

REDUCTIE VAN DE METHAANEMISSIE IN DE AFVALWATER- EN SLIBKETEN



RAPPORT

2016
09

REDUCTIE VAN DE METHAANEMISSIE
IN DE AFVALWATER- EN SLIBKETEN

RAPPORT

2016

09

ISBN 978.90.5773.716.9



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Ellen van Voorthuizen, Royal HaskoningDHV
Wim Wiegant, Royal HaskoningDHV
Martijn Fokken, Royal HaskoningDHV

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Alex Sengers, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard
Harm Baten, Hoogheemraadschap Rijnland
Sybren Gerbens, Wetterskip Fryslân
Richard Moerman, Waterschap de Dommel
Marcel Zandvoort, Waternet
Cora Uijterlinde, STOWA

FOTO OMSLAG Bron: Martijn Fokken
DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2016-09
ISBN 978.90.5773.716.9

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

De waterschappen hebben als overheidsorganisaties duurzaamheid hoog in het vaandel staan. Zij zijn voortdurend bezig met het duurzaam inrichten van de afvalwater- en slibketen. Hiervoor hebben de waterschappen in de afgelopen jaren onder andere de Lokale Klimaatagenda en het SER Energieakkoord ondertekend, en recent de Green Deal Energie. De doelstelling hier is om 40% van het energieverbruik van de waterschapssector zelf duurzaam op te wekken. De terugwinning van energie uit slib door middel van vergisting vormt een belangrijke bron van duurzaam opgewekte energie. De hoeveelheid energie die daarbij kan worden teruggewonnen is soms zo groot dat de gehele zuivering kan worden voorzien van eigen energie en 'Energiefabrieken' ontstaan. Belangrijk daarbij is om de emissie van methaan (en lachgas) niet uit het oog te verliezen. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat de emissie van methaan en lachgas een niet te verwaarlozen bijdrage (>15%) kan leveren aan de CO₂ voetafdruk van een zuiveringsinstallatie.

In onderhavige studie is inzichtelijk gemaakt welke procesonderdelen in de afvalwater- en slibketen (exclusief slibeindverwerking) de belangrijkste bronnen zijn van methaanemissies. Voor deze bronnen zijn maatregelen onderzocht op technische en financiële haalbaarheid om de emissie van methaan te reduceren. Gebleken is dat voor een zuivering zonder gisting, het transportstelsel een belangrijke bron van methaan kan zijn. Bij een zuivering met gisting zijn dit de opslagtanks ná de gisting waar uitgistend slib wordt opgeslagen. Aangetoond is dat maatregelen beschikbaar zijn die kunnen leiden tot een positieve business case, waarin tegelijkertijd méér elektriciteit wordt opgewekt én de emissie van methaan wordt gereduceerd. Dit biedt waterbeheerders de mogelijkheid om direct in de praktijk aan de slag te kunnen om de emissie van methaan te reduceren. En daarmee dus naast de realisatie van een 'Energiefabriek' ook te werken aan een zuivering met een nog lagere klimaatvoetafdruk.

De emissie van lachgas is in tegenstelling tot methaan meer complex om te meten en te reduceren. Door STOWA wordt samen met internationale partijen gewerkt aan de wijze waarop de emissie van lachgas kan worden gemeten én uiteindelijk kan worden gereduceerd.

Joost Buntsma
Directeur STOWA.

MANAGEMENTSAMENVATTING

AANLEIDING

De emissie van de broeikasgassen lachgas en methaan vanuit de afvalwater- en slibketen is de laatste jaren intensief onderzocht (STOWA, 2010 en 2012). Inzicht in de omvang van de emissies en het effect daarvan op de CO₂-voetafdruk van de zuivering is gewenst vanuit de ambities van de waterschappen om steeds duurzamer afvalwater te zuiveren. Uit de genoemde STOWA-onderzoeken is gebleken dat methaan een significante bijdrage kan leveren aan de CO₂-voetafdruk van een zuivering (circa 15% voor zowel een zuivering met als zonder gisting). Tevens bleek dat de door eigen elektriciteitsopwekking vermeden CO₂-emissie voor 60% teniet kon worden gedaan door de emissie van methaan vanuit de buffer voor uitgestist slib en de slibsilo. Deze resultaten gaven aanleiding om een onderzoek te starten naar concrete maatregelen om de emissie van methaan op zuiveringen te reduceren. Met toepassing van deze maatregelen kan voor zuiveringen met gisting, die worden omgebouwd als 'Energiefabriek', ook worden gestreefd naar een zo klein mogelijke CO₂-voetafdruk.

DOELSTELLING

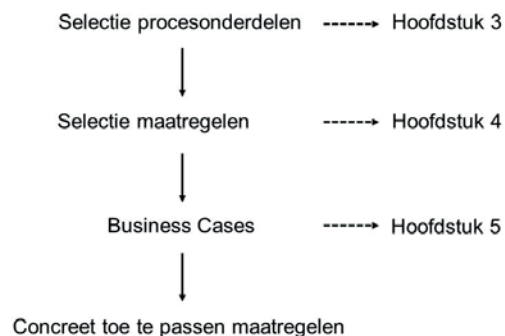
Doelstelling van het onderzoek is om concrete maatregelen te vinden die de emissie van methaan verminderen bij het transport (door het waterschap) en het zuiveren van afvalwater en bij de verwerking van slib binnen de grenzen van de zuivering. De maatregelen dienen relatief eenvoudig te kunnen worden toegepast in de praktijk.

OPZET

Om te komen tot concrete maatregelen is de opzet gevolgd zoals weergegeven in Figuur 1.

FIGUUR 1

SCHEMATISCHE WEERGAVE OPZET ONDERZOEK.



Voor de selectie van relevante procesonderdelen en daar te nemen maatregelen voor de reductie van de methaanemissie zijn twee typen zuiveringen beschouwd, een zonder en een met slibgisting. Voor een zuivering zonder gisting is uitgegaan van een ontwerpcapaciteit van 50.000 i.e. (à 150 g TZV) en voor een zuivering met gisting van een capaciteit van 100.000 i.e. De berekende emissie is per procesonderdeel getoetst aan beschikbare metingen uit de praktijk. Voor de vertaling naar andere locaties is per procesonderdeel aangegeven door welke factoren de emissie van methaan wordt beïnvloed.

Voor het bepalen van de bijdrage van de emissie vanuit een procesonderdeel aan de CO₂-voetafdruk is een CO₂-voetafdruk opgesteld op basis van de methode uit de klimaatmonitor.

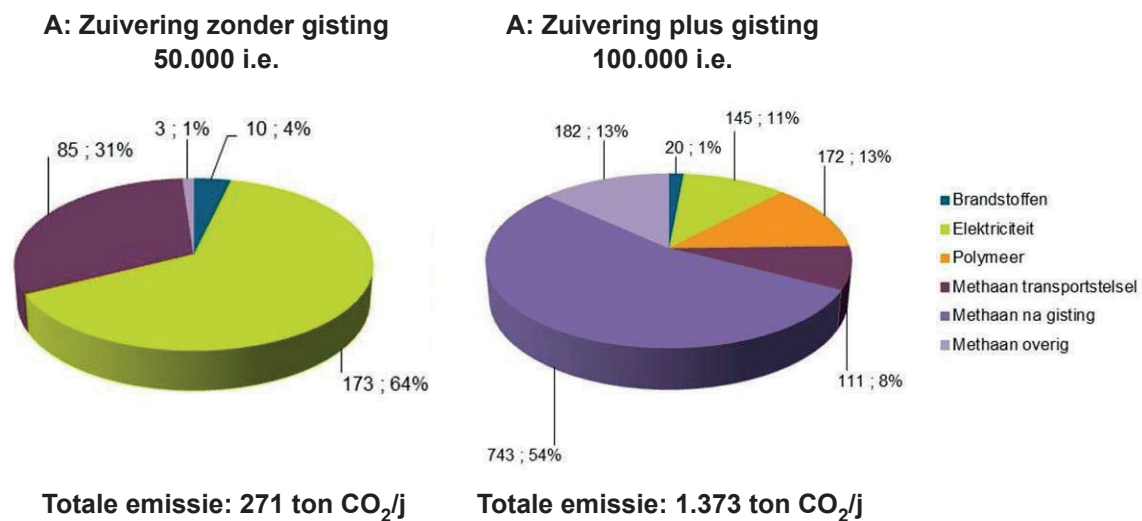
In deze methodiek is rekening gehouden met het feit dat de waterschappen 'groene' elektriciteit inkopen, en is de omrekeningsfactor hiervoor gecorrigeerd¹. De emissie van lachgas is buiten beschouwing gelaten omdat deze niet aan de hand van een kengetal is in te schatten.

Van de maatregelen is de potentiële reductie berekend en is gelijktijdig ook inzichtelijk gemaakt wat het effect is op de CO₂-voetafdruk. Om een goed inzicht te krijgen in de technische en financiële haalbaarheid van de maatregelen en het effect van lokale omstandigheden hierop, is een aantal business cases opgesteld.

SELECTIE PROCESONDERDELEN

In Figuur 2 is een samenvatting gegeven van de CO₂-voetafdruk van een zuivering zonder en met gisting.

FIGUUR 2 CO₂-VOETAFDRIJK (IN TON CO₂/JAAR EN BIJDRAGE IN %) VAN EEN ZUIVERING ZONDER GISTING (LINKS) EN MET GISTING (RECHTS); EXCLUSIEF DE EMISSIE VAN LACHGAS, MAAR REKENING HOUDEND MET EIGEN ELEKTRICITEITSOPWEKKING BIJ ZUIVERING MET GISTING; BIJDRAGE ELEKTRICITEIT OP BASIS VAN 'GROENE STROOM'.



Uit Figuur 2 wordt duidelijk dat de emissie van methaan een significante bijdrage kan leveren aan de CO₂-voetafdruk van een zuivering. Bij een zuivering zonder gisting kan het transportstelsel de belangrijkste bron zijn van methaan. Voor een zuivering met gisting is de bijdrage uit het transportstelsel beperkt tot nog geen 10%. In deze situatie zijn het de opslagtanks (buffer en slibsilos) ná de gisting die de grootste bijdrage leveren aan de CO₂ voetafdruk van een zuivering (~55%). Deze grote bijdrage leidt er toe dat de emissie per i.e. op een zuivering met gisting veel groter is (~15 kg CO₂.i.e.⁻¹.j⁻¹, dan op een zuivering zonder gisting (5 kg CO₂.i.e.⁻¹.j⁻¹). Hierbij dient wel benadrukt te worden dat het in Figuur 2 geschetste beeld sterk wordt beïnvloed door de omrekeningsfactor die voor elektriciteit wordt gebruikt. Bij het gebruik van de omrekeningsfactor voor 'groene stroom' draagt de emissie van methaan voor 75% bij aan de totale CO₂-voetafdruk van een zuivering met gisting. Uitgaande van de omrekeningsfactor voor 'grijze stroom' daalt deze bijdrage tot circa 55%. Voor een zuivering zonder gisting daalt de bijdrage van circa 30% naar circa 10%.

De belangrijkste bron van methaanemissie op een zuivering zonder gisting is het transportstelsel. Voor een zuivering met gisting komen hier de opslagfaciliteiten na de gisting bij. De

1 Voor 'groene stroom' wordt in de klimaatmonitor een omrekeningsfactor gehanteerd van 0,15 kg CO₂/kWh, terwijl voor grijze stroom een factor van 0,67 kg CO₂/kWh wordt gehanteerd.

bijdrage uit deze faciliteiten kan zo groot zijn, dat deze voor een aanzienlijk deel de vermeden CO₂-uitstoot door eigen opwekking te niet doen. De metingen in Kralingseveer toonden aan dat dit deel kan oplopen tot 60% (STOWA, 2012).

Verificatie van de berekende emissies is beperkt mogelijk, omdat het aantal metingen van de emissie van methaan nog beperkt is. Wel geven de metingen een voldoende goed beeld in de voornaamste bronnen op een zuivering. Praktijkmetingen zullen nodig zijn om inzicht te krijgen in de werkelijke hoogte van de emissie.

Belangrijkste invloedsfactoren voor de emissie vanuit het transportstelsel zijn de kenmerken van het stelsel en het afvoerend debiet. Voor de slibopslag na de gisting zijn dit de hoeveelheid vergist slib, en de verblijftijd en temperatuur in de gisting en de opslag.

SELECTIE MAATREGELEN

Enige maatregelen zijn geselecteerd voor uitwerking in business cases, om de technische en financiële haalbaarheid te toetsen. Hierbij is in eerste instantie gekeken naar die maatregelen waarvan de impact op de CO₂-voetafdruk groter is dan 10%. In tweede instantie is ook gekeken naar in hoeverre de maatregelen – conform de doelstelling van dit onderzoek – relatief eenvoudig kunnen worden uitgevoerd. Tot slot is gekeken in hoeverre de berekende reductie in praktijk ook werkelijk kan optreden. De op deze manier geselecteerde maatregelen zijn:

- de afgezogen lucht van de buffer als verbrandingslucht gebruiken voor de WKK;
- de buffer ombouwen naar nagisting;
- de ombouw van mesofiele naar thermofiele gisting;
- de afgezogen lucht van de buffer en slibsilo behandelen in een biofilter.

Maatregelen om methaan in oplossing te houden in het transportstelsel zijn het bijvoorbeeld onder water inbrengen van het afvalwater in een ontvangput, of het vervangen van de influentvizzels door pompen. Met deze maatregelen wordt de voorwaarde geschapen om methaan-oxidatie in de zuivering plaats te laten vinden. Onder welke omstandigheden dit ook daadwerkelijk plaats vindt, dient nog onderzocht te worden.

TOETSING MAATREGELEN

Reductie van de emissie van methaan met één of meerdere maatregelen is technisch mogelijk, waarbij positieve business cases haalbaar zijn (met uitzondering van het behandelen van de afgezogen lucht in een biofilter). Dit toont aan dat met het realiseren van Energiefabrieken de CO₂-voetafdruk van een zuivering ook daadwerkelijk kan worden verlaagd.

CONCLUSIES

De belangrijkste conclusies van dit onderzoek zijn:

- De emissie van methaan levert een belangrijke bijdrage aan de CO₂-voetafdruk van een zuivering met als belangrijkste bronnen:
 - het transportstelsel;
 - de opslagfaciliteiten na de gisting, als deze wordt toegepast.
- Concrete en financieel haalbare maatregelen zijn beschikbaar om de emissie van methaan op een zuivering met gisting te reduceren, voorbeelden hiervan zijn:
 - aanpassingen aan de gistingstanks (ombouw mesofiel naar thermofiel) eventueel in combinatie met:
 - aanpassingen aan de buffer voor het uitgegiste slib (ombouw naar nagisting of afgezogen lucht meeverbranden in WKK).

- het berekenen van de emissie blijft lastig, omdat deze sterk wordt beïnvloed door lokale factoren; wel geven de beschikbare modellen voldoende inzicht in welke procesonderdelen de belangrijkste bijdrage leveren aan de methaanemissie.

De financiële haalbaarheid van de maatregelen wordt sterk beïnvloed door de schaalgrootte van de zuivering. Maatregelen zullen bij grotere zuiveringen eerder leiden tot een positieve business case, omdat de besparing lineair toeneemt met de hoeveelheid vergist slib, terwijl de kosten voor de aanpassingen niet lineair toe zullen nemen.

Tot slot heeft dit onderzoek aangetoond dat de emissie van methaan een significante bijdrage kan leveren aan de CO₂-voetafdruk van een zuivering. Het weglaten van de methaanemissie uit de klimaatmonitor lijkt in die zin onterecht, maar is wel begrijpelijk omdat de emissie van methaan uit het transportstel en de gisting lastig zijn in te schatten. Toch wordt geadviseerd hier aandacht aan te blijven geven, omdat de bijdrage van methaan zeer significant kan zijn.

AANBEVELINGEN

Met het hier uitgevoerde onderzoek liggen er voor de praktijk nu een aantal concrete maatregelen die in de praktijk kunnen worden toegepast om de emissie van methaan te reduceren. Wel liggen er nog een aantal onderzoeksvragen waar in de toekomst nog een antwoord op is gewenst. Om deze reden is het aan te bevelen om aandacht te besteden aan de volgende onderzoeksvragen:

- de vorming en emissie van methaan in vrijvervalleidingen (en persleidingen) in Nederland;
- de omstandigheden waaronder methaanoxidatie op een zuivering plaats kan vinden;
- de emissie van methaan uit gravitaire indickers voor primair slib²;
- het optreden van kortsluitstromen, of de aanwezigheid van vervuiling in de slibgisting, die de emissie van methaan ná de gisting kan beïnvloeden;
- de emissie van methaan bij WKK-installaties als gevolg van het niet verbranden van methaan (methaanslip);
- de mate van methaanemissie na de gisting als het slib wordt voorbehandeld³.

² Uit de praktijk blijkt dat ook uit slibbufferbakken voor ingedikt secundair slib de emissie van methaan aanzienlijk kan zijn, het goed schoonhouden van deze bakken kan deze emissie reduceren.

³ Het gaat hierbij om technieken zoals TSO (thermische slibontsluiting) en propstroomvergisting.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

REDUCTIE VAN DE METHAANEMISSIE IN DE AFVALWATER- EN SLIBKETEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	MANAGEMENTSAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Doelstelling	1
	1.3 Afbakening	1
	1.4 Leeswijzer	1
2	OPZET ONDERZOEK	3
	2.1 Opzet selectie procesonderdelen en maatregelen	3
	2.1.1 Algemeen	3
	2.1.2 Opzet CO ₂ -voetafdruk	4
	2.1.3 Procesonderdelen	5
	2.1.4 Maatregelen	6
	2.2 Business Cases	6
3	SELECTIE PROCESONDERDELEN	7
	3.1 Methodiek	7
	3.2 Selectie	7
	3.2.1 Emissie en CO ₂ -voetafdruk	7
	3.2.2 Verificatie	10
	3.2.3 Invloedsfactoren	11
	3.3 Vertaling naar praktijk	11
	3.4 Beschouwing nieuwe technologieën	12
4	SELECTIE MAATREGELEN	15
	4.1 Methodiek	15
	4.2 Selectie	15
	4.2.1 Reductie emissie van methaan en impact op CO ₂ -voetafdruk	15
	4.2.2 Invloedsfactoren	16
	4.2.3 Impact op overige onderdelen	16

5	UITWERKING BUSINESS CASES	17
5.1	Opzet	17
5.2	Resultaten	18
5.2.1	Technische haalbaarheid	18
5.2.2	Financiële haalbaarheid	18
5.2.3	Invloedsfactoren	19
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	20
6.1	Conclusies	20
6.2	Aanbevelingen	21
6.2.1	Onderzoeksvragen	21
6.2.2	Stappenplan	22
	BIJLAGEN	
1	Samenvatting emissie en reductie methaan	24
2	Technologisch rapport: Verkenning maatregelen voor de reductie van methaanemissie in de afvalwater- en slibketen	26

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

De emissie van broeikasgassen vanuit de afvalwater- en slibketen is in de afgelopen jaren intensief onderzocht, omdat meer inzicht gewenst was in het kader van duurzaam zuiveren en het klimaatakkoord. De doelstelling om de directe emissie van broeikasgassen te reduceren is in de laatste klimaatmonitor vervangen door een reductie van de klimaatvoetafdruk (elektriciteit, hulpstoffen en transport). Hiermee lijkt de reductie van de broeikasgassen lachgas en methaan minder aandacht te krijgen, terwijl uit de uitgevoerde STOWA-onderzoeken is gebleken dat de emissie van methaan significant kan bijdragen aan de klimaatvoetafdruk van een zuivering (zowel met als zonder slibgisting). Om deze reden bestaat er dus nog steeds wel een behoefte om maatregelen te vinden die de emissie van methaan reduceren, zodat de inspanningen rondom de Energiefabrieken naast een energieneutrale (of energie producerende) zuivering, ook werkelijk leiden tot een zuivering met een kleine klimaatvoetafdruk.

1.2 DOELSTELLING

Doelstelling van het onderzoek was om concrete maatregelen te vinden die de emissie van methaan verminderen bij het transport (door het waterschap) en het zuiveren van afvalwater en bij de verwerking van slib binnen de grenzen van de zuivering. De maatregelen moeten relatief eenvoudig kunnen worden toegepast in de praktijk.

1.3 AFBAKENING

Binnen dit project is gekeken naar de emissie van methaan dat mogelijk vrij kan komen bij de activiteiten die door het waterschap worden uitgevoerd op het gebied van transporteren en zuiveren van afvalwater en de verwerking van slib. Dit betekent dat niet is gekeken naar de mogelijke vorming van methaan uit de riolering die onder beheer valt van de gemeente en dat ook de verwerking van slib bij de eindverwerking (verbranding, compostering etc.) buiten beschouwing is gelaten.

1.4 LEESWIJZER

Om te komen tot een set concrete maatregelen is eerst een selectie gemaakt van relevante procesonderdelen en kansrijke maatregelen. Voor deze selectie zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- berekening potentiële emissie en reductie;
- verificatie van de berekende potentiële emissie;
- vaststellen van factoren die potentiële emissie en reductie beïnvloeden;
- vaststellen effect van reductiemaatregelen op functioneren andere procesonderdelen.

Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd voor alle relevante procesonderdelen van een zuivering zonder en met gisting en voor alle vooraf besproken maatregelen. Na selectie van relevante maatregelen is een aantal maatregelen meer in detail uitgewerkt in de vorm van een business case.

De uitwerking van de selectie van procesonderdelen en kansrijke maatregelen is omvangrijk en bevat veel details die nodig zijn om te komen tot de berekende emissie of reductie. Om die reden is deze uitwerking niet opgenomen in dit hoofdrapport, maar is deze weergegeven in een technologisch rapport dat als bijlage (bijlage 2) aan dit rapport is toegevoegd.

Een samenvatting van de selectie van relevante procesonderdelen is weergegeven in hoofdstuk 3. De details van deze selectie zijn terug te vinden in hoofdstuk 2 van het technologische rapport. De selectie van kansrijke maatregelen is samengevat in hoofdstuk 4, de details van deze selectie is terug te vinden in hoofdstuk 3 van het technologisch rapport. In dit zelfde technologische rapport zijn in hoofdstuk 4 de details weergegeven van de uitgewerkte business cases. Een samenvatting hiervan is opgenomen in hoofdstuk 5 van dit hoofdrapport.

Voorafgaand aan de uitwerking van het onderzoek in hoofdstuk 3 – 5 is in hoofdstuk 2 de opzet van het onderzoek weergegeven.

Dit rapport sluit af met de conclusies en de aanbevelingen in hoofdstuk 6. In dit hoofdstuk is ook een stappenplan gepresenteerd om per beheersgebied te komen tot een selectie van de meest relevante zuivering en de daar relevante procesonderdelen en de mogelijk toe te passen reductiemaatregelen.

In het rapport is de emissie van methaan uitgedrukt in kg/d, omdat dit de omrekening naar kg CO₂/d voor het opstellen van de CO₂ voetafdruk van de zuivering gemakkelijker maakt. Voor de omrekening van kg CH₄/d naar Nm³ CH₄/d kan gebruik gemaakt worden van een omrekeningsfactor van 1,6 (Nm³/kg). Voor de omrekening naar tonnen CO₂ is een factor van 25 kg CO₂/kg CH₄ gehanteerd.

2

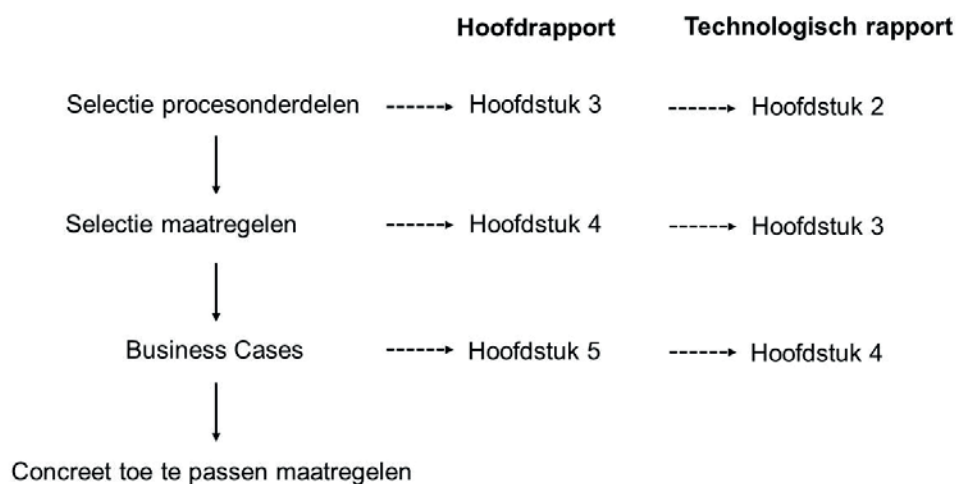
OPZET ONDERZOEK

2.1 OPZET SELECTIE PROCESONDERDELEN EN MAATREGELLEN

2.1.1 ALGEMEEN

Om te komen tot concrete maatregelen die in de praktijk leiden tot een reductie van de methaanemissie en daarmee ook een verbetering van de CO₂-voetafdruk van een zuivering is eerst bepaald welke procesonderdelen de grootste bijdrage leveren aan de emissie. Vervolgens is bepaald welke maatregelen leiden tot een aanzienlijke reductie van de methaanemissie. Aan de hand hiervan is een aantal maatregelen geselecteerd die aan de hand van praktijk-cases zijn getoetst op technische en financiële haalbaarheid. In Figuur 3 is dit nog eens schematisch weergegeven. In Figuur 3 is tegelijkertijd aangegeven in welke hoofdstukken de uitwerkingen staan beschreven.

FIGUUR 3 SCHEMATISCHE WEERGAVE OPZET ONDERZOEK.



De selectie van procesonderdelen en maatregelen is gemaakt op basis van potentiële emissie en de bijdrage aan de CO₂-voetafdruk van een zuivering. Hiervoor zijn gegevens nodig over de hoeveelheid verwerkt afvalwater en slib. Deze gegevens zijn betrokken op een zuivering zonder gisting en ontwatering van 50.000 i.e.⁴, en een zuivering met gisting en ontwatering van 100.000 i.e.⁵. Bij de uitwerking van de potentiële emissie en reductie is de grootte van de zuivering niet meegenomen, omdat zoals zal blijken de emissie niet altijd is gerelateerd aan de hoeveelheid ontvangen vuilvracht. De hier gepresenteerde berekeningen hebben dus vooral als doel om een selectie te maken van de meest relevante onderdelen en kunnen helaas voor een aantal onderdelen nog niet één op één worden gebruikt voor een willekeurige andere zuivering (zie ook § 3.3). De opzet voor de berekening van de bijdrage aan de CO₂-voetafdruk is besproken in de volgende paragraaf.

4 60% van alle zuiveringen in Nederland is kleiner of gelijk aan 50.000 i.e.

5 De trend is dat steeds meer slib centraal wordt vergist en dat dus op een locatie meer slib wordt verwerkt dan het slib van de eigen locaties. De grens van 100.000 i.e. is nog wel gekozen, omdat dit aansluit bij eerdere STOWA projecten waar een vergelijkbare schaal werd gehanteerd.

