



# Energie- en broeikasgasbalans voor enkele opties van energieproductie uit suikerbiet

Rapportage in opdracht van IRS

W.J. Corré & J.W.A. Langeveld





# Energie- en broeikasgasbalans voor enkele opties van energieproductie uit suikerbiet

Rapportage in opdracht van IRS

W.J. Corré & J.W.A. Langeveld

© 2008 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

## **Plant Research International B.V.**

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 – 48 60 01  
Fax : 0317 – 41 80 94  
E-mail : [info.pri@wur.nl](mailto:info.pri@wur.nl)  
Internet : [www.pri.wur.nl](http://www.pri.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
1. Doel	1
2. Opties	2
3. Werkwijze	3
4. Resultaten	4
5. Discussie	10
6. Conclusies	11
7. Literatuur	12

# 1. Doel

Verkennen van de mogelijkheden van energieproductie uit suikerbieten door middel van het berekenen van een energie- en een broeikasgasbalans voor enkele opties van verwerken van suikerbieten. Het gaat hierbij in eerste instantie niet om een grootschalige verwerking van voor dit doel geteelde bieten tot energie, maar om opties een deel van de huidige productie in te zetten voor de productie van energie.

## 2. Opties

Onderzocht zijn vijf opties, variërend van het huidige productieproces met suiker en perspulp als eindproducten tot verwerking van bieten tot ethanol en/of biogas.

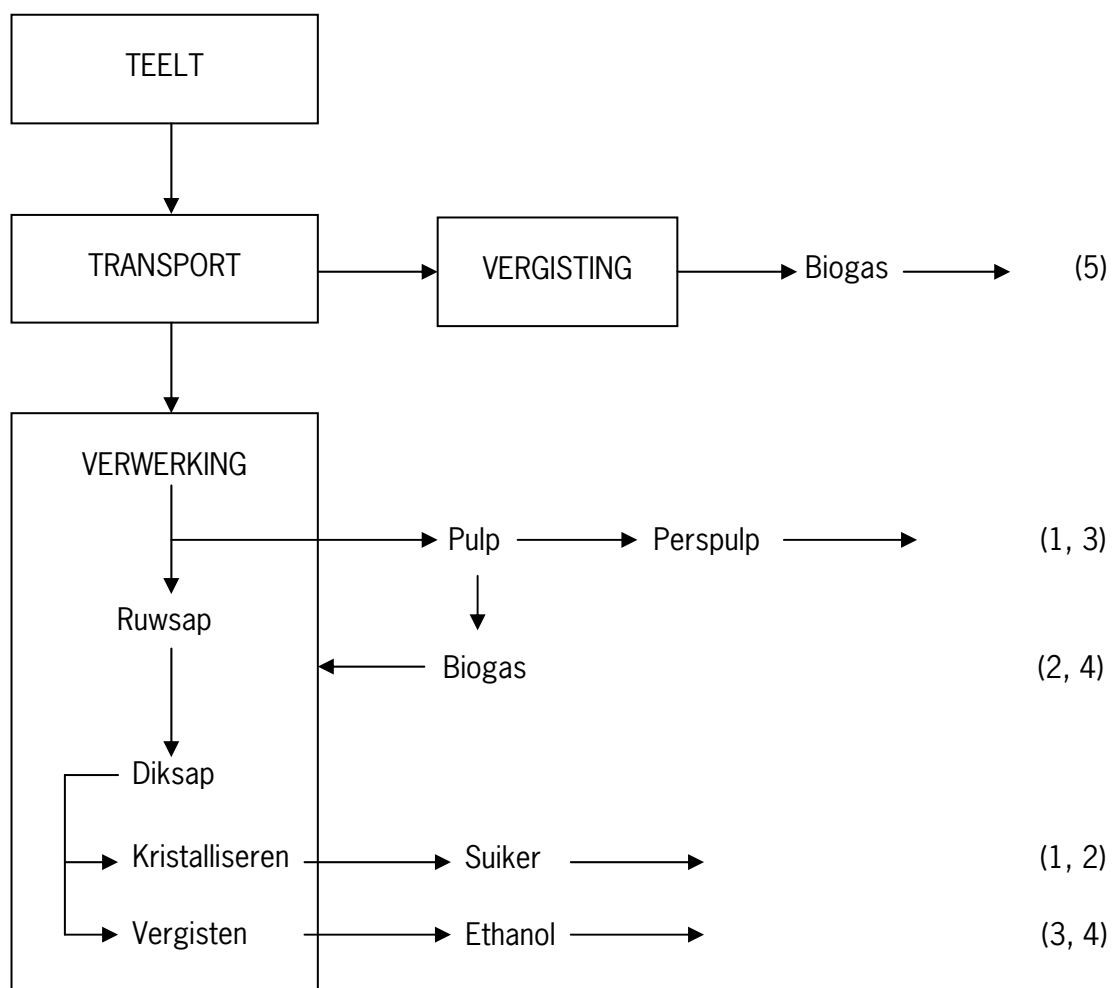
Onderzochte opties van verwerking van suikerbieten.

