
Zichtjaar	2010-2020
Criteria	g CO ₂ -eq. reductie per MJ voertuigbrandstof. CO ₂ -emissie per Euro meerkosten.
Advies op basis criteria	Nodig voor benutting van potentieel van tweede generatie biobrandstoffen: technologische ontwikkeling en zorgen voor duurzaamheid van grootschalige biomassaproductie.

Het Groenboek 2007, van het Platform Groene Grondstoffen

Richtte zich op het jaar 2030. Zij kiest niet voor locale verbranding voor biowarmte wegens fijn stof en NO_x maar wel voor vergassing tot SNG (ander milieuaspecten als argument). De elektriciteitsproductie op basis biomassa wordt beperkt ingezet omdat er veel windvermogen wordt verwacht (voorkeur voor opties met weinig duurzame alternatieven). Ethanol en tweede generatie biodiesel worden grootschalig ingezet vooral omdat daarmee olie wordt vervangen (voorzieningszekerheidsargument). Vervangen van kolen wordt als minder interessant gezien wegens de grote beschikbaarheid en de mogelijkheid om CO₂ af te vangen bij kolencentrales (concurrerende optie als argument). Ook productie van biowaterstof wordt door de PGG als minder interessant gezien dan de productie van vloeibare biobrandstoffen. Inzet in de staalfabricage is echter wel interessant omdat het steenkool daar makkelijk vervangen kan worden door houtskool en alternatieven voor deze sector zijn lastig. Heel interessant voor de toekomst noemt de PGG de techniek van bioraffinage. Dat is een techniek die uit biomassa zowel voedsel, energiedragers als bioproducten produceert. Deze techniek dient nog verder ontwikkeld te worden.

Studie	Groenboek Platform Groene Grondstoffen, 2007
Zichtjaar	2030
Criteria	Vooraf olie vervangen (e-voorzieningszekerheid). Vooraf in sectoren zonder andere klimaatopties. Hoogste economische waarde. Geen ongewenste concurrentie met voedsel. Minimale overige emissies.
Advies op basis criteria	Groen gas op basis van vergassing biomassa. Tweede generatie biobrandstoffen. Biostaal. Biochemie en bioraffinage.



Well-to-Wheels analyse (JEC, 2007)

Het EU-onderzoeksinstituut geeft in versie 2c van haar gezaghebbende analyse van biobrandstoffenprestaties de meeste nadruk op zo laag mogelijke kosten per ton CO₂-emissievermindering. Daarnaast wordt gefocust op een zo groot mogelijke CO₂-reductie per ha vruchtbaar land. JEC concludeert dat bio-elektriciteit drie- à vijfmaal meer CO₂-emissie reduceert per ha vruchtbaar land dan biobrandstoffen (eerste of tweede generatie. Er is dan echter nog geen rekening gehouden met de productie van bijproducten. Dan wordt deze verhouding kleiner.). Ook wijst JEC erop dat bio-elektriciteit in kosten per ton CO₂ nu ongeveer viermaal goedkoper is.

Studie	Well to wheels, JEC, 2007
Zichtjaar	2010-2020
Criteria	CO ₂ -emissiebeperking per Euro meerkosten. CO ₂ -emissiebeperking per ha vruchtbaar land.
Advies op basis criteria	Vooraf inzetten op bio-elektriciteit. Binnen transport inzetten op biobrandstoffen met hoge CO ₂ -winst, met name op tweede generatie biobrandstoffen.

Heldergroene Biomassa, 2008

Heldergroene Biomassa van Stichting Natuur en Milieu en de milieufederaties legt sterk de nadruk op het beperken van de klimaatverandering (klimaatargument) inclusief (indirect) emissies van landgebruik (landgebruiksargument). In haar voorkeurslijst kiest zij vooral voor reststromen (geen landgebruik) en hout (relatief gunstige CO₂-performance). Impliciet kiest zij voor de korte termijn vooral voor inzet van biomassa voor elektriciteit en warmte.

Studie	Heldergroene Biomassa, 2008
Zichtjaar	2010-2020
Criteria	Klimaatverandering. Weinig of geen vruchtbaar landgebruik.
Advies op basis criteria	Reststromen en hout en daarmee op korte termijn impliciet voor bio-elektriciteit en warmte.

In Better Use of Biomass for Energy 2010

Geschreven in opdracht van de IEA worden twee scenario's uitgewerkt. Eén scenario richt zich op het tegen zo laag mogelijke kosten beperken van klimaatemissies en de andere richt zich vooral op voorzieningszekerheid. Met klimaat als hoofddoel scoren bio-elektriciteit en warmte beter dan andere technieken de komende tien jaar. Met een voorzieningszekerheidsblik zijn ook vloeibare biobrandstoffen voor transport interessant op langere termijn (in deze studie is geen aandacht besteedt aan de chemie).



Studie	Better use of Biomass for Energy; IEA, 2010
Zichtjaar	2010-2020
Criteria	Maximale CO ₂ -reductie per Euro meerkosten. Minimaal vruchtbaar landgebruik. Maximale energievoorzieningszekerheid.
Advies op basis criteria	Klimaatdoel stuurt naar bio-elektriciteit en warmte. Voorzieningszekerheid ook naar biotransport. Zorg voor minimalisering negatieve land use change effecten.

Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020, Procede Biomass BV, WUR, LEI (2009)

In dit onderzoek is op basis van bestaande literatuur geprognosticeerd hoeveel biomassa uit Nederland in 2020 beschikbaar zou kunnen zijn voor elektriciteit en warmte. Beschikbaar is gedefinieerd als aanwezig in NL, om te zetten met technologie in energie, juridisch mogelijk en financieel mogelijk. Er is ook rekening gehouden met toepassing van biomassa voor niet gesubsidieerde bestaande toepassing als veevoer, bodemverbeteraar, meststof, etc. Zo wordt er voor Nederlands stro geconstateerd dat dat niet beschikbaar is voor energie omdat er een bestaande niet-energie markt is die meer geld biedt dan de energiesector. Er wordt in deze studie wel aandacht besteedt aan groen gas maar niet aan extra inzet van biomassa voor transport of chemie.

Er zijn vier scenario's gebruikt die de economische wereldorde beschrijven. Er is onderscheid naar mondiale vrijhandel of regionale gerichtheid en een onderscheid naar wel of geen klimaatbeleid. In de voor Nederland minder relevante scenario's zonder klimaatbeleid wordt ingeschat dat de toepassing de productie van bio-elektriciteit zal toenemen met 25% (van 30 naar 38 PJ), biowarmte ongeveer gelijk zal blijven (van 13 naar 15PJ) en dat groen gas zich vrijwel niet zal ontwikkelen (1 PJ). In de scenario's met klimaatbeleid komt groen gas naar boven (10-13 PJ), stijgt bio-elektriciteit met 60% (49-51 PJ) en verdubbelt biowarmte (van 13 PJ naar 28 à 35PJ). Bij nadere bestudering van de variabelen in de scenario's blijkt dat toename voor bio-elektriciteit en voor groen gas vrijwel volledig bestaat uit extra biogasproductie die mogelijk wordt als het toegestaan wordt om digestaat als kunstmest-ervanger te gebruiken in Nederland. Deze beleidskwestie is gekoppeld aan de scenario's terwijl dat ook als losse kwestie gezien kan worden. Ook wordt de uitkomst sterk bepaald door de aanname dat de helft van het biogas wordt ingezet voor bio-elektriciteit en de helft voor groen gas. Deze aanname is een expertinschatting.

Belangrijkste bronnen van biomassa uit Nederland zijn resthout en afvalhout, mest, restvetten en het biodeel van huishoudelijk afval en KWD-afval. Als interessante technieken worden bio-WKK voor elektriciteit en warmte en vergisting van drijfmest genoemd. Voor deze laatste optie is het opdoen van ervaring van invoeden van groen gas in het aardgasnet belangrijk. Omdat mestvergisters moeilijk hun warmte kwijt kunnen is het interessant om het geproduceerde gas op te waarden tot groen gas. In de studie is aangenomen dat de helft van het geproduceerde biogas wordt ingezet voor de productie van elektriciteit via een gasmotor en de andere helft voor de productie van groen gas.



Ook bijstoken van biomassa in kolencentrales blijft belangrijk. Aanbevolen wordt om digestaat beleidsmatig gelijk te stellen aan kunstmest om vergisting meer kans te geven.

Deze studie spreekt zich niet expliciet uit over goed gebruik. Er wordt uitgegaan van de bestaande overheidsdoelstellingen en, nog belangrijker, van de bestaande overheidsregelingen waarvan de SDE-regeling voor bio-elektriciteit (evt. met warmtebonus) en groen gas de belangrijkste is.

