

Hoe duurzaam is biogas?

Evaluatie van biogasproductie en -gebruik vanuit ecologisch en economisch perspectief

Eindrapport
Delft, oktober 2013

Opgesteld door:
H.J. (Harry) Croezen
I.Y.R. (Ingrid) Odegard
G.C. (Geert) Bergsma



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

H.J. (Harry) Croezen, I.Y.R. (Ingrid) Odegard, G.C.(Geert) Bergsma

Hoe duurzaam is biogas?

Evaluatie van biogasproductie en -gebruik vanuit ecologisch en economisch perspectief

Delft, CE Delft, oktober 2013

Biogas / Duurzaamheid / Productie / Verbruik / Ecologie / Economie / Effecten / Ketenbeheer

Publicatienummer: 13.2905.63

Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

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

Voor u ligt een analyse van de ecologische en economische effecten van biogasproductie en -gebruik in Nederland, gedaan in opdracht van het ministerie van I&M. Productie en gebruik van biogas is voor Nederland een relevante optie om biomassa in te zetten als alternatief voor fossiele brandstoffen. De productie van biogas wordt door overheid gestimuleerd zowel in Nederland als in de EU.

In dit onderzoek hebben we voor verschillende manieren van produceren en gebruiken van biogas onderzocht wat de broeikasgasbalans, het landgebruik, de nutriëntenbalans en de aantasting van lucht-, water- en bodemkwaliteit is in vergelijking met haar fossiele concurrenten.

Een begeleidingscommissie, bestaande uit medewerkers van het ministerie van I&M, heeft ons constructief en kritisch bijgestaan met commentaar:

Henk Strietman

Kaj Sanders

Louis Zuidgeest

Piet Kruithof

Rob Cornelissen

Toen wij aan dit onderzoek begonnen bestond het vermoeden dat de ecologische effecten wezenlijk anders zouden zijn voor de verschillende biogasketens, wat ook duidelijk blijkt uit onze resultaten. Cascadering speelt hierin een belangrijke rol; ketens op basis van afvalstoffen scoren goed op de duurzaamheidsanalyse. Ketens op basis van grondstoffen die ook als veevoer kunnen dienen scoren niet goed op de duurzaamheidscriteria.

Geert Bergsma , Harry Croezen en Ingrid Odegard





Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	13
1.1 Doel van deze studie	13
1.2 Vergisting en biogas	13
1.3 Stimulering vanuit beleid	14
1.4 Mogelijke duurzaamheidsrisico's	16
1.5 Doel van deze studie	17
1.6 Leeswijzer	17
2 Methodiek en afbakening	19
2.1 Methodiek	19
2.2 Beschouwde ketens	20
2.3 Beschouwde afbakening en focus	23
2.4 Referenties gebruik grondstoffen en toepassingen biogas	23
2.5 Beschouwde duurzaamheidsthema's	25
3 Resultaten	27
3.1 De klimaatbalans productie ruw biogas	27
3.2 De klimaatbalans van de toepassing van biogas	30
3.1 De klimaatbalans van de productie en toepassing van biogas	31
3.2 Andere milieuthema's	33
3.3 Kosteneffectiviteit van de biogasketens	37
3.4 Conclusies duurzaamheid van biogasketens	41
3.5 Ketens getoetst aan duurzaamheidseisen van RED en NTA 8080	43
4 Conclusies en aanbevelingen	45
4.1 Conclusies	45
4.2 Aanbevelingen	45
Literatuur	47
Bijlage A Kosten, methodiek en aannames	51
A.1 Investeringskosten	51
A.2 Bepaling jaarlijkse kosten	58
Bijlage B Ketens getoetst aan RED en NTA	63
Bijlage C Beschouwde parameters en wat daaronder wordt meegenomen	67
Bijlage D Diervoeders	69
D.3 Nutriëntenopname melkvee	72





Samenvatting

In deze studie is geprobeerd inzicht te geven in de mate van duurzaamheid van in Nederland geproduceerd biogas uit verschillende typen biomassa en voor verschillende toepassingen. Daartoe is van elke keten een LCA uitgevoerd conform de methodiek voorgeschreven in het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP)¹. Deze aanpak is gekozen omdat de meeste van de beschouwde substraten reststromen betreffen. Biogasproductie uit deze reststromen zou voor een concreet initiatief ook moeten worden geëvalueerd aan de hand van de in de LAP voorgeschreven methodiek.

Tabel 1 Beschouwde biomassatypen als grondstof voor biogas

	Schaalgrootte, m ³ biogas/uur	Vergisting	Vergisting + ontsluiting
Agrarische reststromen			
– Drijfmest:		X	X
a Eigen bedrijf	50		
b Centrale vergister (+ mestscheiding)	1.000		
– Natte gewasresten (bietenloof)	1.000	X	
Bijproducten V&G-industrie			
– Bietenpulp	1.000	X	
Consumentenafval en vergelijkbaar			
– GFT	1.000	X	
– RWZI-slib	2.000	X	X
– Natuurgras en bermgras	1.000	X	
Geteelde biomassa			
– Snijmaïs	1.000	X	
– Groenbemester (winterrogge)	1.000	X	

GFT = Groente-, fruit- en tuinafval, RWZI = rioolwaterzuiveringsinstallatie.

Qua biogastoepassingen zijn de volgende opties beschouwd:

1. Gasmotor, klein (elektriciteit).
2. Gasmotor, groot (elektriciteit).
3. Gasmotor, klein (elektriciteit en warmte: WKK).
4. Gasmotor, groot (elektriciteit en warmte: WKK).
5. Biogas, direct gebruik (aardgasvervanger).
6. Biogas, in pijpleiding (aardgasvervanger).
7. Bio-LNG in vervoer.
8. Groen gas in gasnet (met twee technieken voor opwerking van het gas).

Voor gasopwerking van biogas tot groen gas (verwijdering van CO₂ uit biogas) zijn twee varianten beschouwd: waterscrubber en aminescruber.

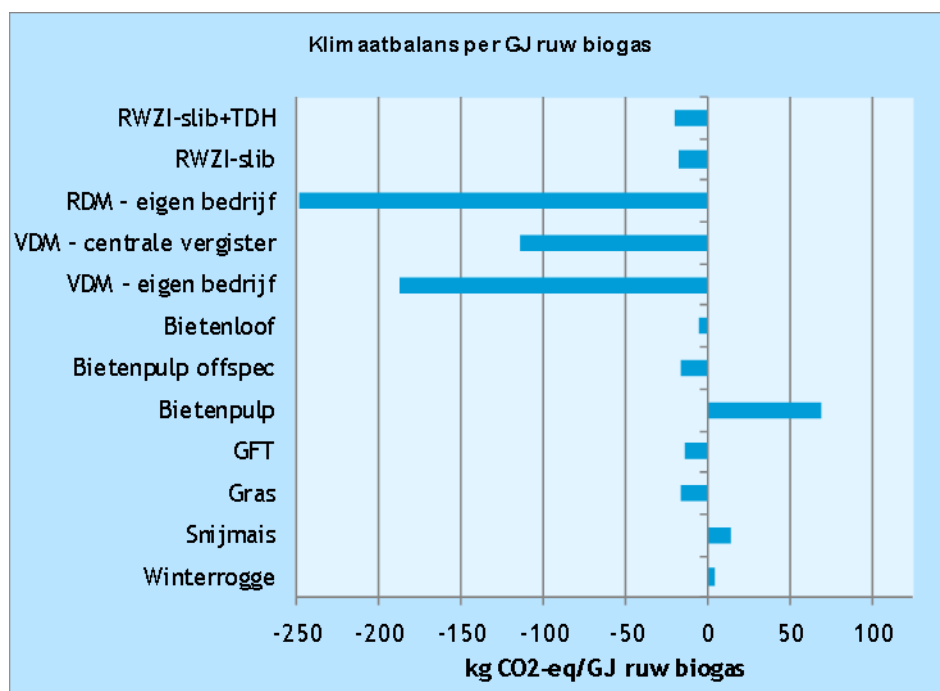
¹ Zie: [http://www.lap2.nl/sn_documents/downloads/99%20LAP-archief/01_LAP1_Achtergronden/MER-LAP_achtergonddocumen02_\(LCA-methodiek\).pdf](http://www.lap2.nl/sn_documents/downloads/99%20LAP-archief/01_LAP1_Achtergronden/MER-LAP_achtergonddocumen02_(LCA-methodiek).pdf)



Resultaten

In Figuur 1 is de klimaatbalans (bruto) van de productie van ruw biogas gegeven. Hierin is de toepassing van biogas nog niet meegerekend. In de figuur is goed te zien dat alle ketens op basis van reststromen gunstig scoren. Dit zijn de ketens: RWZI-slib, runderdrijfmest (RDM), varkensdrijfmest (VDM), GFT en bermgras. Door deze reststromen te vergisten worden broeikasgasemissies vermeden. Bietenpulp, dat nu wordt ingezet als veevoer, geeft een grotere klimaatemissie (1,5 maal groter dan aardgas). Als bietenpulp vergist wordt zal de veevoederwaarde vervangen moeten worden, om de oorspronkelijke functie gelijk te houden. Bij gebruik van bietenpulp voor biogas is daarom extra soja en tarwe nodig voor veevoer. Daarmee is er een risico op indirecte klimaatemissies door ontbossing (ILUC). Als bietenpulp dat niet geschikt is als veevoer (offspec) wordt ingezet dan speelt veevoervervanging en ILUC niet en is er wel sprake van een goede klimaatbalans.

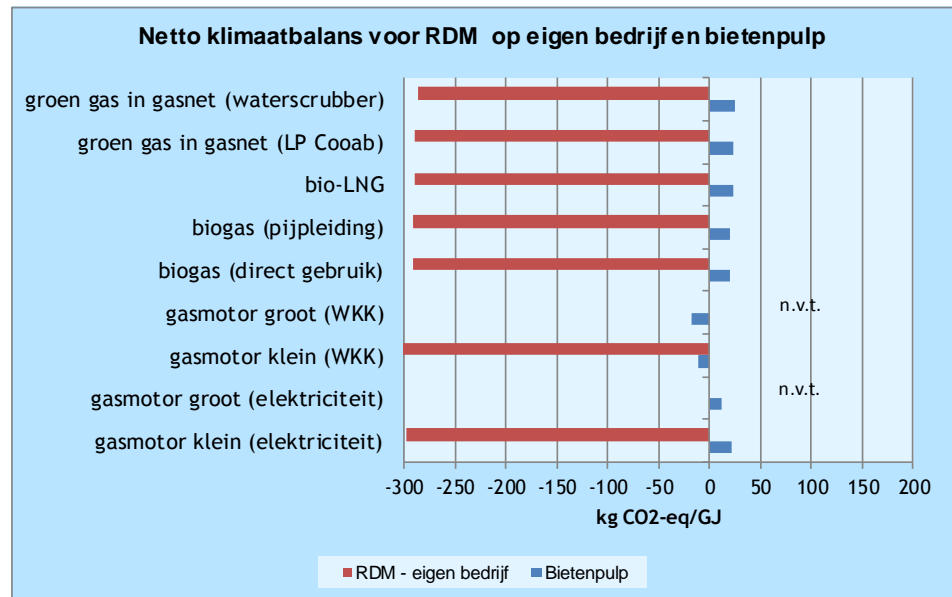
Figuur 1 De klimaatbalans van ruw biogas (excl. toepassing)



RWZI = Rioolwaterzuiveringsinstallatie, RDM = runderdrijfmest, VDM = varkensdrijfmest, GFT: groente-, fruit- en tuinafval, gras = berm- of natuurgas.

Vervolgens zijn aan de verschillende vormen van productie van ruw biogas elf toepassingen van biogas gekoppeld. Doordat er in de toepassingsfase fossiele elektriciteit en aardgas vermeden wordt levert dit een klimaatbalans op die beter is dan alleen die van ruw biogas. Er zijn wel verschillen per toepassing. In Figuur 6 zijn die verschillen per toepassing getoond voor RDM (runderdrijfmest), de best scorende keten, en veevoerbietenpulp, de slechtst scorende keten.

Figuur 2 Netto klimaatbalans over de gehele keten voor, bietenpulp en varkensdrijfmest (eigen bedrijf)



RDM = Runderdrijfmest, LP Coaab = chemische absorptie van CO₂ met Coaab-vloeistof, LNG = Liquid Natural Gas, WKK = warmtekrachtkoppeling.

Uit de klimaatbalans komt de conclusie dat biogasketens op basis van reststromen of groenbemester goed tot zeer goed scoren op de beperking van de klimaatemissies. Biogasketens op basis van veevoeringrediënten scoren matig (snijmaïs) tot slecht (bietenpulp). Dit komt grotendeels omdat de emissies die samenhangen met het verbouwen van de gewassen die gebruikt worden als vervangingen van bietenpulp in de veevoedermix, meegeteld worden. Biogas uit bietenpulp veroorzaakt een klimaatemissie in de orde van 1,5 maal die van fossiel aardgas. Daarnaast concluderen we dat inzet van het biogas in een gasmotor met WKK de toepassing met het meeste klimaatwinst is. Bij deze toepassing er ervan uitgegaan dat tussen de 70 en 95% van de warmte nuttig toegepast kan worden, dit is een optimistisch scenario. De overige 5 tot 30% wordt gebruikt in de vergister WKK is soms echter niet mogelijk omdat er geen gunstige warmtevraag is. Inzet als groen gas in huishoudens of vervoer, als bio-LNG of direct gebruik in een boiler levert ca. 25% minder reductie van broeikasgasemissies op.

Overige duurzaamheidsthema's

Effecten op overige emissies (verzuring, vermesting, zomersmog) zijn redelijk gecorreleerd aan de effecten op klimaat. Voor snijmaïs en bietenpulp speelt ook de kwestie van landgebruik. Voor bietenpulp is er geen klimaatreductie en dus ook geen reductie per hectare landgebruik. Voor snijmaïs is de klimaatreductie per hectare relatief beperkt (8 maal lager dan bijstoken van hout in kolencentrales) en vergelijkbaar met eerste generatie biobrandstoffen voor transport.

De nutriëntenbalans van biogas op basis van reststromen is gunstig omdat nutriënten in digestaat iets beter beschikbaar zijn dan in het oorspronkelijke materiaal en er dus geen verlies van nutriënten plaatsvindt.

Toetsing aan duurzaamheidscriteria van RED en NTA 8080

De ketens zijn ook getoetst aan de duurzaamheidscriteria vastgelegd in de Renewable Energy Directive (RED) en NTA 8080-systeem. Biogasketens op basis van veevoercomponenten (snijmaïs en bietenpulp) zullen niet voldoen aan NTA 8080. Deze standaard benadrukt het belang van cascadering van biomassa en voorrang voor toepassing als grondstof indien mogelijk.

Biogasketens op basis van veevoercomponenten kunnen waarschijnlijk wel voldoen aan de huidige RED-criteria van de Europese Commissie. Indirect land use change (ILUC) en effecten van verschuivingen in de veevoermarkt worden nu nog niet meegenomen in de RED. De Europese Commissie heeft echter een voorstel ingediend om grenzen te stellen aan grondstoffen die ook geschikt zijn voor veevoer/voedsel, om ILUC ook mee te gaan nemen en om het klimaatreductie criterium aan te scherpen. Het wordt daarmee onzeker of deze biogasketens nog voldoen aan de RED-criteria.

Totaaloverzicht duurzaamheidsthema's

In Tabel 2 is een compleet overzicht van de scores op de duurzaamheidsthema's gegeven. De scores geven aan of er voor de ketens vooruitgang of achteruitgang geboekt wordt, ten opzichte van hun referentie (het aangenomen huidige gebruik).

Tabel 2 Duurzaamheidsscores biogasbronnen

	Broeikas-effect	Verzuring	Vermesting	Zomer-smog	Land-gebruik	Toxiciteit	Kosten (euro per ton CO ₂ -reductie)
Agrarische reststromen							
– Drijfmest:							
a Eigen bedrijf	+++	++	++	++	+	+	+
b Centrale vergister (+ mestscheiding)	+++	++	++	+	+	+	+
– Natte gewasresten (bietenloof)	++	0	0	0	+	+	+
Bijproducten V&G-industrie							
– Bietenpulp offspec	++	0	+	+	+	+	0/--
– Bietenpulp veevoer	--	--	--	--	--	--	--
Consumentenafval en vergelijkbaar							
– GFT	++	0	+	0	+	0	+++
– RWZI-slib	++	0	0	+	+	+	+++
– Natuurgras en bermgras	++	0	+	0			+++
Geteelde biomassa							
– Snijmaïs	0/+	-	0	-	--	--	+/--
– Groenbemester (winterrogge)	+	0	+	0	+	0	+/--

N.B. De duurzaamheidsscore geeft aan of er ten opzichte van de referentie vooruitgang of achteruitgang geboekt wordt:

- Gunstig: +++ zeer grote ++ grote + redelijke, vooruitgang t.o.v. de referentie.
- Neutraal: 0 neutraal, geen vooruitgang, geen achteruitgang t.o.v. referentie.
- Ongunstig: - achteruitgang -- grote achteruitgang, t.o.v. de referentie.



Conclusies

- Biogas op basis van mest of reststromen (bermgras, natuurgras, GFT en RWZI-slib) scoort (zeer) goed op de duurzaamheidsaspecten.
- Biogas op basis van mest scoort extra goed op klimaatemissies omdat emissies in de keten beperkt worden.
- Biogas op basis van grondstoffen die ook gebruikt worden als veevoer scoren niet goed tot matig op duurzaamheidscriteria. Het is goed mogelijk dat toepassing van die grondstofketens voor biogasproductie leidt tot extra emissies.
- Toepassing van biogas in een WKK-eenheid levert de grootste duurzaamheidswinst op per GJ biogas.
- Toepassing als groen gas of bio-LNG in transport scoort iets minder op broeikasgassen dan de andere opties door de benodigde behandlingsstap van het gas.
- De kosteneffectiviteit (meerkosten gedragen door subsidie gedeeld door de milieuwinst) varieert sterk. Ketens op basis van GFT en berm en natuurgras zijn gunstig, ketens op basis van mest en bietenloof zijn redelijk gunstig. Andere ketens leiden tot potentieel hogere kosten per ton CO₂.
- De biogasketens op basis van agrarische reststromen en groenbemesters kunnen voldoen aan duurzaamheidscriteria van zowel de RED en NTA 8080.

Aanbevelingen

- Biogas op basis van mest en afvalstromen (GFT, RWZI-slib, bermgras en natuurgras) scoren goed tot zeer goed op duurzaamheidskenmerken. Daarom zouden deze bronnen van duurzame energie voorrang moeten krijgen boven vormen van duurzame energie waar discussie over bestaat ten aanzien van de duurzaamheid. Het is aan te bevelen biogasketens op basis van veevoeringrediënten niet te subsidiëren of alleen te subsidiëren na een toets of het de moeite waard is om in dit geval in te gaan tegen het principe van cascadering.
- Het is aan te bevelen om biogasketens beleidsmatig niet alleen te waarderen op energiewaarde maar ook op klimaatemissiereductie omdat sommige ketens per GJ een zeer hoge CO₂-reductie bereiken.





1 Inleiding

1.1 Doel van deze studie

Productie en gebruik van biogas is voor Nederland een relevante optie om biomassa in te zetten als alternatief voor fossiele brandstoffen. De productie van biogas wordt door overheid gestimuleerd zowel in Nederland als in de EU.

In dit onderzoek hebben we voor verschillende manieren van produceren en gebruiken van biogas onderzocht wat de broeikasgasbalans, het landgebruik, de nutriëntenbalans en de aantasting van lucht-, water- en bodemkwaliteit is in vergelijking met haar fossiele concurrenten.

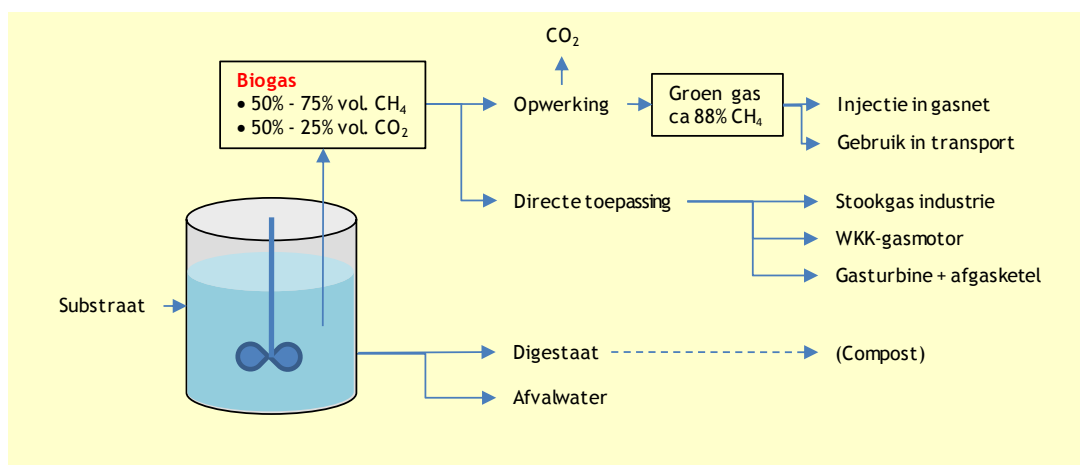
Naast een analyse en evaluatie van deze ecologische aspecten is in dit onderzoek gekeken naar de rentabiliteit van biogasprocessen en -toepassingen. Deze resultaten zijn ook omgerekend naar de kosteneffectiviteit in euro meerkosten per ton reductie in CO₂-emissies.

