Waterstromen

Onderzoek emissie D-Sulph reactor Waterstromen Etten



Zaak nr. ODRA: ODRA23HB0105
Datum: 21.11.23
Opgesteld door:
Gecontroleerd door:

INHOUD

1. Inleiding 3

2. Emissiemetingen 4
2.1 Meetresultaten emissiemeting uitgevoerd door ODRA 4
2.2 Meetresultaten uitgevoerde aanvullende emissiemetingen 4

3. Techniekstudie 7
3.1 Beschrijving installatie en technologie 7
3.2 Bepaling theoretisch mogelijke emissie in vergelijking met gemeten emissie 8
3.2 Evaluatie methaanemissie in verhouding tot geproduceerde biogas 9

4. Uitwerking opties 10
4.1 Het terugbrengen van de luchtstroom in het proces 10
4.2 Aanpassing bedrijfsvoering/technologie 10
4.2.1. Aanpassing luchtdebiet strippen 10
4.2.2. Aanpassing recirculatiedebiet over biologische reactor 10
4.3 Toepassen van nageschakelde techniek 10
4.4 Toepassen van alternatieve technologie om H_2S te verwijderen 11
4.5 Optie voor geurreductie 11

5. Samenvatting en conclusies 12

1. Inleiding

Waterstromen Etten bedrijft op locatie [redacted] (Oude IJsselweg 7 te Terborg) een Industriële waterzuiveringsinstallatie (IWZI), waar het restwater van Papierfabriek Doetinchem anaeroob wordt behandeld, waarbij biogas geproduceerd wordt. Het geproduceerde biogas wordt gezamenlijk met biogas uit de slibgisting van de RWZI geleverd aan de papierfabriek of in een biogas opwerkingsinstallatie opgewekt naar groen gas.
De IWZI valt onder verantwoordelijkheid van Waterstromen Etten, waarbij deze installatie valt onder de inrichting van [redacted]n van Waterschap Rijn IJssel, die de vergunninghouder is.

Onderdeel van de IWZI is een ontzwavelingsreactor, de zogenaamde D-Sulph reactor, waarin biogas wordt ontzwaveld. Tijdens een bezoek van de toezichthouder van Omgevingsdienst Regio Arnhem (ODRA) werd een niet vergund emissiepunt geconstateerd aan de bovenzijde van de D-Sulph reactor. ODRA heeft vervolgens een (enkelvoudige) emissiemeting laten uitvoeren aan dit emissiepunt. Op basis van deze emissiemeting is geconcludeerd dat deze emissie onder andere bestaat uit methaan en dat er daarnaast sprake is van geuremissie.

Aangezien het emissiepunt van de D-Sulph niet vergund is, heeft ODRA een voornemen voor het opleggen van een last onder dwangsom gestuurd, waarbij werd gesteld dat de overtreding opgeheven kon worden door de niet vergunde emissie te beëindigen. WRIJ heeft vervolgens namens Waterstromen een zienswijze ingediend, waarin wordt gesteld dat de emissie onverwacht is, op dat moment onverklaarbaar en dat deze technisch gezien niet beëindigd kon worden om dat dan een ongewenste risicovolle situatie zou ontstaan. Er is daarom een plan van aanpak voorgesteld om de emissie en de mogelijkheden om de emissie te reduceren te onderzoeken. ODRA heeft ermee ingestemd met het voorgestelde plan van aanpak en zal de resultaten mee te nemen in een definitief besluit.

Deze rapportage bevat de resultaten van het voorgestelde onderzoek om de emissie te reduceren. Deze rapportage is in lijn met het voorgestelde plan van aanpak, hieronder weergegeven.

Plan van aanpak

1. Emissiemetingen
    - uitvoering aanvullende emissiemetingen methaan (ter verificatie van de resultaten enkelvoudige emissiemeting ODRA en emissies bij verschillende bedrijfssituaties en/of instellingen).
2. Techniekstudie
    - Nagaan technische en technologische uitgangspunten D-Sulph ontzwavelingsinstallatie in samenwerking met leverancier.
    - Bepaling theoretisch mogelijke emissie in vergelijking met gemeten emissie.
    - Vergelijking uitvoeringsvorm en bedrijfswijze D-Sulph met andere D-Sulph installaties.
    - Bepaling mogelijke invloed factoren op emissies en bepalen of door aanpassing van de installatie of instellingen reductie van de emissie mogelijk is.
3. Uitwerking optie (s)
    - Op basis van de emissiemetingen en techniekstudie wordt bepaald welke optie (s) er zijn met BBT voor reductie van de emissie en wat de restemissie is.