1. Gangbaar: productie van suiker en perspulp uit biet en deel van de kop
2. Productie van suiker, de pulp wordt vergist tot biogas dat intern gebruikt wordt
3. Productie van ethanol en perspulp uit biet met hele kop
4. Productie van ethanol, de pulp wordt vergist tot biogas dat intern gebruikt wordt
5. Productie van biogas door vergisting van hele bieten met blad

Het startpunt (1) is dus het huidige gangbare proces: productie van suiker met als restproduct perspulp dat verkocht wordt als veevoer. De pulp kan ook gebruikt worden voor de productie van energie (2), waarbij het door anaërobe vergisting geproduceerde biogas een deel van het in de suikerfabriek gebruikte aardgas vervangt. In plaats van suiker kan ethanol geproduceerd worden (3, 4). Omdat voor de productie van ethanol uit suiker de sapzuiverheid minder belangrijk is kan in dit geval de biet ontbladerd worden in plaats van gekopt, dit verhoogt de productie. Bij ethanolproductie zijn weer de opties van verkoop (3) en van vergisting (4) van pulp te onderscheiden. Als laatste optie (5) is gekeken naar de mogelijkheid van decentrale vergisting van hele bieten, inclusief blad. Dit is mogelijk een alternatief voor bieten die op grotere afstand van de suikerfabrieken geteeld worden, met name in jaren met een hoge productie.

### 3. Werkwijze

Het productieproces is voor de analyse opgesplitst in de onderdelen teelt, transport en verwerking (zie samenvatting in Figuur 1). Vervolgens is voor deze onderdelen per optie het energieverbruik en de broeikasgasemissie in kaart gebracht en zijn de opbrengsten berekend. Energieverbruik en broeikasgasemissies zijn berekend met het model E-CROP (RPR) op basis van een standaard berekening, aangevuld met specifieke informatie afkomstig van het IRS. Energieverbruik en broeikasgasemissies zijn berekend per ha en per ton geproduceerde suiker (optie 1 en 2) of ethanol (optie 3 en 4). Voor de opties met energieproductie als primair doel (3, 4 en 5) is bovendien berekend hoeveel fossiele energie vervangen kan worden door de geproduceerde energie, alsmede de hiermee gepaard gaande reductie van broeikasgasemissies. Op basis hiervan is voor deze opties een energie- en een broeikasgasbalans opgesteld.



Figuur 1. Verwerkingsopties voor suikerbiet.

