

Monitoring groen gas opwerkingsinstallatie BioGast Mijdrecht

Eindrapport

Dr. Ir. M. Jonker

BioGast Sustainable Energy B.V.

3 juli 2010

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Procesbeschrijving	5
3. Analyses	7
3.1. Continue metingen	7
3.2. Uitgebreide analyses	9
3.3. Pathogenenanalyses.....	11
4. Analyseresultaten	12
4.1. Continue metingen	12
4.1.1. December 2009	13
4.1.2. Januari 2010	16
4.1.3. Februari 2010	19
4.1.4. Maart 2010.....	22
4.1.5. April 2010.....	25
4.1.6. Mei 2010.....	28
4.1.7. De volledige periode (december 2009 t/m mei 2010)	31
4.1.8. Meetdata voor een korte periode	34
4.2. Uitgebreide analyses	36
4.3. Pathogenenanalyses.....	40
5. Massa- & energiebalans en kengetallen	41
5.1. December 2009	43
5.1.1. Massabalans.....	43
5.1.2. Energiebalans.....	44
5.2. Januari 2010	45
5.2.1. Massabalans.....	45
5.2.2. Energiebalans.....	46
5.3. Februari 2010	47
5.3.1. Massabalans.....	47
5.3.2. Energiebalans.....	48
5.4. Maart 2010	49
5.4.1. Massabalans.....	49
5.4.2. Energiebalans.....	50
5.5. April 2010	51
5.5.1. Massabalans.....	51
5.5.2. Energiebalans.....	52
5.6. Mei 2010	53
5.6.1. Massabalans.....	53
5.6.2. Energiebalans.....	54
5.7. De volledige periode (december 2009 t/m mei 2010).....	55
5.7.1. Massabalans.....	55
5.7.2. Energiebalans.....	56
6. Discussie en conclusies	57
6.1. De analyseresultaten.....	57
6.2. De massa- & energiebalansen	58

Appendix A: Analyserapporten gassamenstelling	59
Appendix B: Analyserapport pathogenen	63
Appendix C: Berekening massabalans	67
Appendix D: Berekening energiebalans.....	70
Appendix E: Berekening kengetallen.....	71

1. Inleiding

Sinds juli 2009 is een installatie van BioGast in bedrijf op de rioolwaterzuivering van het Waternet in Mijdrecht. 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 aminewastechnologie.

Deze groen gas opwerkingsinstallatie in Mijdrecht 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).

Bij binnenkomst in de installatie wordt allereerst het H₂S uit het biogas verwijderd, door absorptie van de H₂S in een vat met actieve kool. Vervolgens wordt het biogas op een druk van ca. 200mbar gebracht met een blower, die het biogas door de rest van de installatie blaast. Het biogas stroomt dan eerst door een waskolom, waarin met koude Coaab-vloeistof (water met amines) het CO₂ uit het gas gewassen wordt.

De Coaab-vloeistof wordt vervolgens verwarmd, waardoor in een stripperkolom de CO₂ weer ontwijkt, en naar de atmosfeer afgevoerd wordt. De hiervoor benodigde warmte genereert de installatie zelf, door een deel van het inkomende biogas te verbranden in een boiler. Deze warmte komt vervolgens weer grotendeels beschikbaar in het koelwater, en wordt in Mijdrecht weer gebruikt om de vergister mee te verwarmen.

Deze scheidingstechniek is vrijwel 100% specifiek, waardoor het gas uit de absorptiekolom voor 99,9% uit CH₄ bestaat, en het restgas uit de stripper 99,8% CO₂ bevat. Aangezien aardgas maar 89% CH₄ bevat, wordt aan het gas uit de absorptiekolom een kleine hoeveelheid biogas toegevoegd, teneinde dezelfde verbrandingswaarde te krijgen als

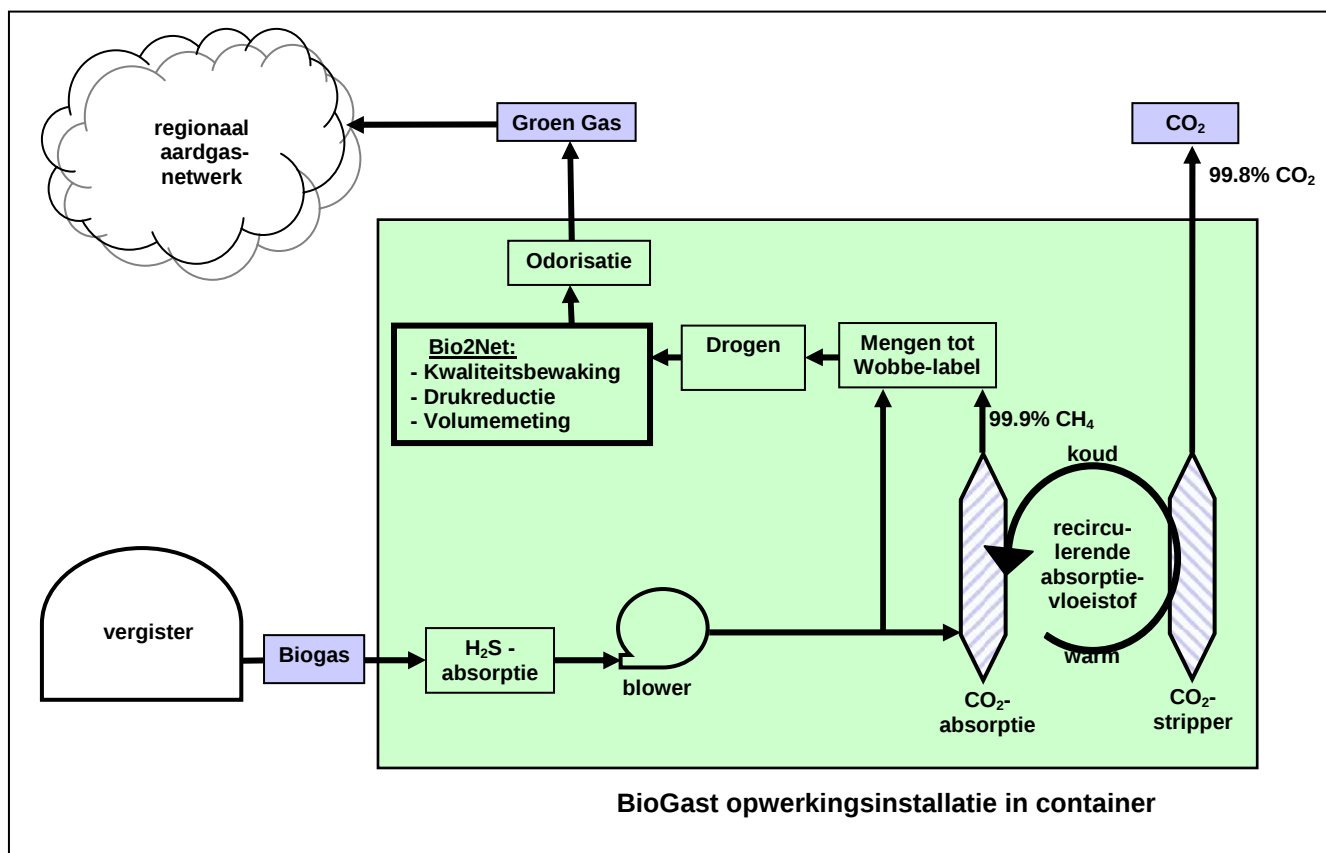


Fig. 2.1: Processchema van de opwerkingsinstallatie.

aardgas. Daarna wordt het gas gedroogd door middel van Temperature Swing Absorption (TSA).

Het droge gas wordt vervolgens 'gekeurd' door de Bio2Net. Dit is een poortwachter die de toegang tot het aardgasnet bewaakt en die de toevoer naar het aardgasnet alleen open zet indien het groene gas op alle punten aan de gestelde kwaliteitseisen voldoet. De Bio2Net controleert dit door het groene gas voortdurend te analyseren in een gaschromatograaf.

Ten slotte wordt nog een geurstof aan het groen gas toegevoegd, en vervolgens in het lokale aardgasnet ingevoed.

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 februari en mei 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 februari 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 is gemeten met een LMSxi G2 biogas analyzer van Gas Data. De samenstelling van het groen gas is gemeten met een Sitrans CV gaschromatograaf van Siemens. De Wobbe index, dichtheid en calorische onder- en bovenwaarde van het groen gas zijn berekend door de gaschromatograaf. Het H₂S-gehalte van het groen gas wordt gemeten met een Crowcon Xgard Type 1 detector.

De belangrijkste specificaties van deze analyzers staan in de onderstaande tabellen.

Calibratiefrequentie:

- De biogas analyzer wordt 1 keer per 6 maanden gekalibreerd.
- De gaschromatograaf wordt 1 keer per week gekalibreerd.
- De H₂S-detector wordt 1 keer per 6 maanden gekalibreerd.

Component	Meetmethode	Meetbereik	Nauwkeurigheid
CH ₄	GC	0-100%	<0,1%
CO ₂	GC	0-100%	<0,1%
N ₂ + O ₂	GC	0-100%	<0,1%
calorische bovenwaarde	berekend ¹	n.v.t.	<0,1%
calorische onderwaarde	berekend ¹	n.v.t.	<0,1%
dichtheid	berekend ¹	n.v.t.	<0,1%
Wobbe index	berekend ¹	n.v.t.	<0,1%

Tabel 3.1: Specificaties van de Siemens Sitrans CV gaschromatograaf.

Component	Meetmethode	Meetbereik	Nauwkeurigheid
CH ₄	NDIR	0-100%	2%
CO ₂	NDIR	0-100%	3%
O ₂	paramagnetisch	0-25%	0,5%
H ₂ S	elektrochemisch	0-2000ppm	10ppm

Tabel 3.2: Specificaties van de Gas Data LMSxi G2 biogasanalyzer.

Component	Meetmethode	Meetbereik	Nauwkeurigheid
H ₂ S	elektrochemisch	0-5ppm	0,1ppm

Tabel 3.3: Specificaties van de Crowcon Xgard type 1 H₂S-meter.

¹ Berekend volgens ISO 6976.

3.2. Uitgebreide analyses

In februari en mei 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 3.4: 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 3.5: Eigenschappen van het gas die zijn berekend uit de resultaten van de uitgebreide analyses.

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

- waterstofchloride
- waterstoffluoride
- waterstofcyanide
- ammoniak

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

3.3. Pathogenenanalyses

In februari 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-kopieën 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.

Interne controles zijn gebruikt om de kwaliteit van de Q-PCR 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;
- Grafiek van de berekende groen gas waardes (o.a. Wobbe index);
- 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

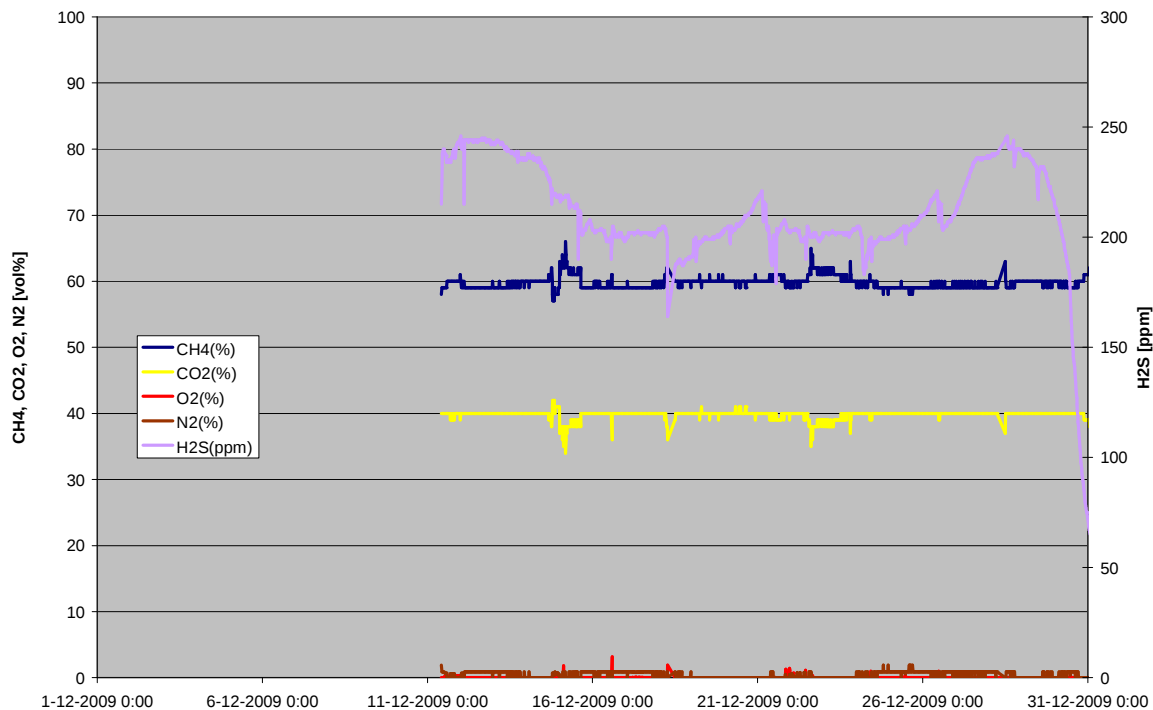


Fig. 4.1: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand december 2009.

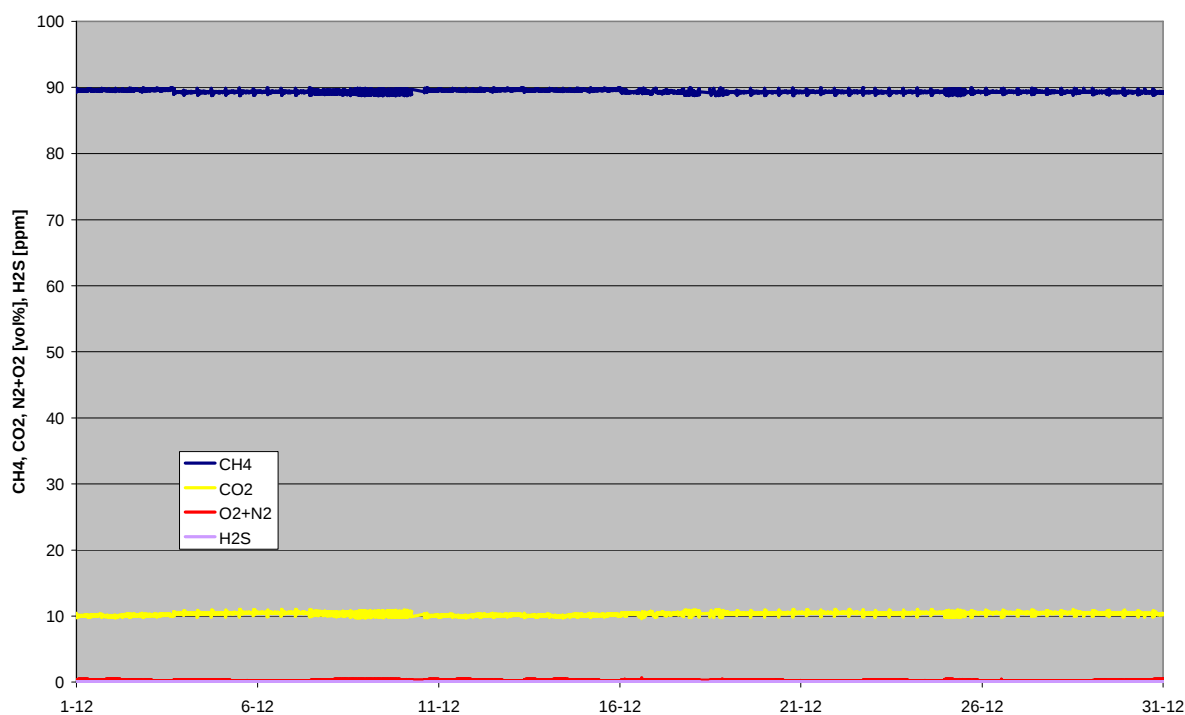


Fig. 4.2: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand december 2009.