2.1.2 OPZET CO₂-VOETAFDRUK

Voor de opzet van de CO₂-voetafdruk is gebruik gemaakt van de opzet zoals deze ook voor de klimaatmonitor⁶ is gehanteerd. In de klimaatmonitor die in het kader van het klimaatakkoord is opgesteld is de CO₂-voetafdruk opgesteld conform NEN ISO 14064. Conform deze norm zijn in de monitor de volgende emissies meegenomen:

- directe CO₂-emissies door verbruik van brandstoffen (aardgas, diesel etc.);
- indirecte CO₂-emissie als gevolg van ingekochte elektriciteit en warmte;
- overige indirecte CO₂-emissies, als gevolg van brandstofverbruik buiten de inrichting (o.a. zuivering) en de inkoop van chemicaliën.

-

In de klimaatmonitor van 2014 is voor het eerst rekening gehouden met de oorsprong van ingekochte groene stroom⁷. Voor de opzet van de CO₂-voetafdruk in deze studie is gebruikt gemaakt van de totaal berekende CO₂-emissie voor afvalwaterzuivering onderverdeeld naar:

• brandstoffen (aardgas, diesel en overige)	4.953	ton CO ₂ /j
• elektriciteit (inkoop)	85.034	ton CO ₂ /j
• polymeerverbruik	42.217	ton CO ₂ /j

De data uit de klimaatmonitor zijn gebaseerd op het jaar 2013. Om nu de CO₂-voetafdruk voor beide zuiveringen te berekenen is de specifieke emissie per verwijderde vuilvracht berekend. Voor de verwijderde vuilvracht is gebruik gemaakt van de cijfers van het CBS uit 2013. In 2013 bedroeg de verwijderde vuilvracht 24,6 miljoen i.e. (150 g TZV), waarmee de volgende specifieke emissies werden berekend:

• brandstoffen (aardgas, diesel en overige)	0,2	kg CO ₂ /Δi.e.
• elektriciteit	3,5	kg CO ₂ /Δi.e.
• polymeerverbruik	1,7	kg CO ₂ /Δi.e.

Voor beide typen zuiveringen in deze studie is uitgegaan van biologische fosfaatverwijdering. Er wordt dus geen bijdrage van metaalzouten aan de CO₂-emissie in rekening gebracht. Polymeergebruik is alleen in rekening gebracht bij de zuivering met gisting, waar is uitgegaan van mechanische indikking voor de gisting en ontwatering na de gisting. Voor de zuivering zonder gisting is uitgegaan van gravitaire indikking. Bij het bepalen van de CO₂-voetafdruk voor het gehele beheersgebied dient in de praktijk wel rekening te worden gehouden met de benodigde PE voor ontwatering van slib van zuiveringen zonder gisting. Echter, aangezien het doel van dit rapport meer is om relevante onderdelen/zuiveringen te vinden waar de CO₂-voetafdruk sterk kan worden geminimaliseerd is voor zuiveringen zonder gisting de bijdrage van PE, maar bijvoorbeeld ook de aan de gisting gerelateerde methaanemissie niet meegenomen in de CO₂-voetafdruk van een zuivering zonder gisting.

Om te corrigeren voor het feit dat zuiveringen met gisting minder elektriciteit inkopen is voor de zuivering met gisting het totale elektriciteitsverbruik berekend op basis van het gemiddelde verbruik uit de laatste benchmark uit 2012 welke 32 kWh/Δi.e. bedroeg. De hoeveelheid opgewekte elektriciteit is berekend op basis van de in het technologisch rapport benoemde uitgangspunten (§ 2.4 bijlage 2). Op deze manier is berekend dat een zuivering in 60% van zijn eigen elektriciteitsverbruik kan voorzien.

⁶ 2014, Arcadis, Klimaatmonitor waterschappen 2014.

⁷ Voor de diverse bronnen van groene stroom zijn diverse omrekeningsfactoren gehanteerd; Uit het opgegeven elektriciteitsverbruik in kWh/j en de daarbij vermelde CO₂ uitstoot bedraagt de gemiddelde omrekeningsfactor 0,147 kg CO₂/kWh.

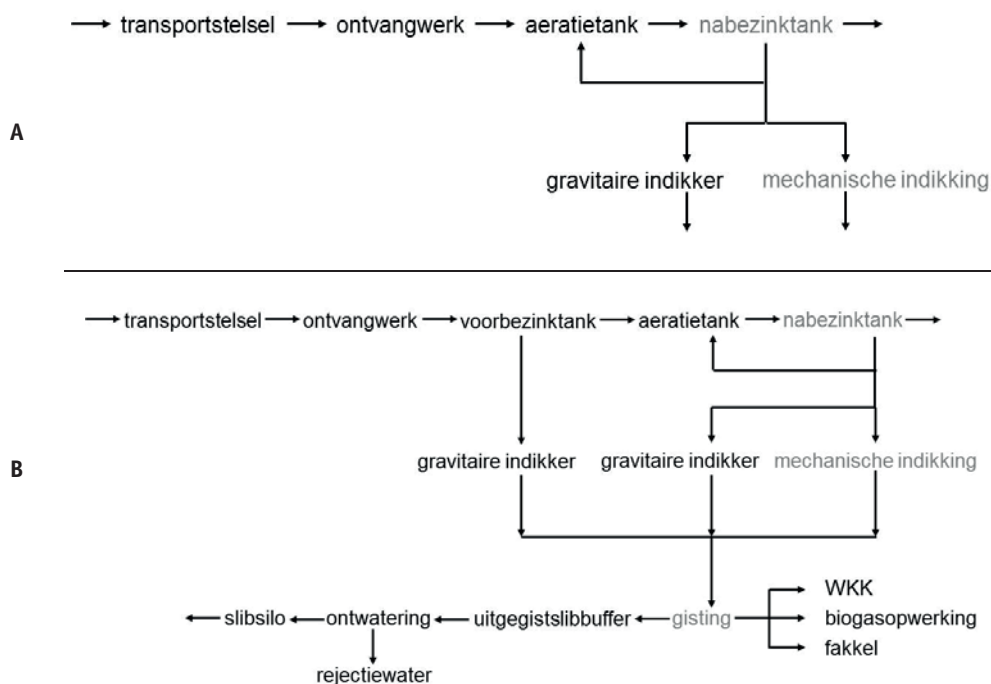
De emissie van lachgas en methaan zijn niet opgenomen in de klimaatmonitor, omdat betrouwbare kengetallen om deze te berekenen ontbreken. In deze studie is lachgas ook buiten beschouwing gelaten, maar is methaan toegevoegd aan de CO₂-voetafdruk (omrekeningsfactor 25 kg CO₂/kg CH₄).

In de op deze manier opgestelde CO₂-voetafdruk is nu rekening gehouden met het feit dat elektriciteit 'groen' wordt ingekocht, maar niet altijd vind er stroomimport plaats (bijvoorbeeld waterkracht uit Scandinavië) en wordt hiermee ook geen extra duurzame capaciteit gerealiseerd. In de toekomst zal dit naar verwachting gaan veranderen en zullen certificaten waterkracht niet meer als groen in de berekeningen worden meegenomen⁶. Om deze reden is bij de weergave van de CO₂-voetafdruk aangegeven hoe deze eruit zou zien als wordt uitgegaan van grijze stroom⁸.

2.1.3 PROCESONDERDELEN

De procesonderdelen die per type zuivering zijn beschouwd zijn schematisch weergegeven in Figuur 4.

FIGUUR 4 SCHEMATISCHE WEERGAVE ZUIVERING ZONDER GISTING (A) EN ZUIVERING MET GISTING (B); ONDERDELEN IN ZWART ZIJN MEEGONOMEN, ONDERDELEN IN GRIJS ZIJN NIET MEEGONOMEN.



Voor het inschatten van de potentiële emissie is per onderdeel bekeken welke methode beschikbaar was om deze te berekenen. Om vast te kunnen stellen of de voorgestelde methode per onderdeel een voldoende betrouwbare inschatting geeft is deze geverifieerd aan de hand van beschikbare metingen. Metingen zijn beschikbaar van de zuiveringen van Amsterdam-West, Kortenoord, Kralingseveer en Papendrecht. Tot slot is gekeken naar de factoren die de vorming en emissie van methaan beïnvloeden. Naast de in Figuur 4 genoemde procesonderdelen is van een aantal nieuwe of in ontwikkeling zijnde technieken beschouwd (kwalitatief) in hoeverre zij in meer of mindere mate bijdragen aan de emissie van methaan vanuit een zuivering.

⁸ Voor grijze stroom wordt een factor van 0,67 kg CO₂/kWh gehanteerd.

2.1.4 MAATREGELLEN

Voorafgaand aan het onderzoek is een aantal maatregelen gedefinieerd. De maatregelen zijn aangevuld op basis van de resultaten van aanvullend literatuuronderzoek en de selectie van procesonderdelen.

In de literatuurstudie is gekeken naar: methaanvorming in de riolering, methaanoxidatie in de aeratietank, en technieken om methaan te verwijderen uit de lucht. Bij het definiëren van maatregelen is eerst gekeken naar maatregelen die de vorming van methaan voorkomen (categorie 1), vervolgens is gekeken naar maatregelen die voorkomen dat gevormd methaan wordt geëmitteerd (categorie 2). Als laatste is gekeken naar maatregelen die methaan uit de lucht kunnen verwijderen (categorie 3)⁹. De complete set maatregelen is weergegeven in Tabel 1.

TABEL 1 OVERZICHT POTENTIËLE MAATREGELLEN VOOR DE REDUCTIE VAN DE METHAANEMISSIE.

Categorie	Maatregel	Procesonderdeel
1	• vervangen gravitaire indikker voor secundair slib door bandindikker	gravitaire indikker secundair slib
	• verblijftijd in gravitaire indikker voor primair en secundair zo kort mogelijk houden	gravitaire indikker primair en secundair slib
	• gelijkmatige voeding naar slibgisting	
	• beluchten buffer	buffer na gisting
	• afkoelen buffer met effluent (mogelijk via warmtewisselaar)	buffer na gisting
2	• afvalwater onder water inbrengen in ontvangput bij gemaal	transportstelsel/rioolgemaal
	• bij renovatie ontvangwerk overwegen om vijzel te vervangen door pompen	ontvangwerk
	• op hoogte afpompen van uitgestigt slib in plaats van overstorten	slibgisting
3	• reductie methaan in AT door afgezogen lucht buffer en/of slibsilo via blower in AT te brengen	buffer na gisting, slibsilo
	• afgezogen lucht van 'anaerobe onderdelen' inbrengen als verbrandingslucht in WKK	buffer na gisting, slibsilo
	• luchtbehandeling van afgezogen lucht	rioolgemaal, ontvangwerk, buffer na gisting, slibsilo

Bij de uitwerking van de maatregelen is gekeken naar de potentiële reductie in methaanemissie en is tegelijkertijd de impact op de CO₂-voetafdruk berekend. Verder is bekeken door welke factoren de reductie in emissie wordt beïnvloed en welke mogelijke effecten een maatregel heeft op het functioneren van andere procesonderdelen.

2.2 BUSINESS CASES

Om inzicht te krijgen in de technische en financiële haalbaarheid van de maatregelen en het effect van lokale omstandigheden hierop, is er voor gekozen om dit te doen aan de hand van praktijkcases. Per case is een bezoek gebracht aan de desbetreffende locatie, op basis waarvan een lijst met benodigde aanpassingen en aandachtspunten is opgesteld. Op basis van deze lijst aanpassingen is een investeringsraming¹⁰ opgesteld, en is op basis van een eenvoudige terugverdientijd de financiële haalbaarheid getoetst. Tot slot is ook gekeken naar de (lokale) factoren die de technische en financiële haalbaarheid beïnvloeden, zodat de haalbaarheid van de maatregel ook voor andere locaties kan worden afgewogen. Er is hierbij ook kort gekeken in hoeverre deze factoren van toepassing zijn bij bestaande bouw en/of nieuwbouw.

9 Deze volgorde is niet willekeurig gekozen, omdat de voorkeur is gegeven aan het voorkomen van vorming van methaan boven het behandelen van lucht om methaan te verwijderen.

10 Met een nauwkeurigheid van 30%.

3

SELECTIE PROCESONDERDELEN

3.1 METHODIEK

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de gehanteerde rekenmethode die per procesonderdeel is gehanteerd om de emissie van methaan te bepalen. In dezelfde tabel is aangeven aan de hand van welke metingen de rekenmethode is geverifieerd.

TABEL 2 OVERZICHT GEHANTEERDE METHODE OM POTENTIËLE EMISSIE PER ONDERDEEL UIT TE REKENEN EN DE BESCHIKBARE METINGEN WAARAAN BEREKENDE WAARDE KAN WORDEN GEVERIFIEERD.

Procesonderdeel	Rekenmethode	Verificatie
Transportstelsel	Empirische formule vastgesteld op basis van metingen in Australië	Metingen Kralingseveer
Voorbezinktank	Metingen Kralingseveer	Niet van toepassing
Aeratie tank	Geen, aeratie tank is te verwaarlozen als producent van methaan, mogelijk gevormd methaan in de riolering kan hier gestript of geoxideerd worden	Metingen Kralingseveer
Gravitaire slibindikker	Metingen aan indikker van primair slib in Kralingseveer en indikers van secundair slib op Papendrecht en Kortenoord	Geen, omdat metingen nodig zijn voor berekening emissie.
Uitgegist slibbuffer en slibsilo	Model voor in serie geschakelde tanks (op basis van Contois' kinetiek; zie § 2.4 van technologisch rapport in bijlage 2	Metingen Kralingseveer en Amsterdam-West
Ontwateringsinstallatie/rejectiewater	Oplosbaarheid methaan als functie van temperatuur	Metingen Kralingseveer
WKK	STOWA rapport over inzet biogas (2011)	Eén meting in Kralingseveer
Fakkel	Onbekend, maar uitgegaan dat 5% van biogasproductie wordt afgefakkeld (STOWA, 2011)	Geen metingen beschikbaar
Opwerking biogas	STOWA rapport over inzet CO ₂ als grondstof (2014)	Geen metingen beschikbaar

In hoofdstuk 2 van het bijgevoegde technologische rapport (bijlage 2) zijn de in Tabel 2 genoemde rekenmethoden per procesonderdeel in meer detail beschreven en zijn de uitgangspunten voor de berekening weergegeven.

3.2 SELECTIE

De procesonderdelen die de hoogste bijdrage leveren aan de totale emissie van methaan van een zuivering en de CO₂-voetafdruk zijn:

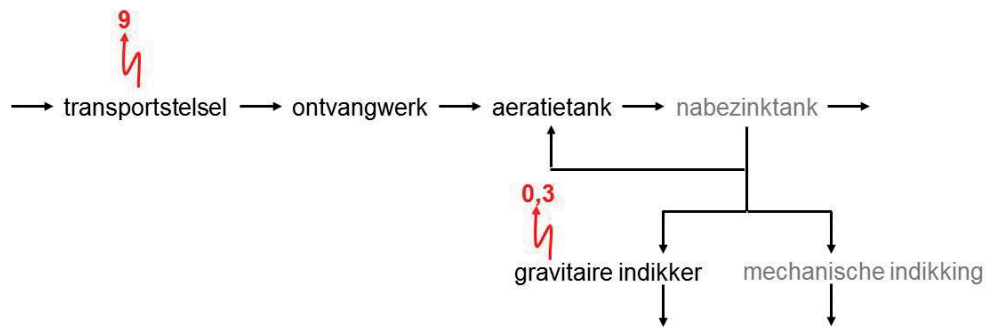
- het transportstelsel (voor zuivering zonder en met gisting);
- de buffer en de slibsilo ná de gisting (voor zuivering met gisting).

In het vervolg van deze paragraaf is deze selectie nader toegelicht. In hoofdstuk 2 van het technologisch rapport zijn alle details te vinden van de berekende emissie van alle procesonderdelen (bijlage 2).

3.2.1 EMISSIE EN CO₂ -VOETAFDruk

Zuivering zonder gisting

In Figuur 5 is een overzicht gegeven van de verwachte methaanemissie op een zuivering zonder gisting.

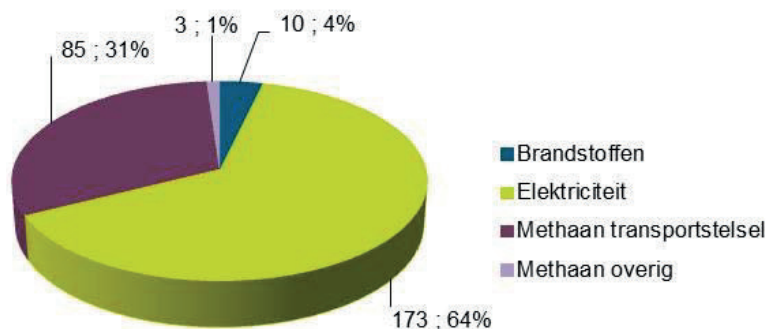
FIGUUR 5 OVERZICHT VAN DE BEREKENDE METHAANEMISSIE (IN KG CH₄/D) OP EEN ZUIVERING ZONDER GISTING.

Uit Figuur 5 is af te leiden dat voor een zuivering zonder gisting het transportstelsel de belangrijkste bron is van de vorming van methaan. Het in het transportstelsel gevormde methaan kan vrijkomen bij:

- pompputten in transportstelsel;
- het ontvangstwerk;
- in de aeratietaank.

Indien het methaan in oplossing blijft tot aan de aeratietaank bestaat de mogelijkheid dat het methaan in de aeratietaank wordt omgezet door middel van methaanoxidatie. Vooral nog is niet bekend onder welke omstandigheden methaanoxidatie optreedt, hiervoor is nog onderzoek nodig.

Het aandeel van de methaanemissie aan de CO₂-voetafdruk van een zuivering zonder gisting is weergegeven in Figuur 6.

FIGUUR 6 CO₂-VOETAFDruk VOOR EEN ZUIVERING ZONDER GISTING; AANGEGEVEN IS PER BRON DE TOTALE EMISSIE IN TON CO₂/J EN HET AANDEEL IN DE TOTALE EMISSIE. TOTALE EMISSIE BEDRAAGT 271 TON CO₂/J; EXCLUSIEF BIJDRAGE LACHGASEMISSIE; BIJDRAGE ELEKTRICITEIT OP BASIS VAN 'GROENE STROOM'.

Voor een zuivering zonder slibgisting vormt het verbruik van elektriciteit de grootste bron van CO₂-emissie. Het aandeel van methaan gevormd in het transportstelsel kan een significant aandeel leveren aan de CO₂-voetafdruk. Indien wordt uitgegaan van 'grijze' stroom dan neemt het aandeel elektriciteit toe tot bijna 90%, en bedraagt die van methaan nog 10%.

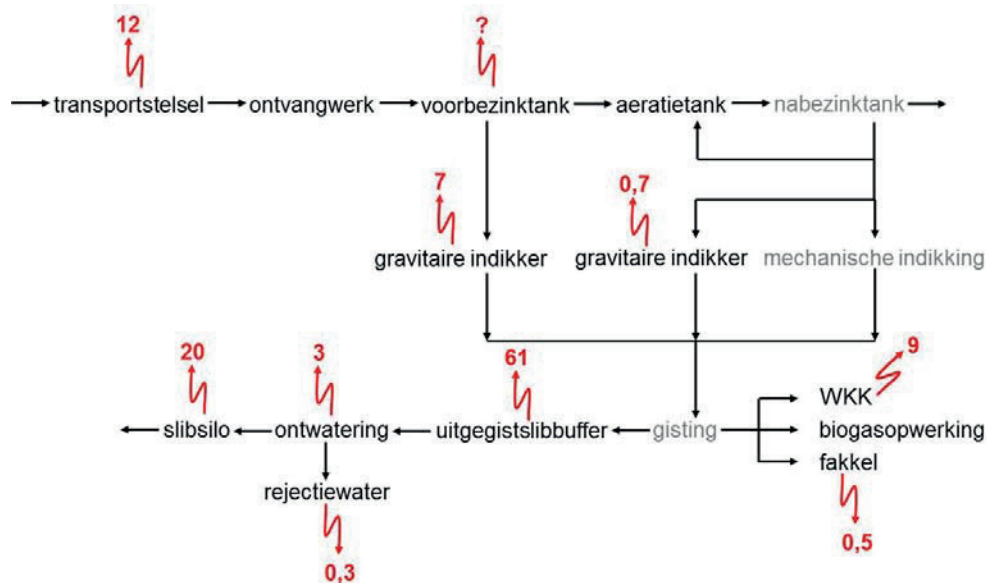
Niet meegenomen voor de zuivering zonder gisting is de opslag van ingedikt secundair slib. De emissie uit de gravitaire indikker is beperkt, maar ervaringen uit de praktijk geven aan dat de vorming van methaan in een slibbufferbak wellicht niet te verwaarlozen is. Dit als gevolg van een lange verblijftijd (enkele weken) of het achterblijven van slib na lediging. Een eenvoudige maatregel om de emissie te minimaliseren is het regelmatig schoonmaken van de slibbufferbakken zodat geen resten slib achterblijven.

Zuivering met gisting

Een overzicht van de methaanemissie op een zuivering met gisting is weergegeven in Figuur 7.

FIGUUR 7

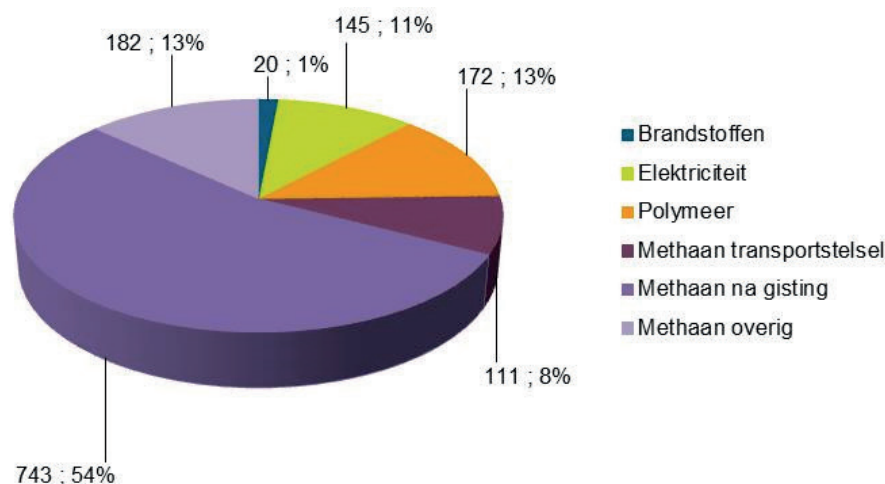
OVERZICHT VAN DE BEREKENDE METHAANEMISSIE (IN KG CH₄/D) OP EEN ZUIVERING MET GISTING.



Voor een zuivering met gisting zijn de buffer voor het uitgestigte slib en de slibsilo de belangrijkste bron van methaan. Ten opzichte van de zuivering zonder gisting is de relatieve bijdrage uit het transportstelsel beperkter. De emissie vanuit de gravitaire indikker voor primair slib en de WKK is niet te verwaarlozen, maar kent voorsnog meer onzekerheid in de berekening. In § 3.2.2 is hier in meer detail op ingegaan. De impact van de methaanemissie op de CO₂-voetafdruk van een zuivering met gisting is weergegeven in Figuur 8.

FIGUUR 8

CO₂-VOETAFDruk VOOR EEN ZUIVERING MET GISTING; AANGEGEVEN IS PER BRON DE TOTALE EMISSIE IN TON CO₂/J EN HET AANDEEL IN DE TOTALE EMISSIE. TOTALE EMISSIE BEDRAAGT 1.373 TON CO₂/J (EXCLUSIEF EMISSIE LACHGAS, MAAR REKENING HOUDEND MET EIGEN ELEKTRICITEITOPWEKKING BIJ ZUIVERING MET GISTING.¹¹); BIJDRAGE ELEKTRICITEIT OP BASIS VAN 'GROENE STROOM'; METHAAN OVERIG BESTAAT GROTENDEELS UIT METHAANSLIP BIJ WKK EN EMISSIE UIT INDIKKER VOOR PRIMAIR SLIB.



De CO₂-voetafdruk voor een zuivering met gisting wordt sterk bepaald door de emissie van methaan als gevolg van de aanwezigheid van een slibgisting. De berekende emissies uit de

¹¹ Als gevolg van het gekozen verschil in ontwerpcapaciteit voor de zuivering zonder en met gisting, ligt de totale CO₂-emissie voor een zuivering met gisting hoger.

buffer en silo dragen voor 54% bij aan de weergegeven CO₂-voetafdruk. De bijdrage vanuit het transportstelsel is beperkt tot nog geen 10%.

Wanneer gerekend wordt met de inkoop van grijze stroom dan daalt de bijdrage van methaan van 75% naar 55% en stijgt de bijdrage van elektriciteit van 10% naar 35%. De keuze voor de omrekeningsfactor van elektriciteit speelt dus een grote rol bij het bepalen van de CO₂-voetafdruk. Toch wordt duidelijk dat methaan een belangrijke bijdrage levert aan de CO₂-voetafdruk van een zuivering. Hierdoor bestaat de kans dat door de emissie van methaan na de gisting een deel van de vermeden CO₂ door zelf elektriciteit op te wekken te niet wordt gedaan. De metingen in Kralingseveer toonden aan dat dit deel kan oplopen tot 60% (STOWA, 2012).

3.2.2 VERIFICATIE

Verificatie van de berekende emissies is nog niet goed mogelijk, omdat het aantal metingen van de emissie van methaan nog beperkt is. Wel geven de metingen een voldoende goed beeld in de voornaamste bronnen op een zuivering. In de praktijk zullen metingen vooralsnog nodig zijn, om inzicht te krijgen in de werkelijke hoogte van de emissie. Hieronder is kort ingegaan op de verificatie van de voornaamste bronnen van methaanemissie. In hoofdstuk 2 van het technologisch rapport zijn de verificaties te vinden voor alle procesonderdelen (bijlage 2).

Transportstelsel

In Nederland kon het gebruik van de empirische formule alleen worden geverifieerd aan de hand van data van Kralingseveer. De verificatie wees uit dat de berekende waarde slechts 5% afweek van de gemeten waarde. Dit geeft aan dat met de empirische formule waarschijnlijk een goede inschatting van de mogelijke emissie te geven is. Echter er zijn niet voldoende data om dit met meer zekerheid te kunnen vaststellen.

De empirische formule is opgesteld voor een persleiding en kan dus ook alleen gebruikt worden om de vorming van methaan in een persleiding in te schatten. Vooralsnog kan de emissie vanuit een vrijvervalleiding dus nog niet worden berekend.

Uitgegist slibbuffer en slibsilos

Het gehanteerde model was voldoende in staat om de biogasproductie in de gisting te berekenen, de berekende waarden weken maar beperkt af van de gemeten waarden (afwijking 5 – 10%). De berekende waarden voor de buffer en silo konden alleen met de meetdata van Kralingseveer worden vergeleken. De berekende waarden voor Kralingseveer lagen 15 – 30% hoger dan de gemeten waarden.

Factoren die invloed hebben op de emissie, maar die niet direct in het model zijn te vatten, zijn het optreden van kortsluitstromen en de aanwezigheid van vervuiling in de gisting (waarvoor het effectieve volume wordt verkleind en verblijftijd afneemt). In beide gevallen zal de emissie na de gisting toenemen. Voor Kralingseveer kunnen deze factoren het waargenomen verschil niet verklaren, omdat de berekende waarden hóger liggen dan de gemeten waarden.

Gravitaire indikker primair slib

De berekende emissie is niet te verifiëren, omdat de beschikbare metingen hiervoor zijn gebruikt. Het aantal beschikbare metingen is beperkt (1 – 2 metingen), waardoor de op dit moment berekende waarden nog niet voldoende betrouwbaar zijn. Om dit voor de toekomst meer inzichtelijk maken is het aan te bevelen enkele metingen aan indikkers uit te voeren.