De focus van de studie is op de elektriciteit- en warmtemarkt. Eventuele inzet van groen gas in de transportmarkt is niet beschouwd en ook de eventuele inzet van hout voor tweede generatie biobrandstoffen is wel genoemd maar niet in analyse meegenomen.

Studie	Beschikbaarheid biomassa voor E+W, 2009
Zichtjaar	2020
Criteria	Bestaand overheidsbeleid blijft grofweg gehandhaafd met subsidie voor bio-energie en warmteopties en groen gas. Met dit als kader wordt gekozen voor de goedkoopste opties. Bij de klimaatgerichte scenario's worden beleidsmatig knelpunten voor vergisting sneller weggenomen.
Advies op basis criteria	Ontwikkel inzet van groen gas in aardgasnet. Maak inzet van digestaat als meststof mogelijk. Belangrijkste biomassaopties voor Nederland zijn bio-WKK op basis van afval/resthout en biogas (deels gas-motor voor elektr., deels groen gas) op basis van mest.

Aandachtspunten resultaten beschikbaarheidsstudie:

- De studie geeft zeer gedetailleerd aan hoeveel Nederlandse biomassa na aftrek van bestaande gebruikers beschikbaar zou kunnen zijn voor nieuwe gebruikers.
- De scenariovariabelen hebben direct eigenlijk maar een beperkte invloed op de uitkomsten van het potentieel van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte omdat er van een vergelijkbare ondersteuning wordt uitgegaan als nu het geval is.
- De toepassing van vergisting van mest voor elektriciteit of groen gas is vooral afhankelijk van een aanpassing van mestwetgeving (digestaat wel of niet gelijkwaardig aan kunstmest) en deels de inpassing van installaties in het landelijk gebied. Doordat deze beleidsmatige keuze gekoppeld is aan de scenario's (veel klimaataandacht is aanpassing en anders niet) verschillen de scenario's toch behoorlijk maar het is de vraag of deze keuze sterk van de scenario's afhangt.
- De variatie in de scenario's voor bio-elektriciteit is vrijwel volledig toe te schrijven aan variatie in biogasproductie door verschil in het beleid rond digestaat.
- De aanname dat de helft van het biogas naar groen gas gaat en de andere helft naar lokale elektriciteitsproductie is sterk bepalend voor de verhouding groen gas/bio-elektriciteit.



Brede inzet biomassa, vergelijkingsmethodiek voor verschillende toepassingen, juli 2009, Platform Groene Grondstoffen

In dit rapport is uitgebreid omschreven hoe verschillende biomassa-toepassingen in verschillende sectoren vergeleken kunnen worden. Kern is het toepassen van levenscyclusanalyse op biomassatoepassingen. Zo wordt voorgesteld om biomassatoepassingen in hun sector te vergelijken met het fossiele alternatief. Dit kan via het vergelijken met de gemiddelde fossiele inzet maar liever met de marginale. Deze verschillen tussen het bioproduct en het fossiele product kunnen vervolgens vergeleken worden tussen de sectoren. Hierbij zou ook rekening gehouden kunnen worden met alternatieve duurzame opties in de verschillende sectoren. In dit project is ook met een begeleidingsgroep gesproken over criteria voor toetsing. De voorkeurslijst is samengevat in de tabel.

Studie	Brede inzet biomassa, vergelijkingsmethodiek, 2009
Zichtjaar	Niet bepaald.
Criteria	Maximale CO ₂ -eq. reductie. Macro-economische waarde. Minimaal landgebruik. Maximale energieopbrengst. Minimaal nutriëntengebruik. Minimaal watergebruik.
Advies op basis criteria	Vergelijk opties met de aanbevolen methodiek en criteria.



Bijlage B SDE omgerekend in €/ton CO₂

Tabel 11 SDE-subsidies 2010

Subcategorie	Basisbedrag (€/kWh)	Correctiebedrag
Hernieuwbare elektriciteit	2010	€/kWh)**** 2010
Afvalverbranding	0,114-0,137	0,096
Stortgas/biogas uit AWZI/RWZI	0,059	0,047
Biomassa:		
Thermische conversie (* 10 MW)**	0,151-0,176*	0,047
Thermische conversie (10-50 MW)	0,114-0,153*	0,047
GFT-vergisting	0,129-0,149*	0,047
(Co-)vergisting van dierlijke mest en	0,165-0,193*	0,047
Thermische conversie (* 10 MW)***		
Overige vergisting (m.n. VGI)	0,158	0,047
Subcategorie	Basisbedrag	Correctiebedrag
Hernieuwbaar gas	(€/Nm³)	€/ Nm³)**** 2010
	2010	
Stortgas/biogas uit AWZI/RWZI	0,218	0,208
Biomassa:		
GFT-vergisting	0,465	0,208
(Co-)vergisting van dierlijke mest	0,635	0,208
Overige vergisting	0,583	0,208

* Basisbedrag neemt toe bij toenemende warmtebenutting.

** Inclusief plantaardige en dierlijke oliën en vetten.

*** Met uitzondering van plantaardige en dierlijke oliën en vetten.

**** Dit is een voorlopig correctiebedrag. In 2011 wordt het definitieve correctiebedrag vastgesteld.



Tabel 12 Overheidsondersteuning bio-opties

Biomassaoptie	Jaarlijks steun budget 2010 (2009)	Kosteneffectiviteit volgens ECN/PBL###	Subsidiebedragen in Euro per ton CO ₂
Bio-elektriciteit	651 mln. Euro (715) [#]	60 à 80	135 à 238 54 (alleen mest)
Biowarmte		30 à 100	Circa de helft van bio-elektriciteit bedragen
Biotransportbrandstoffen	300 mln. Euro ^{##}	190 à 800 ^{####}	Geen= verplichting
Groen Gas	214 mln. Euro (195) [#]	180	266 (mest+maïs) 60 (alleen mest)
Biomassa bijstoken bij kolencentrale	123 mln. Euro via oude MEP-regeling	40 à 60	105
Biochemie	--	??	Geen
Biostaal	--	40 à 60 ^{####}	Geen

Bronnen

- # Bron SDE 2010 zie <http://www.senternovem.nl/sde/biomassa/index.asp>
- ## Via een verplichting. In CE (2008) heeft CE Delft berekend dat 5,75% biofuels in Nederland in 2010 automobilisten jaarlijks circa 430 miljoen Euro zouden kosten aan meerprijs aan de pomp. De huidige 4%-doelstelling komt dan op 4%/5,75% x 430 = circa 300 miljoen Euro.
- ### ECN (2007), Verkenning potentieel en kosten van klimaat en energiemaatregelen voor Schoon en Zuinig, ECN/PBL, juli 2007.
- #### ECN/PBL rapporteren 190 Euro per ton CO₂ omdat ze alleen kijken naar Nederlandse emissies en daarom biofuels op een CO₂-emissie van 0 zetten. In werkelijkheid zijn de mondiale emissies tussen de 20% en de 100% van emissies van fossiele brandstoffen. Dit geeft dat in werkelijkheid de CO₂-emissiekosten ook een stuk hoger kunnen liggen.
- ##### Vergelijkbaar met bijstoken bij kolencentrales.

Berekening €/ton CO₂ elektriciteit

Het subsidiebedrag per kWhe zonder warmte varieert tussen 6,7 en 11,8 Eurocent per kWhe. Met een gemiddelde CO₂-emissie van het Nederlandse grijze elektriciteitspark van 550 gram CO₂ per kWhe en 90% CO₂-reductie (hoge scores in CO₂-calculator CML) geeft dit een range van $0,067 / (0,550 \times 0,9) = 0,135$ Euro per kg CO₂ = 135 Euro per ton CO₂ à $0,118 / (0,55 \times 0,9) = 0,238$ Euro per kg CO₂ = 238 Euro per ton CO₂.

Uitzondering vormt het solo vergassen van dierlijke mest waarvoor een CO₂-reductie van -400% berekend kan worden. De 11,8 Eurocent subsidie die daarvoor gereserveerd is komt dan overeen met $0,118 / (0,55 \times 4) = 54$ Euro per ton CO₂.

Berekening €/ton CO₂ biowarmte

Biowarmte wordt gesubsidieerd als bonus op bio-elektriciteit. Het rendement hiervan kan sterk verschillen en ook de fossiele referentie die vervangen wordt is sterk verschillend. De subsidie met maximale warmteafzet is ongeveer 50% hoger dan zonder warmte afzet. De CO₂-score van bioprojecten met maximale warmteafzet kan echter verdubbelen (warmterendement is vaak twee maal zo groot als elektrisch rendement alleen warmte is qua CO₂ ongeveer de helft waard als elektriciteit). Dit maakt dat de bonus op warmte op een iets lager niveau lijkt te liggen als die van bio-elektriciteit.