## 4. Resultaten

De specifieke invoergegevens voor de berekeningen zijn samen met enkele andere voor de specifieke Nederlandse situatie geldende parameters aangeleverd door IRS en zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. *Parameterwaarden voor suikerbietenenteelt en –verwerking in Nederland.*

Parameter	Eenheid	Gem. waarde 2003-2007
netto wortelopbrengst	ton/ha netto	65.4
geleverde wortelopbrengst <sup>1</sup>	ton/ha	70.3
totale wortelopbrengst <sup>2</sup>	ton/ha	74.0
suikergehalte, netto	%	16.78
suikergehalte, geleverd <sup>3</sup>	%	17.12
suikergehalte, gecorr. <sup>4</sup>	%, incl. kop	16.88
netto suikeropbrengst	ton/ha netto	11.0
geleverde suikeropbrengst	ton/ha	12.0
totale suikeropbrengst	ton/h, incl. kop	12.5
drogestof opbrengst <sup>5</sup>	ton/ha, excl. blad	17.0
organische stof opbrengst	ton/ha, excl. blad	16.6
loofopbrengst, vers	ton/ha, schatting	40.0
loofopbrengst, drogestof	ton/ha, schatting	5.0
loofopbrengst, organische stof	ton/ha, schatting	4.1
grondtarra	ton/ha	3.5
N-gift, totaal (werkzaam N)	kg/ha N	131
P-gift, totaal	kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	81
K-gift, totaal	kg/ha K <sub>2</sub> O	106
gewasbeschermingsmiddelen	kg/ha actieve stof	3.6
percelen met beregening <sup>6</sup>	% van totaal	4.6
brandstofverbruik teelt <sup>7</sup>	liter/ha	129
transportafstand bieten (fabriek)	km	90
brandstofverbruik transport	liter/35.5 ton	69.23
transportafstand bieten (vergister)	km	25
brandstofverbruik transport	liter/35.5 ton	19.23
aardgasverbruik fabriek	GJ/ton suiker	4.25
waarvan voor kristallisatie	GJ/ton suiker	2.23

<sup>1</sup> uitgaande van een koptarrapercentage van 5% en 2% bietverliezen bij het wassen voor de tarrabepaling.

<sup>2</sup> wortelopbrengst inclusief kop, exclusief blad.

<sup>3</sup> het geleverde kopgedeelte bevat minder suiker, correctie suikergehalte -0.16%, correctie Polsuikeranalyse +0.50%.

<sup>4</sup> de volledige kop bevat minder suiker, correctie suikergehalte -0.40%, correctie Polsuikeranalyse +0.50%.

<sup>5</sup> uitgangspunt verhouding suiker/drogestof = 0,735.

<sup>6</sup> beregening is niet apart berekend, wel voor zover het dieselvebruik betreft.

<sup>7</sup> inclusief 13 liter voor laden.



De aangeleverde parameters zijn ingevoerd in E-CROP, waarmee vervolgens de opbrengsten (zowel aan producten als aan energie), het verbruik van energie en de emissie van broeikasgassen zijn berekend. Voor de opties 3, 4 en 5, met als hoofdproduct 'energie', zijn bovendien de hoeveelheden bespaarde fossiele energie en vermeden broeikasgasemissie berekend. Tevens is hiervoor een energie- en een broeikasgasbalans opgesteld. Omdat E-CROP is ontworpen voor de totale omzetting van gewassen in energie is het model aangepast voor de mogelijkheid van productie van suiker en pulp. De resultaten zijn samengevat in Tabel 2 (energie) en Tabel 3 (broeikasgassen). De resultaten zijn tevens geïllustreerd in een aantal figuren: energieverbruik en broeikasgasemissie bij verschillende opties van verwerking (Figuur 2 en Figuur 4) en energiebalans en broeikasgasbalans bij de opties met hoofddoel energieproductie (Figuur 3 en Figuur 5).