2. Emissiemetingen

2.1 Meetresultaten emissiemeting uitgevoerd door ODRA

Op 28 maart 2023 zijn door team meten en advies van ODRA op de locatie van [redacted] emissiemetingen uitgevoerd aan de vrijkomende damp van de D-Sulph reactor. De metingen zijn uitgevoerd om inzicht te krijgen in de samenstelling van de vrijkomende damp van de D-Sulph reactor. Daarbij is in enkelvoud een monster genomen van de damp en is een screening verricht op zwavelhoudende componenten en vluchtige organische stoffen.
In tabel 1 worden de resultaten van deze emissiemeting weergegeven. Voor de volledige resultaten van dit onderzoek wordt verwezen naar de rapportage 'Emissiemeting aan de ontluchtingspijp van de D-Sulph reactor van Waterstromen op de locatie [redacted] d.d. 28 maart 2023'.

Table 1: Meetresultaten ODRA

inrichting	**rwzi Etten**		
bron	**uittrede D-Sulph reactor**		**stofklasse**
datum	**28 maart 2023**		**ActiviteitenBesluit**
meetperiode	11:50 – 12:20 uur		
	concentratie	vracht [g/h]	
methaan	2,8 vol% / 20.000 mg/m_0^3	1433	gO.2*
H_2S	0,9 mg/m_0^3	0,1	gA.2
methylmercaptaan	3,7 mg/m_0^3	0,3	gO.1**
dimethylsulfide	1,5 mg/m_0^3	0,1	gO.1
methylacetaat	0,5 mg/m_0^3	0,0	gO.2
2,5 dimethylhexaan	0,8 mg/m_0^3	0,1	gO.2*
tolueen	0,1 mg/m_0^3	0,0	gO.2
O_2	16,7 vol%	--	--
CO_2	12,1 vol%	--	--
vocht	[vol%]	3,8	
debiet	[m_0^3/h]	71	
*** stofklasse niet bekend. Aanname gO.2**			
**** stofklasse niet bekend. Aanname gO.1 op basis van dimethylsulfide**			

Op basis van de meetresultaten wordt het volgende geconcludeerd:

- De aangetroffen zwavelhoudende en vluchtige organische componenten zijn ruim lager dan de grensmassastroom, waarmee geconcludeerd wordt dat deze emissie niet relevant is.
- Er wordt een relevante emissie van methaan gemeten, 2,8 vol%, vracht 1433 g/h

Zoals in de rapportage wordt opgemerkt, betreft het een enkelvoudige meting die een indicatie geeft van de emissie, waarbij het debiet van de ontluchting zeer laag is, waardoor aan de ondergrens van de meetmethode is gemeten.

2.2 Meetresultaten uitgevoerde aanvullende emissiemetingen

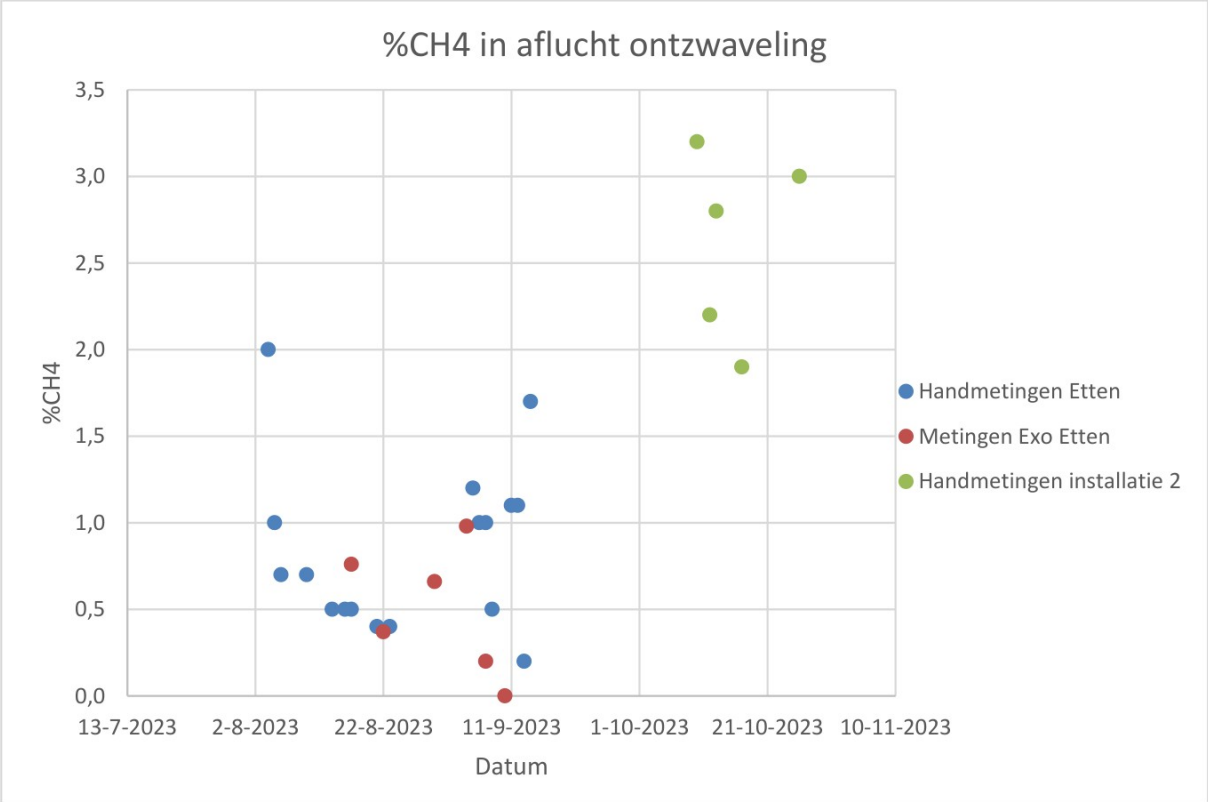
Ter aanvulling op de indicatieve metingen van de ODRA, heeft Waterstromen aanvullende emissiemetingen uitgevoerd.

