

Monitoring groen gas opwerkingsinstallatie BioGast Beverwijk

Eindrapport

Dr. Ir. M. Jonker

BioGast Sustainable Energy b.v.

23 juni 2010

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Procesbeschrijving	5
3. Analyses	7
3.1. Continue metingen	7
3.2. Uitgebreide analyses	8
3.3. Pathogenenanalyses.....	10
4. Analyseresultaten	12
4.1. Continue metingen	12
4.1.1. December 2009	13
4.1.2. Januari 2010	15
4.1.3. Februari 2010	17
4.1.4. Maart 2010.....	19
4.1.5. April 2010.....	21
4.1.5. Mei 2010.....	23
4.1.7. De volledige periode (december 2009 t/m mei 2010)	25
4.1.8. Meetdata voor een korte periode	27
4.2. Uitgebreide analyses	29
4.3. Pathogenenanalyses.....	33
5. Massa- & energiebalans en kengetallen	34
5.1. December 2009	35
5.1.1. Massabalans.....	35
5.1.2. Energiebalans.....	36
5.2. Januari 2010	37
5.2.1. Massabalans.....	37
5.2.2. Energiebalans.....	38
5.3. Februari 2010	39
5.3.1. Massabalans.....	39
5.3.2. Energiebalans.....	40
5.4. Maart 2010	41
5.4.1. Massabalans.....	41
5.4.2. Energiebalans.....	42
5.5. April 2010	43
5.5.1. Massabalans.....	43
5.5.2. Energiebalans.....	44
5.6. Mei 2010	45
5.6.1. Massabalans.....	45
5.6.2. Energiebalans.....	46
5.7. De volledige periode (december 2009 t/m mei 2010).....	47
5.7.1. Massabalans.....	47
5.7.2. Energiebalans.....	48
6. Discussie en conclusies	49
6.1. De analyseresultaten.....	49
6.2. De massa- & energiebalansen	50

Appendix A: Analyserapporten gassamenstelling	51
Appendix B: Analyserapport pathogenen	58
Appendix C: Berekening massabalans	62
Appendix D: Berekening energiebalans.....	64
Appendix E: Berekening kengetallen.....	65

1. Inleiding

Sinds september 2006 is een installatie van BioGast in bedrijf op de rioolwaterzuivering van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) in Beverwijk. Op deze zuivering wordt het rioolslib vergist in een vergister, waardoor biogas ontstaat. De BioGast installatie werkt het biogas op tot groen gas, en voedt dit in in het openbare aardgasnet. De opwerking tot groen gas wordt in deze installatie gerealiseerd met membraantechnologie.

Deze groen gas opwerkingsinstallatie in Beverwijk is in opdracht van SenterNovem gedurende 6 maanden gemonitord, en wel van december 2009 tot en met mei 2010. De resultaten hiervan zijn maandelijks gerapporteerd.

In dit eindrapport zijn alle gegevens van de 6 maanden monitoring verzameld.

2. Procesbeschrijving

Een processchema van de installatie staat in Fig. 2.1.

Het biogas uit de vergister bevat zo'n 60% CH₄ en 40% CO₂. Daarnaast is het biogas verzadigd met vocht en bevat het zo'n 100ppm H₂S. Om het biogas op te werken tot aardgaskwaliteit zijn de volgende processtappen nodig:

- Het H₂S moet uit het biogas verwijderd worden;
- Het vocht moet uit het biogas verwijderd worden;
- Er moet precies zoveel CO₂ uit het biogas verwijderd worden dat de verbrandingswaarde van het gas gelijk is aan die van aardgas; hiervoor is een CH₄-gehalte van zo'n 89% nodig.
- Er moet een geurstof aan het gas toegevoegd worden (THT, dezelfde geurstof als die voor aardgas gebruikt wordt).

Het biogas uit de vergister wordt in de opwerkingsinstallatie eerst gecomprimeerd tot 8bar en daarna gekoeld. Hierdoor condenseert vrijwel al het in het biogas aanwezige vocht, en wordt vervolgens in een condenspot afgescheiden van het gas.

Het droge gas stroomt dan langs een membraan dat CO₂ doorlaat, maar CH₄ niet. Hierdoor wordt het CH₄-gehalte in het gas verhoogd tot zo'n 89%, waardoor de verbrandingswaarde van het gas gelijk wordt aan die van aardgas. Het CH₄-gehalte van het groen gas wordt geregeld met een automatische klep, die de druk aan de andere zijde van het membraan regelt. Hoe lager deze druk, hoe meer CO₂ door het membraan gaat, en hoe hoger het CH₄-gehalte van het groen gas wordt.

Een groot deel van de in het biogas aanwezige H₂S gaat ook door het membraan heen, en komt in het restgas terecht. De laatste H₂S wordt uit het gas verwijderd in een vat met actieve kool. De H₂S wordt hierin door de actieve kool geabsorbeerd, zodat schoon en reukloos gas overblijft.

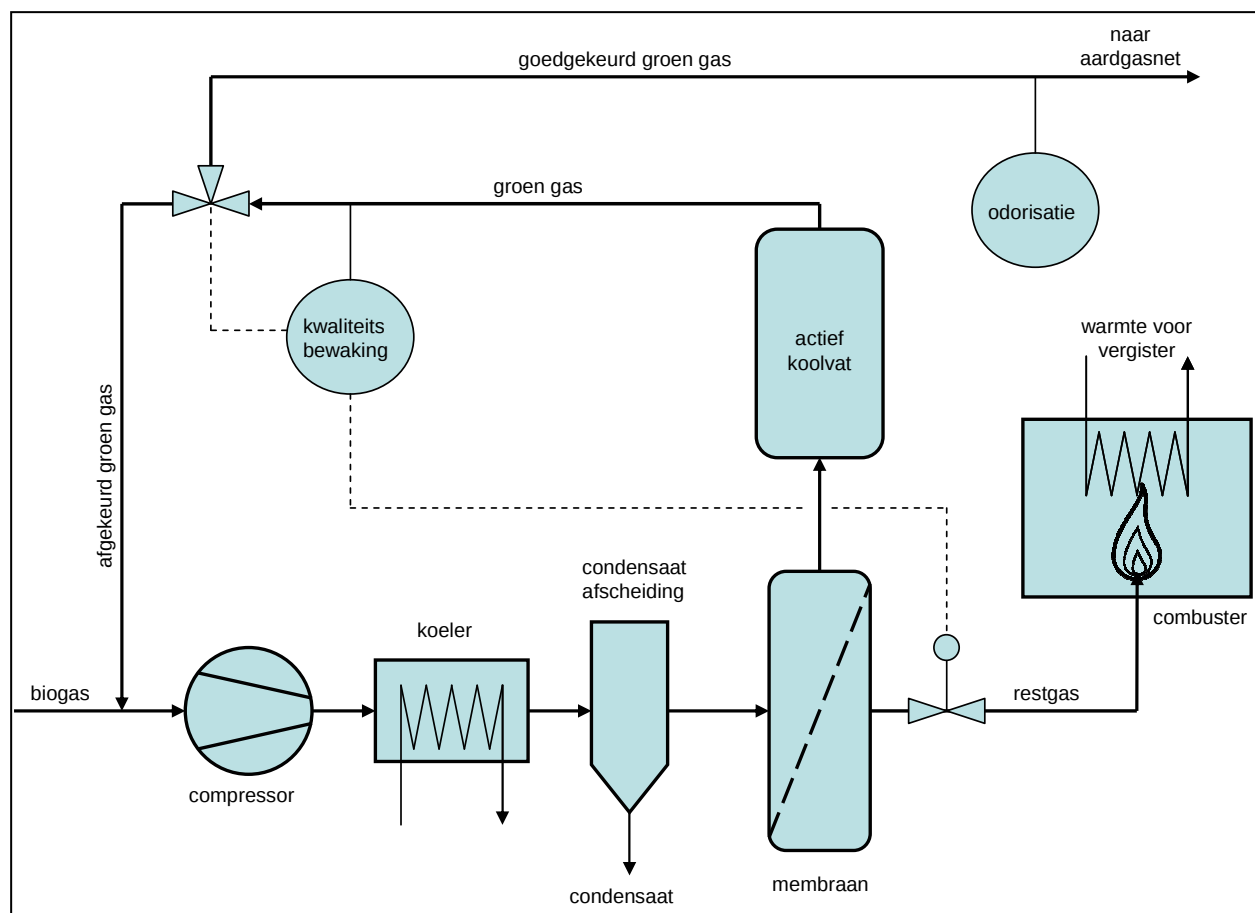


Fig. 2.1: Processchema van de opwerkingsinstallatie.

Daarna wordt de kwaliteit van het gas gemeten met een aantal analyzers, die de samenstelling en de verbrandingswaarde (Wobbe index) van het gas meten. Indien de gaskwaliteit aan alle invoedingseisen voldoet, dan wordt het gas doorgelaten naar het aardgasnet. Voldoet de gaskwaliteit niet aan alle eisen, dan gaat de klep naar het aardgasnet dicht, en wordt het gas teruggestuurd naar de ingang van de installatie. Het gas wordt dan net zo lang gecirculeerd in de installatie tot de gaskwaliteit weer in orde is.

Net voordat het groen gas in het aardgasnet wordt ingevoegd wordt er nog een kleine hoeveelheid geurstof aan toegevoegd, zodat het ook precies hetzelfde ruikt als aardgas.

3. Analyses

De samenstelling van het biogas en het groen gas zijn continu gemeten gedurende de gehele periode van de monitoring. Hierbij zijn alleen de hoofdcomponenten van het gas (CH₄, CO₂, O₂, H₂S) gemeten. Meer informatie over deze continue metingen staat in §3.1.

Daarnaast zijn in januari en april monsters genomen van het biogas, groen gas en restgas. Deze monsters zijn in een laboratorium uitgebreid geanalyseerd, waarbij naar een veel groter aantal componenten is gekeken. In §3.2 staat meer over deze uitgebreide analyses.

Ten slotte zijn in januari ook monsters genomen van het biogas en groen gas waarvan in een laboratorium de concentraties van pathogenen gemeten zijn. Meer informatie over deze pathogenenanalyses staat in §3.3.

3.1. Continue metingen

De samenstelling van het biogas en het groen gas zijn gemeten met een Union INCA BIO 04 biogasanalyzer. De Wobbe index van het groen gas is gemeten met een Union W2000 calorimeter. De belangrijkste specificaties van deze analyzers staan in de onderstaande tabellen.

Calibratiefrequentie:

- De biogasanalyzer wordt 1 keer per maand gekalibreerd.
- De calorimeter wordt 1 keer per week gekalibreerd.

Component	Meetmethode	Meetbereik	Nauwkeurigheid
CH ₄	NDIR	0-100%	±1%
CO ₂	NDIR	0-100%	±1%
O ₂	paramagnetisch	0-25%	±10% v. gemeten waarde
H ₂ S	elektrochemisch	0-50ppm/0-200ppm ¹	±1,5ppm/±6ppm

Tabel 3.1: Specificaties van de Union INCA BIO 04 biogasanalyzer.

¹ Voor het biogas wordt een sensor met 0-200ppm meetbereik gebruikt, en voor het groen gas een sensor met 0-200ppm meetbereik.

Component	Meetmethode	Meetbereik	Nauwkeurigheid
Wobbe index	calorimetrie	6-60MJ/Nm ³	±1,5%

Tabel 3.2: Specificaties van de Union W2000 calorimeter.

3.2. Uitgebreide analyses

In januari en april zijn gasmonsters genomen van het biogas, groen gas en restgas. Deze monsters zijn geanalyseerd door het KEMA laboratorium in Groningen. Voor de monsternamen is gebruik gemaakt van Tedlar bags. In onderstaande tabel staan de componenten die geanalyseerd zijn.

Component	Eenheid	Meetmethode
Helium	mol%	volgens ISO 6974
Waterstof	mol%	volgens ISO 6974
Zuurstof	mol%	volgens ISO 6974
Stikstof	mol%	volgens ISO 6974
Kooldioxide	mol%	volgens ISO 6974
Methaan	mol%	volgens ISO 6974
Ethaan	mol%	volgens ISO 6974
Propaan	mol%	volgens ISO 6974
2-Methylpropaan	mol%	volgens ISO 6974
Butaan	mol%	volgens ISO 6974
2,2-Dimethylpropaan	mol%	volgens ISO 6974
2-Methylbutaan	mol%	volgens ISO 6974
Pentaan	mol%	volgens ISO 6974
Cyclopentaan	mol%	volgens ISO 6974
2,2-Dimethylbutaan	mol%	volgens ISO 6974
2,3-Dimethylbutaan + 2-Methylpentaan	mol%	volgens ISO 6974
3-Methylpentaan	mol%	volgens ISO 6974
Hexaan	mol%	volgens ISO 6974
Cyclohexaan	mol%	volgens ISO 6974
Heptanen	mol%	volgens ISO 6974

Methyl-cyclohexaan	mol%	volgens ISO 6974
Tolueen	mol%	volgens ISO 6974
Octaan	mol%	volgens ISO 6974
Zwavelwaterstof	ppm mol	volgens ISO 19739
Carbonylsulfide	ppm mol	volgens ISO 19739
Methylmercaptaan	ppm mol	volgens ISO 19739
Ethylmercaptaan	ppm mol	volgens ISO 19739
Benzeen	ppm mol	eigen methode KEMA
Tolueen	ppm mol	eigen methode KEMA
Ethylbenzeen	ppm mol	eigen methode KEMA
Xylenen	ppm mol	eigen methode KEMA
D4-siloxaan	mg/m ³ _n	eigen methode KEMA
D5-siloxaan	mg/m ³ _n	eigen methode KEMA

Tabel 3.3: Geanalyseerde componenten en meetmethodes van de uitgebreide analyses.

Daarnaast zijn uit deze analyseresultaten de volgende eigenschappen van het gas berekend:

	Eenheid	Rekenmethode
Calorische bovenwaarde (H _s)	MJ/m ³	ISO 6976-1995 (tabel 3)
Calorische onderwaarde (H _i)	MJ/m ³	ISO 6976-1995 (tabel 3)
H _i /H _s	-	ISO 6976-1995 (tabel 3)
Wobbe index	MJ/m ³	ISO 6976-1995 (tabel 3)
Relatieve dichtheid	-	ISO 6976-1995 (tabel 3)
Dichtheid	kg/m ³	ISO 6976-1995 (tabel 3)

Tabel 3.4: Eigenschappen van het gas die zijn berekend uit de resultaten van de uitgebreide analyses.

In januari zijn door KEMA ook natchemische analyses uitgevoerd, waarmee de volgende componenten bepaald zijn:

- waterstofchloride
- waterstoffluoride
- waterstofcyanide
- ammoniak

Zowel in januari als in april zijn de gasmonsters vrijwel gelijktijdig genomen, waardoor een complete momentopname van de installatie verkregen is.

3.3. Pathogenenanalyses

In januari zijn door KEMA gasmonsters genomen van het biogas en het groen gas waarvan in het laboratorium van de firma Bioclear in Groningen de concentraties van pathogenen gemeten zijn.

De monsternamen zijn gebeurd door het betreffende gas door borrelflesjes met vloeistof te laten borrelen gedurende 20 minuten. Vervolgens is de vloeistof uit de borrelflesjes door Bioclear geanalyseerd door middel van moleculaire analyse. De moleculaire analyses zijn uitgevoerd door middel van Q-PCR (Quantitative Polymerase Chain Reaction). Hiermee is het mogelijk nauwkeurig verschillende (groepen) micro-organismen of genetische eigenschappen middels het DNA of RNA te detecteren en te kwantificeren.

De gasmonsters zijn geanalyseerd op de aanwezigheid van 3 groepen micro-organismen:

Bacteriën

Hierbij wordt uitgegaan van de aanname dat 1 DNA-kopie gelijk staat aan 1 cel.

Archaea

Hierbij wordt uitgegaan van de aanname dat 1 DNA-kopie gelijk staat aan 1 cel.

Fungi

Hierbij wordt uitgegaan van de aanname dat 100 DNA-kopiën gelijk staan aan 1 cel.

Controles zijn gebruikt om de efficiëntie van elke DNA isolatie te bepalen. De kwantitatieve resultaten zijn hiervoor gecorrigeerd. De detectielimieten van de monsters kunnen daarom onderling verschillen en zijn derhalve voor elk monster afzonderlijk bij de resultaten aangegeven.

Doc. No. :	SNMONBW.10.007	Datum:	23-06-2010
Auteur:	M. Jonker	Pagina:	11 van 66

Interne controles zijn gebruikt om de kwaliteit van de Q-CPR reacties te waarborgen.

Negatieve (blanco) en positieve controles zijn uitgevoerd door middel van reïnculturen en/of het sequencen van PCR producten.

4. Analyseresultaten

In dit hoofdstuk staan alle meetresultaten, zowel van de continue metingen als ook van de uitgebreide analyses en pathogenenanalyses.

4.1. Continue metingen

De resultaten van de continue metingen worden in §4.1.1-4.1.6 per maand gegeven en in §4.1.7 voor de gehele 6 maanden samen. In §4.1.8 staan een aantal grafieken die de metingen weergeven voor een korte periode, waardoor ook een beeld van de korte-termijnfluctuaties van de gemeten parameters zichtbaar wordt. Voor al deze periodes worden de volgende zaken gepresenteerd:

- Grafiek van de biogasmetingen;
- Grafiek van de groen gas metingen;
- Tabel met de gemiddelde waarde en standaard deviatie van alle gemeten parameters;
- Bijzondere situaties. Indien zich bijzondere situaties (stilstand, onderhoud, problemen bij de biogasproductie) hebben voorgedaan worden deze kort beschreven, om verkeerde interpretatie van de meetgegevens te voorkomen.

