



# Beschrijving meetlat Energieboerderij voor energiegebruik en broeikasgasemissies

Voor groen gas productie

M.P.J. van der Voort



# Beschrijving meetlat Energieboerderij voor energiegebruik en broeikasgasemissies

Voor groen gas productie

M.P.J. van der Voort



© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. 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 DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO-publicatienr. 511

OPDRACHTGEVER:



Projectnummer: 3250034801

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR  
Business Unit Akkerbouw, Groene ruimte en Vollegrondsgroenten

Adres : Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
: Edelhertweg 1, Lelystad  
Tel. : +31 320 29 11 11  
Fax : +31 320 23 04 79  
E-mail : [info.ppo@wur.nl](mailto:info.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

1	INLEIDING .....	5
1.1	Aanleiding .....	5
1.2	Doel rapport.....	5
1.3	Opbouw rapport .....	6
2	ALGEMENE BESCHRIJVING MODEL .....	7
2.1	Keten (co-)vergisting tot groen gas.....	7
3	VERGISTING .....	9
3.1	WKK's.....	9
4	GASOPWAARDERING (OPWERKEN).....	11
4.1	Opbrengsten uit gasopwaardering.....	11
4.2	Energieverbruik gasopwaardering .....	11
4.3	Indirect energieverbruik en broeikasgasemissies.....	12
5	RESULTATENOVERZICHT .....	13
5.1	Energiebalans.....	13
5.2	Broeikasgasbalans.....	13
6	MEETLAT GROEN GAS RESULTATEN ENERGIEMAÏSTELERS.....	15
6.1	Resultaten 2008.....	15
6.2	Resultaten 2009.....	15
6.3	Resultaten 2010.....	16
6.4	Conclusies en aanbevelingen .....	17
	LITERATUUR.....	19
	BELANGRIJKSTE ENERGIE- EN BROEIKASGASWAARDEN / EMISSIEFACTOREN .....	21



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Deze rapportage is onderdeel van het project Energieboerderij. Het project Energieboerderij heeft als doel om de duurzaamheid van in Nederland geproduceerde biomassa inzichtelijk te maken en te verbeteren. In plaats van het rekenen met gegevens uit de literatuur worden op praktijkbedrijven gegevens verzameld en geanalyseerd. Deze informatie vormt de basis voor het berekenen van duurzaamheidskengetallen en het optimaliseren van energieteelten.

Achtergrond van het project is de discussie over de oplossingsrichtingen voor het energievraagstuk en de bijdrage die hernieuwbare grondstoffen (in het bijzonder energieteelten) daaraan kunnen leveren. De initiatiefnemers van Energieboerderij hanteren als uitgangspunt dat de energieteelt dient te voldoen aan de duurzaamheidscriteria zoals vastgelegd in de EU richtlijn voor energie uit hernieuwbare grondstoffen (RED). Ook de regionale impact van meer energieteelten dient inzichtelijk te zijn. Uitgangspunt daarbij is dat alle berekeningen en resultaten eenduidig en transparant zijn voor alle betrokkenen en geïnteresseerden.

Er is in Energieboerderij gewerkt met een drietal in de praktijk functionerende ketens. De ketens dienen als basis voor de verzameling van bruikbare praktijkcijfers. Het betreft de volgende ketens:

1. Maïsteelt – vergisting - elektriciteit
2. Suikerbietenteelt – vergisting – elektriciteit
3. Koolzaad - PPO/biodiesel

Per keten is een groep ondernemers betrokken waar een van de bovengenoemde gewassen is geteeld. In de keten zijn teelt en verwerking gevolgd (registratie) en de benodigde metingen uitgevoerd. Met deze gegevens is over een periode van 4 jaar de duurzaamheid van het energiegewas voor de totale keten bepaald.

Daarnaast zijn van elk gewas jaarlijks proefvelden en zogenaamde 'best practice' demo's aangelegd waarin teeltvarianten zijn vergeleken en de invloed op de duurzaamheid is bepaald. De verzamelde praktijkcijfers en de cijfers van de proefvelden en de demo's zijn met de verschillende telersgroepen besproken, met als doel vast te stellen waar de verbeterpunten liggen.

De duurzaamheid is bepaald met een, in het project ontwikkelde, meetlat voor energie-efficiency en broeikasgasemissiereductie.