1.2 Vergisting en biogas

Biogas is een brandbaar gas dat door vergisting, d.w.z. anaerobe afbraak van biomassa door micro-organismen in water, wordt gevormd (zie Figuur 3). De biomassa die wordt vergist wordt substraat genoemd.

Het biogas kan direct worden toegepast of kan worden gescheiden in CO₂ en methaan/groen gas, met behulp van verschillende opwerkingstechnieken. Er blijft afvalwater en digestaat over. Het digestaat kan bij voldoende kwaliteit (voldoende lage zware metalen concentraties) worden gecomposteerd en als compost worden afgezet (criteria vastgelegd in wetgeving BOOM).

Figuur 3 Schematische en vereenvoudigde weergave van vergisting



Het substraat kan eventueel worden voorbereid om biogasproductie te maximaliseren. Digestaat en afvalwater kunnen eventueel worden gebruikt als voeding voor teelt van algen of eendenkroos of kunnen eventueel verder worden gescheiden voor de productie van geconcentreerdere meststoffen.

1.3 Stimulering vanuit beleid

Biogas moet volgens het Nederlandse Nationaal Actieplan voor Energie uit Hernieuwbare Bronnen ruim 15% van de te produceren hernieuwbare energie gaan leveren en moet één van de pijlers worden voor de verduurzaming van de Nederlandse energievoorziening². De bedoeling is om biogas in een scala aan toepassingen te gebruiken:

- productie van duurzame elektriciteit en warmte met decentrale WKK-installaties;
- productie van duurzame warmte door gebruik als stookgas in boilers;
- vervanging van aardgas door invoeding van opgewerkt biogas op het aardgasnet ('groen gas').

Productie van biogas voor deze toepassingen wordt gestimuleerd door de overheid door subsidies op productie van hernieuwbare warmte, elektriciteit en gas onder de SDE+ regeling³.

Daarnaast leidt EU-beleid ten aanzien van biobrandstoffen tot steeds meer belangstelling voor biogas uit reststromen als transportbrandstof in wegvervoer en scheepvaart.

De belangstelling voor deze toepassing is groot omdat biogas uit reststromen dubbel mag meetellen voor Europese Renewable Energy Directive-doelstelling (RED)⁴ voor het wegvervoer (10% 'duurzame' brandstoffen in het wegtransport in 2020). Deze dubbeltelling is ingevoerd omdat biogas uit reststromen als duurzamer worden beschouwd dan biobrandstoffen uit geteelde gewassen. Door deze dubbeltelling kan een hogere prijs worden gerekend richting afnemers en is afzet van biogas uit reststromen in transport een geduchte concurrent geworden voor toepassingen in warmte en elektriciteitsproductie. Voorgesteld EU-beleid rond biobrandstoffen zal dit mechanisme verder versterken wanneer aangenomen.

In oktober 2012 heeft de Europese Commissie een voorstel gepubliceerd om de RED op een aantal punten aan te passen, één onderdeel daarvan is het voorstel om een aantal biobrandstoffen uit reststromen maar liefst vier maal mee te laten tellen voor de doelstelling. Daarnaast wordt voorgesteld om het aandeel biobrandstoffen uit voedselgewassen tot maximaal 5% te beperken, de rest van de 10%-doelstelling moet dan met biobrandstoffen uit reststromen of hernieuwbare elektriciteit worden gehaald.

² www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Nationaal_actieplan_voor_energie_uit_hernieuwbare_bronnen_tcm24-338435.pdf

Betreft: inzet van 42-48 PJ per jaar voor productie van 17 PJ elektriciteit en 12 PJ warmte op basis van en 24 PJ aan groen gas. Biogas voor WKK is voor 2,2 PJ uit AWZI, 1,2 PJ uit RWZI, 11,6 PJ uit mest en 1,7 PJ uit GFT; een directe invoeding van biogas in het aardgasnet ('groen gas') van 24 PJ.

³ www.agentschapnl.nl/programmas-regelingen/stimulering-duurzame-energie-productie-sde

⁴ www.eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=Oj:L:2009:140:0016:0062:en:PDF



Inspelend op deze beleidsontwikkelingen en marktontwikkelingen zijn partijen als energiebedrijven, agrariërs, waterschappen, afvalbedrijven en bedrijven in de voedingsmiddelenindustrie enthousiast aan de slag gegaan met realisatie van initiatieven voor biogasproductie en -toepassing.

Deze partijen pleiten in toenemende mate voor het versoepelen of wijzigen van regels voor de inzet van biomassa om de mogelijkheden voor biogasproductie te vergroten.

Een indicatie van de huidige omvang van biogasproductie en -toepassing is gegeven in Tabel 3

Tabel 3 Biogasproductie en -toepassing per type substraat anno 2010 (alle waarden in TJ) in Nederland

Substraat	Productie/toepassing	TJ productie	TJ eindgebruik (bruto)
Biogas uit stortplaatsen	Productie	1.941	
	Elektriciteit		391
	Warmte		269
	Vervoer		
	Ondervuring		345
	Fakkel		403
	Subtotaal		
Biogas uit rioolwaterzuiveringsinstallaties	Productie	2.297	
	Elektriciteit		589
	Warmte		1.259
	Vervoer		
	Ondervuring		84
	Fakkel		196
	Subtotaal		
Biogas, co-vergisting van mest	Productie	5.747	
	Elektriciteit		2.069
	Warmte		1.907
	Vervoer		
	Ondervuring		
	Fakkel		
	Subtotaal		
Overige biogas	Productie	2.900	
	Elektriciteit		706
	Warmte		1.403
	Vervoer		
	Ondervuring		561
	Fakkel		
	Subtotaal		
Totaal productie		12.885	10.182

Bron: CBS Statline.



Potentieel productie biogas in NL ongeveer 4 maal huidige productie

Eerder heeft CE Delft in opdracht van Platform Groen gas een verkenning gedaan van de 'Kansen voor groen gas' (CE Delft, 2011). Daarin is geconcludeerd dat op basis van vergisting potentieel er 1,5 miljard Nm³ biogas geproduceerd zou kunnen worden in Nederland. Dat is omgerekend 48 PJ biogas. Dat potentieel is 4 maal hoger dan de huidige productie. Vooral mest (30 PJ) en agrarische reststromen kunnen meer omgezet worden in biogas dan nu gebeurt.

Vanuit de gasector is 1,5 miljard Nm³ gas echter nog een bescheiden hoeveelheid. Jaarlijks wordt er ongeveer 50 miljard Nm³ gebruikt in Nederland. Biogas kan daar potentieel 3% van voldoen. In scenario's waarin een groter aandeel groen gas in de gasector is bedacht wordt over het algemeen import van houtige biomassa en vergassing van biomassa als extra mogelijke optie gezien. Deze optie concurreert echter met inzet van houtige biomassa voor elektriciteit. Omdat vergassing voor biogas nu nog niet wordt toegepast in Nederland is deze optie niet meegenomen in dit onderzoek.

1.4 Mogelijke duurzaamheidsrisico's

Eerdere analyses hebben echter laten zien dat de broeikasgasbalans van biogas sterk afhangt van de gebruikte grondstof. Zo scoorde biogas uit mest goed in CE Delft, 2010 en CE Delft 2012 en biogas uit geteelde maïs duidelijk veel minder⁵. Er is daarnaast een risico dat lekkage van methaan uit de vergister of CH₄-afscheiding (zie Figuur 3) een netto toename van broeikasgasemissies veroorzaken.

Andere genoemde duurzaamheidsaandachtspunten zijn:

- **Aantasting lucht-, water- en bodemkwaliteit.** Het is onduidelijk in hoeverre andere vormen van milieubelasting zoals emissies van toxische, vermestende en verzurende stoffen lokaal tot onduurzame situaties en overlast leiden.
- **Kosteneffectiviteit.** Er zijn vragen over de kosteneffectiviteit van biogasproductie en -inzet. Uit een recente evaluatie (OWS, 2011)⁶ blijkt bijvoorbeeld dat 80% van de vergistingsinstallaties in Nederland met verlies draait en door de exploitant zal worden stilgelegd na afloop van de subsidieperiode. Het betreft met name covergistingsinstallaties voor mest en extern ingekocht cosubstraat bij agrarische bedrijven.
- **Indirect landgebruik.** Er is mogelijk een ILUC⁷-risico bij gebruik van geteelde biomassa en bijproducten uit landbouw en voedingsmiddelenindustrie die tot nu toe vooral als veevoeder werden ingezet⁸.

⁵ CE Delft (2011) www.ce.nl/publicatie/kansen_voor_groen_gas/1149 en (CE Delft 2010) www.ce.nl/publicatie/goed_gebruik_van_biomassa/1037

⁶ www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Evaluatie%20van%20de%20vergisters%20in%20Nederland%20november%202011.pdf

⁷ Indirect Land Use Change (ILUC) is het mechanisme dat teelt van biomassa als vervanging van fossiele energie op landbouwareaal gebeurt dat eerder voor voedselproductie werd gebruikt waardoor de voedselproductie ander(natuurlijk) land in gebruik gaat nemen.

⁸ In beide gevallen leidt gebruik van gewas of bijproduct niet tot een verlaging van de vraag naar voedsel en voeder en moet er extra teelt plaatsvinden om aan deze behoeften te voldoen. Er is een risico dat die extra teelt wordt gerealiseerd op akkerbouwareaal gecreëerd uit grasland of natuur, landschapstypen met een hogere koolstofhoeveelheid in vegetatie en bodem als akkerland.



In deze studie worden deze risico's onderzocht.

1.5 Doel van deze studie

In deze studie is geprobeerd inzicht te geven in de mate van duurzaamheid van biogas uit verschillende typen biomassa en voor verschillende toepassingen. Daarbij is ook aandacht besteed aan mogelijkheden voor verdere optimalisatie van biogasproductie door:

- voorbehandeling van de te verwerken biomassa, maximalisering biogasproductie;
- extractie of productie van andere waardevolle producten (kunstmest, ammoniak, eiwitrijk diervoeder) op basis van digestaat.

De verschillende biogasketens zijn op een aantal milieu- en kosten-gerelateerde aspecten gekwantificeerd. Daarbij wordt aangesloten bij beleidsthema's als kosteneffectiviteit en RED-doelstellingen voor CO₂-emissiereductie, maar aanvullend daarop is ook aangesloten bij de NTA 8080 en bij de discussie over de duurzaamheid van biobrandstoffen, één van de mogelijke toepassingen voor biogas.

In concreto worden de volgende milieuaspecten beschouwd:

- klimaatbalans;
- landgebruik (direct/indirect);
- afval en afvalwater;
- emissies naar water en bodem
- emissies naar lucht;
- nutriëntenbalans;
- kosten.

1.6 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de ketens en de methodiek besproken die gebruikt zijn in de analyse. Deze sluiten aan bij beleidsontwikkelingen en markttrends en hebben (mogelijk in de toekomst) een relevant volume in Nederland. De verschillende vergistingstechnologieën en opwerkingsmethoden worden besproken, als ook de ketens die gebruikt worden als referentie in de analyse. In Hoofdstuk 3 worden de resultaten van de duurzaamheidsanalyse gepresenteerd. Tot slot worden in Hoofdstuk 4 conclusies getrokken.

In de bijlagen worden de data en achtergronden van de berekeningen verder toegelicht.





2 Methodiek en afbakening

2.1 Methodiek

De aan biogasproductie gerelateerde milieubelasting is geschat en geëvalueerd conform het wettelijk kader voor verwerking van reststoffen zoals neergelegd in het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP), LAP 2. Het LAP is gevolgd omdat de meeste beschouwde substraten reststromen betreffen en initiatieven voor vergisting in de praktijk sowieso zullen moeten worden getoetst aan het LAP.

In het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP) wordt middels de minimumstandaard en de daaraan gerelateerde milieubelasting per type afval een kader gegeven voor de mogelijkheden voor verwerking.

Doel van het LAP - en in het Europese afvalbeleid - is te komen tot een zo hoogwaardig mogelijke benutting van afval- en reststoffen met optimaal hergebruik van reststoffen als grondstof of product en een zo laag mogelijke netto milieubelasting gerelateerd aan verwerking (vaak aangeduid als zoveel mogelijk cascadering). De in het beleid op basis van de verwachte netto milieubelasting aangehouden voorkeursvolgorde voor reststoffenverwerking is:

- preventie van het ontstaan van reststoffen;
- producthergebruik of materiaalhergebruik;
- nuttige toepassing als hoogwaardige brandstof;
- verbranding in een AVI;
- gecontroleerde stort op een deponie.

De minimumstandaard is een reststof- of afvalverwerkingstechniek waarvan de aan verwerking gerelateerde milieubelasting wordt beschouwd als de maximaal wenselijke mate van milieubelasting. Voor vergistbare reststromen is dit bijvoorbeeld compostering. Is de minimumstandaard herverwerking, dan mag de reststroom niet worden vergist of gecomposteerd - tenzij door middel van een milieuanalyse aannemelijk kan worden gemaakt dat deze routes vergelijkbaar of minder milieubelasting veroorzaken als de minimumstandaard en in minimaal vergelijkbare mate bijdragen aan het minimaliseren van het gebruik van uitputbare grondstoffen.

Een aantal beschouwde substraten zijn geen reststroom, maar commerciële producten met een nuttige toepassing. Voor deze producten (afzetbare bietenpulp, snijmaïs) is in de milieuanalyse verdisconteerd dat omleiden naar vergisting indirect zal leiden tot een andere invulling van de markt vraag waar deze producten in voorzagen. De aan die andere invulling gerelateerde milieubelasting is verdisconteerd in de milieuanalyse.



2.2 Beschouwde ketens

In deze studie zijn onderstaande te vergisten biomassatypen (substraten - zie Tabel 4) beschouwd.

Overwegingen voor de keuze van deze grondstoffen en ketens zijn:

- het betreft alle biomassatypen met groot (contracteerbaar) en relevant aanbod in Nederland (Koppejan, 2009 en Elbersen, 2010);
- de selectie sluit aan bij beleidsontwikkelingen en markttrends en omvat bijvoorbeeld alle biomassatypen opgenomen in Nationaal Actieplan voor Energie uit Hernieuwbare Bronnen;
- de selectie omvat alle hoeken van het speelveld qua substraat/biogas-toepassing combinaties:
 - substraat: van afval tot geteelde biomassa;
 - biogastoepassing: van direct verstoken tot chemische grondstof.
- de toepassing biogas is conform markttrends.

Tabel 4 Te beschouwen biomassatypen

	Schaalgrootte, m ³ biogas/uur	Vergisting	Vergisting + ontsluiting
Agrarische reststromen			
- Drijfmest:		X	X
c Eigen bedrijf	50		
d Centrale vergister (+ mestscheiding)	1.000		
- Natte gewasresten (bietenloof)	1.000	X	
Bijproducten V&G-industrie			
- Bietenpulp	1.000	X	
Consumentenafval en vergelijkbaar			
- GFT	1.000	X	
- RWZI-slib	2.000	X	X
- Natuurgras en bermgras	1.000	X	
Geteelde biomassa			
- Snijmaïs	1.000	X	
- Groenbemester (winterrogge)	1.000	X	

Toelichting:

Technologie sluit steeds aan op biomassa-eigenschappen (moeilijk/makkelijk afbreekbaar) en beoogde bestemming digestaat.

Ontsluiting:

- bij mest: hydrolyse met zwavelzuur - mestraffinage volgens het agromodem procedé;
- bij slib: THD (thermische drukhydrolyse - energiefabriek concept).

Hieronder een korte uiteenzetting over marktontwikkelingen per meegenomen substraat:

Drijfmest

Mest wordt nog vooral vergist op het agrarisch bedrijf waar het vrijkomt. Covergisting met extern ingekocht substraat blijkt in de praktijk vrijwel altijd onrendabel vanwege de stijgingen van marktprijzen voor cosubstraat. Een ander nadeel is dat extra nutriënten worden aangevoerd, terwijl de ruimte om nutriënten toe te passen steeds kleiner wordt - het 'mest-overschot'. Om die redenen is er een beweging naar kleinschalige mono-

vergisting van mest alleen met installaties als de 'microferm' van HoSt (HoSt Bio-Energie, 2013⁹).

Een andere ontwikkeling is mestraffinage op de boerderij met bijvoorbeeld het AgriModem-concept. Mest wordt daarin eerst in de kelder aangezuurd met zwavelzuur en daarna in een verplaatsbare installatie vrijwel volledig af te breken tot biogas, nutriëntenconcentraten en een beetje compost. Er is een green deal gesloten voor realisatie van 200 van deze installaties.

Vanuit ZLTO is een ander concept ontwikkeld, mede aansluitend bij de behoefte van varkensboeren om van de nutriënten in de mest af te komen. In dit concept wordt mest op het bedrijf gescheiden in een dunne en een dikke fractie, waarna de dikke fractie met vrijwel alle organische stof en fosfor uit de mest bij een centrale vergister wordt verwerkt.

Gewasresten en bijproducten

Voor zowel gewasresten als bijproducten uit de voedingsmiddelenindustrie is uitgegaan van bijproducten van suikerbiet omdat er een trend is om vooral deze reststroom c.q. bijproducten te gebruiken voor vergisting:

- Bietenloof is voor zover bekend het enige type gewasrest waarvoor machinerie in ontwikkeling is om het te oogsten voor vergisting.
- Bietenpulp is één van de natte bijproducten van de voedingsmiddelenindustrie, die in de praktijk wordt vergist, maar ook als vochtrijk diervoeder wordt afgezet. Dit is ook het geval voor reststromen van aardappelverwerking. Om de analyse overzichtelijk te houden is slechts één bijproduct beschouwd.

GFT

GFT wordt nog vooral gecomposteerd, maar met de stimulering van hernieuwbare energie is er een trend ontstaan om GFT te vergisten. Benodigde vergistingscapaciteit wordt nieuw gebouwd, bijvoorbeeld in Venlo, maar wordt soms ook bij een bestaande composteringsinstallatie bijgeplaatst. Het overblijvende digestaat moet vervolgens toch worden gecomposteerd om te kunnen worden afgezet als 'overige organische meststof'.

Nieuw in Nederland is toepassing van 'droge vergisting' voor GFT. Het substraat wordt niet als een slurry in de reactor gebracht, maar wordt besproeid, waardoor broei optreedt en makkelijk vergistbaar percolaat ontstaat.

RWZI-slib

Slib wordt bij de grotere waterzuiveringsinstallaties al sinds jaar en dag vergist om kosten voor afvoer van slib naar centrale verwerkingsinstallaties - bijvoorbeeld de slibverbrandingsinstallaties in Moerdijk en Dordrecht - te beperken.

Nieuw is het concept van het 'voorkoken' om de vergistbaarheid te verbeteren en biogasproductie te maximaliseren. Er is één 'voorkook'-installatie in aanbouw en er zijn er nog een aantal gepland. De stap om deze voorbehandeling te introduceren - als onderdeel van het zogenaamde energie-fabriekconcept - heeft te maken met verdere minimalisering van afvoerkosten voor slib, maar ook overheidsstimulering van hernieuwbare energie.

⁹ Zie: <http://www.host.nl/nl/microferm/>



Andere optimalisatietechnieken als toepassing van ultrasoon geluid worden in Nederland hier en daar toegepast, maar zijn in deze studie verder buiten beschouwing gelaten; ze maken niet echt opgang en blijken in de praktijk wisselende resultaten te geven, al dan niet in de vorm van technische problemen.

Natuur- en bermgras

Zowel uit natuurgebieden als van wegbermen zijn regelmatig grote hoeveelheden gras beschikbaar dat vergist kan worden tot biogas.

Groenbemester

Teelt van winterrogge is een optie om zonder landgebruik substraat te telen en is met oog daarop onderzocht door bijvoorbeeld PPO Lelystad en Inagro in Vlaanderen. De winterrogge wordt geteeld in bouwplannen met snijmaïs of granen en in periodes waarin anders sowieso 'zwarte of groene braak' zou worden toegepast.

Energieteelt

Om biogasproductie per vergister te verbeteren wordt ook specifiek daarvoor geteelde snijmaïs gebruikt. De steeds stijgende prijzen maken dit substraat de laatste jaren minder aantrekkelijk.

Vergassing niet meegenomen

Vergassing van hout voor productie van biogas, wat in de toekomst een rol zou kunnen spelen in de energievoorziening, is in deze studie om twee redenen niet meegenomen. Ten eerste omdat het op dit moment nog niet wordt toegepast, ten tweede omdat de ketens op basis van hout een andere analyse vergen met ook aandacht voor de houtmarkt en de koolstofbalans van bosbouw. De analyse zou later wel aangevuld kunnen worden met vergassing van verschillende soorten hout.

2.2.1 Beschouwde toepassingen van biogas

Qua biogastoepassingen worden negen opties beschouwd:

1. Gasmotor klein (elektriciteit).
2. Gasmotor groot (elektriciteit).
3. Gasmotor klein (elektriciteit en warmte: WKK).
4. Gasmotor groot (elektriciteit en warmte: WKK).
5. Biogas (direct gebruik als aardgasvervanger).
6. Biogas (pijpleiding als aardgasvervanger).
7. Bio-LNG.
8. Groen gas in gasnet of in het wegvervoer als vervanging van aardgas opgewerkt met één van de volgende technieken:
 - a LP Coaab (chemische absorptie van CO₂ met Coaab-vloeistof).
 - b Waterscrubber.

