



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

Rapportage in opdracht van IRS

W.J. Corré & J.W.A. Langeveld





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

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 05 00
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
1. Doel	1
2. Opties	2
3. Werkwijze	3
4. Resultaten	5
5. Discussie	11
6. Conclusies	12
7. Literatuur	13

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 en bietenblad. 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 van verwerking van bieten, variërend van het huidige productieproces met suiker en perspulp als eindproducten tot verwerking van bieten tot ethanol en/of biogas, en één optie van verwerking van blad: vergisting tot biogas.

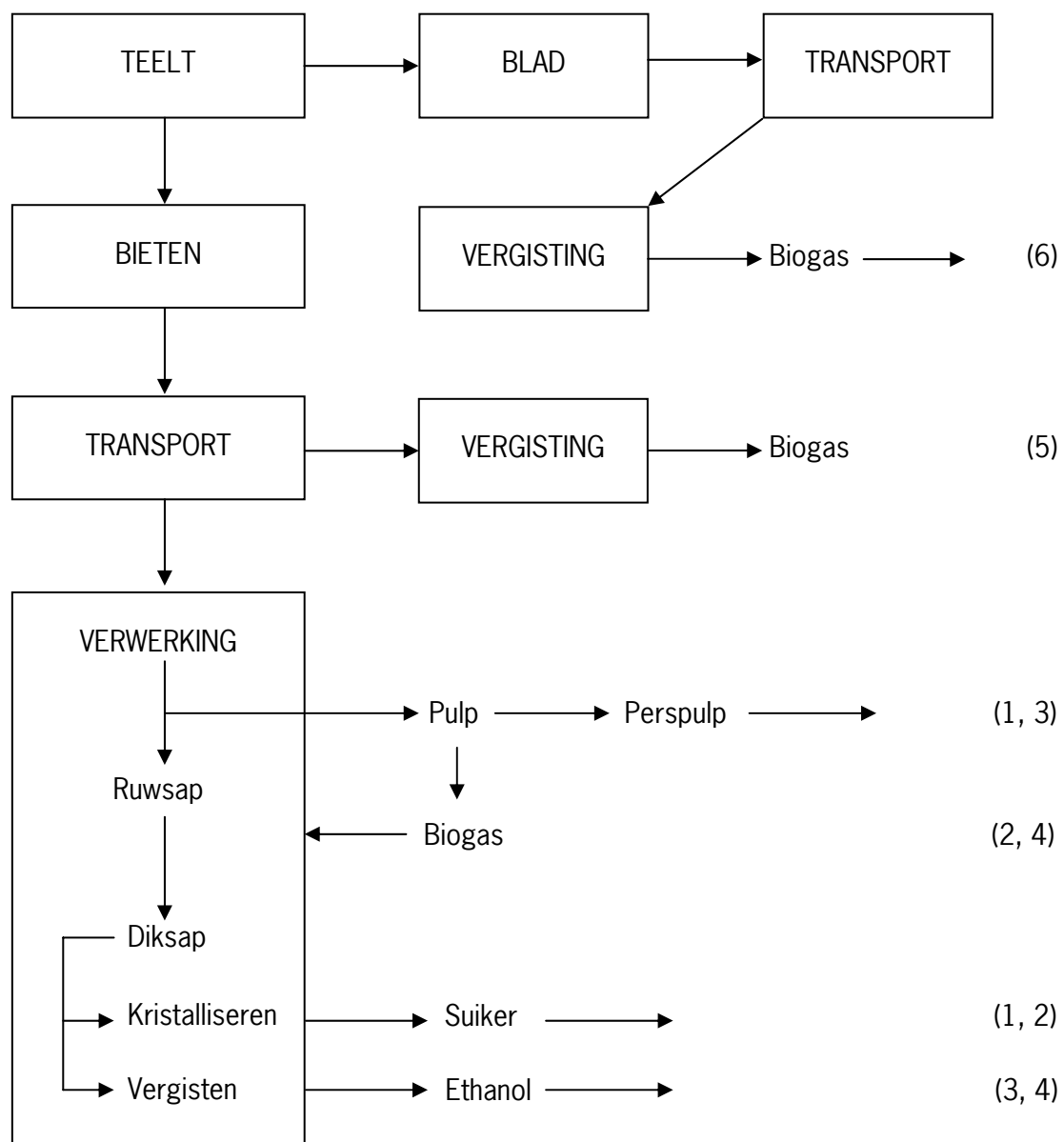
Onderzochte opties van verwerking van suikerbieten.