WKK

Verificatie van de berekende methaanemissie bij een WKK is nog onvoldoende mogelijk omdat er maar beperkt metingen beschikbaar zijn. Daardoor zijn de op dit moment berekende waarden nog niet voldoende betrouwbaar. Gezien de relatief hoge bijdrage die de emissie van een WKK kan hebben, is het aan te bevelen enkele metingen aan WKK installaties uit te voeren.

3.2.3 INVLOEDSFACTOREN

In deze paragraaf worden alleen de invloedsfactoren besproken van de belangrijkste procesonderdelen. Die van de overige procesonderdelen worden besproken in hoofdstuk 2 van het technologisch rapport (bijlage 2).

De vorming van methaan in het transportstelsel wordt beïnvloed door de kenmerken van het stelsel (lengte en diameter van leidingen) en de verblijftijd in het stelsel. De uiteindelijke vracht die mogelijk kan worden geëmitteerd wordt beïnvloed door het af te voeren debiet.

De emissie van methaan na de gisting vanuit de buffer en slibsilos wordt beïnvloed door de hoeveelheid te vergisten slib, de verblijftijd in de gisting en buffer, en de temperatuur in de gisting en buffer. Het mogelijk optreden van kortsluitstromen of de aanwezigheid van vervuiling in de gistingstank kan de emissie vanuit de buffer ook beïnvloeden.

Vorming van methaan in een indikker van primair slib wordt beïnvloed door mate van verzuring die al in het transportstelsel heeft plaatsgevonden, welke afhankelijk is van de verblijftijd in het stelsel, de temperatuur van het afvalwater en de aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbaar organische stof.

De mate van methaanslip is afhankelijk van de leeftijd van de WKK en de omvang van de WKK. Bij oudere en/of grotere WKK installaties wordt een hogere methaanslip verwacht (dus lager rendement).

3.3 VERTALING NAAR PRAKTIJK

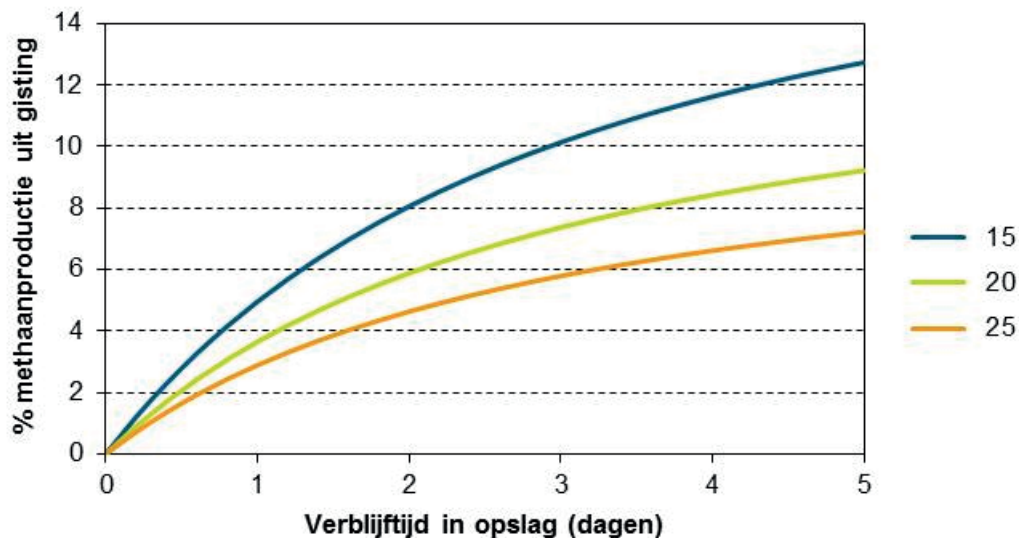
Vastgesteld is dat voor zowel een zuivering zonder als met gisting het transportstelsel een belangrijke bijdrage levert aan de totale methaanemissie van de zuivering. Om hiervan een inschatting te maken is het niet mogelijk een kengetal te definiëren omdat de mate van methaanemissie voor een deel afhankelijk is van de kenmerken van het stelsel. Deze zijn niet *per se* gerelateerd aan de omvang van de zuivering. Wel is gebleken dat de mate van methaanemissie sterk gerelateerd is aan het inkomende debiet, welke wel gerelateerd is aan de omvang van de zuivering. Aan de hand van de volgende overwegingen kan een eerste inschatting worden gemaakt van de zuiveringskring (zuivering + transportstelsel) met het hoogste risico op methaanemissie:

- persleiding hoger risico dan vrijverval;
- groter volume persleiding hoger risico dan klein volume persleiding;
- hoger debiet hoger risico dan laag debiet.

Voor een zuivering met gisting leveren de slibopslag tanks ná de gisting de grootste bijdrage aan de emissie van methaan op een zuivering. Een theoretisch model voor in serie geschakelde tanks kan gebruikt worden om tot een eerste inschatting van de emissie te komen. Met dit model is voor een drietal verblijftijden in de gisting berekend welk percentage van

de methaanproductie uit de gisting vrij kan komen ná de gisting (uit buffer en silosilo). Het resultaat hiervan is weergegeven in Figuur 9.

FIGUUR 9 PERCENTAGE VAN METHAANPRODUCTIE UIT GISTING DIE KAN VRIJKOMEN NÁ DE GISTING UIT DE OPSLAGTANKS BIJ DRIE VERSCHILLENDE VERBLIJFTIJDEN IN DE GISTING (GEVOED MET 40% PRIMAIR SLIB EN 60% SECUNDAIR SLIB).



Figuur 9 kan dan zo gelezen worden dat bij bijvoorbeeld een verblijftijd van 20 dagen in de gisting en 3 dagen verblijftijd in de opslag circa 7% van de methaanproductie uit de gisting vrij kan komen in de opslag ná de gisting. Aan de hand van Figuur 9 kan hiermee dan een eerste inschatting worden gemaakt van de emissie van methaan uit opslag ná de gisting. Omdat in het model het effect van het optreden van kortsluitstromen of de aanwezigheid van vervuiling in de tank niet is te vatten dienen altijd metingen te worden uitgevoerd om de werkelijke emissie van methaan uit de buffer en silo te bepalen. Dit kan bijvoorbeeld door het volgen van biogasproductie - wanneer door omstandigheden de gisting een aantal dagen uit bedrijf wordt genomen. Met de afname in biogasproductiesnelheid, de verblijftijd in de buffer en de inhoud van de buffer kan een inschatting worden gemaakt van de methaanemissie uit de buffer.

Een tweede methode is om over een langere periode de emissie direct uit de buffer en silo te meten. Wanneer de gemeten emissie significant hoger ligt dan de berekende emissie kan dit een indicatie zijn dat een deel van de gisting niet wordt benut door de aanwezigheid van vervuiling of dat kortsluitstroming optreedt. Of dit op deze manier ook daadwerkelijk meetbaar is dient onderzocht te worden.

3.4 BESCHOUWING NIEUWE TECHNOLOGIEËN

Enkele nieuwe technologieën die nog in ontwikkeling zijn of al op praktijkschaal bij zuiveringen zijn toegepast om energie of grondstoffen te winnen of energie te besparen zijn:

- DAF (dissolved air flotation);
- Fijnzeef;
- Nereda®;
- Slibvoorbehandelingstechnieken.

In het vervolg van deze paragraaf is beschouwd in hoeverre deze technieken bijdragen aan de emissie van methaan vanuit een zuivering.

DAF

Het toepassen van een DAF op een zuivering kan mogelijk bijdragen aan het verhogen van de energieproductie (meer primair slib) en het creëren van biologische capaciteit in de zuivering doordat meer zwevende stof kan worden afgevangen¹². In een DAF wordt met fijne belletjes de zwevende stof afgescheiden van het afvalwater. Voor de mogelijke emissie van methaan betekent dit, dat wanneer het methaan nog in oplossing is (na roostergoedverwijdering) dit in een DAF zeker vrijkomt, doordat het methaan wordt gestript. Naar verwachting zal deze emissie ook hoger zijn dan dat bij een voorbezinktank, omdat daar geen stripeffect optreedt en de kans groter is dat het methaan in oplossing blijft.

Fijnzeef

Het toepassen van een fijnzeef kan net als een DAF gezien worden als een alternatief voor een voorbezinktank. Echter met een fijnzeef wordt vooral beoogd cellulose terug te winnen uit afvalwater. Het werkingsprincipe van een fijnzeef is dat door de beperkte maaswijdte (< 0,5 mm) de cellulosevezels uit het afvalwater worden verwijderd. Een fijnzeef wordt vaak afgedekt uitgevoerd, waardoor het contact met de lucht beperkt is. Wel zal een fijnzeef vaak worden afgezogen, waardoor eventueel nog opgelost methaan wel gemakkelijk zal emitteren naar de lucht.

Nereda[®]

Met het toepassen van een Nereda[®] kan worden bespaard op het energieverbruik van een zuivering. Het werkingsprincipe van een Nereda[®] is dat door middel van aerob korrelslib het afvalwater wordt gezuiverd. Deze zuivering vindt plaats in cycli van voeden en effluent aflaten, beluchten en bezinken en slib aflaten. In de beluchte fase is het mogelijk dat nog opgelost methaan wordt gestript, maar net als in conventionele actiefslibsystemen kan het methaan ook worden geoxideerd. In de praktijkinstallatie in Epe is in een periode van twee weken in juni 2012 de emissie van methaan gemeten. De waargenomen emissiefactor bedroeg 0,0009 kg CH₄/kg CZV¹³, wat een factor 10 lager lag dan de waargenomen emissiefactor in Papendrecht en Kortenoord¹⁴.

Dit geeft de indicatie dat in een Nereda[®] niet meer methaan wordt geëmitteerd dan in een conventionele actiefinstallatie en dat dit meer zal afhangen van de kenmerken van het transportstelsel en de mate waarin het methaan al vrijkomt bij de fysische voorzuivering op de zuivering.

Slibvoorbehandeling

In Nederland worden op dit moment diverse slibvoorbehandelingstechnieken getest of zijn al geïnstalleerd op praktijkschaal. Alle technieken beogen om de mate van slibafbraak te verhogen om zo ook meer biogas (en dus elektriciteit) te produceren. Door de voorbehandeling van het slib wordt naast een hogere maximale afbraak ook een snellere afbraak beoogd.

Om nu de emissie van methaan te berekenen in de situatie dat het slib wordt voorbehandeld, is de maximale afbraak van secundair slib verhoogd van 40% naar 50% en is de afbraakparameter K verlaagd van 1,5 naar 1,1 (lager wordt niet waarschijnlijk geacht). Door de snellere afbraak wordt bij het toepassen van slibvoorbehandeling vaak gekozen voor een kortere

12 STOWA, 2014, Toepassing van Dissolved Air Flotation als voorbehandeling van communaal afvalwater, rapportnummer 2014 - 03.

13 STOWA, 2013, Nereda[®] praktijkonderzoeken 2010 - 2012, rapportnummer 2013 - 29.

14 STOWA, 2010, Emissie van broeikasgassen van RWZI's, rapportnummer 2010 - 08.

verblijftijd in de gisting. Voor het inschatten van de emissie na gisting kan dan gekeken worden naar twee situaties:

- de vrijgekomen capaciteit wordt niét opgevuld met extra slib;
- de vrijgekomen capaciteit wordt wél opgevuld met extra slib.

Met het hier gebruikte model (in serie geschakelde tanks) is berekend dat in de situatie dat de vrijgekomen capaciteit niét wordt opgevuld, wordt 10% meer biogas in de gisting geproduceerd, de emissie na de gisting neemt beperkt toe tot circa 5%. Bij het opvullen van de capaciteit met extra slib waardoor de verblijftijd in de gisting wordt verkort, zal dit percentage toenemen. Om dit beeld te bevestigen is het aan te bevelen metingen in de praktijk uit te voeren.

4

SELECTIE MAATREGELLEN

4.1 METHODIEK

De resultaten van de literatuurstudie hebben niet geleid tot een aanvulling van de in eerste instantie opgestelde maatregelen (zie Tabel 1). Uit de selectie van procesonderdelen is gebleken dat de onderdelen na de gisting (vooral buffer en silo) een belangrijke bijdrage leveren aan de totale methaanemissie, maar ook aan de CO₂-voetafdruk van een zuivering. Om deze reden zijn een aantal maatregelen toegevoegd die de emissie vanuit de buffer en/of silo kunnen reduceren. Deze maatregelen zijn:

- de buffer als nagisting gebruiken en het geproduceerde biogas samen met het biogas uit de gisting te verbranden in de WKK;
- ombouwen mesofiele gisting naar thermofiele gisting;
- bij meer dan één gistingstank deze in serie te schakelen in plaats van ze parallel te voeden.

4.2 SELECTIE

4.2.1 REDUCTIE EMISSIE VAN METHAAN EN IMPACT OP CO₂-VOETAFDRUK

Bij het selecteren van de maatregelen voor verdere uitwerking in business cases, is in eerste instantie gekeken naar die maatregelen waarvan de impact op de CO₂-voetafdruk groter is dan 10%. In tweede instantie is ook gekeken naar in hoeverre de maatregelen conform de doelstelling van dit onderzoek relatief eenvoudig kunnen worden uitgevoerd. Tot slot is gekeken in hoeverre de berekende reductie in praktijk ook werkelijk kan optreden.

Met deze selectiecriteria is gekomen tot de volgende lijst (in hoofdstuk 5) nader uit te werken maatregelen:

- De afgezogen lucht van de buffer als verbrandingslucht gebruiken voor de WKK:
 - *potentiële reductie van methaan bedraagt meer dan 70%, de mogelijke reductie CO₂-voetafdruk bedraagt meer dan 50%;*
- De buffer ombouwen naar nagisting:
 - *potentiële reductie van methaan bedraagt circa 50%, mogelijke reductie CO₂-voetafdruk bedraagt bijna 40%.*
- De ombouw van mesofiele naar thermofiele gisting:
 - *potentiële reductie van methaan bedraagt circa 40%, de mogelijke reductie CO₂-voetafdruk bedraagt circa 30%.*
- De afgezogen lucht van de buffer en slibsilos behandelen in een biofilter:
 - *potentiële reductie van methaan bedraagt circa 60%, de mogelijke reductie CO₂-voetafdruk bedraagt circa 45%.*

Bovengenoemde maatregelen betreffen alle maatregelen die op een zuivering met gisting kunnen worden uitgevoerd. Aangezien bij zuiveringen zonder gisting het transportstelsel een aanzienlijke bijdrage kan leveren aan de CO₂-voetafdruk is voor deze zuiveringen ook

de maatregel 'onder water inbrengen afvalwater' nader uitgewerkt. De uitwerking van de niet geselecteerde maatregelen is weergegeven in hoofdstuk 3 van het technologisch rapport (bijlage 2).

4.2.2 INVLOEDSFACTOREN

De mate van reductie die mogelijk is voor de maatregelen aan de gisting of buffer om de emissie vanuit de buffer (en silo) te reduceren, wordt beïnvloed door de huidige emissie welke het resultaat is van:

- de hoeveelheid te vergisten slib;
- de verblijftijd in de gisting en de buffer;
- de temperatuur in de gisting en de buffer;
- het mogelijk optreden van kortsluitstroming in de gisting;
- de mogelijke aanwezigheid van vervuiling in de gisting.

De invloedsfactoren zoals die gelden voor de niet geselecteerde maatregelen zijn weergegeven in hoofdstuk 3 van het technologisch rapport (bijlage 2).

4.2.3 IMPACT OP OVERIGE ONDERDELEN

De afgezogen lucht van de buffer en/of silo gebruiken als verbrandingslucht in de WKK heeft geen directe invloed op het functioneren van overige onderdelen op de zuivering. Wel dient er gekeken te worden of de kwaliteit van de afgezogen lucht voldoende is om direct in de WKK te gebruiken. Bij de uitwerking van deze maatregel in § 5.2 wordt hier in meer detail op ingegaan.

Door de buffer om te bouwen tot nagisting komt het opgeloste methaan en het mogelijk aan het slib gehechte methaan waarschijnlijk niet meer vrij in de buffer, maar zal dit waarschijnlijk vrijkomen bij de ontwatering van het slib of bij het verladen van het slib uit de silo.

Bij de ombouw van mesofiele gisting naar thermofiele gisting dient er rekening te worden gehouden met een verhoogde ammoniumconcentratie die mogelijk leidt tot meer geuroverlast, en welke separaat in de waterlijn of in een deelstroombehandeling dient te worden behandeld (is extra beluchtingsenergie). Het effect op de ontwaterbaarheid van het slib is nog niet bekend.

Het toepassen van een biofilter heeft geen impact op overige onderdelen van de zuivering.

De impact van de overige niet geselecteerde maatregelen op de overige onderdelen van de zuivering is beschreven in hoofdstuk 3 van het technologisch rapport (bijlage 2).

5

UITWERKING BUSINESS CASES

5.1 OPZET

In dit hoofdstuk zijn de volgende maatregelen verder uitgewerkt:

- de afgezogen lucht van de buffer voor het uitgegiste slib (buffer) als verbrandingslucht gebruiken voor de WKK;
- de buffer ombouwen naar nagisting;
- de ombouw van mesofiele naar thermofiele gisting;
- de afgezogen lucht van de buffer en silos behandelen in een biofilter;
- maatregelen in het transportstelsel om methaan in oplossing te houden.

De eerste twee maatregelen zijn in dit hoofdstuk in meer detail uitgewerkt, omdat deze twee ook de hoogste potentiële reductie kennen. De overige maatregelen zijn meer op hoofdlijnen uitgewerkt.

Voor het toetsen van de maatregel om de afgezogen lucht van de buffer als verbrandingslucht in te zetten voor de WKK is de zuivering Kralingseveer gekozen. Voor het toetsen van de haalbaarheid van het ombouwen van de buffer naar nagisting is een bezoek gebracht aan de zuivering Amsterdam-West.

De haalbaarheid van de maatregel om een mesofiele gisting om te bouwen naar een thermofiele gisting is getoetst aan de hand van eerder door STOWA uitgevoerd onderzoek¹⁵.

Voor het behandelen van de afgezogen lucht in de biofilters geldt dat op voorhand duidelijk is dat dit leidt tot een hoge investering waar geen opbrengsten of besparingen tegenover staan, waardoor deze maatregel niet snel zal worden toegepast in de praktijk. Op basis van uit literatuur bekende kosten is deze maatregel op hoofdlijnen uitgewerkt. Dit geldt ook voor de maatregelen in het transportstelsel, omdat nog niet duidelijk is dat wanneer het methaan in oplossing wordt gehouden dit ook daadwerkelijk wordt geoxideerd in de beluchtingstank.

De volledige uitwerking van alle business cases is opgenomen in hoofdstuk 5 van het technologisch rapport (bijlage 2) in de volgende paragrafen worden de belangrijkste resultaten weergegeven.

¹⁵ STOWA, 2012, Business Case Thermofiele gisting, rapportnummer 2012 – W15 en STOWA, 2014, Haalbaarheid van thermofiele gisting in Nederland, rapportnummer 2014 – 23.

5.2 RESULTATEN

5.2.1 TECHNISCHE HAALBAARHEID

De afgezogen lucht van de uitgegist slibbuffer inzetten als verbrandingslucht is technisch haalbaar, waarbij aan de volgende punten aandacht dient te worden besteed:

- de kwaliteit van de afgezogen lucht naar de WKK; deze dient zo constant mogelijk te zijn voor een goede bedrijfsvoering van de gasmotor;
- bedrijfsvoering van de slibbuffers; te veel schommelingen¹⁶ van het niveau in de slibbuffer leidt tot schommelingen in de methaanproductie;
- het effect op de uitstoot van NO_x bij inbrengen afgezogen lucht.

De buffer als nagisting bedrijven is technisch realiseerbaar waarbij aandacht dient te worden besteed aan:

- de constructie van de betonnen wanden bij toepassen van een betonnen afdekking;
- de fundering van de tank; is deze toereikend als een betonnen afdekking wordt toegepast;
- EX-zonering; deze verandert en daarmee de veiligheidsvoorschriften voor wat betreft toegang en onderhoud van de buffer/nagisting;
- het vrijkomen van extra methaan (aan het slib gehecht) bij de ontwatering van het uitgegiste slib.

Het ombouwen van een mesofiele gisting naar een thermofiele gisting is technisch mogelijk, waarbij aandacht dient te worden besteed aan de civiele constructie:

- de warmteflux door het beton neemt toe, dit kan leiden tot grotere spanningen in het materiaal; eventueel aanwezige scheuren kunnen dan groter worden;
- spanningen op verbindingpunten tussen wand en vloer en/of dak kunnen toenemen.

De overige maatregelen (luchtbehandeling met biofilter en maatregelen in transportstelsel) zijn technisch mogelijk, maar zijn niet zo ver uitgewerkt dat hier ook aandachtspunten voor kunnen worden weergegeven.

5.2.2 FINANCIËLE HAALBAARHEID

In Tabel 3 is een samenvatting gegeven van de uitgewerkte maatregelen om de emissie vanuit het transportstelsel of de zuivering te reduceren. De terugverdientijd is berekend als: investering/besparing. Indien de terugverdientijd korter is dan de gebruikelijke afschrijvingstermijn (10 – 15) jaar dan betekent dit dat er sprake is van een positieve business case. De kosten per ton vermeden CO₂ zijn bepaald op basis van de besparing in euro's inclusief kapitaalslasten. Dit omdat hiermee de maatregelen onderling kunnen worden vergeleken en inzichtelijk kan worden gemaakt welke maatregel het meest effectief (hoge besparing, lage investering) de uitstoot van CO₂ reduceert. Bij het berekenen van de besparing en kapitaalslasten zijn uitgangspunten voor de elektriciteitsprijs, afschrijvingstermijn en rente gebruikt die gelden voor een gemiddelde situatie en niet specifiek van toepassing zijn voor de cases in Amsterdam-West en Kralingseveer.

¹⁶ Hiermee wordt bedoeld dat de buffer niet fluctueert tussen vol en bijna leeg. Zulke schommelingen in het niveau hebben tot gevolg dat er ook schommelingen in de methaanproductie ontstaan; schommelingen van enkele tientallen centimeters zullen weinig effect hebben.

TABEL 3 OVERZICHT MAATREGELEN OM EMISSIE VAN METHAAN VANUIT TRANSPORTSTELSEL OF ZUIVERING TE REDUCEREN; KOSTEN VERMEDEN CO₂ ZIJN INCLUSIEF KAPITAALSLASTEN.

Maatregel	Investeringskosten (€; incl. BTW)	Besparing (€/j)	Terugverdientijd (j)	Kosten vermeden CO ₂ (€/ton CO ₂)
Afgezogen lucht buffer als verbrandingslucht WKK (Kralingseveer)	300.000	30.000	~ 10	-3
Buffer ombouwen naar nagisting (A'dam West)	600.000	~120.000*	~ 5*	-13*
Ombouw van mesofiel naar thermofiel	360.000	17.000	21	+28
Luchtbehandeling afgezogen lucht buffer en slibsilos	300.000 – 970.000	-	Nee	>500**
Afvalwater onder water inbrengen in ontvangstkelder	7.000 – 12.000	Onbekend	Onbekend	***

* Op basis van metingen voor realisatie struvietreactor; Emissie na realisatie struvietreactor is nog niet bekend, waardoor hoogte besparing ook nog niet kan worden vastgesteld.

** Op basis van investeringskosten

*** Zie tekst onder tabel

De uitwerking van de maatregelen voor Kralingseveer en Amsterdam-West tonen aan dat positieve business cases mogelijk zijn om de emissie van methaan te reduceren. De ombouw van mesofiele naar thermofiele gisting laat in de hier beschreven case een minder aantrekkelijke terugverdientijd zien (> 20 jaar). Deze is echter wel sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden en bijvoorbeeld de afzetprijs voor slib.

In tegenstelling tot de maatregelen aan de buffer leidt het behandelen van de afgezogen lucht niet tot een besparing. Er zijn hoge investeringskosten mee gemoeid, waardoor deze maatregel niet rendabel is om de emissie van methaan op een zuivering te reduceren. Bij het onder water inbrengen van het afvalwater in een ontvangstkelder zijn de investeringen beperkt, en kan mogelijk worden bespaard op onderhoudskosten aan de ontvangstkelder doordat corrosie door H₂S wordt voorkomen. De kosten per vermeden CO₂ zijn voor deze maatregel niet in te schatten omdat deze afhankelijk zijn van de huidige emissie die weer afhangt van de kenmerken van het transportstelsel en de hoeveelheid getransporteerd afvalwater.

5.2.3 INVLOEDSFACTOREN

Factoren die de van invloed zijn op een mogelijke positieve business case zijn:

- te overbruggen afstanden voor extra leidingwerk;
- bij aanpassingen aan de buffer is dit de diameter van de buffer in verband met de aan te brengen afdekking;
- beschikbare ruimte om extra pompen te plaatsen;
- status van de huidige onderdelen (bijvoorbeeld gistingstanks bij ombouw van mesofiel naar thermofiel).

Verder bepaalt de omvang van de locatie of een positieve business case mogelijk is. De investeringskosten zullen niet evenredig afnemen met een kleinere schaal, terwijl de potentiële besparing wel bij benadering evenredig zal afnemen met de schaal, waardoor voor kleinere gistinglocaties de maatregelen minder snel financieel aantrekkelijk zullen zijn.

6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

De doelstelling van dit onderzoek was om een aantal concrete maatregelen te vinden die de emissie van methaan verminderen bij het transport (door waterschap) en zuiveren van afvalwater, en bij de verwerking van slib binnen de grenzen van de zuivering die relatief eenvoudig kunnen worden toegepast in de praktijk.

Om bovengenoemde doelstelling te bereiken, is eerst een selectie gemaakt van procesonderdelen die een relevante bijdrage leveren aan de totale methaanemissie en dus ook de CO₂-voetafdruk van een zuivering. Op basis van deze selectie is geconcludeerd dat:

- voor zuiveringen zonder gisting de focus voor reductie dient te liggen op het transportstelsel, omdat deze mogelijk een belangrijke bron van methaan is, die in het transportstelsel of op de zuivering kan vrijkomen
- voor zuiveringen met gisting de focus dient te liggen op de buffer en slibsilos ná de gisting omdat deze de belangrijkste bijdrage leveren aan de totale methaanemissie en de vermeden CO₂ door eigen elektriciteitsopwekking aanzienlijk teniet kan worden gedaan; metingen wezen zelfs uit dat dit deel kan oplopen tot 60% (STOWA, 2012).

In tweede instantie is een selectie gemaakt van maatregelen die de emissie van methaan kunnen reduceren. Op basis van deze selectie is geconcludeerd dat:

- voor een zuivering zonder gisting kunnen maatregelen in het transportstelsel (het onder water inbrengen van afvalwater in ontvangput) of bij het ontvangwerk leiden tot de hoogste reductie van de methaanemissie;
- voor een zuivering met gisting leiden de volgende maatregelen tot de hoogste reductie van methaan:
 - de afgezogen lucht van de buffer gebruiken als verbrandingslucht voor de WKK;
 - de buffer ombouwen naar nagisting;
 - het ombouwen van een mesofiele gisting naar een thermofiele gisting;
 - het behandelen van de afgezogen lucht van de buffer en slibsilos in een biofilter.

In bijlage 1 zijn voor de volledigheid twee tabellen opgenomen die een overzicht geven van de potentiële emissie per procesonderdeel en de potentiële reductie per maatregel, en door welke factoren deze emissie of reductie wordt beïnvloed.