Voor de juiste interpretatie van de grafieken met meetdata in dit hoofdstuk is het nodig om de volgende zaken op te merken:

- Kortdurende pieken en dalen in de metingen ('spikes') zijn meetruis, en dienen daarom buiten beschouwing gelaten te worden.
- Het biogas bevat doorgaans geen meetbare hoeveelheden zuurstof, waardoor de lijn van het zuurstofgehalte op de x-as ligt en daardoor nauwelijks zichtbaar is. Hetzelfde geldt voor zuurstof en H₂S in het groen gas.
- Tijdens stilstand van de installatie is het niet mogelijk om goede metingen te doen, aangezien de biogastoevoer en de groen gas afvoer dan afgesloten zijn. Hierom zijn de meetdata tijdens stilstand niet opgenomen in dit rapport en dus ook niet weergegeven in de grafieken, waardoor tijdens stilstand alleen rechte lijnen te zien zijn.

4.1.1. December 2009

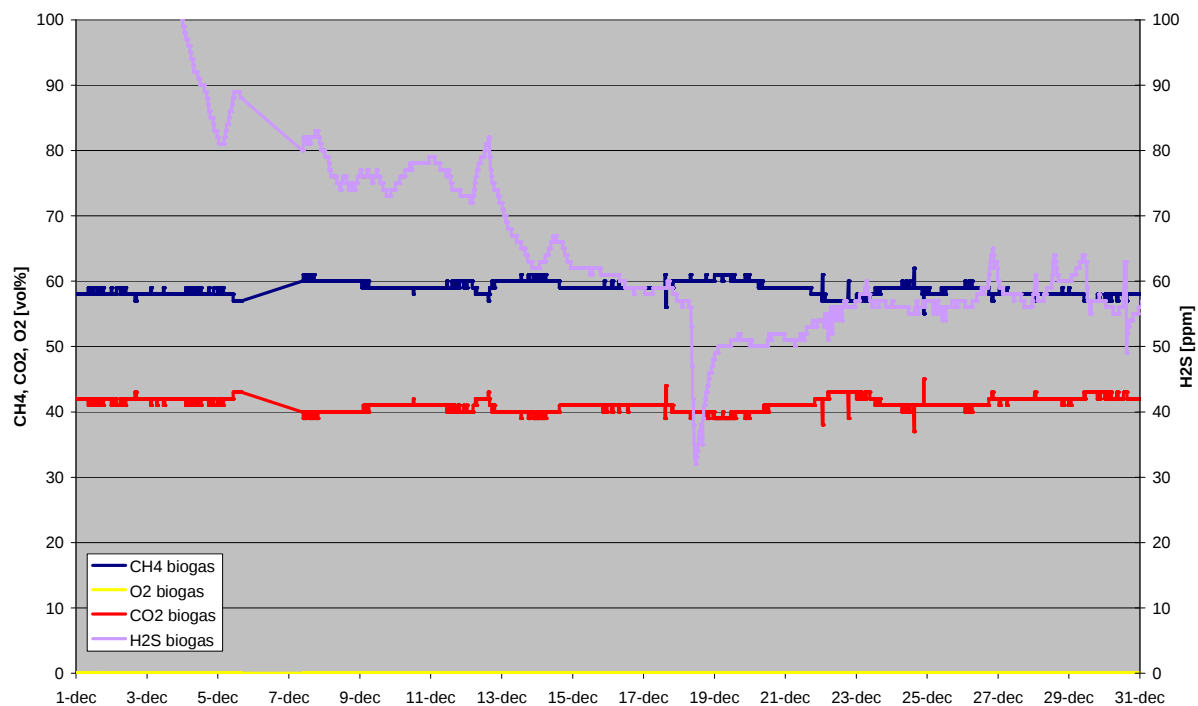


Fig. 4.1: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand december 2009.

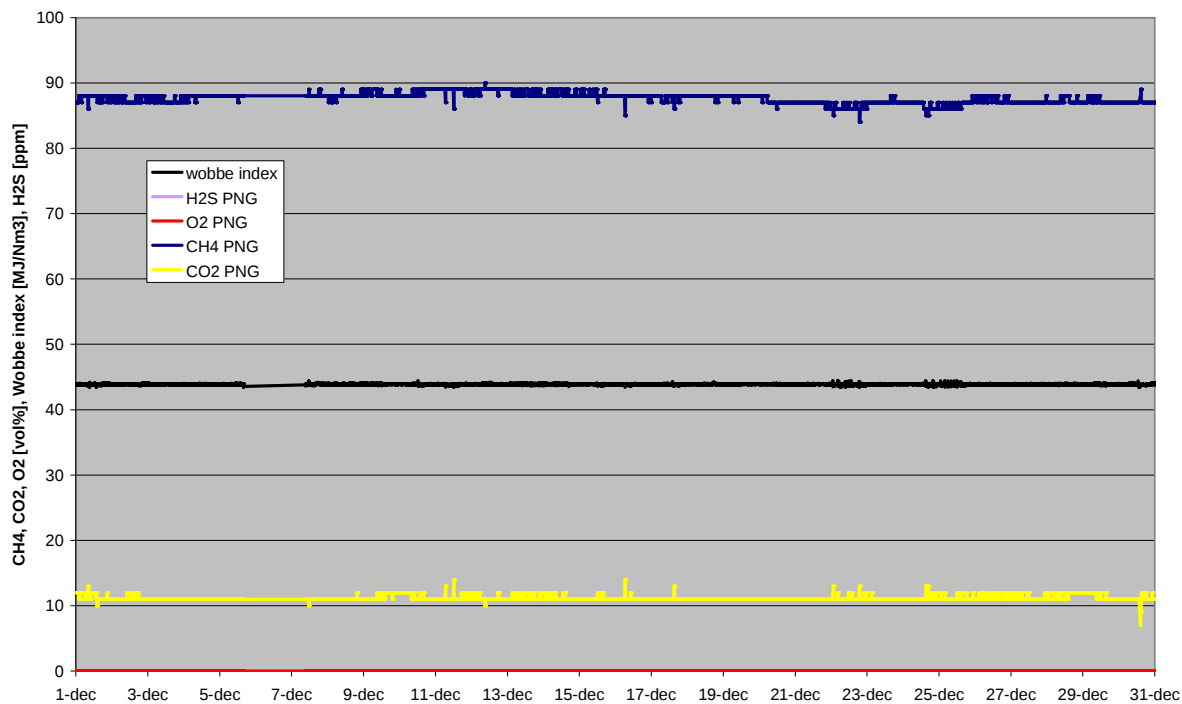


Fig. 4.2: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand december 2009.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	58,8	0,97
CO ₂	vol%	41,1	0,97
O ₂	vol%	0,0	0,0
H ₂ S	ppmv	69,3	21,8
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,08
CH ₄	vol%	87,6	0,79
CO ₂	vol%	11,2	0,43
O ₂	vol%	0,0	0,0
H ₂ S	ppmv	0,0	0,0

Tabel 4.1: Statistieken van de continu gemeten parameters voor de maand december 2009.

Bijzondere situaties:

- Van 5 tot 7 december heeft de installatie stil gestaan.

4.1.2. Januari 2010

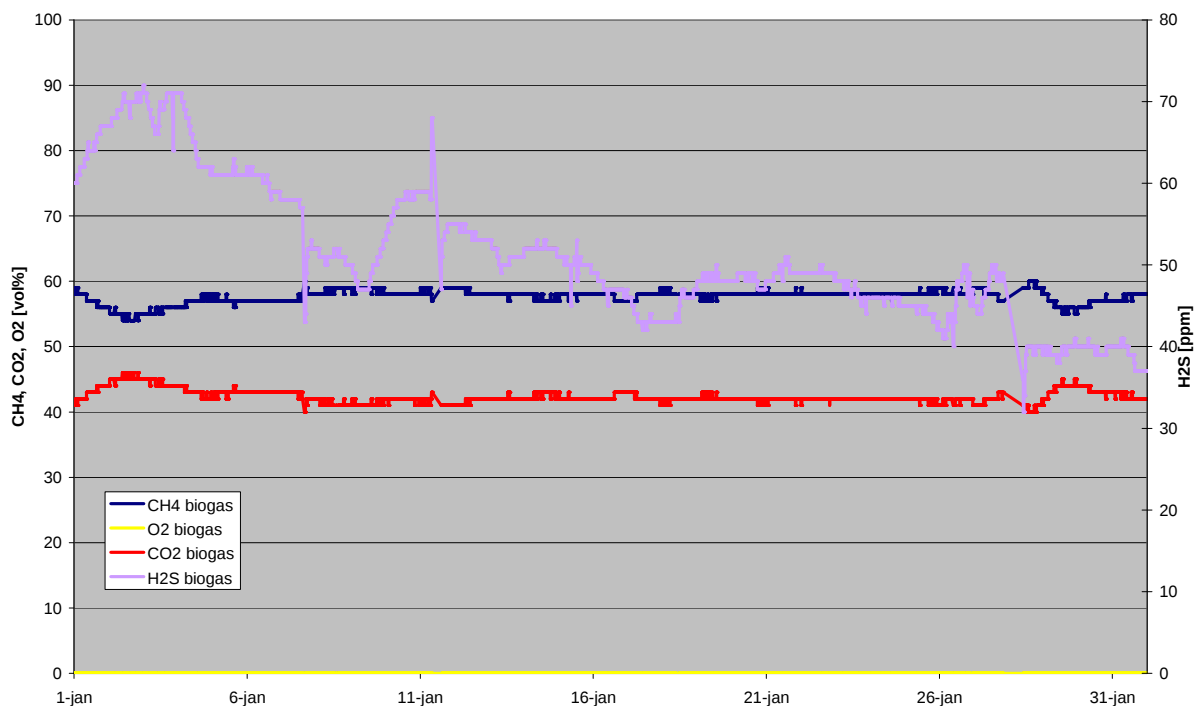


Fig. 4.3: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand januari 2010.

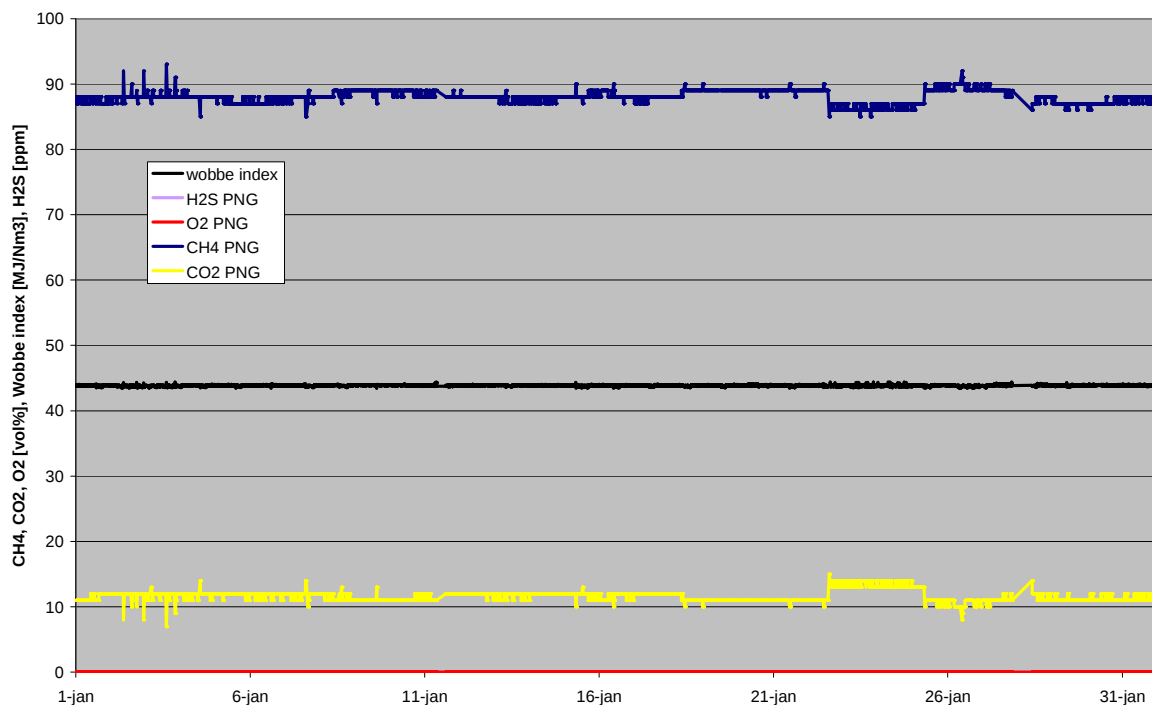


Fig. 4.4: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand januari 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	57,7	1,01
CO ₂	vol%	42,3	1,01
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	51,1	8,40
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,09
CH ₄	vol%	88,0	0,91
CO ₂	vol%	11,6	0,79
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

Tabel 4.2: Statistieken van de continu gemeten parameters voor de maand januari 2010.

Bijzondere situaties:

- Rond 28 januari heeft de installatie stil gestaan.

4.1.3. Februari 2010

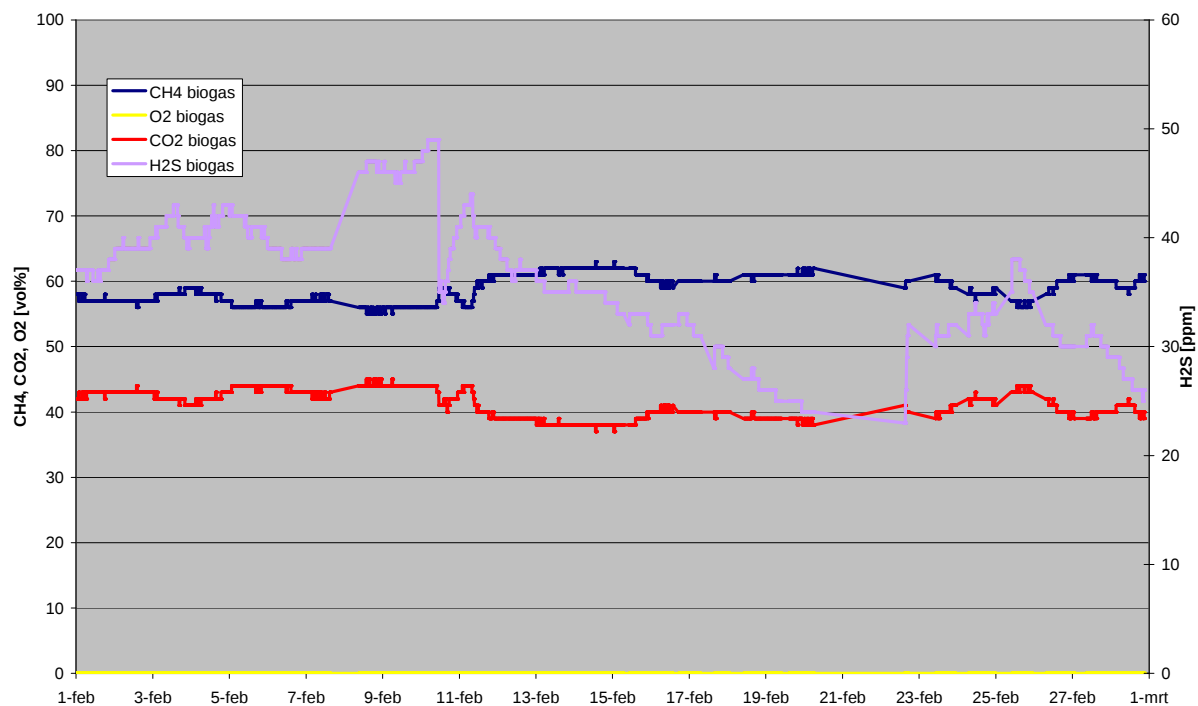


Fig. 4.5: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand februari 2010.

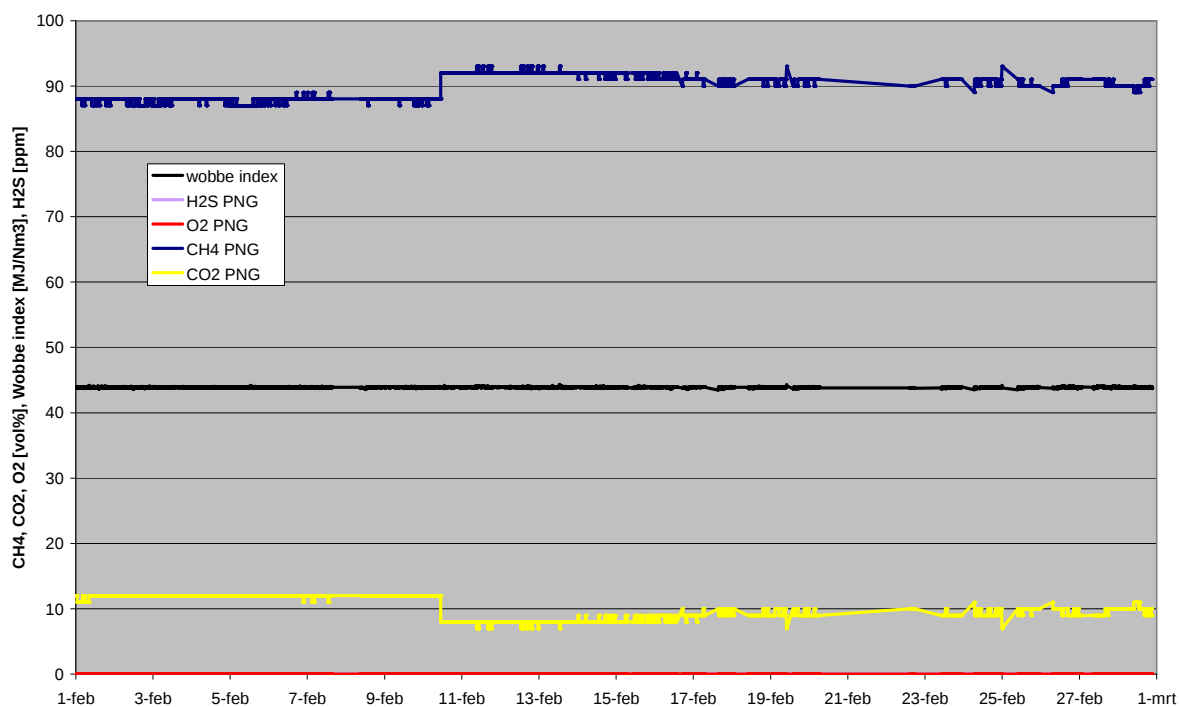


Fig. 4.6: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand februari 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	58,8	2,09
CO ₂	vol%	41,2	2,09
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	36,2	5,94
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,07
CH ₄	vol%	89,8	1,84
CO ₂	vol%	10,1	1,68
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

Tabel 4.3: Statistieken van de continu gemeten parameters voor de maand februari 2010.