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 bieten met hele kop
6. Productie van biogas uit blad

Het startpunt (1) is dus het huidige gangbare proces: productie van suiker met als restproduct perspulp dat verkocht wordt als veevoer, terwijl het blad met een deel van de kop achter blijft op het land. 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 van verwerking van bieten (5) is gekeken naar de mogelijkheid van decentrale vergisting van bieten, inclusief hele kop. Dit is mogelijk een alternatief voor bieten die op grotere afstand van de suikerfabrieken geteeld worden, met name in jaren met een hoge productie. Als aanvullende optie (6) is opgenomen de mogelijkheid van verzamelen en decentraal vergisten van het blad. Deze optie kan gecombineerd worden met alle opties van verwerking van bieten, waarbij bij optie 5 bieten en blad gezamenlijk vergist kunnen worden.

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 (®PRI) 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, 5 en 6) 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.

Modelbeschrijving

Het model E-CROP is door Plant Research International ontwikkeld voor de berekening van energie- en broeikasgasbalansen van de productie van energie uit landbouwgewassen. Het model bestaat uit twee delen: een simulatiemodel voor het berekenen van de gewasopbrengsten en een aansluitend rekenmodel voor de berekening van de energieopbrengsten en de energie- en broeikasgasbalansen. In deel 1 wordt de gewasproductie gesimuleerd op basis van gegevens over klimaat, bodem, bemesting en beregening. Het simulatiemodel dat hiervoor gebruikt wordt is afkomstig van de modellenlijn van de 'school van De Wit' en is aangevuld met experimentele relaties tussen bemesting en opbrengst (Jongschaap, 1996 and Ten Berge *et al.*, 2000). In deel 2 wordt op basis van deze productie voor een aantal verwerkingsketens de energieproductie aan ethanol, biodiesel, biogas of elektriciteit berekend en een energie- en broeikasgasbalans opgesteld. De parameters die in dit deel gebruikt worden zijn veelal afkomstig van publicaties uit de internationale literatuur (o.a. Horne *et al.*, 2003). Deze berekeningen kunnen ook gemaakt worden op basis van actuele opbrengsten, voor het onderhavige rapport zijn deze aangeleverd door IRS. Met enige aanpassing is het rekenmodel ook geschikt voor het berekenen van het energiegebruik en de broeikasgasemissie (de 'carbon footprint') bij de productie van landbouwproducten, zoals in dit rapport suiker.

Bij het opstellen van de energiebalans over de gehele keten worden alle balansposten omgerekend in fossiele energie-eenheden waardoor de uiteindelijke balans aangeeft hoeveel fossiele energie er netto vervangen is door de productie van bio-energie. De bruto energieopbrengst in de balans, bestaat uit de verbrandingswaarde (de directe energie) van de fossiele energiedrager die vervangen wordt (benzine, diesel, aardgas) vermeerderd met de indirecte energie, nodig voor b.v. de winning, transport en raffinage van de energiedrager. Het saldo van de energiebalans, de netto energieopbrengst, is de bruto energieopbrengst verminderd met het totale energiegebruik voor de productie van de vervangende biobrandstof. Dit energiegebruik vindt plaats in de landbouw (directe energie in de vorm van diesel, gas en elektriciteit en indirecte energie in de vorm van zaden, meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen, machines e.d.), in het transport en in de verwerking. Het model heeft de mogelijkheid alle bij- en restproducten in een keten, zoals bietenblad en pulp in dit rapport, om te zetten in energie en de mogelijkheid het energieverbruik toe te delen aan de verschillende producten wanneer deze voor andere doelen gebruikt worden.

Analoog aan de energiebalans kan een broeikasgasbalans worden opgesteld. Het belangrijkste verschil met de energiebalans is dat naast de nauw met energiegebruik samenhangende emissie van CO₂ nog een met stikstofbemesting samenhangende emissie van N₂O plaats vindt.