De emissiemetingen zijn uitgevoerd met de volgende meetapparatuur:

- een Blackline EXO uitgerust met een LEL sensor gekalibreerd op alleen CH4
- een Sewerin Multitec 545 handmeter

De metingen zijn uitgevoerd op verschillende momenten.
Er zijn tevens metingen uitgevoerd aan een D-Sulph installatie op een andere locatie, waarbij dit een vergelijkbare technologie is, maar waarbij deze geleverd is door een andere leverancier [redacted].

De meetresultaten van de emissiemetingen zijn weergegeven in figuur 1.

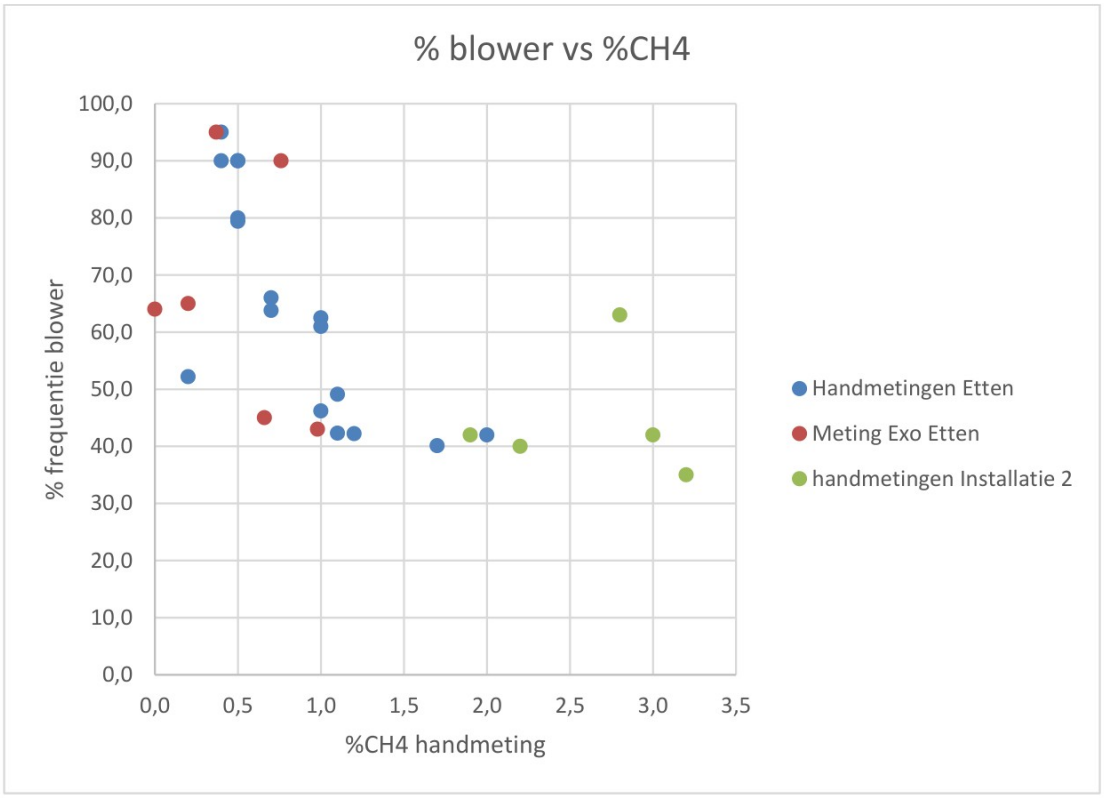


Figuur 1: Resultaten aanvullende emissiemetingen

Uit de metingen blijkt dat de CH_4 emissies op locatie Etten varieert tussen de 0 en 2%, waarmee deze iets lager is dan de enkelvoudige meting uitgevoerd door de ODRA (2,8%). Op basis van de meetresultaten kan geconcludeerd worden dat er methaanemissie optreedt, zoals ook in de enkelvoudige emissiemeting van ODRA is gemeten.