Bijzondere situaties:

- Rond 21 februari heeft de installatie stil gestaan.
- Op 10 februari is de analyzer die de gassamenstelling analyseert gekalibreerd. Dit is vooral in Figuur 4.6 goed te zien: de gassamenstelling lijkt plotseling te veranderen zonder dat de Wobbe index wijzigt.

4.1.4. Maart 2010

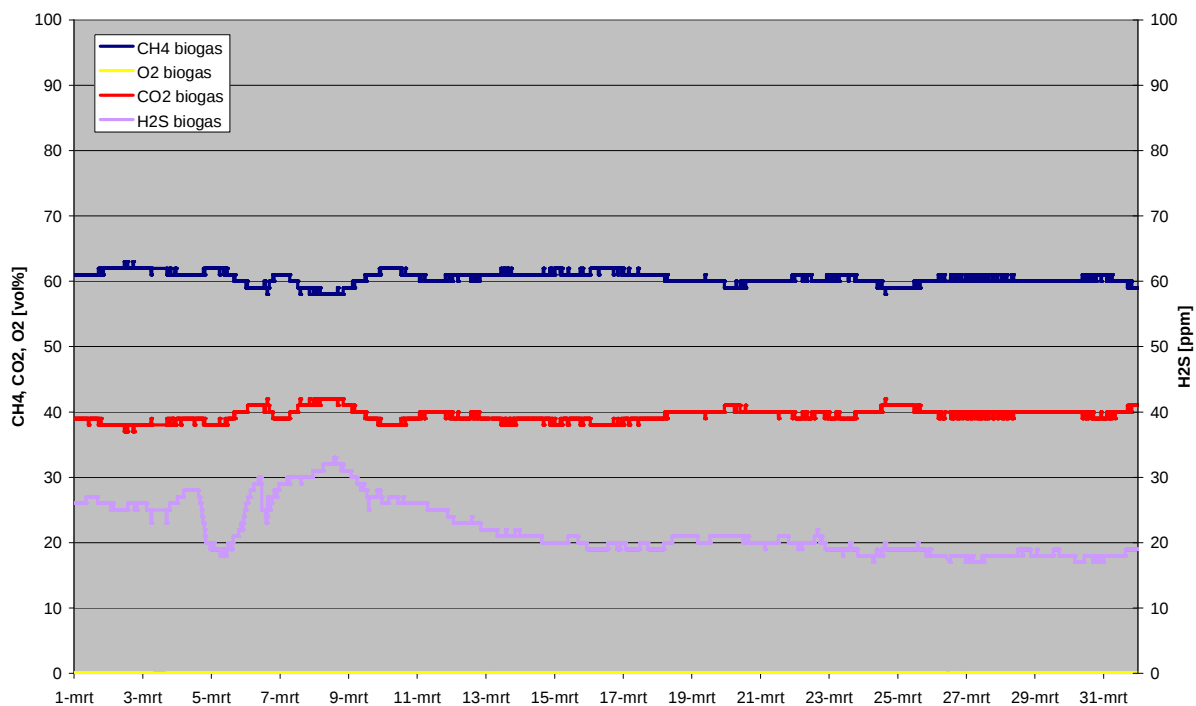


Fig. 4.7: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand maart 2010.

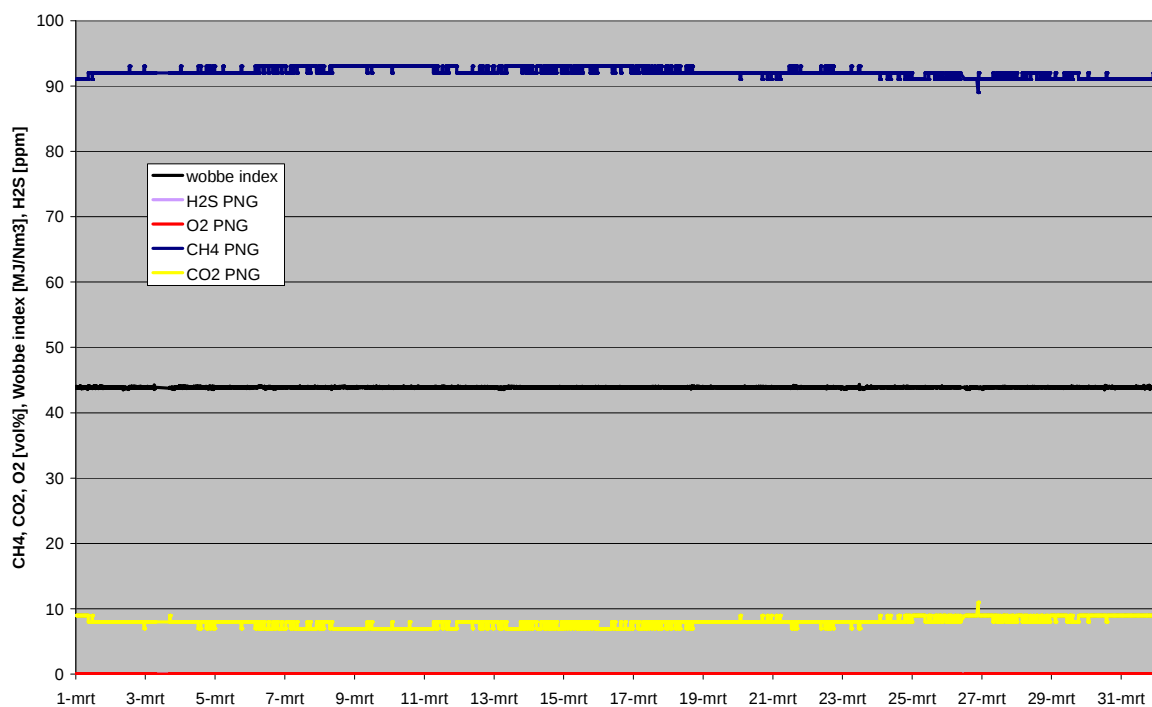


Fig. 4.8: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand maart 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<i><u>biogas:</u></i>			
CH ₄	vol%	60,5	0,96
CO ₂	vol%	39,5	0,97
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	22,0	4,00
<i><u>groen gas:</u></i>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,07
CH ₄	vol%	92,1	0,68
CO ₂	vol%	7,9	0,68
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

Tabel 4.4: Statistieken van de continu gemeten parameters voor de maand maart 2010.

Bijzondere situaties:

Er hebben zich in maart 2010 geen bijzondere situaties voorgedaan.

4.1.5. April 2010

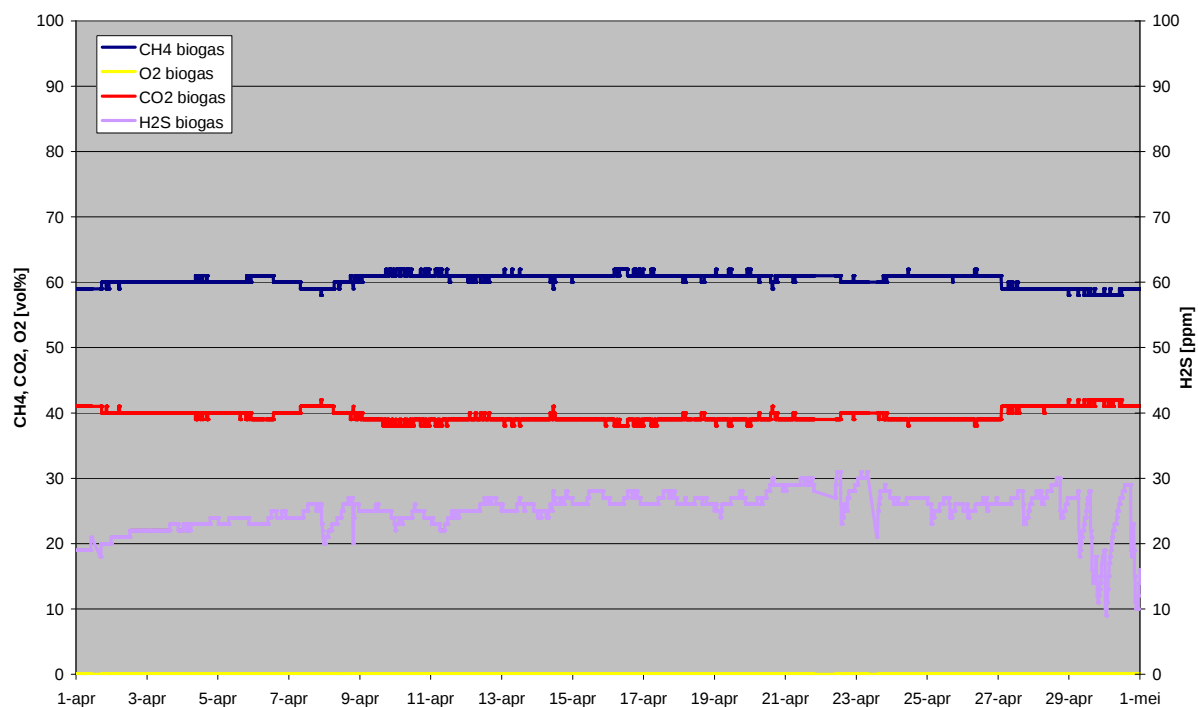


Fig. 4.9: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand april 2010.

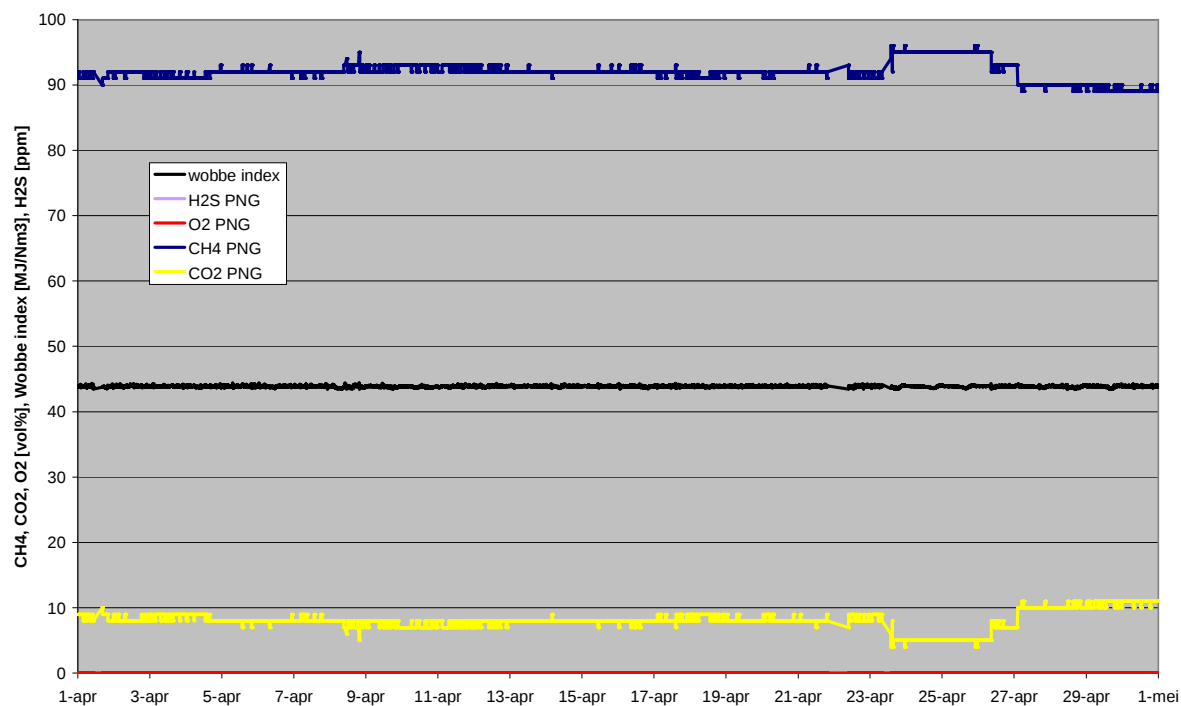


Fig. 4.10: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand april 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	60,4	0,91
CO ₂	vol%	39,6	0,91
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	25,1	2,9
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,12
CH ₄	vol%	92,0	1,40
CO ₂	vol%	8,1	1,41
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

Tabel 4.5: Statistieken van de continu gemeten parameters voor de maand april 2010.

Bijzondere situaties:

- Op 1, 22 en 23 april heeft de installatie een paar uur stil gestaan.

4.1.5. Mei 2010

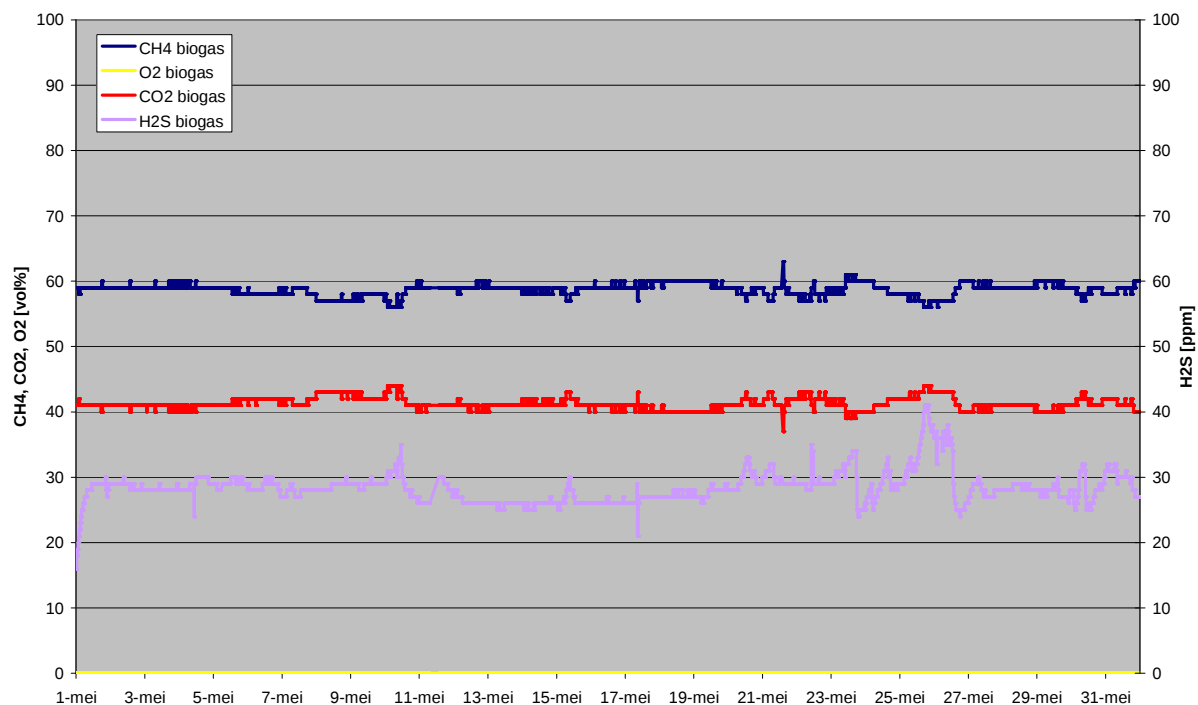


Fig. 4.11: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand mei 2010.

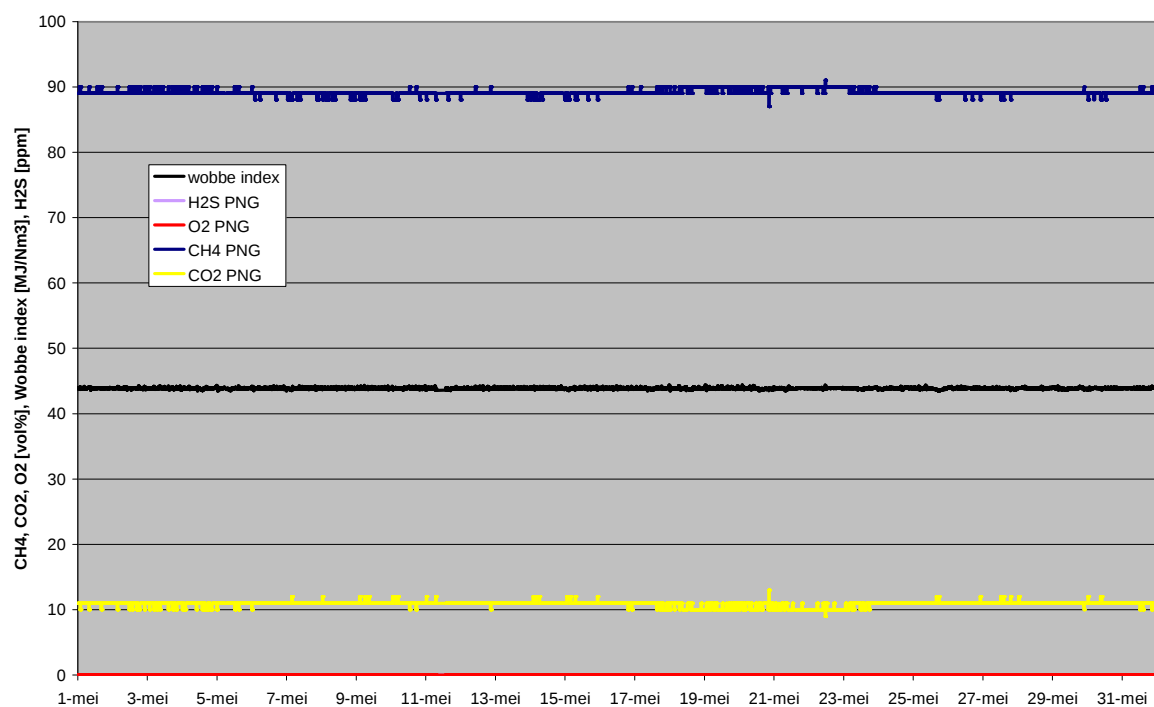


Fig. 4.12: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand mei 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	58,7	0,93
CO ₂	vol%	41,3	0,93
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	28,4	2,43
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,11
CH ₄	vol%	89,1	0,47
CO ₂	vol%	10,9	0,41
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

Tabel 4.6: Statistieken van de continu gemeten parameters voor de maand mei 2010.