Als 'Global Warming Potential', de maat voor de werkzaamheid als broeikasgas, is voor N₂O 296 kg CO₂-equivalent per kg N₂O 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.

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 suikerbietenteelt en –verwerking in Nederland.

Parameter	Eenheid	Gem. waarde 2003-2007
netto wortelopbrengst	ton/ha netto	65.4
geleverde wortelopbrengst ¹	ton/ha	70.3
totale wortelopbrengst ²	ton/ha	74.0
suikergehalte, netto	%	16.78
suikergehalte, geleverd ³	%	17.12
suikergehalte, gecorr. ⁴	%, 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 ⁵	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 ₂ O ₅	81
K-gift, totaal	kg/ha K ₂ O	106
gewasbeschermingsmiddelen	kg/ha actieve stof	3.6
percelen met berekening ⁶	% van totaal	4.6
brandstofverbruik teelt ⁷	liter/ha	129
transportafstand fabriek	km	90
brandstofverbruik transport	liter/35.5 ton	69.23
transportafstand 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

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

² wortelopbrengst inclusief kop, exclusief blad.

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

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

⁵ uitgangspunt verhouding suiker/drogestof = 0,735.

⁶ berekening is niet apart berekend, wel voor zover het dieselverbruik betreft.

⁷ inclusief 13 liter voor laden.

De aangeleverde parameterwaarden 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, 5 en 6, 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	6
<u>Energieverbruik per ha (GJ)</u>						
Landbouw	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	1.1
Transport	6.7	6.7	7.0	7.0	1.9	1.0
Proces	50.7	50.7	68.9	68.9	36.0	8.9
Pulpvergisting		-34.0		-34.0		
Totaal	71.0	37.0	89.5	55.5	51.5	11.0
Toegerekend aan pulp	-6.7		-6.8			
Toegerekend aan suiker/ethanol/biogas	64.3	37.0	82.7	55.5	51.5	11.0
Energieopbrengst (kg ethanol/methaan)			5480	5480	4215	1050
Energieinhoud (GJ)			144.1	144.1	235	58
Bruto energieopbrengst (GJ)			175.9	175.9	237	59
Netto energieopbrengst (GJ)			93.2	120.4	185	48
Rendement			0.53	0.68	0.78	0.81
<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. Optie 6 geeft een kleine verhoging van het energieverbruik 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⁻¹ 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 van bieten is door de grote afstand een belangrijke post van energieverbruik, in optie 5 is deze post aanzienlijk lager door de kleinere afstand.

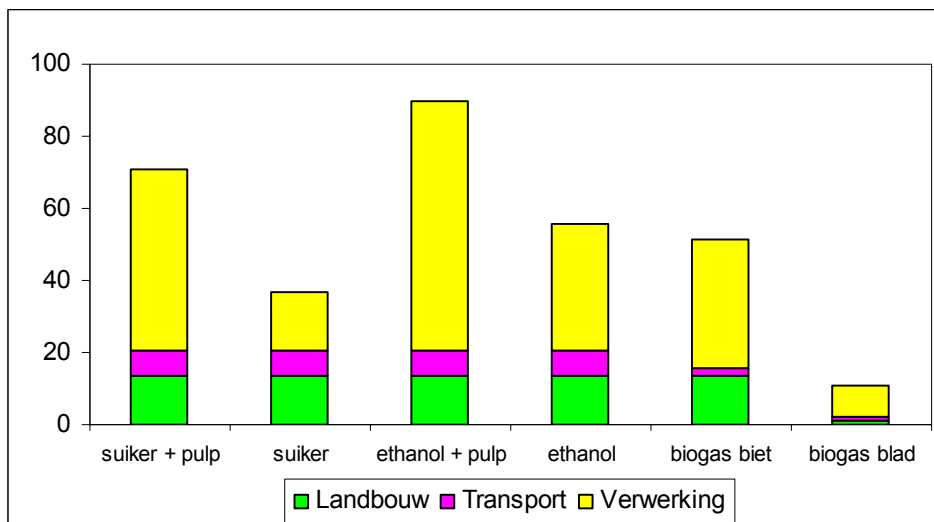
Energieverbruik gedurende de verwerking is in alle gevallen de belangrijkste post op de energiebalans, speciaal het opleveren van een zuiver eindproduct d.m.v. kristallisatie van suiker (1 en 2) of destillatie van ethanol (3 en 4) kost veel energie. Dit energieverbruik kan beperkt worden door vergisting 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 opties 5 en 6 zou gas aan het gasnet geleverd kunnen worden, het energieverbruik voor zuivering bedraagt in dat geval 11% (gemiddelde waarde volgens Berglund & Börjesson, 2005) van de bruto energieopbrengst en daarmee zou het rendement dalen van 0.78 naar 0.67 voor bieten en van 0.81 naar 0.70 voor blad. 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).