Voor vergistingsinstallaties waarbij groen gas in plaats van elektriciteit wordt geproduceerd, is de meetlat uitgebreid met een module voor het doorrekenen van de groen gas productie.

Energieboerderij is een initiatief van Vereniging Innovatief Platteland. De uitvoering is in handen van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (Wageningen UR), IRS en Cultus Agro advies.

Het project wordt mogelijk gemaakt door de volgende organisaties: Ministerie van EL&I, Wageningen UR, provincie Limburg, LLTB, Productschap Akkerbouw, Cosun en IRS, Argos Oil, Attero, Carnola, Vitelia, HAS Kennistransfer en OCI-Nitrogen.

De heer Toine Toten van Pentair Haffmans wordt hartelijk bedankt voor zijn medewerking. Tevens dank voor de kritische check van Bram Hanse en Toon Huijbregts van IRS op het model en deze toelichting.

## 1.2 Doel rapport

Om de doelstelling van Energieboerderij te realiseren is een meetlat ontwikkeld. Dit rapport is een aanvulling op de bestaande onderbouwing van de meetlat (Van der Voort et al., 2012). De aanvullende onderbouwing is bedoeld om helder en duidelijk te communiceren over de meetlat en specifiek die voor groen gas. Dit moet bijdragen aan transparantie van het meetsysteem. De claims die worden gemaakt op basis van berekeningen met de meetlat van Energieboerderij kunnen zo worden getoetst en nagerekend.

## 1.3 Opbouw rapport

Dit rapport gaat verder waar de beschrijving van de oorspronkelijke meetlat eindigt. Dit rapport gaat derhalve alleen in op de aanvullende berekeningen en aanpassingen in het kader van groen gas productie. Het rapport is opgebouwd uit vier delen. In de eerste deel worden de verschillende ketenschakels benoemd. Ten tweede wordt toegelicht welke aanpassingen zijn gemaakt voor groen gas ten opzichte van de reeds beschreven meetlat. Het derde deel van het rapport is de toelichting op gehanteerde uitgangspunten en kengetallen in de meetlat voor groen gas. Het vierde deel betreft de resultaten van de Energiemeetlat deelnemers voor maïs bij Groen gas productie. Hierbij wordt tevens het gerefereerd aan de resultaten van de meetlat voor vergisting met WKK.