Bij toepassing in een WKK-eenheid is ervan uitgegaan dat voor tussen de 70 en 95% van de warmte een nuttige toepassing gevonden wordt. De overige 5 tot 30% van de warmte wordt gebruikt voor de warmtevraag van de vergister (dit verschilt per substraat).

Omdat we ervan uit gaan in deze studie dat groen gas in het vervoer als vervanging dient van aardgas zijn de effecten van toepassing als groen gas in het gasnet voor elektriciteit, warmte en of transport gelijk. In alle gevallen gaat het om vervanging van fossiel aardgas.



2.3 Beschouwde afbakening en focus

De duurzaamheid van de diverse biomassatechniekcombinaties wordt voor wat betreft de milieubelasting met een LCA-benadering geschat. Dit is conform de relevante beleidskaders:

- RED en voor toepassing van biogas in vervoer;
- Landelijk Afvalbeheerplan (LAP) voor wat betreft reststromen (GFT, slib).

Daarom is steeds de hele keten van moment van vrijkomen substraat tot en met eindverwerking of toepassing van alle uit de vergister komende stromen. Analyse omvat daarnaast indirecte bijdragen gerelateerd aan productie van energiedragers en hulpstoffen die gebruikt worden in de biogasketen.

Hierbij zijn ook indirecte effecten meegenomen:

- ILUC en daaraan gerelateerde emissies;
- effecten op bemestende waarde van nutriënten in substraat en op bodemorganische stof bij substraten die anders als organische meststof worden toegepast.

Er is ook gekeken of de indirecte effecten van de verandering veevoedermix op emissies van methaan bij herkauwers in deze studie meegenomen kon worden. Effecten kunnen relevant zijn¹⁰, maar er is onzekerheid over de verschillen tussen pure grondstoffen. Daarom is dit aspect in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Veiligheid, geluid en geur zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Onze overwegingen hiervoor zijn:

- veiligheid, geluid en geur zijn locatiespecifieke thema's, vooral randvoorwaarden waarbinnen activiteit kan plaatsvinden;
- voorgestelde thema's sluiten aan bij RED, NTA 8080 en bij de discussie over de duurzaamheid van biobrandstoffen;
- voorgestelde thema's sluiten aan bij beleidsdossiers als fosforkringloop, reductie van vermestende emissies en bodemkwaliteit;
- de voorgestelde methodiek voor scores sluit aan op de relevante beleidskaders voor biobrandstoffen en bio-energie (RED, NTA 8080) en voor beoordeling van verwerkingsroutes voor reststromen (LAP).

2.4 Referenties gebruik grondstoffen en toepassingen biogas

Omdat substraten vaak afval, restproduct of bijproducten betreffen worden ze nu al op een bepaalde manier verwerkt. Voor deze stromen zijn daarom ook de milieueffecten van de referenties in kaart gebracht om het netto-effect van omleiding naar vergisting te illustreren. Beschouwde referentieketens zijn genoemd in Tabel 5.

¹⁰ Dit wordt bijvoorbeeld ook meegenomen in het GHGenius-programma voor evaluatie van de duurzaamheid van biobrandstoffen in Canada. Effecten zijn relevant, zoals bijvoorbeeld geïllustreerd in: www.ghgenius.ca/reports/NRCanEthanolUpdate.pdf



Tabel 5 Beschouwde referenties voor gebruik van grondstoffen

	Referentie verwerking	Toelichting
Agrarische reststromen		
- Drijfmest	Toepassing op land	Mest blijft maanden in opslag wordt daarna uitgereden en geïnjecteerd
- Natte gewasresten (loof)	Onderploegen	Gewasresten blijven achter na oogst en worden bij grondpreparatie voor nieuwe teelt ondergeploegd.
Bijproducten V&G-industrie		
- Bietenpulp	Veevoer - melkvee	Pulp die overblijft na uitspoelen van de suikers wordt als vochtrijk veevoer of (na drogen) brok in de melkveehouderij afgezet
Consumentenafval en vergelijkbaar		
- GFT	Composteren	Gescheiden ingezameld GFT wordt gecomposteerd, compost wordt o.a. gebruikt in plantsoenen en bij tuinders.
- RWZI-slib	Verbranden ¹¹	Het slib wordt verbrand bij gespecialiseerde verbrandingsinstallaties
- Natuurgras en bermgras	Composteren	Gras wordt gecomposteerd, compost wordt gebruikt in plantsoenen, bij tuinders
Geteelde biomassa		
- Snijmaïs	Veevoer - melkvee	Snijmaïs wordt gebruik als veevoer in de melkveehouderij
- Groenbemester (winterrogge)	Onderploegen	Winterrogge wordt gebruikt als groenbemester en ondergeploegd

In de berekeningen voor de toepassing is gewerkt met referenties voor fossiele ketens. Het betreft hier vergelijkingen met fossiel geproduceerde elektriciteit, op aardgas geproduceerde warmte (bij de WKK-opties), aardgas in het gasnet en aardgas in transport. Voor de referentie 'elektriciteit' is gebruik gemaakt van de elektriciteitsmix in Nederlands zoals is gegeven in de Ecoinvent database (Ecoinvent, 2009).

¹¹ In Nederland wordt RWZI-slib en niet afzetbaar AWZI-slib voor het grootste deel verbrand in gespecialiseerde ovens van HVC Dordrecht en SVM, deels gecomposteerd (Tiel, Zutphen) en daarna afgezet als brandstof en deels thermisch gedroogd en daarna afgezet als brandstof. Er is gekozen voor de meest gangbare route, tevens de minimum standaard in het LAP.



Tabel 6 Beschouwde referenties voor toepassing van biogas

	Referentie fossiele keten
Gasmotor klein (elektriciteit)	Elektriciteit
Gasmotor groot (elektriciteit)	Elektriciteit
Gasmotor klein (WKK)	Elektriciteit en aardgas
Gasmotor groot (WKK)	Elektriciteit en aardgas
Biogas (direct gebruik)	Aardgas
Biogas (pijpleiding)	Aardgas
Bio-LNG	Aardgas
Groen gas in gasnet (LP Coaab)	Aardgas
Groen gas in gasnet (waterscrubber)	Aardgas

2.5 Beschouwde duurzaamheidsthema's

In Tabel 7 is staat aangegeven welke duurzaamheidsthema's in deze studie bekeken worden.

Tabel 7 Beschouwde parameters voor de duurzaamheidsthema's

Duurzaamheidsthema	Methodiek, grootheden	Score op
Klimaatbalans	Broeikasgasbalans, conform NTA 8080-eisen	Netto broeikasgasemissie: – kg CO ₂ -eq/GJ biogas – kg CO ₂ -eq/ton substraat
Landgebruik (direct/indirect)	Voor teelt van energiegewassen en eventuele vervangende voedergewassen	Ha/GJ biogas
Afval en afvalwater	Hoeveelheden (massabalans), belading (kg zware metalen, CZV*)	– Verandering in omvang (kg/ton substraat) – Verandering in vracht (kg/ton substraat)
Emissies naar water en bodem	Af- en uitspoeling (P/fosfaat, K, N/nitraat)	Verandering in bijdrage aan vermisting: – kg PO ₄ -eq/ton substraat
Overige emissies naar lucht	CH ₄ , NO _x , NH ₃ , N ₂ O, SO ₂ /H ₂ S, PM ₁₀	Verandering in bijdragen aan verzuring, vermisting, toxiciteit: – kg/ton substraat
Nutriëntenbalans	Kg N/P/K per ton substraat opgenomen door gewas	Netto verandering in opname
Kosten per ton CO ₂ -reductie	Kosten en batencalculatie, conform SDE+ methodiek gecombineerd met de CO ₂ -reductieberekening	Kosten: – €/ton CO ₂ -reductie

* CZV = Chemische zuurstofverbruik.



3 Resultaten

In dit hoofdstuk presenteren we de duurzaamheidsanalyse van biogas-technologieën en biogastoepassingen. Gekeken is naar de milieuthema's klimaatverandering, verzuring, vermesting, zomersmog en toxiciteit (humane, bodem, zoetwater en marine). Toelichting van de concrete technieken en stappen in de keten worden gerapporteerd in de bijlagen.

3.1 De klimaatbalans productie ruw biogas

In Figuur 4 is de klimaatbalans voor de verschillende biogasketens gegeven tot de productie van ruw biogas. De figuur geeft een vergelijking van de emissie van CO₂-eq per GJ biogas voor varkensdrijfmest (VDM, op eigen bedrijf en bij centrale vergisting), bietenloof, bietenpulp, GFT, gras, snijmaïs en winterrogge.

Opwerking van het biogas en toepassing zijn in deze figuur nog niet meegenomen. De balans voor de ketens is berekend ten opzichte van het referentiegebruik voor de verschillende grondstoffen. Deze referentie is de huidige toepassing van de grondstof (dus bijvoorbeeld 'uitrijden' voor VDM, en toepassing als veevoer voor bietenpulp). De figuur geeft dan ook weer wat het effect van een verschuiving van het referentiegebruik naar biogasproductie zou zijn.

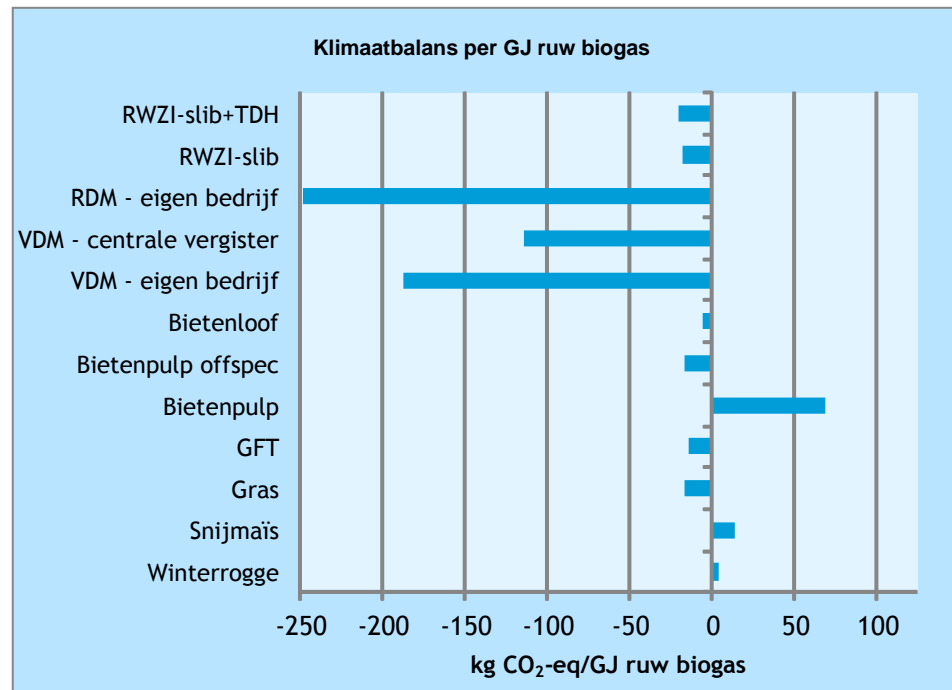
In deze broeikasgasbalans is de opname van CO₂ bij plantengroei nog niet meegenomen. Deze CO₂-neutraliteit van biograndstoffen wordt in deze studie, zoals in de meeste biomassa LCA-studies, meegenomen bij de toepassing. Dit betekent dat er bij verbranding van biogas geen CO₂-emissie wordt gerekend wegens de eerdere opname.

De bruto broeikasgasbalans van ruw biogas kan ruwweg vergeleken worden met de klimaatbalans van aardgas, die ongeveer 56,8 kg CO₂-eq/GJ bedraagt. Alle biogasketens scoren daar onder behalve de productie van biogas uit bietenpulp.

Bruto betekent in deze analyse nog zonder eigen energiegebruik van vergister. Omdat het eigenverbruik deels via WKK wordt ingevuld is deze meegerekend bij de toepassing van biogas.



Figuur 4 De klimaatbalans van ruw biogas (excl. toepassing) per bruto GJ biogas nog zonder ILUC



De verschillen tussen de klimaatbalans van de biogasgrondstoffen zijn vrij groot. Runderdrijfmest en varkensdrijfmest (VDM) vergisten is qua klimaatbalans gezien relatief gunstig. Deze optie voorkomt emissies van methaan uit mest in de mestketen. Het digestaat kan vervolgens nog steeds de mestfunctie vervullen die de mest in de referentiesituatie vervulde.

Aan de andere kant van het spectrum ligt bietenpulp. Een deel van deze grondstof kan worden toegepast als veevoer. Bij het omleiden van bietenpulp van veevoer naar vergisting wordt deze toepassing vervangen door ander veevoer. Er wordt dan dus extra veevoer (soja en tarwe) geproduceerd, waar onder andere ook kunstmest, water en vruchtbaar land voor nodig is. In de berekening van de nutriënten- en bodemorganische stofbalans is rekening gehouden met deze productie van extra veevoer. Een ander deel van de bietenpulp dat nu ingezet wordt als vergistingsmateriaal voldoet niet aan veevoerspecificaties (offspec). Voor deze keten is veevoer geen optie en is er dus wel sprake van een voordelige klimaatbalans.

De verschuiving van veevoer naar biogas geldt ook voor snijmaïs. Voor snijmaïs is de bijdrage van 'hulpstoffen' (extra kunstmestgebruik voor teelt van voer) echter duidelijk lager dan bij bietenpulp. Dit komt omdat de vervangende veevoerders een lagere milieu-impact hebben. Bij vervanging van bietenpulp zal soja en tarwe moeten worden toegevoegd aan de voedermix, bij vervanging van snijmaïs kan een (klein) deel soja uit de mix gehaald worden en vervangen worden door tarwe. Dit is weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 Verschuivingen als gevolg van omleiding van veevoer naar biogasproductie. In beide ketens (bietenpulp en snijmaïs) vindt er verandering plaats in tarwe- en sojaproductie

	1 kg bietenpulp wordt vervangen door:	1 kg snijmaïs wordt vervangen door:
Tarwe (kg)	0.21	0.34
Sojaschroot (kg)	0.01	-0.07

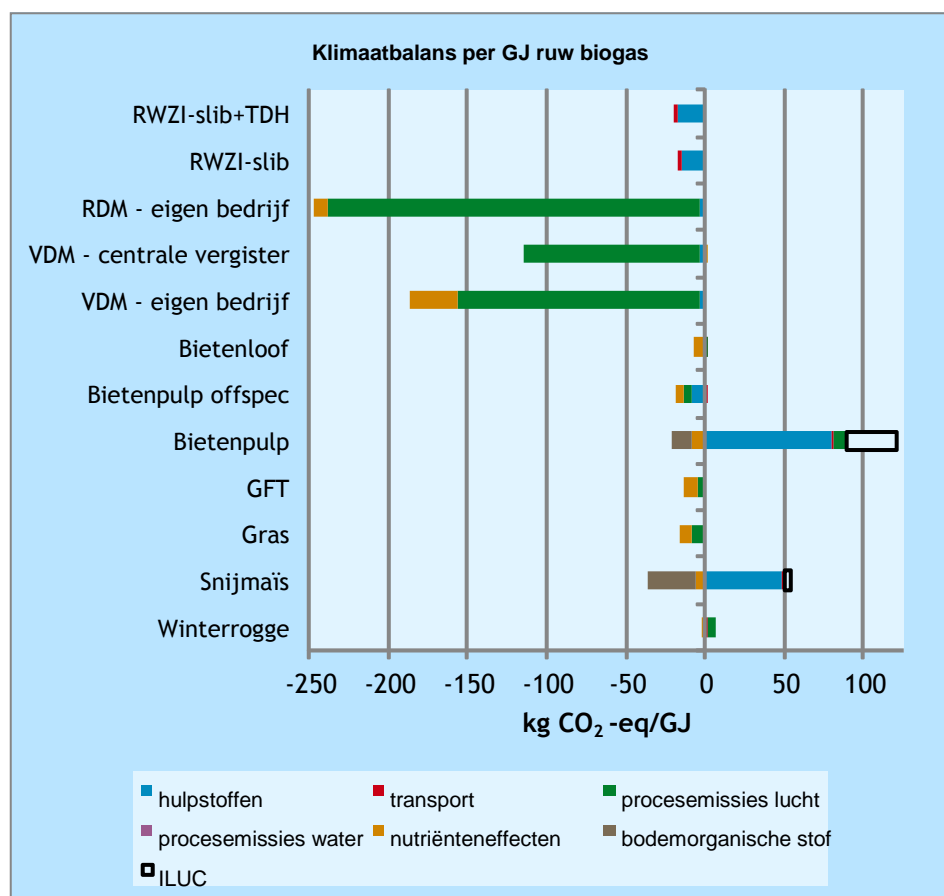
NB: Voor de offspec bietenpulp geldt geen veevoervervanging.

De vervangende soja komt voor 12% uit Noord Amerika en voor 88% uit Brazilië (Profundo, 2012).

Klimaatbalans ruw biogas in ketenstappen

In Figuur 5 is dezelfde klimaatbalans weergegeven, maar nu onderverdeeld voor de verschillende ketenstappen. Voor bietenpulp en snijmaïs is nu duidelijk de noodzakelijke veevoervervanging (zoals hierboven beschreven) te zien in de blauwe balk 'hulpstoffen'. Voor deze ketens valt ook op dat deze de enigen zijn waarbij, netto, organische stof (koolstof, omgerekend naar CO₂) aan de bodem wordt toegevoegd. Bij de andere ketens vind deze koolstofopslag in de referentieketen al plaats omdat de grondstoffen bijvoorbeeld gebruikt worden als meststof. Voor de andere ketens is er dus geen verschil met de referentie voor dit aspect. Bij snijmaïs en bietenpulp is de referentieketen uitgebreider omdat er voer (en dus extra teelt) aan de keten toegevoegd moet worden om dezelfde functies te behouden.

Figuur 5 Klimaatbalans (emissie en opname) van ruw biogas voor de verschillende ketenstappen (excl. toepassing) per bruto GJ biogas



N.B. Het klimaatrisico m.b.t. ILUC voor snijmaïs en bietenpulp is weergegeven als een leeg blokje.



Het verschil tussen vergisting van varkensdrijfmest (VDM) op eigen bedrijf en in centrale vergister is de opslagtijd en de emissies die daarmee gepaard gaan. De transportroute naar een centrale vergister vergt meer tijd waardoor er meer methaan uit de mest ontsnapt voordat het in de vergister wordt gestopt.

Winterrogge dient als groenbemester. Aangezien het digestaat na vergisting vergelijkbare eigenschappen heeft, zijn 'hulpstoffen', 'nutriënteneffecten' en 'bodemorganische stof' niet terug te zien in de figuur. Net als bij snijmaïs en bietenpulp, zal de toepassing de uiteindelijke klimaatbalans over de hele keten bepalen.

Land Use Change (LUC) en Indirect land use change (ILUC)

Land Use Change en Indirect land use change is in Figuur 5 ook weergegeven. Het International Food Policy Research Institute (IFPRI) heeft het klimaatteffect van teelt van verschillende gewassen berekend (IFPRI, 2011), dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Europese Commissie en deze factoren worden wellicht opgenomen in de RED-richtlijn. Dit effect speelt alleen in de bietenpulp- en de snijmaïsketen, omdat in die ketens extra teelt moet plaatsvinden om snijmaïs en bietenpulp in de voedermix te vervangen.

Voor snijmaïs is de bijdrage aan de klimaatbalans voor LUC+ILUC een emissie van 4 kg CO₂-eq per GJ, voor bietenpulp een emissie van 32 kg CO₂-eq per GJ. Meenemen van LUC+ILUC is dus beperkt ongunstig voor snijmaïs en sterk ongunstig voor bietenpulp. Voor offspec bietenpulp geldt geen ILUC-effect.

3.2 De klimaatbalans van de toepassing van biogas

Voor elke bron van biogas zijn de klimaatteffecten voor negen toepassingen van biogas doorgerekend, waarbij voor de opties 'groen gas invoeren op het regionaal transport leidingnet (verder gasnet genoemd)' en voor 'bio-CNG in vervoer' twee sub-opties zijn bekeken:

1. Gasmotor klein (elektriciteit).
2. Gasmotor groot (elektriciteit).
3. Gasmotor klein (elektriciteit en warmte: WKK).
4. Gasmotor groot (elektriciteit en warmte: WKK).
5. Biogas (direct gebruik als aardgasvervanger).
6. Biogas (invoeden in pijpleiding als aardgasvervanger).
7. Bio-LNG.
8. Groen gas in gasnet voor verschillende toepassingen (o.a. als bio-CNG in vervoer) opgewerkt met de volgende technieken:
 - a LP Coaab (chemische absorptie van CO₂ met Coaab-vloeistof).
 - b Waterscrubber.

Voor alle toepassingen is de referentie het gebruik van aardgas en/of elektriciteit (voor de gasmotoren).

In Tabel 9 zijn de klimaatteffecten van de toepassing op basis van 1 GJ bruto ruw biogas gerapporteerd. Bruto betekent hier dat in deze toepassing de benodigde hoeveelheid energie voor de vergister ook is meegenomen. Dit is in dit deel van de keten meegenomen omdat de WKK-opties het produceren van warmte en het gelijk toepassen in de vergister combineren.