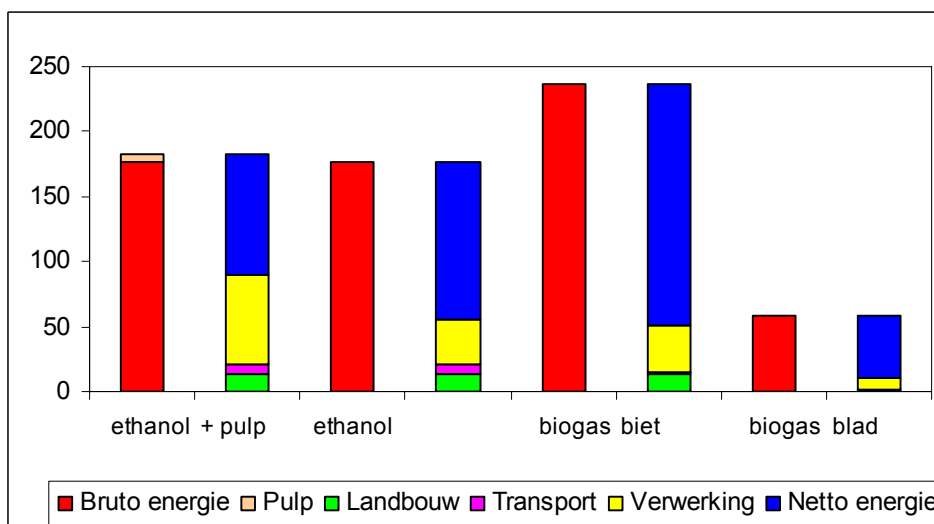
De bruto energieopbrengst is de hoeveelheid vervangen fossiele energie, inclusief de indirecte energie die nodig is voor de productie van de vervangen energie. Uitgegaan is van een netto vervanging van 1 GJ/GJ, het verschil tussen energie-inhoud van de geproduceerde bio-energie en de bruto energieproductie is de (indirecte) energie die nodig is voor de productie van de vervangen fossiele brandstoffen.

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 ongeveer 80% bij vergisting van hele bieten en/of blad, mits het biogas niet voor gebruik gezuiverd wordt.

Vergisting van blad levert een behoorlijke bijdrage aan de energieopbrengst. Omdat voor de teelt alleen het energiegebruik voor verzamelen en laden aan het blad wordt toegerekend is het rendement nog iets hoger dan dat voor de bieten. Daar staat tegenover dat het transport relatief meer energie kost door het lagere droge stof gehalte van het blad, maar bij decentrale verwerking blijft dit een kleine post op de balans.



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



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

Tabel 3. Broeikasgasemissies en broeikasgasbalans bij verschillende verwerkingsopties.