Bij de andere vergelijkbare installatie waar gemeten is (zelfde technologie, andere leverancier) worden concentraties tussen 1,8 en 3,3% CH_4 gemeten. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de gemeten methaanemissie in Etten niet afwijkt van andere installaties en zelfs in verhouding iets lager is.

In figuur 2 zijn de concentraties uitgezet tegen de frequentie van de desbetreffende blower.



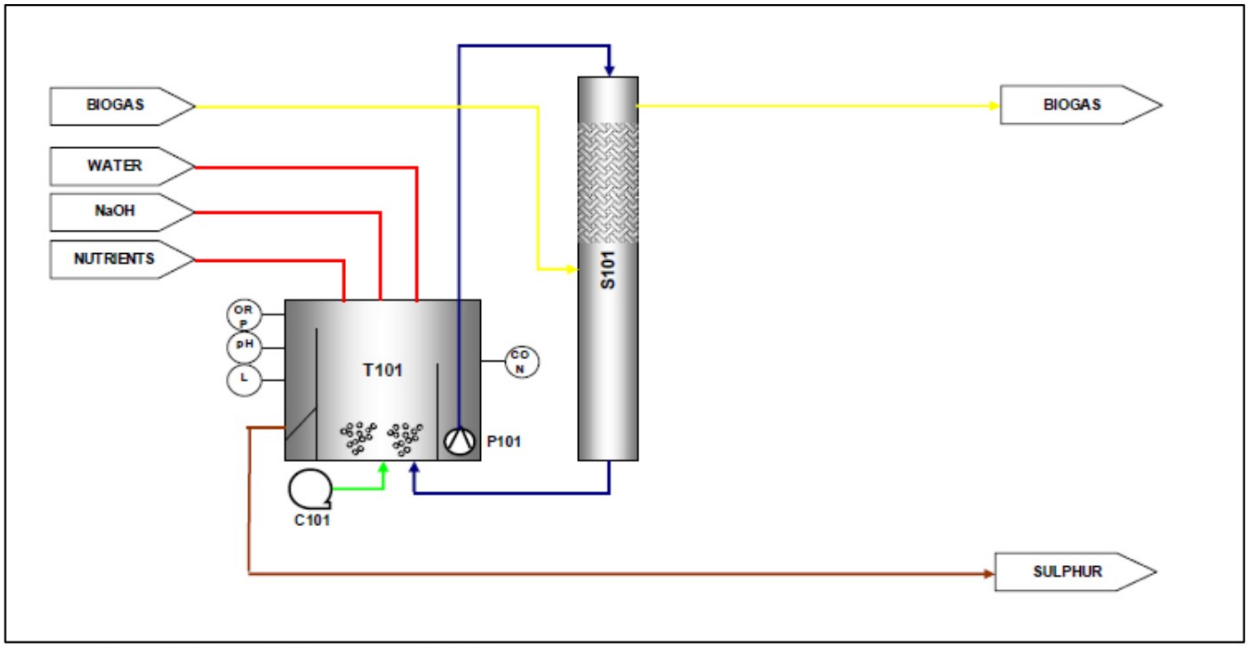
Figuur 2: Resultaten emissiemeting bij verschillende frequenties blower

Op basis van figuur 2 blijkt dat bij een hogere frequentie van de blower de methaanemissie lager is. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat de werkelijke vracht CH_4 die wordt overgedragen niet toeneemt met de hoeveelheid lucht, maar dat de lucht enkel verdund wordt.
In de praktijk is de frequentie van de blower hoger bij een hogere biogas of zwavelbelasting. Op basis van de meting wordt geconcludeerd dat de emissie gelimiteerd is en dat ongeacht de biogas of zwavelbelasting er bij benadering een vergelijkbare CH_4 vracht geëmitteerd wordt.

3. Techniekstudie

3.1 Beschrijving installatie en technologie

De D-Sulph reactor (geleverd door [redacted]t) bestaat uit twee onderdelen, zijnde een kolom (biogasscrubber) en een biologische reactor, zie Figuur 3 hieronder. Het biogas dat Waterstromen Etten produceert komt in het midden van de met pakkingsmateriaal gevulde kolom naar binnen en wordt besproeid met water uit de reactor. In het water wordt waterstofsulfide (H_2S) geabsorbeerd. Dit water gaat vervolgens naar de biologische reactor, waar de zwavel door beluchting wordt omgezet naar elementair zwavel. Dit elementaire zwavel wordt afgetapt met een gedeelte proceswater en met het effluent van de IWZI geloosd naar de RWZI. Met de toevoeging van een lage hoeveelheid loog en nutriënten wordt een S-verwijdering van meer dan 99% behaald.