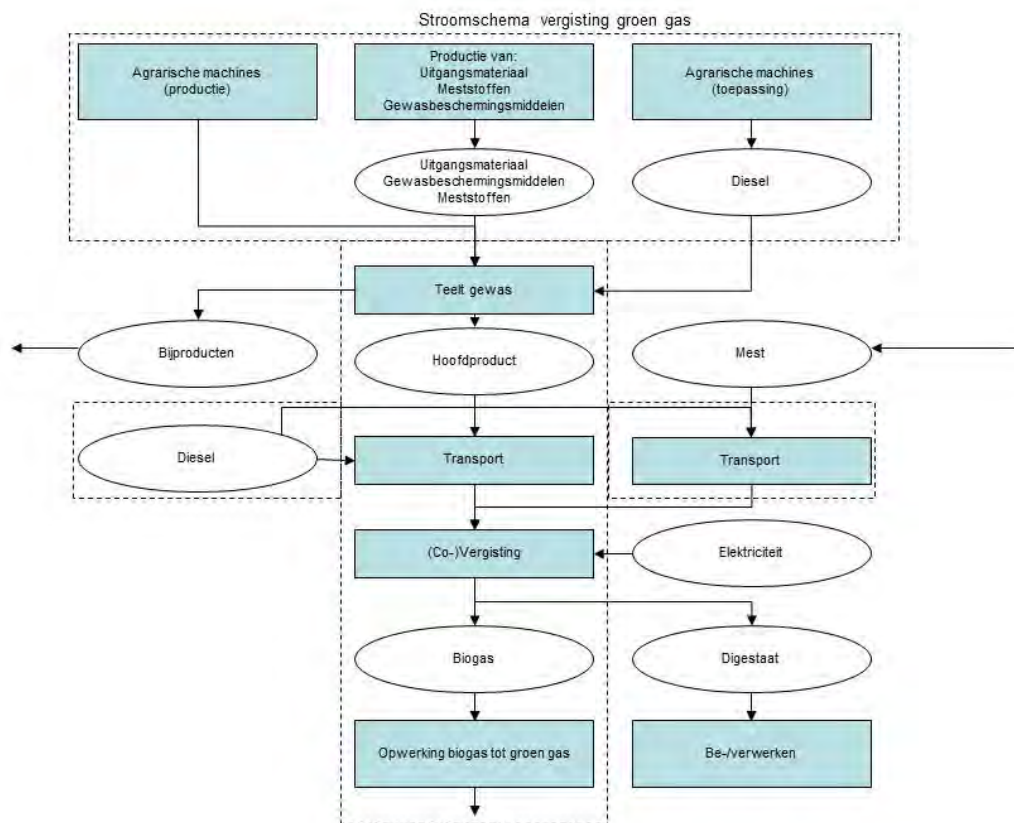
## 2 Algemene beschrijving model

Voor het project Energieboerderij zijn voor een drietal ketens vergelijkbare modellen ontwikkeld. De drie geselecteerde gewassen/ketens zijn covergisting van maïs, covergisting van suikerbieten (wortel en/of loof) en verwerking van koolzaad. De eerste twee ketens zijn gericht op energieproductie (elektriciteit via covergisting). De verwerking van koolzaad is gericht op biobrandstofproductie (PPO via koude persing). De geselecteerde ketens worden hieronder in de gelijknamige paragrafen toegelicht.

De drie ketens kennen een gelijke methodiek en systeemgrenzen voor het beoordelen van de teelt van het gewas op energiegebruik en broeikasgasemissies. De agrarische machines en de hulpstoffen, welke worden gebruikt in de teelt, worden beoordeeld. De agrarische machines (trekkers en werktuigen) bestaan uit twee delen. In het model wordt de productie van machines en het energieverbruik (voornamelijk diesel) tijdens de teelt meegerekend. De hulpstoffen zijn zaad, (kunst)meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. In het model wordt de productie van de hulpstoffen meegerekend in de teelt. Voor dierlijke mest wordt alleen de broeikasgasemissie voor toepassing van de dierlijke mest meegenomen. De lachgasemissie voor de teelt van de gewassen wordt bepaald op basis van de IPCC-methodiek. In de IPCC-methodiek voor de lachgasemissie wordt gerekend met stikstof uit kunstmest, dierlijke mest en gewasresten.

### 2.1 Keten (co-)vergisting tot groen gas

Twee van de ketens binnen Energieboerderij betreffen die van covergisting van maïs en suikerbieten. Bij de oorspronkelijke meetlat worden de betreffende gewassen geteeld om te worden covergist in een mestvergistingsinstallatie. Bij de aanpassing voor groen gas productie vindt na de vergisting opwerking van biogas tot groen gas plaats. Het onderstaande schema geeft de verschillende schakels in deze keten weer. Hiermee wordt tevens inzicht gegeven in de systeemgrenzen.



Figuur 1.: **Stroomschema vergisting van maïs en/of suikerbieten tot groen gas.**



In het stroomschema geeft de stippellijn aan welke activiteiten/schakels wel en niet worden meegenomen. In plaats van elektriciteitsproductie in de berekening is groen gas productie als uitgangspunt genomen. Productie/gebruik van warmte en eventuele positieve effecten van het gebruik van digestaat zijn in de berekeningen buiten beschouwing gelaten.

## 3 Vergisting

De berekeningen en werkwijze voor de teelt zijn geheel gelijk gebleven en te vinden in de andere rapportage (Van der Voort et al., 2012). Vanaf de vergister zij er aanpassingen in werkwijze en berekeningen. Concreet zijn de WKK's bij de vergister vervallen. De verdere stappen en processen noodzakelijk voor vergisting zijn gelijk gebleven. Een extra stap voor de opwerking van biogas tot groen gas is toegevoegd (zie hoofdstuk 4).

### 3.1 WKK's

Het vervallen van de WKK's geeft één wijziging. Het gewicht van de installatie neemt af. Er is uitgegaan van 3 WKK motoren met een gecombineerd gewicht van 37,5 ton.