Tabel 2. *Energieverbruik en energiebalans bij verschillende verwerkingsopties.*

Optie	1	2	3	4	5
<u>Energieverbruik per ha (GJ)</u>					
Landbouw	13.6	13.6	13.6	13.6	14.7
Transport	6.7	6.7	7.0	7.0	2.9
Proces	50.7	50.7	68.9	68.9	44.9
Pulpvergisting		-34.0		-34.0	
Totaal	71.0	37.0	89.5	55.5	62.5
Toegerekend aan pulp	-6.7		-6.8		
Toegerekend aan suiker/ethanol/biogas	64.3	37.0	82.7	55.5	62.5
Energieopbrengst (kg ethanol/methaan)			5480	5480	5265
Energieinhoud (GJ)			144.1	144.1	293
Bruto energieopbrengst (GJ)			175.9	175.9	296
Netto energieopbrengst (GJ)			93.2	120.4	233
Rendement			0.53	0.68	0.79
<u>Energieverbruik per ton suiker (GJ)</u>					
Landbouw	1.25	1.25			
Transport	0.62	0.62			
Proces	4.68	4.68			
Pulpvergisting		-3.14			
Totaal	6.55	3.41			
Toegerekend aan pulp	0.62				
Toegerekend aan suiker	5.93	3.41			
<u>Energieverbruik per ton ethanol (GJ)</u>					
Landbouw			2.53	2.53	
Transport			1.30	1.30	
Proces			12.81	12.81	
Pulpvergisting				-6.32	
Totaal			16.64	10.32	
Toegerekend aan pulp			1.26		
Toegerekend aan ethanol			15.38	10.32	

## Toelichting op Tabel 2

Het energieverbruik in de landbouw bestaat voornamelijk uit brandstof en meststoffen. In optie 5 is het energieverbruik iets hoger doordat hier ook het blad geoogst wordt, dit heeft tevens een verhoogde stikstofbemesting voor het opvolgende gewas tot gevolg. Volgens het bemestingsadvies kan de stikstofgift na suikerbieten 30 kg ha<sup>-1</sup> lager zijn dan na andere gewassen door de nawerking van het achtergebleven blad (van Dijk & van Geel, 2007); deze verlaging is in de berekeningen toegerekend aan de bemesting van de suikerbieten.

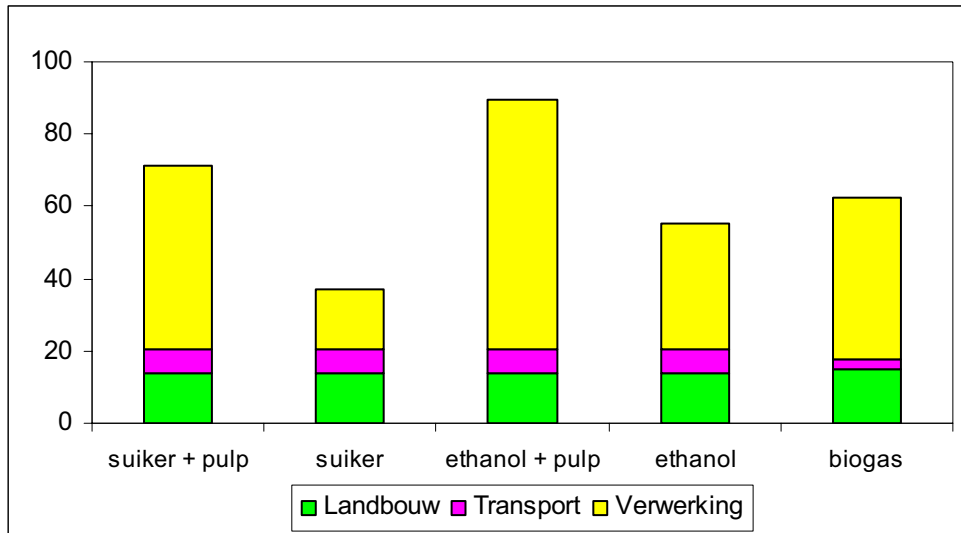
Transport is door de grote afstand een belangrijke post van energieverbruik, in optie 5 is deze post ondanks de grotere vracht (blad) lager door de kleinere afstand.