Berekening €/ton CO₂ groen gas

Voor co-vergisting van dierlijke mest wordt een subsidie gegeven van 63,5 Eurocent - 20,8 = 42,7 Eurocent per Nm³ gas. Bij co-vergisten van een mix van maïs en mest is de netto CO₂-reductie circa 90% van 1,78 kg CO₂/Nm³ gas. Dat levert een CO₂-reductieprijs van $0,427 / (1,78 \times 0,9) = 266$ Euro per ton CO₂.

Voor solovergisten van mest is de subsidie vergelijkbaar maar de CO₂-eq. reductie veel groter (400%) en zakt het subsidiebedrag per ton CO₂ naar $0,427 / (1,78 \times 4) = 60$ Euro per ton CO₂.

Berekening stimulans bijstoken MEP-regeling

De stimulans van de vroegere MEP-regeling voor bijstoken loopt voor veel bijstook initiatieven nog door. Het gaat tot en met 2013 om MEP 5,3 Eurocent/kwhe x 2316 GWhe (CBS vermelding over 2008 (CBS, 2009)) = 123 miljoen Euro per jaar. De CO₂-vermijdingskosten van deze subsidie zijn $0,052 \text{ Eurocent} / (0,9 \times 0,55) = 105$ Euro per ton CO₂.





Bijlage C € / ton CO₂ en ha inschatting 2020-2040

C.1 Resultaten berekeningen

In de hierna volgende tabellen zijn de resultaten van de berekeningen gepresenteerd voor de een houtige biomassaprijs van 4,5 €/GJ en van 7,5 €/GJ. In Tabel 4 in het hoofdrapport zijn deze twee ranges gecombineerd tot één bredere range.

In de paragrafen na de tabellen zijn de parameters gebruikt voor de berekeningen toegelicht.

Benadrukt moet worden dat dit geen complete modelstudie is maar indicatieve berekeningen die met name voor de chemie nog veel verder uitgediept kunnen worden.



Tabel 13 Geschatte scores van biomassatechniekcombinaties (olieprijs van € 50/bbl. 2020 en houtprijs 4,5 €/GJ)

Toepassings-mogelijkheden biomassa in Nederland	€/ton vermeden CO ₂		ton CO ₂ -eq/ha/a		Reductie GHG emissies		Kostprijs bioproduct (€/GJ of ton)		Kostprijs referentie (€/GJ of ton)						
Bio-elektriciteit, USC CFBC (zie Lagisza) op SRC hout (GJ _e)	66	-	14	6,3	-	14,1	68%	-	91%	21,7	-	17,4	15,8	-	15,8
Meestoken houtchips in kolencentrale	36	-	33	16,6	-	27,8	85%	-	95%	5,9	-	5,9	2,5	-	2,5
Bio-warmte uit chips															
– Bebouwde omgeving (GJ _{th})	19	-	15	7,8	-	14,6	73%	-	91%	16,9	-	16,9	16,0	-	16,0
– Industrieel (GJ _{th})	7	-	1	7,7	-	14,5	73%	-	91%	7,7	-	7,4	7,3	-	7,3
Biotransportbrandstof (GJ _{transport})															
1 ^e Generatie suikerriet ethanol - FOB EU prijs, ex heffing	61		9,5		84%		16,2		11,9						
1 ^e Generatie in de EU															
– Tarwe met gasgestookte WKK	102		3,2		42%		15,5		11,9						
– Koolzaad biodiesel	100		5,6		54%		16,8		11,9						
– NExBtL palmolie (conservatieve olie-opbrengst)	83		9,7		73%		17,3		11,9						
2 ^e generatie biofuel															
– Bio-ethanol uit SRC hout	238	-	52	3,8	-	8,2	74%	-	74%	26,6	-	15,1	11,9	-	11,9
– FT diesel uit SRC hout	187	-	56	6,3	-	12,3	93%	-	93%	27,6	-	16,6	11,9	-	11,9
Groen Gas uit vergisting (GJ _{groen gas})															
– Co-vergisting	471	-	237	8,4	-	8,4	83%	-	83%	24,9	-	20,6	-		
– Mestvergisting (50% ÷ 50% RDM - VDM)	47	-	29	n.v.t.	-	n.v.t.	433%	-	433%	12,9	-	7,9	-		
SNG uit hout (GJ _{groen gas})	180	-	57	9,1	-	10,7	90%	-	90%	17,6	-	10,5	7,3	-	7,3
Bio plastics: - kentallen per ton															
– Etheen/PE uit suikerriet EtOH	-28	-	-26	10,3	-	14,6	239%	-	339%	908	-	878	1.000	-	1.000
– Zetmeelpolymeer	875	-	875	-		67%		-	67%	2,8	-	2,8	1,0	-	1,0
– 1,3 PDO/Sorona	615	-	1.343	11,9	-	11,9	23%	-	23%	2.850	-	1.750	1.970	-	3.670
Biochemie - FT nafta uit SCR hout (GJ _{nafta})	214	-	73	5,8	-	11,3	92%	-	92%	27,6	-	16,6	11,0	-	11,0
Bioproduct (voorbeeld: smeerolie) - per ton	333	-	333	0,2		77%		-	77%	1,5	-	1,5	1,0	-	1,0
Biostaal - SRC hout pellets (GJ TOP pellet)	55	-	46	15,6	-	27,7	84%	-	100%	7,6	-	7,6	2,5	-	2,5

- Bij CO₂-reductiepercentage alleen directe effecten, met name bij landbouwgewassen is er zeker een nadeel van indirecte effecten.
- Bij eerste generatie biobrandstoffen op basis van tarwe en koolzaad wordt er ook veevoer geproduceerd. Dit is meegerekend in de ha-benadering. Ongeveer de helft van de hectares voor teelt wordt toegerekend aan de bijproducten.
- Bij de opties waar kolen worden vervangen (bijstoken bij kolencentrales en biostaal) is de goede CO₂-score sterk bepaald door deze vervanging.

Tabel 14 Geschatte scores van biomassatechniekcombinaties (olieprijs van € 50/bbl. 2020 en houtprijs 7,5 €/GJ)

Toepassings-mogelijkheden biomassa in Nederland	€/ton vermeden CO ₂		ton CO ₂ -eq/ha/a		Reductie GHG emissies		Kostprijs bioproduct (€/GJ of ton)		Kostprijs referentie (€/GJ of ton)						
Bio-elektriciteit, USC CFBC (zie Lagisza) op SRC hout (GJ _e)	150	-	70	6,3	-	14,1	68%	-	91%	29,2	-	24,1	15,8	-	15,8
Meestoken houtchips in kolencentrale	68	-	61	16,6	-	27,8	85%	-	95%	8,9	-	8,9	2,5	-	2,5
Bio-warmte uit chips															
– Bebouwde omgeving (GJ _{th})	87	-	69	7,8	-	14,6	73%	-	91%	20,2	-	20,2	16,0	-	16,0
– Industrieel (GJ _{th})	76	-	56	7,7	-	14,5	73%	-	91%	11,2	-	10,9	7,3	-	7,3
Biotransportbrandstof (GJ _{transport})															
1 ^e Generatie suikerriet ethanol - FOB EU prijs, ex heffing	61		9,5		84%		16,2		11,9						
1 ^e Generatie in de EU															
– Tarwe met gasgestookte WKK	102		3,2		42%		15,5		11,9						
– Koolzaad biodiesel	100		5,6		54%		16,8		11,9						
– NExBtL palmolie (conservatieve olie-opbrengst)	83		9,7		73%		17,3		11,9						
2 ^e generatie biofuel															
– Bio-ethanol uit SRC hout	379	-	149	3,8	-	8,2	74%	-	74%	35,3	-	21,1	11,9	-	11,9
– FT diesel uit SRC hout	271	-	121	6,3	-	12,3	93%	-	93%	34,7	-	22,1	11,9	-	11,9
Groen Gas uit vergisting (GJ _{groen gas})															
– Co-vergisting	471	-	237	8,4	-	8,4	83%	-	83%	24,9	-	20,6			
– Mestvergisting (50% ÷ 50% RDM - VDM)	47	-	29	n.v.t.	-	n.v.t.	433%	-	433%	12,9	-	7,9			
SNG uit hout (GJ _{groen gas})	267	-	131	9,1	-	10,7	90%	-	90%	22,6	-	14,8	7,3	-	7,3
Bio plastics: - kentallen per ton															
– Etheen/PE uit suikerriet EtOH	-28	-	-26	10,3	-	14,6	239%	-	339%	908	-	878	1.000	-	1.000
– Zetmeelpolymeer	875	-	875			67%	-	67%	2,8	-	2,8	1,0	-	1,0	
– 1,3 PDO/Sorona	615	-	1.343	11,9	-	11,9	23%	-	23%	2.850	-	1.750	1.970	-	3.670
Biochemie - FT nafta uit SCR hout (GJ _{nafta})	306	-	143	5,8	-	11,3	92%	-	92%	34,7	-	22,1	11,0	-	11,0
Bioproduct (voorbeeld: smeerolie) - per ton	333	-	333	0,2		77%	-	77%	1,5	-	1,5	1,0	-	1,0	
Biostaal - SRC hout pellets (GJ TOP pellet)	89	-	75	15,6	-	27,7	84%	-	100%	10,8	-	10,8	2,5	-	2,5