Optie	1	2	3	4	5	6
Broeikasgasemissie per ha (kg CO₂-eq.)						
Landbouw CO ₂	1000	1000	1000	1000	1000	120
Landbouw N ₂ O	1920	1920	1920	1920	1920	-580
Transport	490	490	510	510	140	80
Proces	2870	2870	3900	3900	2060	510
Pulpvergisting		-1920		-1920		
Totaal	6280	4360	7330	5410	5120	130
Toegerekend aan pulp	-940		-950			
Toegerekend aan suiker/ethanol/biogas	5340	4360	6380	5410	5120	130
Bruto emissiereductie			12650	12650	13280	3310
Netto emissiereductie			6270	7240	8160	3180
Rendement			0.50	0.57	0.61	0.96
Broeikasgasemissie per ton suiker (kg CO₂-eq.)						
Landbouw CO ₂	90	90				
Landbouw N ₂ O	180	180				
Transport	45	45				
Proces	265	265				
Pulpvergisting		-175				
Totaal	580	405				
Toegerekend aan pulp	-85					
Toegerekend aan suiker	495	405				
Broeikasgasemissie per ton ethanol (kg CO₂-eq.)						
Landbouw CO ₂			185	185		
Landbouw N ₂ 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

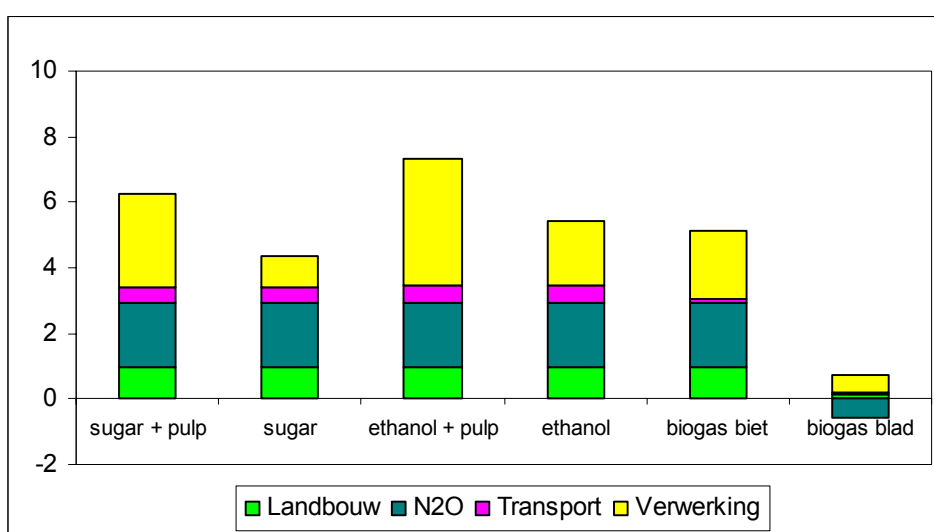
Emissie van CO₂ is in hoge mate evenredig met het verbruik van energie, met als kanttekening dat aardgas een lagere emissie van CO₂ heeft dan energiebronnen op basis van aardolie. Dit heeft tot gevolg dat de emissie van CO₂ uit het verwerkingsproces procentueel iets lager is dan de emissie uit het overige energieverbruik.

Naast de emissie van CO₂ heeft in de landbouw emissie van N₂O plaats als gevolg van stikstoftoediening. De emissie van N₂O is een belangrijke post op de broeikasgasbalans en zorgt er voor dat het rendement op deze balans duidelijk lager is dan het rendement op de energiebalans. De toegerekende emissie van N₂O in optie 6 is negatief, omdat hier het blad afgevoerd wordt. Bij afvoeren van het blad blijft minder stikstof in gewasresten achter op het land en wordt de emissie van N₂O lager. 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.