Energieverbruik gedurende de verwerking is in alle gevallen de belangrijkste post op de energiebalans, speciaal het opleveren van een zuiver eindproduct d.m.v. kristallisatie van suiker (1 en 2) of destillatie van ethanol (3 en 4) kost veel energie. Dit energieverbruik kan beperkt worden door vergisting van de pulp tot biogas (2 en 4). De opties met vergisting gaan uit van de productie van ongezuiverd biogas. Dit kan alleen gebruikt worden in een voor dit gas geschikte WKK installatie. Bij suiker- of ethanolproductie is dit geen probleem, bij optie 5 zou gas aan het gasnet geleverd kunnen worden, het energieverbruik voor zuivering bedraagt in dat geval 11% (gemiddelde waarde volgend Berglund & Börjesson, 2005) van de bruto energieopbrengst en daarmee zou het rendement dalen naar 0.68. Het energieverbruik voor vergisting verschilt sterk per individuele installatie. Uitgegaan is van het gemiddelde verbruik van een grootschalige installatie volgens Berglund & Börjesson (2006): 12% van de energie-inhoud van de grondstof.

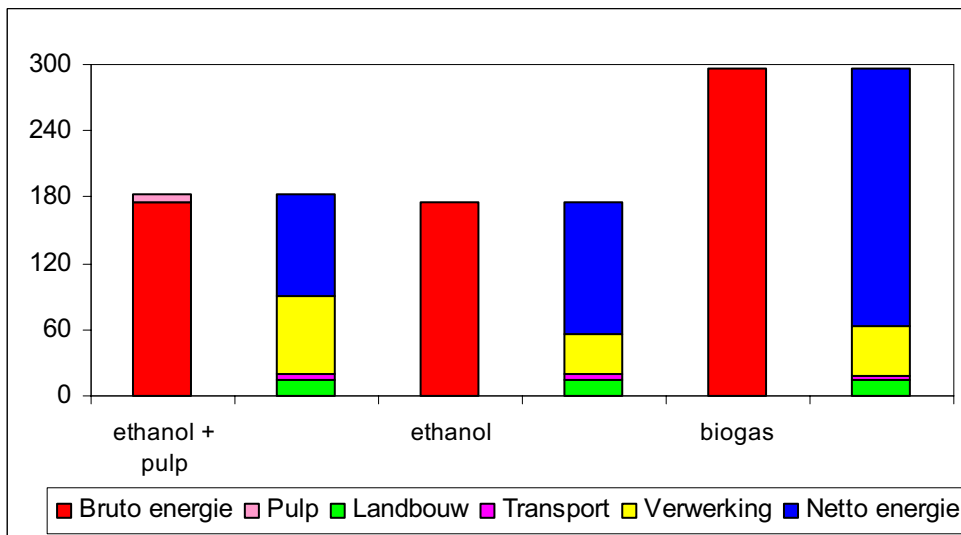
In de opties 1 en 3 is een deel van het energieverbruik toegerekend aan perspulp, in deze opties een verkocht bijproduct. Dit is gedaan op basis van economische waarde, conform Horne *et al.* (2003).

De bruto energieopbrengst is de hoeveelheid vervangen fossiele energie, inclusief de indirecte energie die nodig is voor de productie van de vervangen energie. Uitgegaan is van een netto vervanging van 1 GJ/GJ, het verschil tussen energie-inhoud van de geproduceerde bioenergie en de bruto energieproductie is de (indirecte) energie die nodig is voor de productie van de vervangen fossiele brandstoffen. Deze energie wordt gebruikt voor o.a. winning, transport en raffinage.

Het rendement, ofwel de fractie van de bespaarde fossiele energie die niet wegvalt tegen het energiegebruik in de productieketen, is in optie 3 al ruim 50%. Het rendement kan sterk verbeterd worden door vergisting van de pulp en kan oplopen tot bijna 80% bij vergisting van hele bieten, mits het biogas niet voor gebruik gezuiverd wordt.