Voor alle opties geldt dat de klimaatwinst het grootst is als het biogas wordt toegepast in een grote gasmotor met WKK, en het kleinst als het groen gas op het gasnet wordt ingevoerd en gebruik wordt gemaakt van een waterscrubber.



De verschillende toepassingen leveren per GJ biogas een klimaatvoordeel omdat gebruik van fossiele energie vermeden wordt en de emissie van broeikasgassen tijdens gebruik van biogas als klimaatneutraal wordt gerekend. In Tabel 9 is dit duidelijk te zien: de emissie van broeikasgassen is negatief voor alle ketens voor alle toepassingen.

De verschillen in de toepassing zijn kleiner dan bij de productie van ruw biogas. Groen gas scoort iets minder door de benodigde opwerking. Toepassing in gasmotor met WKK-toepassing scoort beter dan de andere opties doordat in dit geval het voordeel van het gebruik van restwarmte in WKK ook wordt meegenomen. Discussie is mogelijk of deze WKK-bonus aan het biogas dient te worden toegerekend of dat dit een aparte keuze is. WKK kan immers ook op aardgas worden gerealiseerd.

Tabel 9 Klimaatbalans (kg CO₂-eq-emissie/GJ) van de toepassing van ruw biogas (bruto GJ) zonder productie biogas

	Winterrogge	Snijmaïs	Gras	GFT	Bietenpulp diervoeder	Bietenpulp offspec	Bietenloof	VDM - eigen bedrijf	VDM - centrale vergister	RDM - eigen bedrijf	RWZI-slib	RWZI-slib + THD
Gasmotor klein (elektriciteit)	-50	-50	-50	-50	-47	-47	-50	-51	-53	-51	-55	-55
Gasmotor groot (elektriciteit)	-59	-59	-59	-59	-57	-57	-59	-60	-63	-60	-64	-65
Gasmotor klein (WKK)	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-74	-86	-74	-67	-59
Gasmotor groot (WKK)	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-80	-92	-80	-73	-65
Biogas (direct gebruik)	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-49	-44	-55	-44	-37	-30
Biogas (pijpleiding)	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-43	-54	-43	-37	-29
Bio-LNG	-45	-45	-45	-45	-46	-46	-45	-42	-53	-42	-43	-34
Groen gas in gasnet (LP Coaab)	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-42	-53	-42	-36	-28
Groen gas in gasnet (waterscrubber)	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-43	-39	-50	-39	-34	-26

N.B.: Zonder productie van biogas. THD: thermische drukhydrolyse.

De klimaatbalans voor de toepassing van ruw biogas per bruto GJ biogas varieert per type grondstof omdat de hoeveelheid energie voor de vergister varieert naar gelang de grondstof.

3.1 De klimaatbalans van de productie en toepassing van biogas

De klimaatbalans van de hele keten ontstaat door de broeikasgasemissies van de productie van biogas op te tellen bij de broeikasgasemissies van opwerking en toepassing. Deze uitkomsten zijn weergegeven in Tabel 10. Dikgedrukt zijn de meest gunstige keten (RDM, eigen bedrijf, in combinatie met een grote gasmotor met WKK) en de minst gunstige keten (bietenpulp in combinatie met groen gas in het gasnet). Alhoewel de meeste ketens een klimaatvoordeel opleveren (negatieve klimaatbalans) is de spreiding in getallen groot. Toepassing van biogas uit runderdrijfmest in een WKK levert een CO₂-reductie van rond de 295 kg CO₂-eq per GJ op. Deze emissiereductie is ongeveer 5 maal groter dan het alleen vermijden van aardgas (56,8 kg CO₂/GJ). Deze keten van biogas kan daarmee qua klimaatscore aangemerkt worden als zeer duurzaam.



Biogas uit bietenpulp (niet offspec) ingezet als groen gas in gasnet levert daarentegen een toename van emissies van circa 25 kg CO₂-eq per GJ. Toepassing van dit groene gas levert daarmee meer dan ongeveer 1,5 maal zoveel klimaatmissies als standaard aardgas (groen gas uit bietenpulp totaal 56,8 (emissie aardgas) plus minimaal 25 is 82 kg CO₂/GJ vergeleken met 56,8 voor aardgas). Qua klimaatbalans scoort deze keten dus slecht (een extra emissie terwijl emissiereductie wordt beoogd.)

De snijmaïsketen die ook een relatie heeft met de veevoermarkt heeft na bietenpulp de minst gunstige klimaatbalans. Snijmaïs scoort minder gunstig dan ketens op basis van afvalstromen (GFT, gras, mest) maar heeft toch nog wel een CO₂-reductieeffect.

Tabel 10 Klimaatbalans (kg CO₂-eq-emissie/GJ) voor de gehele keten, per keten en per toepassing

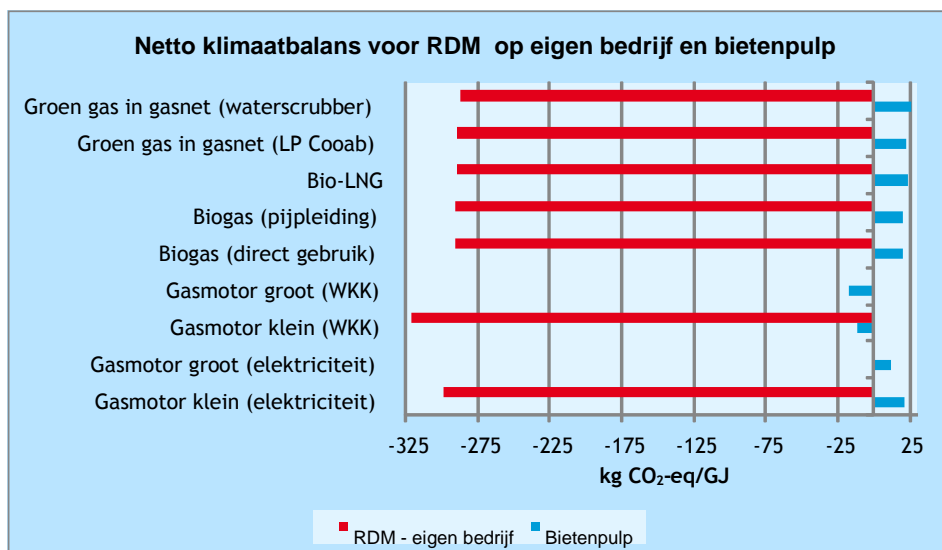
	Winterrogge	Snijmaïs	Gras	GFT	Bietenpulp diervoeder	Bietenpulp ofspec	Bietenloof	VDM - eigen bedrijf	VDM - centrale vergister	RDM - eigen bedrijf	RWZI-slib	RWZI-slib + THD
Gasmotor klein (elektriciteit)	-45	-35	-66	-63	22	-64	-56	-237	-167	-298	-72	-75
Gasmotor groot (elektriciteit)	-54	-44	-75	-73	12	-73	-65	-247	-177	-308	-82	-85
Gasmotor klein (WKK)	-75	-65	-96	-93	-11	-97	-86	-261	-200	-321	-85	-79
Gasmotor groot (WKK)	-81	-71	-102	-99	-18	-103	-92	-267	-206	-328	-91	-85
Biogas (direct gebruik)	-44	-34	-65	-62	20	-66	-55	-230	-169	-291	-55	-50
Biogas (pijpleiding)	-43	-33	-64	-61	20	-65	-54	-230	-168	-290	-55	-49
Bio-LNG	-40	-31	-62	-59	23	-62	-51	-228	-167	-289	-61	-54
Groen gas in gasnet (LP Coaab)	-41	-31	-62	-59	23	-63	-52	-228	-166	-289	-53	-48
Groen gas in gasnet (waterscrubber)	-38	-29	-59	-57	26	-60	-49	-226	-164	-287	-51	-47

N.B.: Een negatieve klimaatbalans betekent een voordeel op het thema broeikasgassen door productie en inzet van biogas. Een positieve klimaatbalans betekent een extra emissie van broeikasgassen. (als referentie kan het voorkomen van de emissie van aardgas dienen: -56,8 kg CO₂ eq per GJ).

Als voorbeeld om de bandbreedte aan klimaatimpact te tonen, zijn in Figuur 6 de netto klimaatbalansen over de gehele keten voor de minst gunstige (bietenpulp) en de meest gunstige (RDM, op eigen bedrijf) weergegeven. Het verschil tussen de meest gunstige en de minst gunstige optie is zo'n 320 kg CO₂-eq per GJ biogas.



Figuur 6 Netto klimaatbalans over de gehele keten voor, bietenpulp en runderdrijfmest (RDM, eigen bedrijf)



NB: Waar rode balken missen is deze optie niet van toepassing.

3.2 Andere milieuthema's

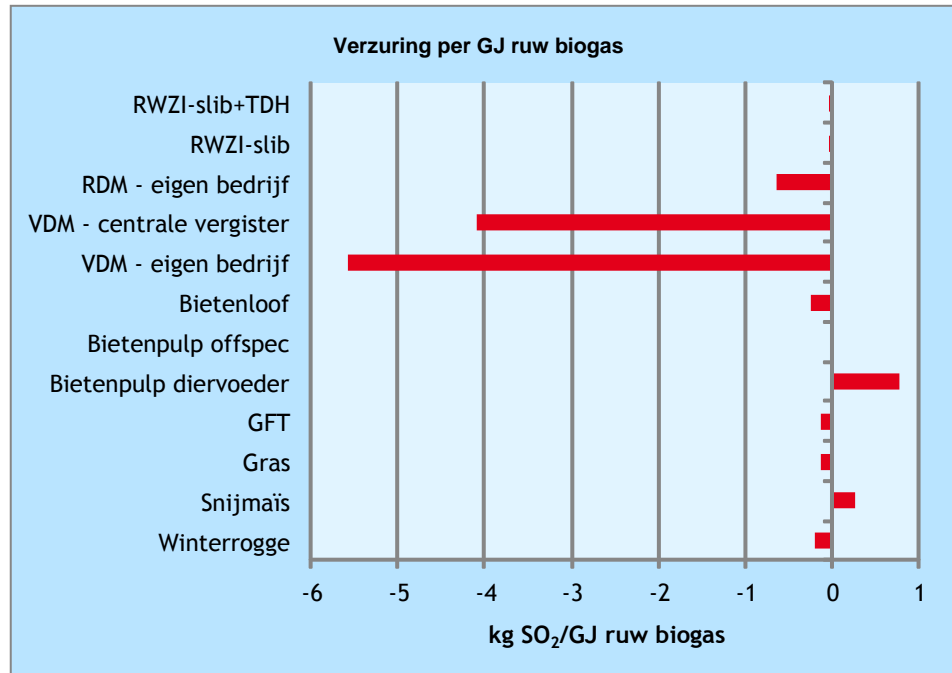
Met betrekking tot de klimaatbalans is productie van biogas uit sommige grondstoffen duidelijk zeer gunstig (VDM), voor de overige gunstig en voor andere beperkt gunstig (snijmaïs) tot ongunstig (bietenpulp). De vraag is of dit ook geldt voor andere milieuthema's.

Verzuring en vermesting

In Figuur 7 en Figuur 8 zijn de verzurende emissies en de vermestende emissies voor 1 GJ ruw biogas weergegeven. De uitkomsten volgen de uitkomsten voor de broeikasgasemissies; varkensdrijfmest (VDM) is gunstig, veevoer bietenpulp en diervoeder en snijmaïs ongunstig en de meeste overige ketens hebben een klein emissievoordeel. Snijmaïs scoort beperkt ongunstig op verzuring en ongeveer neutraal op vermesting.

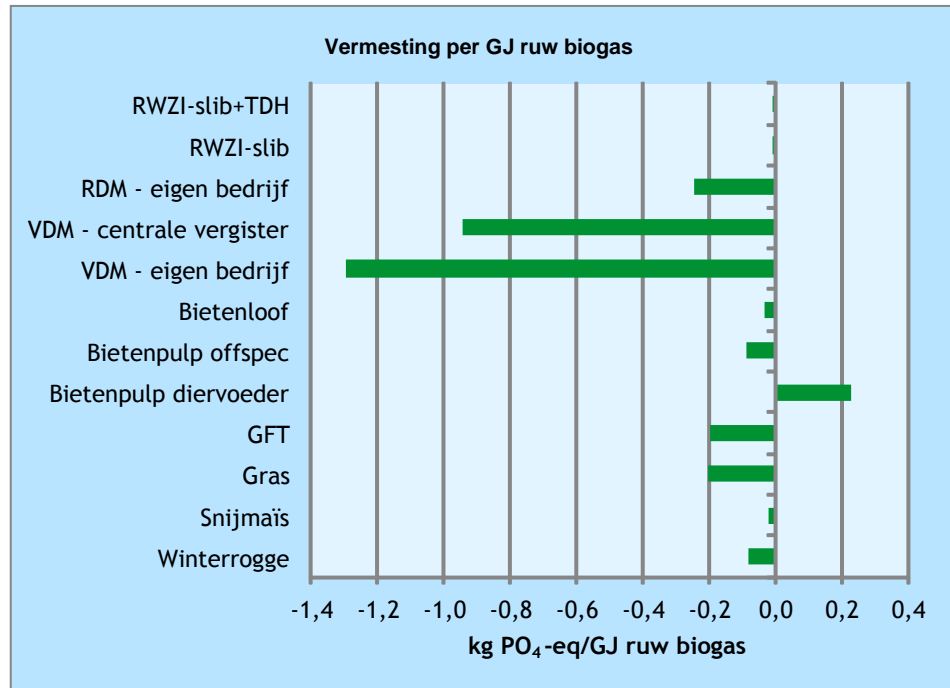
De bijdragen aan deze milieuthema's tijdens opwerking en gebruik zijn laag; voor verzuring ligt dit voor bijvoorbeeld tussen de -1 en 0.02 kg SO₂-eq/GJ ruw biogas en voor vermesting tussen de -0.2 en 0 kg PO₄-eq/GJ biogas.

Figuur 7 Verzuring (kg SO₂/GJ ruw biogas) (een negatieve waarde is gunstig voor het milieu)



Ter vergelijking; aardgas heeft een bijdrage aan verzuring van 3,01 kg SO₂-eq/GJ en aan vermesting van 0,0002 kg PO₄/GJ (Ecoinvent, 2009). De bietenpulpketen verhoogt deze twee emissies dus aanzienlijk als biogas vergeleken wordt met aardgas. De andere ketens zorgen voor (substantiële) verlaging van deze emissies ten opzichte van aardgas. Varkensdrijfmest scoort relatief gunstig op vermesting omdat er emissies, die plaatsvinden tijdens de tussenopslag (lachgas en methaan) en tijdens het toedienen van mest op land (lachgas), vermeden worden.

Figuur 8 Vermesting (kg PO₄-eq/GJ ruw biogas) (een negatieve waarde is gunstig voor het milieu)



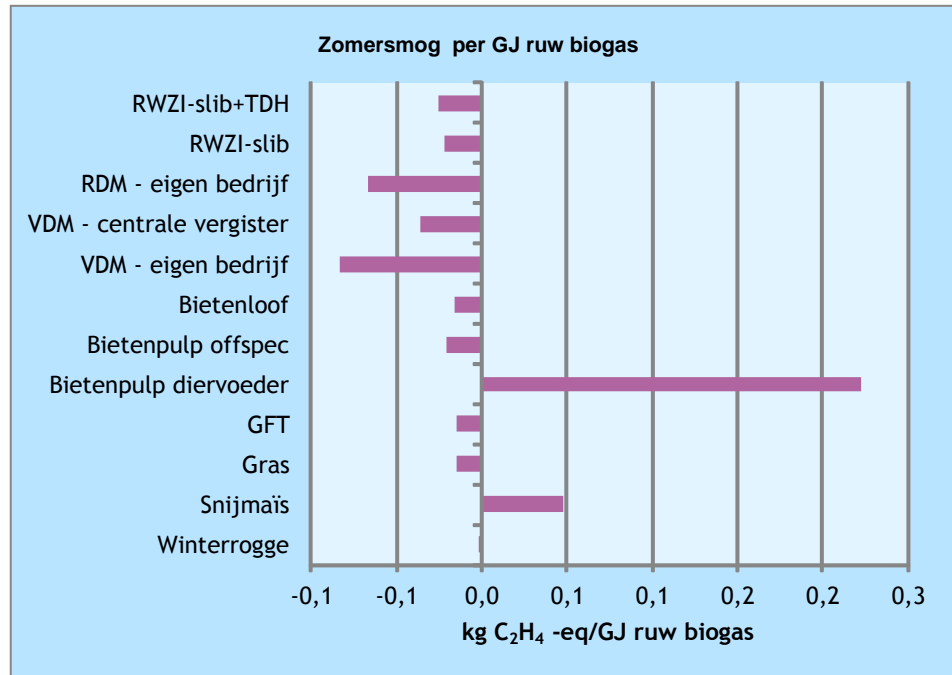
Beschikbaarheid van nutriënten

Beschikbaarheid van nutriënten kan voor biomassatoepassingen een serieus probleem zijn. Als biomassa bijvoorbeeld wordt bijgestookt in een kolen-centrale gaan de nutriënten verloren. Voor alle biogasketens geldt dat de beschikbaarheid van nutriënten (voornamelijk stikstof), licht toeneemt, en dat hiermee kunstmest uitgespaard kan worden. Dit is een algemeen kenmerk van alle vergistingsopties.

Zomersmog en toxiciteit

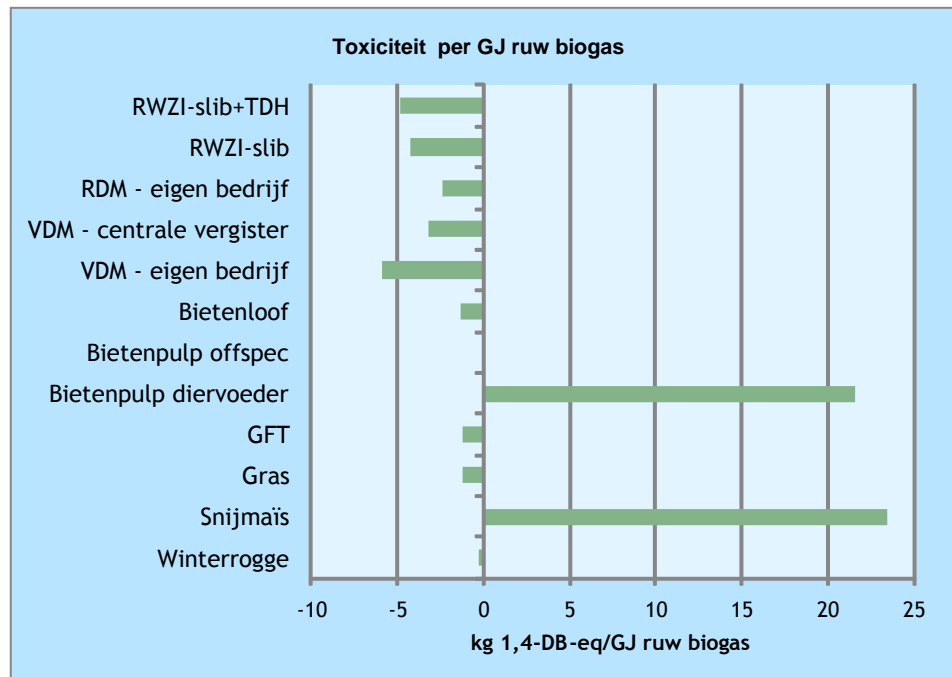
Voor zomersmog en toxiciteit blijkt ook dat bietenpulp en snijmaïs, net als bij de klimaatbalans, het minst gunstig uitvallen. In Figuur 9 en Figuur 10 zijn de uitkomsten voor deze milieuthema's weergegeven. Een groot verschil met de eerdere thema's is dat VDM maar licht gunstig uitvalt. Toch scoort deze grondstof voor biogas ook op dit thema weer goed.

Figuur 9 Zomersmog (kg C₂H₄-eq per GJ ruw biogas)



Ter vergelijking: aardgas heeft een bijdrage aan zomersmog van 0.01 kg C₂H₄-eq/GJ en aan toxiciteit van 0.04 kg 1,4-DB-eq/GJ (Ecoinvent, 2009). De bijdrage van ligt dus vooral voor het milieuthema toxiciteit aanzienlijk hoger. Dit is voornamelijk het gevolg van gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in de teelt van tarwe (wat dient als vervanging van bietenpulp en snijmaïs in de voedermix).

Figuur 10 Toxiciteit (kg 1,4-DB-eq/GJ ruw biogas)



Landgebruik

De ketens verschillen ook op het vlak van gebruik van agrarisch land. De meeste ketens hebben geen extra agrarisch land nodig ten opzichte van hun referentie. Ze zijn daarmee gunstig als vergeleken wordt met ander biomassa-opties, zoals bijvoorbeeld transportbrandstof uit koolzaad, tarwe, suikerriet of maïs.

De bietenpulpketen en de snijmaïsketen hebben wel extra agrarisch landgebruik nodig. Omdat de vervoerbietenpulpketen zorgt voor extra klimaat-emissies in de keten is er geen waarde voor te berekenen voor het landgebruik per ton CO₂-reductie. Voor de snijmaïsketen gaat het om 0.013 ha per GJ ruw biogas en 0.0003 ha per kg CO₂-reductie of omgekeerd 3,3 ton CO₂-reductie per hectare per jaar.