Figuur 3: Schematische weergave D-Sulph systeem

De beluchting in de reactor zorgt ervoor dat het elementaire zwavel niet neerslaat onderin de reactor. Daarnaast is lucht noodzakelijk omdat dit voor de reactie van zwavel naar elementair zwavel benodigd is. De lucht die wordt ingevoerd verdwijnt via een pijp aan de bovenzijde van de reactor. Dit is het emissiepunt waar de methaanemissie geconstateerd is en waarop de metingen zijn verricht zoals in hoofdstuk 2 beschreven. Opgemerkt wordt dat dit emissiepunt niet is weergegeven in figuur 3 (deze figuur is door de leverancier aangeleverd).

Het ontwerp van deze D-Sulph is gebaseerd op de totale gasstroom op locatie Etten, van WRIJ en van Waterstromen. Deze kan in theorie de gecombineerde onderstaande flow aan:

- 150 m3/h met een H_2S concentratie van 30.000 ppm van Waterstromen +
- 210 m3/h met een concentratie van <150 ppm H_2S van WRIJ

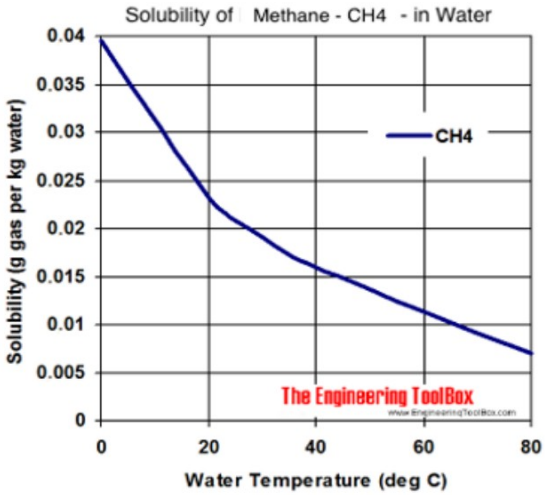
In praktijk blijkt dat de reactor regelmatig H_2S concentraties van ca. 30.000 ppm verwerkt bij een maximale biogasflow van 110 m3/h en een gemiddelde flow van 70 m3/h in de afgelopen maanden.

De gemiddelde verwijdering van S is over diezelfde periode gemiddeld 99.9% en valt dus in die gevallen binnen de ontwerpwaarden van de installatie.

De uitvoeringsvorm van de D-Sulph is vergeleken met die van andere leveranciers. Geconcludeerd wordt dat er geen essentiële verschillen zijn in uitvoering.

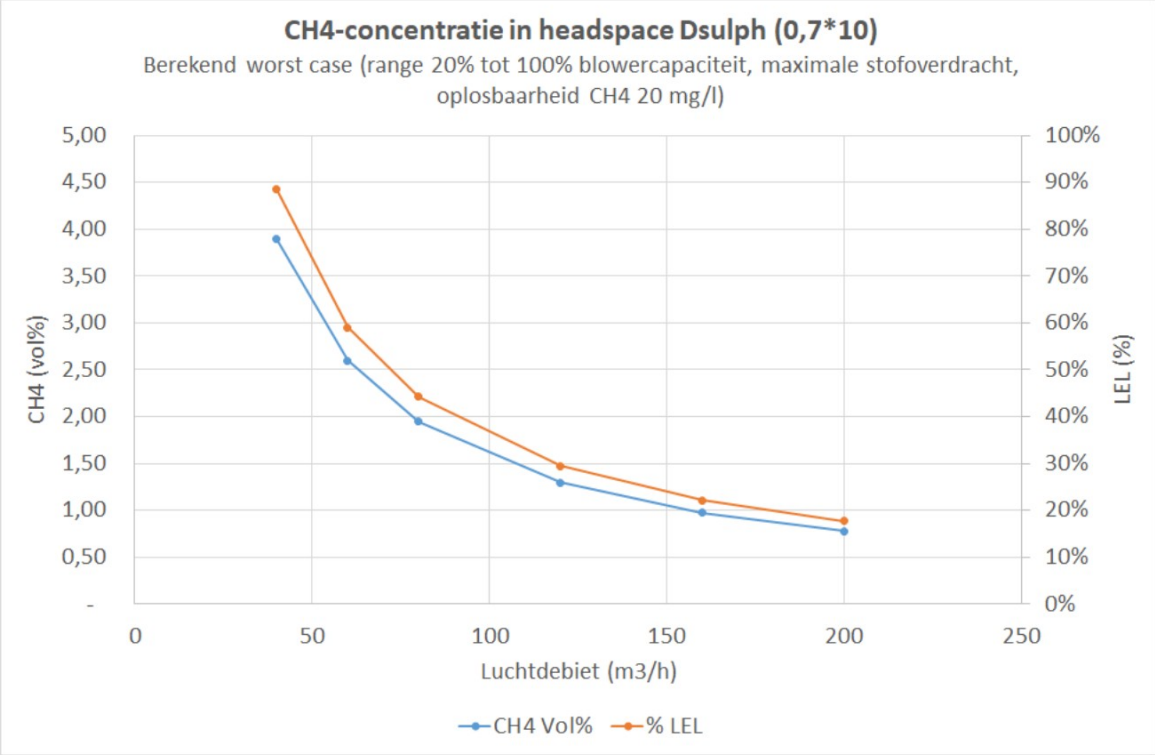
3.2 Bepaling theoretisch mogelijke emissie in vergelijking met gemeten emissie