## 4 Gasopwaardering (opwerken)

Als uitgangspunt voor de gasopwaardering (ook wel opwerken genoemd) is een beoordeling gemaakt van beschikbare technieken. Hierbij is met name gekeken naar twee relevante aspecten, namelijk methaanverlies en benutting van CO<sub>2</sub>.

Op basis hiervan is gekozen voor gaswassing. Een van de potentiële leveranciers geeft aan dat er geen methaan lekverliezen ontstaan en CO<sub>2</sub> kan worden gebruikt voor commerciële toepassingen (food grade CO<sub>2</sub>).

Het uitgangspunt voor gasopwaardering is een installatie die bestaat uit twee delen, namelijk een methaanwinning en een CO<sub>2</sub>-winning.

### 4.1 Opbrengsten uit gasopwaardering

Vanuit de vergister wordt de gasopwaardering met biogas gevoed. Uit het biogas wordt 100% van het beschikbare methaan omgezet tot groen gas (biomethaan) (mededeling Pentair Haffmans/GtS).

Als stelregel is gehanteerd dat Groen gas voor 89% bestaat uit methaan en 10% uit CO<sub>2</sub> (mededeling de heer A. van der Veen, Cosun). Daarnaast wordt 1-op-1 vervanging van aardgas door groen gas gehanteerd.

Naast methaangas ontstaat tevens CO<sub>2</sub>. Uit gasanalyses voor de betreffende gewassen is de biogas en methaangas opbrengst bekend. De hoeveelheid CO<sub>2</sub> is bepaald door de hoeveelheid methaangas en overige bestanddelen in mindering te brengen op de biogashoeveelheid. De overige bestanddelen in biogas zijn water (2-7%), zwavelwaterstof (H<sub>2</sub>S) (20-20.000 ppm), stikstof (<2%), zuurstof (<2%) en waterstof (<1%) (FNR, 2006). Als gehalte voor de overige bestanddelen van biogas wordt 5% gehanteerd. Dit ligt in lijn met literatuur (FNR, 2006).

Door de productie van 'food grade' CO<sub>2</sub> is op volume basis (%) een verdeling gemaakt van het energieverbruik en de broeikasgasemissies van de keten over beide eindproducten. Gesteld is dat groen gas uit 89% CH<sub>4</sub> en 10% CO<sub>2</sub> bestaat. Derhalve wordt een deel van de geproduceerde CO<sub>2</sub> in mindering gebracht op de productie.

De opwerking van biogas tot groen gas behoort volgens leveranciers vrij te zijn van lekverliezen. Voor het vergisten wordt wel een lekverlies van 1% gehanteerd (Zwart et al., 2006). Dit betreft de lekverliezen bij de vergister.

### 4.2 Energieverbruik gasopwaardering

Het energieverbruik van de totale gasopwaarderingsinstallatie is vastgesteld op 0,33 kW elektriciteit per Nm<sup>3</sup> ruw biogas (mededeling Pentair Haffmans).

Voor energie worden de volgende energiewaarden gehanteerd:

Elektriciteit 9,7 MJ per kWh (BioGrace, version 4)

Voor broeikasgasemissies worden de volgende waarden gehanteerd:

Elektriciteit 0,128 kg CO<sub>2</sub>-eq. per MJ (BioGrace, version 4)

## 4.3 Indirect energieverbruik en broeikasgasemissies

Voor de gasopwaardering is geen indirect energieverbruik en broeikasgasemissies bepaald. De situatie is per installatie te verschillend om hier een goede bepaling van te kunnen doen. De benaderde leverancier konden daarom geen eenduidige indicatie geven van een eventueel gewicht en samenstelling van de installatie. Derhalve is er (voorlopig) voor gekozen het indirecte energieverbruik en broeikasgasemissies buitenbeschouwing te laten. Het model voorziet wel in de berekening van het indirecte energieverbruik en broeikasgasemissies.

## 5 Resultatenoverzicht

Het resultatenoverzicht is een verzameling van gegevens uit eerdere onderdelen van de meetlat. Het resultatenoverzicht geeft aan hoeveel energie er wordt geproduceerd of hoeveel broeikasgasemissie wordt vermeden per gewas per hectare. Vervolgens wordt op basis van de verrekeringen, energetische toerekening naar de verschillende producten, een totaal aan energiegebruik en broeikasgasemissies bepaald. De productie aan energie of de vermeden broeikasgasemissies vergeleken met conventioneel energiegebruik worden gerelateerd aan het totaal aan energiegebruik en broeikasgasemissies van de hele productieketen van de opwekking van bio-energie. Het resultaat wordt in alle gevallen per hectare bepaald.