In het rapport 'Goed gebruik van biomassa' (CE Delft, 2010) is voor een bredere set aan ketens de emissiereductie in ton CO₂ per hectare per jaar per keten geanalyseerd. De beste scorende opties, zoals bijstoken van hout bij kolencentrales en productie van staal op basis van hout, scoorden rond de 25 ton CO₂-reductie per hectare. Bio-ethanol uit Brazilië op basis van suikerriet scoort 9 ton CO₂-reductie per hectare en eerste generatie biobrandstoffen 1 à 3 ton CO₂-reductie per hectare. De snijmaïsketen scoort qua landgebruik per ton CO₂-reductie dus relatief hoog en vergelijkbaar met eerste generatie transportbiobrandstoffen.

3.3 Kosteneffectiviteit van de biogasketens

Productie en toepassing van biogas wordt op dit moment gesubsidieerd omdat deze ketens duurder zijn dan ketens op fossiele brandstoffen. Wij hebben de meerkosten berekend, hierin zijn onder andere investeringskosten, productie-kosten en opbrengsten door verkoop van gas verrekend (zie ook Bijlage A). Deze meerkosten vergeleken met de CO₂-reductie die bereikt wordt voor de verschillende ketens. Deze kosten zijn ook vergeleken met de onrendabele top-berekeningen in het kader van de SDE-subsidies en bleken vergelijkbaar. In Tabel 11 en Tabel 12 zijn de kosteninschattingen weergegeven, voor respectievelijk de hoge inschatting en de lage inschatting. De precieze berekeningen zoals hier gepresenteerd konden helaas niet gemaakt worden voor de RWZI-opties. Wel is duidelijk dat biogas uit de RWZI-installatie ontstaat als bijproduct van het zuiveringsproces en als product uit een afvalstroom (RWZI-slib). Biogas uit deze bron heeft daardoor net als biogas uit bermgras, natuurgras en GFT een lagere prijs dan fossiel aardgas.



Tabel 11 Kosteninschatting (hoog) voor de ketens en hun toepassingen (euro per GJ)

Kosten - hoge inschatting	Gasmotor klein (elektriciteit)	Gasmotor groot (elektriciteit)	Gasmotor klein (WKK)	Gasmotor groot (WKK)	Biogas (direct gebruik)	Biogas (pijpleiding)	Bio-LNG	Groen gas in gasnet (LP Cooab)	Groen gas in gasnet (waterscrubber)
Winterrogge	-	17,7	-	9,2	15,8	16,0	18,5	15,9	15,1
Snijmaïs	-	11,2	-	2,6	9,3	9,5	12,0	9,4	8,6
Berm- en natuurgras	-	-1,9	-	-10,4	-3,8	-3,7	-1,2	-3,7	-4,6
GFT	-	-9,5	-	-18,0	-11,4	-11,3	-8,8	-11,3	-12,1
Bietenpulp diervoeder	-	13,1	-	4,3	11,1	11,2	13,8	11,1	10,3
Bietenpulp offspec	-	-2	-	-2	9	17	24	19	12
Bietenloof	-	7,5	-	-1,0	5,5	5,7	8,2	5,6	4,8
VDM - eigen bedrijf	12,0	-	4,5	-	11,7	18,6	23,1	18,9	13,0
VDM - centrale vergister	-	12,9	-	3,7	10,4	10,6	12,8	10,3	9,5
RDM - eigen bedrijf	12,0	-	4,5	-	11,7	18,6	23,1	18,9	13,0

Tabel 12 Kosteninschatting (laag) voor de ketens en hun toepassingen (euro per GJ)

Kosten - lage inschatting	Gasmotor klein (elektriciteit)	Gasmotor groot (elektriciteit)	Gasmotor klein (WKK)	Gasmotor groot (WKK)	Biogas (direct gebruik)	Biogas (pijpleiding)	Bio-LNG	Groen gas in gasnet (LP Cooab)	Groen gas in gasnet (waterscrubber)
Winterrogge	-	14,5	-	6,0	12,6	12,7	15,2	12,7	11,8
Snijmaïs	-	7,9	-	-0,6	6,1	6,2	8,7	6,2	5,3
Berm- en natuurgras	-	-5,2	-	-13,7	-7,1	-6,9	-4,4	-7,0	-7,8
GFT	-	-12,8	-	-21,3	-14,6	-14,5	-12,0	-14,6	-15,4
Bietenpulp diervoeder	-	9,8	-	1,1	7,8	7,9	10,5	7,9	7,0
Bietenpulp offspec	-	-7	-	-7	-6	-6	-4	-6	-6
Bietenloof	-	4,2	-	-4,3	2,3	2,4	4,9	2,4	1,5
VDM - eigen bedrijf	8,0	-	0,6	-	14,4	14,6	19,1	14,9	9,04
VDM - centrale vergister	-	9,9	-	0,7	7,5	7,6	9,8	7,3	6,6
RDM - eigen bedrijf	8,0	-	0,6	-	7,7	14,6	19,1	14,9	9,0

De spreiding in de kosten is vrij groot. Een aantal ketens leveren goedkope energie. Een aantal andere ketens biogas met een veel hogere prijs. Alle kostenkentallen zijn terug te vinden in de Kostenbijlage A.

In Tabel 13 en Tabel 14 zijn de kosten verrekend met de klimaatwinst. In de tabellen is weergegeven wat de kosten zijn in € per ton vermeden CO₂-eq-emissie. In dit resultaat is zijn de maatschappelijke meerkosten (kosten biogas min opbrengst verkoop gas nog zonder SDE-subsidie) vergeleken met de CO₂-emissiereductie over hele biogasketen.



Tabel 13 Kosteninschatting in € per ton vermeden CO₂-eq-emissie (voor de hoge kosteninschatting)

Kosten - hoge inschatting	Gasmotor klein (elektriciteit)	Gasmotor groot (elektriciteit)	Gasmotor klein (WKK)	Gasmotor groot (WKK)	Biogas (direct gebruik)	Biogas (pijpleiding)	Bio-LNG	Groen gas in gasnet (LP Coaab)	Groen gas in gasnet (waterscrubber)
Winterrogge	-	327	-	114	361	370	456	387	393
Snijmaïs	-	251	-	37	274	284	390	301	301
Berm- en natuurgras	-	-25	-	-102	-59	-57	-19	-60	-77
GFT	-	-131	-	-182	-183	-183	-149	-190	-214
Bietenpulp offspec	-	-27	-	-19	137	261	385	302	200
Bietenloof	-	115	-	-11	101	105	159	108	97
VDM - eigen bedrijf	50	-	17	-	51	81	101	83	57
VDM - centrale vergister	-	73	-	18	62	63	77	62	58
RDM - eigen bedrijf	40	-	14	-	40	64	80	65	45

Tabel 14 Kosteninschatting in € per ton vermeden CO₂-eq-emissie (voor de lage kosteninschatting)

Kosten - lage inschatting	Gasmotor klein (elektriciteit)	Gasmotor groot (elektriciteit)	Gasmotor klein (WKK)	Gasmotor groot (WKK)	Biogas (direct gebruik)	Biogas (pijpleiding)	Bio-LNG	Groen gas in gasnet (LP Coaab)	Groen gas in gasnet (waterscrubber)
Winterrogge	-	267	-	74	287	295	376	308	309
Snijmaïs	-	178	-	-9	179	186	284	197	187
Berm- en natuurgras	-	-69	-	-134	-109	-108	-72	-112	-132
GFT	-	-176	-	-214	-236	-236	-204	-245	-272
Bietenpulp offspec	-	-96	-	-68	-91	-92	-64	-95	-100
Bietenloof	-	65	-	-47	42	45	96	46	31
VDM - eigen bedrijf	34	-	2	-	62	64	84	65	40
VDM - centrale vergister	-	56	-	4	44	45	59	44	40
RDM - eigen bedrijf	27	-	2	-	27	50	66	52	32

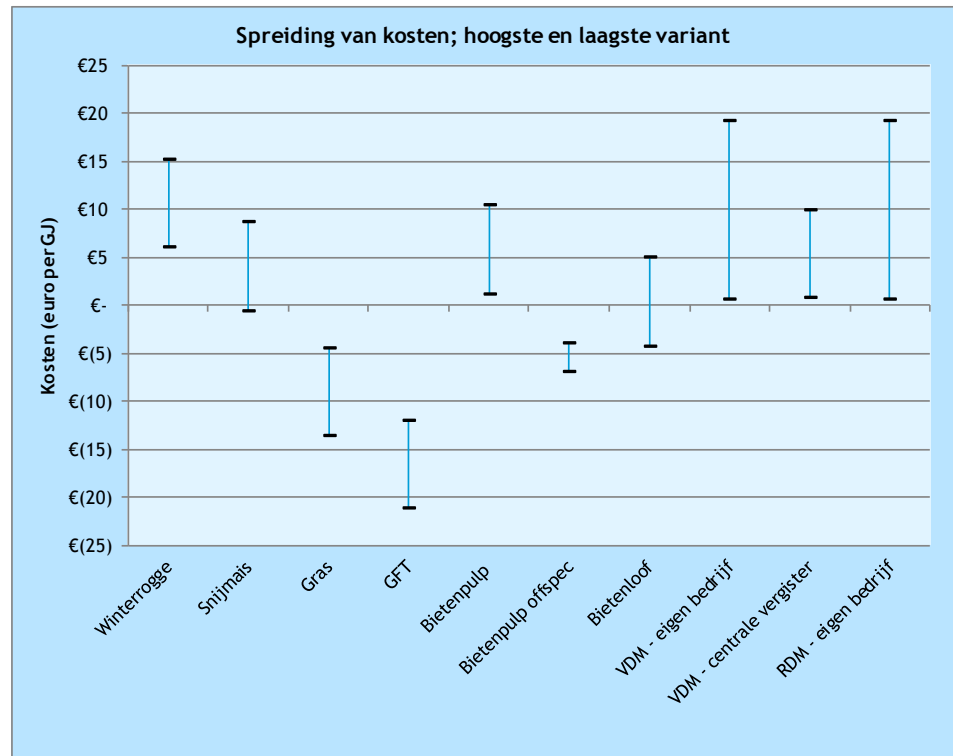
Omdat de veevoer bietenpulpketen geen CO₂-reductie realiseert is deze keten niet opgenomen in Tabel 13 en Tabel 14. Voor de overige ketens zijn vooral de toepassing van berm- en natuurgras en GFT interessant omdat deze opbrengsten opleveren. Van de ketens met een onrendabele top zijn de drijfmestketens een stuk interessanter dan de groenbemester en snijmaïsketen.

In Figuur 11 is de spreiding van de kosten weergegeven voor de verschillende ketens. Hierbij geldt voor alle ketens dat de toepassing als bio-LNG de hoogste kosten met zich meebrengt en toepassing in een gasmotor met WKK (groot of klein afhankelijk van vergisten op eigen bedrijf of niet) de laagste kosten. Ook de variatie in toepassingen binnen de kosteninschatting is meegenomen; de spreiding geeft dus de volledige spreiding per keten weer (zowel onzekerheid in de kosten als de variatie in de toepassing van biogas).



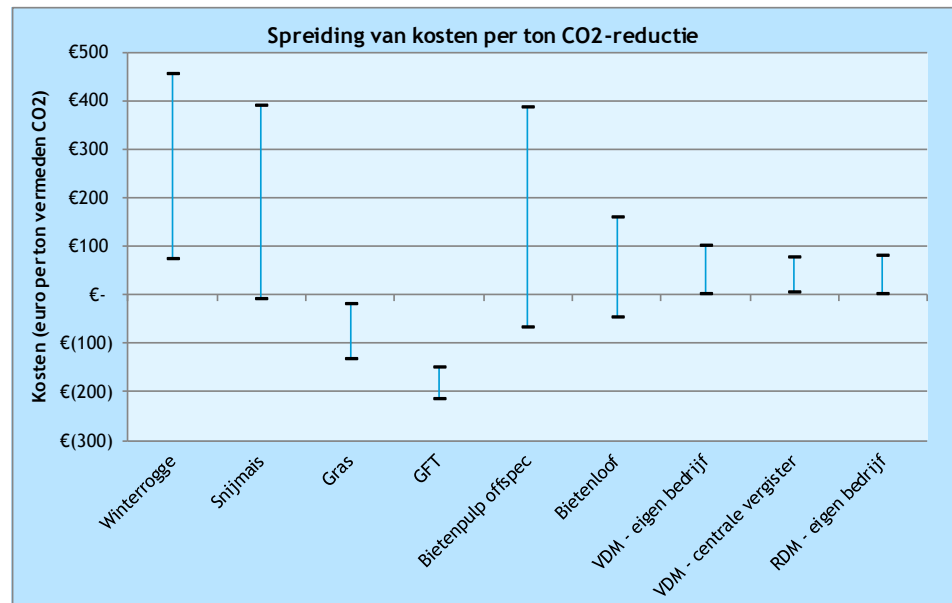
Bij deze kostenberekening is nog geen rekening is nog geen rekening gehouden met SDE+ subsidie of een meerkostenvergoeding vanwege de verplichtingen voor duurzame brandstoffen in de transport (inclusief eventuele dubbel-telling).

Figuur 11 Spreiding van kosten (euro per GJ), hoogste en laagste variant per keten



In Figuur 12 is de spreiding van meerkosten voor de verschillende ketens weergegeven per ton CO₂-reductie. Bietenpulpveevoer is in deze figuur niet weergegeven omdat er in die keten geen klimaatwinst is. Zoals de figuur laat zien zijn er voor de berm- en natuurgrasketen en de GFT-keten opbrengsten in plaats van kosten. De drijfmestketens kunnen financieel niet uit maar leveren relatief lage meerkosten per ton CO₂-emissiereductie. De ketens op basis van geteelde producten (rogge, maïs, bietenpulp offspec) kennen behoorlijke prijsvariaties en zijn daarmee op sommige momenten gunstig en ook regelmatig duur.

Figuur 12 Spreiding van kosten per ton CO₂-reductie



NB: Kosten van biogas uit RWZI-slib niet precies berekend maar vergelijkbaar met gras en GFT.

3.4 Conclusies duurzaamheid van biogasketens

De grondstof voor productie van biogas heeft de grootste invloed op de scores van biogasketens op duurzaamheidsthema's. In Tabel 15 is een overzicht gegeven van de scores op de duurzaamheidsthema's per bron van biogas. We hebben daarbij de getallen vervangen door plussen en minnen waarbij de referentie (=0) gelijk staat aan de fossiele keten.

Tabel 15 Duurzaamheidscores biogasbronnen

	Broeikas-effect	Verzuring	Vermesting	Zomer-smog	Land-gebruik	Toxiciteit	Kosten (euro per ton CO ₂ -reductie)
Agrarische reststromen							
– Drijfmest:							
a Eigen bedrijf	+++	++	++	++	+	+	+
b Centrale vergister (+ mestscheiding)	+++	++	++	+	+	+	+
– Natte gewasresten (bietenloof)	++	0	0	0	+	+	+
Bijproducten V&G-industrie							
– Bietenpulp offspec	++	0	+	+	+	+	0/--
– Bietenpulp veevoer	--	--	--	--	--	--	--
Consumentenafval en vergelijkbaar							
– GFT	++	0	+	0	+	0	+++
– RWZI-slib	++	0	0	+	+	+	+++
– Natuurgras en bermgras	++	0	+	0			+++
Geteelde biomassa							
– Snijmaïs	0/+	-	0	-	--	--	+/--
– Groenbemester (winterrogge)	+	0	+	0	+	0	+/--

N.B. De duurzaamheidsscore geeft aan of er ten opzichte van de referentie vooruitgang of achteruitgang geboekt wordt:

- Gunstig: +++ zeer grote ++ grote + redelijke, vooruitgang t.o.v. de referentie.
- Neutraal: 0 neutraal, geen vooruitgang, geen achteruitgang t.o.v. referentie.
- Ongunstig: - achteruitgang -- grote achteruitgang, t.o.v. de referentie.

Biogas op basis van reststromen en groenbemester gunstig

Biogasketens op basis van reststromen of groenbemesters scoren relatief gunstig op de onderzochte duurzaamheidscriteria. Vooral het vergisten van mest leidt tot positieve scores op alle onderzochte duurzaamheidsaspecten.

Biogas op basis van veevoercomponenten niet duurzaam

Ketens op basis van het veevoeringrediënt bietenpulp scoren slecht op de getoetste duurzaamheidsthema's. De verwachting is dat dit ook geldt voor vergelijkbare grondstoffen voor veevoer.

Ketens op basis van het veevoeringrediënt snijmaïs scoren gunstiger en hebben bij de beste vorm van toepassing wel een klimaatvoordeel. Dit klimaatvoordeel is per hectare landgebruik echter beperkt en in dezelfde orde als eerste generatie biotransportbrandstoffen. Op verzuring, zomersmog en landgebruik scoort deze keten ook niet gunstig. Al met al maakt dit dat biogas op basis van grondstoffen die ook als veevoer bruikbaar zijn, aangemerkt kan worden als beperkt duurzaam.

WKK beste toepassing biogas

De verschillen in duurzaamheidsscore tussen de toepassingen zijn kleiner dan die bij de productie van biogas maar toch nog aanzienlijk. De meeste toepassingen scoren vergelijkbaar. Duidelijk beter dan de andere opties is de toepassing van een gasmotor met warmtekrachtkoppeling. Het goed gebruiken van de warmte zorgt voor een extra CO₂-reductie in deze keten.



Bij sommige projecten is echter de vraag of het toepassen van de WKK-optie gekoppeld is aan het inzetten van biogas. WKK is immers ook op basis van aardgas mogelijk. Ook zonder de WKK-opties scoort de keten met de gasmotor echter beter dan gemiddeld. De opties met groen gas in gasnet of bio-CNG in vervoer (waarvoor een gasbehandelingsstap nodig is: waterscrubber of aminewasser (LP Coaab)) scoren door verlies in deze extra stap iets minder goed dan de andere ketens.

3.5 Ketens getoetst aan duurzaamheidseisen van RED en NTA 8080

Voor sommige toepassingen van biogas gelden er duurzaamheidscriteria. Voor biogas dat wordt toegepast in transport gelden de Europese duurzaamheidscriteria vanuit de RED. Sommige energiebedrijven hanteren vrijwillig voor hun biogasprojecten de duurzaamheidscriteria van de iets strengere NTA 8080. Voor afvalstromen als GFT, berm en natuurgras gelden de eisen van het LAP2 met als minimumstandaard composteren.

Daarom zijn de scores van de ketens getoetst aan de criteria die nu gelden in de RED voor biotransportbrandstoffen en de NTA 8080 die in Nederland ontwikkeld is als toetssteen en die iets verdergaande criteria heeft opgenomen. Deze laatste standaard wordt ook door NGO's gezien als een adequate duurzaamheidstoets voor bio-opties.

In Bijlage B is deze toets verder toegelicht. Conclusies van de toets zijn:

- De biogasketens op basis van agrarische reststromen en groenbemesters kunnen voldoen aan zowel de RED en NTA 8080. Broeikasgasreductie is ruim voldoende en aan de andere criteria is in principe ook te voldoen.
- Biogasketens op basis van veevoercomponenten zullen niet voldoen aan de NTA 8080. Deze standaard benadrukt het belang van cascadering van biomassa en voorrang voor toepassing als grondstof indien mogelijk.
- Biogasketens op basis van veevoercomponenten kunnen waarschijnlijk wel voldoen aan de huidige RED-criteria van de Europese Commissie. Indirect land use change en effecten van verschuivingen in de veevoermarkt worden nu nog niet meegenomen in de RED. Er zijn plannen om dit vanaf 2020 wel mee te nemen.





4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

- Biogas op basis van reststromen of groenbemester scoort (zeer) goed op klimaatreductie.
- Met name biogas op basis van mest scoort extra goed op klimaatemissies omdat emissies in de keten beperkt worden.
- Biogas op basis van grondstoffen die ook gebruikt worden als veevoer scoren niet goed of beperkt voordelig op duurzaamheidscriteria. In dit geval is het mogelijk dat toepassing van biogas leidt tot extra emissies.
- Toepassing van biogas in een WKK-eenheid levert de grootste duurzaamheidswinst op per GJ biogas.
- Toepassing als groen gas of bio-CNG in transport scoort iets minder op broeikasgassen dan de andere opties door benodigde behandelingstap van het gas.
- De kosteneffectiviteit (meerkosten gedragen door subsidie gedeeld door de milieuwinst) varieert sterk. Ketens op basis van GFT en berm en natuurgras zijn gunstig, ketens op basis van mest en bietenloof zijn redelijk gunstig en andere ketens leiden tot potentieel hogere kosten per ton CO₂.

4.2 Aanbevelingen

- Biogas op basis van mest en afvalstromen (GFT, RWZI-slib, bermgras en natuurgras) scoren goed tot zeer goed op duurzaamheidskenmerken. Het is aan te bevelen deze bronnen van duurzame energie voorrang te geven boven vormen van duurzame energie waar discussie over.
- Het is aan te bevelen biogasketens op basis van veevoeringrediënten niet te subsidiëren of alleen te subsidiëren na een toets of het de moeite waard is om in dit geval in te gaan tegen het principe van cascadering.
- Het is aan te bevelen om biogasketens beleidsmatig niet alleen te waarderen op energiewaarde maar ook op klimaatemissiereductie omdat sommige ketens per GJ een zeer hoge CO₂-reductie bereiken.