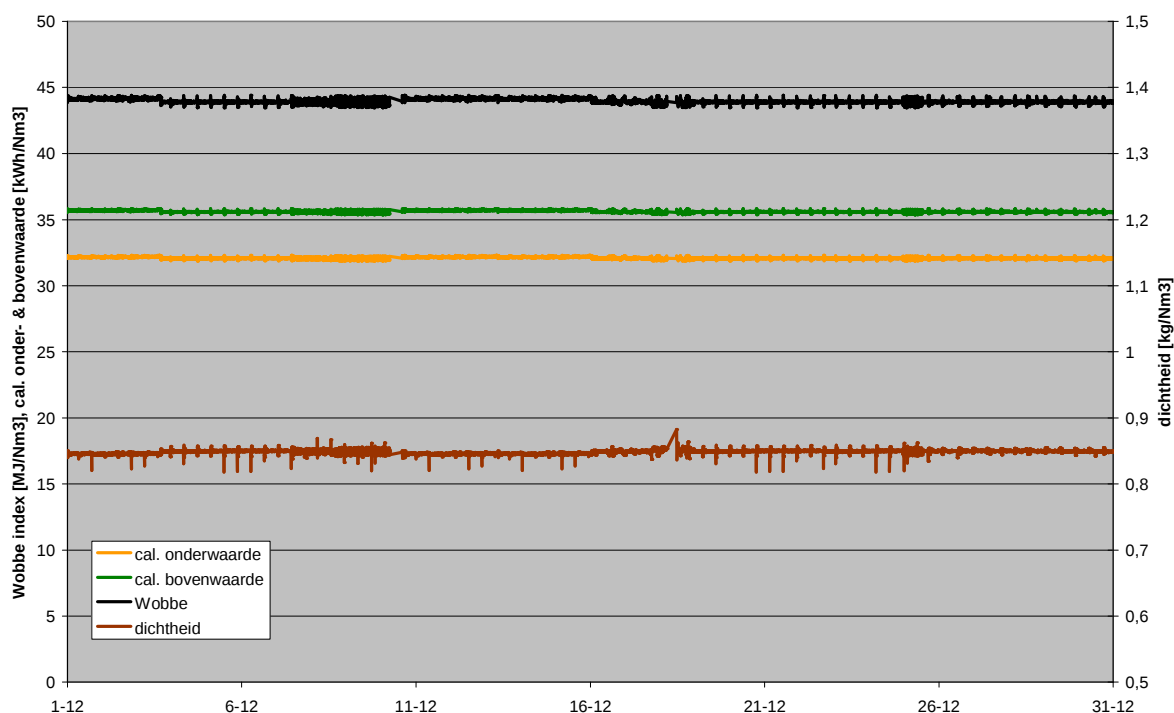


Fig. 4.3: Verloop berekende waardes van het groen gas gedurende de maand december 2009.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	60,0	1,37
CO ₂	vol%	39,3	1,34
O ₂	vol%	0,15	0,60
N ₂	vol%	0,56	1,27
H ₂ S	ppmv	147	81
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43.98	0.26
cal. onderwaarde	kWh/Nm ³	32.10	0.11
cal. bovenwaarde	kWh/Nm ³	35.62	0.12
dichtheid	kg/Nm ³	0.848	0.004
CH ₄	vol%	89.4	0.3
CO ₂	vol%	10.3	0.35
O ₂ + N ₂	vol%	0.29	0.11
H ₂ S	ppmv	0	0

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

Bijzondere situaties:

- De biogassamenstelling is pas vanaf 11 december gemeten, aangezien de biogas analyzer niet eerder beschikbaar was.
- Op 10 en 18 december heeft de installatie een paar uur stil gestaan.

4.1.2. Januari 2010

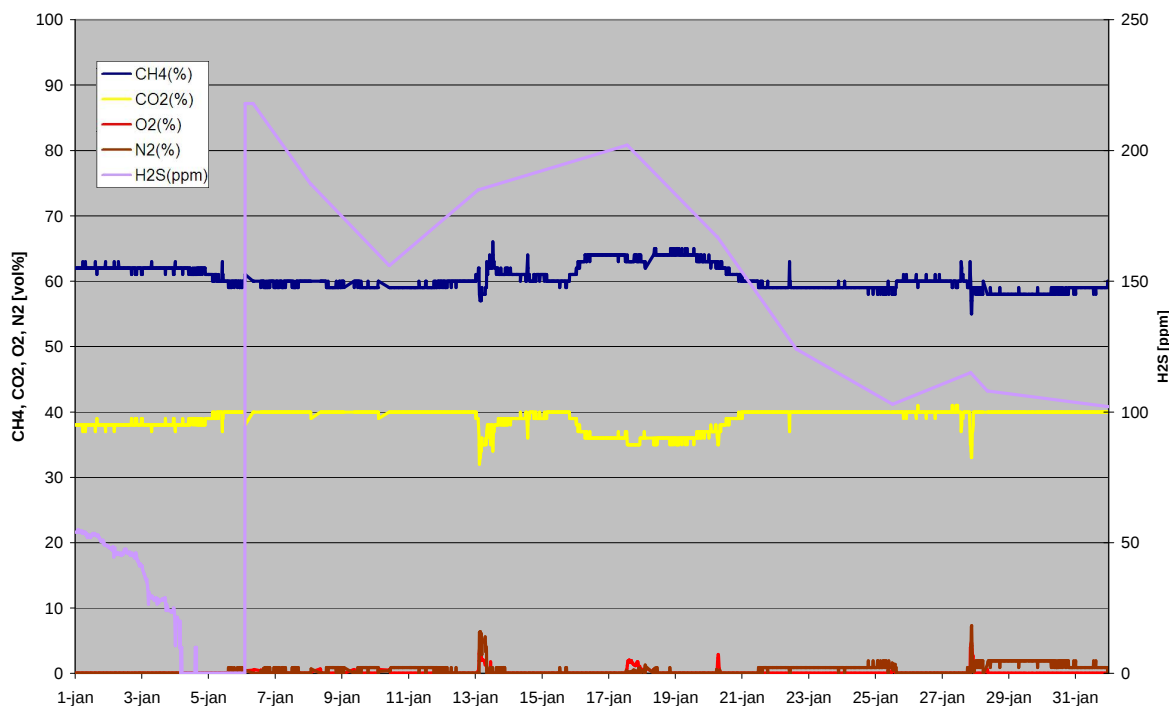


Fig. 4.4: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand januari 2010.

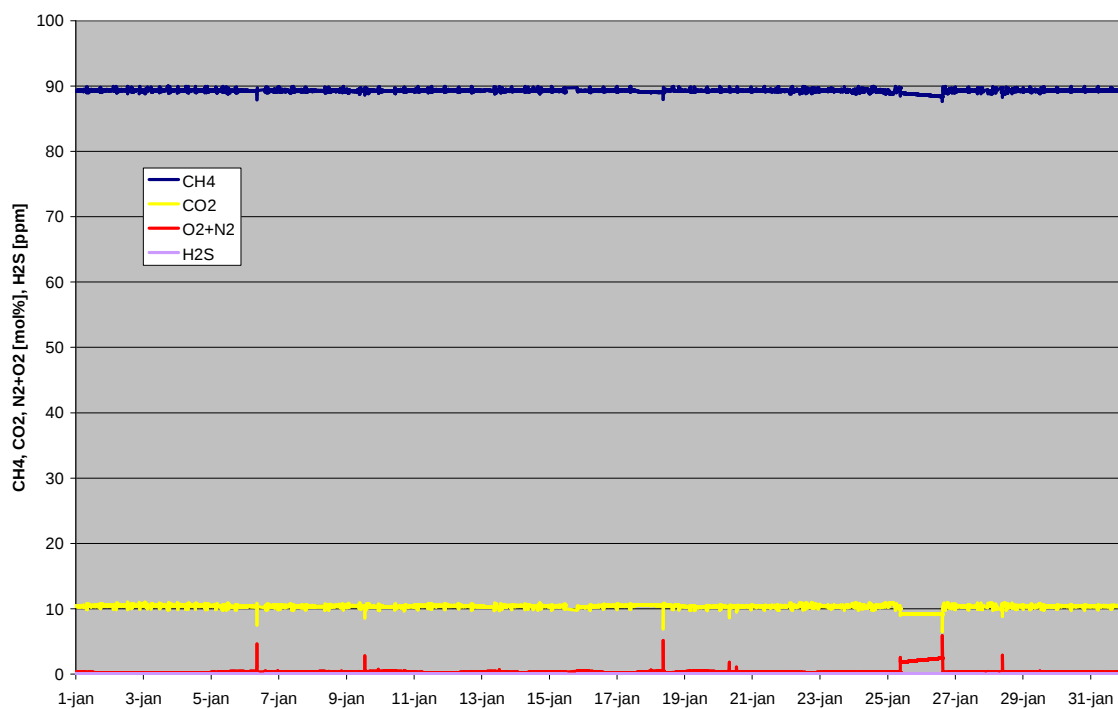


Fig. 4.5: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand januari 2010.

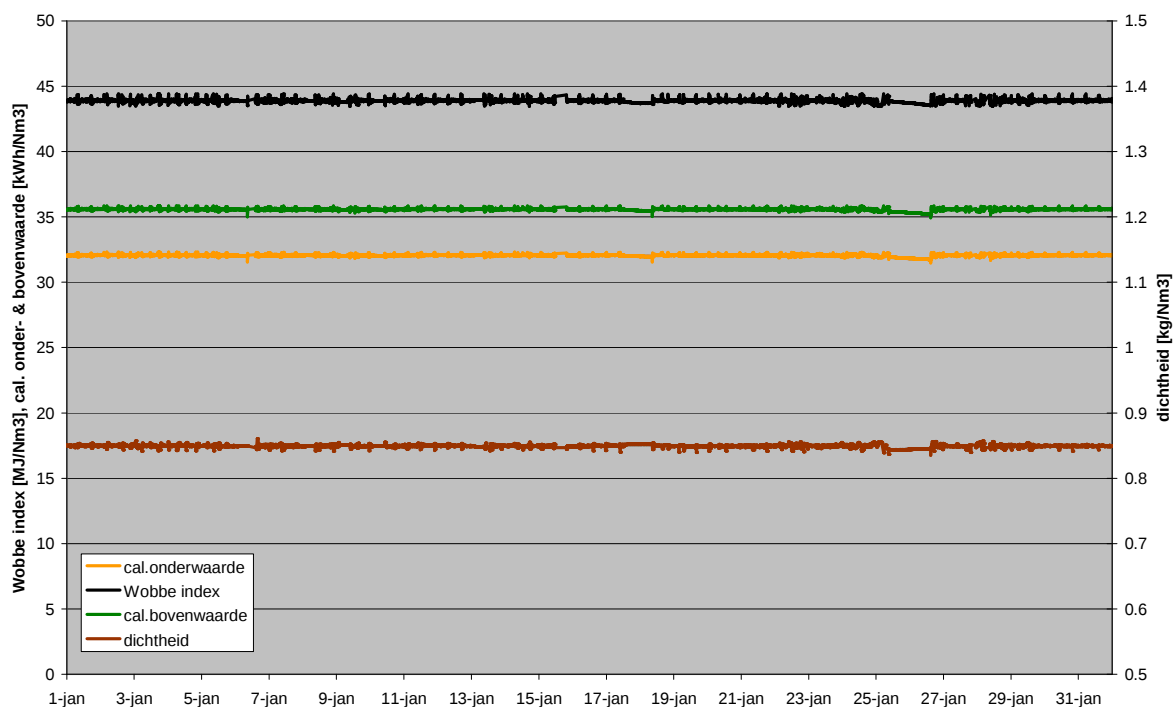


Fig. 4.6: Verloop berekende waardes van het groen gas gedurende de maand januari 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	60.4	1.78
CO ₂	vol%	39.0	1.50
O ₂	vol%	0.1	0.37
N ₂	vol%	0.5	0.75
H ₂ S	ppmv	145	38.8
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43.9	0.12
cal. onderwaarde	kWh/Nm ³	32.1	0.07
cal. bovenwaarde	kWh/Nm ³	35.6	0.08
dichtheid	kg/Nm ³	0.85	0.00
CH ₄	vol%	89.3	0.19
CO ₂	vol%	10.4	0.29
O ₂ + N ₂	vol%	0.4	0.40
H ₂ S	ppmv	0.0	0.00

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

Bijzondere situaties:

- De H₂S-sensor van de biogas analyzer is deze maand stukgegaan, waardoor het gemeten H₂S-gehalte in de eerste 4 dagen naar nul terugzakte en de rest van de maand 0ppm bleef aangeven. Vanaf 6 januari zijn daarom incidentele H₂S-metingen weergegeven, die gedaan zijn met een hand-held analyzer. Meetmethode en nauwkeurigheid van deze hand-held analyzer zijn identiek aan die van de biogas analyzer.
- Op 25 en 26 januari heeft de installatie een tijdje stil gestaan.

4.1.3. Februari 2010

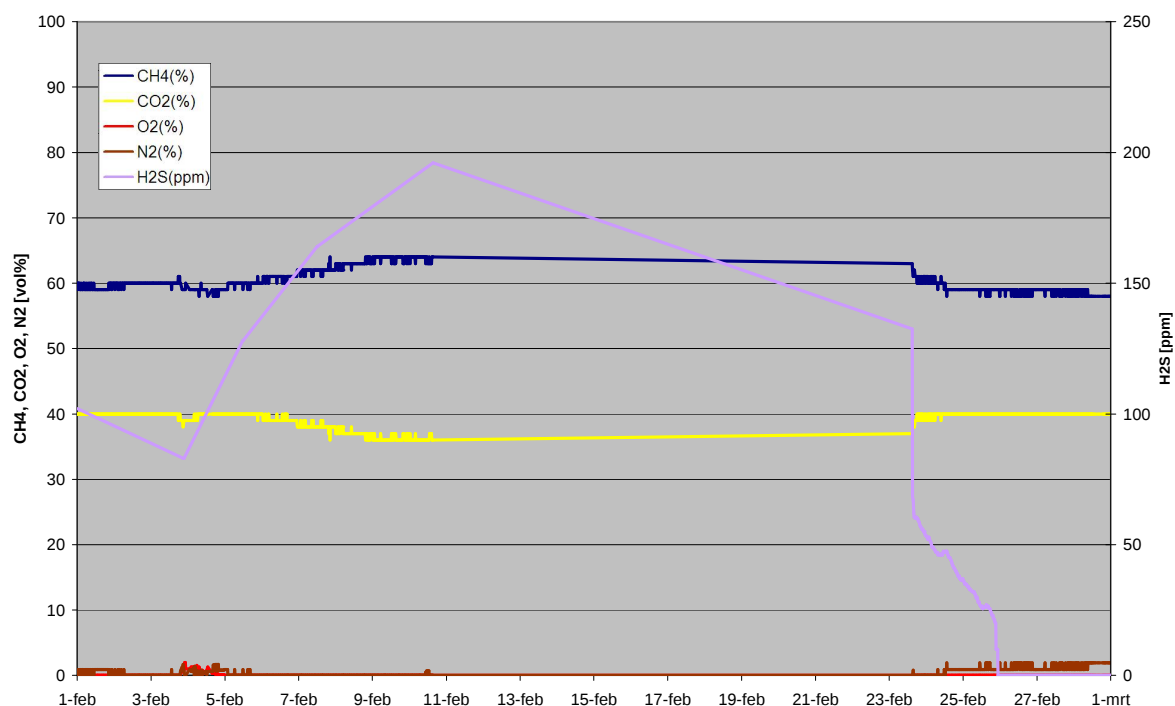


Fig. 4.7: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand februari 2010.

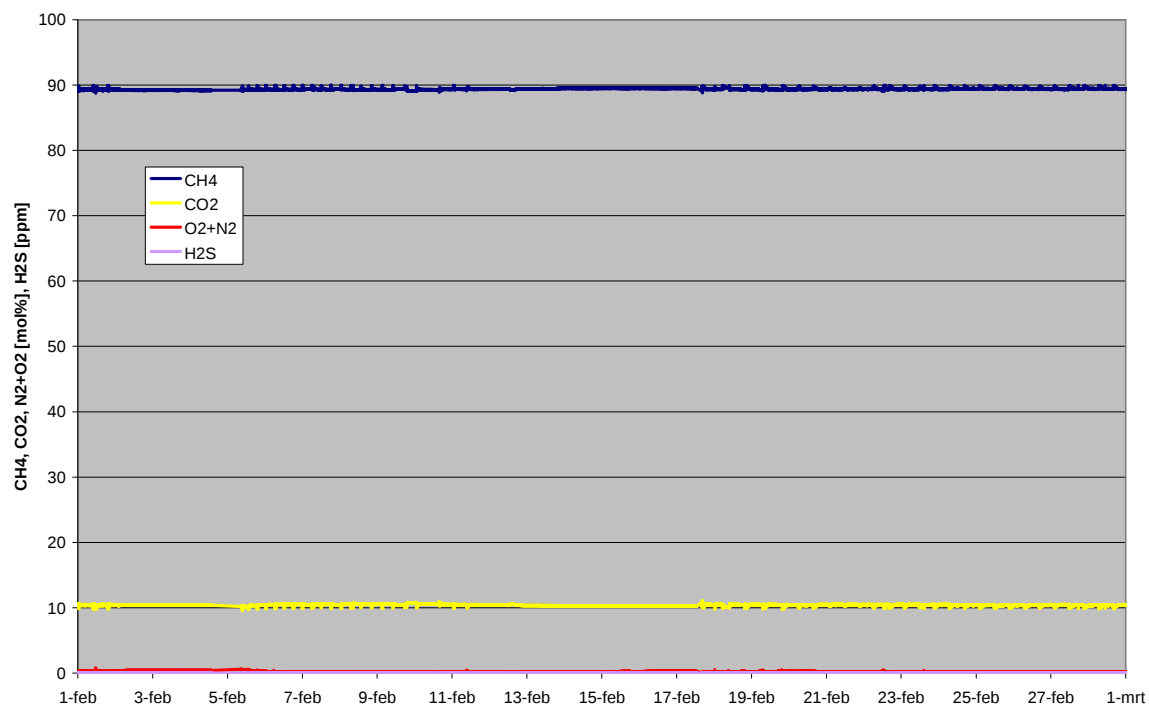


Fig. 4.8: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand februari 2010.