Bijzondere situaties:

Er hebben zich in mei 2010 geen bijzondere situaties voorgedaan.

4.1.7. De volledige periode (december 2009 t/m mei 2010)

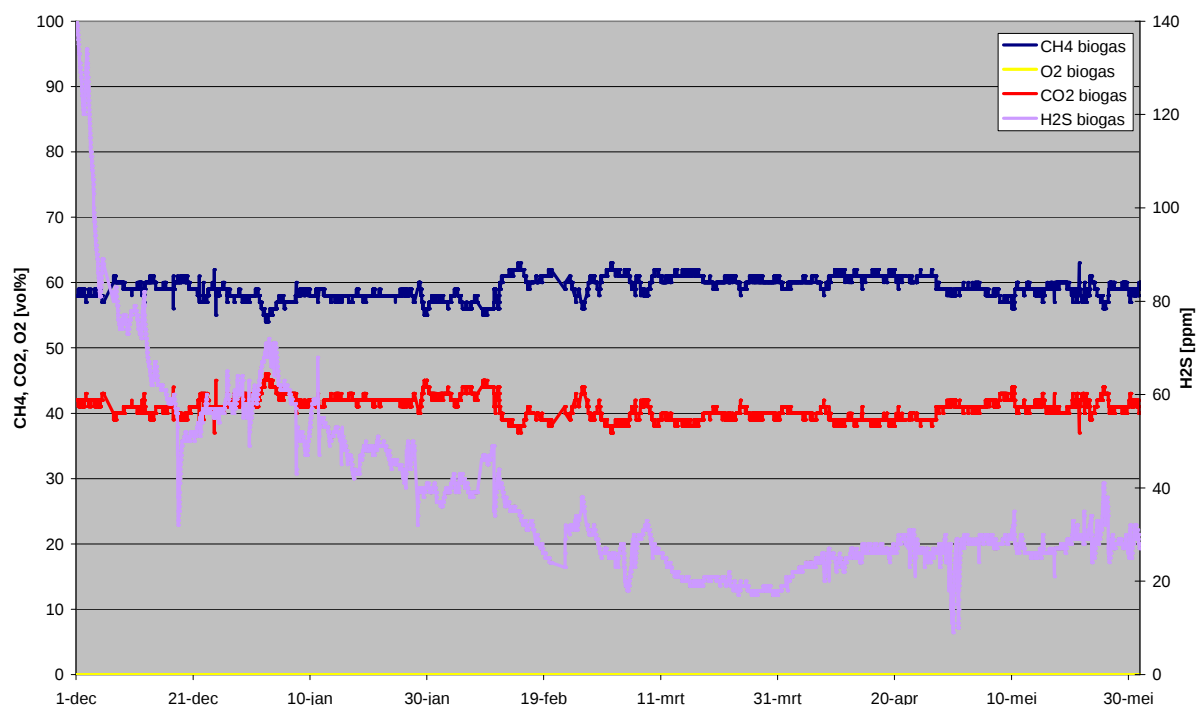


Fig. 4.13: Verloop biogassamenstelling gedurende de gehele periode.

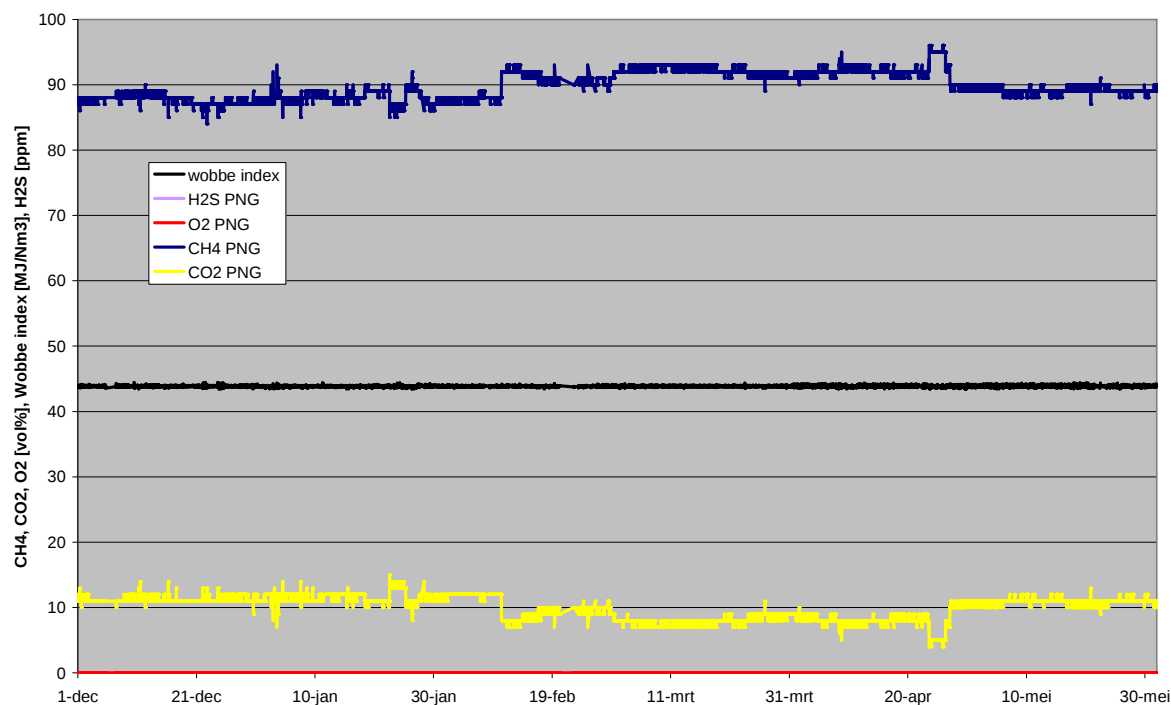


Fig. 4.14: Verloop groen gas samenstelling gedurende de gehele periode.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	59,2	1,55
CO ₂	vol%	40,8	1,55
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	38,6	19,8
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,10
CH ₄	vol%	89,8	2,07
CO ₂	vol%	9,9	1,78
O ₂	vol%	0,0	0,00
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

Tabel 4.7: Statistieken van de continu gemeten parameters voor de gehele periode.

Bijzondere situaties:

De bijzondere situaties staan per maand beschreven in §4.1.1-§4.1.6.

4.1.8. Meetdata voor een korte periode

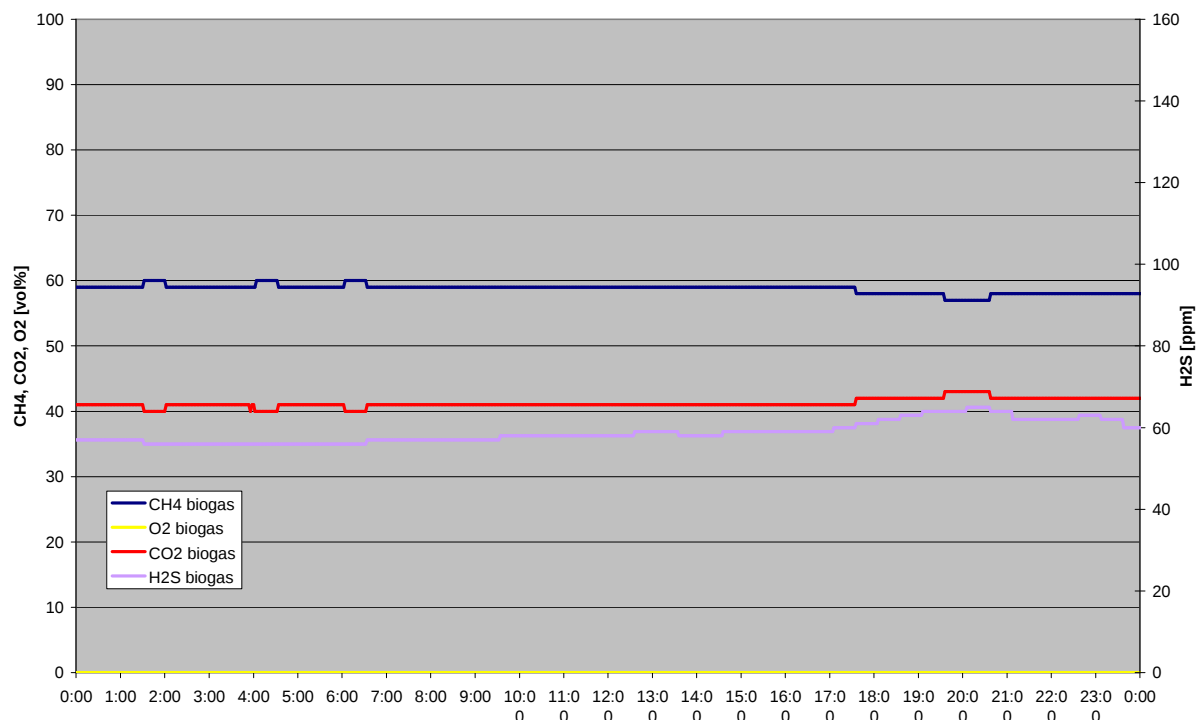


Fig. 4.15: Voorbeeld typisch verloop biogassamenstelling gedurende een periode van 24 uur.

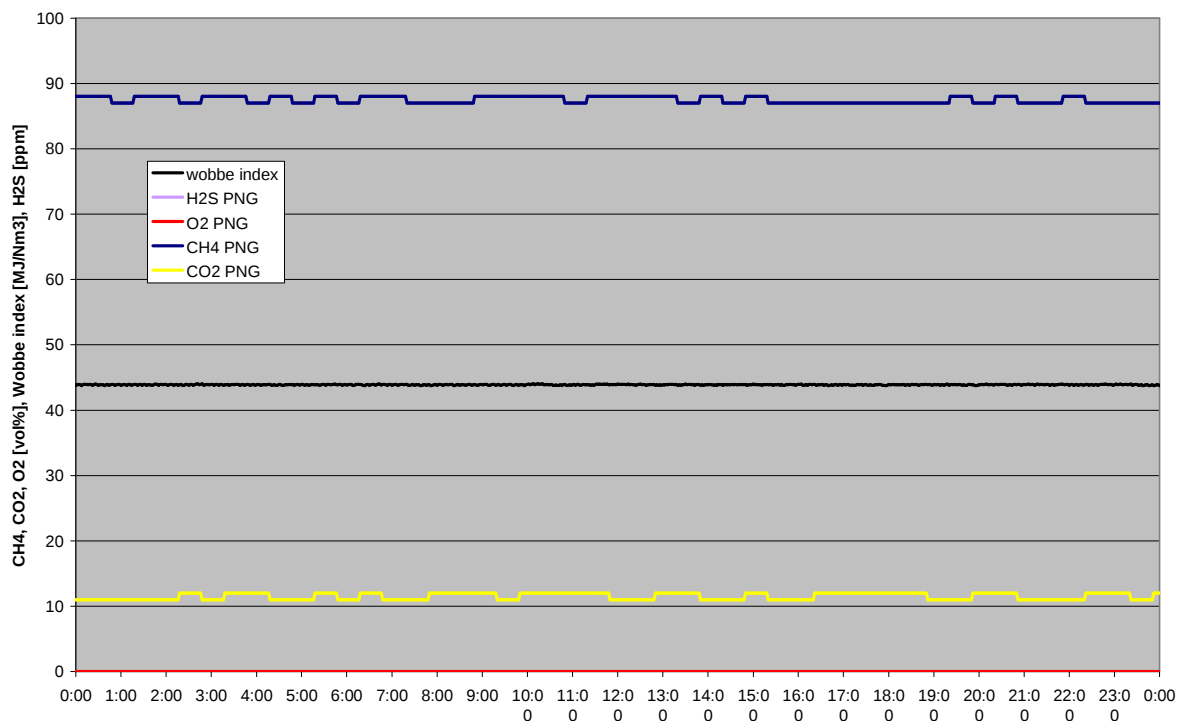


Fig. 4.16: Voorbeeld typisch verloop groen gas samenstelling gedurende een periode van 24 uur.

Doc. No. : SNMONBW.10.007 **Datum:** 23-06-2010
Auteur: M. Jonker **Pagina:** 28 van 66

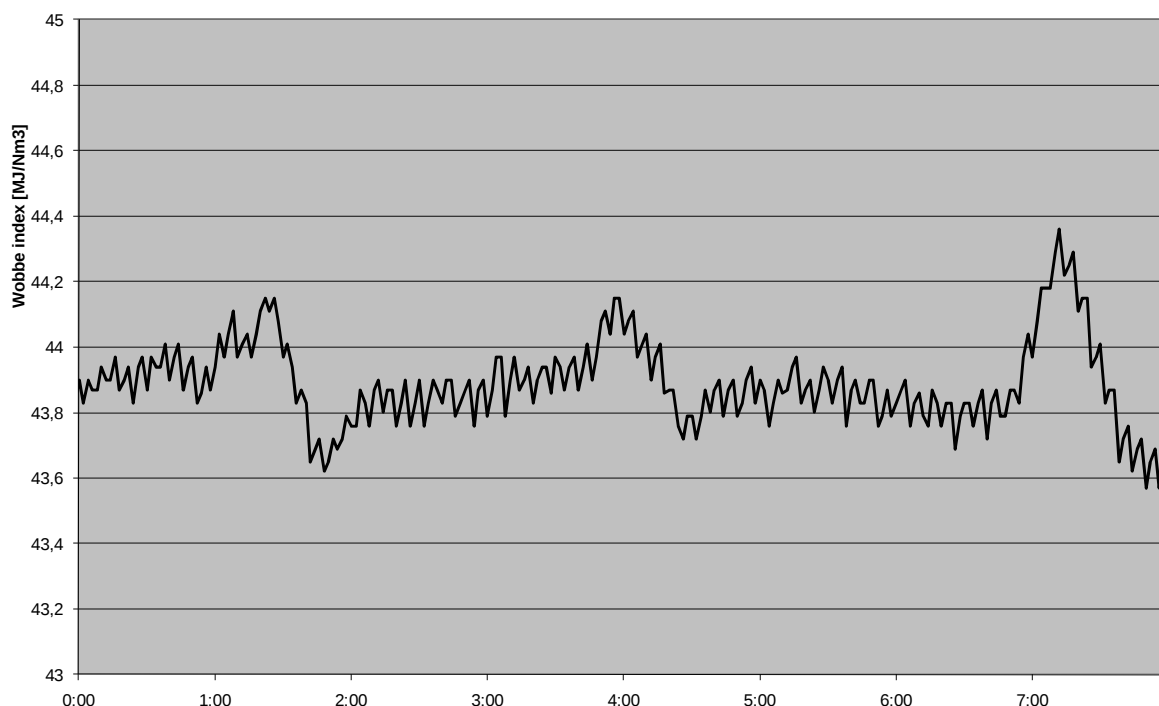


Fig. 4.17: Voorbeeld verloop Wobbe index bij een kleine procesverstoring (de installatie heeft tijdens een verandering in de doorzet even wat moeite om de Wobbe index constant te houden).