Literatuur

AOO, 2002

Afval Overleg Orgaan
Milieueffectrapport Landelijk Afvalbeheerplan, Achtergronddocument A14,
Uitwerking “gft-afval”
Utrecht : Agentschap NL (voorheen AOO), 2002

Austermann, 2007

S. Austermann, E. Archer, K.J. Whiting
Commercial assessment anaerobic digestion technology for biomass projects
Sheppards Mill : Juniper Consultancy Services Ltd, 2007

BMVIT, 2005

D. Hornbachner, G. Hutter, D. Moor
Biogas-Netzeinspeisung, Rechtliche, wirtschaftliche und technische
Voraussetzungen in Österreich
Wien : Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT),
2005

Brinkmann, 2004

A. Brinkmann, E. van Zundert and R. Saft
Revised life cycle analysis for VGF-waste : new LCA calculation of the EIA
National Waste Management Policy Plan.
De Bilt ; Amsterdam : Grontmij Nederland bv ; IVAM UvA bv, 2004

CE Delft, 2010a

H.J. (Harry) Croezen, G.C. (Geert) Bergsma, B.E. (Bettina) Kampman
Goed gebruik van biomassa
Delft : CE Delft, 2010
Download: www.ce.nl

CE Delft, 2010b

B.E. (Bettina) Kampman, H.J. (Harry) Croezen, G.M. (Gijs) Verbraak,
F.P.E. (Femke) Brouwer
Rijden en varen op groen gas
Delft : CE Delft, 2010
Download: www.ce.nl

CE Delft, 2011

H.J. (Harry) Croezen, G.C. (Geert) Bergsma
Kansen voor groen gas
Delft : CE Delft 2011
Download: www.ce.nl

CE Delft, 2013a

H.J. (Harry) Croezen, I.Y.R. (Ingrid) Odegard, J.W.A. (Hans) Langeveld,
G.C. (Geert) Bergsma
De bodem in de biobased economy
Delft : CE Delft, 2013
Download: www.ce.nl



CE Delft, 2013b

R. Verbeek, N. Ligterink, J. Meulenbrugge, G. Koornneef (TNO); P. Kroon, H. de Wilde (ECN); B.E Kampman H.C Croezen, S.J. Aarnink (CE Delft)
Natural gas in transport - an assessment of different routes
Delft : CE Delft, TNO, ECN, 2013
Download: www.ce.nl

Courage, 2009

B. Bruinsma, M.m.v. F. Linnemans & J. Greeve, (E-kwadraat)
Naar een energieneutrale zuivelketen(3) : Agrotransport op Groen gas
Zoetermeer : Courage, 2009

ECN, 2012

Phyllis2 : Database for biomass and waste
Petten : Energy research Centre of the Netherlands (ECN), 2012
<http://www.ecn.nl/phyllis2/>

Ecoinvent Database

G. Doka
Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services
St. Gallen : Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2009

Feed Innovation Services, 2003

W. Smink, K.D. Bos, L.J. Kolk, W.K.J. Rijm, Gebr. Fuite bv, G.Roelofs, Selko bv, G.A.M. Van den Broek
Methaanreductie melkvee (rekenmodel en reductiemogelijkheden, FIS)
Utrecht : Novem, 2003
<http://www.rwsleefomgeving.nl/downloads/m/methaanreductie/>

Fraunhofer Institut, 2009

W. Urban, K. Girod, H. Lohmann
Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz,
Ergebnisse der Markterhebung 2007-2008
Oberhausen : Fraunhofer Institut, 2009

Geraerts, 2007

Kris Geraerts
Haalbaarheidsstudie voor een biogasinstallatie met verwerking van het digestaat
Kempen : Katholieke Hogeschool Kempen, 2007
<http://doks2.khk.be/eindwerk/do/files/FiSeff808081107d882601109c722c2305b3/thesis2007283.pdf?recordId=SKHKff808081107d882601109c722c2305b2>

HoSt Bio-Energie, 2013

Webpagina: HoSt microferm, duurzame energie uit mest
<http://www.host.nl/nl/microferm/>

IFPRI, 2011

David Laborde
Assessing the Land Use Change Consequences of European Biofuel Policy
S.L. : IFPRI 2011
http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2011/october/tradoc_148289.pdf



IPCC, 2006

Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
Chapter 10: Emissions from livestock and manure management
Geneva : IPCC Secretariat, 2006
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf

IVAM, 2008

Harry van Ewijk
Milieuanalyse vergisten GFT-afval in opdracht van de Vereniging Afvalbedrijven
Amsterdam : IVAM, 2008

JRC, 2010

Adrian Leip, Franz Weiss, Tom Wassenaar, Ignacio Perez, Thomas Fellmann, Philippe Loudjani, Francesco Tubiello, David Grandgirard, Suvi Monni, Katarzyna Biala
Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS), final report
Sevilla : European Commission, Joint Research Centre (JRC), 2010

KWS, 2013

KWS SAAT AG
Webpagina 2.1.2: Kwaliteitsbepaling maïs
<http://www.kwsbenelux.nl/go/id/erzm>

KWIN, 2009

Handboek Kwantitatieve Informatie Veehouderij, 2009-2010
Wageningen : Wageningen UR Livestock Research, 2009

Lunds Tekniska Hogskola, Grontmij, 2008

Nina Johansson
Production of liquid biogas, LBG, with cryogenic and conventional upgrading technology : Description of systems and evaluations of energy balances
Lund : Lund University, 2008

OWS, 2011

A.Peene, F. Velghe, I Wierinck
Evaluatie van de vergisters in Nederland
Gent : Organic Waste Systems (OWS), 2011

Profundo, 2012

Jan Willem van Gelder en Anniek Herder
Soja Barometer 2012 : Een onderzoeksrapport voor de Nederlandse sojacoalitie
Amsterdam : Profundo, 2012

Rijksoverheid, 2013

Nationaal actieplan voor energie uit hernieuwbare bronnen
Richtlijn 2009/28/EG
Den Haag : Rijksoverheid, 2010
www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/Nationaal_actieplan_voor_energie_uit_hernieuwbare_bronnen_tcm24-338435.pdf



Wirsenius, 2000

Stefan Wirsenius

Human Use of Land and Organic Materials : Modeling the Turnover of Biomass in the Global Food System

Göteborg : Chalmers University of Technology, department of Physical Resource Theory, 2000

WUR, 2003

A. Bannink en J. Dijkstra

Uit de mest- en mineralenprogramma's, Informatieblad 398.40

Wageningen : Wageningen Universiteit (WUR), 2003

<http://edepot.wur.nl/35190>

WUR, 2004

Kor Zwart (Alterra), Annette Pronk (Plant Research International), Loes Kater (Praktijkonderzoek Plant en Omgeving)

Verwijderen van gewasresten in de open teelten : Een deskstudie naar de effecten op de bodemvruchtbaarheid en de mogelijke verwerking van gewasresten in het kader van het project Nutriënten Waterproof LNV-programma's systeeminnovatie open teelten (400-I en 400-III)

Lelystad : Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Akkerbouw

Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten, 2004

<http://edepot.wur.nl/35326>

WUR, 2006

Kor Zwart, Diti Oudendag, Phillip Ehlert, Peter Kuikman

Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest

Wageningen : WUR, 2006

WUR, 2007

F.J. de Ruijter en A.L. Smit

Het lot van stikstof uit gewasresten, rapport 133

Wageningen : Wageningen Universiteit (WUR), Plant Research International B.V., 2007

WUR, 2009

G. Holshof, I.E. Hoving en E.T.H.M. Peeters

Eendenkroos : van afval tot veevoer, rapport 306

Wageningen : Wageningen Universiteit (WUR), Livestock Research, 2009

WUR, 2010

Philip Ehlert, Kor Zwart en Joop Spijker

Biogas uit bermmaaisel : Duurzaam en haalbaar?

Wageningen : Alterra Wageningen Universiteit (WUR), Alterra, 2010



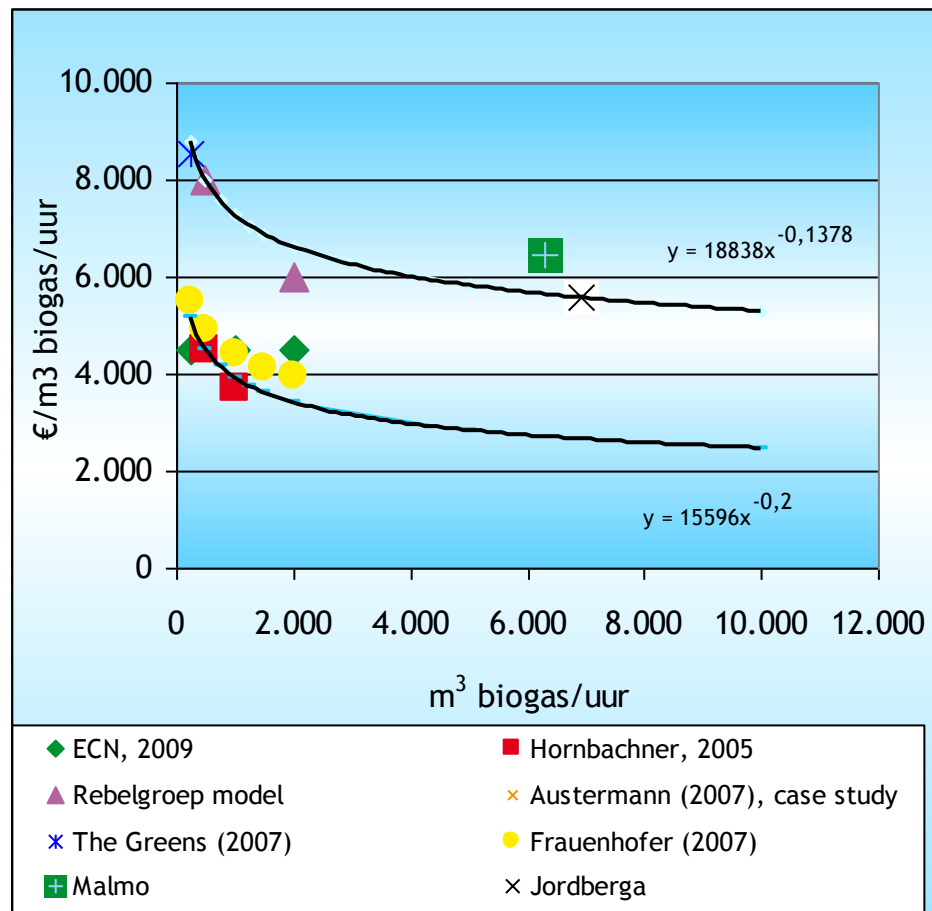
Bijlage A Kosten, methodiek en aannames

A.1 Investeringskosten

Vergisting

In Figuur 13 is een overzicht gegeven van de investeringskosten zoals gevonden in de literatuur. Alle kosten hebben betrekking op mesofiele vergisting, de meest gebruikte vergistingstechniek. Deze is onderdeel van alle ketens.

Figuur 13 Overzicht in de geraadpleegde bronnen gegeven investeringskosten en de in deze studie aangehouden ondergrens en bovengrens



NB: Tekentjes van studie van Austermann zijn onder ander dots verdwenen.

De formules in de figuur geven de kromme weer die op basis van de gevonden waarde de kosten weergeeft afhankelijk van de schaalgrootte.

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

Er is daarnaast gebruik gemaakt van de achtergrondgegevens uit een door REBEL-groep voor SenterNovem ontwikkeld kosten/batenmodel voor vergisting, bedoeld voor gebruik door V&G-industriebedrijven¹². 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.

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.

Tabel 16 geeft een overzicht van verschillen in wat wel en niet is meegenomen in de voor Juniper gedefinieerde casestudie aangeboden offertes.

De tabel geeft daarmee wel een indicatie van de oorzaak in verschillen in investeringen, maar de beschikbare informatie is - vanwege het ontbreken van investeringsbedragen per onderdeel van de installatie - niet specifiek genoeg om het verschil in kosten voldoende in de berekeningen in deze studie te kunnen verdisconteren.

Tabel 16 Verschillende offertes en hun dekking voor een 500 m³ biogas/uur vergister

	Bioscan	Green-finch	MT-Energie	Ros Roca	Schmack	WEDA
Investeringsen (€/m ³ biogas/uur), inclusief	6.514	13.350	5.456	9.573	7.795	9.373
- Gas opslag	X	X				
- Digestaat opslag		X	X		X	
- Vergister volume		4.100	8.000	7.000	4.800	4.450
- Retentietijd		24	35	27	> 40	40
- Type proces		meso	meso	meso	meso	meso
- Civils + construction			X		X	

Bron: Austermann (2007).

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 lijnen.

Gasopwerking

Opwerking van biogas en stortgas betreft het verwijderen van alle niet voor de toepassing gewenste componenten en verontreinigingen. Voor opwerking tot biomethaan betreft dit:

- H₂S, mercaptanen, siloxanen;
- NH₃ en hogere koolwaterstoffen (bijvoorbeeld (H)CFK's);
- waterdamp;
- CO₂ (en N₂ en O₂ bij stortgas).

¹² Zie: <http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/FNLI-Vergisting%20van%20reststromen%20VGI%20-%20rapport.pdf>



Over het algemeen worden meerdere technieken gecombineerd om het gas te kunnen opwerken tot pijpleidingaardgas of LNG omdat er - afgezien van diepe koeling zoals in het GPP-proces van Gas Treatment Services¹³ - niet één techniek is die alle verschillende categorieën verontreinigingen kan elimineren. Veel gebruikte technieken zijn gaswassers met water, amine of selexol als wasvloeistof, membranen, PSA en actief-kooladsorptie.

De schaalgrootte van de opwerkingsinstallaties varieert van enkele honderden m³ gas per uur tot meerdere duizenden m³ gas per uur. De grootste installaties voor opwerking zijn gerealiseerd in de VS en variëren van 4.000 m³/uur tot 13.000 m³/uur aan behandeld biogas. In de EU gerealiseerde installaties waren kleinschaliger in capaciteit, vaak liggend in een bereik van 500-1.500 m³/uur aan biogas. De in 2007 gerealiseerde opwerkingsinstallatie in Madrid (4.000 m³/uur) en de geplande installaties in Zweden zijn van een vergelijkbare schaalgrootte als de installaties gerealiseerd in de VS.

In Europa is er een duidelijke voorkeur voor de toepassing van waterscrubbers en in mindere mate PSA's (pressure swing adsorbers) als techniek voor de verwijdering van CO₂. In de VS worden bij de grotere installaties ook selexol wassers gebruikt.

In deze studie zijn voor groen gas twee verschillende opwerkingsinstallaties beschouwd:

1. Een gaswasser met water als wasvloeistof voor CO₂-verwijdering, gecombineerd met aanvullende gasreinigingsprocessen voor het drogen van het gas en voor het verwijderen van hogere koolwaterstoffen, mercaptanen en siloxanen. Complete installaties worden aangeboden door bijvoorbeeld DMT (NL), Malmberg (SE), Flotech (SE) en Ros Roca (ESP).
2. Een amine wassing gecombineerd met een PSA voor het drogen van het biogas. Voor de amine wassing is uitgegaan van de door Cirmac (NL) aangeboden Coaab-technologie, toegepast in onder andere de opwerkingsinstallaties in Boras en Gothenburg (1.600 m³ biogas/uur) in Zweden. De door Cirmac aangeboden en geïnstalleerde procesinstallaties zijn inclusief ontzwaveling met actieve kool en drogen van geproduceerde biomethaan met VPSA.

Voor de beide opwerkingsinstallaties zijn de volgende parameters aangehouden.

Tabel 17 Gebruikte gegevens voor opwerking van biogas tot groen gas

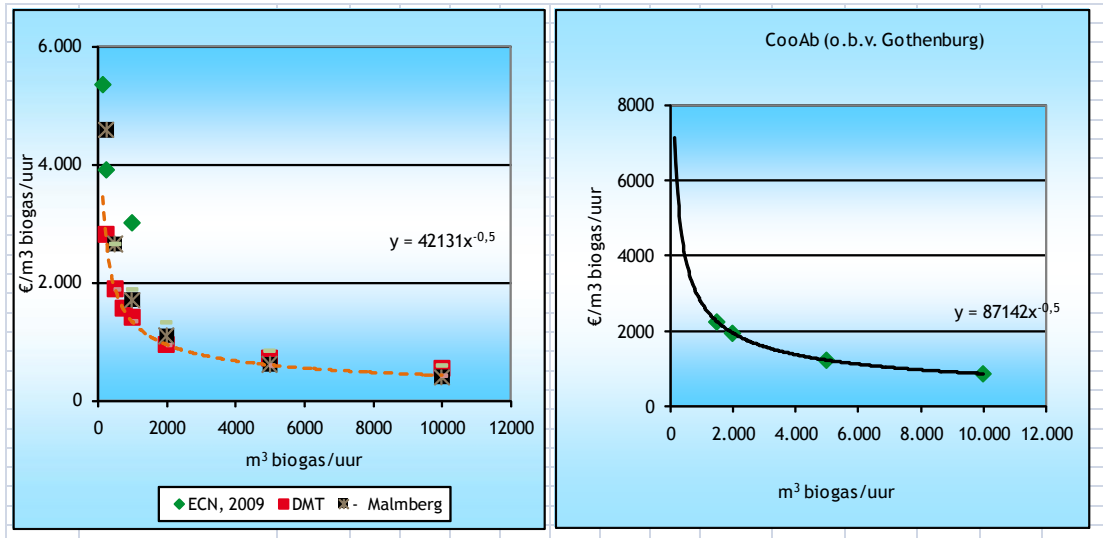
	LNG-productie	CNG-productie
Technische specificaties		
Methaanverlies	0,1%	1%
Reductie methaanemissies	Na-verbrander	Na-verbrander
CO ₂ -afscheiding	99,99%	98%
Eigen gebruik (kWh/m ³ biogas)		
Elektriciteit	0,25	0,15
Warmte		0,4-w.v. 75% recupereerbaar
Druk productgas (bar)	4	4
Economische kentallen		
Economische levensduur (jaar)	15	15
O&M-kosten (als percentage van investering)	5%	5%

¹³ Zie: <http://www.gastreatmentservices.com/>



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

Figuur 14 Investeringskosten opwerking



LNG-productie

Voor productie van vloeibare methaan op kleine schaal - zogenaamde mini LNG-installaties - is relatief weinig informatie te vinden, zowel wat betreft elektriciteitsgebruik als kosten.

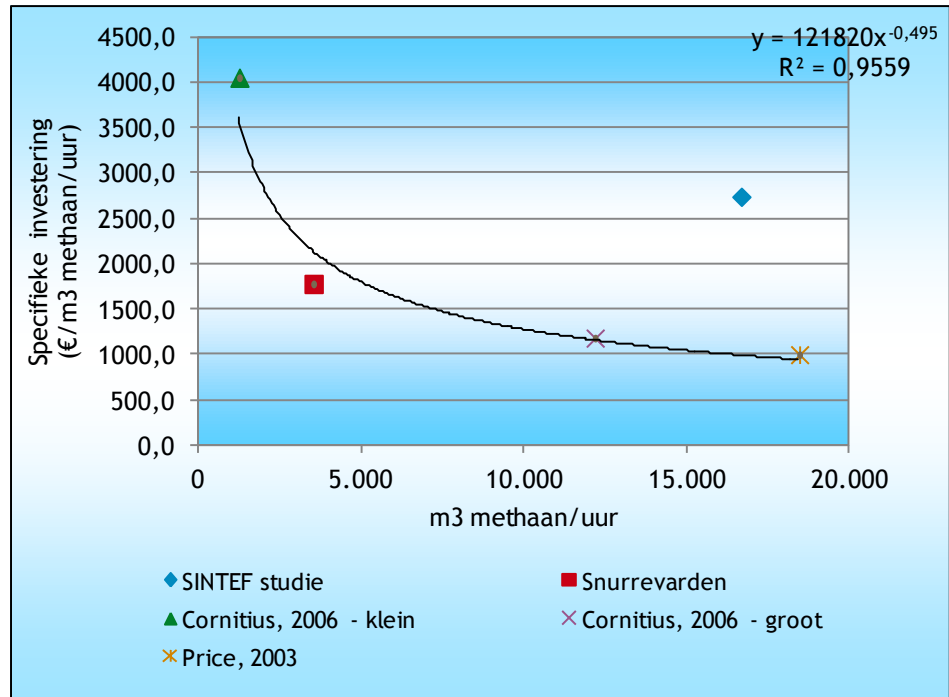
Voor elektriciteitsgebruik hebben we de volgende informatie kunnen vinden:

- SINTEF-paper (SINTEF, 2008), 0,6-0,9 kWh/kg LNG; voor aardgas van 30°C;
- SINTEF-presentatie (SINTEF, 2009), 0,45 kWh/kg LNG voor BOG reliquifactie-installatie (gas op -40°C);
- Snurrevarden mini LNG-installatie in Noorwegen (Hamworthy, 2007), 0,80 kWh/kg LNG; proces inclusief drogen, CO₂-verwijdering, ontzwaveling;
- Johansson (2008), 0,45-0,65 kWh/Nm³ CH₄ (0,65-0,95 kWh/kg LNG).