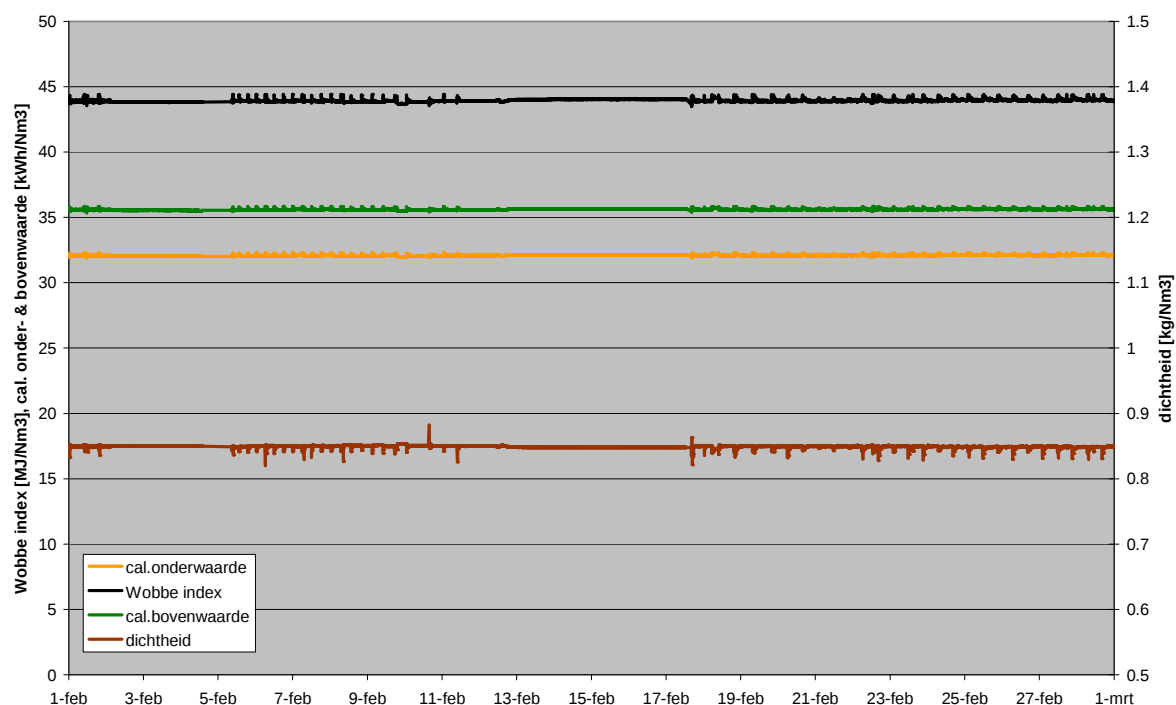


Fig. 4.9: Verloop berekende waardes van het groen gas gedurende de maand februari 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	60,4	1,79
CO ₂	vol%	39,1	1,39
O ₂	vol%	0,04	0,18
N ₂	vol%	0,4	0,59
H ₂ S	ppmv	135	45,8
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43.9	0.09
cal. onderwaarde	kWh/Nm ³	32.1	0.04
cal. bovenwaarde	kWh/Nm ³	35.6	0.05
dichtheid	kg/Nm ³	0.85	0.00
CH ₄	vol%	89.4	0.12
CO ₂	vol%	10.4	0.12
O ₂ + N ₂	vol%	0.2	0.08
H ₂ S	ppmv	0.0	0.00

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

Bijzondere situaties:

- De biogas analyzer is deze maand teruggegaan naar de leverancier voor reparatie, waardoor in de periode van 11 tot 23 februari geen biogasmetingen beschikbaar zijn.
- De H₂S-sensor van de biogas analyzer was vorige maand stukgegaan, waardoor de sensor continu 0ppm aangaf. In Figuur 3.1 zijn daarom tot 23 februari incidentele H₂S-metingen weergegeven, die gedaan zijn met een hand-held analyzer. Nadat de biogas analyzer terug was van de reparatie is vanaf 23 februari opnieuw geprobeerd om het H₂S-gehalte met de biogas analyzer te meten. Echter, ook nu weer daalt de gemeten waarde binnen 3 dagen naar 0ppm en blijft vervolgens continu 0ppm aangeven. De elektrochemische cel waarmee de biogas analyzer het H₂S-gehalte meet heeft een klein beetje zuurstof nodig om te functioneren, en het blijkt dat het biogas in Mijdrecht te weinig zuurstof bevat om de elektrochemische cel te laten functioneren.

4.1.4. Maart 2010

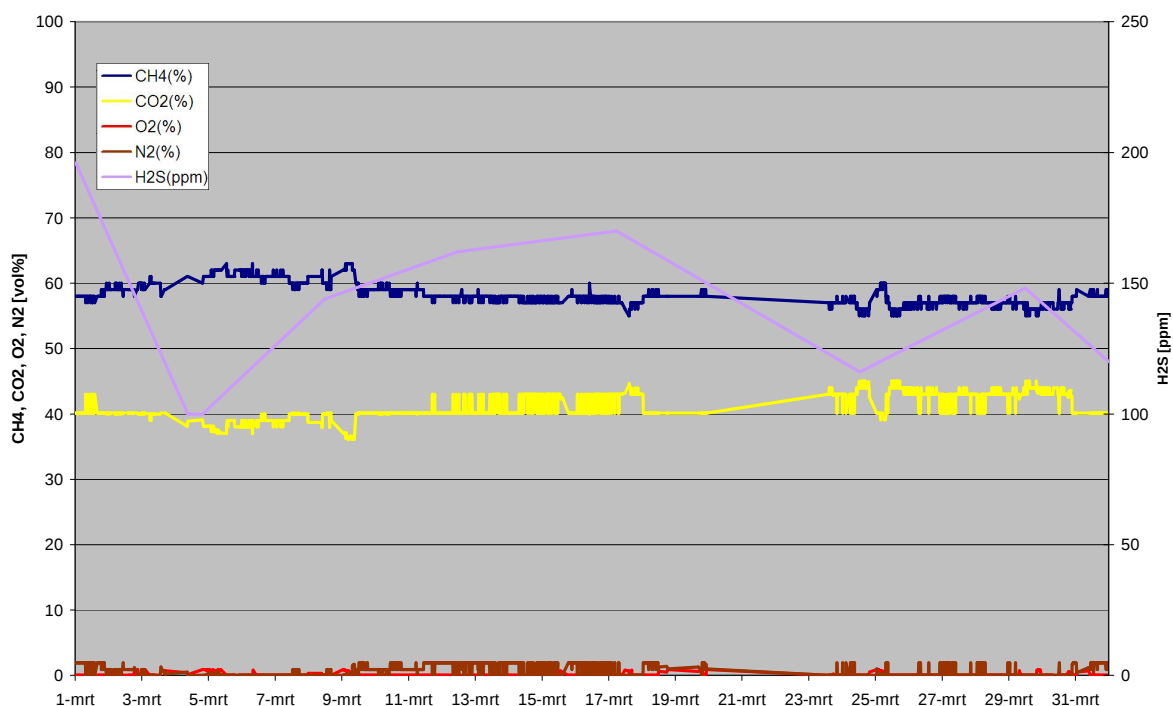


Fig. 4.10: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand maart 2010.

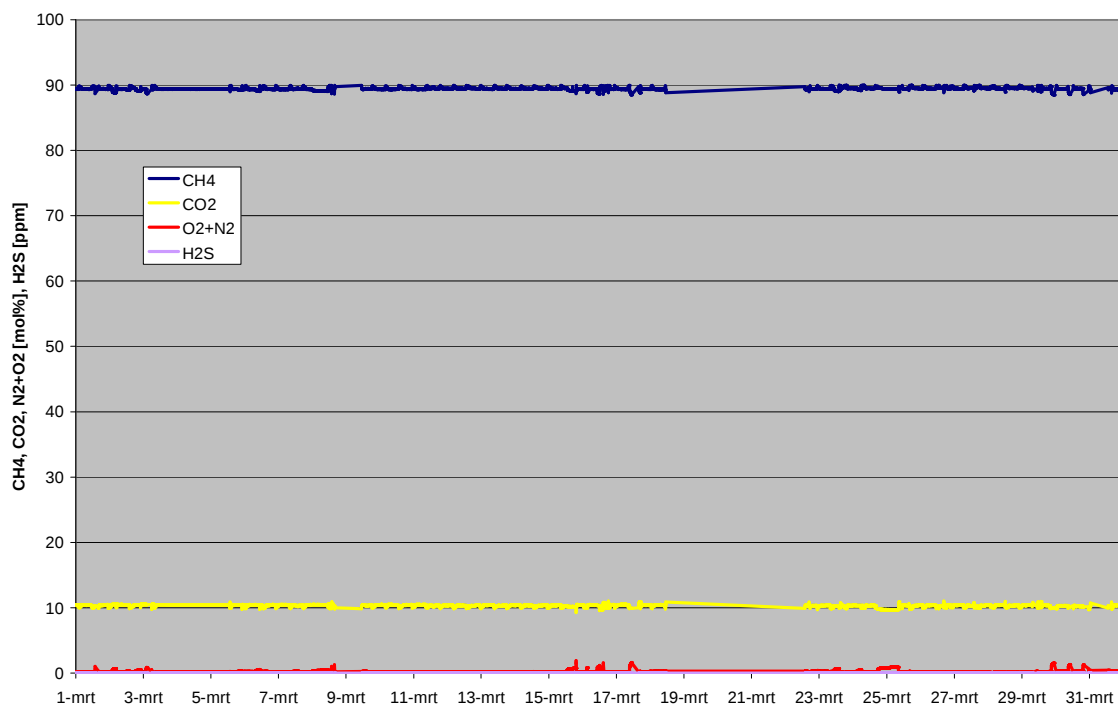


Fig. 4.11: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand maart 2010.

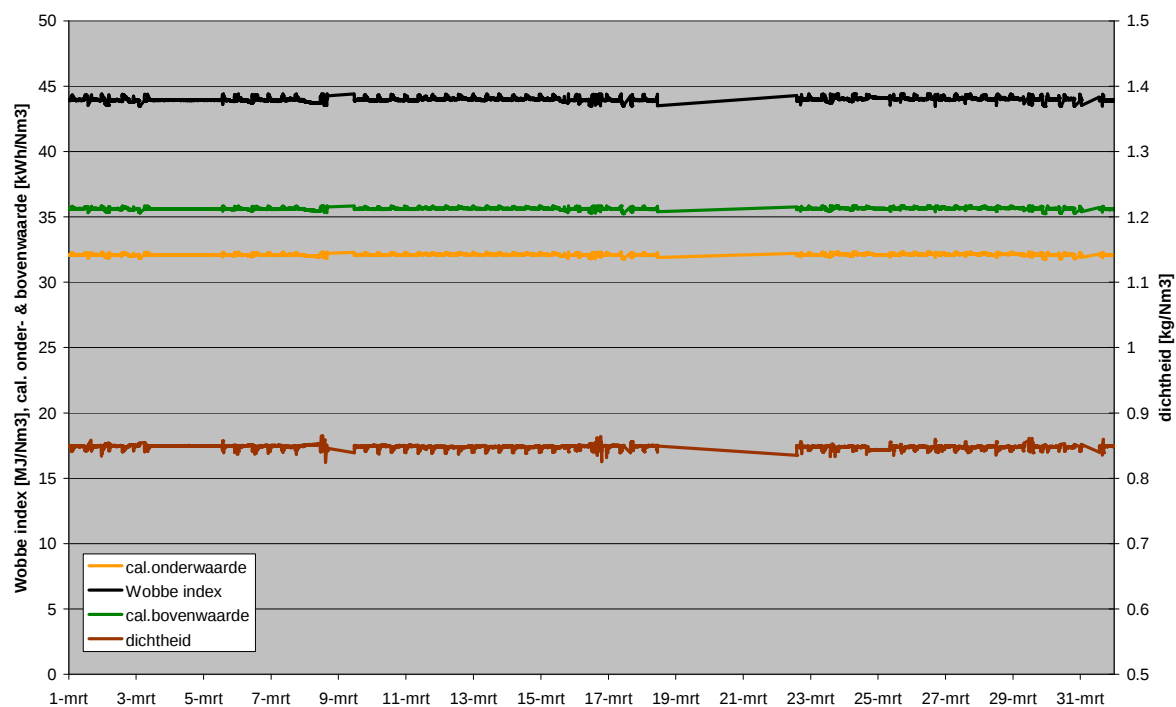


Fig. 4.12: Verloop berekende waarden van het groen gas gedurende de maand maart 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	58,2	1,59
CO ₂	vol%	41,1	1,85
O ₂	vol%	0,05	0,18
N ₂	vol%	0,7	0,84
H ₂ S	ppmv	144,5	31,65
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	44,0	0,13
cal. onderwaarde	kWh/Nm ³	32,1	0,06
cal. bovenwaarde	kWh/Nm ³	35,6	0,07
dichtheid	kg/Nm ³	0,85	0,00
CH ₄	vol%	89,4	0,17
CO ₂	vol%	10,3	0,17
O ₂ + N ₂	vol%	0,24	0,18
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

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

Bijzondere situaties:

- De biogas analyzer bleek het H₂S-gehalte niet goed te kunnen meten vanwege het lage zuurstofgehalte in het biogas. Hierdoor gaf de biogas analyzer vrijwel permanent 0ppm aan. Om toch een indruk te krijgen van het H₂S-gehalte in het biogas zijn regelmatig metingen gedaan met een hand-held analyzer. Deze metingen zijn weergegeven in Fig. 4.10. Meetmethode en nauwkeurigheid van deze hand-held analyzer zijn identiek aan die van de biogas analyzer.
- Op 3-5 maart, 9 maart en 18-22 maart heeft de installatie een tijdje stil gestaan.

4.1.5. April 2010

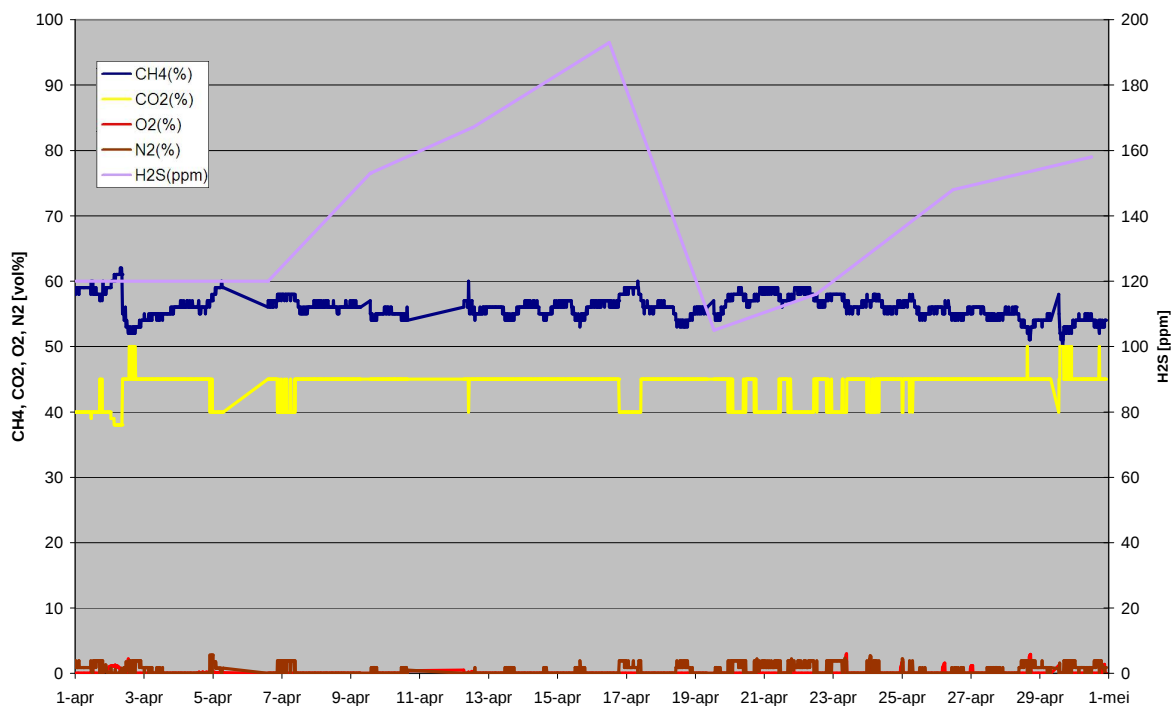


Fig. 4.13: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand april 2010.

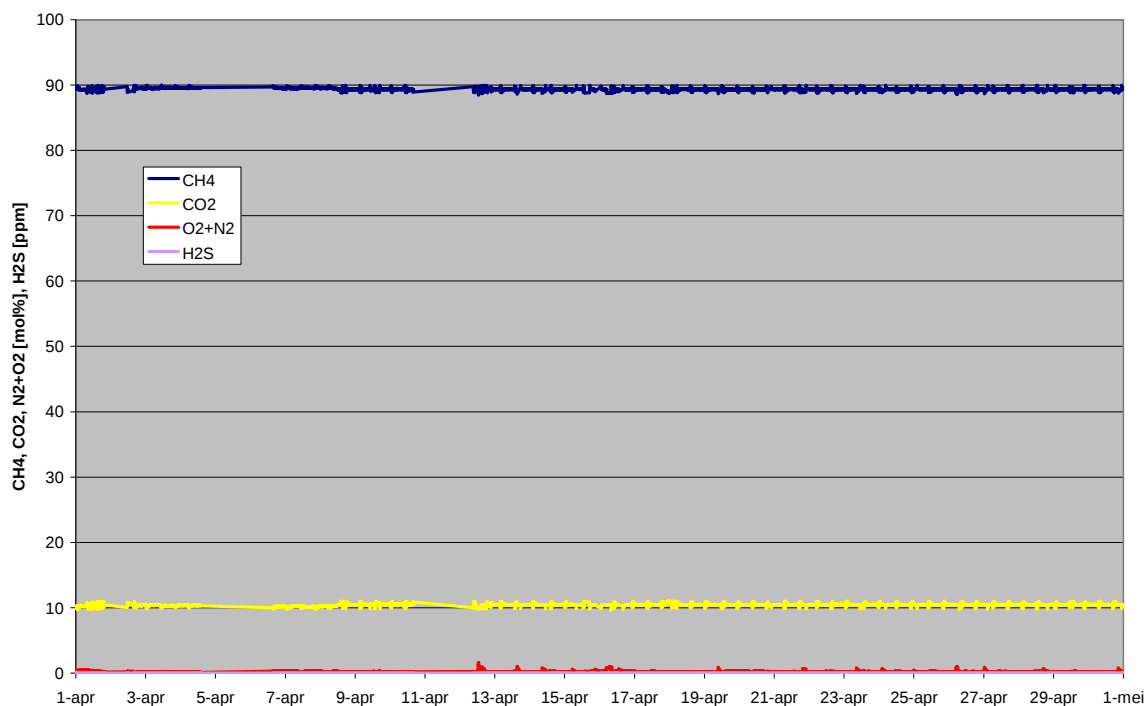


Fig. 4.14: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand april 2010.