4.2. Uitgebreide analyses

De resultaten van de uitgebreide analyses staan in de onderstaande tabellen. De bijbehorende analyserapporten staan in Bijlage A.

		datum monstername: 26-1-2010		
Component	Eenheid	Biogas	Groen gas	Restgas
Helium	mol%	0,000	0,000	0,000
Waterstof	mol%	0,000	0,000	0,000
Zuurstof	mol%	0,000	0,000	0,000
Stikstof	mol%	0,633	0,634	0,537
Kooldioxide	mol%	38,134	10,669	78,077
Methaan	mol%	61,233	88,697	21,386
Ethaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Propaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2-Methylpropaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Butaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2,2-Dimethylpropaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2-Methylbutaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Pentaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Cyclopentaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2,2-Dimethylbutaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2,3-Dimethylbutaan + 2-Methylpentaan	mol%	0,000	0,000	0,000
3-Methylpentaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Hexaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Cyclohexaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Heptanen	mol%	0,000	0,000	0,000
Methyl-cyclohexaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Tolueen	mol%	0,000	0,000	0,000
Octaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Zwavelwaterstof	ppm mol	25,4	NA	41,3
Carbonylsulfide	ppm mol	NA	NA	NA

Methylmercaptaan	ppm mol	NA	NA	NA
Ethylmercaptaan	ppm mol	NA	NA	NA
Benzeen	ppm mol	<0,1	NA	NA
Tolueen	ppm mol	1,2	NA	0,2
Ethylbenzeen	ppm mol	0,1	NA	<0,1
Xylenen	ppm mol	<0,1	NA	NA
D4-siloxaan	mg/m ³ _n	<5	NA	<5
D5-siloxaan	mg/m ³ _n	18,8	NA	1,6
waterstofchloride	ppm v/v	<0,7	<0,7	
waterstoffluoride	ppm v/v	<0,1	<0,1	
waterstofcyanide	ppm v/v	0,146	<0,01	
ammoniak	ppm v/v	2,1	<1,8	
Calorische bovenwaarde (H _s)	MJ/m ³	24,42	35,34	8,55
Calorische onderwaarde (H _i)	MJ/m ³	22,01	31,85	7,7
H _i /H _s	-	0,9012	0,9012	0,9012
Wobbe index	MJ/m ³	25,36	43,47	7,45
Relatieve dichtheid	-	0,9277	0,6610	1,3166
Dichtheid	kg/m ³	1,1995	0,8546	1,7023

Tabel 4.8: Resultaten van de uitgebreide analyses d.d. 26-1-2010. NA = Niet Aantoonbaar.

		datum monstername: 21-4-2010		
Component	Eenheid	Biogas	Groen gas	Restgas
Helium	mol%	0,000	0,000	0,000
Waterstof	mol%	0,000	0,000	0,000
Zuurstof	mol%	0,061	0,081	0,162
Stikstof	mol%	0,844	0,936	0,844
Kooldioxide	mol%	36,779	10,316	78,859
Methaan	mol%	62,316	88,667	20,135
Ethaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Propaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2-Methylpropaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Butaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2,2-Dimethylpropaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2-Methylbutaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Pentaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Cyclopentaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2,2-Dimethylbutaan	mol%	0,000	0,000	0,000
2,3-Dimethylbutaan + 2-Methylpentaan	mol%	0,000	0,000	0,000
3-Methylpentaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Hexaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Cyclohexaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Heptanen	mol%	0,000	0,000	0,000
Methyl-cyclohexaaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Tolueen	mol%	0,000	0,000	0,000
Octaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Zwavelwaterstof	ppm mol	30,1	NA	45,8
Carbonylsulfide	ppm mol	NA	NA	NA
Methylmercaptaan	ppm mol	NA	NA	NA
Ethylmercaptaan	ppm mol	NA	NA	NA
Benzeen	ppm mol	<0,1	NA	<0,1
Tolueen	ppm mol	2,0	NA	0,5
Ethylbenzeen	ppm mol	<0,1	NA	<0,1
Xylenen	ppm mol	0,2	NA	<0,1

D4-siloxaan	mg/m ³ _n	<5	NA	<5
D5-siloxaan	mg/m ³ _n	20,4	NA	<5
waterstofchloride	ppm v/v			
waterstoffluoride	ppm v/v			
waterstofcyanide	ppm v/v			
ammoniak	ppm v/v			
Calorische bovenwaarde (H _s)	MJ/m ³	24,85	35,33	8,05
Calorische onderwaarde (H _i)	MJ/m ³	22,40	31,84	7,25
H _i /H _s	-	0,9012	0,9012	0,9012
Wobbe index	MJ/m ³	25,97	43,51	6,99
Relatieve dichtheid	-	0,9157	0,6593	1,3264
Dichtheid	kg/m ³	1,1840	0,8524	1,7149

Tabel 4.9: Resultaten van de uitgebreide analyses d.d. 21-4-2010. NA = Niet Aantoonbaar.

4.3. Pathogenenanalyses

De resultaten van de pathogenenanalyses staan in de onderstaande tabellen. De bijbehorende analyserapporten staan in Bijlage B.

BACTERIËN				
Monster	Datum monstername	Detectie limiet	Totaal bacteriën	Eenheid
groen gas (1)	26-1-2010	32	NA	cellen/liter gas
groen gas (2)	26-1-2010	74	NA	cellen/liter gas
biogas (3)	26-1-2010	59	NA	cellen/liter gas
biogas (4)	26-1-2010	74	NA	cellen/liter gas
blanco	26-1-2010	6200	NA	cellen/totaal

Tabel 4.10: Resultaten van de pathogenenanalyses voor bacteriën. NA = Niet Aantoonbaar.

ARCHAEA				
Monster	Datum monstername	Detectie limiet	Totaal archaea	Eenheid
groen gas (1)	26-1-2010	4,4	NA	cellen/liter gas
groen gas (2)	26-1-2010	3,5	NA	cellen/liter gas
biogas (3)	26-1-2010	8,3	NA	cellen/liter gas
biogas (4)	26-1-2010	3,5	NA	cellen/liter gas
blanco	26-1-2010	870	NA	cellen/totaal

Tabel 4.11: Resultaten van de pathogenenanalyses voor archaea. NA = Niet Aantoonbaar.

FUNGI				
Monster	Datum monstername	Detectie limiet	Totaal fungi	Eenheid
groen gas (1)	26-1-2010	0,04	NA	cellen/liter gas
groen gas (2)	26-1-2010	0,03	NA	cellen/liter gas
biogas (1)	26-1-2010	0,08	NA	cellen/liter gas
biogas (2)	26-1-2010	0,03	NA	cellen/liter gas
blanco	26-1-2010	8,7	NA	cellen/totaal

Tabel 4.12: Resultaten van de pathogenenanalyses voor fungi. NA = Niet Aantoonbaar.

5. Massa- & energiebalans en kengetallen

In dit hoofdstuk wordt de overall massa- en energiebalans voor de opwerkingsinstallatie gegeven, alsmede de volgende kengetallen:

- **Methaanslip:** gedefinieerd als het percentage van het in het biogas aanwezige methaan dat naar de atmosfeer gespuid wordt.
- **Methaanrendement:** gedefinieerd als het percentage van het in het biogas aanwezige methaan dat in het groen gas terecht komt.
- **Overall energetisch rendement:** gedefinieerd als het percentage van de energie die de installatie ingaat dat weer nuttig gebruikt wordt.
- **Gas energetisch rendement:** gedefinieerd als het percentage van de energie in het biogas dat in het groen gas terechtkomt
- **Specifiek elektriciteitsverbruik:** gedefinieerd als het aantal kWh elektriciteit nodig om 1Nm³ groen gas te maken
- **Specifiek warmteverbruik:** gedefinieerd als het aantal kWh warmte nodig om 1Nm³ groen gas te maken
- **Specifiek energieverbruik:** gedefinieerd als het aantal kWh energie nodig om 1Nm³ groen gas te maken

Al deze zaken worden zowel per maand gegeven in §5.1 t/m §5.6, en voor de gehele periode van 6 maanden in §5.7. De onderliggende berekeningen staan in detail beschreven in Bijlage C (massabalans), Bijlage D (energiebalans) en Bijlage E (kengetallen).

5.1. December 2009

5.1.1. Massabalans

In onderstaand schema staat een overall massabalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand december 2009.

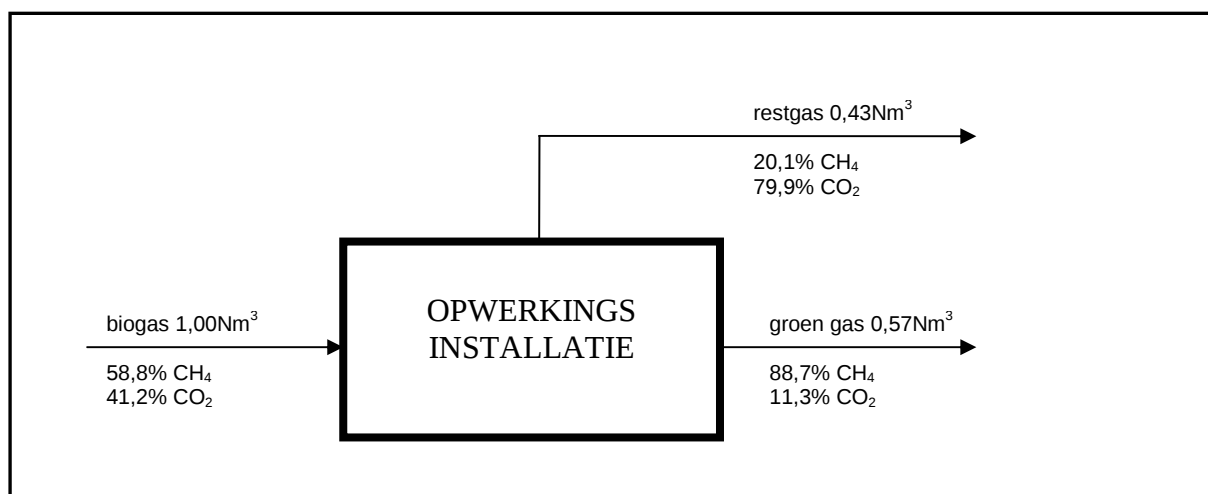


Fig. 5.1: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand december 2009.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,0%¹
- Methaanrendement: 85,1%

¹ Er zit weliswaar CH₄ in het restgas, maar dit wordt volledig verbrand in de combuster. Er gaat dus geen methaan naar de atmosfeer.

5.1.2. Energiebalans

In onderstaand schema staat een overall energiebalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand december 2009.

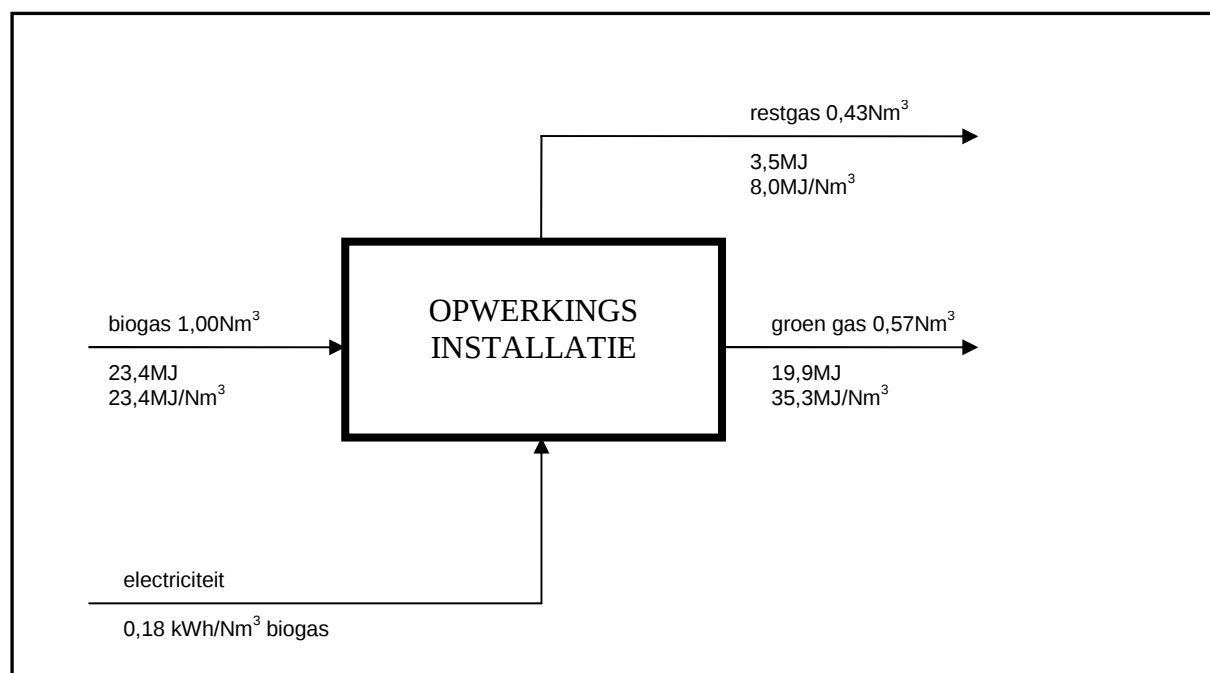


Fig. 5.2: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand december 2009.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 97,4%
- Gas energetisch rendement: 85,1%
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,31kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek energieverbruik: 0,31kWh/Nm³ groen gas

5.2. Januari 2010

5.2.1. Massabalans

In onderstaand schema staat een overall massabalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand januari 2010. Voor de gassamenstelling zijn deze maand de resultaten van de uitgebreide analyses d.d. 26 januari gebruikt (zie §4.2).

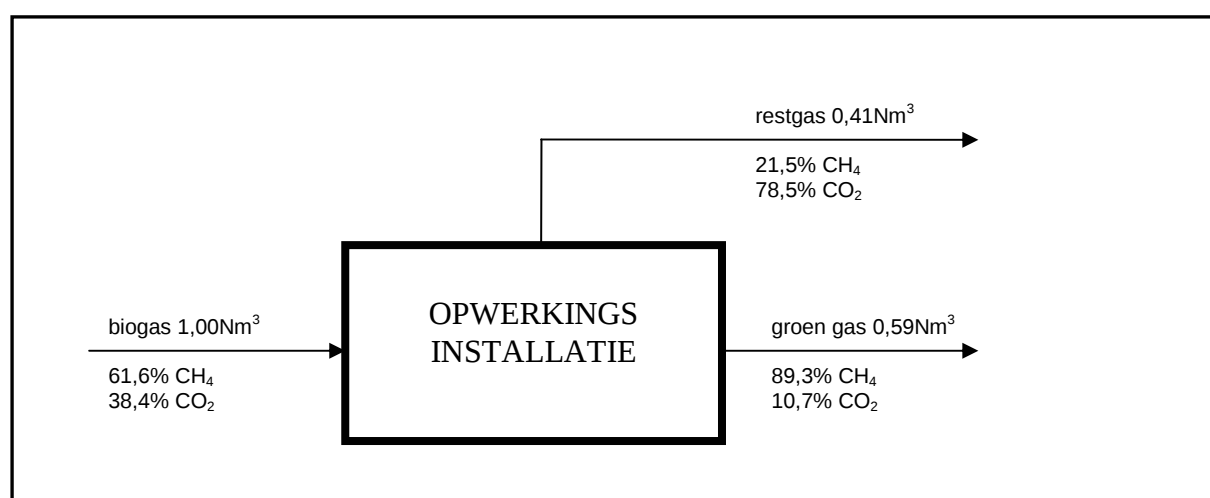


Fig. 5.3: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand januari 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,0%¹
- Methaanrendement: 85,8%

¹ Er zit weliswaar CH₄ in het restgas, maar dit wordt volledig verbrand in de combuster. Er gaat dus geen methaan naar de atmosfeer.

5.2.2. Energiebalans

In onderstaand schema staat een overall energiebalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand januari 2010.

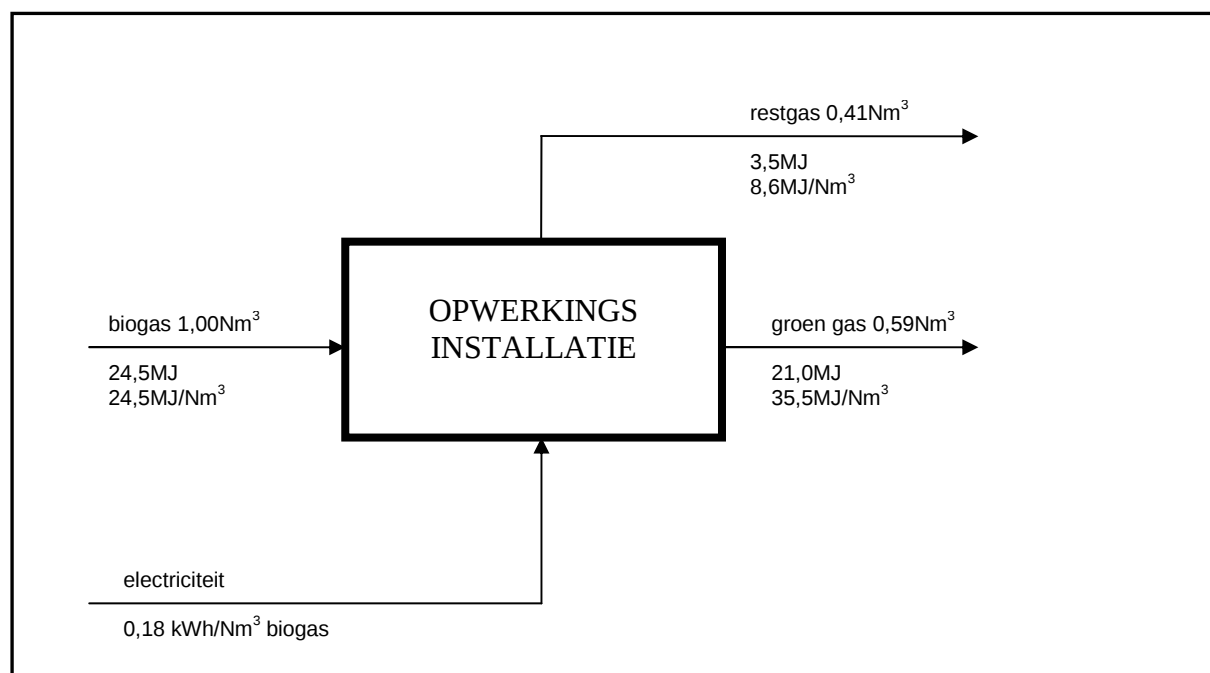


Fig. 5.4: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand januari 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 97,5%
- Gas energetisch rendement: 85,8%
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek energieverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas

5.3. Februari 2010

5.3.1. Massabalans

In onderstaand schema staat een overall massabalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand februari 2010.

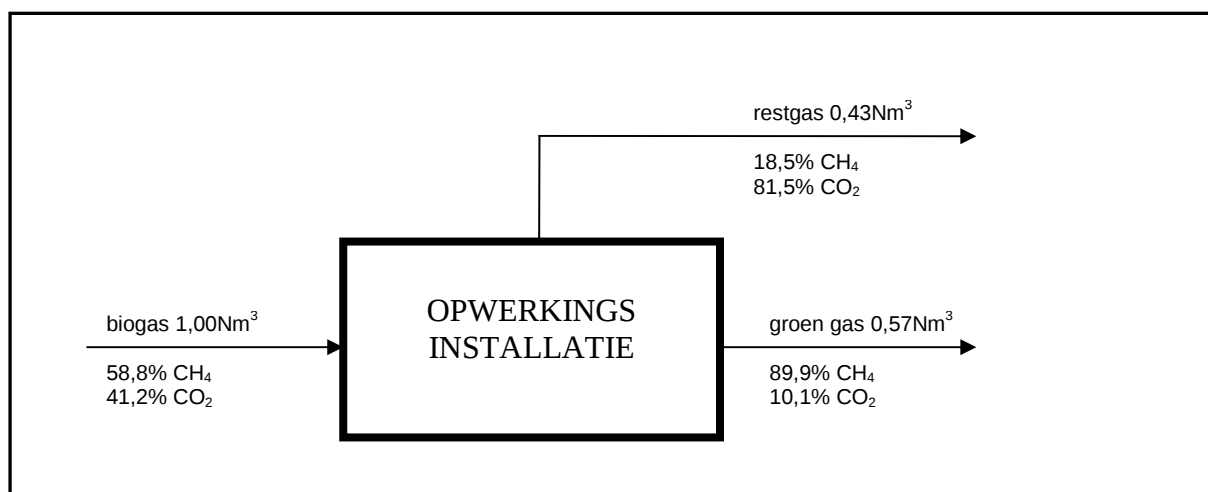


Fig. 5.5: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand februari 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,0%¹
- Methaanrendement: 86,3%

¹ Er zit weliswaar CH₄ in het restgas, maar dit wordt volledig verbrand in de combuster. Er gaat dus geen methaan naar de atmosfeer.