### 5.1 Energiebalans

De energiebalans is bepaald als percentage van de energie die is geproduceerd en de energie die in de keten is gebruikt. De energiebalans geeft als percentage de hoeveelheid geproduceerde energie die kan worden gebruikt. Als het energiegebruik in de keten bijvoorbeeld 5% ten opzichte van de geproduceerde energie is, resteert hierdoor 95% energie die kan worden gebruikt.

Het percentage moet groter zijn dan nul, om meer energie te leveren dan het kost om de energie te produceren.

### 5.2 Broeikasgasbalans

De broeikasgasbalans is bepaald als percentage van de vermeden broeikasgasemissies en de emissie aan broeikasgassen in de keten. De broeikasgasbalans geeft als percentage de vermeden emissies aan broeikasgassen. De vermeden broeikasgasemissies door gebruik van de bio-energie of biobrandstof is gesteld op 100%. De emissies aan broeikasgassen in de keten worden hierop in mindering gebracht. Een percentage moet groter zijn dan nul, om meer broeikasgasemissies te vermijden dan in de keten aan broeikasgasemissie zijn uitgestoten.

Deze berekeningswijze sluit aan op de wijze waarin deze wordt voorgeschreven in de "Greenhouse Gas Calculator for Electricity and Heat from Biomass" (Van der Voet et al., 2008).



## 6 Meetlat groen gas resultaten energiemaiesters

Om zicht te krijgen op het effect van groen gas productie ten opzichte van elektriciteit en warmte met een wkk, is in de onderstaande paragrafen een vergelijking van resultaten gemaakt. Dezelfde telers en informatie zijn als uitgangspunt genomen. Hiermee wordt direct inzichtelijk wat het verschil is tussen groen gas productie en producten van elektriciteit en warmte.

### 6.1 Resultaten 2008

In de onderstaande tabel zijn de resultaten voor 2008 van de telersgroep energiemais opgenomen. De tabel en verdere informatie is terug te vinden in Energieboerderij rapport "Resultaten energiemaiesters en rassenonderzoek" (Van der Voort et al., 2012).

Tabel 1.: **Resultaten energiemaiesters 2008**

Teler	Opbrengst vers (ton/ha)	DS opbrengst (ton/ha)	Biogasopbrengst (m <sup>3</sup> x1000/ha)	CH <sub>4</sub> opbrengst (m <sup>3</sup> x1000/ha)	WKK		Groen gas CO <sub>2</sub> nuttig	
					Energierendement (%)	Broeikasgasrendement (%)	Energierendement (%)	Broeikasgasrendement (%)
1	55	20.6	11.7	6.1	80	70	79	41
2	51.2	18.7	10.8	5.6	91	76	85	50
3	42.3	15.9	9.0	4.7	79	71	78	42
4	52	18.9	10.9	5.8	82	68	79	38
5	52.5	20.3	11.2	5.9	88	70	83	42

De eis voor biogas uit de NTA8080 is 60% emissiereductie voor groen gas in het aardgasnet. Een alternatieve toepassing van groen gas is toepassing voor transportdoeleinden. Hiervoor wordt 50% emissiereductie als eis gehanteerd in de NTA 8080. De emissiereductie voor groen gas als aardgasvervanging wordt nu niet gehaald. Eén teler haalt de eis voor groen gas als transportbrandstof. Dit resultaat is na toedeling van emissie aan de nuttig gebruikte CO<sub>2</sub>. Wanneer CO<sub>2</sub> niet wordt benut is het rendement aanzienlijk lager. Belangrijke kanttekening is dat indirecte energie en emissies van mechanisatie en installaties zijn meegenomen in de berekeningen. Wel ontbreekt de installatie voor opwaardering tot groen gas. Deze is dus niet meegenomen, door het ontbreken van informatie hiervoor. Een belangrijke reden voor de lagere score voor groen gas is de energie (electriciteit) nodig voor de gasopwaardering.