In deze studie is uitgegaan van een verbruik van 0,7 kWh/kg LNG. Waarden van 0,8-0,95 lijken - gezien het verbruik van de Snurrevarden-installatie - representatiever voor LNG-installaties inclusief gasreiniging. De aan deze elektriciteitsgebruikgerelateerde broeikasgasemissie bedraagt 8,3 kg CO₂-eq/GJ.

Voor de investeringskosten hebben we de volgende indicaties gevonden:

Figuur 15 Investeringskosten bio-LNG-productie



De gevonden waarden hebben betrekking op uiteenlopende configuraties, waarbij ook impliciet investeringen voor gasopwerking of infrastructurele werken als een kade voor zeeschepen is meegenomen. Dat maakt het soms lastig een goede inschatting van de opbouw van de genoemde investeringen te kunnen maken. De meest transparante opbouw wordt gegeven in Amerikaanse vakliteratuur waarin investeringen in opslag en liquifactie eenheid apart worden gegeven als functie van de schaalgrootte van beide.

Ontzwaveling met gaswasser

Bij toepassing van biogas voor energiedoeleinden is het niet nodig CO₂ uit te wassen, maar is het wel wenselijk in verband met emissies naar lucht om verontreinigingen als H₂S en NH₃ uit ruw biogas te wassen, in ieder geval tot het niveau waarbij wordt voldaan aan emissieregelgeving.

In praktijk wordt een heel spectrum aan technieken toegepast zoals actieve koolfilters, wassers met loog, diepe koeling, filters met ijzerverbindingen, etc.

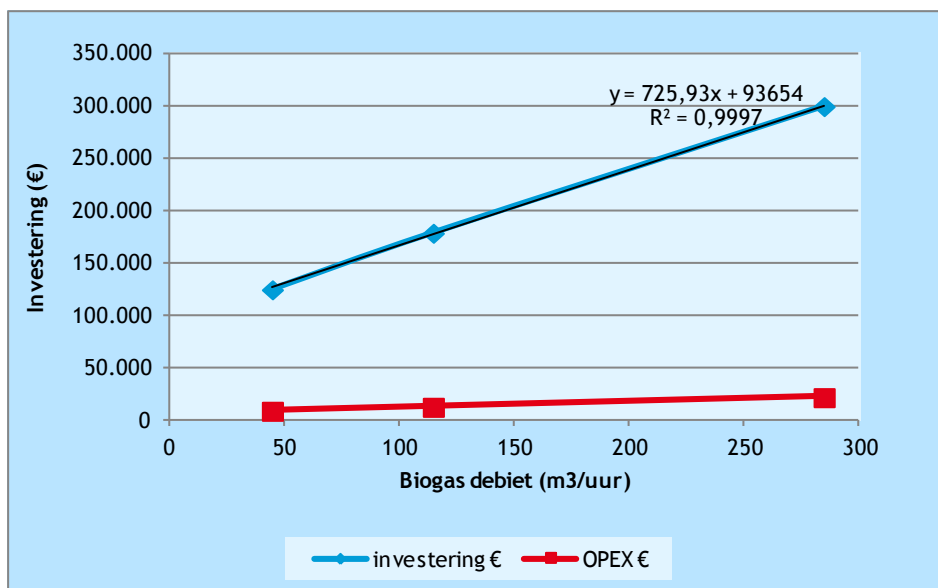
In deze studie is met oog op harmonisatie in de vergelijking en met oog op de breedte aan beschouwde gasgebieden gekozen om alleen een gaswasser met loogoplossing te beschouwen.

De investeringskosten zijn ontleend aan de Infomil-website¹⁴.

¹⁴ http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/ner/luchtemissie/virtuele-map/factsheets/alkalische_gaswasser/



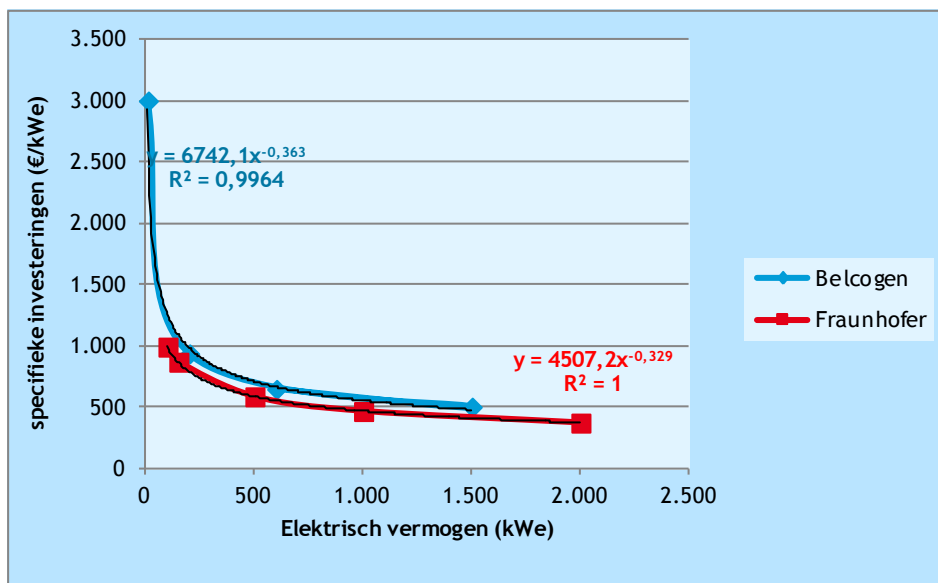
Figuur 16 Investerings voor gaswasser met loogoplossing als functie van gasdebit



Gasmotor

Specifieke investeringen voor een gasmotor zijn overgenomen uit Belcogen, 2004¹⁵ en Fraunhofer, 2009.

Figuur 17 Specifieke investering voor gasmotor



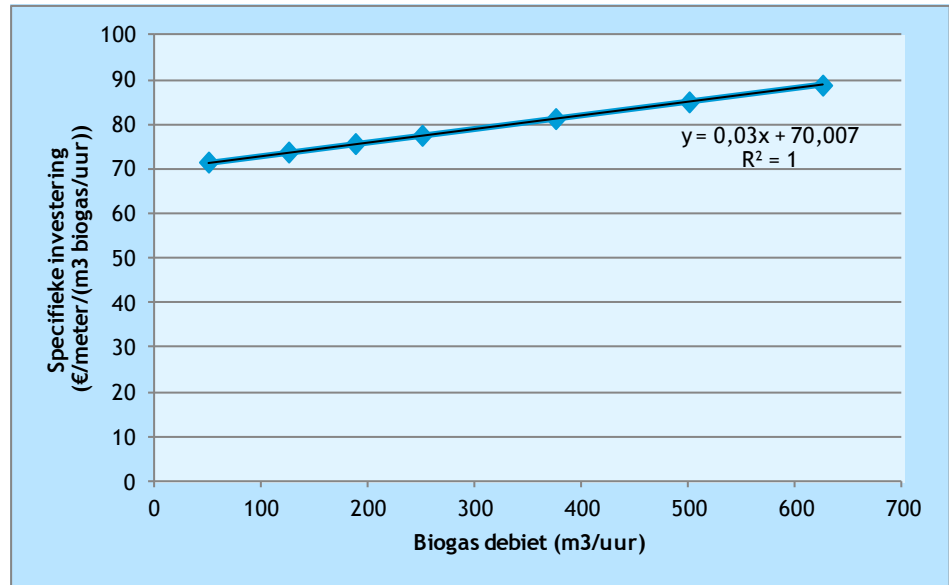
Pijpleiding

Voor investeringen in een pijpleiding zijn de specifieke investeringen per meter als functie van het debiet gehanteerd zoals gegeven in (E-kwadraat, 2011) en DACE-prijzenboekje.

¹⁵ Zie: <http://www.energik.be/belcogen/6.2.1.html>



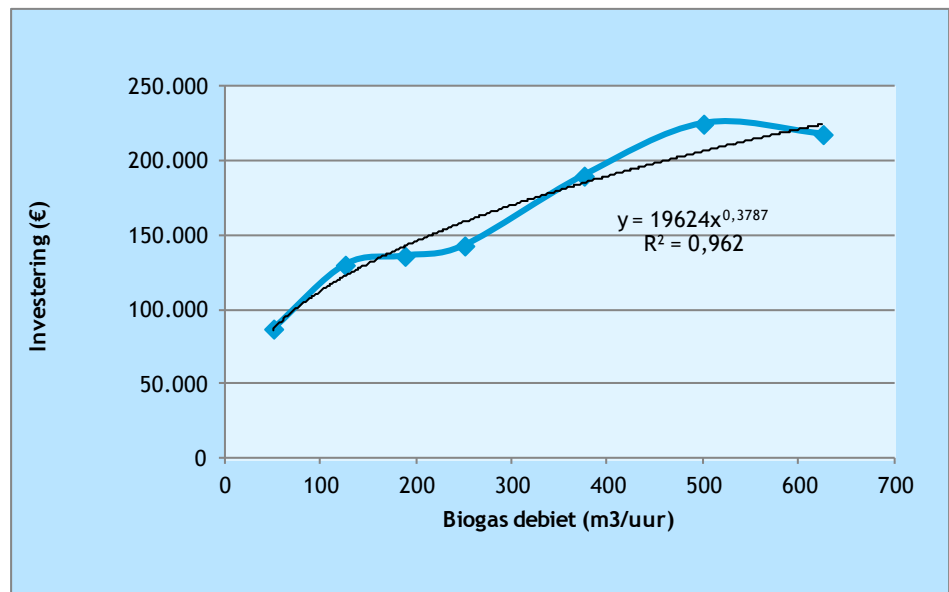
Figuur 18 Specifieke investering voor pijpleiding (10 bar transportdruk)



Compressor

In Figuur 19 zijn de totale investeringen voor biogas en groen gas uitgezet als functie van de schaalgrootte.

Figuur 19 Investering voor compressor (1-11 bar)



De data zijn ontleend aan E-kwadraat, 2011 en Fraunhofer, 2011. Voor verdere compressie zijn de investeringen geschat als functie van het aantal additionele compressiestappen.

Afleverpunt

Het invoedingspunt omvat onder meer meetapparatuur voor volume- en samenstellingsmetingen, odoriseringsapparatuur en de fysieke verbinding zelf. Er is daarnaast aangenomen dat een HEPA-filter wordt toegepast om eventuele deeltjes en micro-organismen uit het productgas te verwijderen.

De investeringen zijn op basis van E-kwadraat, 2011 en Fraunhofer, 2009. geschat op $810 \cdot V_{\text{gas}} + 184.000$.

A.2 Bepaling jaarlijkse kosten

Afschrijvingen

Afschrijvingen (CAPEX) voor investeringen zijn bepaald met de annuïteitenmethodiek, uitgaande van een rentevoet van 6% (conform SDE+) en een afschrijftermijn van 12 jaar (conform SDE+).

Er is gekozen voor hanteren van de annuïteitenmethodiek en niet voor de NCW-methode vanwege de veelheid aan schaalgrootte/toepassingen/substraat combinaties.

Operationele kosten, excl. substraat, digestaatafvoer en eigen energiegebruik

De operationele kosten (exclusief kosten voor substraataankoop, digestaatafvoer en eigen energiegebruik) omvatten:

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

Voor de operationele kosten worden alleen in Fraunhofer (2009) specifieke kosten per afzonderlijke - hierboven genoemde - kostenpost gegeven. Op basis van deze bron zijn de volgende relaties tussen investeringen en operationele kosten aangehouden, waarbij de operationele kosten zijn uitgedrukt als percentage van de investering:

- | | |
|-----------------------|-----|
| – vergister | 5% |
| – reiniging/opwerking | 7% |
| – compressie | 4% |
| – gasmotor | 10% |
| – afleverpunt | 4% |
| – pijpleiding | 0% |

We gaan uit van een kunststofleiding zonder risico op corrosie en daarmee met minimale onderhoudskosten

Substraatkosten

Aangehouden substraatkosten zijn weergegeven in Tabel 18.



Tabel 18 Kosten voor substraat

	€/ton n.s.	Bij €/ha			Opbrengst (ton)/ha
		Kosten uitgangs- materialen	Arbeids- behoefte	Loon- werk	
Substraat					
Winterrogge	13,15	102	77	150	25
Snijmaïs	17,99	658	256		50,7
Gras	-25				
GFT	-35				
Bietenpulp	40				
Bietenloof	0,00				
VDM	0				
VDM + centrale vergisting	20,79				
RDM	0				

Voor winterrogge en snijmaïs zijn de kosten voor substraat gebaseerd op de teeltkosten zoals gegeven in KWIN, 2012. Voor eigen arbeid is daarin een uurloon van € 25,60 aangehouden.

Kosten voor gras en GFT betreffen praktijkwaarden voor de poortprijs van centrale vergisters en composteerinstallaties, zoals moeten worden betaald door gemeenten.

Voor de kostprijs voor bietenpulp is de huidige marktprijs van pulp als vochtrijk diervoeder genomen.

Bij bietenloof wordt aangenomen dat het loof in de toekomst (nu nog in ontwikkeling) in dezelfde werkgang kan worden geoogst als de biet zelf. Er zijn daarom geen additionele kosten voor oogst aangehouden.

Bij drijfmestvergisting op eigen bedrijf is de mest gewoon beschikbaar en zijn geen additionele handelingen nodig in vergelijking met reguliere bedrijfsvoering.

Bij mestscheiding daarentegen wordt ongeveer € 3/m³ drijfmest aan scheidingskosten gemaakt, terwijl afvoer naar de centrale vergister nog eens € 5/ton dikke fractie kost (volgens Energymatters, 2011). De totale kosten per ton dikke fractie bedragen circa € 21/ton.

Digestaatafzet

Kosten voor digestaatafzet zijn in Tabel 19 gegeven.

Tabel 19 Kosten voor digestaatafzet

	€/ton n.s.	Opbrengst (ton)/ha	
Digestaat		Loon-werk	
- Winterrogge	6,17	140	22,70179
- Snijmaïs	3,44	140	40,64078
- Gras	0,00		
- GFT	0,00		
- Bietenpulp	2,45	140	57,07159
- Bietenloof	4,82	140	29,06907
- VDM	0,00		
- VDM + centrale vergisting	0,00		
- RDM	0,00		

Bij winterrogge, snijmaïs en suikerbiet bijproducten is aangenomen dat digestaat als drijfmest wordt geïnjecteerd, een extra handeling ten opzichte van de reguliere bedrijfsvoering van de akkerbouwer. De aangehouden kosten van € 140/ha betreffen de kosten voor injectie met een zelfrijder met injecteur (KWIN, 2012). De geïnjecteerde hoeveelheden betreffen de hoeveelheden die binnen de derogatiegrenswaarden voor mest kunnen worden toegediend (snijmaïs) of de hoeveelheid digestaat die na vergisting per hectare groenbemester (winterrogge) of gewasrest (bietenloof) overblijft.

Voor GFT en gras is aangenomen dat afzetkosten sowieso in de poortprijs inbegrepen zijn. Daarnaast geeft informatie uit het veld en uit andere studies aan dat afzet van compost tegen 0-tarief plaatsvindt.

Voor VDM en RDM is aangenomen dat de kosten voor uitrijden/afzet niet afwijken van kosten voor uitrijden/afzet van onvergiste mest. Er is daarom uitgegaan van een netto waarde voor kosten gerelateerd aan afzet.

Prijzen voor energiedragers, inkoop en opbrengsten

Voor het berekenen van kosten gerelateerd aan inkoop van elektriciteit en inkomsten uit afzet van geproduceerde elektriciteit, warmte en gas is uitgegaan van de in Tabel 20 gegeven waarden. De waarden zijn ontleend aan een eerder (vertrouwelijk) onderzoek van CE Delft voor Waterschap De Dommel.

Tabel 20 Gehanteerde commodityprijzen

	Commodity	SDE+	Groene	Accijns/ EB	Totaal
	Prijs		Opslag		
Verbruiken en producties, GJ/jaar					
– Elektriciteit inkoop	19,4			3,1	22,6
– Groene stroomlevering	13,3	13,3	0,3		26,9
– Warmte-inkoop	9,0				9,0
– Groene warmtelevering	9,0				9,0
– Aardgasinkoop	8,5			1,3	9,8
– Biogasafzet					
a Rechtstreeks	7,9		1,6		9,5
b Als 100% groen gas, gasnet	7,9	1,7	1,6		11,2
c CNG-transport derden	9,5		6,6		16,1
d CNG, transportbrandstof voor eigen bedrijf					
1. Opbrengst voor commodityafzet op gasnet	9,5		6,6		16,1
2. Uitgave voor terugkoop groene CNG	20,0				20,0
Netto uitgave (1-2)	10,5		-6,6		3,9
e CNG-transport derden afzet via Attero	9,5		6,6		16,1
– Dieselinkoop	20,9			12,0	32,9
– Bio-LNG als dieselvervanger, derden	9,5		6,6		16,1

Voor het berekenen van de kosten zijn alleen de commodityprijzen gehanteerd en zijn SDE+ subsidies, groene opslagwaarden en accijns/energiebelasting niet meegenomen. Deze posten zijn wel relevant bij het bepalen van de maatschappelijke kosten.



Bijlage B Ketens getoetst aan RED en NTA

Om inzicht te geven in de relatieve maat van de score van biogasketens wordt in deze bijlage kort ingegaan op het beoordelingskader voor hernieuwbare energie op basis van biomassa, zoals dat in Nederlandse en Europese beleid is vastgesteld. We bespreken de richtlijnen met betrekking op onze duurzaamheidsthema's zoals vastgesteld in de RED van de Europese Commissie en de NTA 8080, een set afspraken over duurzaamheid van biomassa.

Renewable Energy Directive (RED)

De Renewable Energy Directive stelt op dit moment alleen duurzaamheidseisen aan biobrandstoffen (inclusief biogas) en vloeibare brandstoffen uit biomassa voor productie van warmte en/of elektriciteit. Vloeibare biomassa voor warmte en/of krachtopwekking betreft in de praktijk pyrolyseolie en plantaardige olie, bijvoorbeeld koolzaadolie voor stationaire WKK/motoren.

Alleen biobrandstoffen en vloeibare biomassa die voldoen aan de duurzaamheidseisen mogen worden meegerekend in de targets van de RED en mogen financiële ondersteuning ontvangen. De RED zal de komende jaren verder worden ontwikkeld. Dit betreft aan de ene kant het beter handen en voeten geven van de RED op specifieke onderwerpen, aan de andere kant mogelijk ook uitbreiding en aanpassing. Op dit moment liggen er twee voorstellen voor uitbreiding met betrekking op:

- een duurzaamheidskader voor vaste biomassa;
- kentallen voor indirect land use change ILUC.

De Nederlandse Technische Afspraak (NTA) 8080¹⁶

De Nederlandse Technische Afspraak (NTA) 8080 is een vrijwillig certificeringssysteem voor duurzame biomassa, dat geaccordeerd is als vergelijkbaar met de RED.

Voor de hier geanalyseerde grondstoffen speelt vooral de vraag of er voldaan wordt aan duurzaamheidseisen op gebied van:

- klimaatbalans/cascadering;
- landgebruik/bodemkwaliteit.

B.1 Duurzaamheidseisen volgens de RED en NTA 8080

Hieronder zijn de eisen die door de RED en de NTA 8080 worden gesteld beschreven. Voor elk duurzaamheidsthema is in een korte conclusie aangegeven hoe wij in onze analyse omgaan met deze eisen. Als er geen methode voor kwantificatie is gegeven dan volgt een beschrijving van onze interpretatie, zodat voor alle thema's gekwantificeerd kan worden in hoeverre de biogasketens duurzaam zijn.

¹⁶ Deze Nederlandse Technische Afspraak (NTA) is een vanuit de NEN opgezet certificeringssysteem voor duurzame biomassa. De NTA 8080 beschrijft de eisen voor duurzame biomassa ten behoeve van energiedoeleinden (elektriciteit, warmte & koude en transportbrandstof) en beschrijft het proces om gecertificeerd te worden en te blijven. De NTA 8080 is toepasbaar voor zowel vaste, vloeibare als gasvormige biobrandstoffen en voor biomassa produceren (telen), verwerken, verhandelen of inzetten voor energieopwekking of als transportbrandstof. Conform de NTA 8080 moet bodemkwaliteit in de vorm van bodemorganische stof op peil blijven.



Klimaatbalans/cascadering

RED

De RED-klimaatberekening neemt niet de effecten van verschuiving in de veevoermarkt mee zoals deze studie dat wel doet voor de grondstoffen snijmaïs en bietenpulp. Dit maakt dat de CO₂-berekening voor deze ketens veel gunstiger uitkomt in de RED-berekening.

De maximale broeikasgasemissie in de biobrandstofketen mag voor nieuwe biobrandstoffabrieken:

- tot 2015 maximaal 54,5 kg CO₂-eq/GJ bedragen - een reductie van 35% t.o.v. de fossiele referentie;
- tussen 2015-2017 maximaal 41,9 kg CO₂-eq/GJ bedragen (50% reductie t.o.v. de fossiele referentie);
- na 2017 maximaal 33,5 kg CO₂-eq/GJ bedragen (60% reductie t.o.v. de fossiele referentie).

Uit de RED wordt niet duidelijk welke eis wordt gesteld aan vloeibare biomassa en biogas die voor elektriciteit en/of warmte productie wordt gebruikt.