5.3.2. Energiebalans

In onderstaand schema staat een overall energiebalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand februari 2010.

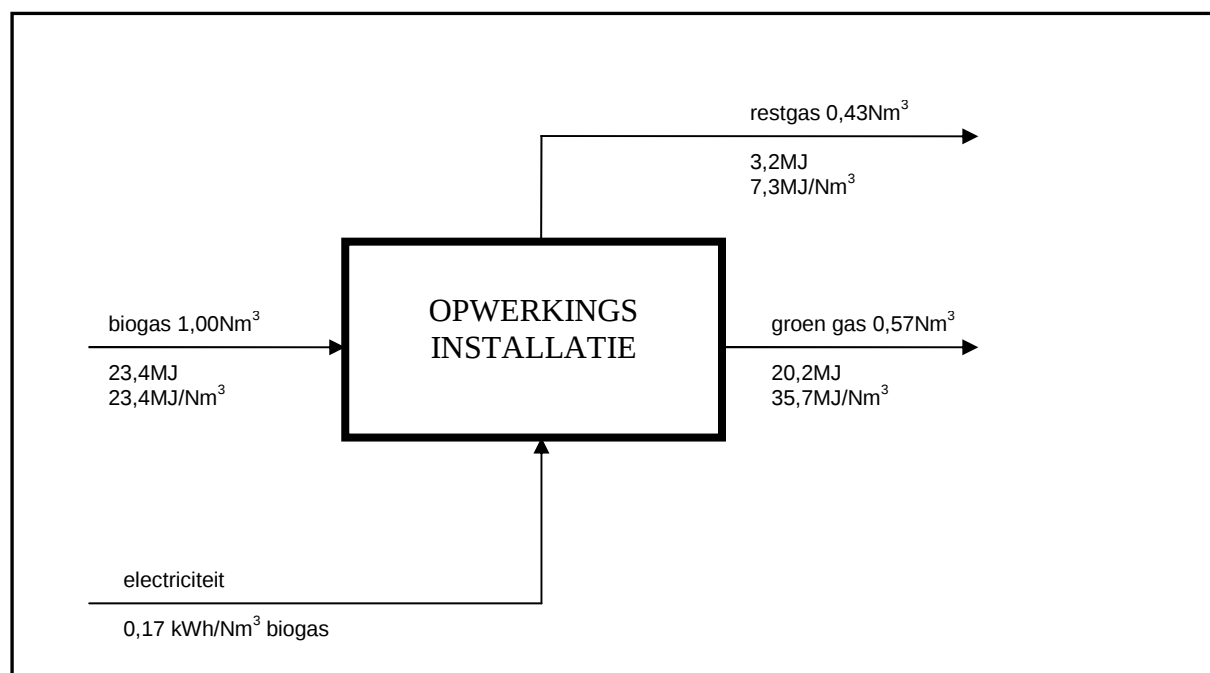


Fig. 5.6: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand februari 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 97,5%
- Gas energetisch rendement: 86,3%
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek energieverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas

5.4. Maart 2010

5.4.1. Massabalans

In onderstaand schema staat een overall massabalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand maart 2010.

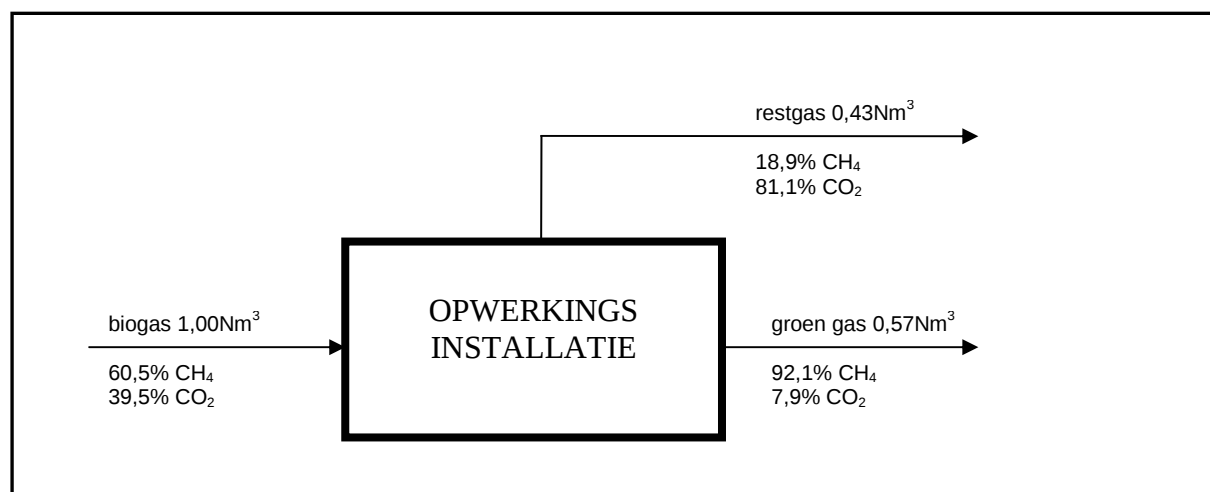


Fig. 5.7: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand maart 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,0%¹
- Methaanrendement: 86,5%

¹ Er zit weliswaar CH₄ in het restgas, maar dit wordt volledig verbrand in de combuster. Er gaat dus geen methaan naar de atmosfeer.

5.4.2. Energiebalans

In onderstaand schema staat een overall energiebalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand maart 2010.

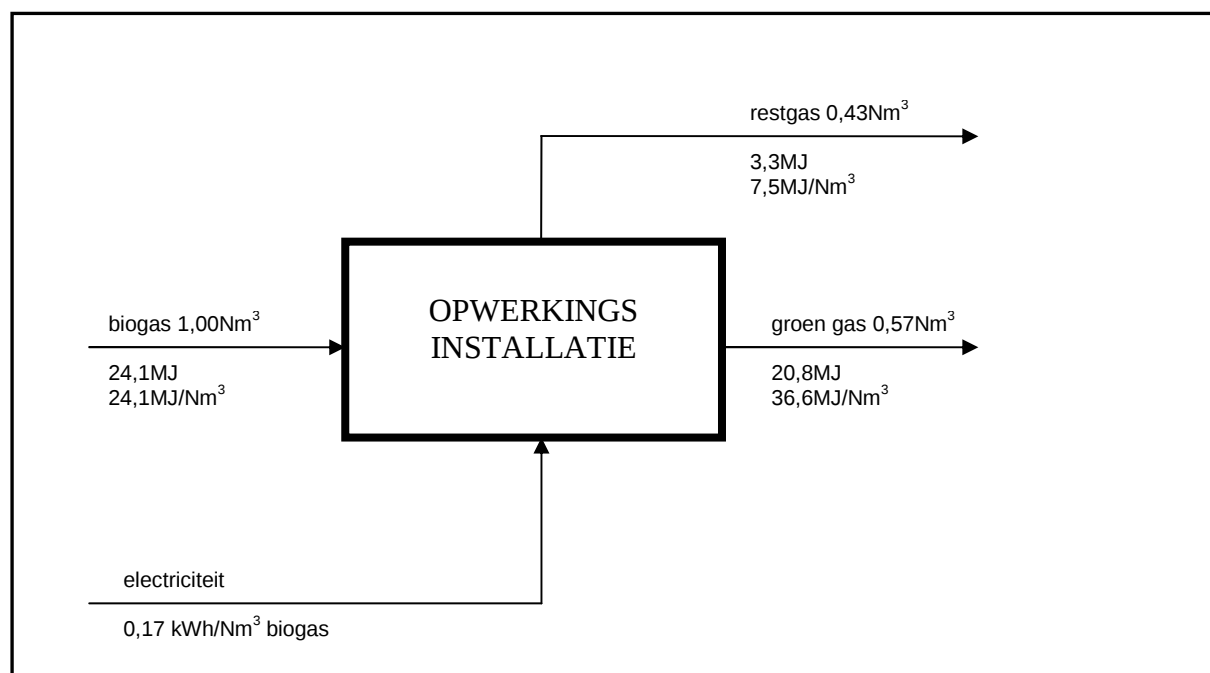


Fig. 5.8: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand maart 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 97,5%
- Gas energetisch rendement: 86,5%
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek energieverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas

5.5. April 2010

5.5.1. Massabalans

In onderstaand schema staat een overall massabalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand april 2010. Voor de gassamenstelling zijn deze maand de resultaten van de uitgebreide analyses d.d. 21 april gebruikt (zie §4.2).

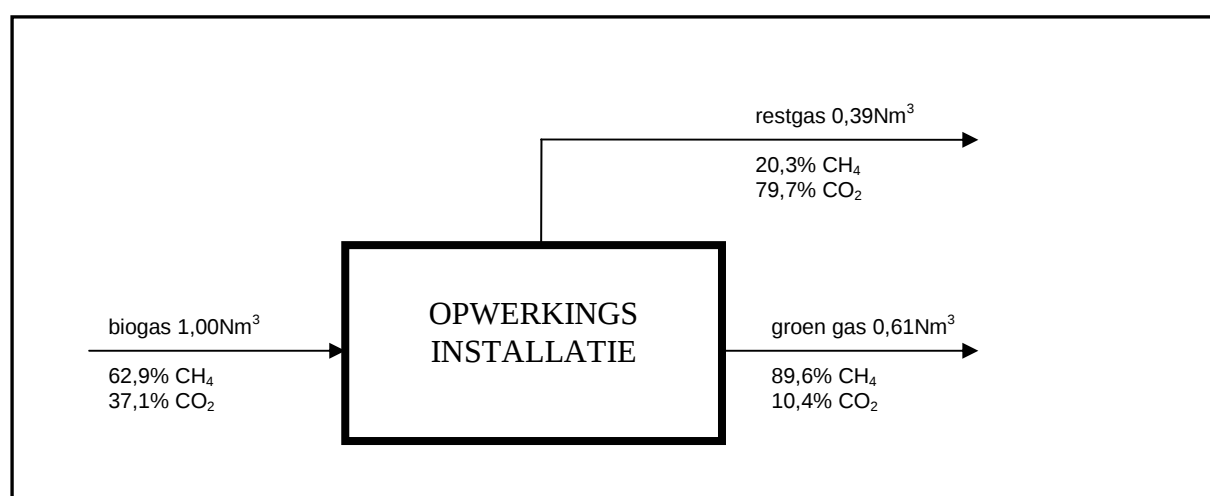


Fig. 5.9: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand april 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,0%¹
- Methaanrendement: 87,5%

¹ Er zit weliswaar CH₄ in het restgas, maar dit wordt volledig verbrand in de combuster. Er gaat dus geen methaan naar de atmosfeer.

5.5.2. Energiebalans

In onderstaand schema staat een overall energiebalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand april 2010.

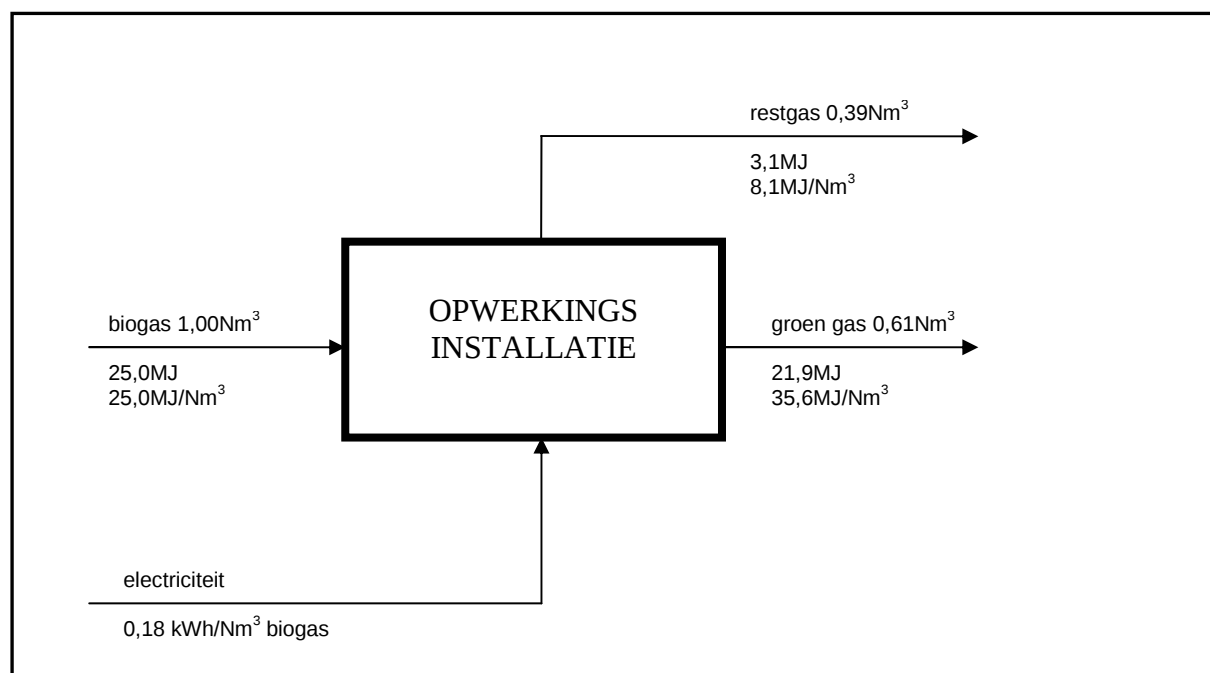


Fig. 5.10: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand april 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 97,5%
- Gas energetisch rendement: 87,5%
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek energieverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas

5.6. Mei 2010

5.6.1. Massabalans

In onderstaand schema staat een overall massabalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand mei 2010.

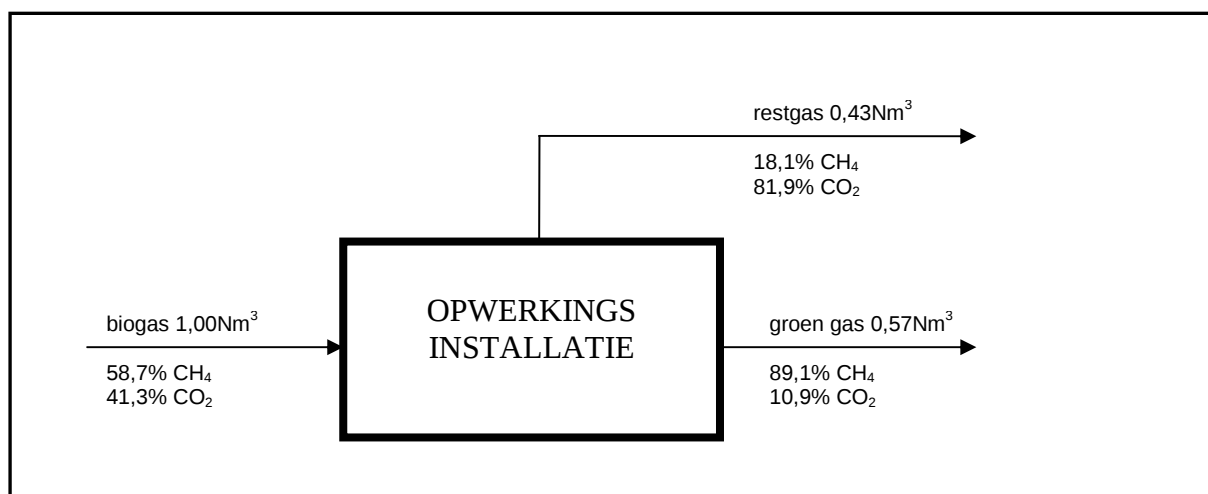


Fig. 5.11: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand mei 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,0%¹
- Methaanrendement: 86,8%

¹ Er zit weliswaar CH₄ in het restgas, maar dit wordt volledig verbrand in de combuster. Er gaat dus geen methaan naar de atmosfeer.

5.6.2. Energiebalans

In onderstaand schema staat een overall energiebalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de maand mei 2010.