- Bij CO₂-reductiepercentage alleen directe effecten, met name bij landbouwgewassen is er zeker een nadeel van indirecte effecten.
- Bij eerste generatie biobrandstoffen op basis van tarwe en koolzaad wordt er ook veevoer geproduceerd. Dit is meegerekend in de ha-benadering. Ongeveer de helft van de hectares voor teelt wordt toegerekend aan de bijproducten.
- Bij de opties waar kolen worden vervangen (bijstoken bij kolencentrales en biostaal) is de goede CO₂-score sterk bepaald door deze vervanging.

C.2 Toelichting bij resultaten

Zoals aangegeven in de hoofdtekst lijkt efficiëntie van biomassa-inzet het beste te kunnen worden geïllustreerd aan de hand van de parameters €/ton vermeden CO₂ en ton vermeden CO₂/ha/a.

Een indicatie van de scores van de verschillende beschouwde routes c.q. biomassatoepassingen op deze parameters zijn geschat aan de hand van JEC (2009)/JEC (2007)⁶, waar nodig aangevuld met andere bronnen.

De vergelijking is uitgevoerd vanuit een Nederlands perspectief. Het is een combinatie van toepassing van lokaal geproduceerde en geïmporteerde biomassa in Nederland. Het is bij biobrandstoffen en andere producten in principe ook mogelijk en misschien ook goedkoper kant en klare eindproducten te importeren. Een goede vergelijking met warmteproductie en in mindere mate ook met elektriciteit, groen gas en biostaalroutes is dan echter niet te maken.

Voor de waardering van de efficiëntie kunnen de huidige in de EU geproduceerde biobrandstoffen als referentiepunt worden gebruikt gegeven het feit dat hiervoor binnen de EU wettelijke doelen zijn geformuleerd voor GHG-emissiereductie en te implementeren volume in de vorm van de RED. De voor ethanol uit tarwe en biodiesel uit koolzaadolie gehanteerde parameters voor productiekosten, broeikasgasreductie en opbrengst per hectaren zijn rechtstreeks overgenomen uit JEC (2009)/JEC (2007).

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 de aangehouden referentie waarschijnlijk efficiënter wat betreft landgebruik en GHG-emissiereductie maar zijn waarschijnlijk aanzienlijk minder efficiënt wat betreft vermijdingskosten.

Voor productie van chemische grondstoffen en platform chemicals via thermisch chemische en biochemische routes kunnen vergelijkbare conclusies worden getrokken, zoals geïllustreerd middels het voorbeeld voor nafta uit biomassa via Fischer-Tropsch-synthese - in feite dezelfde route als voor Fischer-Tropsch-diesel. De route is iets minder kosteneffectief vanwege de lagere marktprijs voor de referentie, fossiele nafta.

Bioplastics direct uit biomassa (vooral voedselgewassen) zijn waarschijnlijk geen efficiënte manier van biomassatoepassing.

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_{biogas}) 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 verdampt echter en vanzelfsprekend wanneer wordt vergeleken met de commodityprijs.

⁶ 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.



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 land-gebruik 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.

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 referentieproducten (zie ook CE, 2006^b) - zoals in de tabel geïllustreerd voor smeermiddelen - en daarmee vanuit kosten-effectiviteit 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.

Een nadere toelichting op de onderliggende uitgangspunten voor bovenstaande analyse is in onderstaande paragrafen gegeven.

C.3 Gehanteerde uitgangspunten

C.3.1 Fossiele referentie

Alle routes zijn vergeleken met de fossiele referenties beschouwd in JEC (2009)/JEC (2007).

Tabel 15 Referenties, fossiele energiedragers als beschouwd in JEC (2009)/JEC (2007) voor olieprijs van € 50/bbl

Referenties	GHG balans (kg CO ₂ -eq./GJ)			€/GJ
	Precomb.	Brandstof	Totaal	
Aardgas	9	55	64	7,3
Benzine	13	71	84	11,9
Diesel	14	76	90	11,9
Nafta (steam cracking afzet)	13	71	84	10,0
Steenkool	16	95	110	2,5
Elektriciteit			129,8	15,8

Ter vergelijking: De huidige kleinverbruikerprijs voor aardgas bedraagt minimaal € 16/GJ.

De kostprijs voor Braziliaanse ethanol is gebaseerd op informatie op de Argus Biofuels website en is inclusief transportkosten voor tankervoer naar Rotterdam, exclusief een importheffing van US\$ 75/m³ ethanol.

C.3.2 Biomassa soort en prijs

Voor alle routes is uitgegaan van geteelde biomassa aangezien het mondiale potentieel en het potentieel in Nederland aan reststromen beperkt lijkt (Koppejan, 2009; Dornburg, 2008):

- Voor groen gas, eerste generatie biobrandstoffen steeds voedselgewassen.
- Voor elektriciteit, warmte, 'biostaal' en tweede generatie biobrandstoffen steeds houtchips en pellets van getorreficeerd hout uit energieteelt in de vorm van kort rotatie snoeihout.

Om een bandbreedte aan te geven is voor hout en voor FT-diesel, ethanolproductie uit hout en voor elektriciteitproductie een gunstiger en een ongunstiger scenario gehanteerd. Voor hout is onderscheid gemaakt tussen:

- goedkoop aangeboden geteeld hout waarbij in de teelt weinig kunstmest is gebruikt;
- duur geteeld hout waarbij bij de teelt veel kunstmest is gebruikt;
- Voor FT-diesel, ethanolproductie en elektriciteitproductie zijn lage en hoge conversierementen en investeringen beschouwd.

In het gunstigere scenario voor hout wordt uitgegaan van hoge opbrengsten per hectare en lage agronomische inputs en worden enkel de kosten voor teelt en voorbewerking beschouwd:

- Onder gunstige omstandigheden kunnen in gematigde en mediterrane klimaatzones in de eerste rotatie opbrengsten van circa 15 ton d.s./ha/jaar worden gehaald met uitschieters tot 20-30 ton d.s./ha/jaar in tropische klimaatzones.



- Houtchips van speciaal voor energietoepassingen geteelde bomen kunnen volgens JEC (2007) tegen een kostprijs van ongeveer € 4,5/GJ worden aangeleverd (bij een opbrengst van 10 ton d.s./ha/jaar). De aangegeven prijs is iets hoger dan de Nederlandse marktprijs voor houtchips van hout uit landschapsbeheer. In Renew (2008) worden vergelijkbare productiekosten genoemd. Het prijsniveau past goed bij de optimistischere prijsvoorspellingen in de literatuur voor import pellets van hout uit energieteelt uit Brazilië en de Oekraïne⁷.
- Volgens JEC (2009) is er - voor populierenteelt in gematigde klimaatzones - maar 2 kg N/ton hout aan kunstmest nodig.

In de minder gunstige benadering wordt uitgegaan van een gemiddelde opbrengst over meerdere rotaties van 10 ton d.s./ha/jaar. Opbrengsten voor bomen geteeld in hakhout plantages voor energietoepassingen nemen met een toenemend aantal rotaties af⁸, reden waarom hakhout voor energieteelt na ongeveer 20-25 jaar wordt geroid om te worden vervangen.