*Figuur 2. Energieverbruik bij verschillende opties van verwerking van suikerbieten (in GJ per ha).*



*Figuur 3. Energiebalans voor opties van verwerking van suikerbieten tot energie (in GJ per ha).*

Tabel 3. Broeikasgasemissies en broeikasgasbalans bij verschillende verwerkingsopties.

Optie	1	2	3	4	5
<b>Broeikasgasemissie per ha (kg CO<sub>2</sub>-eq.)</b>					
Landbouw CO <sub>2</sub>	1000	1000	1000	1000	1120
Landbouw N <sub>2</sub> O	1920	1920	1920	1920	1340
Transport	490	490	510	510	220
Proces	2870	2870	3900	3900	2570
Pulpvergisting		-1920		-1920	
Totaal	6280	4360	7330	5410	5250
Toegerekend aan pulp	-940		-950		
Toegerekend aan suiker/ethanol/biogas	5340	4360	6380	5410	5250
Bruto emissiereductie			12650	12650	16590
Netto emissiereductie			6270	7240	11240
Rendement			0.496	0.57	0.68
<b>Broeikasgasemissie per ton suiker (kg CO<sub>2</sub>-eq.)</b>					
Landbouw CO <sub>2</sub>	90	90			
Landbouw N <sub>2</sub> O	180	180			
Transport	45	45			
Proces	265	265			
Pulpvergisting		-175			
Totaal	580	405			
Toegerekend aan pulp	-85				
Toegerekend aan suiker	495	405			
<b>Broeikasgasemissie per ton ethanol (kg CO<sub>2</sub>-eq.)</b>					
Landbouw CO <sub>2</sub>			185	185	
Landbouw N <sub>2</sub> O			355	355	
Transport			95	95	
Proces			725	725	
Pulpvergisting				-355	
Totaal			1360	1005	
Toegerekend aan pulp			-175		
Toegerekend aan ethanol			1185	1005	

### Toelichting op Tabel 3

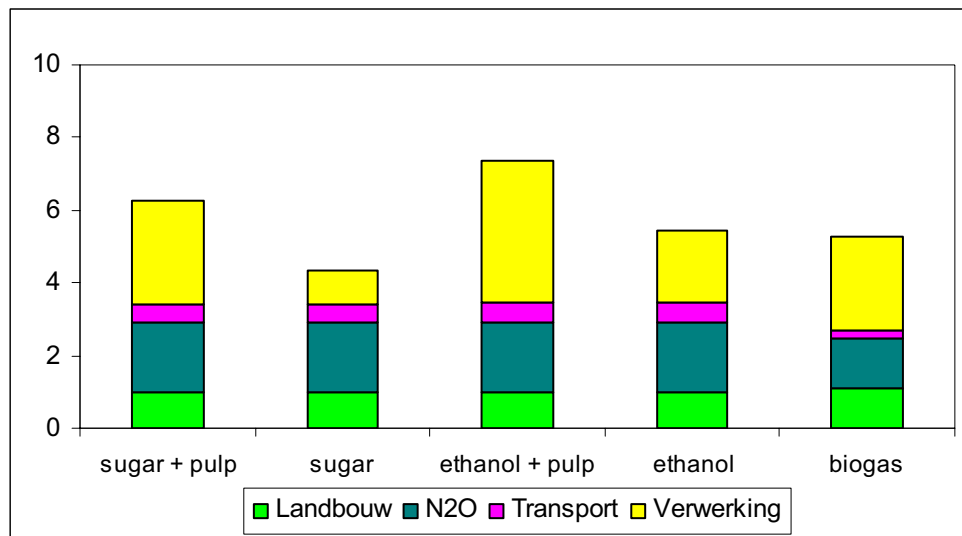
Emissie van CO<sub>2</sub> is in hoge mate evenredig met het verbruik van energie, met als kanttekening dat aardgas een lagere emissie van CO<sub>2</sub> heeft dan energiebronnen op basis van aardolie. Dit heeft tot gevolg dat de emissie van CO<sub>2</sub> uit het verwerkingsproces procentueel iets lager is dan het overige energieverbruik.