In theorie is CH_4 slecht oplosbaar in water, echter betekent dat niet dat er géén CH_4 kan oplossen in water. Uitgaande van de theoretische oplosbaarheid in water (zie figuur 5), de biogassamenstelling en de druk en temperatuur is bepaald dat ca. 14 gram CH_4 oplost in een kuub water. Het debiet van de D-Sulph intern is ca. 70 m3/h, dus per uur kan er in theorie maximaal 980 gram CH_4/h meekomen met de waterstroom van de biogasscrubber naar de reactor. Het waterdebiet intern in de D-Sulph zou in theorie verlaagd kunnen worden, echter daarmee gaat de verwijderingsefficiëntie van de D-Sulph achteruit.



Figuur 5: Oplosbaarheid van methaan bij verschillende temperaturen (Solubility of Gases in Water vs. Temperature , 2008)

In de reactor wordt vervolgens de waterfractie gestript met de lucht die toegevoegd wordt door de blower. Aangezien de hoeveelheid methaan die emitteert wordt bepaald door de hoeveelheid methaan die meegevoerd wordt met de recirculatiestroom, neemt de concentratie af met een toename van de luchthoeveelheid waarmee gestript wordt. De totale hoeveelheid vracht die geëmitteerd wordt veranderd hierdoor dus niet bij een verhoging van de luchttoevoer. In figuur 6 is de emissieconcentratie uitgezet tegen het luchtdebiet waarmee gestript wordt.



Figuur 6: Worst-case benadering CH4 concentraties bij verschillende blowerdebieten

Op basis van figuur 6 kan geconcludeerd worden dat afhankelijk van het beluchtingsdebiet de emissieconcentratie kan variëren tussen ca. 0,8 en 3,9% vol% CH_4. Hiermee is theoretisch onderbouwd dat de gemeten emissies (zie figuur 1) ook overeenkomen met de theoretisch verklaarbare emissie voor de toegepaste techniek.

De emissievracht is hierbij wel aanzienlijk lager dan op basis van de enkelvoudige emissiemeting door ODRA. Zoals in de rapportage wordt opgemerkt, is het debiet van de ontluchting zeer laag, waarbij aan de ondergrens van de meetmethode is gemeten. Verwacht wordt dat de afwijking van de theoretisch maximaal mogelijke vracht wordt veroorzaakt door de onnauwkeurigheid in de debietmeting. De door ODRA gemeten emissieconcentraties komt wel overeen met de theoretisch mogelijke emissie, uitgaande dat het emissiedebiet tijdens de meting relatief laag was.

3.2 Evaluatie methaanemissie in verhouding tot geproduceerde biogas

Op basis van een luchtdebiet van 80 m3/hr en een methaanemissie van 2% is de methaanemissie per jaar ca. 14.000 m3 CH_4/jaar. Op locatie Etten wordt jaarlijks circa 1,5 miljoen m3 aardgas equivalent biogas geproduceerd, oftewel 1,3 miljoen m3 CH_4/jaar. De emissie uit de D-Sulph is op basis hiervan ca. 1,1% t.o.v. de geproduceerde hoeveelheid biogas.

4. Uitwerking opties

De mogelijke opties om de methaanemissie te reduceren kunnen verdeeld worden in:

- Het terugbrengen van de luchtstroom in het proces
- Aanpassing van de bedrijfsvoering/technologie
- Toepassing van nageschakelde techniek
- Toepassing van alternatieve technologie om H_2S te verwijderen

Daarnaast is de mogelijkheid om geur te reduceren beschouwd.

4.1 Het terugbrengen van de luchtstroom in het proces

Recirculatie van de luchtstroom over de biologische reactor is een optie die niet leidt tot reductie van de methaanemissie. Er is hoeveelheid verse lucht noodzakelijk omdat de zuurstof in de lucht verbruikt wordt bij de omzetting naar elementair zwavel. Er dient dus altijd een minimale hoeveelheid lucht afgevoerd te worden. Zoals beschreven in paragraaf 3.2 is de hoeveelheid methaanvracht gelijk, waarbij de emissievracht bij lagere hoeveelheid niet afneemt.