Voor de prijsvorming wordt uitgegaan van de opbrengsten waarbij een landbouwer een vergelijkbaar inkomen heeft als bij teelt van gangbare landbouwgewassen als granen. In Londo (2004) wordt voor energieteelt in Nederland een verkoopwaarde van circa € 7,5/GJ genoemd als referentieopbrengst. Deze waarde komt goed overeen met de huidige prijs voor pellets geïmporteerd uit Canada (€ 130-40 per ton⁹, circa € 7/GJ¹⁰). Het is daarmee ook een representatieve waarde voor duurdere import biomassa. Nutriëntengebruik is overgenomen uit Londo (2004) en bedraagt 90 kg N, 25 kg P en 45 kg K per hectare - gelijk aan de hoeveelheid mineralen in de afgevoerde biomassa.

C.3.3 Investeringskosten en rendementen voor tweede generatie biobrand-stoffenroutes en elektriciteit/meestoken

Voor elektriciteitsproductie, FT-dieselproductie en ethanolproductie uit hout zijn hogere en lagere rendementen en investeringskosten aangehouden om verwachte ontwikkelingen in technologie en investeringen te verdisconteren.

Elektriciteitsproductie

Voor bio-energie is uitgegaan van een grootschalige wervelbed verbrandingsoven met chips van geteeld hout als brandstof. De modernste bestaande wervelbed verbrandingsoven (Lagnisza, Polen) haalt een netto elektrisch rendement van 43-44%, de grootste biomassa gestookte installatie haalt een rendement van 40%.

Wervelbed verbrandingsovens zijn zowel voor grootschalige (100-300 MWe) als kleinschalige toepassingen (10-50 MWe) bewezen technologie en halen hoge

⁷ Zie bijvoorbeeld Uslu (2005) en Smeets (2008). Transport van pellets per schip vanuit Latijn-Amerika worden bijvoorbeeld geschat op € 10/ton, terwijl de werkelijke prijzen de afgelopen jaren € 25-30 per ton bedroegen, circa 1,5-2,0 €/GJ.

⁸ In Langholtz (2006) en Perlack (1995) bijvoorbeeld wordt aangegeven dat in praktijk de opbrengst per rotatie met 15-30% terugloopt als gevolg van sterfte van hakhout stammen.

⁹ Zie ook ECN (2009).

¹⁰ Prijsopbouw Canadese pellets (CE, 2006):

Biomassa kostprijs	€ 1,4/GJ	Bepaald geen dure biomassa;
Proceskosten	€ 1,6/GJ;	
Wegtransport naar haven	€ 1,9/GJ;	
Scheepstransport	€ 1,4/GJ.	

Marge producent = ± € 0,7/GJ.



elektrische rendementen, in de toekomst (binnen 10-20 jaar) waarschijnlijk tot 46-48%.

Voor investeringen en rendementen waarden uit respectievelijk Pfeiffer, 2009 en uit CE, 2007 en Giglio, 2009 gebruikt.

FT-diesel

Voor FT-diesel is een achttal studies voor installaties van uiteenlopende grootte en technologische rijpheid naast elkaar gezet.

Tabel 16 Kenmerken FT-installaties

	Investering	Rendement	
	(€/kWproduct)	Brandstof	Elektr.
Eerste installatie			
DENA	2.800	42%	n.b.
EEA	1.800	45%	25%
Refuel	2.100	53%	3%
ETP			
Choren gamma	> 2100		
Choren beta		53%	6%
Langere termijn (≥ 2030)			
DENA, 2006	2.100	50%	n.b.
EEA, 2008	1.600	50%	25%
Chalmers	1.200	60%	10%
Refuel	1.300	53%	3%
Hamelinck, 2005	1.200	50%	
RENEW, 2008 (laagste invest.)	1.625		
ETP			
Gemiddeld langere termijn	1.385	53%	

HVO

Productiekosten voor NexBtL-diesel zijn geschat op basis van investeringsopgaven voor de Neste-fabriek in Rotterdam en op basis van een palmolieprijs van € 13/GJ, € 500/ton (zie ECN, 2009; Argus Biofuels website).

Lignocellulose ethanol

Voor ethanol uit lignocellulose is voor het korte termijn perspectief uitgegaan van de cijfers gehanteerd in JEC (2007). Voor de langere termijn zijn schattingen voor investeringen en energetisch rendement uit een drietal andere studies gemiddeld.

Tabel 17 Kenmerken lignocellulose ethanol

	Investering	Rendement	
	(€/kWproduct)	Brandstof	Elektr.
Hamelinck, 2005	854	45%	
EEA, 2008	738	55%	
Chalmers, 2008	1.100	50%	
Gemiddeld langere termijn	897	50%	



C.3.4 Biomassainjectie in hoogoven proces (biostaal) en warmte-opwekking

Getallen voor productie van houtchips industriële warmte of ruimteverwarming in de bebouwde omgeving is zijn overgenomen uit een aantal haalbaarheidsstudies (Ingenia, 2005; Alterra, 2008; LNV, 2008; Ekwadraat 2009; Ecofys, 2007 en Ecofys, 2008).

Bij 'biostaal' is uitgegaan van vervanging van injectiekolen door getorrificeerd hout in het hoogovenproces. Het door ECN ontwikkelde zogenaamde TOP-proces, waarbij getorrificeerd hout aansluitend wordt gepelletiseerd, heeft volgens Bergmans (2005) een efficiency van 95% en productiekosten van € 50/ton pellets.

Voor bioproducten is productie van smeermiddelen uit koolzaad als illustratie gebruikt. De broeikasgasbalansgegevens voor biosmeermiddel en fossiele referentie zijn overgenomen uit een rapport van Precast en Jones uit 2006¹¹. De kostprijs voor smeermiddelen is conform KWIN (2009) op € 1/l verondersteld en de prijs voor biosmeermiddelen is verondersteld 1,5 maal hoger te zijn.

C.3.5 SNG-productie uit biomassa

Bij SNG-productie uit hout zal het hout worden vergast, waarna synthesegas middels gasreiniging, CO-shift en CO₂-afvang geschikt wordt gemaakt voor SNG-productie in een vastbed of wervelbed methanatiereactor. Het rendement van de SNG-productie uit hout is hoger wanneer het synthesegas al een zo hoog mogelijk percentage methaan bevat. Om die reden lijkt indirecte, allotherme vergassing voor SNG-productie aantrekkelijker als wervelbed vergassing¹² of stofwolkvergassing met stoom en zuurstof. Allotherme vergassing is ontwikkeld Silvagas/Rentech¹³ en TU Wien/Repotech (Güssing 8 MW_{th} demo-installatie) en is onder ontwikkeling bij ECN (Milena vergasser). Maximale gedemonstreerde schaalgrootte is voor zover bij ons bekend ongeveer 80 MW_{brandstof} (Silvagas Burlington). In Zweden zijn twee initiatieven voor de commerciële productie van SNG uit hout en organische reststromen:

- het 20 MW_{SNG} Gobigas-project in Gothenburg, start up eind 2012;
- Een 200 MW_{SNG} E'On Gasification Technology Development installatie¹⁴, start up gepland in 2015.

In Nederland wil ECN met HVC een 10 MW demonstratie-installatie realiseren.

De in de literatuur gevonden informatie over SNG-productie uit hout via allotherme vergassing is weergegeven in Tabel 16.

Concrete gegevens over voorgenomen projecten in Zweden en Nederland zijn beperkt beschikbaar en zijn ook weinig representatief aangezien het demo-projecten betreft.

De in de literatuur gevonden informatie geeft overigens wat betreft specifieke investeringen een consistent beeld. Voor het schatten van de productiekosten zijn de cijfers uit ECN (2006) gebruikt.

¹¹ Zie http://www.northenergy.co.uk/c/pdf/Life_Cycle_Assessment-Reports-6_2.pdf.

¹² Zie bijvoorbeeld HT Winkler vergassing, Carbona of de Foster Wheeler Energy Technology demonstratie installatie in Varnamo, Zweden.

¹³ Zie <http://www.rentechinc.com/pdu.php> voor een overzicht voorgenomen commerciële projecten.

¹⁴ Zie http://www.sgc.se/gasification/resources/09_Goran_Tillberg.pdf.



Wat betreft de rendementen zijn er wel duidelijke verschillen in verwachtingen:

- ECN verwacht een rendement van bijna 70% voor SNG met 8% elektriciteit als bijproduct;
- in beide andere studies wordt een vergelijkbaar rendement voor SNG-productie genoemd, echter zonder bijproductie van elektriciteit;
- De partners in het EU DG TREN bio SNG-project - onderzoekstraject gebaseerd op de vergasser in Güssing - geven aan dat een rendement van 55-65% realistisch is.

In deze studie is met het oog op die discrepantie de volle breedte van het bereik in de schattingen meegenomen: een maximaal rendement van 70% (met 8% elektriciteit) en een minimaal rendement van 60%.