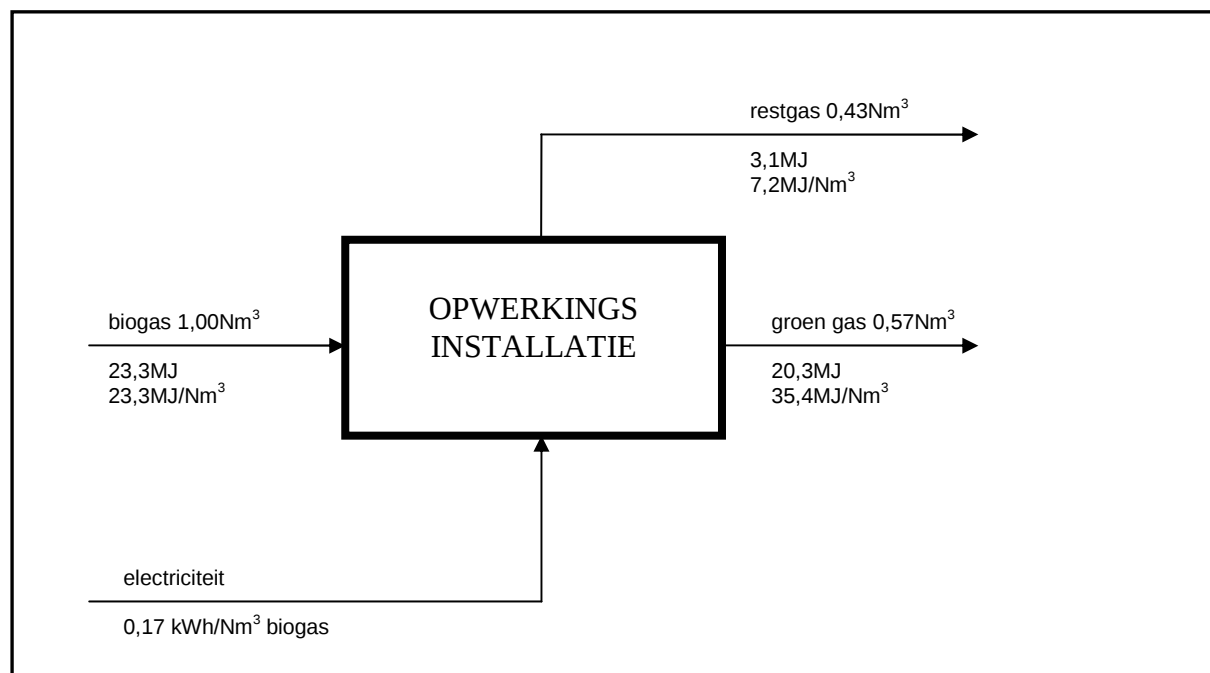


Fig. 5.12: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand mei 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 97,4%
- Gas energetisch rendement: 86,8%
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek energieverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas

5.7. De volledige periode (december 2009 t/m mei 2010)

5.7.1. Massabalans

In onderstaand schema staat een overall massabalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de gehele monitoring periode (december 2009 t/m mei 2010).

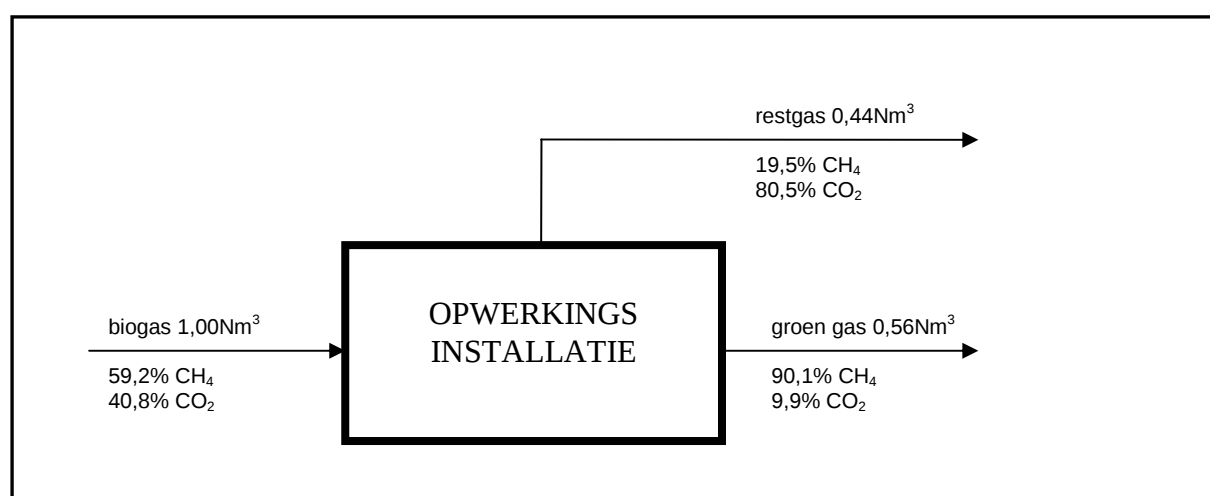


Fig. 5.13: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de gehele periode.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,0%¹
- Methaanrendement: 85,6%

¹ Er zit weliswaar CH₄ in het restgas, maar dit wordt volledig verbrand in de combuster. Er gaat dus geen methaan naar de atmosfeer.

5.7.2. Energiebalans

In onderstaand schema staat een overall energiebalans voor de opwerkingsinstallatie, gebaseerd op de meetgegevens van de gehele monitoring periode (december 2009 t/m mei 2010).

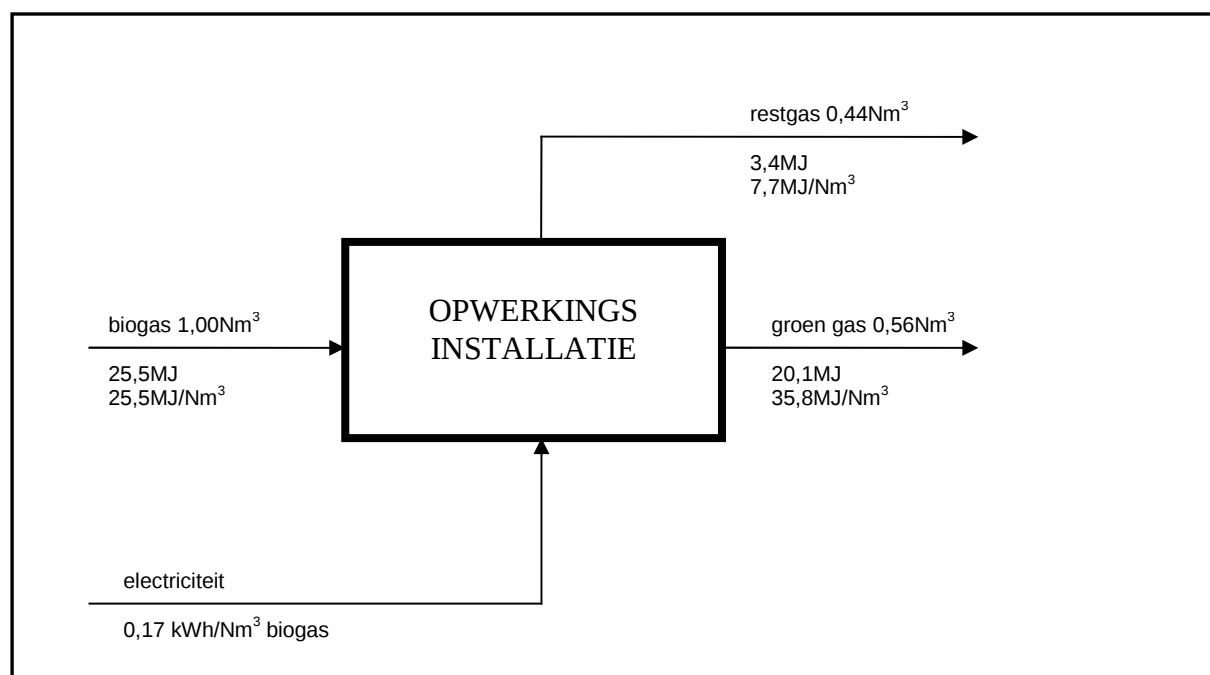


Fig. 5.14: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de gehele periode.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 97,5%
- Gas energetisch rendement: 85,6%
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ groen gas
- Specifiek energieverbruik: 0,30kWh/Nm³ groen gas

6. Discussie en conclusies

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van de in dit rapport gepresenteerde metingen en berekeningen besproken.

6.1. De analyseresultaten

De continue metingen laten zien dat de samenstelling van het biogas vrijwel constant is gebleven over de gehele periode: 60% CH₄ en 40% CO₂. Alleen het H₂S-gehalte fluctueert nogal. Seizoensinvloeden op de biogassamenstelling zijn niet gevonden.

Snelle fluctuaties in de gassamenstelling van het biogas en het groen gas zijn niet gevonden. Vergisting is een heel traag proces met lange verblijftijden, waardoor de samenstelling van het biogas slechts zeer langzaam verandert. Hierdoor hoeft de opwerkingsinstallatie ook maar heel langzaam bij te regelen, waardoor ook geen korte termijn fluctuaties in de samenstelling van het groen gas optreden.

De uitgebreide gasanalyses tonen aan dat het biogas vrijwel uitsluitend uit CH₄ en CO₂ bestaat. Verder zit er alleen een klein beetje stikstof in (<1%). Ook de analyse van sporencomponenten laat weinig verontreiniging zien: eigenlijk zijn alleen H₂S en siloxanen in significante hoeveelheden aanwezig. De analyseresultaten laten zien dat deze volledig door de opwerkingsinstallatie uit het gas worden verwijderd.

Pathogenen zijn niet aangetroffen in het biogas en daardoor uiteraard ook niet in het groen gas. Hierdoor kan er niets gezegd worden over in hoeverre deze opwerkingsinstallatie pathogenen uit het biogas kan verwijderen.

6.2. De massa- & energiebalansen

De massabalansen laten zien dat zo'n 86%-87% van het methaan uit het biogas in het groen gas terecht komt; de rest komt in het restgas terecht. Hierdoor is de groen gas productie per m³ biogas lager dan bij de meeste andere opwerkingstechnieken. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat deze installatie een 1-traps membraaninstallatie is. Tegenwoordig worden membraaninstallaties veelal uitgerust met een 2-traps membraan, waardoor het methaanverlies kleiner is.

Het overall energetisch rendement is desondanks heel hoog, omdat het methaan in het restgas verbrand wordt om de vergister mee te verwarmen. Op de zuivering in Beverwijk zou het dus niet veel uithalen om de installatie te vervangen door een installatie met een hoger methaanrendement, omdat er dan meer biogas verstoekt zou moeten worden om de vergister te verwarmen, waardoor de groen gas productie per saldo niet hoger zou worden. In situaties waar er geen warmtevraag ter plaatse is, is het lagere methaanrendement wel nadelig.

Het gemeten elektriciteitsverbruik van de installatie ligt in lijn met in de literatuur opgegeven verbruiken voor membraaninstallaties.

Appendix A: Analyserapporten gassamenstelling

GASSAMENSTELLING EN FYSISCHE KENGROOTHEDEN			
Datum	4-3-2010		
Samplenummer	-	Cilindernummer	5528
Plaats	RWZI Beverwijk	Monsterdatum	26-1-2010
Monstercode	Biogast	Analist	H. Top
Soort Monster	Ruw biogas	Analysedatum	29-1-2010
		Apparaat	G8127
Analyse volgens ISO 6974		Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)	
Component			
HELIUM	mol %	CALORISCHE BOVENWAARDE	24,42 MJ/m ³
WATERSTOF	0.000	CALORISCHE ONDERWAARDE	22,01 MJ/m ³
ZUURSTOF	0.000	HI/HS	0,9012
STIKSTOF	0.633	WOBBE INDEX	25,36 MJ/m ³
KOOLSTOFDIOXIDE	38,134	RELATIEVE DICHTHEID	0,9277
METHAAN	61,233	DICHTHEID	1,1995 kg/m ³
ETHAAN	0.000		
PROPAAN	0.000		
2-METHYLPROPAAN	0.000		
BUTAAN	0.000		
2,2-DIMETHYLPROPAAN	0.000		
2-METHYLBUTAAN	0.000		
PENTAAN	0.000		
CYCLO-PENTAAN	0.000		
2,2-DIMETHYLBUTAAN	0.000		
2,3-DIMETHYLBUTAAN+2-METHYLPENTAAN	0.000		
3-METHYLPENTAAN	0.000		
HEXAAN	0.000		
CYCLOHEXAAN	0.000		
BENZEEN	0.000		
HEPTAAN	0.000		
METHYL-CYCLOHEXAAN	0.000		
TOLUEEN	0.000		
OCTAAN	0.000		
Totaal van de componenten	100,000		
		Opmerking	
		Zwavelwaterstof	25,4 ppm mol
		Carbonylsulfide	na ppm mol
		Methylmercaptopaan	na ppm mol
		Ethylmercaptopaan	na ppm mol
		Benzeen	< 0,1 ppm mol
		Tolueen	1,2 ppm mol
		Ethylbenzeen	0,1 ppm mol
		Xylenen	< 0,1 ppm mol
		D4-siloxaan	< 5 mg/m ³ _n
		D5-siloxaan	18,8 mg/m ³ _n
		na = niet aantoonbaar	

Doc. No. : SNMONBW.10.007 Datum: 23-06-2010
Auteur: M. Jonker Pagina: 52 van 66



GASSAMENSTELLING EN FYSISCHE KENGROOTHEDEN

Datum 4-3-2010

Samplenummer -
Plaats RWZI Beverwijk
Monstercode Biogast
Soort Monster Groengas 14:05

Cilindernummer 5554
Monsterdatum 26-1-2010
Analist H. Top
Analysedatum 29-1-2010
Apparaat G8127

Analyse volgens ISO 6974

Component	mol %
HELIUM	0.000
WATERSTOF	0.000
ZUURSTOF	0.000
STIKSTOF	0.634
KOOLSTOFDIOXIDE	10.669
METHAAN	88.697
ETHAAN	0.000
PROPAAN	0.000
2-METHYLPROPAAN	0.000
BUTAAN	0.000
2,2-DIMETHYLPROPAAN	0.000
2-METHYLBUTAAN	0.000
PENTAAN	0.000
CYCLO-PENTAAN	0.000
2,2-DIMETHYLBUTAAN	0.000
2,3-DIMETHYLBUTAAN + 2-METHYLPENTAAN	0.000
3-METHYLPENTAAN	0.000
HEXAAN	0.000
CYCLOHEXAAN	0.000
BENZEEN	0.000
HEPTAAN	0.000
METHYL-CYCLOHEXAAN	0.000
TOLUEEN	0.000
OCTAAN	0.000
Totaal van de componenten	100.000

Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)

CALORISCHE BOVENWAARDE	35.34	MJ/m ³
CALORISCHE ONDERWAARDE	31.85	MJ/m ³
HI/HS	0.9012	
WOBBE INDEX	43.47	MJ/m ³
RELATIEVE DICHTHEID	0.6610	
DICHTHEID	0.8546	kg/m ³

Opmerking

Zwavelwaterstof	na ppm mol
Carbonylsulfide	na ppm mol
Methylmercaptopaan	na ppm mol
Ethylmercaptopaan	na ppm mol
Benzeen	na ppm mol
Tolueen	na ppm mol
Ethylbenzeen	na ppm mol
Xylenen	na ppm mol
D4-siloxaan	na mg/m ³
D5-siloxaan	na mg/m ³

na = niet aantoonbaar



GASSAMENSTELLING EN FYSISCHE KENGROOTHEDEN

Datum 4-3-2010

Samplenummer - Cilindernummer 5574
 Plaats RWZI Beverwijk Monsterdatum 26-1-2010
 Monstercode Biogast Analyst H. Top
 Soort Monster Offgas 12:35 Analysedatum 29-1-2010
 Apparaat G8127

Analyse volgens ISO 6974

Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)

Component	mol %			
HELIUM	0.000	CALORISCHE BOVENWAARDE	8.55	MJ/m ³
WATERSTOF	0.000	CALORISCHE ONDERWAARDE	7.70	MJ/m ³
ZUURSTOF	0.000	HI/HS	0.9012	
STIKSTOF	0.537	WOBBE INDEX	7.45	MJ/m ³
KOOLSTOFDIOXIDE	78.077	RELATIEVE DICHTHEID	1.3166	
METHAAN	21.386	DICHTHEID	1.7023	kg/m ³
ETHAAN	0.000			
PROPAAN	0.000			
2-METHYLPROPAAN	0.000			
BUTAAN	0.000			
2,2-DIMETHYLPROPAAN	0.000			
2-METHYLBUTAAN	0.000			
PENTAAN	0.000			
CYCLO-PENTAAN	0.000			
2,2-DIMETHYLBUTAAN	0.000			
2,3-DIMETHYLBUTAAN + 2-METHYLPENTAAN	0.000			
3-METHYLPENTAAN	0.000			
HEXAAN	0.000			
CYCLOHEXAAN	0.000			
BENZEEN	0.000			
HEPTAAN	0.000			
METHYL-CYCLOHEXAAN	0.000			
TOLUEEN	0.000			
OCTAAN	0.000			

Opmerking

Zwavelwaterstof	41.3 ppm mol
Carbonylsulfide	na ppm mol
Methylmercaptiaan	na ppm mol
Ethylmercaptiaan	na ppm mol
Benzeen	na ppm mol
Tolueen	0.2 ppm mol
Ethylbenzeen	<0.1 ppm mol
Xylenen	na ppm mol
D4-siloxaan	< 5 mg/m ³
D5-siloxaan	1.6 mg/m ³

na = niet aantoonbaar

Totaal van de componenten

100.000

Doc. No. : SNMONBW.10.007 **Datum:** 23-06-2010
Auteur: M. Jonker **Pagina:** 54 van 66

**Analyserapport KEMA Nederland B.V**

Ons kenmerk : 66930013 Bemonsterd : KEMA
Datum ontvangst : 26/01/2010 Geanalyseerd : A. Fornerino
Datum rapport : 16/03/2010
Opdrachtgever : -
Uw kenmerk : -
Project : RWZI Beverwijk

Parameter	Chem. formule	Eenheid	#01	#02
Waterstofchloride	HCl	ppm v/v	<0.7	<0.7
Waterstoffluoride	HF	ppm v/v	<0.1	<0.1
Waterstofcyanide	HCN	ppm v/v	0.146	<0.01
Ammoniak	NH ₃	ppm v/v	2.1	<1.8

Monster informatie:

#01 RWZI Beverwijk ruw biogas 26/01/2010
#02 RWZI Beverwijk groengas 26/01/2010

Opmerkingen:

Doc. No. : SNMONBW.10.007 Datum: 23-06-2010
Auteur: M. Jonker Pagina: 55 van 66



GASSAMENSTELLING EN FYSISCHE KENGROOTHEDEN

Datum 2-6-2010

Samplenummer	Biogas 10:00	Cilindernummer	Tedlarbag
Plaats	RWZI Beverwijk	Monsterdatum	21-4-2010
Monstercode	-	Analist	H. Top
Soort Monster	Biogas	Analysedatum	22-4-2010
		Apparaat	G8125