Het terugbrengen van de luchtstroom in de anaerobe zuivering, waarbij deze wordt opgemengd met biogas is geen optie, doordat dan een ongewenste explosieve situatie zou ontstaan.

Geconcludeerd wordt dat er geen mogelijkheden worden gezien om de emissie te reduceren door het terugbrengen van de luchtstroom in het proces.

4.2 Aanpassing bedrijfsvoering/technologie

De volgende opties zijn overwogen:

- Aanpassing luchtdebiet strippen
- Aanpassing recirculatiedebiet over biologische reactor

4.2.1. Aanpassing luchtdebiet strippen

Zoals beschreven in paragraaf 3.2 zal de emissievracht gelijk zijn bij aanpassing van het luchtdebiet. Dat de emissievracht bij lagere luchtdebieten gelijk is tevens aangetoond op basis van de emissiemetingen bij verschillende blowerfrequenties (zie figuur 2). Op basis van de metingen is geconcludeerd dat bij hogere luchtdebieten de werkelijke vracht CH_4 die wordt overgedragen niet toeneemt met de hoeveelheid lucht, maar dat de lucht enkel verdund wordt.

4.2.2. Aanpassing recirculatiedebiet over biologische reactor

Zoals beschreven in paragraaf 3.2 wordt de emissievracht bepaald door het recirculatiedebiet over de biologische reactor. Een lager recirculatiedebiet zal derhalve leiden tot een lagere emissievracht. Het rendement van de H_2S verwijdering wordt echter direct bepaald door het recirculatiedebiet over de biologische reactor. Bij een lager recirculatiedebiet zal minder H_2S verwijderd worden, waarbij dit vervolgens in de nageschakelde actief koolfilters verwijderd wordt of op alternatieve wijze verwijderd moet worden. Het verbruik aan chemicaliën/actief kool voor verwijdering van H_2S wordt beschouwd als een minder duurzame technologie, waarbij de toegepaste biologische ontzwaveling beschouwd wordt als BBT. Het is derhalve niet gewenst om de emissie van methaan op deze manier te reduceren, waarbij de efficiëntie van de D-Sulph dusdanig achteruit gaat dat vervolgens veel chemicaliën benodigd zijn om het zwavel te reduceren.

4.3 Toepassen van nageschakelde techniek

In de markt is geïnventariseerd of er nageschakelde technieken beschikbaar zijn om de methaanemissie uit lucht te reduceren. Hiervoor is de leverancier van de installatie benaderd [redacted] en [redacted], die de technologie oorspronkelijk ontwikkeld heeft en die marktleider is voor de levering van deze technologie.
Beide leveranciers hebben aangegeven geen nageschakelde technologie te kunnen leveren voor de reductie van de methaanemissie. Beide leveranciers hebben aangegeven ook geen installaties te kennen, waarbij er nageschakelde technologie is toegepast om de methaanemissie te reduceren.

Waterstromen ziet zelf 2 potentiele opties voor nageschakelde techniek:

- Toepassing van membranen, waarbij een methaanfractie wordt afgescheiden met een dusdanig hoge concentratie, dat deze kan worden teruggevoerd in het proces. Op internet is onderzoek gevonden, waarbij aangetoond is dat door toepassing van membranen lucht en methaan te scheiden zijn. Er zijn echter geen leveranciers gevonden die deze techniek of membranen voor deze toepassing kunnen leveren.
- Naverbranding. Naverbranders worden in de praktijk vaak toegepast indien een luchtemissie door aanwezige organische bestanddelen geuroverlast veroorzaakt. Om een luchtstroom met 2% CH_4 te kunnen verbranden is het noodzakelijk om de concentratie methaan te verhogen tot minimaal 40%. Uitgaande van 50 m3/hr lucht en een methaangehalte in het biogas van 60% CH_4 zou hier alle geproduceerde biogas voor nodig zijn. Aangezien de geproduceerde warmte op locatie Etten niet benut kan worden, betekent dit de vernietiging van het geproduceerde biogas, op basis waarvan geconcludeerd wordt dat dit geen optie is op locatie Etten om de methaanemissie te reduceren. Hierbij nog toegevoegd er geen leveranciers zijn gevonden die op deze kleine schaal naverbrandingstechnologie leveren.

4.4 Toepassen van alternatieve technologie om H_2S te verwijderen

Andere technieken om H_2S uit biogas te verwijderen zijn:

- Wassen met ijzer(III)chloride: veel hoger chemicaliënverbruik en ook belucht systeem
- Wassen met loog: meer chemicaliën, ook beluchting en meer H_2S uit het riool i.p.v. elementair zwavel
- Actief kool: hogere impact, 30.000 ppm H_2S zou leiden tot een extreem hoog actief kool verbruik
- Aminewasser: reststroom aan vervuilde amineoplossingen
- Fe dosering aan reactor: gezien hoge H_2S concentratie van 30.000 ppm zijn zeer veel chemicaliën nodig, waarbij toepassing van een dusdanige hoeveelheid niet mogelijk is voor de biologie in de anaerobe reactor.