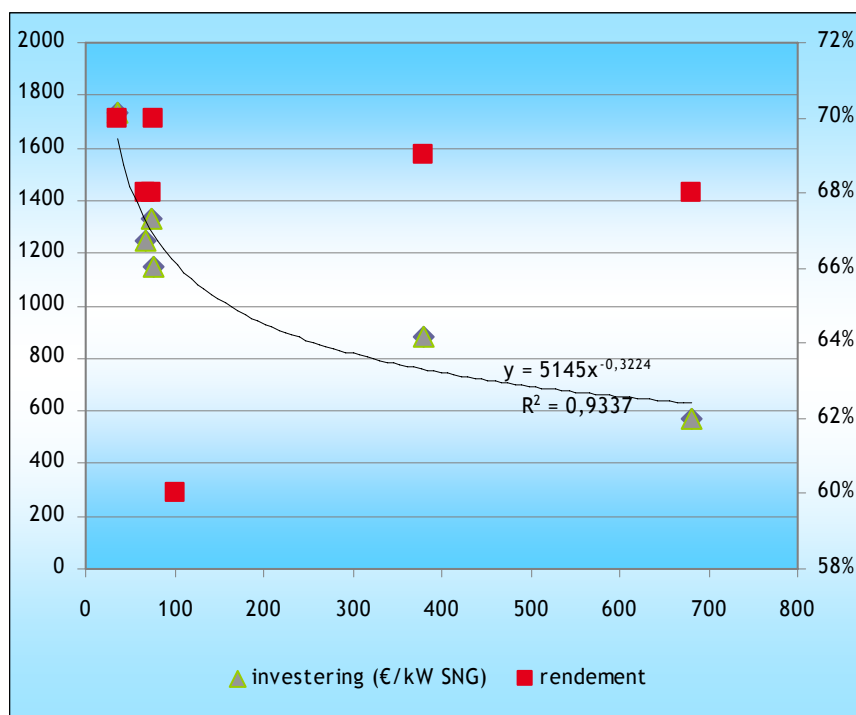
Voor operationele kosten is uitgegaan van de cijfers uit ECN (2006). Cijfers uit Ekwadraat (2009) leken onevenredig hoog. In DBFZ (2009) gepresenteerde informatie is lastig om te rekenen naar operationele kosten.

Tabel 18 SNG-productie uit biomassa

	I €/kW-SNG	O & M (perc. I)	MW SNG	Rendement	
				SNG	Elek.
ECN, 2006 (Milena prognose)					
De 100 MW _{input} installatie	1.250	8,6%	68	68%	8%
De 1.000 MW _{input} installatie	574	8,7%	680	68%	8%
Ekwadraat studie	1.730	19%	35	70%	
DBFZ-studie					
Allotherm kleinschalig (vanaf 2020)	1.333,333		75	68%	
AER-technologie kleinschalig (vanaf 2020)	1.146,667		77	70%	
Allotherm grootschalig (vanaf 2030)	880		380	69%	



Figuur 9 Grafische weergave investeringen en rendement voor SNG uit biomassa



C.3.6 Groen gas uit biogas

Massabalans voor vergisting

In deze studie wordt bij groen gas uit co-vergisting biogasproductie op basis van een 50÷50% gew.% mengsel van mest en snijmaïs co-substraat beschouwd. In deze studie gehanteerde specificaties van deze stromen is gegeven in Tabel 19.

Tabel 19 Gehanteerde substraatspecificaties

	Maïs	RDM ¹⁵	VDM ¹⁶	Mestmengsel
m ³ Biogas/ton o.s.	575	300	350	
m ³ Biogas/ton vers	165,6	22,5	20	21,25
Percentage CH ₄	55%	60%	60%	0,6
Gehalte o.s.	28,8%	7,5%	5,7%	6,6%
Percentage o.s. in d.s.	96%	71%	73%	72,2%
Percentage d.s. in mengsel				
Verhouding mestsoorten		50%	50%	

Bronnen: Zwart (2006); Wulf (2005); Ghekiere (2004); Ghekiere (2008), etc.

¹⁵ RDM = runderdrijfmest.

¹⁶ VDM = varkensdrijfmest.



In deze studie is aangenomen dat bij co-vergisting $0,08 \text{ MJ}_{\text{th}}/\text{MJ}_{\text{ruw biogas}}$ ¹⁸ nodig is om de warmtebehoefte van het proces te dekken (gebaseerd op BRCC, 2003). De warmte kan op basis van biogas worden opgewekt in een ketel met een rendement van 95% voor de productie van laagwaardige warmte (zie PMDE¹⁷) of kan worden geproduceerd door W/K-koppeling in een gasmotor.

Er is daarnaast circa $0,043 \text{ MJ}_e/\text{MJ}_{\text{biogas}}$ ¹⁸ elektriciteit nodig voor pompen, roeders, ventilatoren en ander randapparatuur (JEC, 2007).

Er is aangenomen dat elektriciteit wordt ingekocht en de warmtebehoefte wordt gedekt door productie van laagwaardige warmte in een biogas gestookte ketel. Er is in de analyse verder rekening gehouden met een totaal verlies aan biogas uit substraatopslag en uit de vergister zelf van 1,4% van de bruto biogasproductie (zie Broeze, 2007).

De resulterende massabalans is gegeven in Figuur 10.

Broeikasgassenbalans

Bij het schatten van de aan vergisting gerelateerde milieubelasting zijn de volgende typen emissies beschouwd:

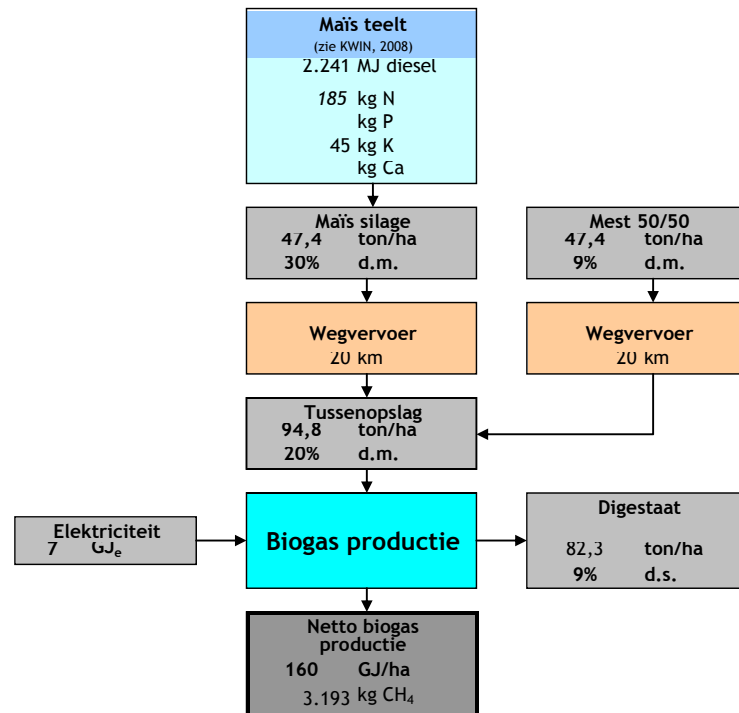
- emissies naar lucht van broeikasgasemissies en verzurende emissies uit de vergister en de substraatopslag;
- emissies door de inzet van biogas voor warmteproductie;
- indirecte emissies gerelateerd aan het gebruik van elektriciteit;
- uitgespaarde emissies door voorkomen van diffuse emissies uit mestopslag bij referentie mestopslag.

¹⁷ PMDE = Protocol Monitoring Duurzame Energie (2006).

¹⁸ Bij alle genoemde energiegebruiken betreft het steeds MJ ruw biogas.



Figuur 10 Massabalans en energiebalans voor co-vergisting van snijmaïs en mest



De uitgespaarde emissies in de referentiesituatie hebben betrekking op de emissies die optreden wanneer de mest gedurende meerdere maanden zou worden opgeslagen in een mestopslag. Daarbij vergist een deel van de mest spontaan, waarna het biogas naar de lucht ontsnapt en emissies van methaan, ammoniak en lachgas geeft.

De emissies uit vergister- en substraatopslag en de uitgespaarde emissies door het voorkomen van emissies uit mestopslag zijn bepaald conform Zwart (2007).

Kostenparameters voor vergisting

In Figuur 11 is een overzicht gegeven van de specifieke investeringskosten zoals gevonden in de literatuur. Alle kosten hebben betrekking op mesofiele vergisting, de meest gebruikte vergistingstechniek.