Uit de analyse van de technische en financiële haalbaarheid van bovengenoemde maatregelen kan het volgende worden geconcludeerd:

- De maatregelen aan de buffer kunnen leiden tot een positieve business case, omdat de vereiste investeringen kunnen worden terugverdiend door de extra elektriciteitsopbrengst. Dit laatste draagt ook positief bij aan het verder verlagen van de CO₂-voetafdruk.
- Aanpassingen aan de gistingstanks kunnen leiden tot een positieve business case en kunnen worden gecombineerd met maatregelen aan de buffer om de benutting van biogas te

maximaliseren en de emissie van methaan sterk te reduceren.

- De financiële haalbaarheid van de maatregelen aan de buffer en de gisting worden sterk beïnvloed door de schaalgrootte van de zuivering. Maatregelen zullen bij grotere zuiveringen eerder leiden tot een positieve business case omdat de besparing lineair toeneemt met de hoeveelheid vergist slib, terwijl de kosten voor de aanpassingen niet lineair toe zullen nemen.
- Maatregelen in het transportstelsel, zoals het onder water inbrengen van het afvalwater in een ontvangstkelder, lijken effectief voor zuiveringen zonder gisting om de emissie van methaan te reduceren; tegelijkertijd kan hierbij corrosie aan materiaal door H_2S worden voorkomen;
- Het behandelen van afgezogen lucht in een biofilter is financieel niet aantrekkelijk, omdat er geen besparingen tegenover staan en de investeringskosten hoog zijn.

Tot slot heeft dit onderzoek aangetoond dat de emissie van methaan een significante bijdrage kan leveren aan de CO_2 -voetafdruk van een zuivering. Het weglaten van de methaanemissie uit de klimaatmonitor lijkt in die zin onterecht, maar is wel begrijpelijk omdat de emissie van methaan uit transportstel en gisting moeilijk zijn in te schatten. Toch wordt geadviseerd hier aandacht aan te blijven geven, omdat de bijdrage van methaan significant kan zijn. De metingen in Kralingseveer toonde aan dat 60% van de vermeden CO_2 -inkoop teniet werd gedaan door de emissie van methaan uit de buffer en silo na de gisting.

6.2 AANBEVELINGEN

6.2.1 ONDERZOEKSVRAGEN

Met het hier uitgevoerde onderzoek liggen er voor de praktijk nu een aantal concrete maatregelen die kunnen worden toegepast om de emissie van methaan te reduceren. Wel liggen er nog een aantal onderzoeksvragen waar in de toekomst nog een antwoord op is gewenst om de emissie van methaan vanuit het transportstelsel of de zuivering verder te reduceren. Om deze reden is het aan te bevelen om aandacht te besteden aan de volgende onderzoeksvragen:

- de vorming en emissie van methaan in vrijvervalleidingen (en persleidingen) in Nederland;
- de omstandigheden waaronder methaanoxidatie op een zuivering plaats kan vinden;
- de emissie van methaan uit gravitaire slibindikers voor primair slib¹⁷;
- het optreden van kortsluitstromen, of de aanwezigheid van vervuiling in de slibgisting, die de emissie van methaan ná de gisting kan beïnvloeden;
- de emissie van methaan bij WKK installaties als gevolg van het niet verbranden van methaan (methaanslip);
- de mate van methaanemissie na de gisting als het slib wordt voorbehandeld¹⁸.

¹⁷ Uit de praktijk blijkt dat ook uit slibbufferbakken voor ingedikt secundair slib de emissie van methaan aanzienlijk kan zijn, het goed schoonhouden van deze bakken kan deze emissie reduceren.

¹⁸ Het gaat hierbij om technieken zoals TSO (thermische slibontsluiting) en propstroomvergisting.

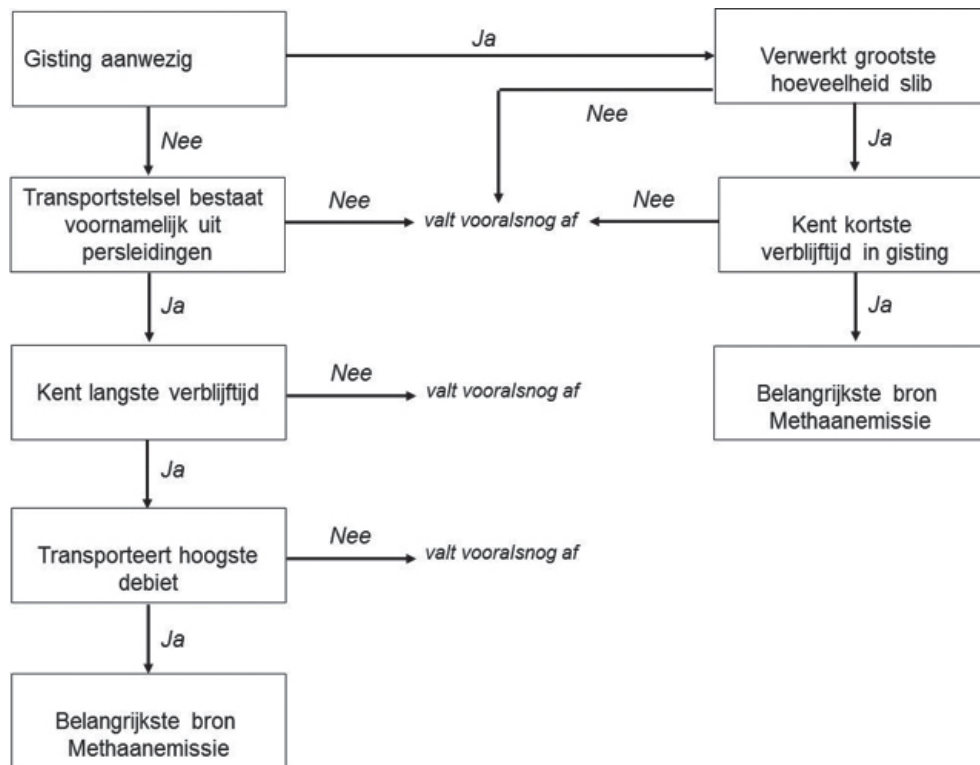
6.2.2 STAPPENPLAN

Voor het reduceren van de methaanemissie en de CO₂-voetafdruk te verlagen wordt geadviseerd om het volgende stappenplan te volgen:

- 1 Selecteer de zuivering(en) op basis van het beslisschema (zie Figuur 10) waar naar de verwachting de hoogste emissie kan plaats vinden.

FIGUUR 10

BESLISSHEMA VOOR VASTSTELLEN VAN DE ZUIVERING MET HET HOOGSTE RISICO OP METHAANEMISSIE.



- 2 Gebruik voor de zuivering zonder gisting de empirische formule zoals gepresenteerd in § 2.1.1 van het technologische rapport uit bijlage 2 voor het berekenen van de potentiële hoeveelheid gevormd methaan in het transportstelsel.
 - 2.1 Gebruik deze hoeveelheid berekend methaan om een CO₂-voetafdruk van de zuiveringskring (inclusief transportstelsel en gemalen) vast te stellen en de relatieve bijdrage van methaan daaraan.
 - 2.2 Ga bij een hoge relatieve bijdrage van methaan na of de hoeveelheid gevormd methaan vrijkomt gedurende het transport of pas voornamelijk op de zuivering vrijkomt aan de hand van het volgende:
 - 2.2.1 het uitvoeren van metingen uit om de werkelijke emissie en potentiële reductie vast te stellen voordat wordt overgegaan tot het implementeren van maatregelen (nodig voor opstellen business case).
 - 2.2.2 het uitvoeren van metingen uit om de werkelijke emissie en potentiële reductie vast te stellen voordat wordt overgegaan tot het implementeren van maatregelen (nodig voor opstellen business case).
 - 2.3 Voor het reduceren van de emissie van in het transportstelsel gevormd methaan kunnen de volgende maatregelen worden toegepast:
 - 2.3.1 het onder water inbrengen van afvalwater in een pompput;
 - 2.3.2 bij renovatie van het ontvangwerk overwegen om de vijzels te vervangen door pompen.

met het in oplossing houden van het methaan wordt de mogelijkheid opgehouden dat het gevormde methaan in de aeratietank wordt geoxideerd;
- 3 Stel aan de hand van Figuur 9 vast wat de potentiële emissie van methaan is ná de gisting.
 - 3.1 Gebruik deze hoeveelheid berekend methaan om een CO₂-voetafdruk van de zuiverings-

kring (inclusief transportstelsel en gemalen) vast te stellen en de relatieve bijdrage van methaan daaraan.

- 3.2 Voer bij een hoge relatieve bijdrage van methaan metingen uit om de werkelijke emissie en potentiële reductie vast te stellen voordat wordt overgegaan tot het implementeren van maatregelen (nodig voor opstellen business case). De emissie kan gemeten worden door:
 - 3.2.1 het volgen van de afname in biogasproductiesnelheid in de gisting als deze in verband met onderhoud tijdelijk uit bedrijf wordt genomen;
 - 3.2.2 directe metingen over een langere periode uit te voeren aan de buffer en/of slibsilos.
- 3.3 Zorg voor een stabiele bedrijfsvoering van de gisting (een gelijkmatige aanvoer, constante temperatuur en goede menging), omdat dit tegelijkertijd leidt tot een hogere biogasopbrengst in de gisting en lagere emissie ná de gisting;
- 3.4 Naast een goede bedrijfsvoering kan door het toepassen van één van de volgende maatregelen –of een combinatie ervan– zoveel mogelijk biogas worden benut voor elektriciteitsopwekking en kan de emissie worden gereduceerd:
 - 3.4.1 de afgezogen lucht van de buffer benutten als verbrandingslucht voor de WKK;
 - 3.4.2 de buffer ombouwen naar nagisting en aansluiten op biogasbuffer;
 - 3.4.3 ombouw van mesofiele gisting naar thermofiele gisting.

BIJLAGE 1

SAMENVATTING EMISSIE EN REDUCTIE METHAAN

TABEL 4 OVERZICHT POTENTIËLE METHAANEMISSIE PER PROCESONDERDEEL EN DOOR WELKE FACTOREN DEZE WORDT BEÏNVLOED; 1 KG CH₄ KOMT OVEREEN MET 1,6 M³ CH₄.

Procesonderdeel	zuivering - gisting	Impact op CO ₂ -voetafdruk	zuivering + gisting	Impact op CO ₂ -voetafdruk	Invloedsfactoren
	kg CH ₄ /d	%	kg CH ₄ /d	%	
Transportstelsel	9	31	12	8	<u>kenmerken transportstelsel</u> : langere persleidingen verhogen risico (dus emissie neemt toe) lange verblijftijd in persleiding verhoogd risico <u>getransporteerd debiet</u> : bij een verhoogd debiet neemt risico toe
Gravitair indikker primair slib	-	-	7	4	<u>samenstelling afvalwater</u> : bij een hogere aanvoer van organisch materiaal is er een verhoogd risico op verzuring en dus op methaanvorming
Gravitair indikker secundair slib	0,3	1	0,7	0,4	-
Uitgegist slibbuffer	-	-	61	41	<u>hoeveel</u> bij hogere te vergisten slibhoeveelheden neemt risico toe verblijftijd in gisting: bij verblijftijd in gisting onder 20 dagen neemt risico toe temperatuur opslag: bij hogere temperaturen in de gisting neemt emissie ná gisting af verblijftijd in buffer of silo: bij een langere verblijftijd (> 2 dagen) in buffer of slibsilos neemt risico toe
Ontwatering	-	-	2,6	2	<u>temperatuur gisting</u> : bij lagere temperatuur in gisting neemt risico af
Rejectiewater	-	-	0,3	0,2	zie ontwatering
Slibsilos	-	-	20	14	zie uitgegist slibbuffer
WKK	-	-	9	6	<u>leeftijd en type</u> : risico neemt toe bij oudere types <u>capaciteit</u> : risico neemt toe bij WKK installaties met grotere capaciteit
Fakkel	-	-	0,5	0,3	
Totaal	10	32	113	75	

TABEL 5 OVERZICHT MAATREGELEN OM EMISSIE VAN METHAAN TE REDUCEREN.

Maatregel	Potentiële reductie emissie van methaan (%)	Impact op CO ₂ -voetafdruk (%)	Invloedsfactoren op business case
Vervangen gravitaire indikker voor secundair door bandindikker	3 (zuivering - gisting) 1 (zuivering + gisting)	1 (zuivering - gisting) 0,4 (zuivering + gisting)	-
Verblijftijd zo kort mogelijk houden in indikker	-	-	-
Gelijkmatige voeding	niet te bepalen	niet te bepalen	-
Beluchten buffer	51*	38*	
Afkoelen uitgestort slib	38	29	
Ombouw mesofiel naar thermofiel	41	31	
In serie schakelen gisting	~40**	~30**	
Afvalwater onder water inbrengen in ontvangput bij gemaal	afhankelijk kenmerken systeem	afhankelijk kenmerken systeem	kenmerken aanvoerend stelsel en ontvangkelder
Bij renovatie ontvangwerk overwegen om vijzel te vervangen door pompen	afhankelijk kenmerken systeem	afhankelijk kenmerken systeem	
Op hoogte afpompen van uitgestort slib in plaats van overstorten	3	2	-
Buffer ombouwen naar nagisting	51	39	diameter buffer (kosten afdekking) afstand tussen buffer en biogasleiding gisting omvang locatie = hoeveelheid vergist slib prijs voor vermeden elektriciteitsinkoop
Afgezogen lucht via blower in AT brengen	7	5	
Afgezogen lucht als verbrandingslucht WKK	72	54	afstand tussen buffer en WKK omvang locatie = hoeveelheid vergist slib prijs voor vermeden elektriciteitsinkoop
Luchtbehandeling (biofilter) van afgezogen lucht	36 – 61***	27 - 46***	-

BIJLAGE 2

**TECHNOLOGISCH RAPPORT:
VERKENNING MAATREGELEN VOOR DE
REDUCTIE VAN METHAANEMISSIE IN DE
AFVALWATER- EN SLIBKETEN**

INHOUD

1	LEESWIJZER	29
2	SELECTIE ONDERDELEN	30
2.1	Transportstelsel en ontvangwerk	30
2.1.1	Opzet berekening potentiële emissie	30
2.1.2	Potentiële emissie	31
2.1.3	Verificatie	32
2.1.4	Invloedsfactoren	32
2.2	Aeratietank	32
2.2.1	Opzet berekening potentiële emissie	32
2.2.2	Potentiële emissie en verificatie	32
2.3	Gravitaire indikker en voorbezinktank	33
2.3.1	Opzet berekening potentiële emissie	33
2.3.2	Potentiële emissie	34
2.3.3	Verificatie	34
2.3.4	Invloedsfactoren	34
2.4	Buffer voor uitgestort slib en slibsilos	34
2.4.1	Opzet berekening potentiële emissie	34
2.4.2	Potentiële emissie	36
2.4.3	Verificatie	36
2.4.4	Invloedsfactoren	37
2.5	Ontwateringsinstallatie en rejectiewater	37
2.5.1	Opzet berekening potentiële emissie	37
2.5.2	Potentiële emissie	38
2.5.3	Verificatie	38
2.5.4	Invloedsfactoren	38
2.6	WKK en Fakkels	38
2.6.1	Opzet berekening potentiële emissie	38
2.6.2	Potentiële emissie, verificatie en invloedsfactoren	38
2.7	Biogasopwerkingstechnieken	39
2.7.1	Opzet berekening potentiële emissie	39
2.7.2	Potentiële emissie en verificatie	39
2.7.3	Invloedsfactoren	40
2.8	Samenvatting selectie procesonderdelen	40
2.8.1	Zuivering zonder gisting	40
2.8.2	Zuivering met gisting	40
2.8.3	Invloedsfactoren emissie	41
3	SELECTIE MAATREGELEN	43
3.1	Resultaten literatuurstudie	43
3.1.1	Methaanvorming in de riolering	43
3.1.2	Methaanoxidatie in de aeratietank	43
3.1.3	Methaanverwijdering door middel van luchtbehandeling	44
3.1.4	Samenvatting	45
3.2	Uitwerking maatregelen	46
3.2.1	Vervangen gravitaire indikker voor secundair slib door bandindikker	46
3.2.2	Verblijftijd in gravitaire indikers zo beperkt mogelijk houden	46

3.2.3	Gelijkmatige voeding gisting	46
3.2.4	Beluchten buffer	47
3.2.5	Afkoelen uitgegist slib	48
3.2.6	Mesofiele gisting ombouwen naar thermofiele gisting	48
3.2.7	In serie schakelen gisting	49
3.2.8	Afvalwater onder water inbrengen in ontvangput bij gemaal	49
3.2.9	Bij renovatie ontvangwerk overwegen om vijzel te vervangen door pompen	50
3.2.10	Op hoogte afpompen van uitgegist slib in plaats van overstorten	50
3.2.11	Buffer ombouwen naar nagisting	50
3.2.12	Afgezogen lucht via blower in AT brengen	51
3.2.13	Afgezogen lucht als verbrandingslucht WKK	51
3.2.14	Luchtbehandeling van afgezogen lucht	52
3.3	Samenvatting selectie potentiële maatregelen	53
4	DETAILS BUSINESS CASES	54
4.1	Afgezogen lucht buffer als verbrandingslucht WKK	54
4.1.1	Technische haalbaarheid	54
4.1.2	Financiële haalbaarheid	56
4.1.3	Impact op CO ₂ -voetafdruk	57
4.1.4	Invloedsfactoren	57
4.2	Buffer als nagisting	57
4.2.1	Technische haalbaarheid	57
4.2.2	Financiële haalbaarheid	59
4.2.3	Impact op CO ₂ -voetafdruk	60
4.2.4	Invloedsfactoren	60
4.3	Ombouw van mesofiele naar thermofiele gisting	60
4.3.1	Technische haalbaarheid	60
4.3.2	Financiële haalbaarheid	61
4.3.3	Impact op CO ₂ -voetafdruk	61
4.3.4	Invloedsfactoren	62
4.4	Luchtbehandeling met biofilter	62
4.5	Maatregelen in transportstelsel	63
5	LITERATUUR	64
	BIJLAGE	
1	Investeringsraming maatregelen	66

1

LEESWIJZER

Dit technologisch rapport vormt de bijlage van het hoofdrapport naar de verkenning van maatregelen voor de reductie van methaanemissie in de afvalwater- en slibketen. Om te komen tot een aantal concrete maatregelen om de emissie van methaan te reduceren is eerst een selectie gemaakt van relevante procesonderdelen en kansrijke maatregelen. Voor deze selectie zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- berekening potentiële emissie en reductie;
- verificatie van de berekende potentiële emissie;
- vaststellen van factoren die potentiële emissie en reductie beïnvloeden;
- vaststellen effect van reductiemaatregelen op functioneren andere procesonderdelen.

Bovengenoemde werkzaamheden zijn uitgevoerd voor alle relevante procesonderdelen van een zuivering zonder en met gisting en voor alle vooraf besproken maatregelen. Op basis van de selectie van relevante maatregelen zijn een aantal maatregelen in meer detail uitgewerkt in een business case.

De uitwerking van de selectie van procesonderdelen en maatregelen is omvangrijk en bevat veel details die nodig zijn om te komen tot de berekende emissie of emissiereductie. Om die reden is deze uitwerking niet opgenomen in het hoofdrapport, maar zijn deze weergegeven in dit technologisch rapport.

De selectie van procesonderdelen is beschreven in hoofdstuk 2, de selectie van maatregelen in hoofdstuk 3. Tot slot zijn in hoofdstuk 4 de details opgenomen van de uitgewerkte business cases, waarin de technische en financiële haalbaarheid van enkele reductiemaatregelen worden getoetst. Onderdeel van het technologisch rapport is ook een compleet overzicht van alle literatuur die in dit onderzoek is gebruikt. In bijlage 1 zijn de kostenberekeningen van de business cases opgenomen.

In het rapport is de emissie van methaan uitgedrukt in kg/d, omdat dit de omrekening naar kg CO₂/d voor het opstellen van de CO₂ voetafdruk van de zuivering gemakkelijker maakt. Voor de omrekening van kg CH₄/d naar Nm³ CH₄/d kan gebruik gemaakt worden van een omrekeningsfactor van 1,6 (Nm³/kg).

2

SELECTIE ONDERDELEN

2.1 TRANSPORTSTELSEL EN ONTVANGWERK

2.1.1 OPZET BEREKENING POTENTIËLE EMISSIE

Vorming van methaan in de riolering kan optreden als er volledige anaerobe omstandigheden aanwezig zijn. Onder deze omstandigheden zal methaanvorming plaatsvinden in een biofilm, omdat de groei van de bij methaanvorming benodigde bacteriën in de waterfase nagenoeg is uit te sluiten doordat hiervoor de verblijftijd van het water in de leiding te kort is. Dit betekent dat methaanvorming vooral in persleidingen te verwachten is. In vrijvervalleidingen zal het in veel minder mate optreden, omdat deze vaak niet volledig gevuld zijn en ook deels gevuld zijn met lucht. Ze zijn dus niet volledig anaeroob.

In een eerder STOWA-onderzoek (STOWA, 2012) is vastgesteld dat een in Australië opgesteld empirisch model (Foley et al., 2009) kan worden gebruikt om de methaanvorming in een persleiding in te schatten. Belangrijk hierbij is dat de in Australië gemeten methaanproductiesnelheid wordt gecorrigeerd voor de Nederlandse watertemperaturen. Met deze correctie kan het empirische model van Foley (Foley et al., 2009) als volgt worden omschreven:

$$C_{CH_4,eind} = C_{CH_4,begin} + r_{CH_4,A} \cdot 1,07^{T-25} \cdot \frac{A}{V} \cdot HRT \quad (1)$$

waarin:

$C_{CH_4,eind}$	= concentratie methaan aan einde van persleiding	(g/m ³)
$C_{CH_4,begin}$	= "concentratie" ¹ methaan aan het begin van de persleiding	(g/m ³)
$\gamma_{CH_4,A}$	= methaanproductiesnelheid biofilm	(g·m ⁻² ·d ⁻¹)
A	= doorsnede leiding	(m ²)
V	= volume leiding	(m ³)
HRT	= verblijftijd in leiding	(d)
T	= watertemperatuur	(°C)

De gevormde hoeveelheid methaan kan worden bepaald door de berekende methaanconcentratie te vermenigvuldigen met het debiet (m³/d).

Voor de berekening van de vorming van methaan in het transportstelsel zijn de volgende gegevens nodig:

- lengte en diameter leiding;
- debiet (m³/d);
- watertemperatuur;
- methanogene activiteit;

1 De 'concentratie' van methaan in het afvalwater die wordt berekend kan op deze manier hoger zijn dan de maximale oplosbaarheid van methaan. Dit betekent dat een deel van deze methaanconcentratie in werkelijkheid al ontsnapt methaangas betreft.

De lengte van de aanvoerleiding(en) verschilt zeer sterk per zuivering (variërend van enkele kilometers tot meer dan 100 – 200 km) en is niet gerelateerd aan de omvang van de zuivering. Om deze reden is de potentiële emissie berekend bij verschillende lengtes van de persleiding en bij verschillende debieten. De diameter van de persleiding is berekend door uit te gaan van een ontwerpsnelheid van 1,5 m/s.

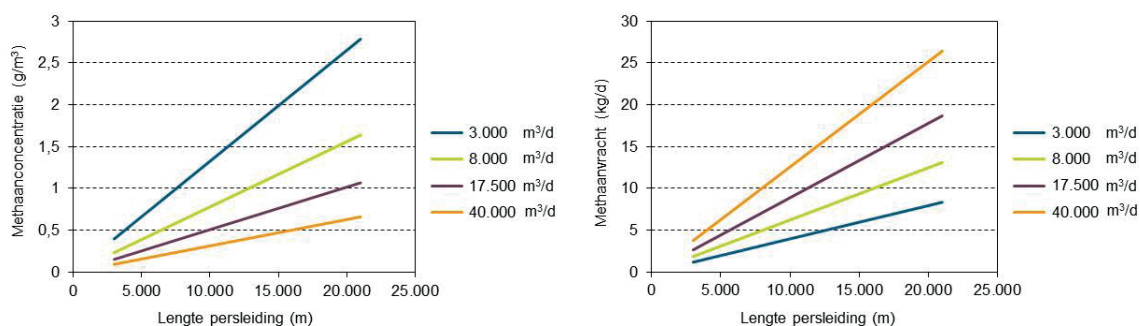
Om het aandeel van de methaanemissie uit het transportstelsel aan de totale emissie en CO₂-voetafdruk te bepalen is voor de zuivering zonder gisting uitgegaan van een debiet van 10.500 m³/d, voor de zuivering met gisting is uitgegaan van een debiet van 22.000 m³/d. Voor beide zuiveringen is een lengte van 13 km aangehouden².

De methanogene activiteit zoals die in Australië was gemeten bedraagt 1,3 g CH₄.m⁻².d⁻¹ (0,0524 g CH₄.m⁻².h⁻¹). Deze activiteit is echter gemeten bij een watertemperatuur van tenminste 25°C. Voor de Nederlandse situatie is dit gecorrigeerd door uit te gaan van een gemiddelde temperatuur van 12°C. Dit resulteert dus ook in een gemiddelde emissie, maar deze zal gedurende het jaar variëren van betrekkelijk geringe emissie in de winter, tot een 'hoge' emissie in de zomer.

2.1.2 POTENTIËLE EMISSIE

In Figuur 1 is zowel de methaanconcentratie aan het einde van de persleiding(A) als de methaanvracht (B) weergegeven als functie van de lengte van de persleiding en bij verschillende debieten.

FIGUUR 1A METHAANCONCENTRATIE AAN HET EINDE VAN DE PERSLEIDING; B) POTENTIEEL VRIJ TE KOMEN METHAANVRACHT; BEIDE ALS FUNCTIE VAN DE LENGTE VAN DE PERSLEIDING BIJ VERSCHILLENDE DEBIETEN.



Figuur 1A laat zien dat bij de lagere debieten de hoogste concentratie methaan wordt gevormd. Dit is vooral het gevolg van de langere verblijftijd in de persleiding. Door het beperkte debiet ligt de uiteindelijk mogelijk vrij te komen hoeveelheid methaan juist weer lager (Figuur 1B). Hieruit volgt dat het aanvoerdebiet voor een belangrijk deel de hoogte van de potentiële methaanemissie bepaalt. Dit sluit ook aan bij de waarnemingen die in Kralingseveer werden gedaan (STOWA, 2012):

- de methaanemissie steeg bij de start van een RWA situatie, en bleef hoog gedurende langere periode (5 uur), wat erop duidde dat het niet een eenmalig stripeffect was, maar dat methaan voor langere tijd werd aangevoerd;
- de lengte van de periode van droogte voorafgaand aan een RWA situatie had geen invloed op de hoogte van (piek)emissie; dit duidde er op dat vooral de verhoogde hoeveelheid afgevoerd water dominant was over de hoeveelheid methaan;
- op dagen dat er geen neerslag was volgde de binnenkomende methaanvracht met enige vertraging het influentdebiet; dit duidde er dus ook op dat hoogte van het debiet dominant was over de hoeveelheid gevormd methaan.

² Deze lengte is gekozen, omdat bij 50% van de Nederlandse RWZI's de lengte kleiner of gelijk is aan 13 km.

De berekende hoeveelheid methaan die in de persleiding wordt gevormd kan vrijkomen, of het kan –als het in oplossing blijft– in de aeratietank worden omgezet. Het methaan dat niet in oplossing blijft kan vrijkomen in het transportstelsel zelf (bijvoorbeeld bij de gemalen) of op de zuivering bij het ontvangwerk, roostergoedinstallatie of de aeratietank (als omzetting niet mogelijk is en het wordt gestript). Voor de zuivering zonder gisting is een potentiële (gemiddelde) emissie van 9 kg CH₄/d berekend, voor de zuivering met gisting is deze berekend op 12 kg CH₄/d.