### 6.2 Resultaten 2009

In de onderstaande tabel zijn de resultaten voor 2009 van de telersgroep energiemais opgenomen. De tabel en verdere informatie is terug te vinden in Energieboerderij rapport "Resultaten energiemaiesters en rassenonderzoek" (Van der Voort et al., 2012).



Tabel 2.: **Resultaten energiemaïstellers 2009**

Teler					WKK		Groen gas CO <sub>2</sub> nuttig	
	Opbrengst vers (ton/ha)	DS opbrengst (ton/ha)	Biogasopbrengst (m <sup>3</sup> x1000/ha)	CH <sub>4</sub> opbrengst (m <sup>3</sup> x1000/ha)	Energierendement (%)	Broeikasgasrendement (%)	Energierendement (%)	Broeikasgasrendement (%)
1	59	21.2	13.7	7.5	89	76	83	47
2	34.6	15.4	9.9	5.4	92	77	85	49
3	37.8	13.3	8.4	4.7	89	72	83	41
4	58	18.6	11.6	6.2	84	73	80	45
5	46.3	18.7	11.7	6.4	92	78	85	51

De eis voor biogas uit de NTA8080 is 60% emissiereductie voor groen gas in het aardgasnet. Een alternatieve toepassing van groen gas is toepassing voor transportdoeleinden. Hiervoor wordt 50% emissiereductie als eis gehanteerd in de NTA 8080. De emissiereductie voor groen gas als aardgasvervanging wordt nu niet gehaald. Net als voor 2008 is er één teler die de eis voor groen gas als transportbrandstof haalt.

### 6.3 Resultaten 2010

In de onderstaande tabel zijn de resultaten voor 2010 van de telersgroep energiemaïs opgenomen. De tabel en verdere informatie is terug te vinden in Energieboerderij rapport "Resultaten energiemaïstellers en rassenonderzoek" (Van der Voort et al., 2012).

Tabel 3.: **Resultaten energiemaïstellers 2010**

Teler					WKK		Groen gas CO <sub>2</sub> nuttig	
	Opbrengst vers (ton/ha)	DS opbrengst (ton/ha)	Biogasopbrengst (m <sup>3</sup> x1000/ha)	CH <sub>4</sub> opbrengst (m <sup>3</sup> x1000/ha)	Energierendement (%)	Broeikasgasrendement (%)	Energierendement (%)	Broeikasgasrendement (%)
1	62.8	17.3	11.0	5.7	91	70	85	42
2	56.6	20.9	13.5	7.2	84	74	80	45
3	42.3	15.5	10.6	5.7	94	81	86	56
4	58.6	16.5	10.2	5.4	93	64	86	33

De eis voor biogas uit de NTA8080 is 60% emissiereductie voor groen gas in het aardgasnet. Een alternatieve toepassing van groen gas is toepassing voor transportdoeleinden. Hiervoor wordt 50% emissiereductie als eis gehanteerd in de NTA 8080. De emissiereductie voor groen gas als aardgasvervanging wordt nu niet gehaald. Net als voor 2008 en 2009 is er één teler die de eis voor groen gas als transportbrandstof haalt.

## 6.4 Conclusies en aanbevelingen

De resultaten laten zien dat de broeikasgasemissiereductie in het algemeen niet aan de NTA8080 waarden voldoet. De gehanteerde uitgangspunten zijn strenger als voorgeschreven door de NTA8080. Het belangrijkste verschil is de indirecte energie en emissies van mechanisatie en installaties wel zijn meegenomen in de berekeningen. Wel ontbreekt de installatie voor opwaardering tot groen gas. Deze is dus niet meegenomen, door het ontbreken van informatie hiervoor. Conclusie is dat de broeikasgasemissiereductie voor de groen gas keten slechts wordt gehaald door de best presterende teler van het betreffende teeltjaar.