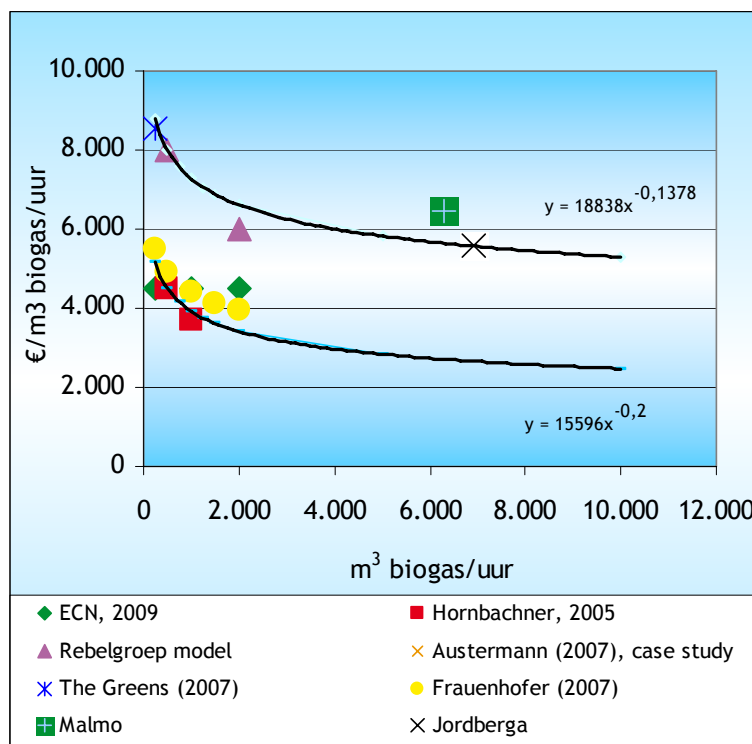
De specifieke investeringen genoemd voor Austermann (2007) hebben betrekking op een case studie waarvoor Juniper offerte heeft aangevraagd bij een aantal gerenommeerde technologieaanbieders voor een organische reststromen uit de V & G-industrieverwerkende installatie met een biogas-productiecapaciteit van ongeveer 500 m³/uur.

Er is daarnaast gebruik gemaakt van de achtergrondgegevens uit een door REBELgroep voor SenterNovem ontwikkeld kosten/batenmodel voor vergisting, bedoeld voor gebruik door V & G-industriebedrijven.

Voor grootschalige vergisters zijn twee investeringsbedragen gevonden voor grootschalige mestvergisters die door E'On zullen worden gerealiseerd in Malmö en Jordberga in Zweden.

De overige bronnen betreffen cijfers uit bureaustudies. De getallen uit ECN (2009) zijn gebruikt voor het bepalen van de SDE-subsidie voor groen gas en elektriciteit uit biogas.

Figuur 11 Overzicht in de geraadpleegde bronnen gegeven investeringskosten en de in deze studie aangehouden ondergrens en bovengrens



Zoals geïllustreerd zijn er grote verschillen in specifieke investeringen, zowel voor de kleinere schaalgroottes (500 m³/uur) als voor installaties van 2.000 en > 5.000 m³/uur. Uit de geraadpleegde bronnen is niet altijd op te maken wat onder de investeringskosten valt en wat niet.

Vanwege de grote verschillen in specifieke investeringskosten en het niet nader kunnen verklaren van die verschillen is in deze studie voor het schatten van de productiekosten voor biogas een bandbreedte in investeringskosten gehanteerd, aangegeven met beide stippellijnen.

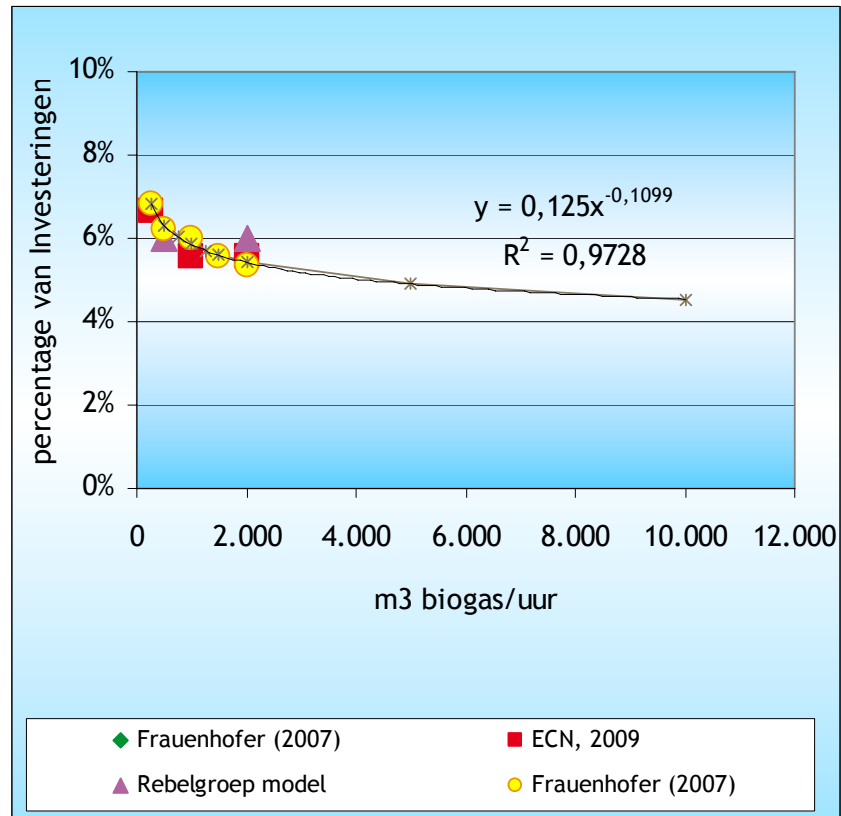
De operationele kosten exclusief kosten voor substraat aankoop, digestaat afvoer en eigen energiegebruik omvatten:

- kosten voor personeel;
- onderhoudskosten;
- kosten voor waterzuiveringsheffing;
- kosten voor chemicaliën.

Voor de operationele kosten worden alleen in Frauenhofer (2007) specifieke kosten per afzonderlijke - hierboven genoemde - kostenpost gegeven. De jaarlijkse operationele kosten variëren van bijna 7% van de investeringen voor kleine installaties tot bijna 5% voor grootschalige installaties.

In het door REBELgroep ontwikkelde model is aangenomen dat de operationele kosten steeds 6% van de investeringen bedragen. De operationele kosten gehanteerd voor de SDE-subsidie zijn verder niet gespecificeerd in ECN (2009).

Figuur 12 In geraadpleegde literatuur en in deze studie aangehouden jaarlijkse operationele kosten, als percentage van de investeringen



Om recht te doen aan het feit dat met toenemende schaalgrootte relatief minder personeel nodig is, is er voor gekozen om de Frauenhofer-percentages (2007) aan te houden. De bij deze cijfers horende trendlijn is ook in de grafiek weergegeven.

Om productiekosten per m³ biogas te kunnen schatten is het nodig kosten voor substraatinkoop, digestaatafvoer en elektriciteitsinkoop te bepalen. Voor de kosten voor substraat is uitgegaan van de marktwaarde genoemd in KWIN (2008) - € 17/ton n.s. Transportkosten voor substraat zijn op € 1/ton n.s. gezet.

De digestaat is verondersteld volledig te moeten worden afgevoerd. Voor de afzet is een gemiddelde kostprijs van € 20/ton n.s. aangehouden, ruwweg het gemiddelde voor de afzetkosten in Zuid-Nederland (€ 30/ton) en Noord- en Oost-Nederland (€ 5/ton) (zie Meijer, 2008).

Voor het inkooptarief voor elektriciteit is een prijs van c€ 14/kWh_e aangehouden (ECN, 2009).