Analyse volgens ISO 6974

Component	mol %	Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)	
HELIUM	0.000	CALORISCHE BOVENWAARDE	24.85 MJ/m ³
WATERSTOF	0.000	CALORISCHE ONDERWAARDE	22.40 MJ/m ³
ZUURSTOF	0.061	HI/HS	0.9012
STIKSTOF	0.844	WOBBE INDEX	25.97 MJ/m ³
KOOLSTOFDIOXIDE	36.779	RELATIEVE DICHTHEID	0.9157
METHAAN	62.316	DICHTHEID	1.1840 kg/m ³
ETHAAN	0.000		
PROPAAN	0.000		
2-METHYLPROPAAN	0.000		
BUTAAN	0.000		
2,2-DIMETHYLPROPAAN	0.000		
2-METHYLBUTAAN	0.000		
PENTAAN	0.000		
CYCLO-PENTAAN	0.000		
2,2-DIMETHYLBUTAAN	0.000		
2,3-DIMETHYLBUTAAN+2-METHYLPENTAAN	0.000		
3-METHYLPENTAAN	0.000		
HEXAAN	0.000		
CYCLOHEXAAN	0.000		
BENZEEN	0.000		
HEPTAAN	0.000		
METHYL-CYCLOHEXAAN	0.000		
TOLUEEN	0.000		
OCTAAN	0.000		

Opmerking

Zwavelwaterstof	30.1 ppm mol
Carbonylsulfide	na ppm mol
Methylmercaptaan	na ppm mol
Ethylmercaptaan	na ppm mol
Benzeen	<0.1 ppm mol
Tolueen	2.0 ppm mol
Ethylbenzeen	<0.1 ppm mol
Xylenen	0.2 ppm mol
D4-siloxaan	< 5 mg/m ³
D5-siloxaan	20.4 mg/m ³

na = niet aantoonbaar

Totaal van de componenten 100.000

Doc. No. : SNMONBW.10.007 Datum: 23-06-2010
Auteur: M. Jonker Pagina: 56 van 66



GASSAMENSTELLING EN FYSISCHE KENGROOTHEDEN

Datum 2-6-2010

Samplenummer Groegas 10:10
Plaats RWZI Beverwijk
Monstercode -
Soort Monster Biogas

Cilindernummer Tedlarbag
Monsterdatum 21-4-2010
Analist H. Top
Analysedatum 22-4-2010
Apparaat G8125

Analyse volgens ISO 6974

Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)

Component	mol %				
HELIUM	0.000			35.33	MJ/m ³
WATERSTOF	0.000			31.84	MJ/m ³
ZUURSTOF	0.081			0.9012	
STIKSTOF	0.936			43.51	MJ/m ³
KOOLSTOFDIOXIDE	10.316			0.6593	
METHAAN	88.667			0.8524	kg/m ³
ETHAAN	0.000				
PROPAAN	0.000				
2-METHYLPROPAAN	0.000				
BUTAAN	0.000				
2,2-DIMETHYLPROPAAN	0.000				
2-METHYLBUTAAN	0.000				
PENTAAN	0.000				
CYCLO-PENTAAN	0.000				
2,2-DIMETHYLBUTAAN	0.000				
2,3-DIMETHYLBUTAAN+2-METHYLPENTAAN	0.000				
3-METHYLPENTAAN	0.000				
HEXAAN	0.000				
CYCLOHEXAAN	0.000				
BENZEEN	0.000				
HEPTAAN	0.000				
METHYL-CYCLOHEXAAN	0.000				
TOLUEEN	0.000				
OCTAAN	0.000				
Totaal van de componenten	100.000				

Opmerking

Zwavelwaterstof na ppm mol
Carbonylsulfide na ppm mol
Methylmercaptaan na ppm mol
Ethylmercaptaan na ppm mol
Benzeen na ppm mol
Tolueen na ppm mol
Ethylbenzeen na ppm mol
Xylenen na ppm mol
D4-siloxaan na mg/m³_n
D5-siloxaan na mg/m³_n

na = niet aantoonbaar

Doc. No. : SNMONBW.10.007 Datum: 23-06-2010
Auteur: M. Jonker Pagina: 57 van 66



GASSAMENSTELLING EN FYSISCHE KENGROOTHEDEN

Datum 2-6-2010

Samplenummer Restgas 10:20
Plaats RWZI Beverwijk

Monstercode

Soort Monster Biogas

Cilindernummer
Monsterdatum 21-4-2010
Analist H. Top
Analysedatum 22-4-2010
Apparaat G8125

Tedlarbag

Analyse volgens ISO 6974

Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)

Component	mol %			
HELIUM	0.000		8.05	MJ/m ³
WATERSTOF	0.000		7.25	MJ/m ³
ZUURSTOF	0.162		0.9012	
STIKSTOF	0.844		6.99	MJ/m ³
KOOLSTOFDIOXIDE	78.859		1.3264	
METHAAN	20.135		1.7149	kg/m ³
ETHAAN	0.000			
PROPAAN	0.000			
2-METHYLPROPAAN	0.000			
BUTAAN	0.000			
2,2-DIMETHYLPROPAAN	0.000			
2-METHYLBUTAAN	0.000			
PENTAAN	0.000			
CYCLO-PENTAAN	0.000			
2,2-DIMETHYLBUTAAN	0.000			
2,3-DIMETHYLBUTAAN+2-METHYLPENTAAN	0.000			
3-METHYLPENTAAN	0.000			
HEXAAN	0.000			
CYCLOHEXAAN	0.000			
BENZEEN	0.000			
HEPTAAN	0.000			
METHYL-CYCLOHEXAAN	0.000			
TOLUEEN	0.000			
OCTAAN	0.000			

Opmerking

Zwavelwaterstof	45.8 ppm mol
Carbonylsulfide	na ppm mol
Methylmercaptopaan	na ppm mol
Ethylmercaptopaan	na ppm mol
Benzeen	<0.1 ppm mol
Tolueen	0.5 ppm mol
Ethylbenzeen	<0.1 ppm mol
Xylenen	<0.1 ppm mol
D4-siloxaan	< 5 mg/m ³ _n
D5-siloxaan	< 5 mg/m ³ _n

na = niet aantoonbaar

Totaal van de componenten

100.000

Appendix B: Analyserapport pathogenen



Analyseresultaten

Per monster wordt de detectielimiet van de analyses bepaald aan de hand van interne controles, deze kunnen daarom per monster variëren.

Total Bacteria

De eenheid van de *Total Bacteria* analyse is aantal cellen (N) per totaal voor de blanco monsters of cellen (N) per liter gas voor de gasmonsters, hierbij wordt uitgegaan van de aanname dat 1 DNA-kopie gelijk staat aan 1 cel.

Uw monstercode	Datum monstername	Detectielimiet	Totaal Bacteriën	Eenheid
Beverwijk, Groengas (1)	26-Jan-10	$3,2 \times 10^1$	n.a.	Cellen/liter gas
Beverwijk, Groengas (2)	26-Jan-10	$7,4 \times 10^1$	n.a.	Cellen/liter gas
Beverwijk, Ruw biogas (3)	26-Jan-10	$5,9 \times 10^1$	n.a.	Cellen/liter gas
Beverwijk, Ruw biogas (4)	26-Jan-10	$7,4 \times 10^1$	n.a.	Cellen/liter gas
Beverwijk, Blanco	26-Jan-10	$6,2 \times 10^3$	n.a.	Cellen/totaal

De range van de analyseresultaten ligt tussen $0,5 \times N$ en $2 \times N$ (N =aantal gedetecteerde cellen)

n.a. niet aangetoond / beneden detectielimiet



Experts in biological solutions

PAGINA 2 VAN 4

Total Archaea

De eenheid van de *Total Archaea* analyse is aantal cellen (N) per totaal voor de blanco monsters of cellen (N) per liter gas voor de gasmonsters, hierbij wordt uitgegaan van de aanname dat 1 DNA-kopie gelijk staat aan 1 cel.

Uw monstercode	Datum monstername	Detectielimiet	Totaal Archaea	Eenheid
Beverwijk, Groengas (1)	26-Jan-10	$4,4 \times 10^0$	n.a.	Cellen/liter gas
Beverwijk, Groengas (2)	26-Jan-10	$3,5 \times 10^0$	n.a.	Cellen/liter gas
Beverwijk, Ruw biogas (3)	26-Jan-10	$8,3 \times 10^0$	n.a.	Cellen/liter gas
Beverwijk, Ruw biogas (4)	26-Jan-10	$3,5 \times 10^0$	n.a.	Cellen/liter gas
Beverwijk, Blanco	26-Jan-10	$8,7 \times 10^2$	n.a.	Cellen/totaal

De range van de analyseresultaten ligt tussen $0,5 \times N$ en $2 \times N$ (N=aantal gedetecteerde cellen)

n.a. niet aangetoond / beneden detectielimiet

Doc. No. : SNMONBW.10.007 **Datum:** 23-06-2010
Auteur: M. Jonker **Pagina:** 60 van 66



Experts in biological solutions

PAGINA 3 VAN 4

Total Fungi

De eenheid van de *Total Fungi* analyse is aantal DNA-kopieën (N) per totaal voor de blanco monsters of DNA-kopieën (N) per liter gas voor de gasmonsters, hierbij wordt uitgegaan van de aanname dat 100 DNA-kopieën gelijk staan aan 1 cel.

Uw monstercode	Datum monstername	Detectielimiet	Total Fungi	Eenheid
Beverwijk, Groengas (1)	26-Jan-10	$4,0 \times 10^0$	n.a.	DNA-kopieën /liter gas
Beverwijk, Groengas (2)	26-Jan-10	$3,0 \times 10^0$	n.a.	DNA-kopieën /liter gas
Beverwijk, Ruw biogas (3)	26-Jan-10	$8,0 \times 10^0$	n.a.	DNA-kopieën /liter gas
Beverwijk, Ruw biogas (4)	26-Jan-10	$3,0 \times 10^0$	n.a.	DNA-kopieën /liter gas
Beverwijk, Blanco	26-Jan-10	$8,7 \times 10^2$	n.a.	DNA-kopieën/totaal

De range van de analyseresultaten ligt tussen $0,5 \times N$ en $2 \times N$ (N=aantal gedetecteerde cellen)

n.a. niet aangetoond / beneden detectielimiet



Algemene informatie betreffende de moleculaire analyses

De moleculaire analyses worden uitgevoerd door middel van Q-PCR (Quantitative Polymerase Chain Reaction). Hiermee is het mogelijk nauwkeurig verschillende (groepen) micro-organismen of genetische eigenschappen middels het DNA of RNA te detecteren en te kwantificeren.

Controles worden gebruikt om de efficiëntie van elke DNA isolatie te bepalen. De kwantitatieve resultaten worden hiervoor gecorrigeerd. De detectielimieten van de monsters kunnen daarom onderling verschillen.

Interne controles worden gebruikt om de kwaliteit van de Q-PCR reacties te waarborgen. Negatieve (blanco) en positieve controles worden uitgevoerd door middel van reïnculturen en/of het sequencen van PCR producten.

Q-PCR analyses voor specifieke micro-organismen, groepen micro-organismen en/of genetische eigenschappen worden ontwikkeld aan de hand van data die beschikbaar zijn via openbare genetische databases, wetenschappelijke publicaties en eigen expertise opgedaan binnen onze R&D activiteiten. Hierdoor garanderen we maximale kwaliteit van onze analyses.

Het kan niet worden gegarandeerd dat alle bekende en/of onbekende (groepen) micro-organismen of genetische eigenschappen worden aangetoond en gekwantificeerd met een specifieke Q-PCR analyse.

Appendix C: Berekening massabalans

De massabalans is elke maand berekend op basis van de gemiddelde waarden van de gemeten gassamenstellingen en gasflows in die maand. Als voorbeeld worden hier de waarden van de maand maart 2010 gebruikt.

Gemiddeld is in de maand maart 2010 de volgende gassamenstelling gemeten:

	biogas	groen gas	restgas
CH ₄	60,4%	92,1%	
CO ₂	39,5%	7,9%	
Totaal:	99,9%	100,0%	

Gecorrigeerd om een totaal van 100% te krijgen wordt dit:

	biogas	groen gas	restgas
CH ₄	60,5%	92,1%	
CO ₂	39,5%	7,9%	
Totaal:	100,0%	100,0%	

Het restgas wordt niet continu gemeten en is in maart 2010 ook niet geanalyseerd. De samenstelling van het restgas moet daarom uit de massabalans worden berekend.¹

Gemiddeld zijn in maart 2010 de volgende gasflows gemeten:

	biogas	groen gas	restgas
gasflow [Nm ³ /uur]	117,9	67,0	50,9

¹ In de maanden waarin uitgebreide analyses van de gassamenstelling zijn gedaan (januari en april 2010) zijn de resultaten hiervan gebruikt voor de massabalans.

Door nu deze gasflows met de gassamenstelling te vermenigvuldigen ontstaat de volgende massabalans:

	biogas	groen gas	restgas
CH ₄ [Nm ³ /uur]	71,3	61,7	
CO ₂ [Nm ³ /uur]	46,6	5,3	
Totaal [Nm³/uur]	117,9	67,0	50,9

Door nu gebruik te maken van de overall massabalansvergelijking:

$$\text{biogas} = \text{groen gas} + \text{restgas}$$

$$\text{restgas} = \text{biogas} - \text{groen gas}$$

kan de samenstelling van het restgas berekend worden:

	biogas	groen gas	restgas
CH ₄ [Nm ³ /uur]	71,3	61,7	9,6
CO ₂ [Nm ³ /uur]	46,6	5,3	41,3
Totaal [Nm³/uur]	117,9	67,0	50,9

of in percentages:

	biogas	groen gas	restgas
CH ₄	60,5%	92,1%	18,9%
CO ₂	39,5%	7,9%	81,1%
Totaal:	100,0%	100,0%	100,0%

Appendix D: Berekening energiebalans

De energiebalans is elke maand berekend door in de massabalans de flows van CH₄ en CO₂ te vermenigvuldigen met hun verbrandingswarmte. Hierbij is gebruik gemaakt van de calorische bovenwaarde:

$$\begin{aligned}\text{calorische bovenwaarde } CH_4 &= 39,75 \text{ MJ/Nm}^3 \\ \text{calorische bovenwaarde } CO_2 &= 0 \text{ MJ/Nm}^3\end{aligned}$$

Net als in Appendix C worden ook hier weer de waardes van de maand maart 2010 gebruikt als voorbeeld. Voor deze maand levert dit de volgende energiebalans op:

	biogas	groen gas	restgas
CH ₄ [MJ/uur]	2835	2451	383
CO ₂ [MJ/uur]	0	0	0
Totaal [MJ/uur]	2835	2451	383

Het elektriciteitsverbruik van de installatie is gemeten met een kWh-meter die geïnstalleerd is op de voeding van de opwerkingsinstallatie. In maart 2010 was het elektriciteitsverbruik gemiddeld 0,17kWh/Nm³ biogas = 0,61MJ/Nm³ biogas.

Appendix E: Berekening kengetallen

Hieronder staat beschreven hoe de kengetallen in dit rapport zijn berekend. Hierbij is ter illustratie gebruik gemaakt van de waardes voor de maand maart 2010, net als in Appendices C en D.

Methaanslip:

Methaanslip is hier gedefinieerd als het percentage van het in het biogas aanwezige methaan dat naar de atmosfeer gespuid wordt. Er zit weliswaar CH₄ in het restgas, maar dit wordt volledig verbrand in de combuster. Er gaat dus geen methaan naar de atmosfeer, waardoor de methaanslip bij deze installatie altijd 0% is.

Methaanrendement:

Methaanrendement is hier gedefinieerd als het percentage van het in het biogas aanwezige methaan dat in het groen gas terecht komt. Dit kan berekend worden door de hoeveelheid methaan in het uitgaande groen gas te delen door de hoeveelheid methaan in het ingaande biogas:

$$(61,7 / 71,3) \times 100\% = 86,5\%$$

Overall energetisch rendement:

Het overall energetisch rendement is hier gedefinieerd als het percentage van de energie die de installatie ingaat dat weer nuttig gebruikt wordt, oftewel:

$$\text{overall energetisch rendement} = \frac{(\text{energie in groen gas} + \text{energie in restgas})}{(\text{energie in biogas} + \text{elektriciteitsverbruik})}$$

$$\text{overall energetisch rendement} = \frac{(2451 + 383)}{(2835 + 0,61 \times 117,9)} = 97,5\%$$

Gas energetisch rendement:

Het gas energetisch rendement is hier gedefinieerd als het percentage van de energie in het biogas dat in het groen gas terechtkomt, oftewel:

$$\text{gas energetisch rendement} = \frac{\text{energie in groen gas}}{\text{energie in biogas}}$$

$$\text{gas energetisch rendement} = \frac{2451}{2835} = 86,5\%$$

Specifiek elektriciteitsverbruik:

Het specifiek elektriciteitsverbruik is hier gedefinieerd als het aantal kWh elektriciteit nodig om 1Nm³ groen gas te maken, oftewel:

$$\text{specifiek elektriciteitsverbruik} = \frac{\text{electriciteitsverbruik [kW]}}{\text{groen gas flow [Nm}^3\text{/uur]}}$$

$$\text{specifiek elektriciteitsverbruik} = \frac{0,17 \times 117,9}{67,0} = 0,30 \text{ kWh/Nm}^3 \text{ groen gas}$$

Specifiek warmteverbruik:

Het specifiek warmteverbruik is hier gedefinieerd als het aantal kWh warmte nodig om 1Nm³ groen gas te maken. Deze installatie verbruikt echter geen warmte, waardoor het specifiek warmteverbruik altijd 0kWh/Nm³ groen gas is.

Specifiek energieverbruik:

Het specifiek energieverbruik is hier gedefinieerd als het aantal kWh energie nodig om 1Nm³ groen gas te maken, oftewel:

$$\text{specifiek energieverbruik} = \text{specifiek elektriciteitsverbruik} + \text{specifiek warmteverbruik}$$

$$\text{specifiek energieverbruik} = 0,30 + 0 = 0,30 \text{ kWh/Nm}^3 \text{ groen gas}$$