Naast de emissie van CO<sub>2</sub> heeft in de landbouw emissie van N<sub>2</sub>O plaats als gevolg van stikstoftoediening. Als 'Global Warming Potential', de maat voor de werkzaamheid als broeikasgas is voor N<sub>2</sub>O 296 kg CO<sub>2</sub>-equivalent per kg N<sub>2</sub>O aangehouden (IPCC, 2001). Deze emissie vindt plaats bij de productie van kunstmeststikstof (Jenssen & Kongshaug, 2003) en uit de bodem na toediening van stikstof in dierlijke mest of kunstmest en uit achtergebleven gewasresten (IPCC, 2007). IPCC (2007) onderscheidt directe emissie uit het veld waar de stikstof is toegediend en indirecte emissie van andere locaties waar uit het betreffende veld uitgespoelde of vervluchtigde stikstof verder wordt omgezet. De emissie van N<sub>2</sub>O is een belangrijke post op de broeikasgassenbalans en zorgt er voor dat het rendement op deze balans duidelijk lager is dan het rendement op de energiebalans. De emissie van N<sub>2</sub>O is lager in optie 5, omdat hier het blad afgevoerd wordt. Daar staat tegenover dat achtergelaten blad een bemeste waarde

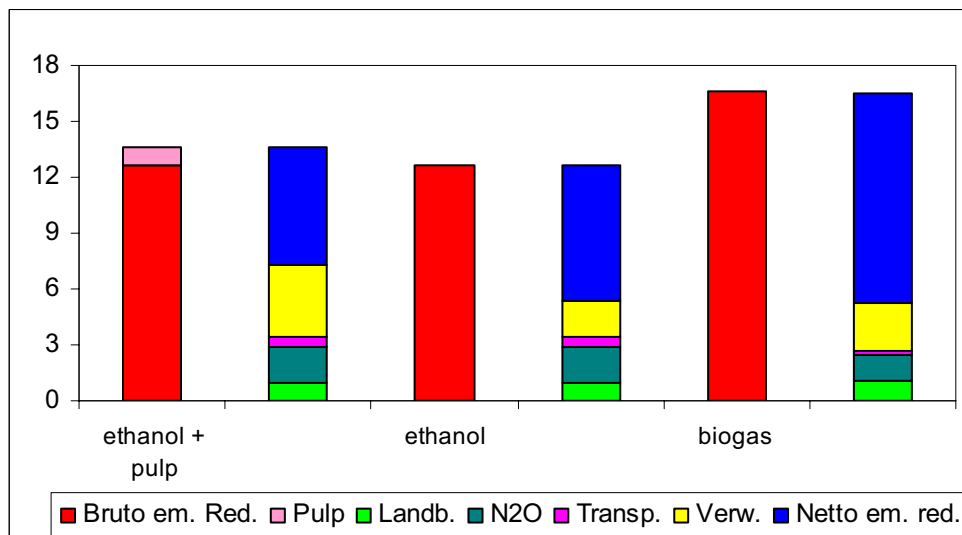
heeft voor het opvolgende gewas, maar de hierdoor veroorzaakte verlaging van de emissie is veel kleiner dan de daling door het afvoeren van het blad.

Het rendement op de broeikasgassenbalans voor de productie van ethanol kan worden vergeleken met het voorstel voor een duurzaamheids criterium voor productie van biobrandstoffen van de Commissie Cramer (Task Force Energietransitie, 2006). Dit is voor de korte termijn gesteld op 0.3, maar voor de langere termijn op 0.5. Om deze hogere norm te kunnen halen is slechts een kleine verbetering van de broeikasgassenbalans nodig. Vergisting van pulp is dan niet noodzakelijk, dat geeft wel een aanzienlijke verbetering van het rendement.

Ook op de broeikasgasbalans is het rendement het hoogst bij optie 5, ook weer mits het biogas niet voor gebruik gezuiverd wordt, in dat geval zou het rendement dalen tot 0.57, ongeveer het niveau van optie 4.