2.1.3 VERIFICATIE

Voor de verificatie van de berekeningen kan alleen gebruik worden gemaakt van de metingen die in 2012 in Kralingseveer zijn uitgevoerd (STOWA, 2012), omdat alleen van deze zuivering de kenmerken van het transportstelsel gemakkelijk beschikbaar konden worden gemaakt.

Voor Kralingseveer is met formule 1 een emissie berekend van 231 kg CH₄/d, de gemeten waarde bedroeg 219 kg CH₄/d. Dit geeft aan dat met de empirische formule een goede inschatting van de mogelijke emissie mogelijk is, maar dat voldoende data ontbreken om dit met meer zekerheid te kunnen vaststellen. Tegelijkertijd kan hierbij worden aangetekend dat de empirische formule is opgesteld voor een persleiding, en dus ook alleen is te gebruiken voor een persleiding en niet voor een vrijvervalleiding.

2.1.4 INVLOEDSFACTOREN

De berekende potentiële emissie is afhankelijk van de kenmerken van het transportstelsel zoals deze in de empirische formule (1) genoemd worden te weten: lengte en diameter persleiding, verblijftijd en temperatuur. Uit de analyse van de potentiële emissie is gebleken dat deze kenmerken ondergeschikt zijn aan de hoogte van de emissie, en dat vooral het afvoerend debiet de hoogte van de emissie bepaald.

2.2 AERATIETANK

2.2.1 OPZET BEREKENING POTENTIËLE EMISSIE

Eerdere onderzoeken (STOWA, 2010, en STOWA, 2012) hebben laten zien dat de vorming van methaan in de selector of anaerobe tank zeer beperkt is en deze is hier buiten beschouwing gelaten. Vorming van methaan in het aerobe of anoxische gedeelte van de aeratietank is niet mogelijk gezien de aanwezigheid van zuurstof of nitraat. Methaan dat in deze ruimtes terecht komt zal in veel gevallen zijn gevormd in het transportstelsel. Eenmaal aanwezig kan het methaan in het aerobe gedeelte worden gestript of het kan worden omgezet.

In Kralingseveer is waargenomen dat 80% van de opgeloste hoeveelheid methaan werd geoxideerd (STOWA 2012). In hoeverre dit plaatsvond in het aerobe of anoxische gedeelte van de tank kon niet worden vastgesteld. Mede hierdoor is nog niet duidelijk onder welke omstandigheden methaanoxidatie wel of niet plaats vindt. Dit betekent dat op voorhand nog niet kan worden ingeschat in welke mate er emissie van methaan uit de aeratietank plaatsvindt.

2.2.2 POTENTIËLE EMISSIE EN VERIFICATIE

Er is van uitgegaan dat de vorming van methaan in aeratietanks nul is. Wel kan het aanwezige methaan uit het influent in de aeratietank worden gestript. Hoeveel methaan wordt gestript in de aeratietank is afhankelijk van hoeveel methaan al in het transportstelsel of bij het ontvangwerk wordt gestript en kan dus niet worden gekwantificeerd. Dit zelfde geldt voor

de mate van methaanoxidatie die kan optreden. Bij de beschouwing van potentiële maatregelen is wel een inschatting gemaakt van de mogelijke reductie van methaan door middel van methaanoxidatie.

2.3 GRAVITAIRE INDIKKER EN VOORBEZINKTANK

2.3.1 OPZET BEREKENING POTENTIËLE EMISSIE

Gravitaire indikking

Vorming van methaan uit de gravitaire indikker is mogelijk doordat in de indikker anaerobe omstandigheden heersen die methaanvorming mogelijk maken. Er zijn echter geen formules bekend aan de hand waarvan de emissie van methaan uit een gravitaire indikker voor primair of secundair slib kan worden berekend. Om die reden is gebruik gemaakt van de data die in de afgelopen twee onderzoeken hieromtrent zijn verzameld (STOWA, 2010 en 2012).

Voor de gravitaire indikking van primair slib is vanuit de indikker in Kralingseveer een emissie gemeten van 22 kg CH₄/d/ De primairslibproductie bedroeg ten tijde van de metingen 8.900 kg ds/d. De specifieke methaanproductie bedraagt dan 2,4 g CH₄/kg ds.

Voor de gravitaire indikking van secundair slib is op dezelfde manier de specifieke productie bepaald voor de zuiveringen in Papendrecht en Kortenoord. Voor Papendrecht werd een specifieke methaanproductie van 0,16 g CH₄/kg ds berekend, voor Kortenoord bedroeg deze 0,14 g CH₄/kg ds. Het gemiddelde komt daarmee uit op 0,15 CH₄/kg ds.

Om nu de emissie vanuit de beide gravitaire indikers te berekenen dient de productie van primair en secundair slib te worden berekend voor de zuivering zonder en met gisting (en voorbezinktank).

Voor de productie van primair slib zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd (geldt alleen voor zuivering van 100.000 i.e.):

• gemiddeld zwevendestofgehalte influent	230	mg/l (CBS)
• debiet	21.800	m ³ /d
• afscheiding zwevende stof in voorbezinktank	55	%

Met deze uitgangspunten is een productie berekend van 2.757 kg ds/d.

Voor de productie van secundair slib zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

• specifieke slibproductie	17	kg ds/Δ i.e.
• verwijdering vuilvracht	90	%

Met deze uitgangspunten is een productie berekend van 2.190 kg ds/d voor een zuivering van 50.000 i.e. en voor een zuivering van 100.000 i.e. 4.380 kg ds/d.

Voorbezinktank

Voor de voorbezinktank geldt ook dat geen model of formules aanwezig zijn om een inschatting te maken van de emissie van methaan. Uit de metingen die in Kralingseveer zijn uitgevoerd bleek dat de standaardafwijking in de metingen veel groter was dan de gemiddelde emissie (STOWA 2012). Om deze reden kan hier nog geen berekeningsmethode worden gegeven om de emissie vanuit een voorbezinktank in te schatten en blijft voorsnog een meting noodzakelijk.

2.3.2 POTENTIËLE EMISSIE

Met de berekende specifieke methaanproducties en de berekende slibproducties kan worden berekend dat de emissie vanuit een indikker voor primair slib 7 kg CH₄/d kan bedragen. Voor een indikker voor secundair slib op een zuivering zonder gisting kan deze 0,3 kg CH₄/d bedragen en voor een zuivering met gisting kan deze 0,7 kg CH₄/d bedragen.

De emissie vanuit de indikker voor primair slib ligt dus aanzienlijk hoger dan die uit de indikker voor secundair slib. Dit valt te verklaren uit het feit dat in het aanvoerstelsel het afvalwater al voor een deel verzuurd is, en methanogenen bevat, waardoor methaanvorming mogelijk is. De verblijftijd in een indikker voor secundair slib zal in veel gevallen te kort zijn, waardoor verzuring niet of nauwelijks zal optreden. Daarnaast is de aanwezigheid van methanogenen zeer beperkt gezien de aerobe en anoxische omstandigheden waarin het slib wordt geproduceerd.

2.3.3 VERIFICATIE

Verificatie van de berekende waarden is hier niet mogelijk omdat de verzamelde meetdata uit Kralingseveer, Kortenoord en Papendrecht zijn gebruikt om de emissie vast te stellen. De berekening van de emissie uit de primaire slibindikker is gebaseerd op de data van één locatie, waardoor een voldoende betrouwbare inschatting voor andere zuivering nog niet mogelijk is, daarvoor zijn meer meetdata nodig. Dit zelfde geldt in iets mindere mate voor de emissie vanuit de secundaire slibindikker, maar ook twee metingen zijn nog beperkt te noemen.

2.3.4 INVLOEDSFACTOREN

De mate van methaanemissie uit een primairslibindikker wordt voor een groot deel bepaald door de mate van verzuring die al in het transportstelsel is opgetreden. Deze mate van verzuring is afhankelijk van:

- de verblijftijd in het stelsel;
- de temperatuur van het afvalwater;
- de aanwezigheid van gemakkelijk afbreekbaar organische stof (CZV).

2.4 BUFFER VOOR UITGEGIST SLIB EN SLIBSILO

Met het vergisten van slib wordt beoogd de CO₂-voetafdruk te reduceren door zelf meer elektriciteit op te wekken. De CO₂-emissie die wordt vermeden door biogas te valoriseren kan voor een deel teniet gedaan door de methaanuitstoot van de procesonderdelen na de gisting. De metingen in Kralingseveer hebben laten zien dat gemiddeld over een jaar de vermeden CO₂ door zelf elektriciteit op te wekken voor 60% teniet werd gedaan door de emissie van methaan uit de buffer en slibsiilo (STOWA, 2012). In het vervolg van deze paragraaf is ingegaan op de wijze waarop de omvang van de emissie na de gisting kan worden bepaald.

2.4.1 OPZET BEREKENING POTENTIËLE EMISSIE

De afbraak van slib wordt vaak berekend aan de hand van een door Chen en Hashimoto (1980), opgesteld model zoals weergegeven in onderstaande formule:

$$E = \frac{\Theta - 1}{\Theta - 1 + K} \times M$$

met E is de efficiëntie van de afbraak van organische stof (-), Θ is de dimensieloze verblijftijd (het quotiënt van verblijftijd en minimale verblijftijd), K (afbraakconstante) is een dimensieloze parameter, die de beschikbaarheid voor afbraak van het substraat aangeeft en M die de

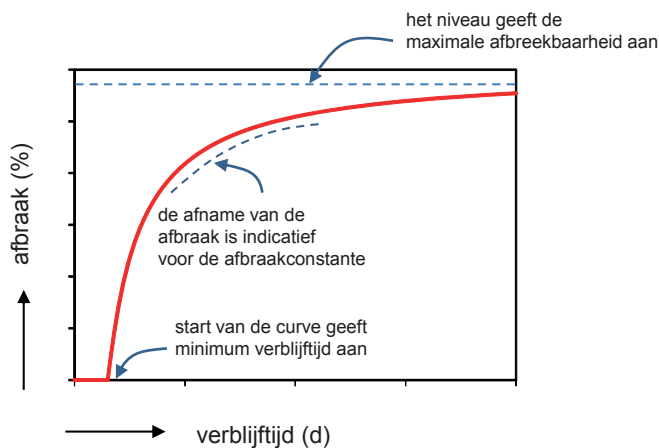
maximale afbreekbaarheid weergeeft. De minimale verblijftijd wordt bepaald door de temperatuur van de gisting. Meer details over de achtergrond van dit model en de gekozen waarden voor de parameters K en M is te vinden in Wiegant W., 2011 (Wiegant, 2011).

Het door Chen en Hashimoto opgestelde model is afgeleid van de Contois kinetiek. De Contois kinetiek beschrijft de situatie in een ideaal gemengde tank (CSTR), waarvoor geldt dat de concentratie in de tank gelijk is aan de effluentconcentratie. In tegenstelling tot de meer bekende Monod kinetiek, houdt de Contois kinetiek wel rekening met diffusielimitatie en is effluentconcentratie wél afhankelijk van de influentconcentratie

Een schematische weergave van het beschreven model is weergegeven in Figuur 2.

FIGUUR 2

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE KINETIEK VAN DE AFBRAAK VAN ORGANISCHE STOF TIJDENS DE SLIBGISTING



De opslag van slib in een buffer en na de ontwatering kan worden opgevat als een tweede en derde reactor in serie met de slibgisting. In de literatuur is een model beschikbaar waarmee de methaanproductie per serie geschakelde tank kan worden berekend (Nelson & Holder, 2009). De theorie achter dit model is vrij complex, maar de basis is de hierboven beschreven Contois kinetiek. In het kort komt het er op neer dat met het model per tank een dimensie loze afbraak wordt berekend, welke overeen komt met de fractie van het afbreekbare deel van het (primaire en secundaire) slib dat wordt omgezet in de tank. Hierbij is rekening gehouden met de lagere temperatuur in de buffer en slibsilos. Met de berekende afbraak en de daaruit af te leiden hoeveelheid omgezette organische drogestof kan de methaanproductie per tank worden berekend. De beschreven theorie is weliswaar niet helemaal toepasbaar op de slibopslag (dit zijn vaak meer accumulatie-reactoren dan volledig gemengde reactoren), maar geeft naar verwachting een redelijke benadering om de emissie van methaan uit de slibbuffer en de slibsilos te berekenen.

In de buffer voor uitgistend slib treden naast methaanvorming nog twee processen op, te weten het vrijkomen van het in oplossing zijnde methaan en het loskomen van aan het slib gehecht methaan. Voor dit laatste proces is geen literatuur beschikbaar die dit proces voldoende goed beschrijft voor slibgistingstanks. Om die reden is de bijdrage van dit proces aan de emissie van methaan vanuit de buffer niet meegenomen. Het in oplossing zijnde methaan komt in de gisting niet vrij omdat de oplossing in de gisting in evenwicht is met biogas. Op het moment dat het slib uit de gisting in de buffer terecht komt, wordt dit evenwicht opgeheven en zal het methaan naar de lucht emitteren. Deze emissie kan bepaald worden aan de hand van de oplosbaarheid van methaan als functie van de temperatuur en het slibdebiet.

2.4.2 POTENTIËLE EMISSIE

Voor het berekenen van de emissie van methaan in de gisting is gebruik gemaakt van de slibproducties zoals eerder berekend (zie § 2.3.1). Hierbij is voor primair slib uitgegaan van een ingaand drogestofgehalte van 4% en voor mechanisch ingedikt secundair slib is uitgegaan van 6%. Voor de gisting is uitgegaan van een verblijftijd van 20 dagen en een temperatuur van 37°C. Voor de afbraak van primair en secundair slib zijn de uitgangspunten samengevat in Tabel 1.

TABEL 1 AFBRAAKPARAMETERS PRIMAIR EN SECUNDAIR SLIB.

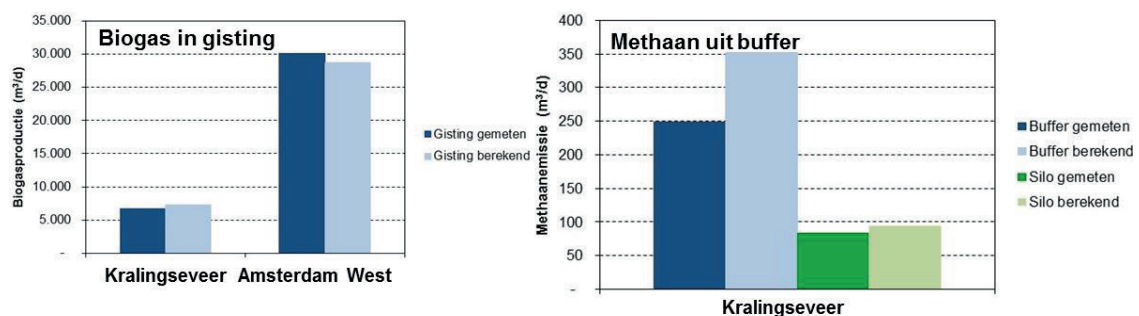
Parameter	Eenheid	Primair slib	Secundair slib
Asrest	%	20	30
Afbraakconstante (k)	-	1,00	1,50
Maximale afbraak (M)	%	65	40
CZV gehalte organisch droge stof	kg CZV/kg ODS	1,8	1,4

Voor de buffer is uitgegaan van een verblijftijd van drie dagen en voor de silosilo van twee dagen, en temperaturen van 35°C respectievelijk 30°C voor de buffer en silosilo. Met deze uitgangspunten is berekend dat de emissie vanuit de buffer 61 kg CH₄/d (97 m³/d) bedraagt en vanuit de silo 20 kg CH₄/d (32 m³/d).

2.4.3 VERIFICATIE

Aan de hand van beschikbare meetdata uit Kralingseveer en Amsterdam-West is de bruikbaarheid van het gehanteerde model getoetst. Om de emissie op deze locaties te berekenen is de aangevoerde slibsamenstelling³ naar de gisting opgevraagd uit het jaar dat de metingen voor de methaanemissie plaatsvonden. De gemeten biogasproductie uit de gistingstank en de gemeten methaanemissie uit slibbuffer en silo zijn vergeleken met de berekende biogas- en methaanproductie uit de gisting- en opslagtanks. De beschikbare meetdata voor de slibbuffer en silosilo Amsterdam-West waren te beperkt om te vergelijken met de berekende waarden. Daarom is voor deze vergelijking alleen de data van Kralingseveer gebruikt. Het resultaat van de vergelijking is weergegeven in Figuur 3.

FIGUUR 3 GEMETEN EN BEREKENDE BIOGASPRODUCTIE IN DE GISTING (LINKS) EN DE GEMETEN EN BEREKENDE EMISSIE UIT DE BUFFER EN SILOSILO (RECHTS).



De biogasproductie is voor beide locaties goed in te schatten, de afwijking tussen de berekende en gemeten waarde bedraagt nog geen 10% voor Kralingseveer en voor Amsterdam-West bedraagt deze 5%. Dit toont aan dat het model voldoende in staat is om de methaan- en biogasproductie in de gisting te voorspellen. In de buffer werd bij Kralingseveer een bijna 30% hogere emissie berekend dan gemeten, in de silo was de werkelijke emissie circa 10% lager dan de berekende emissie.

3 Dit zijn debiet, drogestofgehalte en organisch drogestofgehalte van primair en secundair slib.

Met het model is tot een eerste inschatting van de emissie uit de buffer en de slibsilos te komen. Factoren die invloed hebben op de emissie, maar die niet direct in het model zijn te vatten, zijn het optreden van kortsluitstromen en de aanwezigheid van vervuiling in de gisting (waardoor effectief volume wordt verkleind en verblijftijd afneemt). In beide gevallen zal de emissie na de gisting toenemen. Voor Kralingseveer kunnen deze factoren het waargenomen verschil niet verklaren, omdat de berekende waarden hoger liggen dan de gemeten waarden. Bij het optreden van kortsluitstroming en/of de aanwezigheid van vervuiling zou dit juist andersom zijn. Om deze reden is het aan te bevelen om altijd een meting uit te voeren om de werkelijke emissie vast te stellen.

Dat kortsluitstroming in gistingstanks voorkomt is onder andere beschreven in studies die zijn uitgevoerd in de Verenigde Staten. In deze studies kwam naar voren dat kortsluitstromen kunnen voorkomen die meer dan 50% van de influentstroom bedragen (Monteith, H.D, Stephenson, J.P., 1981 en Kamarád, L. et al., 2013). In hoeverre in Nederlandse slibgistingstanks kortsluitstroming optreedt is onbekend.

2.4.4 INVLOEDSFACTOREN

De potentiële emissie van methaan uit de buffer en slibsilos is afhankelijk van mate van afbraak in de slibgisting, deze wordt bepaald door de verblijftijd en temperatuur in de gisting. De optredende emissie wordt vervolgens bepaald door de verblijftijd en temperatuur in de USB en slibsilos zelf. De emissie kan worden beïnvloed (hoger uitvallen) door het optreden van kortsluitstroming of de aanwezigheid van vervuiling in de gisting waardoor de effectieve verblijftijd in de gisting afneemt.

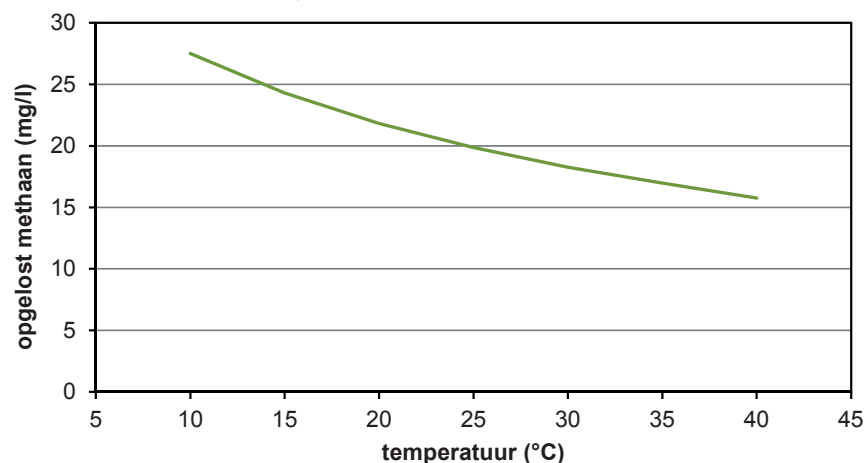
2.5 ONTWATERINGSINSTALLATIE EN REJECTIEWATER

2.5.1 OPZET BEREKENING POTENTIËLE EMISSIE

Bij de ontwatering van uitgegist slib kan het in oplossing zijnde methaan worden gestript of blijft het achter in het rejectiewater. De concentratie methaan in het slib is afhankelijk van de temperatuur in de gisting, zoals is weergegeven in Figuur 4. Hierbij is nog geen rekening gehouden met mogelijke oververzadiging van methaan die kan optreden. Bij de uitwerking van dit onderdeel in de volgende paragraaf is hier op ingegaan. Op basis van de waarnemingen in Kralingseveer is gebleken dat bij de ontwatering met een centrifuge circa 90% van het aanwezige methaan wordt gestript, de resterende hoeveelheid wordt dan met het rejectiewater afgevoerd naar de aeratietank.

FIGUUR 4

OPLOSBAARHEID METHAAN (BIJ 100% CH₄ IN BOVENSTAAND GAS) IN WATER ALS FUNCTIE VAN DE TEMPERAATUUR.



2.5.2 POTENTIËLE EMISSIE

Bij de aangenomen slibproducties en drogestofgehaltes voor primair en secundair slib bedraagt het slibdebiet 142 m³/d. Indien in de gisting geen oververzadiging van methaan plaatsvindt, lost bij een temperatuur van 37°C 20 mg/l methaan op. Op basis van de waarnemingen in Kralingseveer is vastgesteld dat bij ontwatering met een centrifuge circa 90% van het opgeloste methaan wordt gestript⁴. Dit betekent dat bij het hier berekende slibdebiet en methaanconcentratie 2,6 kg CH₄/d wordt geëmitteerd bij de centrifuge en dat via het rejectiewater nog 0,3 kg/d wordt geëmitteerd.

2.5.3 VERIFICATIE

Er zijn geen directe metingen beschikbaar van de methaanemissie van de centrifuge, omdat deze in één staat met ook de bandindikers. Wel toonden de metingen in Kralingseveer aan dat de concentratie opgelost methaan in de recirculatiestroom van de gisting 21 mg/l bedroeg⁵. De concentratie methaan in de gisting kan echter wel iets hoger zijn, omdat bij de metingen een deel van het opgeloste methaan kan zijn ontsnapt als gevolg van het verschil in druk tussen gisting en buitenlucht. De hoeveelheid methaan die kan worden gestript in de buffer kan dus nog wat hoger zijn dan nu is ingeschat.

2.5.4 INVLOEDSFACTOREN

De mate waarin methaan oplost wordt beïnvloed door de temperatuur in de gisting en buffer. De mate waarin het opgeloste methaan wordt gestript bij de ontwatering zal zeer waarschijnlijk niet afhangen van het type ontwatering, omdat bij alle ontwaterings-installaties het slib en/of het rejectiewater wordt blootgesteld aan de lucht en het opgeloste methaan direct zal emitteren naar de lucht.

2.6 WKK EN FAKKEL

2.6.1 OPZET BEREKENING POTENTIËLE EMISSIE

Bij de verbranding van biogas in een WKK of fakkel wordt een deel van het aanwezige methaan niet verbrand. Voor de WKK bedraagt deze zogeheten methaanslip⁶ 1% van de verwerkte hoeveelheid biogas (STOWA, 2011). De methaanslip bij verbranding van biogas in een fakkel is niet bekend, maar daarvoor is ook 1% aangehouden. Verder is er daarbij van uitgegaan dat circa 5% van de jaarlijkse biogasproductie wordt afgefakkeld (STOWA, 2011).

2.6.2 POTENTIËLE EMISSIE, VERIFICATIE EN INVLOEDSFACTOREN

Bij de gehanteerde uitgangspunten voor de slibproductie (zie § 2.4.1) en de afbraak van slib (zie § 2.4.2) is een biogasproductie berekend van 847.400 Nm³/j (met 63% methaan). Bij deze biogasproductie bedraagt de emissie van methaan vanuit de WKK 9 kg/d en voor de fakkel 0,5 kg/d. In Kralingseveer is eenmalig de emissie vanuit de WKK gemeten en bepaald op 38 kg CH₄/d.⁷ De biogasproductie bedroeg ten tijde van deze meting 2,4 miljoen m³/j, wat bij een methaangehalte van 65% en een methaanslip van 1% dan uitkomt op 43 kg CH₄/d. De aangehouden waarde van 1% komt dus goed overeen met de eenmalige meetwaarde.

- 4 Op basis van gemeten methaanconcentratie in waterfase uitgegist slib uit buffer en gemeten waarde in rejectiewater. Gemiddelde waarde in uitgegist slib bedroeg 19 mg/l en in rejectiewater 2 mg/l.
- 5 Dit hoeft niet meteen oververzadiging te zijn, de hoogte waarop de recirculatiestroom wordt genomen (druk, bovenstaande slibkolom) bepaald de hoeveelheid opgelost methaan (hoger bij hogere druk).
- 6 Dit is het methaan dat onverbrand de WKK verlaat en is berekend als percentage van de gehele biogasstroom (en bijbehorende methaangehalte).
- 7 Indien deze eenmalige meting wordt meegeteld in de totale methaanemissie van Kralingseveer dan bedraagt de emissie uit de WKK 10% van de totale emissie.

Het verlies aan methaan bij de verbranding van een WKK wordt beïnvloed door de leeftijd van de WKK (oudere WKK installaties zullen een hogere methaanslip kennen) en de omvang van de WKK (WKK installaties met een grotere capaciteit (kW)) zullen een hogere methaanslip kennen). Dit is ook aangetoond in een onderzoek van de WUR naar de emissies uit WKK installaties in de glastuinbouw⁸. Uit dit onderzoek blijkt ook dat de emissies bij de kleinere WKK installaties 0,7 MW_e (overeenkomend met de grotere WKK installaties bij waterschappen) 0,7 – 0,8% bedraagt. Hieruit blijkt dat de hier aangenomen methaanslip van 1% een voldoende goede inschatting geeft van de emissie.

2.7 BIOGASOPWERKINGSTECHNIEKEN

2.7.1 OPZET BEREKENING POTENTIËLE EMISSIE

De methaanslip bij de diverse opwerkingstechnieken voor biogas is samengevat in Tabel 2 (STOWA, 2014).

TABEL 2 METHAANSLIP BIJ DIVERSE OPWERKINGSTECHNIEKEN VOOR BIOGAS.

Opwerkingstechniek	Methaanslip % van biogasproductie
Cryogene scheiding	0-2
Membraanfiltratie	0-20
Chemische absorptie	0-0,1
Selexol/Rectisol	0-10
Waterwassers	0-5
Wisseladsorptie	0-5

2.7.2 POTENTIËLE EMISSIE EN VERIFICATIE

In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de potentiële methaanemissie bij de verschillende beschikbare biogasopwerkingstechnieken, waarbij het minimum niet op nul is gesteld, maar op 0,5%. Bij de berekening is gebruik gemaakt van de in § 2.6.2 weergegeven biogasproductie.

TABEL 3 MINIMALE EN MAXIMALE EMISSIE METHAAN BIJ DIVERSE OPWERKINGSTECHNIEKEN VOOR METHAAN BETROKKEN OP HET BIOGAS VAN DE ZUIVERING MET GISTING.