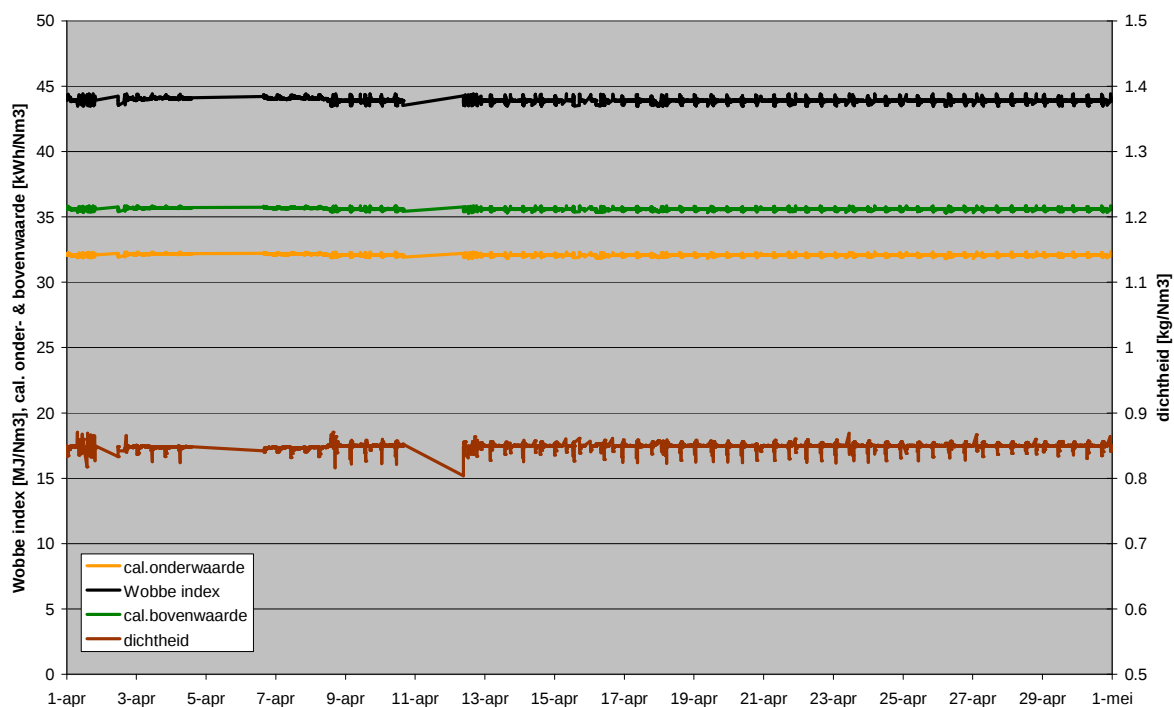


Fig. 4.15: Verloop berekende waarden van het groen gas gedurende de maand april 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	56,0	1,69
CO ₂	vol%	44,0	2,16
O ₂	vol%	0,06	0,29
N ₂	vol%	0,5	0,70
H ₂ S	ppmv	142	28,8
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,12
cal. onderwaarde	kWh/Nm ³	32,1	0,06
cal. bovenwaarde	kWh/Nm ³	35,6	0,06
dichtheid	kg/Nm ³	0,85	0,00
CH ₄	vol%	89,3	0,16
CO ₂	vol%	10,4	0,15
O ₂ + N ₂	vol%	0,2	0,08
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

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

Bijzondere situaties:

- De biogas analyzer bleek het H₂S-gehalte niet goed te kunnen meten vanwege het lage zuurstofgehalte in het biogas. Hierdoor gaf de biogas analyzer vrijwel permanent 0ppm aan. Om toch een indruk te krijgen van het H₂S-gehalte in het biogas zijn regelmatig metingen gedaan met een hand-held analyzer. Deze metingen zijn weergegeven in dit rapport. Meetmethode en nauwkeurigheid van deze hand-held analyzer zijn identiek aan die van de biogas analyzer.
- Op 5-6 april en 11 april heeft de installatie een tijdje stil gestaan.

4.1.6. Mei 2010

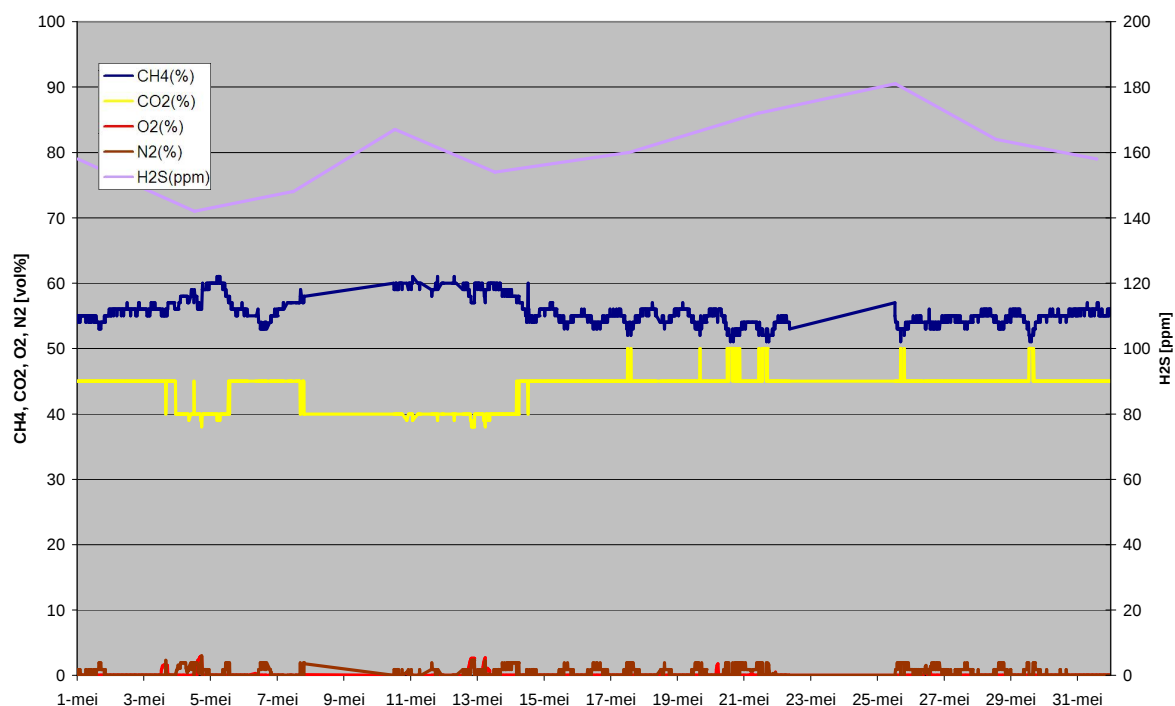


Fig. 4.16: Verloop biogassamenstelling gedurende de maand mei 2010.

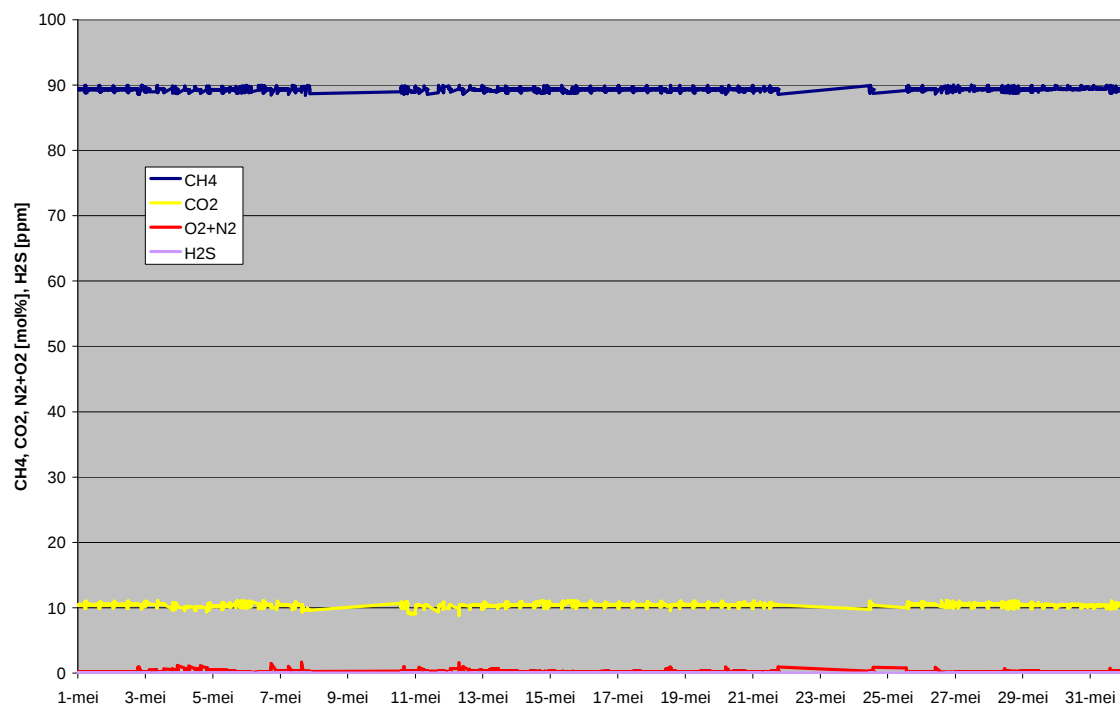


Fig. 4.17: Verloop groen gas samenstelling gedurende de maand mei 2010.

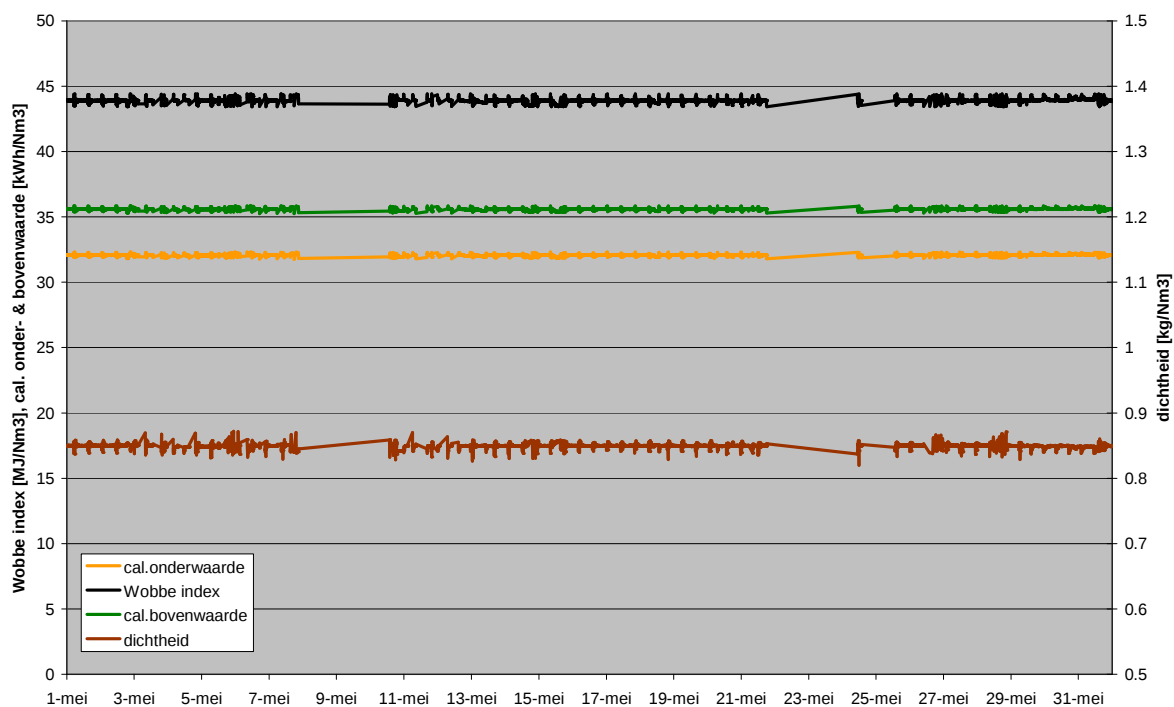


Fig. 4.18: Verloop berekende waarden van het groen gas gedurende de maand mei 2010.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	55,6	1,98
CO ₂	vol%	44,2	2,18
O ₂	vol%	0,07	0,35
N ₂	vol%	0,4	0,64
H ₂ S	ppmv	160	11,4
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,12
cal. onderwaarde	kWh/Nm ³	32,1	0,06
cal. bovenwaarde	kWh/Nm ³	35,6	0,06
dichtheid	kg/Nm ³	0,85	0,00
CH ₄	vol%	89,3	0,16
CO ₂	vol%	10,4	0,22
O ₂ + N ₂	vol%	0,2	0,12
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

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

Bijzondere situaties:

- De biogas analyzer bleek het H₂S-gehalte niet goed te kunnen meten vanwege het lage zuurstofgehalte in het biogas. Hierdoor gaf de biogas analyzer vrijwel permanent 0ppm aan. Om toch een indruk te krijgen van het H₂S-gehalte in het biogas zijn regelmatig metingen gedaan met een hand-held analyzer. Deze metingen zijn weergegeven in dit rapport. Meetmethode en nauwkeurigheid van deze hand-held analyzer zijn identiek aan die van de biogas analyzer.
- Op 8-10mei en 22-24 mei heeft de installatie een tijdje stil gestaan.

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

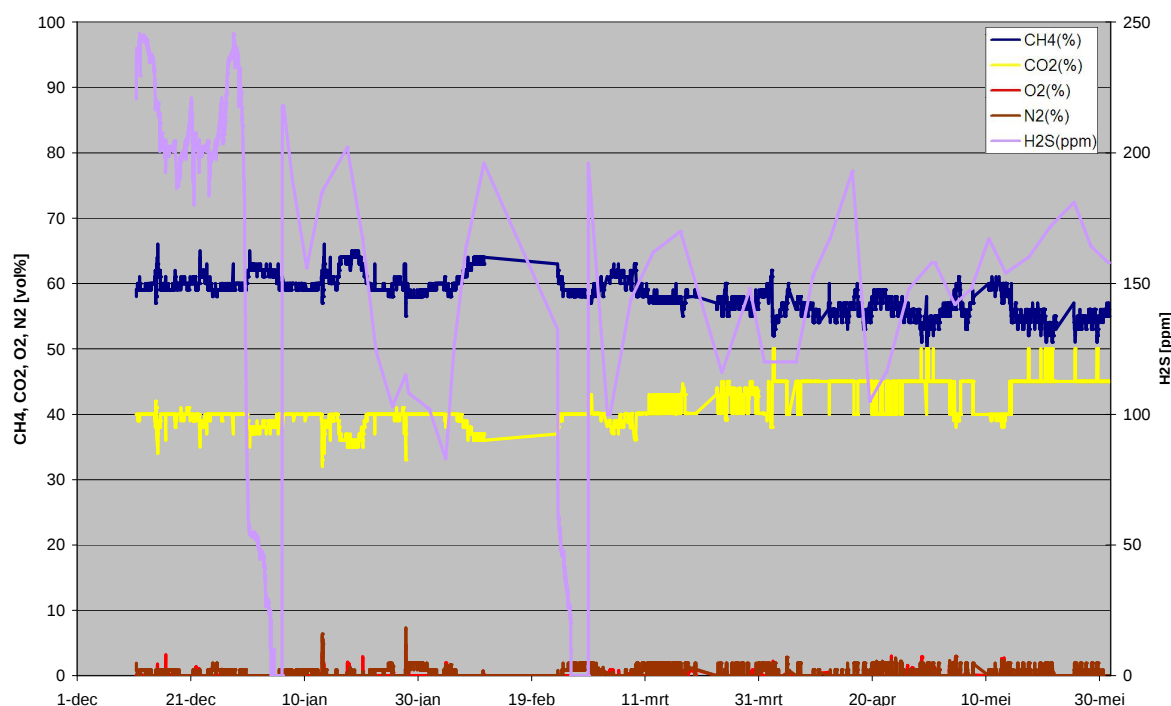


Fig. 4.19: Verloop biogassamenstelling gedurende de volledige periode.

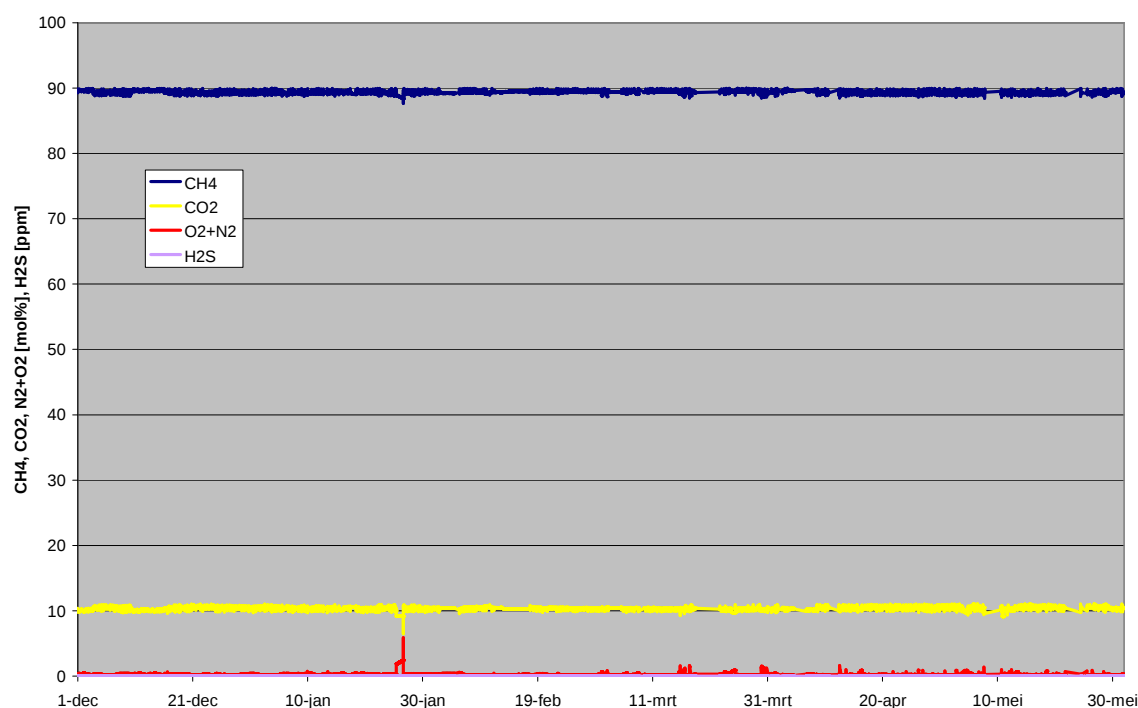


Fig. 4.20: Verloop groen gas samenstelling gedurende de volledige periode.