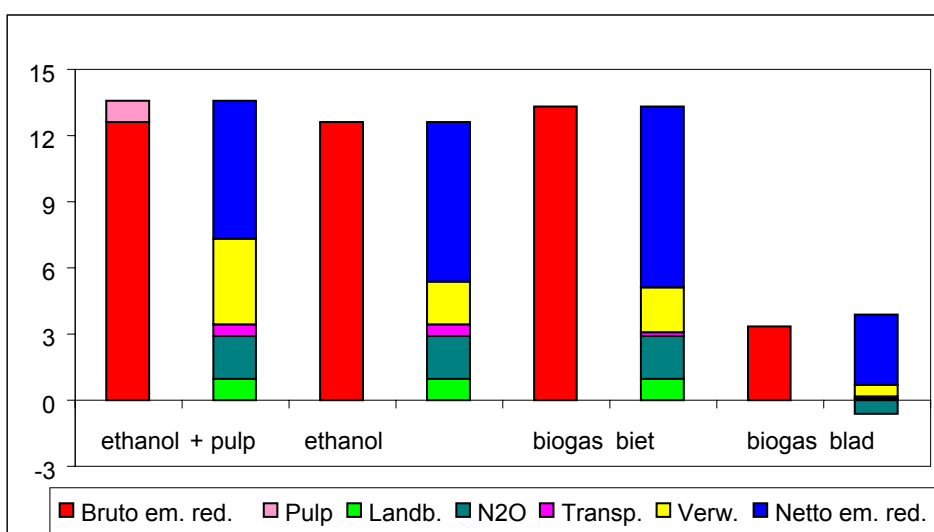
Het rendement op de broeikasgassenbalans voor de productie van ethanol kan worden vergeleken met het voorstel voor een duurzaamheids criterium voor productie van biobrandstoffen van de Commissie Cramer (Task Force Energietransitie, 2006). Dit is voor de korte termijn gesteld op 0.3, maar voor de langere 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 voor de verwerking van bieten het hoogst bij optie 5, ook weer mits het biogas niet voor gebruik gezuiverd wordt. In dat geval zou het rendement dalen van 0.61 tot 0.46.

Vergisting van blad levert een hoge bijdrage aan de emissiereductie. Omdat in dit geval sprake is van een vermindering van de emissie van N_2O door het afvoeren van het blad is het rendement op de broeikasgassenbalans juist hoger dan dat op de energiebalans: 0.96 tegenover 0.81. Bij zuivering van het biogas tot aardgaskwaliteit zou dit rendement tot 0.95 dalen. Gemiddeld zou vergisting van bieten met blad een rendement van 0.68 opleveren, bij zuivering van het biogas 0.57.



Figuur 4. Broeikasgasemissie bij verschillende opties van verwerking van suikerbieten en blad (in ton CO₂eq. per ha).



Figuur 5. Broeikasgasbalans voor opties van verwerking van suikerbieten en blad tot energie (in ton CO₂eq. 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.

Doorgerekend is de optie van vergisting van alleen blad. In combinatie met suikerproductie kan echter ook een deel van de kop vergist worden en zal de netto energieopbrengst ongeveer 7 GJ per ha hoger kunnen zijn. De netto reductie van de broeikasgasemissie kan in dat geval ongeveer 350 kg CO₂-equivalenten hoger zijn.

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 hoofdzakelijk 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).

Bij zuivering van biogas kan CO₂ geproduceerd worden. Afhankelijk van het energieverbruik en de broeikasgasemissie verbonden aan de productie van vervangen CO₂ kan deze CO₂ een bijdrage leveren aan de energiebalans en aan de broeikasgasbalans. Niet duidelijk is echter of de zuivering van biogas direct (zonder nazuivering) een verkoopbare kwaliteit CO₂ oplevert en hoe veel energie nodig is voor compressie, opslag en transport van deze CO₂. Deze onzekerheden maken het vooralsnog onmogelijk deze CO₂ productie mee te nemen in de berekeningen.

6. Conclusies

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

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

Vergisten van bieten heeft een sterk positieve energiebalans. Door de relatief lage CO₂ emissie bij stoken van aardgas is de broeikasgassenbalans voor vergisting van bieten nauwelijks beter dan die voor productie van ethanol gecombineerd met vergisten van pulp.

Vergisten van bietenblad draagt aanzienlijk bij aan de energiebalans. Door het vermijden van N₂O emissie uit achtergebleven gewasresten geldt dit in nog sterkere mate voor de 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, York.

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, York.

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.

Jongschaap, R.E.E., 1996.

ROTASK 1.0 - A dynamic simulation model for continuous cropping systems. Reference manual. Report 70. DLO Research Institute for Agrobiological and Soil Fertility Research, Wageningen.

Ten Berge, H.F.M., J.C.M. Withagen, F.J. de Ruijter, M.J.W. Jansen & H.G. van der Meer, 2000.

Nitrogen responses in grass and selected field crops. QUADMED parameterisation and extensions for STONE-application. Report 24. Plant Research International, Wageningen.