Ook uit een inventarisatie in de markt blijkt dat bij hoge H_2S concentraties altijd vergelijkbare technologie als de D-Sulph wordt toegepast, waarbij dit beschouwd wordt als BBT en chemische H2S verwijdering als minder duurzaam wordt beoordeeld..

4.5 Optie voor geurreductie

De aangetroffen zwavelhoudende en vluchtige organische componenten (die verantwoordelijk zijn voor geuremissie) zijn ruim lager dan de grensmassastroom. Door de ODRA is op basis hiervan geconcludeerd dat deze emissie niet relevant is. Ondanks dat de gemeten waarden onder de norm zijn, kan de geuremissie ervaren worden als ongewenst. Vanuit de omgeving van [redacted] zijn geen klachten binnen gekomen over de geuremissie. Werknemers op de locatie [redacted] hebben wel aangegeven deze emissie als hinderlijk te ervaren. Om deze geuremissie te verlagen zou een actief koolfilter toegepast kunnen worden. Het actief koolfilter zal hierbij de methaanemissie niet reduceren

5. Samenvatting en conclusies

Aanleiding voor het onderzoek was een door ODRA geconstateerde emissie van CH_4, die voor Waterstromen onbekend was. In het onderzoek zijn de mogelijkheden om de methaanemissie te reduceren onderzocht.

Diverse metingen zijn uitgevoerd om de enkelvoudige meting van ODRA te verifiëren. Uit verschillende metingen is gebleken dat methaanemissie daadwerkelijk optreedt, waarbij de gemeten concentraties gering lager waren dan door de ODRA gemeten. Uit de verschillende metingen bleek de emissievracht aanzienlijk lager dan de gemeten waarde door ODRA, waarbij geconcludeerd wordt dat het verschil waarschijnlijk veroorzaakt wordt door een onnauwkeurigheid in de debietmeting, door het geringe luchtdebiet. Op basis van metingen bij een vergelijkbare installatie door een andere leverancier op een andere locatie wordt geconcludeerd dat de gemeten methaanemissie niet afwijkend is.

Er is een techniekstudie uitgevoerd, waaruit de volgende conclusies zijn getrokken:

- De installatie wordt binnen de ontwerpparameters bedreven, waarbij er geen afwijking is t.o.v. andere technologie.
- De theoretisch mogelijke emissie is bepaald, waarbij deze vergelijkbaar zijn als de gemeten emissieresultaten.
- De hoogte van de emissievracht wordt bepaald door het waterrecirculatiedebiet over de reactor.
- Het luchtdebiet heeft geen invloed op de emissievracht, wel is de concentratie van de emissie lager bij een hoger luchtdebiet als gevolg van verdunning.

Als opties om de methaanemissie te reduceren zijn de volgende opties beschouwd:

- Het voorstel van de ODRA door het terugbrengen van de luchtstroom in het proces
  → dit is niet mogelijk omdat dan een ongewenste explosieve situatie ontstaat
- Aanpassing van de bedrijfsvoering/technologie
  → conclusie: reductie emissievracht is mogelijk door verlagen recirculatiedebiet water, waardoor de H2S verwijdering echter afneemt en het chemicaliënverbruik toeneemt
- Toepassing van nageschakelde techniek
  → de leveranciers van biologische ontzwavelings-technologie kunnen geen nageschakelde techniek leveren en kennen geen beschikbare nageschakelde techniek voor deze toepassing. Membraantechnologie is technisch een optie, maar er is geen beschikbare technologie gevonden in de markt voor deze kleine schaal. Naverbrandingstechnologie is beschouwd, maar geen optie omdat hiervoor vrijwel alle biogas verbrand zou moeten worden, waarbij de warmte niet nuttig ingezet kan worden. Ook is er geen leverbare techniek gevonden in de markt in deze schaalgrootte.
- Toepassing van alternatieve technologie om H_2S te verwijderen
  → de beschouwde alternatieve technologieën hebben een hoog chemicaliën verbruik of zijn technisch niet mogelijk bij de hoge H_2S concentraties van 30.000 ppm

Op basis van de gemeten en theoretische methaanemissie, moet geconcludeerd worden dat door biologische biogasontzwaveling een CH4- productieverlies van ca 1% ontstaat door emissie naar de lucht
Alternatieve technologieën zijn beperkt beschikbaar een aanmerkelijk minder duurzaam. Nageschakelde technieken zijn voor deze toepassing (nog) niet beschikbaar.