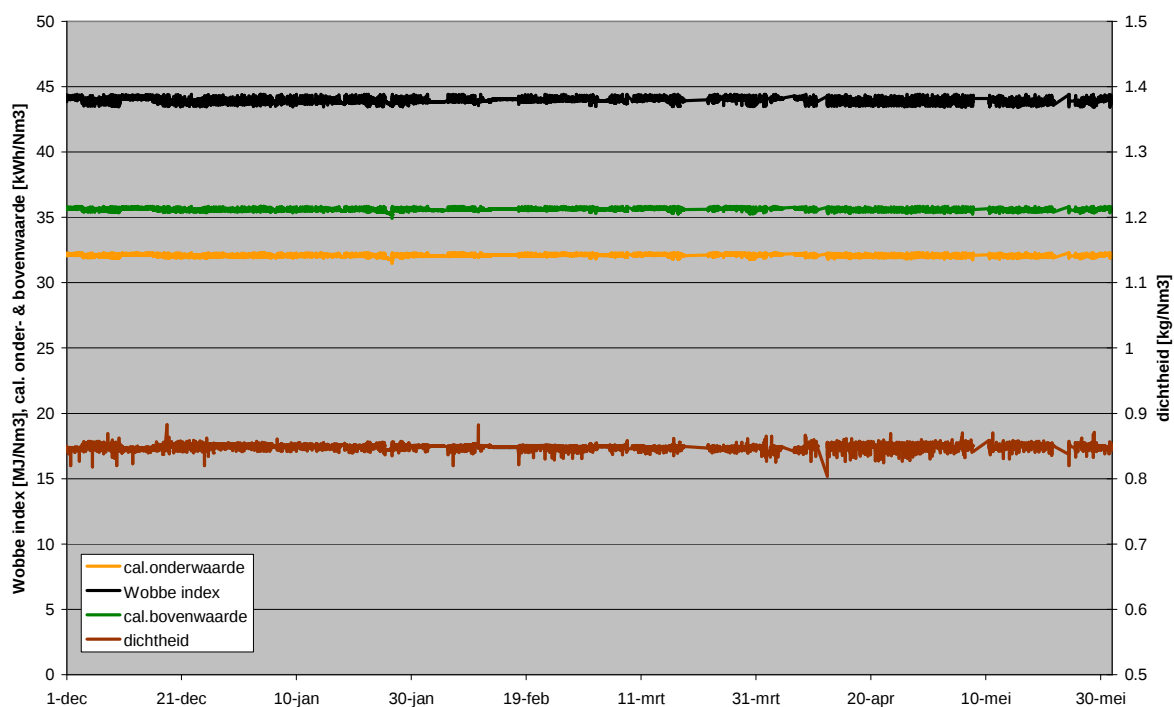


Fig. 4.21: Verloop berekende waarden van het groen gas gedurende de volledige periode.

parameter	eenheid	gemiddelde waarde	standaard deviatie
<u>biogas:</u>			
CH ₄	vol%	58,3	2,63
CO ₂	vol%	41,3	2,83
O ₂	vol%	0,1	0,28
N ₂	vol%	0,5	0,69
H ₂ S	ppmv	142,5	92,4
<u>groen gas:</u>			
Wobbe index	MJ/Nm ³	43,9	0,13
cal. onderwaarde	kWh/Nm ³	32,1	0,06
cal. bovenwaarde	kWh/Nm ³	35,6	0,07
dichtheid	kg/Nm ³	0,8	0,00
CH ₄	vol%	89,3	0,18
CO ₂	vol%	10,4	0,21
O ₂ + N ₂	vol%	0,3	0,21
H ₂ S	ppmv	0,0	0,00

Tabel 4.7: Statistieken van de continu gemeten parameters voor de volledige 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

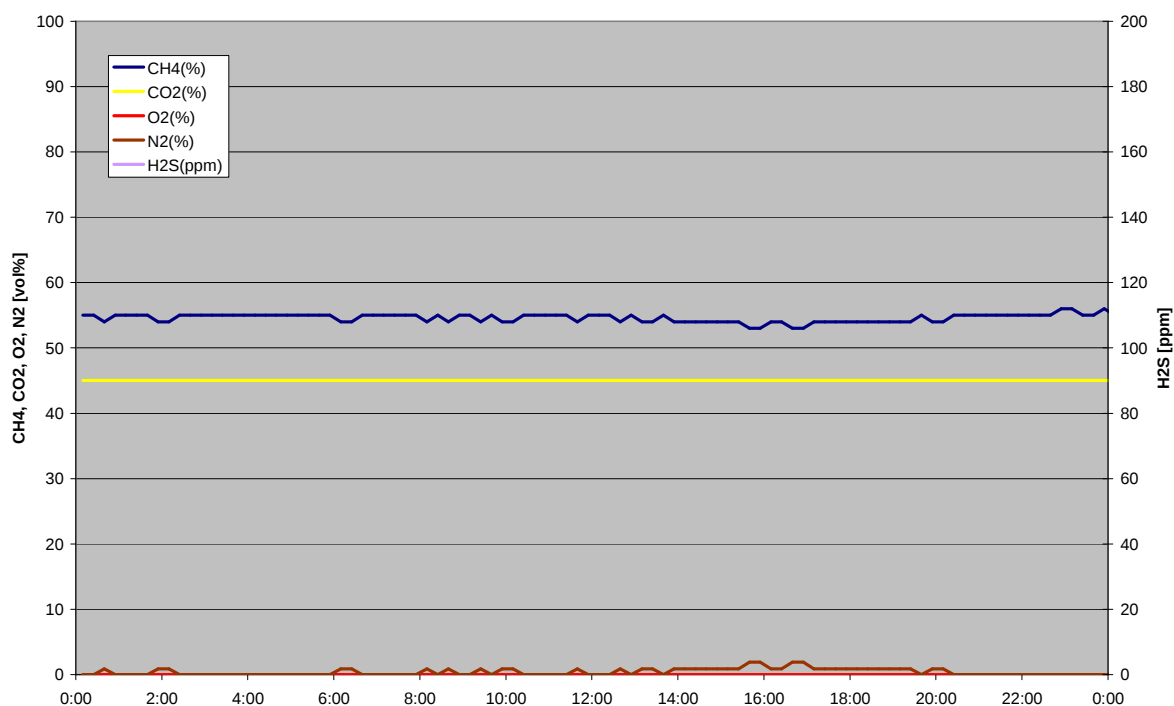


Fig. 4.22: Voorbeeld typisch verloop biogassamenstelling gedurende een periode van 24 uur.

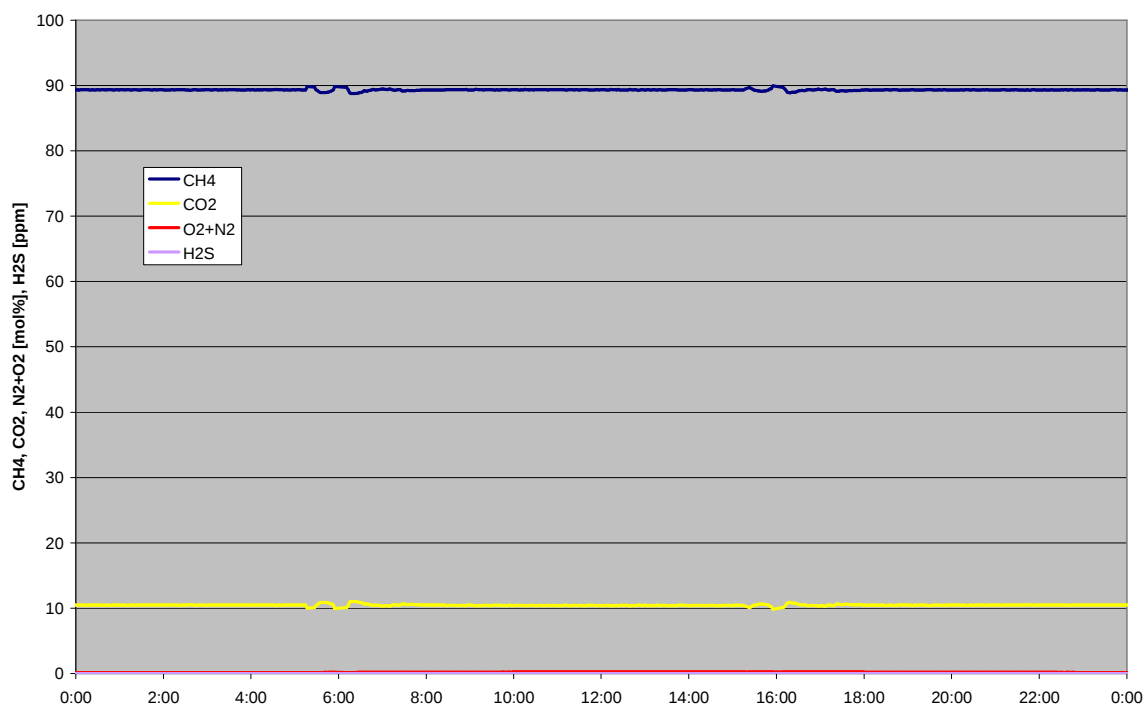


Fig. 4.23: Voorbeeld typisch verloop groen gas samenstelling gedurende een periode van 24 uur.

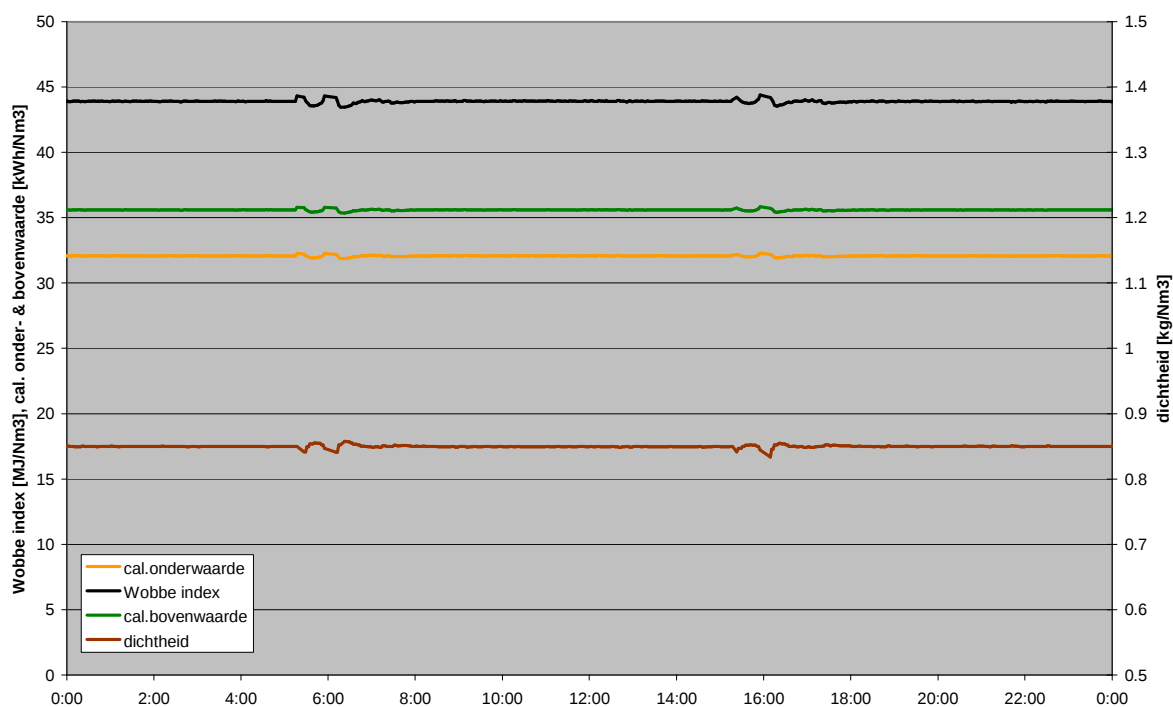


Fig. 4.24: Voorbeeld typisch verloop berekende waardes van het groen gas gedurende een periode van 24 uur.

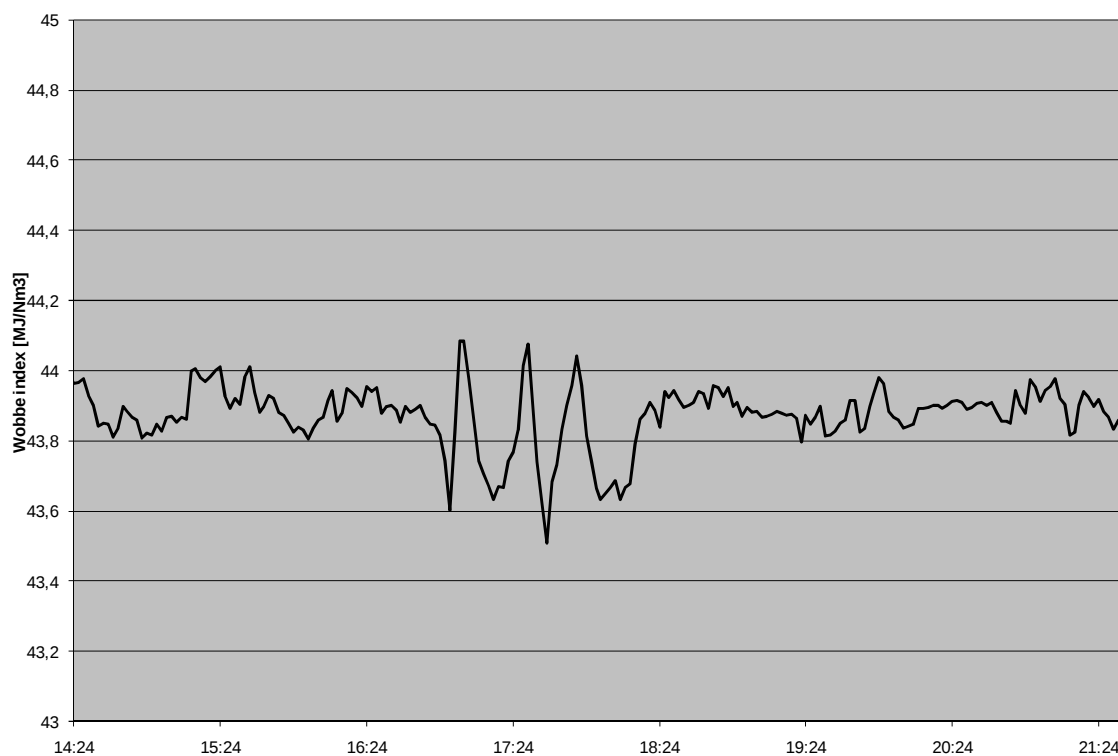


Fig. 4.25: Voorbeeld verloop Wobbe index tijdens een kleine procesverstoring (rond 17:00 heeft de installatie omgeschakeld van het ene naar het andere drogervat).