Belangrijk aspect van de gasopwaardering is het energiegebruik, dit betreft elektriciteit. De verschillende opwerk technieken kennen een brede variatie aan energiegebruik. Er is specifiek gekozen voor technieken die nuttig bruikbare CO<sub>2</sub> kennen. Bij andere technieken waarbij wel CO<sub>2</sub> vrijkomt, maar niet van 'food grade' kwaliteit is de energieverbruik lager. In een analyse van deze optie kwam naar voren dat het lagere energieverbruik zonder toedeling van emissies aan CO<sub>2</sub> slechter scoort als de gehanteerde opzet. Op basis van deze analyse zijn er een tweetal aanbevelingen te maken. Een eerste aanbeveling op basis van de meetlat is daarom een keuze voor installaties met nuttig in te zetten CO<sub>2</sub>. De tweede aanbeveling is om het energieverbruik (elektriciteit) van de installatie als kritisch te beoordelen. Elke kilowatt uur per m<sup>3</sup> biogas kan het verschil maken tussen wel of niet voldoen aan de eisen van de NTA8080.



## Literatuur

- BioGrace\_standard\_values\_-\_version\_4\_-\_Public.xls, [www.BioGrace.net](http://www.BioGrace.net); Neeft, J., Gagnepain, B., Bacovsky, D., Lauranson, R., Georgakopoulos, K., Fehrenback, H., et al., Harmonised calculations of biofuel greenhouse gas emissions in Europe, Netherlands, 2011
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.), Handreichung biogasgewinnung und – nutzung, Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 3 überarbeitete Auflage, Gülzow, 2006
- GtS, Brochure Future energy, Gastreatment Services B.V.
- Voet, E. van der, Oers, L. van, Davis, C., Nelis, R., Cok, B., Heijungs, R., Chappin, E., Guinée, J.B., Greenhouse Gas Calculator for Electricity and Heat from Biomass, CML Institute of Environmental Sciences, Leiden University, july 2008
- Voort, Marcel van der, Stilma, Eveline, Beschrijving meetlat Energieboerderij voor energiegebruik en broeikasgasemissies, Toelichting van de gehanteerde opzet en rekenregels, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad, januari 2012
- Zwart, K.B., Oudendag, D.A., Ehlert, P.A.I., Kuikman, P.J., Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest, Alterra, rapport 1437, ISSN 1566-7197, Wageningen, 2006



## Belangrijkste energie- en broeikasgaswaarden / emissiefactoren

	Waarde	Eenheid	Bron	Waarde	Eenheid	Bron
<b>Uitgangsmateriaal</b>						
Zaaizaad – algemeen	14,8	MJ/kg	Gaillard, 1997	0,059	kg CO <sub>2</sub> -eq./MJ	Gaillard, 1997
Zaaizaad – suikerbieten	36,29	MJ/kg	BioGrace, version 4	3,558	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg	BioGrace, version 4
<b>Meststoffen</b>						
N-kunstmest	40	MJ/kg N	Brentrup et al., 2008	6,17	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg	Brentrup et al., 2008
P-kunstmest	13,31	MJ/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Brentrup et al., 2008	0,73	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg	Brentrup et al., 2008
K-kunstmest	8,35	MJ/kg K <sub>2</sub> O	Brentrup et al., 2008	0,50	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg	Brentrup et al., 2008
<b>Gewasbeschermingsmiddelen</b>						
Herbiciden	258,96	MJ/kg as	Gaillard, 1997	8,396	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg as	Gaillard, 1997
Fungiciden	177,13	MJ/kg as	Gaillard, 1997	5,602	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg as	Gaillard, 1997
Insecticiden	583,00	MJ/kg as	Gaillard, 1997	23,883	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg as	Gaillard, 1997
<b>Energiedragers</b>						
Diesel	41,6	MJ/ltr	BioGrace, version 4	0,088	kg CO <sub>2</sub> -eq./MJ	BioGrace, version 4
Elektriciteit (opwekking)	9,7	MJ/kWh	BioGrace, version 4	0,128	kg CO <sub>2</sub> -eq./MJ	BioGrace, version 4
Aardgas	31,65	MJ/m <sup>3</sup>	Vreuls et al., 2009	0,057	kg CO <sub>2</sub> -eq./MJ	Vreuls et al., 2009
Methaan	50	MJ/m <sup>3</sup>	BioGrace, version 4	0,055	kg CO <sub>2</sub> -eq./MJ	Vreuls et al., 2009
<b>Emissiefactoren</b>						
CO <sub>2</sub>	1		IPCC, 2007			
Methaan	25		IPCC, 2007			
Lachgas	298		IPCC, 2007			