Techniek	Minimaal (kg CH ₄ /d)	Maximaal (kg CH ₄ /d)
Cryogene scheiding	5	18
Membraanfiltratie	5	184
Chemische absorptie	-	1
Selexol/Rectisol	5	92
Waterwassers	5	46
Wisseladsorptie	5	46

Duidelijk wordt dat bij een aantal opwerkingstechnieken de emissie van methaan significant kan zijn. Daarmee dient rekening te worden gehouden wanneer een CO₂ balans wordt opgesteld. Verificatie van genoemde waarden is nog niet mogelijk omdat metingen ontbreken.

8 Dueck, Th.A., van Dijk, C.J., Kempkes, F., van der Zalm, T., 2008, Emissies uit WKK installaties in de glastuinbouw; Methaan, etheen en NO_x concentraties in rookgassen voor CO₂ dosering, Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen, nota 505.

2.7.3 INVLOEDSFACTOREN

Over de factoren die de mate van methaanverlies bij biogasopwerkingstechnieken beïnvloeden is nog weinig bekend. In het STOWA-rapport over de mogelijkheden voor CO₂ productie en afzet wordt in algemene termen gesproken over lokale omstandigheden, samenstelling biogas en procesconfiguratie (STOWA, 2014).

2.8 SAMENVATTING SELECTIE PROCESONDERDELEN

2.8.1 ZUIVERING ZONDER GISTING

Emissie methaan

In Tabel 4 is de berekende emissie van methaan op een zuivering zonder gisting samengevat, en is deze vergeleken met de gemeten emissie in Papendrecht en Kortenoord (beide ook zonder gisting, maar met slibontwatering en slibsilo).

TABEL 4 OVERZICHT BEREKENDE METHAANEMISSION OP ZUIVERING ZONDER GISTING VERGELEKEN MET GEMETEN EMISSION IN PAPENDRECHT EN KORTENOORD.

	Zuivering zonder gisting	Papendrecht	Kortenoord
Ontwerpcapaciteit (150 g TZV)	50.000	48.000	96.300
Lengte transportstelsel (km)	13	onbekend	39
Procesonderdeel	Emissie (kg CH ₄ /d)	Emissie (kg CH ₄ /d)	Emissie (kg CH ₄ /d)
Transportstelsel	9		
Ontvangwerk		15	18
Aeratietank		10	11
Nabezinktank			
Gravitaire indikker			
secundair	0,3		0,5
Slibsilo		0,3	0,6
Overig		4	8
Totaal	10	29	38

Het overzicht laat zien dat voor een zuivering zonder gisting het transportstelsel de grootste bijdrage levert aan de methaanemissie vanuit de zuivering. Dit sluit ook aan bij de metingen in Papendrecht en Kortenoord, beide zonder slibgisting. De daar gemeten methaanemissie bij het ontvangwerk en de aeratietank kon worden toegekend aan gevormd methaan in de riolering, omdat vorming van methaan in het ontvangwerk en de aeratietank niet mogelijk is. Voor Papendrecht betekent dit dat het gevormde methaan in de riolering voor 90% bijdraagt aan de totale methaanemissie, voor Kortenoord is dit 80%. In beide gevallen geldt dat er in de riolering nog meer methaan kan zijn gevormd dan dat op de zuivering is vrijgekomen.

2.8.2 ZUIVERING MET GISTING

Emissie methaan

In Tabel 5 is de berekende emissie van methaan op een zuivering met gisting samengevat, deze is vergeleken met de gemeten emissie in Kralingseveer en Amsterdam-West. Niet voor alle procesonderdelen zijn metingen uitgevoerd. Om deze reden kunnen alleen de afzonderlijke procesonderdelen met elkaar worden vergeleken en niet de totale emissie. Op Amsterdam-West wordt extern slib vergist, de methaanemissie uit de uitgegist slibbuffer is hiervoor gecorrigeerd om onderlinge vergelijking mogelijk te maken en emissies te relateren aan het in de waterlijn geproduceerde slib.

TABEL 5 OVERZICHT BEREKENDE METHAANEMISSIE OP ZUIVERING MET GISTING VERGELEKEN MET GEMETEN WAARDEN IN KRALINGSEVEER EN AMSTERDAM-WEST; 1 KG CH₄ = 1,6 M³ CH₄.

	Zuivering + gisting	Aandeel	Kralingseveer	Aandeel	A'dam West	Aandeel
Ontwerpcapaciteit (150 g TZV)	100.000		363.000		919.500	
Procesonderdeel	kg CH₄/d	%	kg CH₄/d	%	kg CH₄/d	%
transportstelsel	12	11	219 ¹	17 ²		
ontvangwerk					215 ³	25
voorbezinktank	-	0				
aeratie ­ tank			-168		52	6
gravitaire indikker						
primair	7	6	22	7		
secundair	0,7	0,6				
buffer	61	54	156	52	366	43
ontwatering	3	2	9	3		
rejectiewater	0,3	0,2	1,2	0,4		
slib ­ silo	20	18	52	17		
WKK	9	8				
fakkel	0,5	0,4				
overig ⁴			11	4	215	25
Totaal	113		302		849	

1) is meetwaarde uit influent;

2) is aandeel van die hoeveelheid methaan dat niet wordt geoxideerd in de aeratie­tank;

3) is som van ontvangwerk en harkrooster;

4) in diverse onderzoeken niet volledig gedefinieerd, maar betreft onder andere retour­slibgemalen, voorbezinktank, terrein­rotering.

Voor de zuivering met gisting zijn de buffer en slib­silo ná de gisting de belangrijkste bron voor de emissie van methaan. De berekende bijdrage uit deze twee tanks bedraagt 72% van de totale emissie van methaan. De hoge bijdrage van de buffer en slib­silo na gisting werd ook in de praktijk waargenomen, in Kralingseveer bedroeg deze 69%. In Amsterdam­West wordt deze geschat op 43% voor alleen de buffer.

2.8.3 INVLOEDSFACTOREN EMISSIE

In Tabel 6 is een overzicht gegeven van factoren die de vorming/emissie in de diverse proces­onderdelen beïnvloeden.

TABEL 6 OVERZICHT FACTOREN DIE EMISSIE/VORMING VAN METHAAN BËINVLOEDEN EN OF DEZE VERHOGEND OF VERLAGEND WERKEN TEN OPZICHT VAN IN DEZE STUDIE GEKOZEN ZUIVERINGEN EN UITGANGSPUNTEN.

Procesonderdeel	Invloedsfactor	Verhogend of verlagend*
Transportstelsel, ontvangwerk	Lengte en diameter leiding	Groter volume = hogere emissie
	Debiet	Groter debiet = kan leiden tot hogere emissie Vrij verval = kan mogelijk leiden tot lagere emissie
	Vrijvervalleiding of pers	Hoger = hogere emissie Volledig gevuld: hoogste emissie
	Temperatuur afvalwater Vullingsgraad	
Gravitaire indikker	Kenmerken transportstelsel	Langer= meer verzuring = meer emissie**
	Samenstelling afvalwater	meer gemakkelijk afbreekbare CZV= meer verzuring = meer emissie**
Buffer en slibsilos	Hoeveelheid vergist slib	Hoger = meer emissie
	Verblijftijd in gisting	Korter = meer emissie
	Temperatuur opslag	Hoger = meer emissie
	Verblijftijd in buffer of silo	Langer = meer emissie
	Mate van kortsluitstroming	Hoger = meer emissie
Ontwatering en rejectiewater WKK en fakkels	Vervuiling in gisting	Aanwezig = meer emissie
	Temperatuur gisting	Hoger = lagere emissie
	Leeftijd en type Capaciteit	Hoger bij oudere types Bij hogere capaciteit (kW) hogere methaanslip als % van biogasproductie

* ten opzichte van hier gekozen zuivering en uitgangspunten;

** geldt alleen voor primairslibindikker;

3

SELECTIE MAATREGELEN

3.1 RESULTATEN LITERAATUURSTUDIE

In de literatuurstudie is gekeken naar aanvullende informatie over methaanvorming in de riolering. Verder zijn de mogelijkheden bestudeerd om methaan uit lucht te verwijderen door toepassing van methaanoxidatie of een separate luchtbehandeling.

3.1.1 METHAANVORMING IN DE RIOLERING

Over methaanvorming in de riolering is naast de al bekende artikelen uit Australië (Guisasola 2007, 2009, Foley 2009) maar zeer beperkt literatuur beschikbaar. Uiteindelijk is nog één artikel gevonden uit Thailand, waarin feitelijk het empirische model van Foley (2009) wordt getoetst aan een rioleringssysteem in Thailand (Chaosakul, 2014). De modelresultaten kwamen in deze studie niet overeen met de gemeten data, waar dit in Australië nog wel het geval was. De gemeten data lagen zowel (ver) onder of boven de gemodelleerde data. Mogelijke oorzaken die hiervoor werden genoemd waren de beperkte hoeveelheid data, methaanlekken in het systeem en grote variaties in de temperatuur.

3.1.2 METHAANOXYDATIE IN DE AERATIETANK

Een studie naar de mogelijkheden van methaanoxidatie in een aeratietank is recentelijk uitgevoerd (Daelman et. al, 2014). In deze studie is modelmatig gekeken onder welke omstandigheden methaanoxidatie kan optreden. Hierbij is gekeken naar effect van beluchtingsintensiteit, diepte van de tank, configuratie van de tank (gemengd of propstroom), methaanconcentratie in influent, methaanconcentratie in (afgezogen) lucht en effect van slibleeftijd. Geconcludeerd werd dat:

- een balans dient te worden gevonden in beluchtingsintensiteit; deze moet voldoende hoog zijn, zodat er voldoende zuurstof is (of overblijft) voor methaanoxidatie, maar niet te hoog is zijn dat methaan wordt gestript⁹;
- bellenbeluchting leidt tot een betere methaanoxidatie dan puntbeluchting;
- een volledig gemengd systeem leidt tot een hogere verwijdering van methaan door methaanoxidatie dan een propstroomsysteem;
- een diepere tank leidt tot meer methaanoxidatie;
- een hogere methaanconcentratie in het influent leidt tot een hogere mate van methaanoxidatie;
- een hogere slibleeftijd leidt tot een hogere mate van methaanoxidatie.

Het effect van de methaanconcentratie in de afgezogen lucht hangt samen met een vaak genoemde maatregel om de afgezogen lucht van bijvoorbeeld een uitgestig slibbuffer via een blower in te brengen als beluchtingslucht. Uit de modelresultaten blijkt dat bij een hogere methaanconcentratie in de lucht de verwijdering van methaan via methaanoxidatie wel toeneemt maar afvlakt vanaf 0,5%.

⁹ Uit het onderzoek naar de vorming van lachgas in RWZI's blijkt dat de vorming van lachgas ook wordt beïnvloed door de zuurstofconcentratie. Welke concentraties hierbij kritisch zijn is nog niet geheel duidelijk, maar dit dient wel in het achterhoofd te worden gehouden bij het mogelijk stimuleren van methaanoxidatie; in algemene zin dient er rekening mee te worden gehouden dat voldoende beluchting dient te worden ingebracht om aan de effluentkwaliteit te kunnen voldoen.

Bij een te behandelen luchtstroom van 200 m³/h met 0,7% methaan bedraagt de mogelijke verwijdering van methaan 5% bij een reactor van 4 m diep tot maximaal 12% bij een diepte van 8 meter. De beperkte verwijdering van methaan kan worden verklaard door de slechte oplosbaarheid van methaan in water.

3.1.3 METHAANVERWIJDERING DOOR MIDDEL VAN LUCHTBEHANDELING

Voor het verwijderen van methaan uit lucht zijn fysisch-chemische en biotechnologische technieken beschikbaar. De fysisch-chemische technieken zijn (uit Melse, 2003):

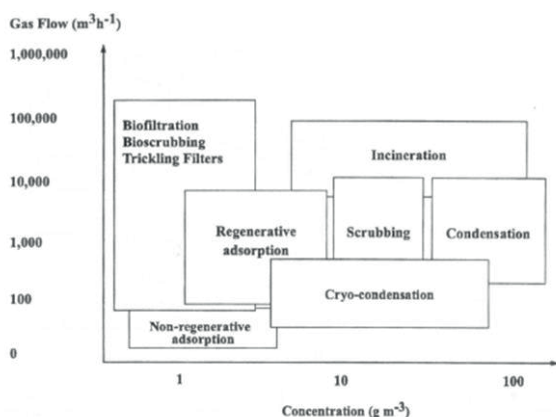
- adsorptie (wel of niet regenererbaar);
- verbranding;
- katalytische oxidatie;
- fotokatalytische oxidatie.

De biotechnologische technieken zijn (uit Melse, 2003):

- biofiltratie;
- biotricklingfilter (BTF);
- bioscrubber.

De inzetbaarheid ofwel de financiële haalbaarheid van deze technieken wordt bepaald door de concentratie methaan in de lucht en het te behandelen debiet. In Kralingseveer werd de hoogste concentratie gemeten in de buffer van 4 g/m³ (6.700 ppm) en bedroeg het debiet 950 m³/h.¹⁰ Deze concentratie is naar verwachting voldoende representatief voor andere locaties waardoor deze waarde kan worden gebruikt om inzicht te krijgen in welke technieken potentieel interessant zijn om methaan te verwijderen. Wel dient hierbij rekening te worden gehouden met het te behandelen debiet. In Kralingseveer wordt bijvoorbeeld de lucht van de buffer behandeld met die van alle andere anaerobe onderdelen met een debiet van 30.000 m³/h, maar dan bedraagt de concentratie ook nog maar 0,4 g/m³. In Figuur 5 is een overzicht opgenomen waarin de verschillende technieken zijn weergegeven als functie van de methaanconcentratie en het gasdebiet.

FIGUUR 5 OVERZICHT BESCHIKBARE TECHNIEKEN OM METHAAN UIT LUCHT TE VERWIJDEREN (UIT MELSE, 2003).



Wanneer gekeken wordt naar de beschikbare meetgegevens van Kralingseveer en de verwachte concentraties methaan en luchtdebieten dan blijkt uit Figuur 5 dat alleen de biotechnologische- en adsorptietechnieken in aanmerking komen voor de verwijdering van methaan uit lucht. Echter voor de adsorptietechnieken zoals actieve kool geldt dat deze slecht geschikt

¹⁰ Maximaal toe te passen concentratie is gerelateerd aan de LEL waarde. Deze bedraagt voor methaan 4%, ofwel 44.000 ppm, veiligheidshalve wordt vaak gewerkt met een maximaal toegestane concentratie van 4.400 ppm.

zijn voor methaanverwijdering vanwege de beperkte omvang van het molecuul (en de oplosbaarheid) (Melse, 2003). Dit wordt ook bevestigd door een eenmalige meting aan een actieve koolfilter waar een verwijdering van 4% werd gemeten (STOWA, 2012).

De slechte oplosbaarheid van methaan speelt ook een rol bij biotechnologische technieken. Uit het onderzoek naar de inzet van biotechnologische technieken werd geconcludeerd dat methaanconcentraties $<0,1 \text{ g/m}^3$ te laag waren om biofilters toe te passen voor uit stallen afgezogen lucht. De afgezogen lucht van mestopslag met mogelijke concentraties van 22 g/m^3 leek wel geschikt om te worden behandeld (Melse, 2003). In hetzelfde onderzoek werd geconcludeerd dat een biofilter het meeste perspectief biedt voor een goede en rendabele verwijdering van methaan uit lucht. Voor het vervolg naar de haalbaarheid van de toepassing van luchtbehandeling op zuiveringen is uitgegaan van het gebruik van een biofilter¹¹.

In een artikel van Nikiema et al. (2009) is de verwijdering van methaan in een biofilter gemeten en gemodelleerd bij methaanconcentraties tussen de 2 en 6 g/m^3 . In 2003 is door Melse (2003) uitgebreid onderzoek gedaan naar de verwijdering van methaan uit mestbuffers met biofilters, waarbij de concentratie¹² varieerde tussen de $0,4 - 0,5 \text{ g/m}^3$. De wijze waarop naar het ontwerp van het biofilter is gekeken verschilt tussen beide, Nikiema et al. (2009) gaat uit van een luchtbelasting per m^2 biofilter ($\text{m}^3_{\text{lucht}} \cdot \text{m}^2_{\text{filter}} \cdot \text{h}^{-1}$), terwijl Melse (2003) uit is gegaan van een luchtbelasting per m^3 biofilter ($\text{m}^3_{\text{lucht}} \cdot \text{m}^3_{\text{filter}} \cdot \text{h}^{-1}$). Om beide te kunnen vergelijken is de luchtbelasting van Nikiema teruggerekend naar een luchtbelasting per m^3 door de weergegeven luchtbelasting per m^2 filter te delen met de hoogte van het biofilter dat door Melse is toegepast (maximaal 3 m). Een samenvatting van de mogelijke verwijderingsrendementen van methaan en de bijbehorende luchtbelasting is weergegeven in Tabel 7.

TABEL 7

OVERZICHT (GEMIDDELD) VERWIJDERINGSRENDEMENT METHAAN IN BIOFILTER EN BIJBEHORENDE LUCHTBELASTING.

Luchtbelasting ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) (Nikiema et al., 2009)	Luchtbelasting ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) (Melse, 2003)	Verwijderingsrendement (%)
2	2	85
3	3	60
5	4	50

Voor de kosten van een biofilter is Melse (2003) uitgegaan van $2.400 \text{ €/m}^3_{\text{biofilter}}$ voor een biofilter van 20 m^3 , voor een filter van 120 m^3 is uitgegaan van een bedrag van $1.500 \text{ €/m}^3_{\text{biofilter}}$.

3.1.4 SAMENVATTING

De uitgevoerde korte literatuurstudie heeft niet geleid tot extra maatregelen om de emissie van methaan vanuit een zuivering te reduceren. Wel zijn in overleg met de BC de volgende maatregelen toegevoegd:

- de buffer als nagisting gebruiken en het geproduceerde biogas samen met het biogas uit de gisting te verbranden in de WKK;
- ombouwen mesofiele gisting naar thermofiele gisting;
- bij meer dan twee gistingstanks deze in serie te schakelen in plaats van ze parallel te voeden.

¹¹ In Melse (2003) is gebruik gemaakt van een biofilter met een mengsel van compost en perliet als drager materiaal.

¹² In Kralingseveer werd in de lucht van de uitgestigslibbuffer een concentratie gemeten van 5 g/m^3 , in de totale afgezogen lucht van alle anaerobe onderdelen van de zuivering bedroeg deze nog maar $0,4 \text{ g/m}^3$.

3.2 UITWERKING MAATREGELEN

Voor alle maatregelen gerelateerd aan de buffer en slibsilos geldt dat de potentiële reductie in emissie en impact op de CO₂-voetafdruk in praktijk hoger kan liggen, omdat de berekende methaanemissie waarschijnlijk een onderschatting geeft van de werkelijke emissie (zie § 2.4.3).

3.2.1 VERVANGEN GRAVITAIRE INDIKKER VOOR SECUNDAIR SLIB DOOR BANDINDIKKER

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

De emissie vanuit een gravitaire indikker voor secundair slib bedraagt voor een zuivering zonder gisting 0,3 kg CH₄/d en voor een zuivering met gisting 0,7 kg CH₄/d. Indien deze wordt vervangen door een bandindikker bedraagt de reductie in emissie voor een zuivering zonder gisting 3%, voor een zuivering met gisting bedraagt deze 1%. De impact op de CO₂-voetafdruk bedraagt voor een zuivering zonder gisting 1%, voor een zuivering met gisting bedraagt deze 0,4%.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

Voordeel van het toepassen van een bandindikker is dat op een zuivering zonder gisting de transportbewegingen worden beperkt. Dit draagt dus ook bij aan het reduceren van de CO₂-voetafdruk. Op een zuivering met gisting ontstaat meer ruimte in de gisting om meer slib te verwerken indien het secundaire slib mechanisch wordt ingedikt. Bij een gelijkblijvend slibdebiet wordt bij de toevoer van 'dikker' slib de verblijftijd in de gisting verlengd, wat nog bijdraagt aan een iets lagere emissie na de gisting vanuit de buffer en slibsilos, de mate waarin is sterk afhankelijk van de huidige verblijftijd (en bedrijfsvoering).

3.2.2 VERBLIJFTIJD IN GRAVITAIRE INDIKKERS ZO BEPERKT MOGELIJK HOUDEN

Voor het berekenen van de emissie vanuit de gravitaire indikers is gebruik gemaakt van de meetdata van twee indikers. Dit is te beperkt om enige relatie met de verblijftijd vast te stellen. Gezien de beperkte bijdrage van de indikers op de totale methaanemissie zal het verkorten van een verblijftijd niet of nauwelijks een bijdrage leveren aan de reductie van de totale methaanemissie van een zuivering. In algemene zin geldt wel dat een kortere verblijftijd de kans verkleint dat eventueel biologisch vastgelegd fosfaat vrijkomt.

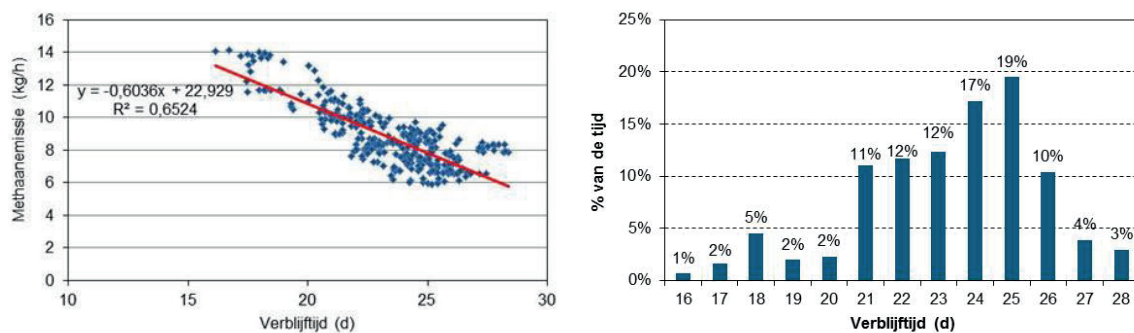
3.2.3 GELIJKMATIGE VOEDING GISTING

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Het effect van een gelijkmatige voeding naar de gisting op de methaanemissie na de gisting in de buffer is in eerste instantie bekeken op basis van beschikbare data van de zuivering Kralingseveer. De voor Kralingseveer beschikbare gegevens betreffen de aanvoer van slib naar de gisting en de emissie vanuit de buffer per dag. Zo kan voor elke dag de verblijftijd worden berekend en kan deze gerelateerd worden aan de gemeten emissie. In Figuur 6A is de relatie weergegeven tussen de verblijftijd¹³ en de gemeten emissie, in Figuur 6B is de spreiding in verblijftijd weergegeven.

13 Hierbij is gerekend met een voortschrijdend gemiddelde van de verblijftijd (over 23 dagen=gemiddelde verblijftijd), omdat op deze manier een meer heldere relatie kan worden verkregen (voorkomen van ruis).

FIGUUR 6A RELATIE VERBLIJFTIJD EN METHAANEMISSIE NA GISTING IN DE BUFFER VOOR UITGEGIST SLIB; B) SPREIDING IN VERBLIJFTIJD IN GISTINGSTANKS KRALINGSEVEER.



Om te bestuderen in hoeverre met deze data inzicht kan worden gekregen in het effect van gelijkmatig voeden is gekeken naar de emissie bij de gemiddelde verblijftijd in de gisting (= 23 dagen voor Kralingseveer). Deze bedraagt 9,1 kg/h. Deze is vergeleken met de emissie berekend op basis van de spreiding in verblijftijd (is som van emissie bij alle optredende verblijftijden). De op deze manier berekende emissie bedraagt 8,9 kg/h, en ligt daarmee lager dan de berekende emissie bij een gemiddelde verblijftijd. Dit toont aan dat het effect van het gelijkmatig voeden tot bijvoorbeeld een verblijftijd van 23 dagen niet inzichtelijk is te maken. Dit is het gevolg van de (te) grote spreiding in de meetdata van de methaanemissie (zie Figuur 6A).

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

De mate van reductie wordt sterk beïnvloed door de huidige variatie in de aanvoer. Belangrijke parameter is bijvoorbeeld hoe het primair slib aan de gisting wordt gevoed, direct vanuit de voorbezinktanks (uit slibzak) of vanuit een gravitaire indikker. Bij het toepassen van deze maatregel dient wel rekening te worden gehouden met mogelijk extra methaanemissie vóór de gisting als voor een meer gelijkmatige voeding buffering nodig is, al is gebleken dat deze beperkt is te noemen (zie § 2.3.2).

3.2.4 BELUCHTEN BUFFER

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Door het beluchten van de buffer kan vorming van methaan worden voorkomen. In eerste instantie zal wel het in oplossing zijnde methaan worden gestript, overeenkomend met de in § 2.5.2 berekende waarde van 3 kg CH₄/d. Ervan uitgaande dat bij beluchten van de buffer geen enkele methaanvorming meer optreedt, bedraagt de vermeden methaanemissie 58 kg/d. Dit betekent een reductie van 51% van de totale methaanemissie. Dit is een maximale waarde, want het is zéér aannemelijk dat het beluchten van slib maar een beperkt effect heeft op de methaanemissie.

Voor het berekenen van de impact op de CO₂-voetafdruk dient nog wel rekening te worden gehouden met de benodigde energie voor het beluchten van de tank. Om hiervoor een inschatting te maken is gebruik gemaakt van gegevens van Waterschap de Dommel. Bij dit waterschap wordt een buffer voor uitgegist slib belucht om het slib in menging te houden. Hiervoor is een blower geïnstalleerd met een vermogen van 22 kW voor een tank van 1.080 m³. Het volume van de slibbuffer voor de zuivering van 100.000 i.e. is berekend op basis uitgaand debiet (zie Tabel 1) en een verblijftijd van drie dagen, waarbij dan wordt uitgekomen op een volume van 426 m³. Het benodigde vermogen van de blower is berekend naar rato van de blower bij waterschap de Dommel. Benodigd is dan een vermogen van 10 kW, er vanuit gaande dat deze gedurende het gehele jaar in bedrijf is, is voor het beluchten van de buffer per jaar

87.600 kWh¹⁴ nodig. Wanneer dit verbruik wordt verdisconteerd met de vermeden CH₄ emissie dan bedraagt de impact op de CO₂-voetafdruk 38%. In deze situatie is echter wel uitgegaan van een blower die als doel heeft het slib in suspensie te houden en niet als doel heeft de gehele buffer aerob te maken. Het is dus zeer waarschijnlijk dat hiervoor een grotere blower nodig is met een hoger verbruik met als gevolg een lagere reductie van de CO₂ voetafdruk.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

De hoogte van de reductie zal afhankelijk zijn van de huidige methaanemissie in de buffer, welke weer wordt beïnvloed door de hoeveelheid vergist slib en de verblijftijd in de gisting. Door het beluchten van het uitgegiste slib neemt het risico op struvietvorming en dus verstoppingen toe. In het Airprex proces wordt het beluchten van het uitgegiste slib bewust toegepast om struvietvorming te stimuleren. Bij de uitgevoerde proeven op Amsterdam-West met Airprex is wel gebleken dat door het toepassen van beluchting de temperatuur van het uitgegiste slib daalde. In de buffer bedroeg deze nog 30°C en in de slibsilos 28°C (STOWA, 2012), waardoor de vorming van methaan mogelijk iets zal worden verminderd ten opzichte van een situatie waarin geen Airprex wordt toegepast.

3.2.5 AFKOELEN UITGEGIST SLIB

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Door de temperatuur te verlagen kan het anaerobe omzettingsproces sterk worden vertraagd. Gekeken is wat het effect is van het verlagen van de temperatuur tot 15°C (fictieve waarde om effect in te kunnen schatten) in de buffer en slibsilos.

Door het verlagen van de temperatuur kan de totale methaanemissie worden gereduceerd met 38%. De CO₂ voetafdruk wordt met deze maatregel verlaagd tot 29%.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

De mate van reductie zal ook hier afhankelijk zijn van de huidige methaanemissie in de buffer, welke weer wordt beïnvloed door de hoeveelheid vergist slib en de verblijftijd in de gisting. Het afkoelen van het slib heeft gevolg voor de mate van ontwatering, doordat bij de lagere temperatuur de viscositeit van het slib toeneemt en de PE moeilijker is op te lossen. De mate waarin de ontwaterbaarheid afneemt is moeilijk in te schatten, maar op basis van expert judgement is een daling van 0,5% wel te verwachten.

3.2.6 MESOFIELE GISTING OMBOUWEN NAAR THERMOFIELE GISTING

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Met het ombouwen van mesofiele naar thermofiele gisting wordt beoogd om meer slibafbraak en dus methaanproductie in de gisting te laten plaatsvinden en daarmee de emissie na de gisting te reduceren. Dit is mogelijk omdat bij een gelijkblijvende verblijftijd meer slib wordt afgebroken onder thermofiele condities dan onder mesofiele condities. De maximale afbraak van primair en secundair slib blijft echter gelijk voor beide condities, waardoor na thermofiele gisting minder methaan zou moeten worden gevormd dan na mesofiele gisting.

Om dit te berekenen is voor thermofiele gisting een temperatuur aangenomen van 55°C, en is de verzadigingsconstante voor de afbraak (aangegeven met letter K) voor primair slib en secundair slib wel aangepast zoals ook toegepast in de business case die voor thermofiele gisting is opgesteld in 2012 (STOWA, 2012). In deze business case is voor primair slib een waarde van K aangenomen van 0,50 en voor secundair slib een waarde 0,75. Hierbij dient wel

¹⁴ Voor de omrekening van kWh naar CO₂ zijn de data uit de klimaatmonitor 2014 gebruikt, op basis waarvan het volgende kengetal is berekend: 0,15 kg CO₂/kWh.

te worden aangetekend dat dit voorlopige aannames zijn waarvoor verder onderzoek nodig is om ze daadwerkelijk vast te stellen.

Met genoemde aanpassingen in de berekeningen kan worden geschat dat de totale emissie in de buffer en slibsilos na thermofiele gisting 35 kg CH₄/d bedraagt. Dit betekent ten opzichte van mesofiele gisting een reductie 47 kg CH₄/d, wat leidt tot een reductie van de totale methaanemissie van 41% en tot een verlaging van de CO₂-voetafdruk van 31%. De extra biogas-opbrengst ten opzichte van mesofiele gisting bedraagt 75.840 Nm³/j.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

Door de hogere afbraak in de gisting wordt meer ammonium gevormd. Dit kan mogelijk leiden tot meer geuroverlast. Het ammonium dient te worden verwijderd in de waterlijn of in een nieuw te installeren deelstroombehandeling¹⁵ (dat betekent extra beluchtingsenergie). Of de hogere afbraak in de gisting ook leidt tot een beter ontwateringsresultaat is uit het praktijkonderzoek naar thermofiele gisting nog niet duidelijk geworden¹⁵.

3.2.7 IN SERIE SCHAKELN GISTING

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Met het in serie schakelen van twee of meerdere tanks die eerder parallel werden bedreven blijft de verblijftijd gelijk.

Met het hier gebruikte model voor in serie geschakelde tanks is berekend dat de reductie van methaan na de gisting maximaal 40% kan bedragen. Maximaal omdat nog geen rekening is gehouden met het effect van het mogelijk optreden van verzuring in de eerste tank op de afbraak en dus methaanproductie in en na de gisting. De mate waarin dit zou kunnen optreden is afhankelijk van de huidige verblijftijd, waardoor de verblijftijd in de eerste reactor mogelijk te kort wordt (< 10 dagen). Deze maatregel is wellicht het meest realistisch bij drie gistingstanks, waarbij de eerste twee parallel worden bedreven en de derde als nagisting wordt gebruikt. De reductie van de CO₂ voetafdruk bedraagt maximaal 30%.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

Met het in serie schakelen van tanks dient rekening te worden gehouden met het mogelijk optreden van verzuring in de eerste tank en het effect hiervan op de slibafbraak en methaan-opbrengst. De mate waarin hier rekening mee dient te worden gehouden is afhankelijk van de huidige verblijftijd en aantal beschikbare tanks. Punt van aandacht is ook het mogelijk optreden van schuimvorming in de eerste tank. Gezien de het feit dat de mate van reductie sterk wordt bepaald door lokale omstandigheden wordt deze maatregel niet verder uitgewerkt.

3.2.8 AFVALWATER ONDER WATER INBRENGEN IN ONTVANGPUT BIJ GEMAAL

Om de emissie vanuit de riolering te reduceren in het transportstelsel of bij aankomst op de zuivering zijn een tweetal maatregelen gedefinieerd, te weten:

- afvalwater onder water inbrengen in ontvangput bij gemaal;
- bij renovatie ontvangwerk overwegen om vijzel(s) te vervangen door pomp(en).

Het bepalen van de potentiële reductie voor bovenstaande maatregelen is in het kader van deze studie lastig te doen, omdat veel zal afhangen van de lokale omstandigheden. Het gaat hier om omstandigheden als de locatie waar het methaan vrijkomt, bij de gemalen of op de zuivering, uit hoeveel gemalen bestaat het transportsysteem etc. Om deze reden kan hier alleen de maximaal mogelijke reductie worden gegeven.

¹⁵ STOWA, 2014, Haalbaarheid van thermofiele gisting in Nederland, rapportnummer 2014 – 23.

Beide maatregelen beogen om het methaan in oplossing te houden en contact met de lucht te vermijden (dan zou methaan worden gestript) en oxidatie van methaan in de aeratietank mogelijk te maken. Onder welke omstandigheden dit daadwerkelijk ook optreedt, is niet bekend. Dit vereist nog verder onderzoek. Dit betekent ook dat de in het vervolg berekende reductie nog niet direct in de praktijk haalbaar is.

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Voor een zuivering zonder gisting, waar het transportstelsel de enige (veruit belangrijkste) bron is, kan de reductie 77% bedragen, voor een zuivering met gisting kan de reductie 9% bedragen. De impact op de CO₂-voetafdruk voor een zuivering zonder gisting kan 25% bedragen, voor een zuivering met gisting kan deze 6% bedragen.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

De mate waarin de reductie van methaan vanuit het transportstelsel kan worden gereduceerd hangt sterk af van de huidige emissie, die sterk wordt beïnvloed door de kenmerken van het stelsel en de hoeveelheid getransporteerd afvalwater.

Verder zal de mate van reductie ook nog afhangen of methaanoxidatie in de bestaande beluchtingstanks mogelijk is. Welke factoren hiervan op invloed zijn is op dit moment nog niet volledig bekend; zie ook § 3.1.2.

Op het moment dat methaan in oplossing wordt gehouden in het transportstelsel betekent dit ook dat H₂S in oplossing kan blijven, waardoor aantasting van materialen door corrosie in pompputten kan worden voorkomen.

3.2.9 BIJ RENOVATIE ONTVANGWERK OVERWEGEN OM VIJZEL TE VERVANGEN DOOR POMPEN

Voor deze maatregel gelden dezelfde overwegingen als voor de voorgaande maatregel. Door de vijzels te vervangen door pompen wordt het afvalwater niet blootgesteld aan de lucht en blijft het methaan in oplossing en kan het mogelijk later worden geoxideerd in de AT. De mate waarin dit mogelijk is zal onder andere afhangen van diverse factoren, die voor een deel ook nog onbekend zijn.

3.2.10 OP HOOGTE AFPOMPEN VAN UITGEGIST SLIB IN PLAATS VAN OVERSTORTEN

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Met het op hoogte afpompen van uitgegist slib wordt voorkomen dat het opgeloste methaan wordt gestript. De hoeveelheid methaan die niet wordt gestript bedraagt voor de hier bestudeerde zuivering 3 kg/d. De reductie in methaanemissie bedraagt dan 3%. De impact op de CO₂-voetafdruk bedraagt 2%.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

De mogelijke reductie in methaanemissie wordt beïnvloed door de oplosbaarheid van methaan (is afhankelijk van temperatuur in gisting) en het slibdebiet. Aangezien de oplosbaarheid maar beperkt stijgt of daalt bij veranderde temperatuur zal dit effect klein zijn. Bijkomend voordeel van deze maatregel is dat struvietvorming wordt voorkomen doordat CO₂ niet wordt gestript en de pH dus ook niet stijgt.

3.2.11 BUFFER OMBOUWEN NAAR NAGISTING

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Bij deze maatregel wordt de buffer zodanig aangepast dat deze als nagisting wordt bedreven, waarbij het nog gevormde biogas samen met het biogas van de gisting wordt verbrand in de WKK. Op deze wijze kan het in de buffer gevormde methaan nuttig worden ingezet.

De potentiële reductie in methaan betreft in deze situatie alleen het vrijkomen van het biologisch gevormde methaan, de emissie die normaliter in de buffer optreedt als gevolg van het ontsnappen van opgelost methaan treedt niet meer op als de buffer net als de gisting wordt bedreven (en dus onder druk staat en niet wordt afgezogen). Dit betekent dat de potentiële reductie van methaan 58 kg CH₄/d bedraagt; dit leidt tot een reductie van de totale emissie van 51%. De impact op de CO₂-voetafdruk bedraagt voor deze maatregel 39%. Met deze maatregel kan tegelijkertijd ook extra elektriciteit worden opgewekt, te weten, 117.260 kWh/j (1% op CO₂-voetafdruk).

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

De mogelijke reductie in methaanemissie wordt beïnvloed door de huidige methaanemissie vanuit de buffer en slibsilos, welke weer wordt beïnvloed door de bedrijfsvoering van de gisting. Doordat de buffer nu wordt bedreven als nagisting zal het opgeloste en aan slib gehechte methaan bij de ontwatering of in de slibsilos vrijkomen (bij verlading).

3.2.12 AFGEZOGEN LUCHT VIA BLOWER IN AT BRENGEN

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Eerder is beschreven dat de potentiële reductie op de methaanemissie met het inbrengen van methaanrijke lucht in de beluchtingstank beperkt is (zie § 3.1.2). Bij een beluchtingstank van 6 m is een maximale reductie mogelijk van 10% methaan. Indien er vanuit wordt gegaan dat de afgezogen lucht van de buffer en slibsilos (met in totaal 81 kg CH₄/d) hiervoor kan worden gebruikt bedraagt de reductie in emissie 8 kg/d, overeenkomend met een reductie van 7%. De impact op de CO₂-voetafdruk bedraagt 5%.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

De mogelijke reductie in methaanemissie wordt beïnvloed door de huidige methaanemissie vanuit de buffer en slibsilos, welke weer wordt beïnvloed door de bedrijfsvoering van de gisting. Bij een mogelijke toepassing van deze maatregel dient rekening te worden gehouden met het feit dat het biogas in de gasstroom corrosief kan zijn voor de blower.

3.2.13 AFGEZOGEN LUCHT ALS VERBRANDINGSLUCHT WKK

Potentiële reductie methaanemissie en impact op CO₂-voetafdruk

Om de afgezogen lucht van de buffer en/of slibsilos te gebruiken als verbrandingslucht dient het debiet van deze afgezogen lucht overeen te komen met de vraag naar verbrandingslucht van de WKK. Het af te zuigen luchtdebiet is bepaald aan de hand van de volgende aannames:

- berekend volume buffer en silo, bij aangenomen uitgangspunten voor slibproductie en verblijftijd;
- een waakhoogte en hoogte van de buffer of slibsilos; voor de buffer is een waakhoogte aangehouden van een halve meter, en een hoogte van vier meter; voor de slibsilos is een waakhoogte aangehouden van één meter en een totale hoogte van vijf meter;
- een ventilatievoud van 10 h⁻¹.

Bij deze aannames is berekend dat het afgezogen debiet vanuit de buffer 585 m³/h bedraagt en voor de slibsilos circa 90 m³/h. Totaal komt dit neer op 675 m³/h.

De berekende methaanproductie vanuit de gisting voor de zuivering van 100.000 i.e. bedraagt 1.313 m³/d, ofwel 55 m³/h. De hoeveelheid benodigde verbrandingslucht is dan te berekenen als 55*2*5*1,8¹⁶ = 984 m³/h. Hieruit volgt dat het af te zuigen luchtdebiet in overeenstemming

16 Uitleg: 2 = voor verbranding CH₄ zijn twee moleculen zuurstof nodig; 5 = lucht bevat 20% zuurstof; 1,8 = lamda factor voor overmaat lucht.

is met de benodigde hoeveelheid verbrandingslucht. Voor de in deze studie beschreven situatie kan de totale afgezogen lucht van de buffer en silos dus worden verbrand. Dit betekent dat de emissie kan worden gereduceerd met 81 kg/d (is totaal van buffer en silo), ofwel 72%.

De impact op de CO₂-voetafdruk bedraagt 54%. Naast de reductie in emissie kan ook nog meer elektriciteit worden opgewekt. Voor de zuivering met gisting bedraagt dit 164.550 kWh/j. Dit leidt nog tot een additionele reductie van de CO₂-voetafdruk van 2%.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

De mogelijke reductie in methaanemissie wordt beïnvloed door de huidige methaanemissie vanuit de buffer en silos, welke weer wordt beïnvloed door de bedrijfsvoering van de gisting. Deze maatregel heeft geen impact op andere procesonderdelen.

3.2.14 LUCHTBEHANDELING VAN AFGEZOGEN LUCHT

Voor een zuivering van 100.000 i.e. is uitgegaan van het eerdere berekende af te zuigen luchtdebiet van de buffer en silos (675 m³/h) en een totale methaanvracht van 81 kg/d. De mogelijkheden om deze luchtstroom te behandelen zijn samengevat in Tabel 8.

TABEL 8

SAMENVATTING TOE TE PASSEN LUCHTBELASTING BIOFILTER EN EFFECT DAARVAN OP METHAANVERWIJDERING, FILTEROPPERVLAK EN EFFECT OP REDUCTIE TOTALE METHAANEMISSIE VOOR ZUIVERING VAN 100.000 I.E.

Luchtbelasting (m ³ .m ⁻³ .h ⁻¹)	Methaanverwijdering (%)	Inhoud filter (m ³)	Reductie methaanemissie zuivering (%)
2	85	353	69
3	60	211	49
4	50	156	41

De impact op de CO₂-voetafdruk ligt tussen de 27% (bij 85% verwijdering) en 46% (bij 50%) verwijdering.

Invloedsfactoren en impact op functioneren overige onderdelen

De mate van methaanreductie wordt vooral bepaald door de gekozen luchtbelasting, maar ook door de methaanconcentratie. Bij toepassing van deze maatregel dient er wel rekening mee worden gehouden dat de concentraties methaan onder de LEL waarden blijven. Deze maatregel heeft geen impact op andere procesonderdelen.

3.3 SAMENVATTING SELECTIE POTENTIËLE MAATREGELN

De potentiële reductie in methaanemissie en de impact daarvan op de CO₂-voetafdruk is in Tabel 9 samengevat voor een zuivering zonder en met gisting.

TABEL 9 OVERZICHT POTENTIËLE REDUCTIE IN METHAANEMISSIE EN IMPACT OP CO₂-VOETAFDRIJK.

Categorie	Maatregel	Zuivering - gisting		Zuivering + gisting	
		Reductie CH ₄ (%)	Impact CO ₂ -voetafdruk (%)	Reductie CH ₄ (%)	Impact CO ₂ -voetafdruk (%)
1	Vervangen gravitaire indikker voor secundair door bandindikker	3	1	1	0,4
1	Verblijftijd zo kort mogelijk houden in indikker	1)	1)	1)	1)
1	Gelijkmatige voeding naar de gisting	-	-	2)	2)
1	Beluchten buffer	-	-	51 ³⁾	38 ³⁾
1	Afkoelen uitgestigt slib	-	-	38	29
1	Ombouw mesofiel naar thermofiel	-	-	41	31
1	In serie schakelen gistingstanks	~40 ⁴⁾	~30 ⁴⁾		
2	Afvalwater onder water inbrengen in ontvangput bij gemaal	5)	5)	5)	5)
2	Bij renovatie ontvangwerk overwegen om vijzel te vervangen door pompen	5)	5)	5)	5)
2	Op hoogte afpompen van uitgestigt slib in plaats van overstorten	-	-	3	2
2	Buffer ombouwen naar nagisting	-	-	51	39
2	Afgezogen lucht via blower in AT brengen	-	-	7	5
2	Afgezogen lucht als verbrandingslucht WKK	-	-	72	54
3	Luchtbehandeling (biofilter) van afgezogen lucht	-	-	36 – 61 ⁶⁾	27 – 46 ⁶⁾

1) is niet in te schatten gezien beperkt beschikbare gegevens;

2) is niet in te schatten omdat spreiding in beschikbare meetdata te groot is

3) is maximale waarde indien stopzetting van het gistingsproces met inbreng van lucht technisch haalbaar is;

4) is maximale reductie, omdat nog geen rekening gehouden is met bijvoorbeeld effect verzuring in eerste tank;

5) is niet in te schatten, omdat dit erg afhankelijk is van lokale omstandigheden en of methaanoxidatie optreedt;

6) afhankelijk van te kiezen rendement biofilter

Bij het selecteren van de maatregelen die in het vervolg in meer detail worden uitgewerkt is in eerste instantie gekeken naar die maatregelen waarvan de impact op de CO₂ voetafdruk groter is dan 10%.

In tweede instantie is ook gekeken naar in hoeverre de maatregelen conform de doelstelling van dit onderzoek relatief eenvoudig kunnen worden uitgevoerd. Tot slot is gekeken in hoeverre de berekende reductie in praktijk ook werkelijk kan optreden.

Met deze selectiecriteria is gekomen tot de volgende lijst nader uit te werken maatregelen:

- de afgezogen lucht van de buffer als verbrandingslucht gebruiken voor de WKK;
- de buffer ombouwen naar nagisting;
- de ombouw van mesofiele naar thermofiele gisting;
- de afgezogen lucht van de buffer en slibsilos behandelen in een biofilter.

Bovengenoemde maatregelen betreffen alle maatregelen die op een zuivering met gisting kunnen worden genomen. Aangezien bij zuiveringen zonder gisting het transportstelsel een aanzienlijke bijdrage kan leveren aan de CO₂ voetafdruk is voor deze zuiveringen ook de maatregel 'onder water inbrengen afvalwater' nader uitgewerkt.

4

DETAILS BUSINESS CASES

Voor de uitwerking van twee emissiereductiemaatregelen is gekozen voor de locaties Amsterdam-West en Kralingseveer. Voor deze locaties zijn metingen aan de buffer beschikbaar waaruit een potentiële meeropbrengst van biogas en elektriciteit kan worden afgeleid. Bij de business cases is uitgegaan van een gemiddelde elektriciteitsprijs, afschrijvingstermijn en rente¹⁷, niet specifiek voor de cases in Amsterdam-West en Kralingseveer.

4.1 AFGEZOGEN LUCHT BUFFER ALS VERBRANDINGSLUCHT WKK

4.1.1 TECHNISCHE HAALBAARHEID

Beschrijving huidige situatie

De twee buffers hebben een kunststof afdekking. Eén van deze buffers is afgebeeld in Figuur 7

FIGUUR 7 EÉN VAN DE BUFFERS OP DE ZUIVERING KRALINGSEVEER.



De lucht in de slibbuffer wordt op dit moment centraal afgezogen en na behandeling in een compostfilter onder het dak van de beluchtingscircuits gebracht. De toevoer van buitenlucht in de buffer wordt geleid door een instroombuis. Hierin is een vlinderklep gemonteerd die bij een te hoge meetwaarde van het methaangehalte kan worden geopend om zo meer buitenlucht toe te laten en de verversing te vergroten.

Benodigde aanpassingen

Om de lucht boven de buffer naar de gasmotoren te leiden zijn een aantal aanpassingen in de afzuiging noodzakelijk. Deze aanpassingen zijn relatief eenvoudig, er hoeven geen Civiele werkzaamheden te worden uitgevoerd. De bestaande afzuigpunten van beide slibbuffers komen samen in de ondergrondse leidingtunnel alwaar een aansluiting kan worden gemaakt op een nieuw te installeren afzuigleiding.

¹⁷ Elektriciteitsprijs: 0,10 €/kWh; afschrijving 15 jaar (werktuigbouw) en 30 jaar civiel; rente 3%.

Bij de gasmotoren (waarschijnlijk in de warmtewisselaarruimte onder de gasmotoren) kan een ventilator worden geplaatst die de lucht afzuigt en naar de gasmotorruimte verplaatst. In de gasmotorruimte dient een blower te worden geplaatst die de afgezogen lucht op druk brengt om ingebracht te kunnen worden in de gasmotor. Eventueel kunnen deze ventilator en blower worden gecombineerd tot één blower/afzuiger.

De afgezogen lucht dient te worden gereinigd door middel van een gaswasser voordat deze naar de gasmotor kan worden gevoerd¹⁸. Bij de gaswasser dient een opslag te zijn voor chemicaliën en veiligheidsvoorzieningen zoals een oog/nooddouche.

Om de afgezogen lucht van de buffer naar de gasmotor te leiden zijn in hoofdlijnen de volgende aanpassingen noodzakelijk:

- afsluiten van de bestaande afzuiging (afsluiter) en nieuwe aansluiting maken;
- nieuwe PVC DN250 luchtleiding naar de gasmotorruimte, inclusief leidingondersteuning;
- doorvoeren naar gasmotorruimte;
- nieuwe ventilator (2x uitvoeren);
- centrifugaalblower voor aanvoer gasmotor;
- gaswasser, vochtafvanger;
- instrumentatie (druk, debiet, temperatuur) en reduceer;
- aansluitingen op de gasmotor, benodigde regelingen;
- aanpassingen software gasmotor.

De bestaande koppeling op de luchtafzuiging blijft bestaan, evenals de bestaande toevoer van verbrandingslucht naar de motoren. Reden hiervoor is dat bij storing of onderhoud de buffer kan worden afgezogen op de huidige manier. Er dient daarom een afsluiter te komen na de aftak naar de gasmotorruimte en in de nieuwe afzuigleiding. De motoren kunnen zonder aanpassingen met de bestaande toevoeren van gas en verbrandingslucht blijven functioneren.

Het inbrengen van de afgezogen lucht in de gasmotor heeft aandachtspunten die cruciaal zijn voor het goed functioneren van het systeem, omdat de gasmotor gebaat is bij een constante toevoer van het gasmengsel:

- Het gasmengsel dat naar de gasmotor wordt geleid dient een zo constant mogelijke kwaliteit te hebben; hiertoe is ook voorzien in een gaswasser. Er wordt lucht meegezogen via de daarvoor bestemde luchttoevoer maar ook via kieren tussen de afdekking. Als de afzuiging constant is zal dit een klein effect hebben op gas/lucht mengsel.
- De slibbuffers dienen op constant niveau te worden bedreven, hiermee wordt bedoeld dat de buffer niet fluctueert tussen vol en bijna leeg. Zulke schommelingen in het niveau hebben tot gevolg dat er ook schommelingen in de methaanproductie ontstaan; Schommelingen van enkele tientallen centimeters zal weinig effect hebben.
- De leverancier van de gasmotoren is op dit moment nog terughoudend om een tweede gasstroom aan de motor toe te voegen. Soortgelijke vraagstellingen uit de industrie zijn eerder door hem negatief beoordeeld en er is dus geen ervaring mee. Redenen voor deze afwijzing zijn de relatief hoge investeringskosten voor aanpassingen van de motor en een onduidelijke kwaliteit van het gas. Dit laatste is van minder toepassing voor de situatie op Kralingseveer (en andere zuiveringen) waar wel meer bekend is over de gas-kwaliteit.

¹⁸ De gaswassers hebben als doel H₂S en SO₂ te verwijderen ter bescherming van de gasmotor voor een voldoende lange levensduur. In de gaswasser wordt een waterstroom tegen de gasstroom in geleid en dit zorgt zo voor de wassing. Aan het water zijn chemicaliën toegevoegd om te reageren met de vervuilende gassen.

Naast bovengenoemde aandachtspunten kan nog als aandachtspunt worden benoemd dat nog niet inzichtelijk is welk effect het inbrengen van de afgezogen lucht van de buffer heeft op de uitstoot van NO_x .

4.1.2 FINANCIËLE HAALBAARHEID

Investeringskosten

Op basis van bovengenoemde aanpassingen is een kostenraming opgesteld, de details daarvan zijn weergegeven in bijlage 1. In deze bijlage staan de bouwkosten vermeld, om te komen tot een investeringsbedrag zijn deze bouwkosten nog vermenigvuldigd met een staartfactor van 1,4. Het totale investeringsbedrag komt dan uit op een waarde van € 299.600,- (incl. BTW).

Bedrijfsvoeringskosten

Vooralsnog is ervan uitgegaan dat de onderhoudskosten voor het bedienen van de buffer na de aanpassing gelijk zijn aan de huidige onderhoudskosten. Dit betekent dat alle de meeropbrengst in elektriciteit als post wordt meegenomen in de bedrijfsvoeringskosten. De meeropbrengst in elektriciteit is gebaseerd op de methaanemissie van de buffer op Kralingseveer. Deze bedroeg ten tijde van het STOWA-onderzoek (2010 – 2011; STOWA, 2012) 156 kg/d, overeenkomend met 249 m³/d. Bij een rendement van de WKK van 33%¹⁹ kan dan per jaar bijna 300.314 kWh/j extra worden opgewekt. Bij een elektriciteitsprijs van 0,10 €/kWh, betekent dit een besparing van afgerond 30.000 €/j. De benodigde investering is bij deze besparing dan in 10 jaar terug te verdienen. Voor de locatie Kralingseveer lijkt daarmee het inbrengen van de afgezogen lucht van de buffer als verbrandingslucht in de WKK te kunnen leiden tot een positieve business case. In hoeverre dit ook voor andere locaties geldt, hangt af van de benodigde investeringen (zie § 4.1.4) en de omvang van de emissie (en dus onder andere ook de omvang van de gistinglocatie).

De kosten per ton vermeden CO₂ zijn bepaald op basis van de besparing in euro's inclusief kapitaalslasten. Op deze manier kunnen maatregelen onderling kunnen worden vergeleken en kan inzichtelijk worden gemaakt welke maatregel het meest effectief (hoge besparing, lage investering) de uitstoot van CO₂ reduceert. De kapitaalskosten zijn berekend op basis van een rente van 3%, een afschrijving voor Civiele onderdelen van 30 jaar en voor Werktuigbouwkundige en Elektrotechnische onderdelen van 15 jaar. De investeringskosten voor de aanpassingen in Kralingseveer betreffen alleen Werktuigbouwkundige en Elektrotechnische onderdelen. De kapitaalskosten voor deze maatregel bedragen dan € 25.000,- per jaar, met de opbrengst uit de vermeden elektriciteitsinkoop wordt dan per jaar € 5.000,- bespaard.

¹⁹ Overeenkomend met een gemeten productie van 2,15 kWh per m³ biogas

4.1.3 IMPACT OP CO₂-VOETAFDruk

Het effect van de maatregel op de CO₂-voetafdruk van Kralingseveer is weergegeven in Tabel 10.

TABEL 10 EFFECT MAATREGEL OP DE CO₂-VOETAFDruk VAN KRALINGSEVEER.

Parameter	Eenheid	Waarde
Door extra elektriciteit	kg CO ₂ /j	201.200
Door vermeden emissie	kg CO ₂ /j	1.427.200
	ton CO ₂ /j	1.630
Totaal Kralingseveer		
inclusief N ₂ O-N emissie	ton CO ₂ /j	19.900
exclusief N ₂ O-N emissie	ton CO ₂ /j	9.300
Reductie		
inclusief N ₂ O-N emissie	%	8
exclusief N ₂ O-N emissie	%	17
Kosten vermeden CO ₂	€/ton CO ₂ *	-3

* Berekend op basis van jaarlijkse kosten inclusief kapitaalslasten

Uit Tabel 10 blijkt dat het toepassen van de afgezogen lucht van de buffer als verbrandingslucht de CO₂-voetafdruk van Kralingseveer met 17% kan reduceren als de bijdrage van lachgas buiten beschouwing wordt gelaten.

4.1.4 INVLOEDSFACTOREN

De uitvoering van de ombouw is op de zuivering Kralingseveer eenvoudig uitvoerbaar. Dit komt voornamelijk door een aantal factoren dat specifiek is voor deze zuivering. Afwijkingen hiervan zullen bij een vergelijkbare case, maar bij een andere bestaande zuivering kunnen leiden tot hogere investeringskosten:

- buffers Kralingseveer zijn dicht bij de gasmotoren gepositioneerd; bij eventuele nieuwbouw is dit dus ook financieel het meest gunstig;
- het nieuw aan te leggen leidingwerk kan door een bestaande leidingtunnel worden aangelegd waardoor er geen graafwerkzaamheden nodig zijn;
- er is voldoende ruimte beschikbaar rondom de gasmotoren om de aanvullende installaties te kunnen plaatsen;
- de huidige gasmotoren zijn vrij nieuw (één jaar oud) en kunnen geschikt worden gemaakt voor de verwerking van het methaan-luchtmengsel.

4.2 BUFFER ALS NAGISTING

4.2.1 TECHNISCHE HAALBAARHEID

Beschrijving huidige situatie

De lucht in de slibbuffer wordt op dit moment afgezogen en behandeld in lavafilters om geurcomponenten te verwijderen. Het dak van de USB is van tranenplaat met openingen voor toevoer van buitenlucht en voor het uithijzen van de mengers (2x). Verder is een groot transportluik aanwezig waardoor een kleine graafmachine kan worden gehesen om de buffer bij onderhoud te kunnen leegschepen.

Benodigde aanpassingen

Bij het ombouwen van de huidige buffer naar een volwaardig functionerende nagisting wordt geen voorziening aangebracht om het slib, net als in de slibvergistingstanks, te verwarmen. Het vrijgekomen methaan moet naar de gashouder worden gebracht.

Dit wordt gedaan door een directe koppeling te maken met de ondergronds lopende gasheader. Deze bestaande leiding van de slibgistingstanks naar de gashouder loopt langs de nagisting en kan hier eenvoudig op worden aangesloten. Deze koppeling zorgt er tevens voor dat er ook gas vanuit de gashouder naar de nagisting kan stromen. Dit is noodzakelijk indien de buffer sneller wordt gelegeed (door transport naar de indikking) dan dat er methaangas wordt geproduceerd.

De bestaande overstort naar het terreinriool dient te worden aangepast. De huidige functie moet worden behouden omdat er nog steeds een beveiliging tegen overstromen moet zijn (de nagisting functioneert immers nog steeds als buffer). Er dient dan ook een waterslot te worden aangebracht die de hoogst optredende druk in het gassysteem kan tegenhouden. Een dergelijk waterslot zal moeten worden voorzien van een watertoevoer om deze tegen uitdroging te beschermen.

De aanvoer van slib vanuit de slibvergistingstanks naar de nagisting blijft ongewijzigd, evenals de afvoer van slib naar de ontwatering. Om het gas op te kunnen vangen dient een dak op de tank te worden geplaatst dat gasdicht is en bestand is tegen de optredende gasdruk. Afhankelijk van de constructieve eigenschappen van de wanden van de tank kan de tank worden afgedicht met een betonnen afdekking van kanaalplaten. Hierin dient weer een opening te worden aangebracht voor het toegankelijk maken van de mengers (2x, volledig ondergedompeld) en een toegangsluik voor groot onderhoud. De bestaande hijsvoorziening voor de mengers kan gehandhaafd blijven.

De mengers dienen te worden vervangen voor top entry mengers met een gasdichte seal en een ATEX veiligheidsklasse. Om het (groot) onderhoud aan de nagisting te kunnen doen moet deze van de gasheader kunnen worden afgesloten. De tank kan dan worden gelegeed en gasvrij worden gemaakt waarna het toegangsluik kan worden geopend.

De nagisting dient te worden voorzien van explosie veilige instrumentatie voor temperatuur, druk en slibniveau. Afhankelijk van de wensen van het waterschap dient ook een debietmeting in de uitgaande leiding voor gasafvoer te worden meegenomen.

Om de huidige buffer om te bouwen tot nagisting zijn in hoofdlijnen de volgende aanpassingen noodzakelijk:

- verwijderen bestaande dakconstructie (en evt. extern frame);
- verwijderen bestaande luchtafzuiging en ventilator;
- noodoverstort voorzien van een waterslot en watertoevoer;
- aanbrengen nieuw betonnen afdekking met aansluitingen voor instrumentatie en toegangsluik voor groot onderhoud²⁰;
- aanbrengen van een gasafvoerleiding DN250 in de nieuwe afdekking en aansluiting op de bestaande ondergrondse gasleiding;
- aanbrengen van instrumentatie en bekabeling;
- aanpassingen SCADA software op de zuivering, aanpassingen regelingen voor ontwatering.

²⁰ Wellicht zijn nog andere materialen (oplossingen) mogelijk die financieel meer aantrekkelijk zijn. Te denken valt aan het afdekken met zeil en gebruik te maken van 'side entry' mengers. Hierbij dient nog wel rekening te worden gehouden met wisselingen in overdruk/onderdruk als gevolg van wisselende gasproducties in de buffer; Dit zou nog wel weer kunnen worden ondervangen door een geregelde luchttoevoer.

Bij de aanpassingen van de huidige buffer dienen de volgende aandachtspunten nader te worden onderzocht:

- de constructie van de betonnen wanden van de tank: zijn deze voldoende stevig voor het toepassen van een betonnen afdekking?;
- de fundering van de tank: is deze bestand tegen de hogere belasting van het betonnen dek?;
- EX-zonering verandert en daarmee de veiligheidsvoorschriften met betrekking tot toegang en onderhoud voor deze tank.

4.2.2 FINANCIËLE HAALBAARHEID

Investeringskosten

Op basis van bovengenoemde aanpassingen zijn de bouwkosten berekend, de details daarvan zijn weergegeven in bijlage 1. Het totale investeringsbedrag (inclusief staartkosten) komt uit op een waarde van circa € 600.000,- (incl. BTW).

Bedrijfsvoeringskosten

Vooralsnog is ervan uitgegaan dat de onderhoudskosten voor het bedrijven van de nagisting gelijk zijn aan de huidige onderhoudskosten voor de buffer. Dit betekent dat alleen de meeropbrengst in elektriciteit als post wordt meegenomen in de bedrijfsvoeringskosten. De meeropbrengst in elektriciteit is gebaseerd op de methaanemissie van de buffer op Amsterdam-West zoals gemeten gedurende twee korte periodes in augustus 2010 en januari 2011. De gemiddelde emissie in die periodes bedroeg voor de buffer 631 kg/d (1.003 m³/d)²¹. Deze hoeveelheid methaan levert bij een elektrisch rendement van 34% ~1,2 miljoen kWh/j. Bij een elektriciteitsprijs van 0,10 €/kWh resulteert dit een besparing op van 120.000 €/j. Op basis van deze uitgangspunten kan de benodigde investering binnen circa vijf jaar worden terugverdiend. Ten slotte moet worden opgemerkt dat de metingen op Amsterdam-West zijn uitgevoerd voor de realisatie van de struvietreactor (tussen gisting en buffer) waardoor huidige methaanemissies uit de buffer mogelijk lager zijn. Dit leidt tot een positieve business case maar in hoeverre dit voor andere locaties ook mogelijk is zal afhangen van de omvang van de emissie (en dus onder andere ook de omvang van de gistingslocatie), de prijs voor vermeden elektriciteit en de benodigde investeringen. De invloed van lokale factoren hierop wordt nog besproken in § 4.2.4.

Om de kosten (of opbrengst) per ton vermeden CO₂ te berekenen zijn de jaarlijkse kosten berekend, die in dit geval bestaan uit de kapitaalskosten en de besparing door vermeden E-inkoop. Deze zijn op dezelfde wijze berekend als voor de case Kralingseveer.

De investeringskosten voor de aanpassingen in Amsterdam-West bestaan voor 61% uit kosten voor Civiele onderdelen en voor 39% uit Werktuigbouwkundige en Elektrotechnische onderdelen. De kapitaalskosten voor deze maatregel bedragen dan € 41.000,- per jaar, met de opbrengst uit de vermeden elektriciteitsinkoop wordt dan per jaar € 79.000,- bespaard.

21 Gemeten in ventilatiekanaal van buffer, verwachte temperatuur: 25 – 35 °C; Bij standaardtemperatuur (10 °C) zal het volume methaan circa 10% lager liggen.

4.2.3 IMPACT OP CO₂-VOETAFDruk

Het effect van de maatregel op de CO₂-voetafdruk van Amsterdam is weergegeven in Tabel 11.

TABEL 11 EFFECT MAATREGEL OP DE CO₂-VOETAFDruk VAN AMSTERDAM-WEST

Parameter	Eenheid	Waarde
Door extra elektriciteit	kg CO ₂ /j	830.800
Door vermeden emissie	kg CO ₂ /j	5.556.200
	ton CO ₂ /j	6.390
Totaal Amsterdam-West (<u>alleen</u> CH ₄ emissie)	ton CO ₂ /j	10.310
Reductie methaanemissie	%	62**
Kosten vermeden CO ₂	€/ton CO ₂ *	-13

* Berekend op basis van jaarlijkse kosten inclusief kapitaalslasten

** Op basis van totale methaanemissie (zonder correctie voor vergisting extern slib)

Uit Tabel 11 blijkt dat voor Amsterdam het ombouwen van de buffer naar nagisting leidt tot een zeer aanzienlijke reductie van de methaanemissie met 62%.

4.2.4 INVLOEDSFACTOREN

Bij de ombouw van de buffer naar nagisting op de zuivering Amsterdam-West zijn een aantal factoren bepalend voor de kosten van de uitvoering. Op andere bestaande zuiveringen waar deze factoren afwijken van de case op Amsterdam-West kunnen de kosten voor uitvoering aanzienlijk wijzigen:

- er is één grote buffer (diameter 20 m) die moet worden afgedicht, de kosten hiervoor zijn hoog. Bij kleinere zuiveringen of zuiveringen met twee of meer tanks kunnen deze kosten lager uitvallen;
- de aansluiting van de nieuwe gasleiding op de hoofdleiding is eenvoudig omdat deze vlak langs de buffer loopt.

Als bij de eventuele bouw van een nieuwe zuivering of alleen sliblijn (groene weide) de slibbuffer als nagisting wordt gebruikt zijn de volgende factoren van belang voor de bouwkosten:

- locatie van de nagisting, bij voorkeur dicht bij de gashouder, de ontwatering en de slibgisting;
- de diameter van de tank(s) in verband met de kosten voor de afdekking.

4.3 OMBOUW VAN MESOFIELE NAAR THERMOFIELE GISTING

Voor het vaststellen van de technische en financiële haalbaarheid van de ombouw van een mesofiele gisting naar een thermofiele gisting is gebruik gemaakt van gegevens uit een eerder opgestelde business case zoals deze in twee STOWA-rapporten staat beschreven^{15, 22}. Voor deze maatregel geldt dat deze gecombineerd kunnen worden met één van de maatregelen aan de buffer om de reductie van methaan en de opbrengst van biogas te maximaliseren.

4.3.1 TECHNISCHE HAALBAARHEID

Voor de ombouw van de mesofiele gisting naar thermofiele gisting zijn de volgende aanpassingen meegenomen in de business case:

- vervanging bestaande warmtewisselaars;
- toevoegen van slib – slib warmtewisselaars;
- deelstroombehandeling voor stikstofverwijdering.

22 STOWA, 2012, Business Case Thermofiele gisting, rapportnummer 2012 – W15

In de business case zijn geen kosten meegenomen voor mogelijke aanpassingen aan de Civiele constructie van de gistingstanks. Wel kunnen de volgende aandachtspunten worden genoemd:

- de warmteflux door het beton neemt toe, dit kan leiden tot grotere spanningen in het materiaal; eventueel aanwezige scheuren kunnen dan groter worden;
- spanningen op verbindingpunten tussen wand en vloer en/of dak kunnen toenemen.

Voorafgaand aan ombouw wordt aanbevolen om constructieve berekeningen uit te voeren (met betrekking tot de hogere temperatuur) in combinatie met een inspectie van de tank.

4.3.2 FINANCIËLE HAALBAARHEID

Investeringskosten

Voor het berekenen van de investeringskosten is uitgegaan van de zuivering van 150.000 i.e. zoals die beschreven is in de business case uit het STOWA-rapport uit 2012²². Wel zijn de kosten aangepast naar de schaal van de zuivering die in dit rapport is aangehouden 100.000 i.e. (dit geldt ook voor de bedrijfsvoeringskosten). Op deze manier zijn de investeringskosten berekend op € 360.000,-.

Bedrijfsvoeringskosten

Voor het berekenen van de bedrijfsvoeringskosten zijn in de business case de volgende posten meegenomen:

- bedrijfsvoering deelstroombehandeling (overgenomen uit Business case STOWA²²);
- extra opbrengst van opgewekte hoeveelheid elektriciteit (rendement WKK 35%, E-prijs 0,10 €/kWh);
- besparing slibafzetkosten (alleen variabele kosten à € 30 per ton om uitgangspunten van deze business case gelijk te houden met de beschreven business case voor de zuivering van 150.000 i.e.²²).

De extra kosten voor de bedrijfsvoering van de deelstroombehandeling bedragen 11.000 €/j, de extra opbrengst door meer elektriciteitsopwekking en verminderde slibafzet bedraagt 28.000 €/j, wat resulteert in een netto besparing van 26.000 €/j. Bij een investering van € 360.000,- bedraagt de eenvoudige terugverdientijd dan 21 jaar. Deze terugverdientijd wordt sterk beïnvloed door de gekozen afzetprijs voor slib. Bij een hogere slibafzetprijs van bijvoorbeeld € 65,- per ton bedraagt de terugverdientijd nog maar 12 jaar.

4.3.3 IMPACT OP CO₂-VOETAFDruk

Het effect van de maatregel op de CO₂-voetafdruk van een zuivering van 100.000 i.e. is weer gegeven in Tabel 12.

TABEL 12 EFFECT MAATREGEL OP DE CO₂-VOETAFDruk VAN ZUIVERING VAN 100.000 I.E.

Parameter	Eenheid	Waarde
Door extra elektriciteit	kg CO ₂ /j	113.900
Door vermeden emissie	kg CO ₂ /j	424.700
	ton CO ₂ /j	540
Totaal zuivering 100.000 i.e.	ton CO ₂ /j	1.370
Reductie	%	39
Kosten vermeden CO ₂	€/ton CO ₂ *	+ 28

* Berekend op basis van jaarlijkse kosten inclusief kapitaalslasten

Door de bijdrage van de kapitaalslasten als gevolg van de investeringen aan de gisting en de

deelstroombehandeling liggen de totale kosten hoger dan de eerder berekende opbrengst, leidend tot een positief bedrag per vermeden ton CO₂. Deze is zoals eerder gezegd wel sterk afhankelijk van de slibafzetprijs. Bij een afzetprijs van 65 €/ton bedragen de kosten per vermeden CO₂ +4 €/ton CO₂.

4.3.4 INVLOEDSFACTOREN

De business case voor de ombouw van mesofiele gisting naar thermofiele gisting wordt voor een groot deel bepaald door de toegepaste schaal. Bij een grotere schaal zullen de investeringskosten niet evenredig toenemen met de schaal, maar geldt dit wel voor de meeropbrengst van elektriciteit en de reductie van de slibafzetkosten.

Factoren die de business case verder nog beïnvloeden zijn:

- kosten voor eventuele aanpassingen aan de Civiele constructie;
- de mate van ontwaterbaarheid en het verbruik van PE na thermofiele gisting; beide factoren zijn nog onvoldoende onderzocht.

4.4 LUCHTBEHANDELING MET BIOFILTER

Om een inschatting te maken van de investeringskosten is uitgegaan van de zuivering met gisting van 100.000 i.e. waar alleen het eigen slib wordt vergist. In deze situatie is eerder berekend dat het af te zuigen luchtdebiet van de buffer en slibsilos 675 m³/h bedraagt (zie § 3.2.13). Afhankelijk van de benodigde luchtbelasting is berekend welk filteroppervlak nodig is. Voor de berekening van het benodigde filtervolume is uitgegaan van een maximale hoogte van drie meter (Melse, 2003). De investeringskosten zijn berekend door uit te gaan van de investeringskosten voor een biofilter van 80 m³ die 1.500 /m³ bedragen (Melse, 2003). Hierbij kan worden aangetekend dat niet geheel duidelijk is welke posten hierin zijn meegenomen en of het bedrag inclusief of exclusief BTW is. De resultaten van genoemde berekeningen zijn weergegeven in Tabel 13.

TABEL 13 OVERZICHT DIMENSIONERING EN INVESTERINGSKOSTEN BIOFILTER VOOR BEHANDELEN AFGEZOGEN LUCHT VAN USB EN SLIBSILO (ZUIVERING 100.000 I.E. MET ALLEEN EIGEN SLIB).

Verwijdering methaan	Luchtbelasting	Inhoud biofilter	Investeringskosten
%	m ³ /m ³ .h	m ³	€
85	2	353	530.000
60	3	211	320.000
50	4	156	230.000

Uit Tabel 13 wordt duidelijk dat de kosten voor het behandelen van de afgezogen lucht met een biofilter aanzienlijk kunnen zijn, en wellicht in de praktijk nog hoger liggen, omdat niet geheel duidelijk wat wel en niet is meegenomen in de kosten en de kosten gelden voor een filter van 80 m³. De kosten per vermeden ton CO₂ zijn weergegeven in Tabel 14.

TABEL 14 KOSTEN PER VERMEDEN TON CO₂ VAN BIOFILTER VOOR BEHANDELING AFGEZOGEN LUCHT BUFFER EN SLIBSILO.

Verwijdering methaan	Vermeden CO ₂	Kosten*
%	ton CO ₂ /j	€/ton CO ₂
85	631	840
60	446	720
50	371	620

* Berekend op basis van de investeringskosten

In vergelijking met de eerder uitgewerkte maatregelen rondom de buffer (zie Tabel 10 en 62

Tabel 11) blijkt dat de kosten per vermeden ton CO₂ veel hoger liggen voor het toepassen van een biofilter. Aangezien het toepassen van een biofilter ook geen extra besparing oplevert, is het toepassen van een biofilter voor de behandeling van de afgezogen lucht van een buffer en slibsilos financieel geen aantrekkelijke maatregel.

4.5 MAATREGELEN IN TRANSPORTSTELSEL

In het transportsysteem treden door de vorming van H₂S problemen op in persleidingen en ontvangstkelders. Om deze problemen te voorkomen zijn onder andere door waterschap de Dommel aanpassingen gedaan in een ontvangstkelder. Deze maatregel betrof het verlengen van de binnenkomende persleiding tot onder het waterniveau in de natte kelder. Aandachtspunten hierbij zijn het voorkomen van het leeglopen van de persleiding door heveling.

Afhankelijk van bijvoorbeeld de diameter van de binnenkomende leiding liggen de kosten voor deze aanpassing naar verwachting tussen de € 7.000,- en € 12.000,- (incl. BTW). Aangezien deze maatregel de emissie van H₂S voorkomt zal deze maatregel ook de emissie van methaan voorkomen. Dit schept de voorwaarde om methaanoxidatie op de zuivering mogelijk te maken.

Met het toepassen van deze maatregel kan door het in oplossing houden van methaan ook H₂S in oplossing worden gehouden. Dit leidt tot minder geuroverlast voor de omgeving en het reduceert de aantasting door corrosie van de ontvangstkelder en pompen. Dit laatste leidt tot een besparing op onderhouds- en vervangingskosten, de hoogte van deze besparing zal per locatie verschillen en dient dus per locatie inzichtelijk te worden gemaakt.

De impact van deze maatregel op de CO₂-voetafdruk is zoals eerder gezegd moeilijk vast te stellen omdat deze sterk afhankelijk is van de kenmerken van het rioolstelsel en de getransporteerde hoeveelheid afvalwater.

5

LITERATUUR

- Chaosakul, T., Koottatep, T., Polprasert, C., 2014, A model for methane production in sewers, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 49, p. 1316 – 1321.
- Chen Y R en A G Hashimoto, 1980, Substrate utilization model for biological treatment systems, *Biotechnology & Bioengineering* 22: 2081-2095.
- Daelman, M.R.J., van der Eynde, T., van Loosdrecht, M.C.M., Volcke, E.I.P., 2014, Effect of process design and operating parameters on aerobic methane oxidation in municipal WWTPs, *Water Research*, 66, p.308 – 319.
- Dueck, Th.A., van Dijk, C.J., Kempkes, F., van der Zalm, T., 2008, Emissies uit WKK installaties in de glastuinbouw; Methaan, etheen en NOx concentraties in rookgassen voor CO2 dosering, Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen, nota 505.
- Foley, J., de Haas, D., Hartley, K., Yuan, Z., Lovell, A. and Lant, P. (2009b) Field measurements and simple model development for estimating greenhouse gas emissions. *Wat. Sci. Tech.* 60(11): 2863-2971.
- Guisasola, A., Sharma, K. R., de Haas, D., Keller, J. and Yuan, Z. (2009). Development of a model for assessing methane formation in rising main sewers. *Water Research.* 43(11): 2874-2884.
- Kamarád L, S Pohn, G Bochmann & M Harasek 2013, Determination of mixing quality in biogas plant digesters using tracer tests and computational fluid dynamics. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* LXI (5): 1269-1278
- KWR, Waternet, 2011, Methaan- en lachgasemissies in de Amsterdamse waterketen: omvang en reductiemogelijkheden, KWR 2011.076.
- Melse, R.W., 2003, Biologisch filter voor verwijdering van methaan uit lucht van stallen en mestopslagen, Rapport 2003 – 16.
- Monteith H D & J P Stephenson 1981. Mixing efficiencies in full-scale anaerobic digesters by tracer methods. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 53 (1): 78-84.
- Nelson M. I., Holder, A., 2009. A fundamental analysis of continuous flow bioreactor models governed by Contois kinetics. II. Reactor cascades. *Chemical Engineering Journal* 149: 406-416.
- Nikiema, J., Payre, G., Heitz, M., 2009, A mathematical steady state model for methane bioelimination in a closed biofilter, *Chemical Engineering Journal* 150, p. 418 – 425.
- STOWA, 1992, Biologische fosfaatverwijdering in combinatie met een korrelreactor, STOWA 1992 – 04.
- STOWA, 2006, Communaal afvalwater op temperatuur houden voor actiever slib in RWZI's, STOWA 2006 – 15.
- STOWA, 2010, Emissies van broeikasgassen van RWZI's, STOWA, Amersfoort, rapport 2010 – 08.

- STOWA, 2011, WKK en Biogasbenutting, STOWA, Amersfoort, rapport 2011 – 33.
- STOWA, 2012, Emissie broeikasgassen vanuit RWZI's, STOWA, Amersfoort, rapport 2012-20.
- STOWA, 2012, Struvietproductie door middel van het Airprex proces. Pilotonderzoek op de rioolwaterzuivering Amsterdam-West, rapportnummer 2012 – 27.
- STOWA, 2012, Business case thermofiele slibgisting, STOWA, 2012 – W15
- STOWA, 2014, CO₂-Winning op RWZI's, STOWA, Amersfoort, rapport 2014 – 21.
- Wiegant, W., 2011, Voorspelling van de biogasproductie en de slibafbraak tijdens de slibgisting, WT-Afvalwater, jaargang 11, nummer 5, pagina 126 – 135.

BIJLAGE 1

INVESTERINGSRAMING MAATREGELEN

AFGEZOGEN LUCHT USB ALS VERBRANDINGSLUCHT WKK

BOUWKOSTEN				
onderdeel	afmetingen	hoeveelheid	prijs	kosten
sloopwerken				
-				
civil				
-				
werktuigbouw				
afsluiten bestaande leiding	DN250	1 st	€ 700	€ 700
PVC leiding naar gasmotorruimte	DN250	60 m ¹	€ 60	€ 3.600
doorvoeren gasmotorruimte	DN250	2 st	€ 500	€ 1.000
ventilator	2000 m ³ /h	2 st	€ 5.000	€ 10.000
centrifugaalblower	2000 m ³ /h	2 st	€ 2.500	€ 5.000
vochtafvinger		2 st	€ 1.200	€ 2.400
installatiekosten		1 st	€ 4.500	€ 4.500
aansluitingen gasmotor, regeling		2 st	€ 20.000	€ 40.000
gaswasser	4000 m ³ /h	1 st	€ 18.000	€ 18.000
nood/ogen douche		1 st	€ 4.000	€ 4.000
elektro / PA				
instrumentatie (P, Q, T)		3 st	€ 7.000	€ 21.000
installatiekosten		3 st	€ 6.000	€ 18.000
aanpassingen software gasmotor		1 st	€ 7.500	€ 7.500
aanpassingen SCADA		1 st	€ 5.000	€ 5.000
motorgroep ventilator / blower		4 st	€ 5.000	€ 20.000
E-aansluiting gaswasser		1 st	€ 4.000	€ 4.000
nader te detailleren		30 %		€ 49.410
totale kosten (±30%)				€ 214.000

USB ALS NAGISTING

BOUWKOSTEN				
<i>onderdeel</i>	<i>afmetingen</i>	<i>hoeveelheid</i>	<i>prijs</i>	<i>kosten</i>
sloopwerken				
verwijderen bestaande dakconstructie en frame		1 st	€ 5.000	€ 5.000
verwijderen bestaande luchtafzuiging en ventilator		1 st	€ 500	€ 500
civiel				
betondak		314 m ²	€ 500	€ 157.000
kolommen		6 st	€ 5.000	€ 30.000
doorvoerluik groot		1 st	€ 5.000	€ 5.000
werktuigbouw				
noodoverstort aanpassing	DN500	1 st	€ 3.500	€ 3.500
gasafvoerleiding	DN250	10 m ¹	€ 400	€ 4.000
mengers	5kW	2 st	€ 30.000	€ 60.000
elektro / PA				
instrumentatie (P, Q, T)		3 st	€ 7.000	€ 21.000
gasdetectie overstort		1	€ 6.000	€ 6.000
installatiekosten		3 st	€ 6.000	€ 18.000
aanpassingen SCADA		1 st	€ 5.000	€ 5.000
voeding mengers aanpassen		2 st	€ 2.500	€ 5.000
nader te detailleren		30 %		€ 96.000
totale kosten (±30%)				€ 416.000