4.2. Uitgebreide analyses

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

		datum monstername: 23-2-2010		
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%	0,781	0,864	0,000
Kooldioxide	mol%	38,271	10,109	99,446
Methaan	mol%	60,948	89,026	0,554
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
Hexaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Cyclohexaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Heptanen	mol%	0,000	0,000	0,000
Methyl-cyclohexaan	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	73,6	NA	NA
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	<0,1	0,4
Ethylbenzeen	ppm mol	11,5	0,1	0,2
Xylenen	ppm mol	28,1	0,6	3,1
D4-siloxaan	mg/m ³ _n	<5	NA	NA
D5-siloxaan	mg/m ³ _n	33,7	NA	0,3
waterstofchloride	ppm v/v	<0,7	<0,7	
waterstoffluoride	ppm v/v	<0,1	<0,1	
waterstofcyanide	ppm v/v	<0,01	<0,01	
ammoniak	ppm v/v	<1,8	<1,8	
Calorische bovenwaarde (H _s)	MJ/m ³	24,31	35,47	0,22
Calorische onderwaarde (H _i)	MJ/m ³	21,91	31,97	0,20
H _i /H _s	-	0,9012	0,9012	0,9012
Wobbe index	MJ/m ³	25,21	43,78	0,18
Relatieve dichtheid	-	0,9297	0,6565	1,5235
Dichtheid	kg/m ³	1,2020	0,8488	1,9697

Tabel 4.8: Resultaten van de uitgebreide analyses d.d. 23-2-2010. NA = Niet Aantoonbaar.

		datum monstername: 18-5-2010		
Component	Eenheid	Biogas	Groen gas	Restgas
Helium	mol%	0,000	0,000	0,000
Waterstof	mol%	0,000	0,000	0,000
Zuurstof	mol%	0,784	0,073	0,047
Stikstof	mol%	3,561	0,875	0,000
Kooldioxide	mol%	39,476	10,296	99,953
Methaan	mol%	56,179	88,756	0,000
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
Hexaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Cyclohexaan	mol%	0,000	0,000	0,000
Heptanen	mol%	0,000	0,000	0,000
Methyl-cyclohexaan	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	55,7	NA	45.8
Carbonylsulfide	ppm mol	NA	NA	NA
Methylmercaptaan	ppm mol	NA	NA	NA
Ethylmercaptaan	ppm mol	NA	NA	NA
Benzeen	ppm mol	0,2	0,2	<0.1
Tolueen	ppm mol	0,8	0,1	0.3
Ethylbenzeen	ppm mol	11,2	0,1	<0.1
Xylenen	ppm mol	5,0	0,1	<0.1

D4-siloxaan	mg/m ³ _n	<5	<5	<5
D5-siloxaan	mg/m ³ _n	27,9	<5	<5
waterstofchloride	ppm v/v			
waterstoffluoride	ppm v/v			
waterstofcyanide	ppm v/v			
ammoniak	ppm v/v			
Calorische bovenwaarde (H _s)	MJ/m ³	22,41	35,36	0,00
Calorische onderwaarde (H _i)	MJ/m ³	20,19	31,87	0,00
H _i /H _s	-	0,9012	0,9012	0,9012
Wobbe index	MJ/m ³	22,90	43,57	0,00
Relatieve dichtheid	-	0,9571	0,6588	1,5287
Dichtheid	kg/m ³	1,2375	0,8517	1,9765

Tabel 4.9: Resultaten van de uitgebreide analyses d.d. 18-5-2010. 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)	23-2-2010	78	NA	cellen/liter gas
groen gas (2)	23-2-2010	74	NA	cellen/liter gas
groen gas blanco	23-2-2010	15000	NA	cellen/totaal
biogas (1)	23-2-2010	74	NA	cellen/liter gas
biogas (2)	23-2-2010	74	NA	cellen/liter gas
biogas blanco	23-2-2010	6600	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)	23-2-2010	3,7	NA	cellen/liter gas
groen gas (2)	23-2-2010	3,5	NA	cellen/liter gas
groen gas blanco	23-2-2010	720	NA	cellen/liter gas
biogas (1)	23-2-2010	3,5	NA	cellen/liter gas
biogas (2)	23-2-2010	3,5	NA	cellen/liter gas
biogas blanco	23-2-2010	310	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)	23-2-2010	3,0	NA	cellen/liter gas
groen gas (2)	23-2-2010	720	NA	cellen/liter gas
groen gas blanco	23-2-2010	310	NA	cellen/liter gas
biogas (1)	23-2-2010	4,0	NA	cellen/liter gas
biogas (2)	23-2-2010	3,0	NA	cellen/liter gas
biogas blanco	23-2-2010	3,0	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).

Bij het maken van massa- en energiebalansen dient er rekening mee te worden gehouden dat de installatie in Mijdrecht een deel van het inkomende biogas verbrandt om te voorzien in de voor het proces benodigde warmte, zoals beschreven in Hoofdstuk 2. Hierdoor zijn er twee mogelijke invalshoeken om naar de massa- en energiebalans te kijken:

1. Beschouw de biogas flow naar de boiler als deel van het opgewerkte biogas:

In dit geval is het methaanrendement van de installatie relatief laag, maar het energieverbruik van de installatie ook. Deze invalshoek wordt in dit hoofdstuk

aangegeven als “inclusief biogas naar boiler”.

2. Beschouw de biogas flow naar de boiler als externe warmtetoevoer:

In dit geval is het methaanrendement van de installatie hoog, maar het energieverbruik van de installatie ook. Deze invalshoek wordt in dit hoofdstuk aangegeven als “exclusief biogas naar boiler”.

Daarom worden in dit hoofdstuk, waar relevant, de waardes voor beide invalshoeken gegeven.

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.

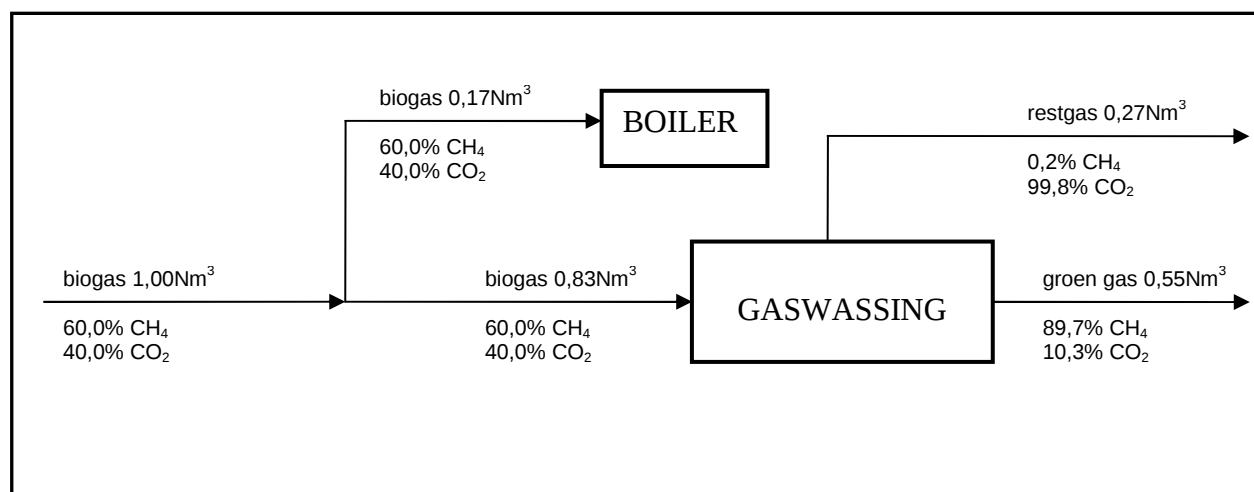


Fig. 5.1: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand december 2009.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,1%
- Methaanrendement: 81,8% inclusief biogas naar boiler
99,2% exclusief biogas naar boiler

5.1.2. Energiebalans

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

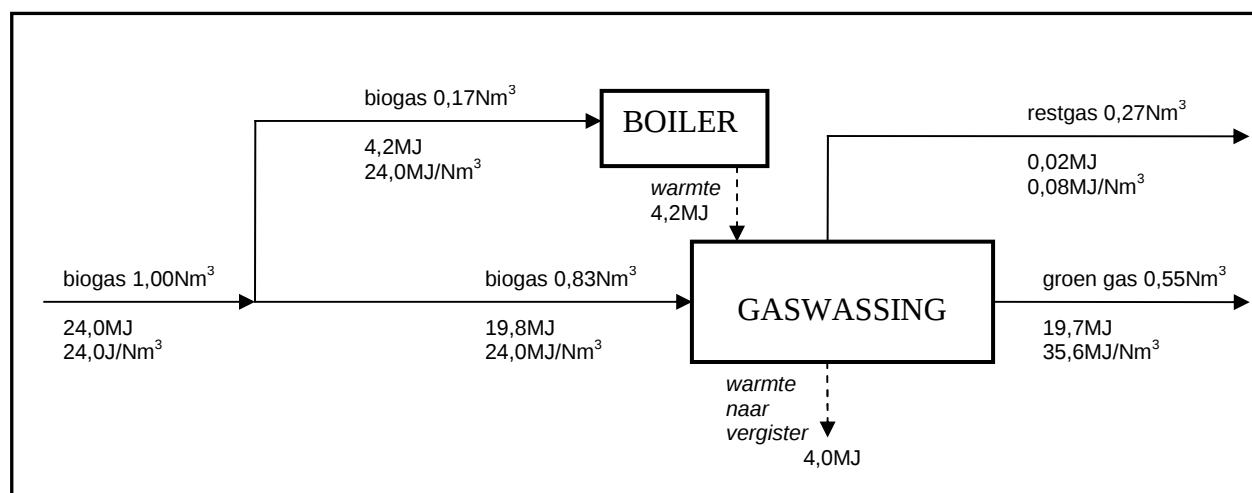


Fig. 5.2: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand december 2009.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 98,4%
- Gas energetisch rendement: 81,8% inclusief biogas naar boiler
99,2% exclusief biogas naar boiler
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,49 kWh/Nm³
- Specifiek warmteverbruik: 0,00 kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
2,12 kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler
- Specifiek energieverbruik: 0,49 kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
2,61 kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler

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.

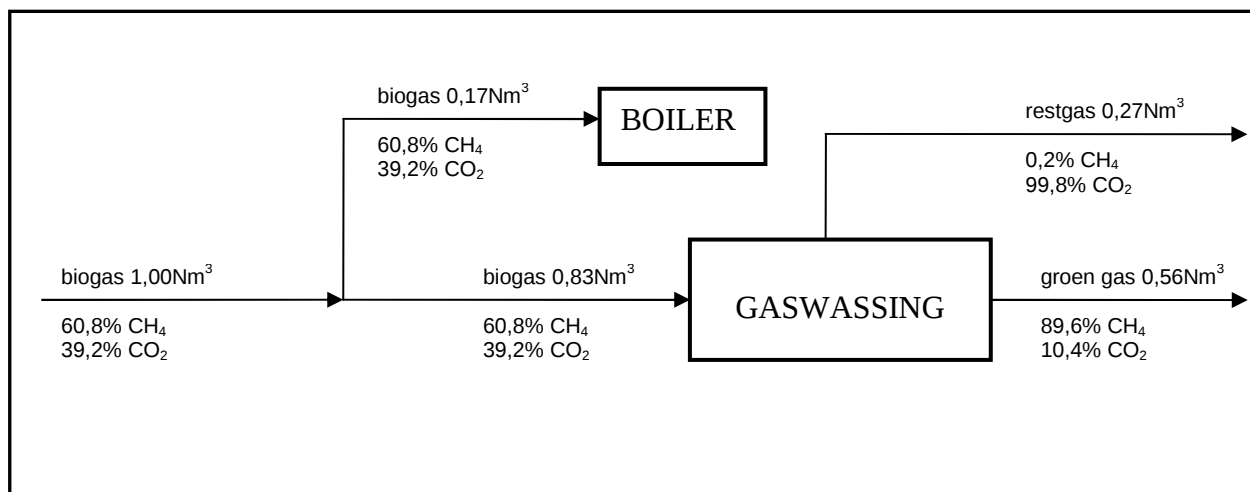


Fig. 5.3: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand januari 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,1%
- Methaanrendement: 82,4% inclusief biogas naar boiler
99,3% exclusief biogas naar boiler

5.2.2. Energiebalans

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

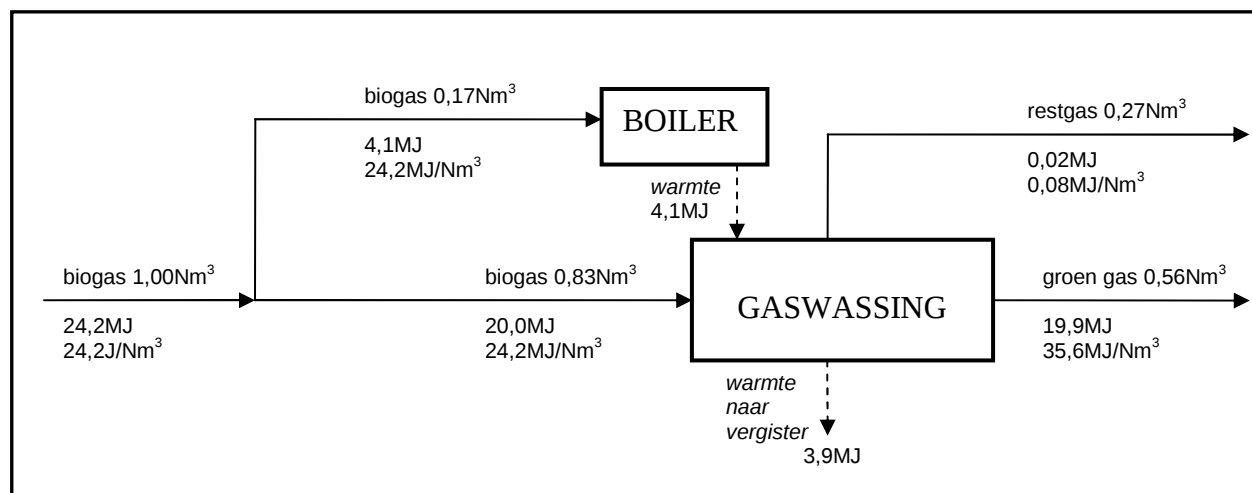


Fig. 5.4: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand januari 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 98,6%
- Gas energetisch rendement: 82,4% inclusief biogas naar boiler
99,3% exclusief biogas naar boiler
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,50kWh/Nm³
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
2,05kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler
- Specifiek energieverbruik: 0,50kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
2,55kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler

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. Voor de gassamenstelling zijn deze maand de resultaten van de uitgebreide analyses d.d. 23 februari gebruikt (zie §4.2).

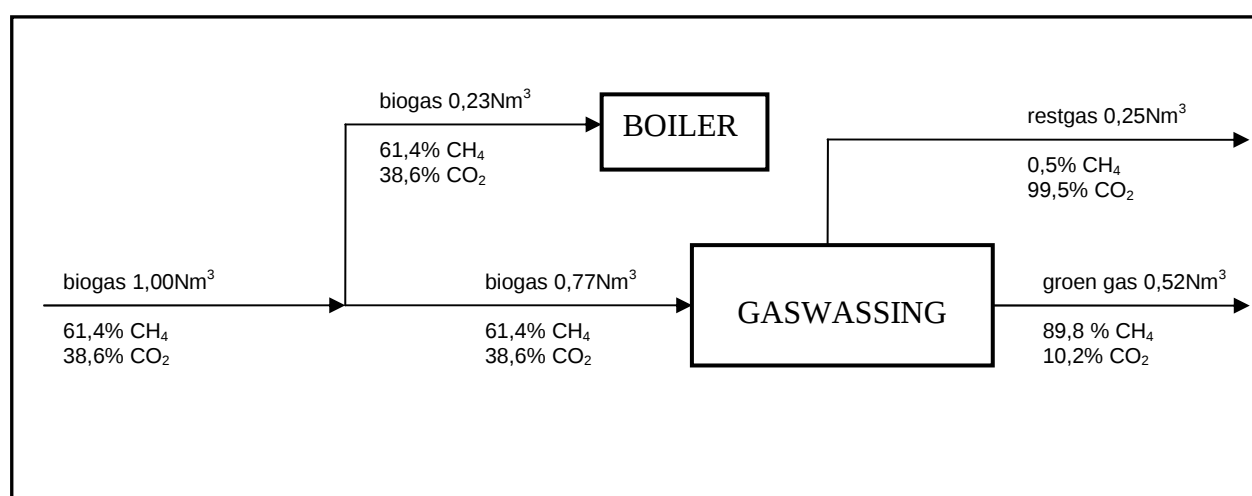


Fig. 5.5: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand februari 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,2%
- Methaanrendement: 76,6% inclusief biogas naar boiler
98,9% exclusief biogas naar boiler

5.3.2. Energiebalans

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

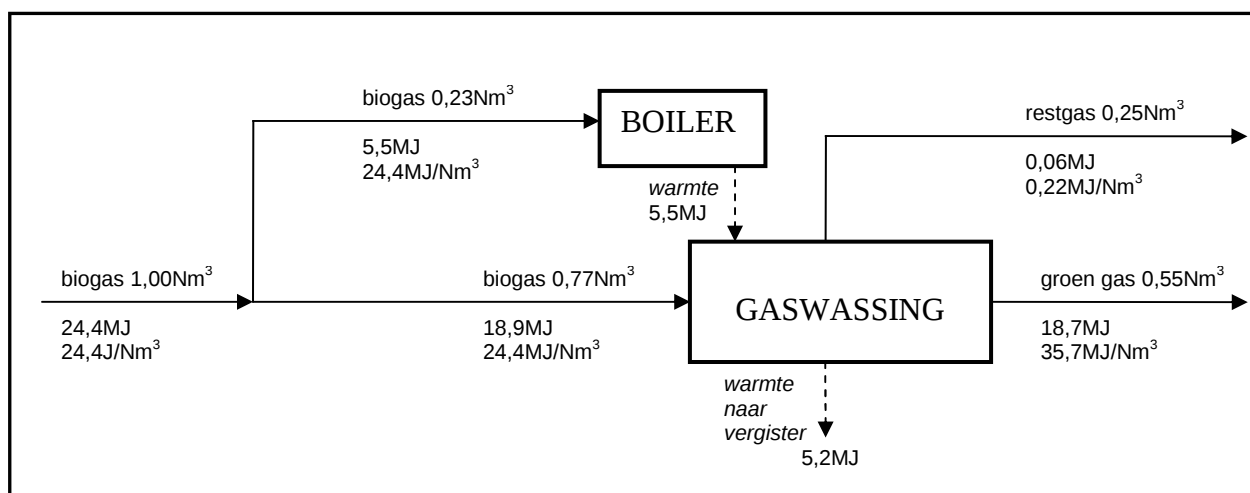


Fig. 5.6: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand februari 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 98,0%
- Gas energetisch rendement: 76,6% inclusief biogas naar boiler
98,9% exclusief biogas naar boiler
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,55 kWh/Nm³
- Specifiek warmteverbruik: 0,00 kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
2,92 kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler
- Specifiek energieverbruik: 0,55 kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
3,47 kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler

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.

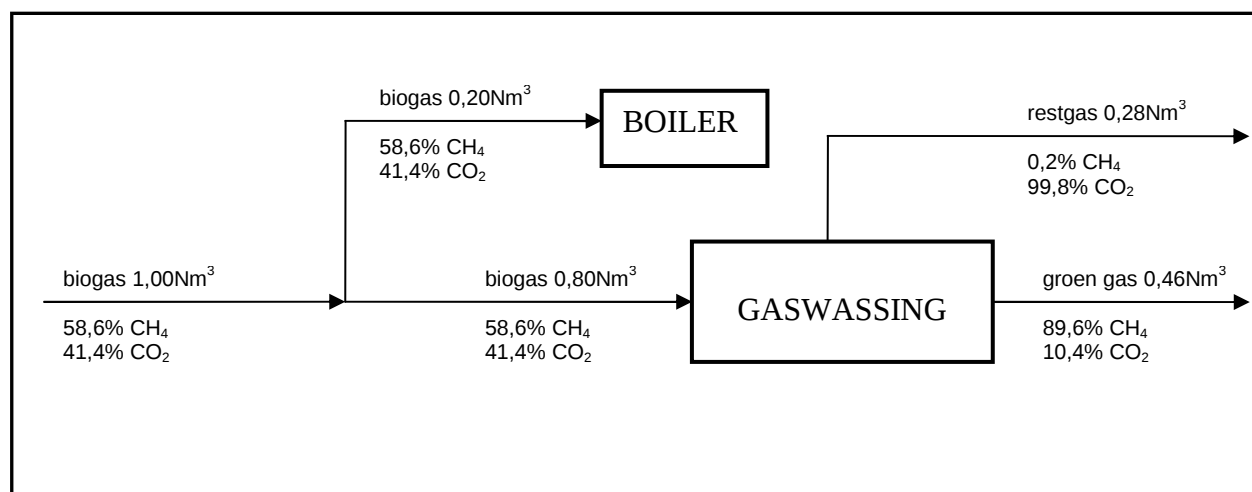


Fig. 5.7: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand maart 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,1%
- Methaanrendement 79,2% inclusief biogas naar boiler
99,1% exclusief biogas naar boiler

5.4.2. Energiebalans

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

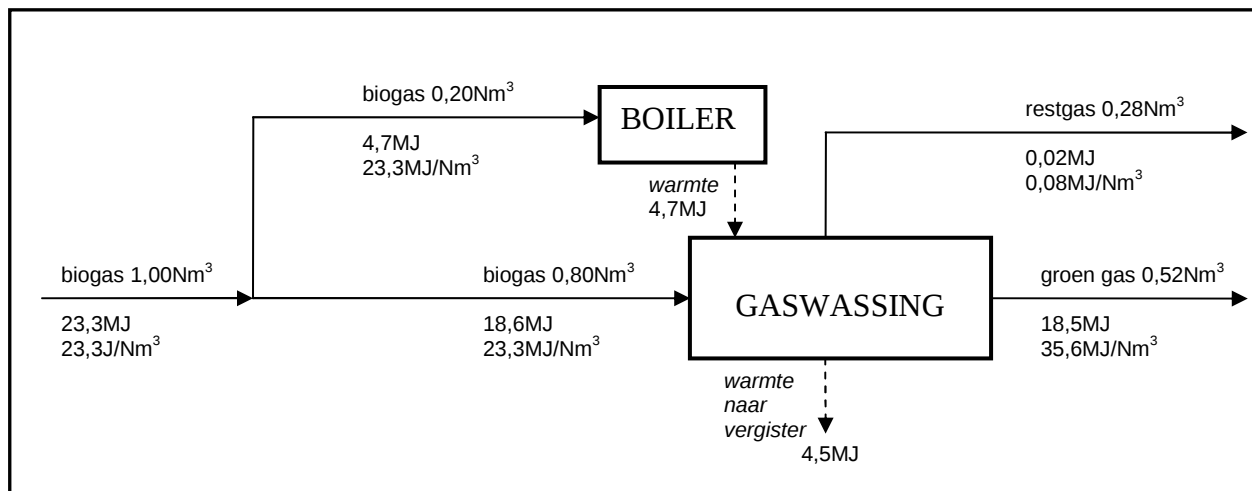


Fig. 5.8: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand maart 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 98,3%
- Gas energetisch rendement: 79,2% inclusief biogas naar boiler
99,1% exclusief biogas naar boiler
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,57 kWh/Nm³
- Specifiek warmteverbruik: 0,00 kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
2,51 kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler
- Specifiek energieverbruik: 0,57 kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
3,08 kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler

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.

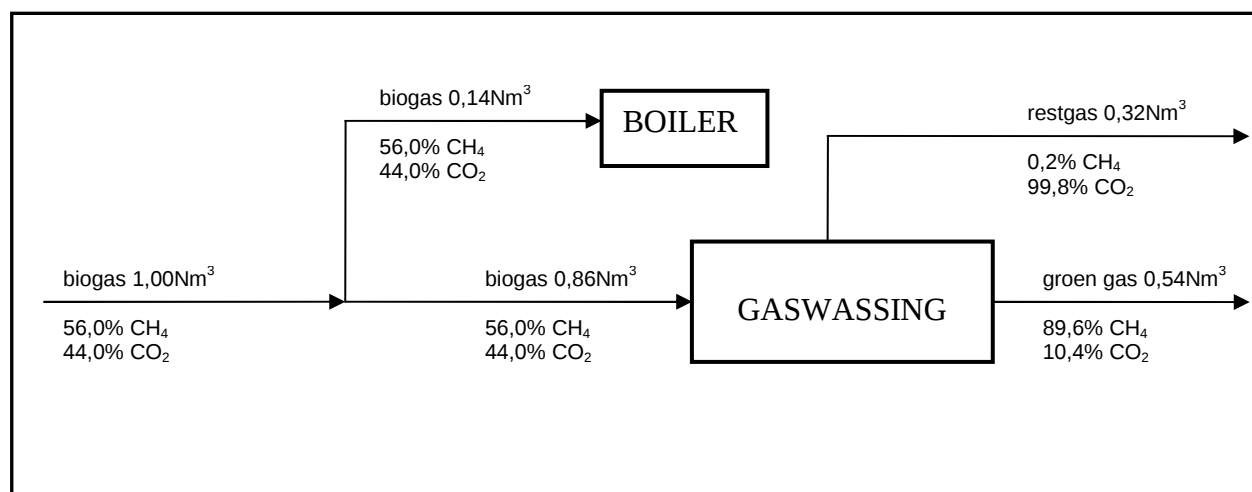


Fig. 5.9: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand april 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,1%
- Methaanrendement: 86,2% inclusief biogas naar boiler
99,9% exclusief biogas naar boiler

5.5.2. Energiebalans

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

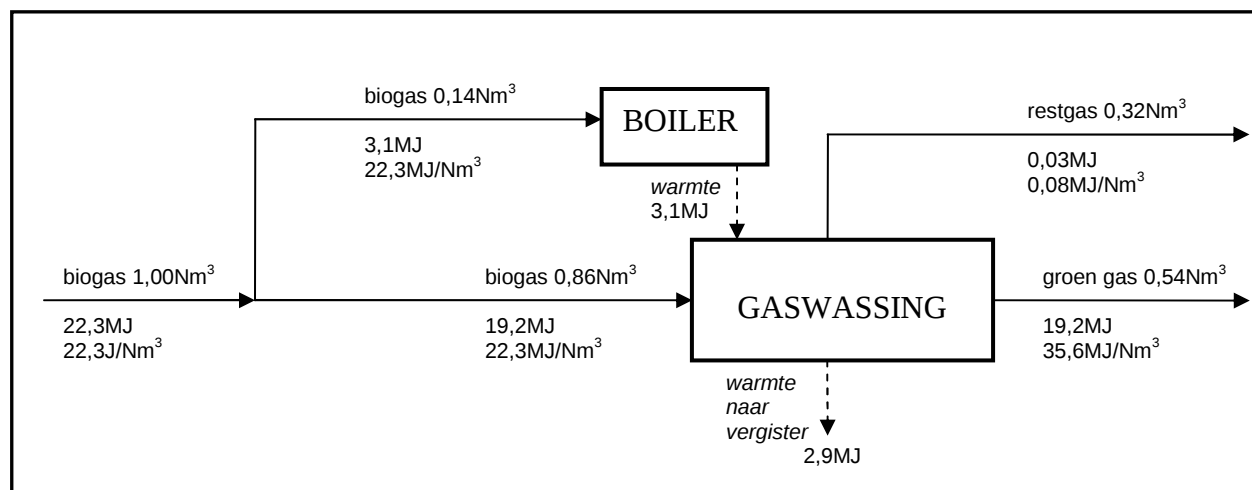


Fig. 5.10: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand april 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 99,2%
- Gas energetisch rendement: 86,2% inclusief biogas naar boiler
99,9% exclusief biogas naar boiler
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,53kWh/Nm³
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
1,57kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler
- Specifiek energieverbruik: 0,53kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
2,10kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler

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. Voor de gassamenstelling zijn deze maand de resultaten van de uitgebreide analyses d.d. 18 mei gebruikt (zie §4.2).

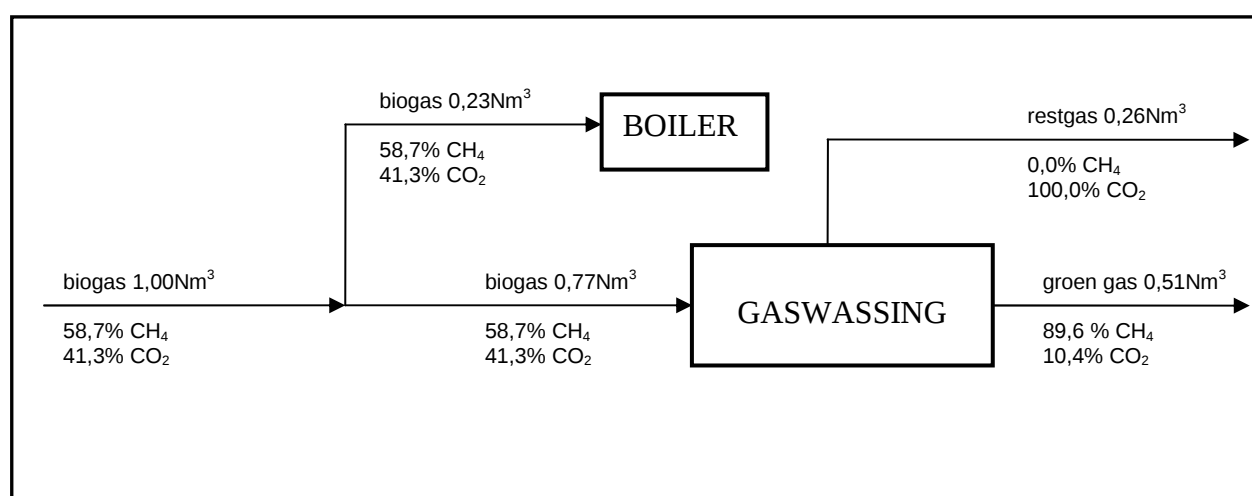


Fig. 5.11: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand mei 2010.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,0%
- Methaanrendement: 77,2% inclusief biogas naar boiler
100,0% exclusief biogas naar boiler

5.6.2. Energiebalans

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

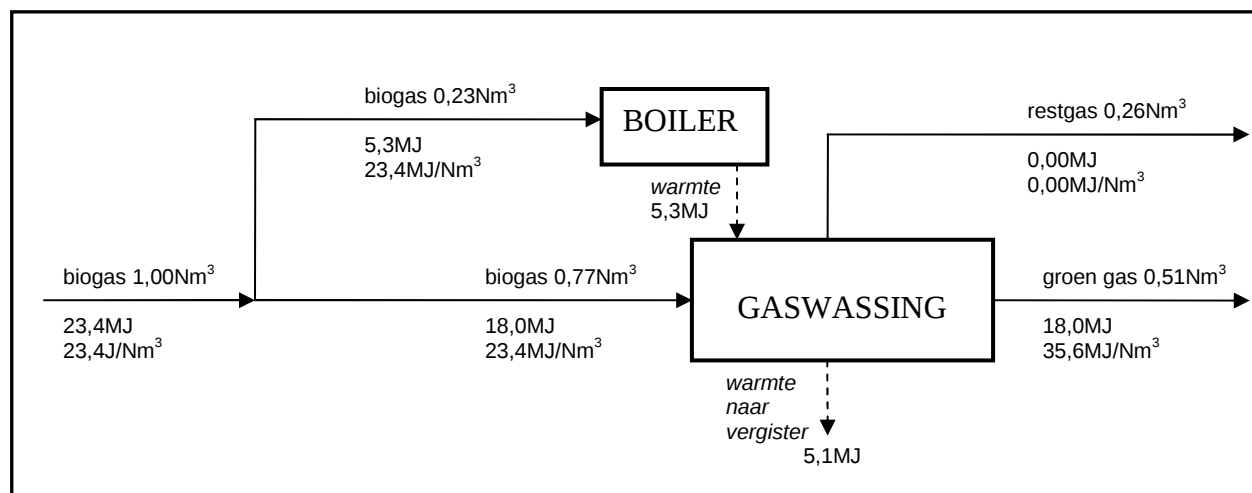


Fig. 5.12: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de maand mei 2010.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 98,9%
- Gas energetisch rendement: 77,2% inclusief biogas naar boiler
100,0% exclusief biogas naar boiler
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,44kWh/Nm³
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
2,92kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler
- Specifiek energieverbruik: 0,44kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
3,36kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler

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).

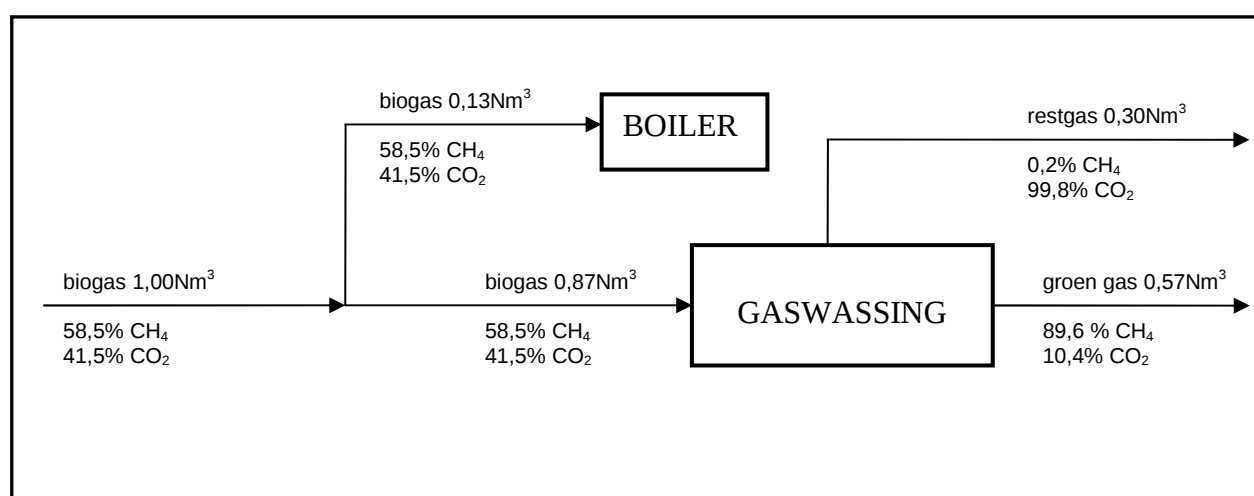


Fig. 5.13: Overall massabalans van de opwerkingsinstallatie voor de gehele periode.

Uit deze massabalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Methaanslip: 0,1%
- Methaanrendement: 86,9% inclusief biogas naar boiler
99,9% exclusief biogas naar boiler

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).

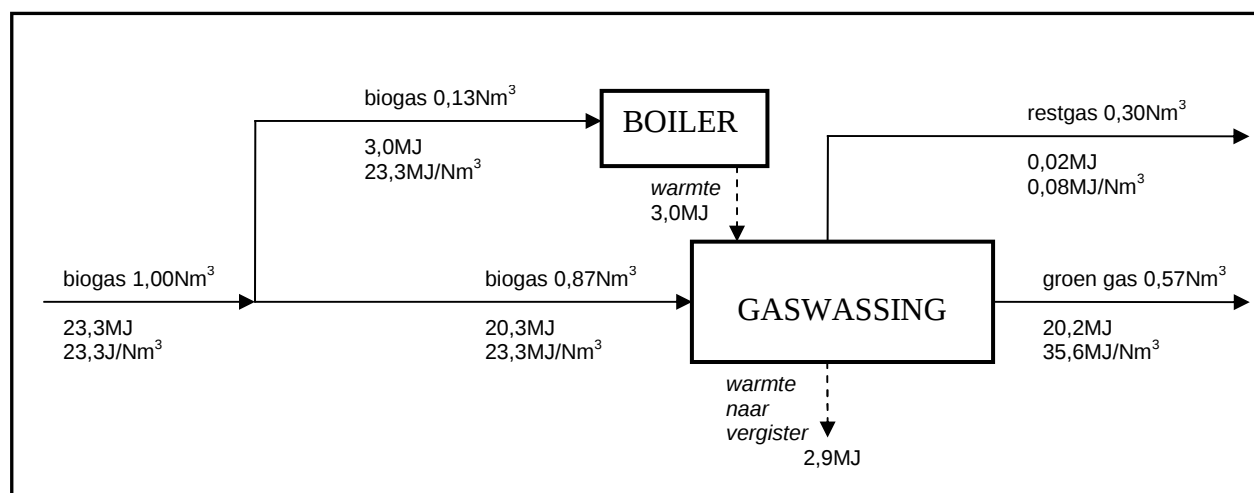


Fig. 5.14: Overall energiebalans van de opwerkingsinstallatie voor de gehele periode.

Uit deze energiebalans zijn de volgende kengetallen te berekenen:

- Overall energetisch rendement: 99,2%
- Gas energetisch rendement: 86,9% inclusief biogas naar boiler
99,9% exclusief biogas naar boiler
- Specifiek elektriciteitsverbruik: 0,51kWh/Nm³
- Specifiek warmteverbruik: 0,00kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
1,48kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler
- Specifiek energieverbruik: 0,51kWh/Nm³ inclusief biogas naar boiler
1,99kWh/Nm³ exclusief biogas naar boiler

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 in de eerste maanden rond de 60% CH₄ en 40% CO₂ heeft gezeten, maar dat vanaf eind maart het methaangehalte is gedaald richting de 55%. Vermoedelijk heeft dit te maken de problemen in de vergisting die in de laatste maanden zijn opgetreden, waardoor de biogasproductie zeer laag was en ook de voeding van de vergister is gewijzigd.

Het H₂S-gehalte zat in december nog boven de 200ppm, maar is vanaf januari onder de 200ppm gehouden door toevoeging van ijzerhoudend slib in de vergister. Het ijzerhoudend slib is niet continu toegevoegd, maar batchgewijs. Zodra het H₂S-gehalte de 200ppm naderde werd steeds een hoeveelheid ijzerhoudend slib toegevoegd, waardoor het H₂S-gehalte weer daalde. Hierdoor is het H₂S-gehalte vanaf januari tussen de 100 en 200ppm gebleven.

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. De voornaamste sporencomponent is H₂S, en daarnaast zijn nog een paar ppm aan siloxanen, ethylbenzeen en xyleen aangetroffen in het biogas. De analyseresultaten laten zien dat deze vrijwel 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 87% van het methaan uit het biogas in het groen gas terecht komt; de rest wordt verbrand in de boiler. Het restgas bestaat uit vrijwel zuiver kooldioxide, waardoor de methaanslip slechts 0,1% is.

Het overall energetisch rendement is hoog (>99%), vanwege de zeer lage methaanslip en vanwege het feit dat de restwarmte van de opwerkingsinstallatie nuttig gebruikt wordt (om de vergister te verwarmen). In situaties waar er geen warmtevraag ter plaatse is en de restwarmte van de opwerkingsinstallatie dus niet nuttig gebruikt kan worden zal het overall energetisch rendement van dit type installatie lager zijn.

Het gemeten elektriciteitsverbruik van de installatie ligt bijna twee keer hoger dan de in de literatuur opgegeven verbruiken voor aminewasinstallaties. De oorzaak hiervan is de zeer lage biogasproductie gedurende de monitoringperiode, waardoor de opwerkingsinstallatie gemiddeld op slechts 32% van zijn volle capaciteit heeft moeten produceren. Volgens opgave van de fabrikant zou de installatie bij volle capaciteit een stroomverbruik hebben van 0,19kWh/Nm³ groen gas. (0,12kWh/Nm³ biogas).

De lage biogasproductie heeft er ook toe geleid dat het gemiddelde methaanrendement lager is uitgevallen, aangezien er relatief veel biogas in de boiler verbrand moest worden. Volgens opgave van de fabrikant zou de installatie bij volle capaciteit een methaanrendement van 91,3% hebben. In situaties waar ter plaatse warmte beschikbaar is voor de opwerkingsinstallatie, waardoor er geen biogas hoeft te worden verbrand om in de warmtebehoefte van de opwerkingsinstallatie te voorzien, zal met dit type opwerkingsinstallatie het methaanrendement vrijwel 100% zijn.

Appendix A: Analyserapporten gassamenstelling

GASSAMENSTELLING EN FYSISCH KENGROOTHEDEN			
Datum	5-3-2010		
Samplenummer	-	Cilindernummer	5528
Plaats	RWZI Mijdrecht	Monsterdatum	23-2-2010
Monstercode	Biogast	Analist	H. Top
Soort Monster	Ruw biogas 13:20	Analysedatum	24-2-2010
		Apparaat	G8127
Analyse volgens ISO 6974		Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)	
Component			
HELIUM	mol %		MJ/m ³
WATERSTOF	0.000	CALORISCHE BOVENWAARDE	24.31
ZUURSTOF	0.000	CALORISCHE ONDERWAARDE	21.91
STIKSTOF	0.000	HI/HS	0.9012
KOOLSTOFDIOXIDE	0.781	WOBBE INDEX	25.21
METHAAN	38.271	RELATIEVE DICHTHEID	0.9297
ETHAAN	60.948	DICHTHEID	1.2020
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	73.6 ppm mol
		Carbonylsulfide	na ppm mol
		Methylmercaptaan	na ppm mol
		Ethylmercaptaan	na ppm mol
		Benzeen	<0.1 ppm mol
		Tolueen	1.2 ppm mol
		Ethylbenzeen	11.5 ppm mol
		Xylenen	28.1 ppm mol
		D4-siloxaan	<5 mg/m ³
		D5-siloxaan	33.7 mg/m ³
		na = niet aantoonbaar	

Doc. No. : SNMONMY.10.007 Datum: 3-07-2010
Auteur: M. Jonker Pagina: 60 van 73



GASSAMENSTELLING EN FYSISCHE KENGROOTHEDEN

Datum 5-3-2010

Samplenummer - Cilindernummer 5150
Plaats RWZI Mijdrecht Monsterdatum 23-2-2010
Monstercode Biogast Analyst H. Top
Soort Monster Groengas 13:32 Analysegedatum 24-2-2010
Apparaat G8127

Analyse volgens ISO 6974

Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)

Component	mol %			
HELIUM	0.000	CALORISCHE BOVENWAARDE	35.47	MJ/m ³
WATERSTOF	0.000	CALORISCHE ONDERWAARDE	31.97	MJ/m ³
ZUURSTOF	0.000	HI/HS	0.9012	
STIKSTOF	0.864	WOBBE INDEX	43.78	MJ/m ³
KOOLSTOFDIOXIDE	10.109	RELATIEVE DICHTHEID	0.6565	
METHAAN	89.026	DICHTHEID	0.8488	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 na ppm mol
Carbonylsulfide na ppm mol
Methylmercaptaan na ppm mol
Ethylmercaptaan na ppm mol
Benzeen na ppm mol
Tolueen <0.1 ppm mol
Ethylbenzeen 0.1 ppm mol
Xylenen 0.6 ppm mol
D4-siloxaan na mg/m³
D5-siloxaan na mg/m³

na = niet aantoonbaar

Totaal van de componenten 100.000

Doc. No. : SNMONMY.10.007

Datum: 3-07-2010

Auteur: M. Jonker

Pagina: 61 van 73



GASSAMENSTELLING EN FYSISCHE KENGROOTHEDEN

Datum 5-3-2010

Samplenummer - Cilindernummer 5554
 Plaats RWZI Mijldrecht Monsterdatum 23-2-2010
 Monstercode Biogast Analyst H. Top
 Soort Monster Offgas 14:45 Analysedatum 24-2-2010
 Apparaat G8127

Analyse volgens ISO 6974

Berekeningen volgens ISO 6976 - 1995 (Tabel 3)

Component	mol %			
HELIUM	0.000		0.22	MJ/m ³
WATERSTOF	0.000		0.20	MJ/m ³
ZUURSTOF	0.000		0.9012	
STIKSTOF	0.000		0.18	MJ/m ³
KOOLSTOFDIOXIDE	99.446		1.5235	
METHAAN	0.554		1.9697	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 na ppm mol
 Carbonylsulfide na ppm mol
 Methylmercaptaan na ppm mol
 Ethylmercaptaan na ppm mol
 Benzeen na ppm mol
 Toluëen 0.4 ppm mol
 Ethylbenzeen 0.2 ppm mol
 Xylenen 3.1 ppm mol
 D4-siloxaan na mg/m³_n
 D5-siloxaan 0.3 mg/m³_n
 Etheen na ppm mol
 na = niet aantoonbaar

Totaal van de componenten

100.000

Doc. No. : SNMONMY.10.007 **Datum:** 3-07-2010
Auteur: M. Jonker **Pagina:** 62 van 73

**Analyserapport KEMA Nederland B.V**

Ons kenmerk : 66930013 Bemonsterd : KEMA
Datum ontvangst : 23/02/2010 Geanalyseerd : A. Fornerino
Datum rapport : 16/03/2010
Opdrachtgever : -
Uw kenmerk : -
Project : RWZI Mijdrecht

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	<0.01	<0.01
Ammoniak	NH ₃	ppm v/v	<1.8	<1.8

Monster informatie:

#01 RWZI Mijdrecht ruw biogas 23/02/2010
#02 RWZI Mijdrecht groengas 23/02/2010

Opmerkingen:

Appendix B: Analyserapport pathogenen



Experts in biological solutions

PAGINA 1 VAN 4

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
Mijdrecht, Groengas RWZI (2)	23-Feb-10	$7,8 \times 10^1$	n.a.	Cellen/liter gas
Mijdrecht, Groengas RWZI (4)	23-Feb-10	$7,4 \times 10^1$	n.a.	Cellen/liter gas
Mijdrecht, Blanco Groengas RWZI (2)	23-Feb-10	$1,5 \times 10^4$	n.a.	Cellen/totaal
Mijdrecht, Ruw biogas RWZI (1)	23-Feb-10	$7,4 \times 10^1$	n.a.	Cellen/liter gas
Mijdrecht, Ruw biogas RWZI (3)	23-Feb-10	$7,4 \times 10^1$	n.a.	Cellen/liter gas
Mijdrecht, Blanco Ruw biogas RWZI (2)	23-Feb-10	$6,6 \times 10^3$	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
Mijdrecht, Groengas RWZI (2)	23-Feb-10	$3,7 \times 10^0$	n.a.	Cellen/liter gas
Mijdrecht, Groengas RWZI (4)	23-Feb-10	$3,5 \times 10^0$	n.a.	Cellen/liter gas
Mijdrecht, Blanco Groengas RWZI (2)	23-Feb-10	$7,2 \times 10^2$	n.a.	Cellen/totaal
Mijdrecht, Ruw biogas RWZI (1)	23-Feb-10	$3,5 \times 10^0$	n.a.	Cellen/liter gas
Mijdrecht, Ruw biogas RWZI (3)	23-Feb-10	$3,5 \times 10^0$	n.a.	Cellen/liter gas
Mijdrecht, Blanco Ruw biogas RWZI (2)	23-Feb-10	$3,1 \times 10^2$	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



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
Mijdrecht, Groengas RWZI (2)	23-Feb-10	$3,0 \times 10^0$	n.a.	DNA-kopieën /liter gas
Mijdrecht, Groengas RWZI (4)	23-Feb-10	$7,2 \times 10^2$	n.a.	DNA-kopieën /liter gas
Mijdrecht, Blanco Groengas RWZI (2)	23-Feb-10	$3,1 \times 10^2$	n.a.	DNA-kopieën/totaal
Mijdrecht, Ruw biogas RWZI (1)	23-Feb-10	$4,0 \times 10^0$	n.a.	DNA-kopieën /liter gas
Mijdrecht, Ruw biogas RWZI (3)	23-Feb-10	$3,0 \times 10^0$	n.a.	DNA-kopieën /liter gas
Mijdrecht, Blanco Ruw biogas RWZI (2)	23-Feb-10	$3,0 \times 10^0$	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 januari 2010 gebruikt.

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

	biogas	groen gas	restgas
CH ₄	60,4%	89,3%	
CO ₂	39,0%	10,4%	
Totaal:	99,4%	99,6%	

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

	biogas	groen gas	restgas
CH ₄	60,8%	89,6%	
CO ₂	39,2%	10,4%	
Totaal:	100,0%	100,0%	

Het restgas wordt niet continu gemeten en is in de maand januari 2010 ook niet geanalyseerd.

Gemiddeld zijn in de maand januari 2010 de volgende gasflows gemeten:

	biogas	groen gas
gasflow [Nm ³ /uur]	26,6	14,8

De overige gasflows worden niet gemeten. Door het ontbreken van metingen van deze overige gasflows en de samenstelling van het restgas is het niet mogelijk de massabalans verder uit te rekenen. Daarom zal voor de samenstelling van het restgas deze maand de opgave van de leverancier van de opwerkingsinstallatie gebruikt worden: 99,8% CO₂ en 0,2% CH₄. De ontbrekende variabelen kunnen als volgt berekend worden.

Allereerst wordt de restgasflow berekend uit de volgende massabalansvergelijkingen:

$$\Phi_{bg \rightarrow w} = \Phi_{rg} + \Phi_{gg} \quad (1)$$

$$\Phi_{bg \rightarrow w} \cdot CH4_{bg} = \Phi_{rg} \cdot CH4_{rg} + \Phi_{gg} \cdot CH4_{gg} \quad (2)$$

waarin Φ = gasflow
CH4 = CH₄-concentratie
bg = biogas
bg_{→w} = biogas naar gaswasser
rg = restgas
gg = groen gas

(1) substitueren in (2) geeft:

$$(\Phi_{rg} + \Phi_{gg}) \cdot CH4_{bg} = \Phi_{rg} \cdot CH4_{rg} + \Phi_{gg} \cdot CH4_{gg} \quad (3)$$

$$\Phi_{rg} \cdot CH4_{bg} + \Phi_{gg} \cdot CH4_{bg} = \Phi_{rg} \cdot CH4_{rg} + \Phi_{gg} \cdot CH4_{gg} \quad (4)$$

$$\Phi_{rg} \cdot CH4_{bg} - \Phi_{rg} \cdot CH4_{rg} = \Phi_{gg} \cdot CH4_{gg} - \Phi_{gg} \cdot CH4_{bg} \quad (5)$$

$$\Phi_{rg} \cdot (CH4_{bg} - CH4_{rg}) = \Phi_{gg} \cdot (CH4_{gg} - CH4_{bg}) \quad (6)$$

$$\Phi_{rg} = \frac{CH4_{gg} - CH4_{bg}}{CH4_{bg} - CH4_{rg}} \cdot \Phi_{gg} \quad (7)$$

Vervolgens kunnen dan de gasflow van biogas naar de gaswassing en van biogas naar de boiler berekend worden uit

$$\Phi_{bg \rightarrow w} = \Phi_{rg} + \Phi_{gg} \quad (1)$$

$$\Phi_{bg \rightarrow b} = \Phi_{bg} - \Phi_{bg \rightarrow w} \quad (8)$$

waarin $\Phi_{bg \rightarrow b}$ = biogasflow naar boiler

Hiermee zijn dan alle gasflows bekend en wordt de massabalans:

	biogas	biogas → boiler	biogas → wasser	groen gas	restgas
CH ₄ [Nm ³ /uur]	16,1	2,8	13,4	13,3	0,0
CO ₂ [Nm ³ /uur]	10,4	1,8	8,6	1,5	7,2
Totaal [Nm³/uur]	26,6	4,5	22,0	14,8	7,2

en genormeerd:

	biogas	biogas → boiler	biogas → wasser	groen gas	restgas
CH ₄ [Nm ³ /uur]	0.61	0.10	0.50	0.50	0.00
CO ₂ [Nm ³ /uur]	0.39	0.07	0.33	0.06	0.27
Totaal [Nm³/uur]	1.00	0.17	0.83	0.56	0.27

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:

$$\text{calorische bovenwaarde } CH_4 = 39,75 \text{ MJ/Nm}^3$$

$$\text{calorische bovenwaarde } CO_2 = 0 \text{ MJ/Nm}^3$$

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

	biogas	biogas → boiler	biogas → wasser	groen gas	restgas
CH ₄ [MJ/uur]	641	109	532	528	1
CO ₂ [MJ/uur]	0	0	0	0	0
Totaal [MJ/uur]	641	109	532	528	1

Het elektriciteitsverbruik van de installatie is gemeten met een kWh-meter. Gemiddeld was in de maand januari 2010 het elektriciteitsverbruik 0,28kWh/Nm³ biogas = 1,01MJ/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 januari 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. Dit kan berekend worden door de hoeveelheid methaan in het uitgaande restgas te delen door de hoeveelheid methaan in het ingaande biogas:

$$(0,01 / 16,1) \times 100\% = 0,1\%$$

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:

$(13,3 / 16,1) \times 100\% = 82,4\%$	inclusief biogas naar boiler
$(13,3 / 13,4) \times 100\% = 99,3\%$	exclusief biogas naar boiler

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:

$$\text{overall energetisch rendement} = \frac{\text{energie in groen gas} + \text{warmte naar vergister}}{\text{energie in biogas} + \text{elektriciteitsverbruik}}$$

Van de warmte die in de boiler geproduceerd wordt gaat zo'n 95% uiteindelijk via het koelwater naar de vergister toe, dus

$$\text{overall energetisch rendement} = \frac{528 + 0,95 \times 109}{641 + 1,01 \times 26,6} = 98,6\%$$

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:

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

$$\text{gas energetisch rendement} = \frac{528}{641} = 82,4\% \text{ inclusief biogas naar boiler}$$

$$\text{gas energetisch rendement} = \frac{528}{532} = 99,3\% \text{ exclusief biogas naar boiler}$$

Specifiek elektriciteitsverbruik:

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

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

$$\text{specifiek elektriciteitsverbruik} = \frac{0,28 \times 26,6}{14,8} = 0,50 \text{ kWh/Nm}^3 \text{ groen gas}$$

Specifiek warmteverbruik:

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

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

$$= \frac{0}{\text{groen gas flow [Nm}^3\text{/uur]}} = \frac{0}{14,8} = 0,00\text{kWh/Nm}^3 \text{ incl. biogas naar boiler}$$

$$= \frac{\text{energie in biogas} \rightarrow \text{boiler [kW]}}{\text{groen gas flow [Nm}^3\text{/uur]}} = \frac{109}{14,8} = 2,12\text{kWh/Nm}^3 \text{ excl. biogas naar boiler}$$

Specifiek energieverbruik:

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

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

$$\text{specifiek energieverbruik} = 0,50 + 0 = 0,50\text{kWh/Nm}^3 \text{ incl. biogas naar boiler}$$

$$\text{specifiek energieverbruik} = 0,50 + 2,05 = 2,55\text{kWh/Nm}^3 \text{ excl. biogas naar boiler}$$