Biogas opwerking

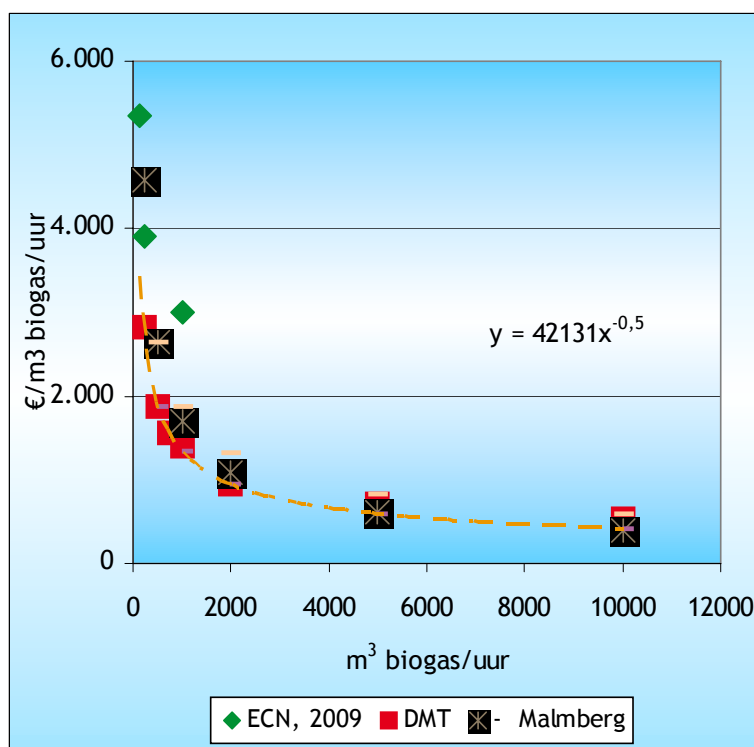
Voor de opwerkingsinstallatie - een hoge druk gaswasser met voorreiniging, droogstap en schoon gas compressie - zijn de volgende parameters aangehouden.

Tabel 20 Parameters biogas-opwerking

Groen gas productie	
Technische specificaties	
Methaanverlies	1%
Reductie methaanemissies	Naverbrander
CO ₂ -afscheiding	98%
Eigen gebruik (kWh/m ³ biogas)	
Elektriciteit	0,15
Warmte	0,4 - waarvan 75% recupereerbaar
Druk productgas (bar)	4
Economische kentallen	
Economische levensduur (jaar)	15
O & M kosten (als percentage van investering)	5%

Voor de investeringskosten is op basis van literatuur de volgende relaties geschat.

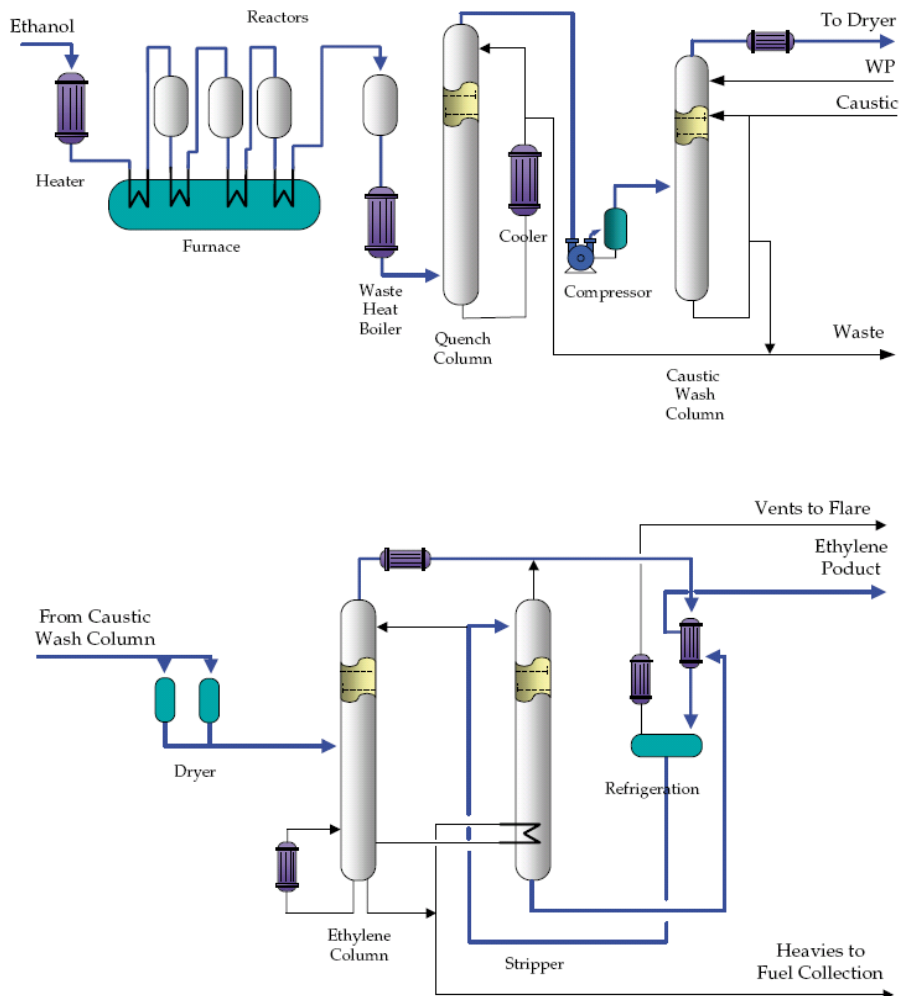
Figuur 13 Investeringskosten voor biogasinstallaties



C.3.7 Etheenproductie

Etheenproductie door katalytische dehydratie van ethanol is in feite de oude industriële productieroute voor van etheen, zoals toegepast tot in de jaren zestig van de vorige eeuw. De technologie wordt nog steeds aangeboden door onder andere Chematur Engineering uit Zweden.

Figuur 14 Etheen productie op basis van ethanol uit suikerriet



Het Braziliaanse Braskem zal in Triunfo in de deelstaat Rio Grande do Sul voor M€ 200-250 een eerste commerciële 200 kton/jaar ethanol dehydratie fabriek bouwen waarvan de productie in Japan zal worden afgezet en die in 2011 operationeel moet zijn¹⁹. Braskem wil voor 2014 een tweede installatie realiseren waarin niet alleen etheenproductie en polymerisatie, maar ook ethanolproductie uit suikerriet is geïntegreerd²⁰.

¹⁹ http://www.plastemart.com/plasticnews_desc.asp?news_id=15427.

²⁰ Een consortium van DOW en Crystalsev heeft eveneens plannen in Brazilië een volledig geïntegreerde 350 kton/jaar PE-fabriek te bouwen voor productie van PE uit suikerriet, die in 2011 operationeel moet zijn. Dit plan is echter on hold gezet, zie:

https://www.kpmgglobalenterpriseinstitute.com/documents/GLEI/930200984435Issue_Monitor_Chemicals_September_2009.pdf.



In het door Braskem ontwikkelde proces wordt ethanol met een efficiency van ongeveer 90% in etheen omgezet²¹.

Een schatting van de broeikasgassen balans voor de gehele keten tot en met etheen is gegeven in Tabel 21.

Tabel 21 Broeikasgaspotentieel van etheen uit suikerriet vergeleken met etheen uit aardolie (ton CO₂/ton etheen)

	Macedo-studie		BREW, 2006	Referentie
	Korte termijn perspectief	Lange termijn perspectief		
Vastlegging biologische CO ₂	-3,14	-3,14	-3,14	
Ethanolproductie	0,89	0,71	-0,96	
Energie uit bagasse	-0,43	-1,66		
Dehydratie	0,74	0,74		
Totaal	-1,94	-3,35	-4,10	1,4

C.3.8 Bio 1,3 propaandiol

DuPont heeft een fermentatieproces ontwikkeld waarin propaandiol rechtstreeks uit glucose kan worden geproduceerd. Het 1,3 propaandiol kan worden gebruikt om glycolen te vervangen, maar is waarschijnlijk het meest interessant als grondstof voor polytrimethylene terephthalate (PTT). Bij Dupont wordt PTT (merknaam Sorona) gevormd door de polycondensatie van biologisch 1,3-propaandiol met fosiel tereftaalzuur (of dimethyltereftalaat) (Kurian 2005), waarmee PTT deels van biologisch materiaal is gemaakt. PTT is qua eigenschappen en toepassing een alternatief voor nylon-6 (Patel 2009). In Tabel 22 is qua kosten en klimaatimpact een vergelijking gemaakt tussen bio-PTT en nylon-6.

Tabel 22 Vergelijking PTT met nylon op klimaatimpact en prijs

	Landgebruik (ha/ ton)	Klimaatverandering (kg CO ₂ eq/ kg)	Prijs (€/ kg)
PTT	0,12	4,7 *	2,3 (1,75-2,85)
	Patel, 2007	Patel, 2007	Patel, 2009
Nylon		6,13	2,25 ** (1,97-2,5)
		Patel, 2009	Patel, 2009

* Gemiddelde op basis van zetmeel uit graan.

** Waarde voor filament yarn, grade 70 Den FDY in Azië 2006/2007. Nylon 44 dtex16 filament yarn was € 3.47-3.67 in Europa eind 2007 (Patel, 2009).

²¹ Zie <http://edepot.wur.nl/25629>.