NTA 8080

- de NTA stelt vergelijkbare eisen aan de CO₂-reductie als de RED;
- de NTA heeft als extra eis dat er geen gebruik van grondstoffen mag worden gemaakt die waardevoller kunnen ingezet als product, voedsel of veevoer.

Conclusie

Alle ketens kunnen voldoen aan de huidige RED-voorwaarden op het gebied van broeikasgassen omdat de RED de effecten in veevoermarkt niet meeneemt.

Als de RED in toekomst ook indirect land use change meeneemt en de minimale eis van CO₂-reductie aanscherpt voldoen de ketens op basis van bietenpulp waarschijnlijk niet meer. Dergelijke verandering in de regelgeving is nu door de Europese Commissie voorzien voor na 2020.

Alle ketens behalve de ketens op basis van bietenpulp en snijmaïs kunnen ook voldoen aan de NTA-criteria. Bietenpulp en snijmaïs voldoen niet aan de NTA-eis voor zoveel mogelijk cascaderen van biomassa naar de meest waardevolle toepassing (in dit geval veevoer).

Landgebruik - direct en indirect

RED

Bodemkwaliteit

De RED hanteert het principe dat bodemkwaliteit en bodemvruchtbaarheid behouden en indien mogelijk verbeterd dienen te worden.

NTA 8080

Bodemkwaliteit

De NTA 8080 hanteert evenals de RED het principe dat bodemkwaliteit en bodemvruchtbaarheid behouden, en indien mogelijk verbeterd, dienen te worden. De NTA vereist bovendien dat:

- bodemkwaliteit wordt gemonitord door metingen van bodemverlies, bodemorganische stof, pH en macronutriënten (N, P, K);
- bij de productie en verwerking van biomassa 'best practices' worden toegepast om de bodem en bodemkwaliteit te behouden of te verbeteren;
- het gebruik van restproducten niet in strijd is met andere functies die ze in de bodem vervullen.



In de NTA 8080 worden voor bio-energie een aantal reductiepercentages vereist, afhankelijk van de toepassing van de biomassa. Deze eisen hebben we omgerekend naar specifieke emissies per eenheid biomassa.

De eisen aan de specifieke broeikasgasemissies per eenheid bio-energie die op deze manier zijn geschat zijn duidelijk strenger voor andere toepassingen dan meestoken in een kolencentrale. Bij andere bio-elektriciteit leverende systemen kan nog wel meer ruimte voor broeikasgasemissies in de biomassa keten worden gerealiseerd door maximalisatie van warmtekrachtkoppeling.

Conclusie

In principe zouden alle ketens aan deze eis van de RED en de NTA kunnen voldoen.

B.2 Conclusie toetsing aan RED + NTA

Door de beperkte scope van de RED-broeikasgasbalans kunnen alle biogas-ketens aan de huidige RED-criteria voldoen. Bij verdere aanscherping kunnen snijmaïs en bietenpulp waarschijnlijk niet voldoen. Deze laatste twee vallen nu al buiten de criteria van de NTA. Andere biogasketens kunnen wel aan de NTA voldoen.





Bijlage C Beschouwde parameters en wat daaronder wordt meegenomen

C.1 Klimaatbalans

De klimaatbalans zal worden bepaald middels een analyse van de broeikasgasemissies over de keten, zoals ook dient te worden uitgevoerd in het kader van de NTA 8080. Zoals aangegeven dient allen te voldoen aan de in de NTA 8080 opgenomen duurzaamheidseisen. De broeikasgasemissieanalyse omvat:

- bepalen emissies bij teelt van biomassa, inclusief effecten op afbraak en opbouw van bodemorganische stof;
- meenemen van indirecte emissies gerelateerd aan de productie van bij teelt en andere activiteiten toegepaste hulpstoffen (kunstmest, pesticiden, proceschemicaliën) en energiedragers;
- bepalen van emissies vanuit opslag (bijvoorbeeld mestopslag, ingekuilde biomassa);
- bepalen van emissies bij vergisting en biogasopwerking, zoals methaanverliezen;
- bepalen van emissies gerelateerd aan extra (bij bietenpulp) of uitgespaarde (bij teelt van eendenkroos) teelt van voedergewas;
- bepalen van effecten van veranderingen in veevoermix op emissies door vee en vanuit mest;
- bepalen van emissies bij inzet, inclusief methaanslib en uitgespaarde emissies door vervanging van fossiele brandstoffen¹⁷.

C.2 Emissies naar water, bodem en lucht

De emissies naar water en lucht zijn aan de bronnen gebonden die bij het productieproces horen. Dat zijn niet alleen de installaties bij de biogasproductie, maar daar horen ook de bronnen bij die te maken hebben met de grondstoffen voor de biogasproductie. Beide delen van de keten worden beoordeeld op hun bijdragen aan de emissies en vergeleken met conventionele gasproductie. Voor stank wordt daarnaast via de vergunningaanvragen nagegaan in hoeverre stank een grote bijdrage levert aan de mogelijke hinder of een groot ruimtelijk beslag legt op de omgeving.

In de beoordeling van de lokale aspecten zal het ruimtelijk beslag dat wordt gelegd als gevolg van veiligheid, geluid en stank de parameter zijn voor de beoordeling voor duurzaamheid.

¹⁷ Bij de analyse van de inzet van het gas in voertuigen zullen we zoveel mogelijk gebruik maken van de resultaten uit de 'Aardgas in transport'-studie. Daarin worden de emissies van verschillende aardgasvoer- en voertuigen in kaart gebracht - deze zijn gelijk aan de emissies van bio-CNG- en bio-LNG-voertuigen.



C.3 Landgebruik

Naast ruimtelijk beslag via emissies is er in enkele ketens ook sprake van fysiek beslag voor teelt van substraat of van extra of juist uitgespaarde voedergewassen. Dit landgebruik zal worden bepaald aan de hand van gangbare opbrengsten per hectare in Nederland en Zuid-Amerika van snijmaïs, granen en soja.

C.4 Nutriëntenbalans

Zoals in de NTA 8080 aangegeven moet bij gebruik van biomassa voor energie-toepassingen de bodemvruchtbaarheid op peil blijven en mag er geen uitmijning plaatsvinden van nutriënten uit de bodem.

Bij gebruik van bietenpulp, gewasresten, mest en snijmaïs wordt ingegrepen in de nutriëntenbalans, hetzij doordat nutriënten moeten worden gegeven en in de balans worden ingebracht, hetzij doordat nutriënten uit de balans worden afgevoerd en al dan niet of juist in een voor planten beter beschikbare vorm weer worden teruggevoerd.

In deze studie zal ingreep in de nutriëntenbalans worden gekwantificeerd in een netto afname of toename van de gebruikte hoeveelheid (kilo's) kunstmest per eenheid biogas. Een betere beschikbaarheid van nutriënten in digestaat wordt daarbij beloond door de hogere efficiëntie van toepassing te waarderen als een afname van de aan akkerbouw toe te voegen hoeveelheid kunstmest.

C.5 Afval en afvalwater

We stellen voor om in de studie per keten middels een massabalans aan te geven hoeveel afval of reststroom wordt verwerkt en hoeveel afval overblijft of ontstaat. We stellen voor onder deze post ook afvalwater te beschouwen. Vrachten aan zware metalen en CZV (chemische zuurstof verbruik - een maat voor de vervuiling met organische stoffen en stikstofverbindingen) worden geschat op basis van de MER-LAP-methodiek.



Bijlage D Diervoeders

In deze studie is aangenomen dat bij vergisting van biomassa die in de referentie als diervoeder werd gebruikt, het resulterend tekort aan diervoeder wordt gecompenseerd door inzet van extra primaire veevoeders: tarwe en sojameel.

De verandering in toegepaste hoeveelheden van de verschillende primaire en secundaire veevoeder geeft ook verandering in milieubelasting.

Met betrekking tot het effect van het gebruik van diervoeders zijn drie aspecten met name van belang:

- landgebruik (direct en indirect) bij teelt van gewassen;
- nutriëntengebruik en andere input bij teelt;
- de voedingswaarde van de grondstof (VEM en DVE);
- het effect op de methaanemissies van de koe door etherische fermentatie.

Deze drie aspecten zorgen (mogelijkerwijs) voor een veranderde milieu-impact in de veevoederketen. Wij kijken bij deze thema's naar de verandering die optreedt door vergisting in plaats van gebruik als diervoeder.

Bij het bepalen van het effect van een verandering in voer gaan we ervan uit dat de energie-inname niet zal veranderen. Concreet betekent dit dat de VEM-waarde (Voeder Eenheid Melk, energiewaarde) en de DVE (darm-verteerbaar eiwit) gelijk zal blijven. FIS gaat in de berekeningen bijvoorbeeld uit van VEM van 22.000 en 2.200 g DVE per koe per dag voor een melkkoe die 100 dagen in lactatie is (FIS, 2003).

Het effect op methaanemissies door enterische fermentatie blijkt op dit moment te onzeker om in deze studie te worden opgenomen. Belangrijke achtergronddata is op dit moment niet beschikbaar en de mogelijke marges zijn groot. Het is daarom niet goed mogelijk om op dit moment een uitspraak te doen over de effecten van de ene diervoeder voor de andere. Wij zien dit wel als een interessant thema in het kader van dit onderzoek en geven hieronder een samenvatting van de, op dit moment bij ons bekende, relevante informatie over dit onderwerp.

D.1 Enterische fermentatie

Als biomassa wordt vergist terwijl dit eerst diende als veevoeder, betekent dit dat een vervanging voor het veevoeder gezocht moet worden.

Methaanemissies door enterische fermentatie verschillen per diersoort en diertype (vleeskoe of melkkoe) en per dier (leeftijd, gewicht) (IPCC, 2006, hst 10). Maar ook de hoeveelheid voer, de kwaliteit van het voer maken verschil en het type voer maken verschil. Vervangen van de ene voedersoort door de andere kan dus leiden tot hogere of lagere methaanemissies, en heeft dus invloed op de broeikasgasbalans. Volgens de LCA-benadering moet het additionele deel van de milieu-impact van de vervanging gealloceerd worden aan de biomassa die vergist wordt. Het bepalen van dit verschil is echter niet makkelijk.

De IPCC geeft standaard emissiefactoren voor verschillende diersoorten in ontwikkelde en ontwikkelende landen. Voor ontwikkelde landen verschilt de emissiefactor een factor 36 tussen varken (1,5 kg CH₄ per dier per jaar) en buffal (55 kg CH₄ per dier per jaar). Hierbij wordt aangegeven dat deze



factoren een onzekerheid van ± 30 -50% hebben (IPCC, 2006). Als we inzoomen op vee (koeien) in West-Europa, zien we een groot verschil tussen melkkoeien (117 kg CH₄ per koe per jaar) en vleeskoeien (57 kg CH₄/koe/jaar). De methaanemissies (de emissiefactor 'EF') van de koe zijn afhankelijk van het voer dat de koe eet, volgens de vergelijking in formule (IPCC, 2006):

$$EF = \left(\frac{GE \cdot \left(\frac{Y_m}{100} \right) \cdot 365}{55.65} \right)$$

Hierbij is *EF* de emissiefactor die uitgedrukt wordt in kg CH₄ per dier per jaar. Twee variabelen spelen een rol:

Y_m = *methane conversion factor* - % of gross energy in feed converted to methane (in Nederland ook wel aangeduid als MCF)

GE = *Gross Energy Intake in MJ per dier per dag*

Voor verschillende voeders worden verschillende waarden voor *Y_m* gegeven. De IPCC gaat uit van een waarde van $6 \pm 0,5\%$ voor vee in ontwikkelde landen. Voor het dieet van vee met een hoog percentage granen ('feedlot cattle') wordt uitgegaan van een waarde van $4 \pm 0,5\%$ - als het dieet voor >90% uit 'concentrates' bestaat geldt een *Y_m*-waarde van $3 \pm 1\%$ (IPCC, 2006). In het algemeen geldt dat kwalitatief beter voer (met een hoge verteerbaarheid en energiedichtheid) zorgt voor lagere *Y_m*-waarde (IPCC, 2006). Veteerbaarheid is gedefinieerd als het deel van de energie in het voer (als percentage) wat niet uitgescheiden wordt in de mest. Voor vee gelden waarden van tussen de 50-60% (voor bijproducten van gewassen), 60-70% voor goed grasland en 75-85% voor diëten voornamelijk gebaseerd op granen (IPCC, 2006).

Zoals te zien in de grootte van de marge in de *Y_m*-waarde (zo tussen de 8.3 en 33%) heeft de kwaliteit van het voer een groot effect. Voor specifieke voeders (waarbij een geschikte combinatie van voeders leidt tot het complete dieet) geldt echter dat de *Y_m*-waarde experimenteel vastgesteld moet worden. Feed Innovation Services (2003) heeft dit voor veelvoorkomende krachtvoergrondstoffen (bijv. bietenpulp, sojaschroot, tarwe) en ruwvoerders (bijv. snijmaïskuil, graskuil) gedaan. In onze analyse zijn de effecten van bietenpulp, eendenkroos en snijmaïs en van hun alternatieven relevant.

Mengvoer: bietenpulp

Door FIS is op verschillende manieren gerekend aan de effecten van het vervangen van een deel van het mengvoer door bietenpulp. Er is gerekend met een modelbenadering en experimenten (FIS, 2003).

Een logische vervanging voor bietenpulp is sojaschroot. Uit de modelbenadering blijkt dat de methaanemissies bij een dieet met bietenpulp juist omhoog zouden gaan ten opzichte van de referentie, terwijl de emissies bij vervanging door sojaschroot omlaag gaan. Dit is waarschijnlijk een gevolg van een versimpeling in het model waarmee (blijkbaar) belangrijke secundaire chemische reacties niet meegenomen worden (FIS, 2003).

In de experimenten leidt het vervangen van de referentie door bietenpulp tot een verlaging van de methaanemissies door de koe. Echter, vervanging door sojaschroot tot een vergelijkbare verlaging (FIS, 2003). Op dit moment is er dus geen reden om aan te nemen dat als bietenpulp wordt vervangen door sojaschroot omdat bietenpulp gebruikt wordt als cosubstraat, de methaanemissies door de koe zullen toenemen.



Ruwvoer: snijmaïs

Snijmaïs is een ruwvoeder, maar kan ook gebruik worden als cosubstraat. Vervanging van snijmaïs, in het geval dat snijmaïs wordt covergist, kan bijvoorbeeld graskuil zijn. Tussen deze twee voeders zit wel een significant verschil tussen de methaanemissies door de koe. Volgens FIS (2006) waren de methaanemissies van graskuil per 1.000 VEM tussen de 22.7 en 23.3 g CH₄ voor verschillende oogsten (bijv. lente of zomer) in de jaren 1997-2002. Voor snijmaïskuil lag dit voor 1.000 VEM met 17.2 g CH₄ beduidend lager - zo'n 25%. Het is dus mogelijk dat er verbeteropties zijn (met betrekking tot de methaanemissie van koeien) door het veranderen van de ruwvoersamenstelling, of dat de methaanemissies toenemen door een veranderd eetpatroon. In deze analyse gaan wij er echter vanuit dat bij vergisting van snijmaïs additionele snijmaïs wordt ingezet en dit niet leidt tot vervanging door andere in het veevoer.

D.2 Voedingswaarde

In Tabel 21 is de voedingswaarde van de verschillende typen biomassa die dienen als veevoer.

Ook de grondstoffen die wordt ingezet als vervanging indien de biomassa wordt vergist, zijn gegeven. Bij vervanging dienen de VEM- en DVE-waarden gelijk te blijven.

In Figuur 20 en Figuur 21 is berekening geïllustreerd van de vervangingswaarde van snijmaïs en bietenpulp ten opzichte van tarwegraan en sojaschroot.

De gehanteerde benadering is vrij ruw en houdt geen rekening met zaken als structuurwaarde, eiwitsamenstelling, gehalte aan onbestendig eiwit, etc., maar sluit wel aan bij de belangrijkste parameters van het voederpakket: energie-inhoud en eiwittoevoer.

Tabel 21 Voedingswaarden veevoerders

	Droge stof (%)	VEM	DVE (g/kg d.s.)
Bietenpulp ²		1.062	89
Tarwe (graan)		1.236	98
Eendenkroos		826	118
Kuilmaïs	32%	909	
Sojaschroot	88%	1.146	

Bronnen: HC, WUR, 2006, www.eurokoeidee.nl.



Figuur 20 Berekening equivalente hoeveelheden tarwegraan en sojaschroot voor snijmaïs

	snijmaïs	sojaschroot	tarwe		
d.s.%	32%	88%	86%	Input gegevens	
VEM d.s.	909	1.146	1.236		
RE d.s.	8%	52%	14%		
percentage darmverteerbaar	57%	52%	53/69		
Tussen-berekening					
- kg DVE/kg n.s.	0,02	0,24	0,09	Tussen-berekening	
- VEM per kg n.s.	291	1005	1064		
Uitkomst (in rood en vet lettertype)					
- substitutie (kg/kg n.s.):				Uitkomst (in rood en vet lettertype)	
a) soja schroot		-0,07			
b) tarwe			0,34		
Check!					
check				klopt	Check!
- DVE	0,02	0,02	0,02		
- VEM	291	291	291		klopt

Figuur 21 Berekening equivalente hoeveelheden tarwegraan en sojaschroot voor bietenpulp

	Bietenpulp	sojaschroot	tarwe		
d.s.%	22%	88%	86%	Input gegevens	
VEM d.s.	1.062	1.146	1.236		
RE d.s.	10%	52%	14%		
percentage darmverteerbaar	100%	52%	53/69		
Tussen-berekening					
- kg DVE/kg n.s.	0,02	0,24	0,09	Tussen-berekening	
- VEM per kg n.s.	232	1005	1064		
Uitkomst (in rood en vet lettertype)					
- substitutie (kg/kg n.s.):				Uitkomst (in rood en vet lettertype)	
a) soja schroot		0,01			
b) tarwe			0,21		
Check!					
check				klopt	Check!
- DVE	0,02	0,02	0,02		
- VEM	232	232	232		klopt

D.3 Nutriëntenopname melkvee

Toepassing van andere veevoeders dan bietenpulp en snijmaïs betekent ook een ander aanbod aan melkvee aan nutriënten en verteerbare organische stof en daarmee ook een verandering in hoeveelheid en samenstelling aan mest.

Dit effect is ook meegenomen in onderhavige studie.

Voor de opname van nutriënten is daarbij uitgegaan van onderstaande waarden (uit CBS). Voor organische stof in mest is aangenomen dat van de NDF¹⁸-fractie in het voeder ongeveer 35% overblijft en in de mest eindigt. Dit veronderstelt overigens een optimale vertering van het voer¹⁹.

2.3.2 Berekening van de mineralenuitscheiding door melk- en kalfkoeien

	Zuid- en Oost Nederland				Noord- en West Nederland			
	stalperiode		weideperiode		stalperiode		weideperiode	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Aantal dagen	200	205	165	160	195	195	170	170
VEM-behoefte (kVEM)	3 511	3 606	2 984	2 859	3 351	3 354	3 012	2 982
	<i>kg/dier.jaar</i>							
Ruwvoeropname								
weidegras (ds)			610	732			1 183	1 262
graskuil en hooi (ds)	907	1 059	907	706	1 903	1 926	863	800
snijmaiskuil (ds)	1 676	1 648	903	867	592	574	395	383
Krachtvoeropname ²¹								
vochtrijk krachtvoer (ds)	193	193	129	128	193	193	129	128
standaardvoer	325	206	709	709	781	737	709	709
eiwitrijk voer	738	857			283	326		
Vastlegging								
vlees	12	12	9	9	11	11	10	10
kalf	16	17	14	13	16	16	14	14
melk	4 484	4 593	3 699	3 585	4 232	4 221	3 690	3 680
<i>Mineralenbalans</i>								
Opname met voer								
stikstof (N)	89,3	91,9	78,4	74,2	98,1	96,9	89,6	86,6
fosfor (P)	13,9	13,7	12,1	11,2	15,2	14,6	13,3	12,7
kalium (K)	65,5	71,1	71,6	68,3	85,5	86,6	84,6	83,6
Vastlegging								
stikstof (N)	25,4	26,0	21,0	20,3	24,0	23,9	20,9	20,8
fosfor (P)	4,6	4,7	3,8	3,7	4,3	4,3	3,8	3,8
kalium (K)	7,2	7,4	6,0	5,8	6,8	6,8	6,0	5,9
Uitscheiding								
stikstof (N)	63,9	65,9	57,5	53,9	74,0	73,0	68,6	65,8
fosfor (P)	9,3	9,1	8,3	7,5	10,9	10,3	9,6	9,0
kalium (K)	58,3	63,7	65,6	62,5	78,6	79,8	78,6	77,6
fosfaat (P ₂ O ₅)	21,3	20,8	19,0	17,3	25,0	23,5	21,9	20,5
kali (K ₂ O)	70,2	76,8	79,1	75,2	94,8	96,2	94,8	93,6

²¹ Inclusief enkelvoudige krachtvoedergrondstoffen en mineralenmengsels.

¹⁸ NDF = neutral detergent fibre of celwand.

¹⁹ Zie bijvoorbeeld:
<http://provimi.m14.mailplus.nl/genericservice/code/servlet/React?wpEnclId=fLsp9W5IKM&wpMessageId=1361&userId=314100176&command=viewPage&activityId=test&enclId=%7benclId%7d>