Figuur 4. Broeikasgasemissie bij verschillende opties van verwerking van suikerbieten (in kg CO<sub>2</sub>-eq. per ha).



Figuur 5. Broeikasgasbalans voor opties van verwerking van suikerbieten tot energie (in kg CO<sub>2</sub>-eq. per ha).

## 5. Discussie

In de opties met ethanolproductie (3 en 4) zijn de bieten ontbladerd in plaats van gekopt. Dit verhoogt de opbrengst aan ethanol, maar kan minder gunstig zijn in een opzet waar slechts een deel van het geproduceerde diksap voor ethanolproductie gebruikt wordt en een deel voor suikerproductie.

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met de bemestende waarde van digestaat van vergisting. Productie en dus gebruik van digestaat bespaart kunstmest, maar daar staat wel transport en toediening tegenover. Digestaat van pulp heeft een laag stikstofgehalte en daardoor weinig bemestende waarde, gebruik van dit digestaat zal de energie- en broeikasgassenbalans waarschijnlijk ook niet kunnen verbeteren. Digestaat van blad heeft een hoger stikstofgehalte en daardoor ook meer bemestende waarde, gebruik kan hier wel tot verbetering van de balansen leiden, mits de transportafstand klein kan blijven. De bemestende waarde van digestaat voor P en K is discutabel: in principe vervangt het digestaat de met het blad afgevoerde nutriënten en is er geen netto bemestende waarde.

Het volledig toerekenen van de opgegeven P en K bemesting aan de suikerbieten is discutabel. Bieten krijgen veel meer P en K dan bij voorbeeld graan, maar voeren niet meer af. Een toerekening op basis van afvoer binnen een vruchtwisseling lijkt dan reëler dan een toerekening op basis van actuele gift, het effect hiervan op de energiebalans zal echter zeer gering zijn.

De energieopbrengst van biogas is berekend als evenwaardig met aardgas. Dit geldt alleen voor installaties die ongezuiverd biogas als brandstof kunnen gebruiken en dat betekent dat het biogas ter plaatse gebruikt moet worden. Een hoog rendement is alleen mogelijk als de (rest)warmte nuttig gebruikt kan worden. Bij de productie van suiker of ethanol is dit geen probleem, bij de vergisting van hele bieten kan dit wel een probleem vormen. Bij afwezigheid van een zeer nabij gelegen warmtevraag is zuivering tot aardgaskwaliteit en levering aan het aardgasnet een optie, hierbij gaat echter veel energie verloren (gemiddeld 11% van energie-inhoud van het gas volgens Berglund & Börjesson, 2006).

## **6. Conclusies**

Vergisten van pulp kan een aanzienlijk deel van het aardgasverbruik in de verwerking vervangen.

De productie van ethanol uit suikerbieten kan goed voldoen aan criteria voor duurzaamheid betreffende de broeikasgasbalans

Vergisten van hele bieten, inclusief blad, heeft een sterk positieve energie- en broeikasgassenbalans.

## 7. Literatuur

Berglund, M. & P. Börjesson, 2006.

Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass & Bioenergy* 30: 254-266.

Horne, R.E., N.D. Mortimer & M.A. Elsayed, 2003.

Energy and carbon balances of biofuels production: biodiesel and bioethanol. Proceedings No. 510. The International Fertiliser Society.

IPCC, 2001.

Third assessment report: Climate Change 2001. University Press, Cambridge.

IPCC, 2006.

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

Jenssen, T.K. & G. Kongshaug, 2003.

Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production. Proceedings no. 509. The International Fertiliser Society.

Task Force Energietransitie, 2006.

Criteria voor duurzame biomassa productie ('Rapport Commissie Cramer').

Van Dijk, W. & W.C.A. van Geel, 2007.

Adviesbasis Bemesting Akkerbouw- en Vollegrondsgroentegewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad.